

TEXTE

31/2022

Abschlussbericht

Evaluation der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft

von:

Jörg Wagner, Sonja Steinmetzer, Laura Theophil, Anna-Sophie Strues
INTECUS GmbH Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management, Dresden

Nicole Kösegi
Solutions for business, Hamburg

Dr. Stefan Hoyer
Forschungsbereich Extrusionstechnologien und Recycling an der TU Chemnitz

Herausgeber:
Umweltbundesamt

TEXTE 31/2022

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3719 34 302 0
FB000553

Abschlussbericht

Evaluation der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft

von

Jörg Wagner, Sonja Steinmetzer, Laura Theophil, Anna-
Sophie Strues
INTECUS GmbH Abfallwirtschaft und umweltintegratives
Management, Dresden

Nicole Kösegi
Solutions for business, Hamburg

Dr. Stefan Hoyer
Forschungsbereich Extrusionstechnologien und Recycling an
der TU Chemnitz

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

INTECUS GmbH Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management
Pohlandstr. 17
01309 Dresden

Abschlussdatum:

April 2021

Redaktion:

Fachgebiet III 1.5 – Abfallwirtschaft, Grenzüberschreitende Abfallverbringung
Dr. Sina Kummer

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2022

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Evaluation der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft

Im Rahmen der generell durch das KrWG geregelten Produktverantwortung existieren für bestimmte Abfallströme spezielle rechtliche Regelungen zur Erfassung und umweltverträglichen Entsorgung (bspw. für Verpackungen, Batterien, Elektro- und Elektronikaltgeräte, Altfahrzeuge). Diese Regelungen verpflichten die Hersteller, Erfassungssysteme für die Entsorgung der entsprechenden Abfälle einzurichten und bestimmte Verwertungs- und teilweise Erfassungsquoten zu erreichen. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde überprüft, ob und wie bei weiteren Abfallströmen – vor allem Altreifen und Alttextilien – durch eine verbesserte Erfassung und Verwertung Ressourcenschonungs- und Umweltentlastungspotenziale realisiert werden können.

Darüber hinaus existieren weitere Abfallströme, bei denen zu vermuten ist, dass die gegenwärtigen Regelungen nicht ausreichen, um das in diesen Abfallströmen innewohnende Recyclingpotenzial auszuschöpfen. Als derartige Abfallströme wurden Sperrmüll, Matratzen, Möbel, Teppiche, Kunstrasen und Windeln identifiziert.

Das Vorhaben hat die Abfallströme hinsichtlich der Praxis der Erfassung und Verwertung untersucht, Hemmnisse einer ressourcenschonenden Abfallbewirtschaftung aufgezeigt und Maßnahmen abgeleitet, um die Vermeidung, die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling dieser Abfallströme zu verbessern.

Dabei sind in einem ersten Schritt die Stoffströme der benannten Abfallarten hinsichtlich des Aufkommens und der genutzten Entsorgungswege analysiert worden. Hierfür wurden Statistiken und Sekundärquellen gesichtet und Befragungen durchgeführt.

In einem zweiten Schritt sind die identifizierten Entsorgungswege hinsichtlich ökologischer, einschließlich der Schadstoffaspekte und Ressourcenschonungspotenziale, sowie ökonomischer Kriterien bewertet worden.

Aus dieser Bewertung sind Schlussfolgerungen und Maßnahmen abgeleitet worden, welche die Verwertung der einzelnen Abfallströme im Sinne einer ressourcenschonenden Kreislaufwirtschaft verbessern können. Anhand verschiedener Kriterien wurden die Maßnahmen priorisiert.

Die Ergebnisse des Vorhabens wurden in drei Fachgesprächen mit den in die einzelnen Abfallströme involvierten Akteuren diskutiert.

Abstract: Evaluation of the collection and recovery of selected waste streams for the further development of circular economy

As part of the general producer responsibility regulated by the German Circular Economy Act, there are special legal regulations for the collection and environmentally sound disposal of certain waste streams (e.g. for packaging, batteries, waste electrical and electronic equipment, end-of-life vehicles). These require producers to set up collection systems for the disposal of the corresponding waste and to achieve certain recycling and, in some cases, collection rates. The research project examined whether and how resource conservation and environmental relief potentials can be realized for other waste streams - especially end-of-life tires and used textiles - through improved collection and recovery.

In addition, there are other waste streams for which it can be assumed that the current regulations are insufficient to realize the inherent recycling potential in these waste streams. Bulky waste, mattresses, furniture, carpets, artificial turf and diapers were identified as such waste streams.

The project examined the waste streams in terms of collection and recovery practices, identified barriers to resource-efficient waste management, and derived measures to improve prevention, preparation for reuse, and recycling of these waste streams.

In a first step, the material flows of the waste streams were analyzed with regard to their quantity and used disposal routes. For this purpose, statistics and secondary sources were reviewed and interviews were conducted.

In a second step, the identified disposal routes were evaluated with regard to ecological criteria, including pollutant aspects and resource conservation potentials, as well as economic criteria.

From this assessment, conclusions and measures have been derived that can improve the recycling of the individual waste streams in terms of a resource-saving circular economy. The measures were prioritized based on various criteria.

The results of the project were discussed in three technical meetings with the stakeholders involved in the individual waste streams.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	19
Tabellenverzeichnis	20
Abkürzungsverzeichnis.....	26
Zusammenfassung.....	30
Summary	37
1 Einleitung.....	43
1.1 Vorstellung der untersuchten Abfallströme	43
1.2 Allgemeines Vorgehen	43
1.3 Beurteilung der Maßnahmenvorschläge	43
1.3.1 Kriterien	44
1.3.1.1 Bürokratischer Aufwand.....	44
1.3.1.2 Rechtliche Aspekte	44
1.3.1.3 Statistische Aspekte.....	45
1.3.1.4 Organisatorischer Aufwand	45
1.3.1.5 Umsetzungshorizont.....	45
1.3.1.6 Verbindlichkeit.....	46
1.3.1.7 Verbesserung der Erfassung	46
1.3.1.8 Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	46
1.3.1.9 Stärkung des Recyclings.....	46
1.3.1.10 Akzeptanz.....	47
1.3.1.11 Öffentlichkeitsarbeit.....	47
1.3.2 Wertung der Kriterien.....	47
1.3.3 Adressaten und Fazit.....	48
2 Sperrmüll	49
2.1 Allgemeines.....	49
2.2 Erfassung.....	49
2.2.1 Erfassungssysteme.....	49
2.2.2 Abfallstatistik/ Erfassungsmengen.....	53
2.2.2.1 Statistiken des Statistischen Bundesamtes	53
2.2.2.2 Statistiken der Länder	55
2.3 Verwertung von Sperrmüll.....	58
2.3.1 Zusammensetzung.....	58
2.3.2 Verwertungswege.....	59

2.3.3	Umweltpotenzial und Aufwand	63
2.3.4	Bewertung und Fazit	64
2.4	Maßnahmenvorschläge	64
2.4.1	Verpflichtende Vorbehandlung für kommunalen Sperrmüll	65
2.4.2	Ausweitung und Kontrolle der Getrennterfassung auf dem Wertstoffhof (für getrennt erfassbare Materialien).....	66
2.4.3	Abfallberatung zu Getrennterfassungssystemen und Wiederverwendung	67
2.4.4	Zusammenfassung	68
3	Matratzen	69
3.1	Allgemeines.....	69
3.1.1	Top-down-Ansatz – Abschätzung der Bettenanzahl	70
3.1.1.1	Privater Bereich	71
3.1.1.2	Gesundheitswesen.....	72
3.1.1.3	Gastgewerbe.....	73
3.1.1.4	Fazit Matratzenanzahl	74
3.1.2	Haltbarkeit und Lebensdauer von Matratzen.....	74
3.2	Erfassung	75
3.2.1	Erfassungssysteme.....	75
3.2.1.1	Erfassung aus Privathaushalten.....	75
3.2.1.2	Erfassung aus Hotel- und Gastgewerbe.....	76
3.2.1.3	Erfassung aus Gesundheitswesen.....	76
3.2.2	Erfassungsmengen	76
3.3	Verwertung	76
3.3.1	Verwertungswege.....	76
3.3.2	Umweltpotenzial und Aufwand	81
3.3.3	Bewertung und Fazit	82
3.4	Maßnahmenvorschläge	83
3.4.1	Aushandeln von einheitlichen Designkriterien auf EU-Ebene, die das Recycling vereinfachen und Übernahme in Normen oder Label.....	84
3.4.2	Freiwillige Selbstverpflichtung der Hersteller zur Umsetzung eines recyclinggerechten Matratzendesigns und des Handels zum Ausbau von Rücknahmesystemen.....	85
3.4.3	Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge	86
3.4.4	Förderung von Demonstrationsanlagen (z.B. chemisches Recycling von PUR- Schaum) und Beispielpunkten	88

3.4.5	Zusammenfassung	89
4	Möbel	90
4.1	Allgemeines.....	90
4.1.1	Eigenschaften.....	90
4.1.2	Produktion	90
4.1.3	Wiederverwendung	91
4.2	Erfassung.....	91
4.2.1	Erfassungssystem.....	91
4.2.2	Erfassungsmengen	92
4.3	Verwertung	95
4.3.1	Verwertungswege.....	95
4.3.2	Bewertung und Fazit.....	97
4.4	Maßnahmenvorschläge	99
4.4.1	Aushandeln von einheitlichen Designkriterien auf EU-Ebene, die das Recycling vereinfachen und Übernahme in Normen oder Label.....	99
4.4.2	Ökologische Kriterien in der öffentlichen Beschaffung	100
4.4.3	Einsatzquoten für Sekundärmaterialien	101
4.4.4	Freiwillige Selbstverpflichtung der Branche für bestimmte Quoten der stofflichen Verwertung	103
4.4.5	Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge	104
4.4.6	Zusammenfassung	106
5	Teppiche.....	107
5.1	Allgemeines.....	107
5.2	Erfassung	107
5.2.1	Erfassungssysteme.....	107
5.2.2	Erfassungsmengen	108
5.3	Verwertung	108
5.3.1	Zusammensetzung.....	108
5.3.2	Verwertungswege.....	110
5.3.2.1	Recyclingoptionen für Teppichmaterialien.....	110
5.3.2.2	Versuch des Teppichrecyclings in Deutschland – Polyamid 2000	112
5.3.2.3	Aktuelle Recyclingansätze (international)	113
5.3.2.4	Hindernisse für die stoffliche Verwertung.....	114
5.3.2.5	Recyclinggerechtes Teppichdesign	115
5.3.3	Umweltpotenzial und Aufwand	116

5.3.4	Bewertung und Fazit	116
5.4	Maßnahmenvorschläge	117
5.4.1	Ökologische Kriterien in der öffentlichen Beschaffung	117
5.4.2	Designkriterien aushandeln und Normieren, eventuell inklusive Kennzeichnung.....	119
5.4.3	Einsatzquoten für Sekundärmaterialien	120
5.4.4	Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge	121
5.4.5	Zusammenfassung	123
6	Kunstrasen.....	124
6.1	Allgemeines.....	124
6.1.1	Arten und Aufbau von Kunstrasen.....	124
6.1.2	Verwendung und Aufkommen.....	125
6.2	Erfassung.....	127
6.2.1	Erfassungssystem.....	127
6.2.2	Erfassungsmengen	127
6.3	Verwertung	128
6.3.1	Verwertungswege.....	128
6.3.1.1	Teillösungen.....	128
6.3.1.2	Stoffliche Verwertung des Gesamtsystems	129
6.3.1.3	Entsorgungskosten	130
6.3.1.4	Forschungsansätze.....	130
6.3.2	Umweltpotenziale.....	130
6.3.3	Bewertung und Fazit	131
6.4	Maßnahmenvorschläge	132
6.4.1	Bestandsdatenbank für Kunstrasenplätze	132
6.4.2	Förderung von recyclingfähigen Kunstrasenarten.....	133
6.4.3	Vergabeleitfaden für die öffentliche Beschaffung - Entsorgung von Kunstrasenplätzen	134
6.4.4	Zusammenfassung	135
7	Windeln	136
7.1	Allgemeines.....	136
7.2	Erfassung.....	136
7.2.1	Erfassungssysteme.....	136
7.2.2	Erfassungsmenge	137
7.3	Verwertung	138

7.3.1	Verwertungswege	138
7.3.2	Bewertung und Fazit	141
7.4	Maßnahmenvorschläge	142
7.4.1	Förderung von Projekten mit separaten Sammelsystemen oder Demonstrationsanlagen.....	142
7.4.2	Verpflichtende Sammlung und Vorrang der stofflichen Verwertung in Einrichtungen	144
7.4.3	Verpflichtende Getrenntsammlung durch öRE	145
7.4.4	Erweiterte Herstellerverantwortung	146
7.4.5	Zusammenfassung	147
8	Altreifen.....	148
8.1	Allgemeines.....	148
8.1.1	Problemstellung Altreifenverwertung.....	148
8.1.2	Situationsüberblick Altreifenentsorgung in Deutschland	150
8.2	Rechtliche Pflichten im Rahmen der Altreifenentsorgung	152
8.2.1	Einstufung und Nachweispflicht	152
8.2.2	Registerpflicht.....	152
8.2.3	Anzeigepflicht	153
8.2.4	Zertifizierung nach EfbV bzw. als zertifizierter Altreifenentsorgungsbetrieb	153
8.2.5	Rechtliche Rahmenbedingungen der Lagerung von Altreifen	153
8.3	Erfassung der Alt- und Gebraucht Reifen	154
8.3.1	Teilnehmer der Umfrage Reifenrecycling (Hoyer et al. 2020a)	154
8.3.2	Qualitative Übersicht über Ablauf von Erfassung und Entsorgung	154
8.3.3	Anfallstellen	155
8.3.4	Sortierung	158
8.3.4.1	Allgemeines.....	158
8.3.4.2	Branchenspezifische Kriterien des BRV	160
8.3.5	Logistik	161
8.3.6	Entsorger.....	161
8.3.7	Erfassungssystem (Beschreibung der bestehenden und möglichen Erfassungswege und -mengen).....	162
8.3.7.1	Abfallbilanzen der Länder.....	162
8.3.7.2	Altreifenstatistik Fachserie 19 Reihe 1 (Statistisches Bundesamt 2019).....	163
8.3.7.3	Datenerhebung GAVS/wdk.....	163
8.3.8	Verteilung des Altreifenaufkommens auf die verschiedenen Reifensorten.....	167

8.3.9	Entsorgungskosten.....	168
8.3.10	Bewertung und Fazit (<i>Bewertung der bestehenden und möglichen Erfassungswege inkl. des (ökonom.) Aufwandes und Ableitung von Schlussfolgerungen</i>)	170
8.3.11	Illegale Entsorgung.....	171
8.4	Verwertung (Darstellung von bestehenden und möglichen Verwertungswegen).....	172
8.4.1	Absatzmärkte für Produkte bzw. Sekundärrohstoffe der Umfrageteilnehmer von Hoyer et al. 2020a.....	173
8.4.2	Energetische Verwertung in Zementwerken	174
8.4.3	Runderneuerung	177
8.4.3.1	Überblick.....	177
8.4.3.2	Kennzeichnungspflicht von Reifen (Reifenlabeling)	179
8.4.3.3	Hürden der Runderneuerung	180
8.4.4	Herstellung von Sekundärprodukten auf Granulat- und Feinmehlbasis	181
8.4.4.1	Verwertbarkeit von Altreifen.....	181
8.4.4.2	Granulatbasierte Anwendungen	182
8.4.4.3	Gummipulver- und -feinmehlbasierte Anwendungen.....	182
8.4.4.4	Kautschukbasierte Matrixwerkstoffe	183
8.4.4.5	Polyurethanbasierte Matrixwerkstoffe	187
8.4.4.6	Thermoplastbasierte Matrixwerkstoffe.....	187
8.4.4.7	Zusammenfassung	187
8.4.5	Einsatz von Altreifenrezyklat zur Herstellung von Neureifen	188
8.4.6	Einsatz von Altreifenrezyklat im Straßenbau.....	190
8.4.6.1	Allgemeines.....	190
8.4.6.2	Emissionen bei der Verarbeitung von gummimodifiziertem Bitumen	191
8.4.6.3	PAK-Gehalt von Straßenbelag.....	192
8.4.7	Devulkanisation und Reclaim.....	192
8.4.8	Pyrolyse.....	193
8.4.8.1	Grundlagen	193
8.4.8.2	Verfahren – Unternehmen	194
8.4.8.3	Halbtechnische Anlagen	194
8.4.8.4	Industrielle Anlagen.....	194
8.4.8.5	Bewertung	195
8.4.9	Textilanteile aus der Altreifenverwertung.....	195
8.4.10	Herstellung von Einstreugranulaten für Kunstrasenplätze.....	196
8.4.11	Weiterführende Informationen, Normen und Regelungen.....	197

8.5	Internationale Systeme der Altreifenentsorgung.....	198
8.5.1	Abgabenbasiertes System.....	198
8.5.1.1	Dänemark.....	198
8.5.1.2	Kroatien	199
8.5.1.3	Vor- und Nachteile.....	200
8.5.2	Erweiterte Herstellerverantwortung.....	202
8.5.2.1	Frankreich	202
8.5.2.2	Niederlande	203
8.5.2.3	Vor- und Nachteile.....	205
8.5.3	Freier Markt	206
8.5.3.1	Schweiz	206
8.5.3.2	Vor- und Nachteile.....	206
8.6	Freisetzung von Schadstoffen und Mikroplastik in die Umwelt (Boden, Wasser Luft)	207
8.6.1	Literaturauswertung	207
8.6.1.1	ECHA (2020) ANNEX XV INVESTIGATION REPORT: Investigation of the available analytical methods to measure content and migration of polycyclic aromatic hydrocarbons, limit values in rubber and plastic articles in paragraphs 5 and 6 of Entry 50 of Annex XVII to REACH, and alternative low-PAH raw materials.....	207
8.6.1.2	EPA (2019): Synthetic Turf Field Recycled Tire Crumb Rubber Research Under the Federal Research Action Plan	209
8.6.1.3	ANSES (2018): Scientific and technical support on the possible risks related to the use of materials derived from the recycling of used tyres in synthetic sports grounds and similar uses	209
8.6.1.4	ECHA (2017). An Evaluation of the Possible Health Risks of Recycled Rubber Granules Used as Infill in Synthetic Turf Sports Fields.....	210
8.6.1.5	Robert Moretto (2007): Environmental and health evaluation of the use of elastomer granulates (virgin and from used tyres) as filling in third-generation artificial turf	211
8.6.2	Austrag von Mikroplastik aus Kunstrasenplätzen.....	213
8.6.3	Thermisch und mechanisch induzierte Freisetzung von Stoffen aus Altreifen	213
8.6.4	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).....	215
8.6.4.1	Einordnung und Geltungsbereich von Regelungen zum PAK-Gehalt	215
8.6.4.2	Historische Entwicklung der PAK-Grenzwerte.....	216
8.6.4.3	Regelungen in Bezug auf eine Begrenzung des PAK-Gehaltes	218
8.6.4.4	Von Regelungen erfasste Produkt- und Anwendungsbereiche.....	220

8.6.4.5	Übersicht relevanter Messverfahren bzw. Methoden zur Bestimmung des PAK-Gehaltes in Produkten bzw. Abfällen	221
8.6.4.6	Vergleich der Messverfahren.....	222
8.6.4.7	Übereinstimmung zwischen PAK-Gehaltsbestimmung und dem tatsächlichen Gesamtgehalt an PAK	223
8.6.4.8	Bewertung des Gesundheitsrisikos von Altreifenrezyklaten durch Migrationsversuche	224
8.6.4.9	Vergleich der Resultate der PAK-Gehaltsbestimmung nach den verschiedenen Messverfahren bzw. Methoden	227
8.6.5	Messkampagne zur Bestimmung der PAK-Gehaltes von Altreifengranulaten der TU Chemnitz	228
8.6.5.1	Versuchsbeschreibung.....	228
8.6.5.2	Untersuchte Materialien	229
8.6.5.3	Messergebnisse der PAK-Gehaltsbestimmung für Granulate	230
8.6.5.4	Ableitung des maximalen Rezyklatgehalts zur Einhaltung der PAK-Grenzwerte	232
8.6.6	Bestimmung der PAK-Migration aus Prüfkörpern aus Altreifenmaterialien	233
8.6.6.1	Probenübersicht	234
8.6.6.2	Ergebnisse der Migrationsmessungen.....	234
8.6.6.3	Migrationsmessungen von Barrero-Moreno et al. (2018).....	236
8.6.7	VOC-Prüfung einer Bodenmatte mit Altreifenrezyklatanteil (Hoyer et al. 2019).....	237
8.6.8	Zusammenfassung/Auswertung	238
8.7	Umweltpotenzial und Aufwand (Darstellung der Umweltpotenziale und des Aufwandes für die o.g. Verwertungswege)	240
8.7.1	Aufwand zur Altreifenzerkleinerung.....	240
8.7.2	Aufwand zu Herstellung und Verarbeitung der Primärrohstoffe	242
8.8	Ökologische Bewertung der verschiedenen Verwertungswege.....	243
8.8.1	Vorbereitung zur Wiederverwendung.....	244
8.8.2	Stoffliche Verwertung.....	244
8.8.2.1	Carbon Black	246
8.8.2.2	Synthetisches Gummi	247
8.8.3	Energetische Verwertung	247
8.8.4	Vergleich der Verwertungswege.....	248
8.9	Situationsüberblick und Zusammenfassung	248
8.9.1	Altreifenerfassung und -sortierung.....	249
8.9.2	Abfallvermeidung.....	250

8.9.3	Wiederverwendung/Runderneuerung	250
8.9.4	Werkstoffliche Verwertung/Recycling.....	251
8.9.4.1	Einschätzung der umwelt- und gesundheitsbezogenen Risiken von Altreifenrezyklaten	251
8.9.4.2	Straßenbau.....	254
8.9.4.3	Energetische Verwertung	254
8.9.5	Prognose der Entwicklung der Verwertungskapazitäten	254
8.10	Maßnahmenvorschläge	256
8.10.1	Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung oder eines abgabenbasierten Systems	257
8.10.2	Maßnahmen zur Förderung der Runderneuerung	261
8.10.2.1	Aufnahme von Reifen in die EU Ökodesign-Richtlinie: Umsetzung von Designanforderungen an Runderneuerbarkeit	261
8.10.2.2	Förderung des Technologie- und Wissenstransfers zwischen Reifenherstellern und Runderneuerung.....	262
8.10.2.3	Förderung der Anlagenautomatisierung in der Runderneuerung.....	263
8.10.3	Förderung der stofflichen Verwertung.....	264
8.10.3.1	Aufbau einer Material- und Verarbeitungsdatenbank	264
8.10.3.2	Regelwerke für die Nutzung von gummi-modifiziertem Asphalt	265
8.10.3.3	Überprüfung der PAK-Grenzwerte und Nachweisverfahren auf EU-Ebene	266
8.10.3.4	Senkung des PAK-Eintrags in der Reifenherstellung.....	267
8.10.4	Zusammenfassung	270
9	Alttextilien	271
9.1	Allgemeines.....	271
9.2	Analyse erfasster Alttextilien	271
9.2.1	Sammelmengen	274
9.2.1.1	Bewertung der Ergebnisse	275
9.2.1.2	Mögliche Schwachstellen und fehlende Informationen bei der Befragung.....	275
9.2.1.3	Weitere Quellen zur Bewertung der Daten.....	276
9.2.1.4	Abschätzung der tatsächlichen Sammelmenge 2018.....	280
9.2.2	Sammelsysteme	280
9.2.3	Anforderung von Nachweisen	282
9.2.3.1	Qualitative Kriterien in kommunalen Ausschreibungen.....	284
9.2.4	Illegale Sammlungen.....	284

9.2.5	Einschätzung der zukünftigen Entwicklung von Sammelmenge und Qualität von Alttextilien.....	285
9.3	Analyse der sortierten Alttextilien zur Vorbereitung zur Wiederverwendung und zur sonstigen stofflichen Verwertung.....	285
9.3.1	Verbleib der Sammelware zur Vorbereitung zur Wiederverwendung.....	285
9.3.2	Verbleib nach der Sortierung.....	286
9.3.2.1	Zielländer in Bezug auf die einzelnen Verwertungswege.....	286
9.4	Ermittlung der Sammelquote von Alttextilien.....	287
9.4.1	Methode zur Ermittlung der Sammelquote.....	287
9.4.2	Allgemeine Bewertung des Ergebnisses.....	288
9.5	Einhaltung der Anforderungen bei der grenzüberschreitenden Abfallverbringung.....	289
9.6	Auslandsvergleich.....	291
9.6.1	Organisation der Alttextilsammlung.....	291
9.6.2	Verbrauch und Erfassung von Alttextilien.....	294
9.6.3	Sortierung und Verwertung.....	295
9.6.4	Strategische und politische Entwicklungen.....	296
9.6.5	Zukunft des Textilrecyclings.....	297
9.7	Verwertung von Alttextilien.....	298
9.7.1	Einführung.....	298
9.7.2	Erfassung von Alttextilien.....	299
9.7.2.1	Holsysteme.....	299
9.7.2.2	Bringsysteme.....	299
9.7.3	Gesamtbetrachtung Sammelssysteme.....	300
9.7.3.1	Quantitative Kriterien.....	301
9.7.3.2	Qualitative Kriterien.....	301
9.7.3.3	Bewertung Sammelssysteme qualitative und quantitative Kriterien.....	301
9.7.4	Vorbereitung zur Wiederverwendung von Alttextilien.....	302
9.7.4.1	Negativsortierung.....	302
9.7.4.2	Teilsortierung.....	303
9.7.4.3	Vollsortierung.....	303
9.7.4.4	Automatische Erkennung und Sortierung nach Materialart, Farbe oder anderen Erkennungsmerkmalen.....	303
9.7.4.5	Bewertung der NIR (Nahinfrarot Spektroskopie).....	305
9.7.4.6	Bewertung RFID- Technologie.....	306
9.7.4.7	Gesamtbetrachtung automatische Sortiertechnologien:.....	307

9.7.4.8	Gesamtbetrachtung Sortiersysteme.....	307
9.8	Maßnahmenvorschläge	317
9.8.2	Ableitung von Handlungsempfehlungen	318
9.8.2.1	Förderung des Konsums nachhaltiger Produkte und der Umsetzung von Informations- und Beratungspflichten nach dem KrWG	318
9.8.2.2	Mengenstromdaten.....	319
9.8.2.3	Sammelmenge und Flächendeckung.....	320
9.8.2.4	Verwertung	320
9.8.3	Gesetzliche und andere weitere Regelungsmöglichkeiten.....	321
9.8.3.1	Entwicklung von LAGA-Merkblättern sowie Implementierung weiterer Kontrollmaßnahmen (Marktüberwachung) zur Unterstützung des KrWG	321
9.8.3.2	Freiwillige Selbstverpflichtung der Textilindustrie	324
9.8.3.3	Textilabgabe oder Textilsteuer	326
9.8.3.4	Fondmodell in Bezug auf Fasereinsatz	328
9.8.3.5	Erweiterte Herstellerverantwortung.....	329
9.8.4	Zusammenfassung	334
10	Priorisierung der Abfallströme	336
10.1	Kriterien	336
10.1.1	Mengenrelevanz	336
10.1.2	Technologieverfügbarkeit.....	336
10.1.3	Wirtschaftlichkeit.....	337
10.1.4	Ökologie	337
10.1.5	Gewichtung der Kriterien.....	338
10.2	Bewertung der Abfallströme.....	338
11	Quellenverzeichnis	340
A	Zuordnung Güter der Produktionsstatistik zum Warenverzeichnis des Im-/ Exporthandels	367
B	Altreifen.....	370
B.1	Übersicht der nach EfbV und BRV-Anforderungsprofil zertifizierten Altreifenentsorgungsbetriebe.....	370
B.2	Umfrage Altreifenfassung.....	373
B.3	Teilnehmer der Umfrage Reifenrecycling (Hoyer et al. 2020a)	390
B.4	Sortier-/Qualitätskriterien von Altreifen der Firma Kurz Karkassenhandel.....	393
B.5	Internationale Literaturwerte zum Gewicht von Altreifen sowie dem prozentualen Anteil des Abriebs am Reifengewicht.....	394

B.6	Überblick über Normen mit Relevanz in Bezug auf Produkte mit Einsatz von Altreifengummigranulat bzw. Altreifengummipulver (nicht erschöpfend).....	396
B.7	Details zur Versuchsdurchführung der PAK-Gehaltsbestimmung	398
B.7.1	Probenahme	398
B.7.2	Messintervall und -häufigkeit	398
B.8	Details zur Versuchsdurchführung der PAK-Migration.....	400
B.8.1	Herstellung des Migrationsextraktes.....	400
B.8.2	PAK-Analyse des Migrationsextraktes	400
B.8.3	Bestimmungsgrenze (LOQ) für Migrationsanalysen	401
B.9	PAK-Gehaltsmessungen und Berechnung der relativen Migrationsraten.....	402
B.9.1	PAK-Gehalt der Proben für die Migrationsuntersuchungen (Hoyer et al. 2019).....	402
B.9.2	Berechnung der relativen Migrationsraten der einzelnen PAK-Spezies.....	403
B.10	Detaillierte Darstellung des einfachen Datenbankabgleichs der TD-GCMS-Untersuchungen des Dampftraums über Altreifenmehl bei 140 und 180 °C.....	405
B.10.1	Temperatur 140 °C.....	405
B.10.2	Temperatur 180 °C.....	411
C	Alttextilien	424
C.1	Fragebogen Alttextilien und Sperrmüll.....	424
C.2	Fragebogen Alttextilien (Behörden).....	432
C.3	Befragung Alttextilien (zuständige Behörden für grenzüberschreitende Abfallverbringung)	437
C.4	Expertenbefragung zur Sammlung, Sortierung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und zum Recycling von Alttextilien – Alttextilmarkt.....	438
C.5	Expertenbefragung zur Sammlung, Sortierung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und zum Recycling von Alttextilien – Mengenstrom	440
C.6	Fragenbogen Alttextilien Ländervergleich.....	444

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Erfassung von Sperrmüll durch den öRE, hier bezogen auf die in der Umfrage erfassten Bevölkerung.....	50
Abbildung 2	Durchführung der Sammlung (Anzahl der öRE)	51
Abbildung 3	Durch die Tandemabfuhr separierte Abfallströme	52
Abbildung 4	Input von Sperrmüll in Behandlungsanlagen 2017	54
Abbildung 5	Input in die Abfallbehandlungsanlagen 2013–2017.....	55
Abbildung 6	Schema für einen beispielhaften Sperrmüll-Sortierprozess.....	60
Abbildung 7	Anzahl der in Deutschland im Jahr 2018 produzierten Matratzen	69
Abbildung 8	Masse der in Deutschland im Jahr 2018 verbliebenen Matratzen.....	70
Abbildung 9	Übersicht der Schlafstätten	71
Abbildung 10	Kunstrasensysteme mit und ohne Granulatschicht nach Grad der Verfüllung....	125
Abbildung 11	Exemplarischer Aufbau moderner Fahrzeugreifen	148
Abbildung 12	Mittlere stoffliche Zusammensetzung von Lkw- bzw. Pkw-Reifen.....	150
Abbildung 13	Preis (Jahresmittel) für Naturkautschuk (Sorte NR SMR CV) und Rohöl (Sorte Brent).....	152
Abbildung 14	Qualitative Übersicht über Ablauf von Erfassung und Entsorgung.....	155
Abbildung 15	Anzahl der Nennungen von Hauptanfallstellen für Altreifen durch 17 Umfrageteilnehmer*innen	156
Abbildung 16	Prozentuale Verteilung der Bezugsquellen für Altreifen bzw. Sekundärwerkstoffe bei 14 Umfrageteilnehmer*innen	157
Abbildung 17	Prozentuale Verteilung der Bezugsquellen für Altreifen bzw. Sekundärwerkstoffe für sieben Altreifenentsorgungsbetriebe mit eigener Zerkleinerung	157
Abbildung 18	Gewichtsbezogene Verteilung des Reifenaufkommens in Deutschland in 2018.	168
Abbildung 19	Schätzwerte der ZARE für die Anzahl der in Deutschland illegal entsorgten Altreifen	171
Abbildung 20	Hauptabsatzmärkte für Produkte bzw. Sekundärrohstoffe aus Altreifen aus akkumulierten Angaben der Altreifenentsorger (Gesamtmenge 429,2 kt)	173
Abbildung 21	Hauptabsatzmärkte für Produkte bzw. Sekundärrohstoffe aus Altreifen, prozentuale Verteilung innerhalb der Unternehmen der Umfrageteilnehmer ...	174
Abbildung 22	Altreifeneinsatz in der Zementindustrie in den Jahren 1998 bis 2019	175
Abbildung 23	Schematische Darstellung eines Zyklonvorwärmerofen mit Kalzinator.....	176
Abbildung 24	Links: Fallschutzplatte aus Altreifengranulat (ca. 95 % Altreifenanteil) Rechts: Bodenmatte aus Altreifenfeinmehl (70 % Altreifenanteil).....	183
Abbildung 25	Links: Durch Profilextrusion hergestellte Rundschnüre (Durchmesser 6 mm) Rechts: Daraus hergestellte Gummiseile mit verschiedener Ummantelung	185
Abbildung 26	Durch kontinuierliche Vulkanisation (Rotocure) hergestellte Bahnenware Links: Bahnbreite 1,25 Meter, Dicke 2 mm. Reißfestigkeit: 16 MPa, Dehnung; 440 % Rechts: Bahnbreite 1,25 m, Dicke 0,6 mm, mit Textilarmierung	185
Abbildung 27	Links: typische Textilflusen, wie sie bei der Granulierung von Altreifen anfallen Rechts: mittlere stoffliche Zusammensetzung der Textilflusen	196
Abbildung 28	Durch Verformung ausgetretene Alterungsschutzmittel eines Reifens.....	213

Abbildung 29	Freisetzung von flüchtigen organischen Verbindungen in einer Stickstoffatmosphäre als Funktion der Temperatur	214
Abbildung 30	Relative Migrationrate der PAK aus Werkstoffproben mit Altreifenrezyklat nach JRC-Methode bezogen auf deren Gesamtgehalt in den Proben	236
Abbildung 31	Spezifischer Energiebedarf zur Herstellung von Reifenrezyklaten und marktübliche Richtpreise	240
Abbildung 32	Zustimmungsquoten zum Geltungsbereich der Nachweis- bzw. Registerpflichten	250
Abbildung 33	Sammelsysteme.....	281
Abbildung 34	Vergleich der Sammelsysteme 2013 zu 2018.....	282
Abbildung 35	Übersicht Nachweise	283
Abbildung 36	Output Bilanz bvse Textilstudie 2015 und 2020.....	286
Abbildung 37	Übersicht Mengenaufteilung Sammelpotenzial (inkl. Fehlwürfe u.a. Mengen) ..	288
Abbildung 38	Verarbeitungs- bzw. Entsorgungskapazitäten.....	392

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Bewertung des Kriteriums „Bürokratischer Aufwand“	44
Tabelle 2	Bewertung des Kriteriums „Rechtliche Aspekte“	45
Tabelle 3	Bewertung des Kriteriums „Statistische Aspekte“	45
Tabelle 4	Bewertung des Kriteriums „Organisatorischer Aufwand“	45
Tabelle 5	Bewertung des Kriteriums „Umsetzungshorizont“	45
Tabelle 6	Bewertung des Kriteriums „Verbindlichkeit“	46
Tabelle 7	Bewertung des Kriteriums „Verbesserung der Erfassung“	46
Tabelle 8	Bewertung des Kriteriums „Beitrag zur Finanzierung des Recyclings“	46
Tabelle 9	Bewertung des Kriteriums „Stärkung des Recyclings “	47
Tabelle 10	Bewertung des Kriteriums „Akzeptanz der Akteure“	47
Tabelle 11	Bewertung des Kriteriums „Öffentlichkeitsarbeit“	47
Tabelle 12	Aufkommen von Sperrmüll in Entsorgungsanlagen 2013–2017.....	53
Tabelle 13	Sperrmüllaufkommen und Behandlung der Bundesländer 2017.....	56
Tabelle 14	Zusammensetzung von Sperrmüll in Deutschland	58
Tabelle 15	Bewertung der Maßnahme „Verpflichtende Sperrmüllsortierung für kommunalen Sperrmüll“ bei gemischter Erfassung (bspw. im Holsystem)	65
Tabelle 16	Bewertung der Maßnahme „Konsequente Ausweitung und Kontrolle der Getrennterfassung auf WSH (für getrennt erfassbare Materialien)“	66
Tabelle 17	Bewertung der Maßnahme „Abfallberatung zu Getrennterfassungssystemen und Wiederverwendung“	67
Tabelle 18	Krankenhäuser, Betten und Belegung.....	72
Tabelle 19	Betten in Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen	73
Tabelle 20	Anzahl der angebotenen Schlafgelegenheiten nach Betriebsart.....	74
Tabelle 21	Durchschnittliche Materialzusammensetzung von Altmatratzenströmen	77
Tabelle 22	Materialien, die aus Matratzen wiedergewonnen werden können und ihre Verwertungswege	81

Tabelle 23	Bewertung der Maßnahme „Aushandeln von einheitlichen Designkriterien auf EU-Ebene, die das Recycling vereinfachen, und Übernahme in Label“ 84
Tabelle 24	Bewertung der Maßnahme „Freiwillige Selbstverpflichtung der Hersteller zur Umsetzung eines recyclinggerechten Matratzendesigns und des Handels zum Ausbau von Rücknahmesystemen“ 85
Tabelle 25	Bewertung der Maßnahme „Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge“ 87
Tabelle 26	Bewertung der Maßnahme „Förderung von Demonstrationsanlagen (z.B. chemisches Recycling von PUR-Schaum) und Beispielprojekten“ 88
Tabelle 27	Abschätzung der jährlichen Abfallmenge aus Möbeln..... 93
Tabelle 28	Bewertung der Maßnahme „Aushandeln von einheitlichen Designkriterien auf EU-Ebene, die das Recycling vereinfachen und Übernahme in Normen oder Label“ . 99
Tabelle 29	Bewertung der Maßnahme „Ökologische Kriterien in der öffentlichen Beschaffung“ 100
Tabelle 30	Bewertung der Maßnahme „Einsatzquoten für Sekundärmaterialien“ 102
Tabelle 31	Bewertung der Maßnahme „Freiwillige Selbstverpflichtung der Branche für bestimmte Quoten der stofflichen Verwertung“ 103
Tabelle 32	Bewertung der Maßnahme „Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge“ 104
Tabelle 33	Teppichfasermaterial – Einsatzmengen in Deutschland und der EU 109
Tabelle 34	Teppichrückenmaterialien und Füllstoffe 110
Tabelle 35	Recyclingoptionen für Teppich-Fasermaterial 111
Tabelle 36	Recyclingoptionen für Teppichfüllstoff- und -rückenmaterial 112
Tabelle 37	Bewertung der Maßnahme „Ökologische Kriterien in der öffentlichen Beschaffung“ 118
Tabelle 38	Bewertung der Maßnahme „Designkriterien aushandeln und Normieren, eventuell inklusive Kennzeichnung“ 119
Tabelle 39	Bewertung der Maßnahme „Einsatzquoten für Sekundärmaterialien“ 120
Tabelle 40	Bewertung der Maßnahme „Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge“ 122
Tabelle 41	Dichte der verschiedenen Verfüllungsmaterialien..... 125
Tabelle 42	geschätzte Anzahl und Schüttdichte von Multisport- und Fußballfeldern aus Kunstrasen in Deutschland 127
Tabelle 43	Verfügbare Verwertungskapazitäten für Kunstrasen in 2020..... 131
Tabelle 44	Bewertung der Maßnahme „Bestandsdatenbank für Kunstrasenplätze“ 132
Tabelle 45	Bewertung der Maßnahme „Förderung von recyclingfähigen Kunstrasenarten“ 133
Tabelle 46	Bewertung der Maßnahme „Vergabeleitfaden für die öffentliche Beschaffung - Entsorgung von Kunstrasenplätzen“ 134
Tabelle 47	Abschätzung des Windelabfallaufkommens in Deutschland 138
Tabelle 48	Zusammensetzung von Abfall aus Windeln und Inkontinenzprodukten 139
Tabelle 49	Mögliche Recyclingprodukte aus den recycelten Materialien von Windeln und Inkontinenzprodukten 141

Tabelle 50	Bewertung der Maßnahme „Förderung von Projekten mit separaten Sammelsystemen oder Demonstrationsanlagen“	143
Tabelle 51	Bewertung der Maßnahme „Verpflichtende Sammlung und Vorrang der stofflichen Verwertung in Einrichtungen“	144
Tabelle 52	Bewertung der Maßnahme „Verpflichtende Getrenntsammlung durch öRE“	145
Tabelle 53	Bewertung der Maßnahme „Erweiterte Herstellerverantwortung“	146
Tabelle 54	Orientierungswerte für die Anzahl von Stoffen, welche zur Herstellung von Reifen eingesetzt werden	149
Tabelle 55	Genehmigungsbedürftige Anlagen gemäß Anhang 1, 4. BImSchV	154
Tabelle 56	Anteil uneingeschränkt weiterverwendbarer Reifen unter den bei Ihnen anfallenden bzw. den von Ihnen angenommenen Altreifen einzuschätzen	158
Tabelle 57	Anteil der grundsätzlich für die Runderneuerung geeigneten Altreifen	159
Tabelle 58	Angaben zur Altreifenentsorgung in den Abfallbilanzen der Länder	162
Tabelle 59	Input an Altreifen in Abfallbehandlungsanlagen gemäß Fachserie 19 Reihe 1 für 2014–2017 in 1.000 t/a	163
Tabelle 60	Output an Altreifen von Abfallbehandlungsanlagen gemäß Fachserie 19 Reihe 1, für 2014–2017 in 1.000 t/a	163
Tabelle 61	Altreifenanfall lt. GAVS für die Jahre 2012–2019 in 1.000 t/a	164
Tabelle 62	Berechnungsmethode für die Statistik der GAVS für die Jahre 2012–2019	164
Tabelle 63	Schätzwerte für das mittlere Gewicht verschiedener Altreifentypen	166
Tabelle 64	Überschlägige Berechnung des Altreifenaufkommens in Deutschland	166
Tabelle 65	Vergleich der Werte des GAVS mit der überschlägigen Berechnung des Altreifenaufkommens gemäß Tabelle 64	167
Tabelle 66	Vergleich der Zahlen zur Aufteilung des Reifenmarktes in Deutschland in die verschiedenen Reifentypen	168
Tabelle 67	Ankaufspreise für Gebrauchtreifen in Abhängigkeit der Profiltiefe, Kurz (2020)	169
Tabelle 68	Ankaufspreise für Altreifen, Rigdon (2020)	169
Tabelle 69	Ankaufspreise für Altreifen, Kurz (2020)	170
Tabelle 70	Statistik der GAVS über die Altreifenverwertung für die Jahre 2012–2019	172
Tabelle 71	Anteil der grundsätzlich für die Runderneuerung geeigneten Altreifen bei den Umfrageteilnehmenden in Hoyer et al. (2020a)	181
Tabelle 72	Einteilung von Ausbauasphalt in Klassen anhand seines PAK-Gehaltes	192
Tabelle 73	Berechnung des Eintrags an PAK durch Altreifenrezyklat	192
Tabelle 74	Überschlägige Abschätzung des Marktes von Einstreugranulate	197
Tabelle 75	Zusammensetzung des organischen Anteils des Dampfstroms über Altreifenmehl	215
Tabelle 76	Von den Regelungen potenziell berührte Anwendungsbereiche	220
Tabelle 77	Vergleich der Messverfahren bzw. Methoden zur Bestimmung des PAK-Gehaltes	222
Tabelle 78	Überprüfung der Übereinstimmung zwischen dem Ergebnis der PAK-Gehaltsbestimmung sowie dem rechnerischen Gesamtgehalt an PAK der jeweiligen Probe	224

Tabelle 79	Vergleich der Ergebnisse der PAK-Messung einer identischen Probe von Granulaten aus Pkw-Ganzreifen (0,5-2 mm) für verschiedene Prüfmethode bei verschiedenen Prüflaboren	228
Tabelle 80	Vergleich der Ergebnisse der PAK-Messung von fünf jeweils identischen Proben von Granulaten aus Pkw-Ganzreifen (0,5-2 mm) für verschiedene Prüfmethode bei verschiedenen Prüflaboren	228
Tabelle 81	Ergebnisse der PAK-Gehaltsbestimmung für Granulate, welche aus Pkw- (links) bzw. Lkw-Ganzreifen (rechts) hergestellt wurden	230
Tabelle 82	Ergebnisse der PAK-Gehaltsbestimmung Raumehl aus der Lkw-Reifen-Runderneuerung, in der Form von kryogen nachvermahlenem Feinmehl (links) sowie unbehandeltem Raumehl (rechts)	231
Tabelle 83	Berechnung des maximalen Rezyklatgehaltes in Produkten	233
Tabelle 84	Übersicht der stofflichen Zusammensetzung der Migrationsproben	234
Tabelle 85	Übersicht der Ergebnisse der Migrationsmessung.....	234
Tabelle 86	Relative Migration von PAK aus Gummiprobe im Verhältnis zum jeweiligen PAK-Gehalt in der Probe (Barrero-Moreno et al. 2018).....	237
Tabelle 87	Ergebnisse der Emissionsbestimmung in die Innenraumluft nach DIN EN 16516:2018-01 und Vergleich mit relevanten Anforderungen	238
Tabelle 88	Energieaufwand zur Rohstoffherstellung nach Jones (1994, 2000).....	242
Tabelle 89	Energieaufwand zur Verarbeitung von Kautschuk nach Jones (1994)	242
Tabelle 90	Energieaufwand zur Herstellung eines Reifens nach Continental (1999)	242
Tabelle 91	Übersicht der ausgewerteten Ökobilanzen nach Vermeidung und Verwertung.	243
Tabelle 92	Treibhauspotenzial von Altreifengranulat im Vergleich zu Neuware	245
Tabelle 93	Treibhauspotenzial für den Ersatz von PU Granulat, PU Mehl und neuem SBR ..	247
Tabelle 94	Zusammenfassung der wesentlichsten Unterschiede von Lkw- und Pkw-Reifen im Hinblick auf deren stoffliche Verwertung	253
Tabelle 95	Altreifenanfall in Deutschland und Extrapolation des Trends.....	255
Tabelle 96	Überschlägige Prognose der Kapazitäten verschiedener Verwertungswege	256
Tabelle 97	Anforderungen an die Ausgestaltung der Maßnahme.....	257
Tabelle 98	Bewertung der Maßnahme „Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung für Altreifen“.....	258
Tabelle 99	Bewertung der Maßnahme „Einführung eines abgabenbasierten Systems für Altreifen“	260
Tabelle 100	Bewertung der Maßnahme „Aufnahme von Reifen in die EU Ökodesign-Richtlinie: Umsetzung von Designanforderungen an Runderneuerbarkeit“	261
Tabelle 101	Bewertung der Maßnahme „Förderung des Technologie- und Wissenstransfer zwischen Reifenherstellern und Runderneuerung“	262
Tabelle 102	Bewertung der Maßnahme „Förderung der Anlagenautomatisierung“	263
Tabelle 103	Bewertung der Maßnahme „Aufbau einer Material- und Verarbeitungsdatenbank“	265
Tabelle 104	Bewertung der Maßnahme „Erstellung von Regelwerken für den Einsatz von Altreifenrezyklat im Straßenbau“	265

Tabelle 105	Bewertung der Maßnahme „Überprüfung der PAK-Grenzwerte und Nachweisverfahren auf EU-Ebene“	267
Tabelle 106	Bewertung der Maßnahme „Studie zur Ermittlung des PAK-Gehalts in Neureifen“	268
Tabelle 107	Bewertung der Maßnahme „Aufbau einer Datenbank für Schadstoffgehalt in Neureifen“	269
Tabelle 108	Übersicht Rückläufe zuständige Behörden	273
Tabelle 109	Übersicht Rückläufe örE	274
Tabelle 110	Angepasste Mengen der Grundmethode.....	278
Tabelle 111	Angepasste Mengen der Verbrauchsmethode	278
Tabelle 112	Angepasste Mengen der Konsummethode.....	279
Tabelle 113	Übersicht Außenhandelsstatistik 2018 für Altwaren, Warencode 63090000.....	289
Tabelle 114	Abschätzung Verbrauch, Sammelmengen und Sammelquote Ländervergleich ..	295
Tabelle 115	Bewertung Sammelssysteme quantitative Kriterien	301
Tabelle 116	Bewertung Sammelssysteme qualitative Kriterien.....	301
Tabelle 117	Bewertung Sammelssysteme qualitative und quantitative Kriterien	302
Tabelle 118	Überblick NIR-Technologien zur Sortierung	304
Tabelle 119	Überblick RFID-Technologie zur Sortierung	306
Tabelle 120	Bewertung Sortiersysteme	307
Tabelle 121	Überblick chemische Recyclingtechnologien	313
Tabelle 122	Bewertung ergänzende Maßnahmen „Entwicklung von LAGA-Merkblättern und Implementierung weiterer Kontrollmaßnahmen (Marktüberwachung) zur Unterstützung des KrWG“	323
Tabelle 123	Bewertung der Maßnahme „freiwillige Selbstverpflichtung der Textilindustrie“	325
Tabelle 124	Bewertung der Maßnahme „Textilabgabe“	327
Tabelle 125	Bewertung der Maßnahme „Textilsteuer“	327
Tabelle 126	Bewertung der Maßnahme „Fondmodell in Bezug auf Fasereinsatz“	329
Tabelle 127	Überblick Anfallstellen.....	331
Tabelle 128	Überblick Rollen und Verantwortlichkeiten	331
Tabelle 129	Bewertung der Maßnahme „erweiterte Herstellerverantwortung“	333
Tabelle 130	Einstufungsmatrix der Kriterien Mengenrelevanz und Nutzungsdauer.....	336
Tabelle 131	Einstufungsmatrix der Kriterien Recyclinganlagen und Produktdesign	337
Tabelle 132	Einstufungsmatrix der ökonomischen Kriterien Recyclingverfahren und Sammlung	337
Tabelle 133	Einstufungsmatrix der Kriterien Recyclingquote und Ressourcen	338
Tabelle 134	Gewichtung der Kriterien zur Priorisierung der Abfallströme	338
Tabelle 135	Einstufung und Ergebnis der Abfallströme.....	339
Tabelle 136	Übersicht der Reifenentsorgungsbetriebe (nicht erschöpfend)	370
Tabelle 137	Übersicht der Umfrageteilnehmer sowie deren Tätigkeitsprofil	391
Tabelle 138	Sortier-/Qualitätskriterien von Altreifen	393
Tabelle 139	Literaturwerte zum Gewicht von Altreifen sowie dem prozentualen Anteil des Abriebs (Gewichtsdifferenz Neureifen zu Altreifen)	394
Tabelle 140	Messfrequenz und -häufigkeit der PAK-Messungen	399

Tabelle 141	Übersicht der Bestimmungsgrenzen für PAK-Spezies	401
Tabelle 142	PAK-Gehalt der Materialproben, ermittelt durch die Grimmer-Methode.....	402
Tabelle 143	Ergebnisse der Migrationsversuche für die Probe GM 2 (Hoyer et al. 2019)	403
Tabelle 144	Ergebnisse der Migrationsversuche für die Probe PUR 2 (Hoyer et al. 2019).....	404

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
a	Jahr
AbfAEV	Abfall Anzeige- und Erlaubnisverordnung
AgBB	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten
AltholzV	Altholzverordnung
AP	Arbeitspaket
AS	Abfallschlüssel
B[a]P	Benzo[a]pyren (1,2-Benzpyren)
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BIU	Biochemischen Institut für Umweltkarzinogene (BIU), Prof. Dr. Gernot Grimmer-Stiftung
BR	Butadien-Kautschuk
BRV	Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk e.V.
bvse	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.
CB	Carbon Black
CO₂-Äq	CO ₂ -Äquivalent
DepV	Deponieverordnung
DCH	Depotcontainer manuelle Erfassung
DCM	Depotcontainer Hakenliftsystem
DIN	Deutsches Institut für Normung
DUH	Deutsche Umwelthilfe
E	Einwohner
EcoTLC	L'eco-organisme du textile - du ligne - de la chaussure
ECRA	European Carpet and Rug Association
EfbV	Entsorgungsfachbetriebeverordnung
ElektroG	Elektro- und Elektronikgerätegesetz
ELT	End-of-life Tire (Altreifen)
E.M.-Reifen	Earth Mover-Reifen (Erdbewegungsreifen)

Abkürzung	Bedeutung
EPA	US-Environmental Protection Agency (Bundesumweltbehörde)
EPA-PAK	Von der amerikanischen Bundesumweltbehörde (US-Environmental Protection Agency) zusammengestellte Liste mit 16 PAK, die als prioritäre Umweltschadstoffe eingestuft sind und häufig stellvertretend für die Gruppe der PAK in Umweltproben untersucht werden
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuke der M-Gruppe nach DIN ISO 1629
EU-PAK	Die acht PAK-Spezies gemäß Verordnung (EU) Nr. 1272/2013
EPR	Extended Producer Responsibility (Erweiterte Herstellerverantwortung)
GAVS	Gesellschaft für Altgummi Verwertungs-Systeme
Gew.-%	Gewichtsprozent (Masseanteil)
GftZ	Gemeinschaft für textile Zukunft
GWP	Global Warming Potential (Treibhausgaspotenzial)
IIR	Butyl-Kautschuk
IR	Isopren-Kautschuk
k. A.	Keine Angaben
kg	Kilogramm
KK	Kleiderkammer
kt	Kilotonne
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
kWh	Kilowattstunde (Maßeinheit der Energie)
Lkw	Lastkraftwagen
Llkw	Leicht-Lastkraftwagen, also ein Transporter und vergleichbare Fahrzeuge
LSA	Landesregierung Sachsen-Anhalt
LOQ	limit of quantitation (Bestimmungsgrenze)
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage
MGB	Behälter für Pressmüllfahrzeuge
Mio.	Million
ml	Milliliter
MUEFF	Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten
NachwV	Nachweisverordnung, Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen
NIK	niedrigste interessierende Konzentration

Abkürzung	Bedeutung
NLBL	Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften
NR	Naturkautschuk
örE	öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger
PA	Polyamid
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
phr	per hundred rubber
Pkw	Personenkraftwagen
PP	Polypropylen
ppb	parts per billion (10^{-9}) (relative Konzentrationsangabe in Teile pro Milliarde)
PRO	Producer Responsibility Organisation (Organisation zur Erfüllung der Herstellerverantwortung)
PTT	Polytrimethylenterephthalat
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
rCB	recovered Carbon Black
RFID	Radio-frequency identification
RH	Recyclinghof
SBR	Styrol-Butadien-Kautschuk
SMR CV	Standard Malaysian Rubber (SMR) constant viscosity (CV)
SKS	Straßen- und Körbchensammlung
StGB	Strafgesetzbuch
Stk	Stück
t	Tonne
THG	Treibhausgas
TPE	Thermoplastische Elastomere
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VerpackG	Verpackungsgesetz
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen

Abkürzung	Bedeutung
VOC	Volatile Organic Compounds (flüchtige organische Verbindungen)
VVOC	Very Volatile Organic Compounds
SVOC	Semi-Volatile Organic Compounds
wdk	Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e.V.
WPC	Holz-Polymer-Verbundwerkstoffe
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WSH	Wertstoffhof
ZARE	Initiative Zertifizierte Altreifen Entsorger

Zusammenfassung

Für bestimmte Abfallströme existieren Regelungen über die erweiterte Herstellerverantwortung. Diese Regelungen verpflichten die Hersteller, Erfassungssysteme für die Altprodukte einzurichten und bestimmte Erfassungs- und teilweise Verwertungsquoten zu erreichen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden die Abfallströme Sperrmüll, Matratzen, Möbel, Teppiche, Kunstrasen, Windeln, Altreifen und Alttextilien ausgewählt, da diese mengenmäßig bedeutsam sind und zu vermuten ist, dass die gegenwärtigen Regelungen nicht ausreichen, um das in diesen Abfallströmen innewohnende Recyclingpotenzial auszuschöpfen. Mittels einheitlicher Kriterien wurden abgeleitete Maßnahmen zur Verbesserung der stofflichen Verwertung bewertet. Abschließend wurden die vorgestellten Abfallströme priorisiert.

Zusammenfassung Sperrmüll

Sperrmüll fällt in privaten Haushalten und im Gewerbe an und wird überwiegend durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE) gesammelt. Es gibt je nach öRE unterschiedliche Erfassungs- und Gebührensysteme. Gemäß den Siedlungsabfallbilanzen der Länder liegt das einwohnerspezifische Sperrmüllaufkommen bei ca. 30 kg/(E*a), das Gesamtaufkommen bei ca. 2,5 Mio. t jährlich. Sperrmüll besteht zu ca. 60 % aus Holz-, Polster- und Verbundmöbeln, des Weiteren vor allem aus Teppichen, Matratzen und sonstigem Holz. Sperrmüll wird derzeit überwiegend energetisch verwertet oder in Sortieranlagen behandelt. Dabei werden meist Wertstoffe, wie Metalle, Hartkunststoffe, Folien und Papier/Pappe abgetrennt und einer stofflichen Verwertung zugeführt. Holz wird in Sortieranlagen ebenfalls abgetrennt und als gemischtes Altholz der Altholzkategorie III einer energetischen Verwertung zugeführt, zum Beispiel in Biomassefeuerungsanlagen. Auch die Sortierreste von Sperrmüllsortieranlagen sowie Matratzen, Polstermöbel und Teppiche werden energetisch verwertet. Eine Steigerung der stofflichen Verwertung von Sperrmüll kann unter anderem durch eine Ausweitung der Sperrmüllbehandlung in Sortieranlagen oder verstärkte Getrenntsammlung erreicht werden.

Zusammenfassung Möbel

Möbel werden in allen möglichen Formen, Größen, Farben und Materialien für die verschiedensten Einsatzbereiche gefertigt. Nach dem Ende ihrer Nutzungsdauer werden sie überwiegend im Sperrmüll entsorgt. Es gibt keine einheitliche Statistik zum Abfallaufkommen von Möbeln. Durch Sortieranalysen wurde abgeschätzt, dass jährlich rund 1,7 Mio. t Möbel über den kommunalen Sperrmüll entsorgt werden. Hinzukommen die Mengen, die als Altholz separat erfasst werden sowie als Gewerbeabfall, zerkleinert über den Restabfall oder über andere Wege entsorgt werden. Es wurde ermittelt, dass rund 3,6 Mio. t Möbel jährlich in Deutschland angeschafft und nach ihrer Nutzungsdauer zu Abfall werden. Aufgrund des hohen Anteils an Holzwerkstoffen und den verschiedenen Verbundmaterialien besteht bei Möbeln nur ein begrenzt abschöpfbares Potenzial zur stofflichen Verwertung. Größte Herausforderung bei der stofflichen Verwertung von Möbeln ist die Zerlegbarkeit der Möbelstücke. Eine Verbesserung der stofflichen Verwertung kann durch einheitliche Designkriterien auf EU-Ebene erreicht werden, welche mit den Herstellern ausgehandelt werden sowie eine Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung (z.B. als gestaffelte Beiträge).

Zusammenfassung Matratzen

In Deutschland wird der Markt für Schlafgelegenheiten von Bettgestell, Lattenrost und klassischer Auflagematratze dominiert. Hauptsächlich werden PUR-Schaum-Matratzen und Federkernmatratzen eingesetzt, Latex- und Wollmatratzen bzw. Matratzen aus sonstigen Materialien spielen eine untergeordnete Rolle. Die inländische Produktion deckt nur ungefähr

die Hälfte des Bedarfs. Zunehmend ist der Trend aus dem angloamerikanischen Raum hin zu Boxspringbetten zu beobachten, bei denen Bettgestell, Polsterung und Federung zu einem Möbelstück, ähnlich einem Polstermöbel, verbunden sind.

Der Bedarf an Matratzen wird in Summe aus privatem Bereich, Gastgewerbe und medizinischem Bereich auf ca. 80,7 Mio. Matratzen geschätzt. Zusätzlich sind in vielen Haushalten Matratzen ehemaliger Haushaltsmitglieder und Gästematratzen vorhanden. Die durchschnittliche Nutzungsdauer einer Matratze liegt bei 10 Jahren.

Üblicherweise werden Matratzen aus privaten Haushalten mit dem Sperrmüll entsorgt. Im Sperrmüll sind laut Sortieranalysen ca. 225.000 t/a Altmatratzen enthalten. Zudem bieten einige Händler die Rücknahme von Altmatratzen an. In Deutschland werden Altmatratzen hauptsächlich energetisch verwertet. Eine manuelle Zerlegung und der Weiterverkauf der enthaltenen Rohstoffe wird nur in einer Anlage in Deutschland durchgeführt. International gibt es schon Beispiele automatisierter Zerlegungsverfahren. Größte Hindernisse für das Recycling von Altmatratzen sind das komplexe Matratzendesign, die Sammelstruktur, bei der das Eindringen von Feuchtigkeit nicht ausgeschlossen ist, die ökonomische Konkurrenz zur energetischen Verwertung und ungenügende Absatzmärkte für die rückgewinnbaren Materialien.

Zur Stärkung der stofflichen Verwertung kann eine Förderung von Demonstrationsanlagen beitragen, in der zukünftige Möglichkeiten und Hindernisse beim Matratzenrecycling abgeschätzt werden können. Durch die Einigung auf ein recyclinggerechtes Design und die breitenwirksame Umsetzung werden die Grundlagen für ein hochwertiges Recycling gelegt. Auch die Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung kann für den Abfallstrom Matratzen empfohlen werden.

Zusammenfassung Teppiche

Zu Teppichen gehören Wand zu Wand Teppichböden, abgepasste Teppiche und Teppiche für sonstige Anwendungsbereiche (Mobilitätssektor, Sportbereich etc.). Letztere werden in dieser Studie nicht betrachtet. Teppiche haben keinen eigenen Abfallschlüssel und werden vor allem über ungefährliche gemischte Bau- und Abbruchabfälle (AS 17 09 04) oder über den Sperrmüll (AS 20 03 07) entsorgt. Nach stärkeren Umsatzrückgängen um die Jahrtausendwende liegt die in Deutschland verkaufte Masse an Teppichen bei ca. 200.000 t/a (Teppichböden und abgepasste Teppiche). Ein Großteil der Teppichböden wird in der EU produziert. Teppichböden machen etwa ein Viertel des Deutschen Bodenbelagmarktes aus und unterliegen als Bauprodukte einer CE-Kennzeichnung. Teppiche bestehen aus mehreren fest miteinander verknüpften Schichten verschiedener Materialien. Die Nutzschicht besteht aus gefärbten textilen Fasern, die Zwischenschicht stabilisiert die Fasern der Nutzschicht, der Teppichrücken ist für die Gesamtstabilität des Teppichs zuständig und besteht häufig aus Kunststoffen / Latex und Füllstoffen. Der Anteil nachwachsender Rohstoffe ist bei der Teppichherstellung insgesamt gering.

In Deutschland werden Teppiche energetisch verwertet. Seit der Insolvenz der Polyamid 2000 im Jahr 2003 gibt es in Deutschland kein Teppichrecycling mehr und auch international gibt es nur wenige Beispiele. Die Herausforderungen beim Recycling von Teppichen bestehen in den fest verknüpften Mischmaterialien, der technisch herausfordernden Materialsortierung und den fehlenden Verwertungsmöglichkeiten. Zudem gibt es kein Sammelsystem, das die saubere, einheitliche und trockene Erfassung von Teppichen ermöglicht. Demnach besteht bei Teppichen in erster Linie Bedarf an einheitlichen Designkriterien, die Mischmaterialien soweit möglich ausschließen und die Sortierung und Trennung der einzelnen Schichten voneinander

garantieren. Des Weiteren besteht Bedarf an Forschung und Entwicklung von Recyclingverfahren und Demonstrationsanlagen.

Zusammenfassung Kunstrasen

Kunstrasen wird hauptsächlich im Sportplatzbau verwendet. Er kommt außerdem im Spielplatzbau, als Auslegeware im Messe- und Veranstaltungsbereich, in privaten Gärten, Balkonen oder als Dachbegrünung zum Einsatz. Die Mehrheit aller Kunstrasenplätze befindet sich in kommunalem Besitz.

Der Rasenteppich besteht aus einem synthetischen Trärgewebe, auf welches Kunststofffasern in kleinen Büscheln getuftet werden. Um die Rasentufte zu befestigen, wird die Unterseite des Trärgewebes mit Latex oder PU beschichtet. Die Rasenfasern bestehen meist aus PE, das Trärgewebe aus PP. In voll- und teilverfüllte Kunstrasensysteme wird auf den Rasenteppich eine Schicht Quarzsand eingebracht, um die Rasentufte zu stabilisieren und den Teppich zu beschweren. Darauf kann eine stoßdämpfende Schicht aus elastischem Granulat folgen. Früher wurde vor allem synthetische Granulat verwendet. Aufgrund des geplanten Verbots von Mikroplastik werden seit 2020 aber entweder pflanzliche Granulate oder granulatfreie Systeme genutzt.

Das genaue Aufkommen und die Verwertungswege sind größtenteils unbekannt. Angaben basieren in der Regel auf Expertenschätzungen. Ob eine gesicherte stoffliche Verwertung stattfindet, ist aufgrund der mangelnden Nachverfolgbarkeit stark vom Engagement der Sportplatzeigentümer abhängig. Es gibt nur wenige Anbieter, die für das Gesamtsystem eine vollständige stoffliche Verwertung nachweisen können. Derzeit liegen die verfügbaren Anlagenkapazitäten unter dem Jahresaufkommen an altem Kunstrasen.

Um die stoffliche Verwertung zu fördern, sollte an die Sportstättenförderung die Verwendung von Monomaterial-Kunstrasen geknüpft sein. Auch sollte die Ausschreibung des Kunstrasenausbaus Kriterien für die Nachverfolgbarkeit enthalten.

Zusammenfassung Windeln

Windeln, Damenhygiene- und Inkontinenzprodukte bestehen aus Superabsorberpolymer, Zellstofffasern und weiteren Kunststoffteilen (Vlieseinlagen, Folien, Gummi- und Klebebänder). Im Windelabfall machen Urin und Fäkalien mehr als die Hälfte der Masse aus. Die Abfallmenge wird in Deutschland auf 1,5 Mio. t pro Jahr geschätzt.

In Deutschland werden Windeln überwiegend über den Restabfall entsorgt und energetisch verwertet. Seit einigen Jahren sind in den Niederlanden, Italien und Großbritannien vereinzelt Recyclinganlagen in Betrieb, welche getrennt erfassten Windelabfall thermisch hygienisieren und Superabsorberpolymer, Zellstoff und Kunststoffe zur stofflichen Verwertung rückgewinnen. Fäkalien und Urin können anschließend in einer Kläranlage behandelt werden.

Das größte Problem beim Windelrecycling ist das Erfordernis einer separaten Sammlung. Da Windeln stark dezentral anfallen, müsste eine komplett neue und engmaschige Sammelstruktur für den Abfallstrom geschaffen werden. Deswegen werden die Initiierung und finanzielle Förderung eines separaten Sammelsystems in einer Pilot-Kommune empfohlen, um den erforderlichen Aufwand und die zusätzlichen Kosten abzuschätzen. Alternativ kann eine separate Sammlung in Einrichtungen mit hohem Aufkommen, wie beispielsweise Pflegeeinrichtungen und Kindertagesstätten, umgesetzt werden.

Zusammenfassung Altreifen

Reifen bestehen aus einer Vielzahl grundsätzlich untrennbar verbundener Komponenten wie zum Beispiel Laufstreifen und Karkasse. Darüber hinaus sind die verwendeten Gummiarten sehr widerstandsfähig gegenüber vielen bekannten Lösungsmitteln, Laugen und Säuren, was ein Recycling stark erschwert. Daher kommt vor allem das Zerkleinern zu Granulaten und Pulvern zum Einsatz.

Sammlung und Aufkommen

Der Rücklauf von Altreifen von den Verbraucher*innen zu den Sammelstellen und Werkstätten funktioniert nach Branchenauskunft gut. Die anfallende Menge der Altreifen sowie deren Entsorgungswege lassen sich aber derzeit nicht nachverfolgen, da aktuell nur für die Entsorgungsunternehmen Registerpflichten bestehen, nicht jedoch für vor- oder nachgelagerte Tätigkeiten. Gemäß der Statistik der GAVS zum Aufkommen vielen 2019 rund 571.000 t Altreifen in Deutschland an.

Aktuell befindet sich die deutsche Altreifenentsorgungsbranche in einer kritischen Situation. Eine wesentliche Ursache ist dabei eine starke präventive Begrenzung des Gehaltes an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Teilen der etablierten Absatzmärkte für Altreifenrezyklate sowie eine damit verbundene Verunsicherung der Märkte und Verbraucher*innen, auch in Märkten, die nicht von der Regulierung betroffen sind. Dies hemmt das Wachstum der stofflichen Verwertung und damit die Investitionsbereitschaft in neue Produkte und Verfahren insgesamt. Des Weiteren wird die Branche durch einen starken Rückgang der energetischen Verwertung von Altreifen in Zementwerken sowie ein allgemein niedriges Preisniveau am Primärrohstoffmarkt belastet. Die Altreifenentsorgungsbranche kritisiert zudem, dass nur etwa 25 % der von Verbraucher*innen gezahlten Beiträge bei den Entsorgungsbetrieben ankommen. Eine Anhebung der Annahmepreise der Altreifenrecycler erhöht unter den bestehenden Voraussetzungen die Anreize zur illegalen Entsorgung von Altreifen durch einige Altreifensammler.

Um die Finanzierung der Sammlung und Verwertung von Altreifen nachhaltig zu sichern und die illegale Entsorgung durch eine Verbesserung der Nachverfolgbarkeit zu reduzieren, wird die Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung oder eines abgabenbasierten Systems empfohlen. Durch die Änderung des Systems lassen sich die meisten Probleme der Sammlung und Sortierung lösen. Ein Problem, das sich nicht darüber lösen lässt, ist das der Nachfrage nach Sekundärrohstoffen bzw. Ersatzbrennstoffen.

Verwertung von Altreifen

Die größten Potenziale für eine Ausweitung der stofflichen Verwertung von Altreifen liegen in granulat- und feinemehlbasierten Anwendungen, im Straßenbau und in der Runderneuerung (insbesondere Pkw).

Runderneuerung

Im Pkw-Bereich lag der Anteil der runderneuterten Reifen am Reifenersatzmarkt 2018 deutlich unter einem Prozent, im Lkw-Bereich bei etwa 29 %. Nach Branchenauskunft bestehen in Deutschland die Kapazitäten, um die Runderneuerung von Lkw-Reifen auf 40 % auszuweiten. Typischerweise werden geeignete Pkw-Reifen einmal, Lkw-Reifen bis zu dreimal runderneuert.

Aufgrund der Konkurrenz durch günstigen Neureifen ist die Nachfrage nach runderneuten Pkw-Reifen sehr gering. Um die Nachfrage zu erhöhen bedarf es primär einer Verbesserung der Kostenstruktur in der Runderneuerung. Von zentraler Bedeutung ist dafür die Anlagenautomatisierung. Des Weiteren ist eine Weiterentwicklung der Werkstofftechnik und

der Fertigungstechnologie notwendig, um in der Runderneuerung auf das Leistungsniveau moderner Pkw-Reifen aufzuschließen. Die Kombination aus mangelnder Nachfrage auf der einen Seite und notwendiger Investitionen in Werkstoff- und Produktentwicklung sowie Prozessautomatisierung auf der anderen Seite stellen jedoch für die mittelständisch geprägten Runderneuerer einen schwer zu überwindenden Konflikt dar. Hier kann durch passende Förderprogramme unterstützend eingegriffen werden.

Die Verfügbarkeit geeigneter Altreifen ist ein weiterer Faktor, der die Ausweitung der Runderneuerung im Pkw-Bereich begrenzt. Runderneuerungsbetriebe beziehen oft hohe Anteile ihrer Karkassen aus dem Ausland. Es erscheint keine hinreichend hohe Motivation in Deutschland zu bestehen, die Altreifen entsprechend zu sortieren. Bereits vorhandene Sortierkriterien sollten daher für allgemein verbindlich erklärt werden. Zusätzlich ist eine konstruktive Änderung der Karkassen von Neureifen im Hinblick auf eine bessere Runderneuerung notwendig. In Zusammenarbeit mit Herstellern, Runderneuerern und Verwertern sollten, am besten auf EU-Ebene, verbindliche Standards für ein runderneuerungsfähiges Reifendesign entwickelt werden.

Stoffliche Verwertung

Eine Rückführung von Altreifenrezyklaten in neue Reifen ist nur sehr eingeschränkt möglich. Die Rezyklate werden daher heute überwiegend in der Form von Granulaten eingesetzt, etwa als Einstreu für Kunstrasen, in Sport- und Spielplatzmatten sowie einfachen Formteilen. Derzeit werden erste Sekundärprodukte auf Basis von Feinmehlen hergestellt, die teilweise bereits Produkten aus Primärrohstoffen ebenbürtig sind. Die Komplexität derartiger Neuentwicklungen, die relativ kleinen Nischenmärkte sowie das anhaltend niedrige Preisniveau der Primärrohstoffe begrenzen jedoch die mengenmäßige Bedeutung derartiger Ansätze. Ein Technologie- und Wissenstransfer zwischen Neu- und Altreifenbranche würde hier zu einer deutlichen Verbesserung der Qualität und Wirtschaftlichkeit der stofflichen Verwertung führen und sollte daher gefördert werden.

Die bisher bestehenden PAK-Gehaltsgrenzen sind in vielen Bereichen in Überarbeitung. Die Einführung von verbindlichen Messverfahren nach Vorbild der Methode nach Barrero-Moreno et al. (2018) würde höhere gemessene PAK-Gehalte ergeben, als dies nach den bisher zulässigen Methoden der Fall ist. Entsprechend würden einige Anwendungen entfallen oder einer signifikanten Absenkung des Rezyklatanteils bedürfen. Auch wenn sich die PAK-Regelungen nur auf einen Teilbereich des Marktes für Altreifenrezyklate erstrecken, führt die allgemeine Verunsicherung auch zu einer Dämpfung auf angrenzende Anwendungsgebiete.

Im Rahmen der Überprüfung geltender PAK-Grenzwerte sollte die Einführung von gefährdungsbezogenen migrations- und emissionsbasierten Messverfahren anstelle von extraktionsbasierte Gehaltsgrenzwerten auf EU-Ebene umgesetzt werden. Nach aktuellem Stand der Forschung scheinen von Altreifenrezyklat und daraus hergestellten Erzeugnissen im Hinblick auf Migration und Emission von gesundheitsgefährdenden Stoffen keine signifikante Gefährdung für Mensch und Umwelt auszugehen.

Einer der größten, bisher kaum erschlossenen Wachstumsmärkte für die stoffliche Verwertung von Altreifen ist der Einsatz im Straßenbau. Die Gummimodifizierung von Bitumen führt zu einer Verbesserung einzelner Leistungsparameter von Straßen und kann auch die Reduktion der Schichtdicke ermöglichen. Auf Basis des aktuellen Erkenntnisstands erscheint der Einsatz von Altreifenrezyklaten daher ökonomisch sinnvoll und kann durch aktuelle Entwicklungen zum Absenken der Einbautemperaturen von Asphalt ohne nennenswerte Gefährdung von Mensch und Umwelt erfolgen. Hier bedarf es primär der Erarbeitung von Regelwerken auf Länderebene als Grundlage zur Berücksichtigung derartig modifizierter Asphalte bei Ausschreibungen.

Zusammenfassung Alttextilien

Insgesamt ist festzustellen, dass es keine verlässlichen Daten zur Sammlung von Alttextilien gibt. Auf Basis der vorliegenden Informationen aus verschiedenen Untersuchungen wird für das Jahr 2018 die Sammelmenge auf ca. 1,0 Mio. t und die Sammelquote auf ca. 64 % abgeschätzt.

Die Sammlung von Alttextilien erfolgt zu 44 % durch gewerblichen Sammler, gefolgt von den gemeinnützigen Sammlern mit 28,6 %. Die öRE sammeln 26,9 % der Menge ein. Die Sammlung im Rahmen der freiwilligen Rücknahme spielt mit 0,5 % eine untergeordnete Rolle. Illegale Sammlungen spielen heute aufgrund der gesunkenen Marktpreise kaum eine Rolle mehr. Vor dem Hintergrund der zu erwartenden negativen Qualitätsveränderungen der Alttextilien ist davon auszugehen, dass der Preistrend weiter nach unten gehen wird. Insofern wird das Ausmaß der illegalen Sammlungen gering bleiben.

Das Hauptsammelsystem bilden die Depotcontainer mit 96 %. Die restlichen Sammelsysteme (Straßen- und Körbchensammlung, Rücknahme im stationären Handel oder Sammlung über Abfallbehälter am Haushalt) sind mit insgesamt 3,3 % unbedeutend.

Es ist davon auszugehen, dass mindestens 50 % der Sammelmenge aus Deutschland exportiert und größtenteils in Europa sortiert wird. Hinsichtlich des Verbleibs nach der Sortierung wird auf die Mitgliederbefragung des bvse im Rahmen der Textilstudie 2020 verwiesen. Danach werden ca. 62 % der sortierten Menge nach der Vorbereitung zur Wiederverwendung als Second-Hand-Waren verkauft. Die stoffliche Verwertung von Alttextilien findet hauptsächlich im europäischen und außereuropäischen Ausland statt. Rund 14 % werden zu Putzlappen und 12 % zu Reißware verarbeitet. Rund 8 % der sortierten Alttextilien werden energetisch verwertet und ca. 4 % gelangen in Beseitigungsverfahren.

Sammlung und Sortierung von Alttextilien

Es wurden verschiedene Sammelsysteme hinsichtlich der materialschonenden Erfassung und dem Sammelpotenzial des Systems bewertet. Dabei wurden die Sammlung am Recyclinghof, in Kleiderkammern/Shops, die Straßen- und Körbchensammlung, die Depotcontainersammlung mit manueller Erfassung und mit Hakenliftsystem, die haushaltsnahe Sammlung über die Duo-Tonne und die Online-Sammlung mit einbezogen. Im Ergebnis sind die Depotcontainer als manuelle Sammlung zusammen mit der Straßen- und Körbchensammlung das ausgewogenste Sammelsystem in Bezug auf Qualität und Sammelpotenzial.

Die verschiedenen Sortiersysteme wurden hinsichtlich der Kosten, des Potenzial zur Vorbereitung zur Wiederverwendung sowie das Verwertungspotenzial bewertet. Es wurden die Negativ- und Teilsortierung, die Vollsartierung sowie die automatische Sortierung betrachtet. Im Ergebnis ist die Vollsartierung das einzige Sortierverfahren, das die Wertschöpfung der gesammelten Alttextilien gemäß Abfallhierarchie umsetzen kann.

Verwertung von Alttextilien

Die Ressourcenschonungs- und Umweltentlastungspotenziale bei der Verwertung von Alttextilien wurden entlang der fünfstufigen Abfallhierarchie bewertet. Die genauen Effekte sind je Material und Verarbeitung sehr unterschiedlich. Generell kann davon ausgegangen werden, dass Recyclingfasern den Wasser- und Energieverbrauch sowie den CO₂-Verbrauch der Textilherstellung verringern.

Durch die Vorbereitung zur Wiederverwendung wird der Lebenszyklus von Textilien verlängert und Ressourcen für die Herstellung neuer Textilien eingespart. Da die Textilindustrie global aufgestellt ist, spielt es keine Rolle, ob Second-Hand-Waren in Deutschland oder in anderen Absatzmärkten verkauft werden.

Sind Textilien weder trag- noch marktfähig, so stehen verschiedene Recyclingverfahren für die Substitution von Primärrohstoffen zur Verfügung. Diese Alttextilien werden meist zu industriellen Putzlappen verarbeitet oder zu Fasern gerissen. Die Textilfasern sind thermisch und akustisch isolierend, sodass diese in vielen Bereichen als Vlies einsetzbar sind. Die Garnherstellung aus Alttextilien ist Stand heute eine absolute Ausnahme, da die Alttextilfasern den Anforderungen an die Materialreinheit und Farbzusammensetzung nicht entsprechen. Viele Projekte befassen sich mit diesem Textilrecyclingverfahren, um den Marktanforderungen gerecht zu werden. Chemische Recyclingverfahren kommen auch bei der Verwertung von Alttextilien in Betracht. Hierzu gibt es eine Vielzahl an Technologien, die derzeit in Forschungs- und Pilotprojekten getestet werden. Es gibt nur einige wenige, die im industriellen Maßstab verfügbar sind. Die energetische Verwertung ist eine Option für Alttextilien, die keinem Recycling zugeführt werden können. Die Beseitigung als letzte Stufe der Abfallhierarchie kommt für die in Deutschland sortierten Alttextilien grundsätzlich nicht in Betracht, da ein Zugang zu energetischen Verwertungsanlagen besteht.

Maßnahmenvorschläge und Handlungsempfehlungen

Für die Förderung der Vorbereitung zur Wiederverwendung und der stofflichen Verwertung von Alttextilien wurden als relevante Themenbereiche für die Ableitung von Handlungsempfehlungen die Sensibilisierung der Verbraucher*innen zum nachhaltigen Konsum und Umgang mit Textilien sowie die Einbindung der Hersteller und des Handels bei der Verbraucher*innenberatung und der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle identifiziert.

Ziele der Maßnahmenentwicklung waren die Aufrechterhaltung des hohen Niveaus der getrennt erfassten Mengen an Alttextilien, auch wenn diese sich zu einem zuzahlungspflichtigen Stoffstrom entwickeln werden, die Schaffung von Transparenz innerhalb des Mengenstromes und die Förderung hochwertiger Verwertungswege in Deutschland und Europa.

Nach Bewertung aller Maßnahmenvorschläge kann insgesamt festgehalten werden, dass die Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung trotz des hohen administrativen und organisatorischen Aufwands die größten positiven Effekte auf die Förderung der textilen Kreislaufwirtschaft hat und Lösungen für alle identifizierten Themenbereiche bietet. Aus diesem Grund wird die Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung empfohlen. Aufgrund des langen Umsetzungshorizonts werden als nächste Schritte vorgeschlagen:

1. Regierungsbeschluss zur Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung für Textilien
2. Umsetzung der Maßnahmen zur Förderung des Konsums nachhaltiger Produkte und der Umsetzung von Informations- und Beratungspflichten auf allen Ebenen
3. Initiierung eines Stakeholder-Dialogs mit Planspiel „Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung“

Summary

Regulations on extended producer responsibility exist for certain waste streams. These regulations require producers to set up collection systems for end-of-life products and to achieve certain collection and, in some cases, recovery rates.

In the context of this research project, the waste streams bulky waste, mattresses, furniture, carpets, artificial turf, diapers, waste tires and used textiles were selected because they are significant in terms of volume and it can be assumed that the current regulations are insufficient to realize the recycling potential inherent in these waste streams. Uniform criteria were used to evaluate derived measures to improve recycling. Finally, the waste streams presented were prioritized.

Bulky Waste

Bulky waste is generated by private households and businesses and is mainly collected by public waste management authorities. There are different collection and fee systems depending on the public authority. According to the municipal waste balances of the federal states, the annual amount of bulky waste per capita is about 30 kg/(cap*a) and the total amount is about 2.5 million tons per year. Bulky waste consists of approx. 60 % wood, upholstered and composite furniture, furthermore mainly carpets, mattresses and other wood. It is currently mainly used for energy recovery or treated in sorting plants.

In sorting plants, recyclable materials such as metals, hard plastics, plastic films and paper/cardboard are separated and recycled. Wood is also separated and sent for energy recovery as mixed waste wood of waste wood category III, for example in biomass combustion plants. The sorting residues as well as mattresses, upholstered furniture and carpets are also used for energy recovery.

An increase in recycling of bulky waste can be achieved, among other things, by expanding its treatment in sorting plants or increasing separate collection.

Furniture

Furniture is made in all kinds of shapes, sizes, colours and materials for a wide variety of uses. At the end of its use phase, it is mainly disposed of in bulky waste. There are no explicit statistics on the amount of waste produced by furniture. Sorting analyses have estimated that around 1.7 million tons of furniture are disposed of annually in municipal bulky waste. In addition, there are quantities that are collected separately as waste wood or disposed of as commercial waste, chopped up with residual waste or disposed of by other means. It was determined that around 3.6 million tons of furniture are purchased annually in Germany and become waste after their use phase. Due to the high share of wood-based materials and various composite materials, the potential for increasing recycling of furniture is limited. The greatest challenge in the recycling of furniture is the ability to dismantle it. Recycling rates can be improved through standardized design criteria at EU level, which are negotiated with the manufacturers, as well as the introduction of an extended producer responsibility (e.g. as a staggered environmental fee).

Mattresses

In Germany, the market for sleeping accommodations is dominated by bed frames, slatted frames and classic support mattresses. Mainly PUR foam mattresses and innerspring mattresses are used. Latex and wool mattresses or mattresses made of other materials play a minor role. Domestic production covers only about half of the demand. There is an increasing trend from Anglo-American countries towards box-spring beds, in which the bed frame, upholstery and suspension are combined to form a single piece of furniture, similar to upholstered furniture.

The total demand for mattresses from the private, hospitality and medical sectors is estimated at around 80.7 million mattresses. In addition, many households have mattresses from former household members and guest mattresses. The average use phase of a mattress is 10 years.

Typically, mattresses from private households are disposed of with bulky waste. According to sorting analyses, bulky waste contains approximately 225,000 t/a of old mattresses. In addition, some retailers offer to take back old mattresses. In Germany, old mattresses are mainly used for energy recovery. Manual disassembly and resale of the raw materials contained is only carried out in one plant in Germany. Internationally, there are already examples of automated disassembly processes. The biggest obstacles to recycling old mattresses are the complex mattress design, the collection structure where moisture penetration cannot be ruled out, economic competition with energy recovery and insufficient sales markets for the recyclable materials.

Strengthening recycling can be helped by funding demonstration facilities, in which future opportunities and obstacles to mattress recycling can be assessed. By agreeing on a design for recycling and its widespread implementation, the foundations for high-quality recycling are laid. The introduction of extended producer responsibility can also be recommended for the mattress waste stream.

Carpets

Carpets include wall-to-wall carpeting, rugs and carpets for other applications (automobile sector, sports sector, etc.). The latter are not considered in this study. Carpets do not have their own waste code and are mainly disposed of via non-hazardous mixed construction and demolition waste (AS 17 09 04) or via bulky waste (AS 20 03 07). After a strong decline in sales around the turn of the millennium, the mass of carpets sold in Germany is about 200,000 t/a (carpeting and rugs). A large part of the carpeting is produced in the EU. Carpets account for about a quarter of the German flooring market and are subject to CE marking as construction products. Carpets consist of several tightly interwoven layers of different materials. The wear layer consists of dyed textile fibers, the intermediate layer stabilizes the fibers of the wear layer, the carpet backing is responsible for the overall stability of the carpet and often consists of plastics / latex and fillers. The overall share of renewable raw materials in carpet production is low.

In Germany, carpets are used for energy recovery. Since the insolvency of Polyamid 2000 in 2003, there has been no carpet recycling in Germany and there are only a few examples internationally. The challenges in recycling carpets are the tightly woven mixed materials, the technically challenging material sorting and the lack of recycling options. In addition, there is no collection system that allows for a clean, uniform and dry collection of carpets. Accordingly, the main need for carpets is for uniform design criteria that exclude mixed materials as far as possible and guarantee sorting and separation of the individual layers from each other. Furthermore, there is a need for research and development of recycling processes and demonstration facilities.

Artificial Turf

Artificial turf is mainly used in sports field construction. It is also used in playground construction, as carpeting in the trade fair and event sector, in private gardens, balconies or as green roofs. The majority of artificial turf pitches are owned by municipalities.

The turf carpet consists of a synthetic backing fabric onto which plastic fibers are tufted in small tufts. To fix the turf tufts, the underside of the backing is coated with latex or PU. The turf fibers are usually made of PE, and the backing fabric is made of PP. In fully and partially filled artificial

turf systems, a layer of quartz sand is used to stabilize the tufts and weigh down the carpet. This may be followed by a shock-absorbing layer of elastic granules. In the past, synthetic granules were mainly used. However, due to the planned ban on microplastics, either plant-based granules or granule-free systems have been used since 2020.

The real arising and recycling routes are largely unknown. Information is generally based on expert estimates. Because of the difficult traceability, whether a secure material recycling takes place depends heavily on the commitment of the sports field owner. There are only a few providers who can prove that the entire system has been fully recycled. The available plant capacities are currently below the annual volume of old artificial turf.

In order to promote recycling, the use of mono-material artificial turf should be tied to sports facility funding. Also, the tender for the artificial turf removal should include criteria for traceability.

Diapers

Diapers, feminine hygiene and incontinence products consist of superabsorbent polymer, cellulose fibers and other plastic parts (fleece liners, foils, rubber and adhesive tapes). Urine and feces make up more than half of the mass of diaper waste. The waste arising in Germany is estimated to be 1.5 million tons per year.

In Germany, diapers are mainly disposed of with residual waste and used in energy recovery. For some years now, recycling plants have been in operation in the Netherlands, Italy and Great Britain, which thermally sanitize separately collected diaper waste and recover superabsorbent polymer, cellulose and plastics for recycling. Feces and urine can then be treated in a sewage treatment plant.

The biggest problem for diaper recycling is the need for a separate collection. Since diaper waste is highly decentralized, a completely new and close-knit collection structure would have to be created for it. Therefore, the initiation and financial support of a separate collection system in a pilot municipality is recommended in order to estimate the required effort and the additional costs. Alternatively, separate collection can be implemented in high-volume facilities such as nursing homes and day-care centres for children.

End-of-Life Tires (ELT)

Tires consist of a large number of fundamentally inseparable components such as tread and casing. Around 800-900 different substances are used in tire production. In addition, the types of rubber used are highly resistant to many known solvents, bases and acids, which makes recycling very difficult. For this reason, the main recycling method is granulation of the rubber. The granules can be further processed into powders.

Waste Arising and Collection

According to industry information, the return of end-of-life tires (ELT) from end users to collection points and car repair shops works well. However, the annual amount of ELT and their disposal routes can currently not be tracked, as there are registration obligations only for waste disposal companies, but not for upstream or downstream activities. Based on the sales figures for new tires from the BVR, the GAVS (now wdk) calculates the potential amount of ELT and their disposal routes every year. According to GAVS statistics, the arising of ELT was around 571,000 tons in 2019 in Germany.

The German ELT disposal industry is currently in a critical situation. This is mainly due to very strict preventative limits for the content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in some of the established sales markets for tire recyclates, which caused uncertainty of the markets and

consumers, even in markets that are not affected by the regulation. This inhibits the growth of recycling and thus the willingness to invest in new products and processes overall. Furthermore, the industry is burdened by a sharp decline in energy recovery of old tires in cement works as well as a generally low price level on the primary raw material market.

The ELT disposal industry also criticizes a lack of redistribution of disposal charges raised from end consumers. Only about 25% of the contributions paid by consumers reach the disposal companies. Under the existing conditions, raising the gate fee by ELT recyclers increases the incentives for illegal disposal of ELT by some tire collectors.

In order to sustainably fund the collection and recycling of ELT and reduce illegal disposal by improving traceability, the introduction of an extended producer responsibility or fee-based system is recommended. By changing the market system, most of the collection and sorting problems can be solved. One problem that cannot be solved through this is that of demand for secondary raw materials or substitute fuels.

Preparation for reuse of ELT

The greatest potentials for expanding the recycling of ELT are in granule- and powder-based applications, road construction, and retreading (especially passenger cars).

In the passenger car sector, the share of retreaded tires in the tire market was well below one percent in 2018, while in the truck sector it was around 29%. According to industry information, there is capacity in Germany to expand the retreading of truck tires to 40%. Typically, suitable car tires are retreaded once, while truck tires are retreaded up to three times.

Due to competition from inexpensive new tires, demand for retreaded car tires is very low. To increase demand, the primary requirement is to improve the cost structure in retreading. Plant automation is of central importance in this respect. In addition, further development of materials and production technology is necessary to bring retreading up to the performance level of modern car tires. However, the combination of a lack of demand on one hand and necessary investments in materials and product development as well as process automation on the other hand represents a conflict that is difficult to overcome for medium-sized retreaders. Appropriate funding as well as research and development programs can provide support here.

The availability of suitable ELT is another factor limiting the expansion of retreading in the passenger car sector. Retreading companies often import a high proportion of their casings. There does not appear to be sufficient motivation in Germany to sort ELT accordingly. Existing sorting criteria should therefore be declared generally binding. In addition, a design change in the construction of new tires is necessary for increasing the share of retreadable tires. In cooperation with manufacturers, retreaders and recyclers, binding standards for a retreadable tire design should be developed, ideally at EU level.

Recycling

The use of tire recyclates in new tires is possible only to a very limited extent. The recyclates are therefore mainly used in the form of granules, for example as infill for artificial turf, in sports and playground mats and simple molded parts. The first secondary products based on rubber powders are currently being manufactured, some of which are already on a par with products made from primary raw materials. However, the complexity of such new developments, the relatively small niche markets and the persistently low price level of primary raw materials limit the quantitative importance of such approaches. A transfer of technology and knowledge between the tire manufacturing and the tire recycling industries would lead to a significant improvement in the quality and cost-effectiveness of material recycling and should therefore be promoted.

The previous PAH content limits are being revised in many areas. The introduction of binding measuring procedures based on Barrero-Moreno et al. (2018) would result in higher measured PAH contents than is the case using other currently permitted methods. Accordingly, tire recyclate could no longer be used in some applications or a significant reduction in the share of recyclate would be required. Even if the PAH regulations only cover part of the market for tire recyclates, the general uncertainty also dampens the demand in adjacent areas of application.

As part of the review of PAH limit values, the introduction of hazard-related migration and emission-based measurement methods instead of extraction-based content limit values should be implemented at EU level. According to the current state of research, tire recyclates and products made from them do not appear to pose a significant health risk to humans or the environment with regard to migration and the emission of hazardous substances.

One of the largest, so far hardly developed growth markets for the tire recyclates is their use in road construction. The rubber modification of bitumen leads to an improvement in individual performance parameters of roads and can also enable a reduction of the layer thickness. Based on the current state of knowledge, the use of scrap tire recyclates therefore appears to be economically sensible and due to current developments for lowering the paving temperatures of asphalt mean that it can be used without any significant risk to people or the environment. The primary requirement here is the development of regulations at the federal states level as a basis for taking such modified asphalts into account in tenders.

Used Textiles

Overall, it should be noted that there is no reliable data on the collection of used textiles. Based on the available information from various studies, the collection volume for 2018 is estimated at around 1.0 million tons and the collection rate at around 64 %.

44 % of used textiles are collected by commercial collectors, followed by non-profit collectors with 28.6 %. The municipal waste management authorities (öRE) collect 26.9 % of the quantity. Collection in the context of voluntary take-back plays a minor role with 0.5 %. Illegal collections hardly play a role today due to the lower market prices. Due to the expected negative changes in the quality of used textiles, it can be assumed that the price trend will continue downwards. In this respect, the extent of illegal collections will remain low.

The main collection system is the depot container with 96 %. The remaining collection systems (street and basket collection, take-back by retailers or collection via household waste bins) are insignificant with a total of 3.3 %.

It can be assumed that at least 50 % of the collected quantity is exported from Germany and sorted for the most part in Europe. According to the Textile Study 2020 of the bvse, approx. 62 % of the sorted quantity is sold as second-hand goods after preparation for reuse. The recycling of used textiles takes place mainly in other European and non-European countries. Around 14 % are processed into cleaning rags and 12 % into torn goods. Around 8 % of the sorted used textiles are used in energy recovery and around 4 % are disposed of.

Collection and sorting of used textiles

Various collection systems were evaluated with regard to the material-friendly collection and the collection potential of the system. Included were the collection at the recycling center, in clothing banks/ shops, the street and basket collection, the depot container collection with manual collection and with a hook lift system, the household collection via the duo bin and the online collection. As a result, the depot containers as manual collection together with the street and basket collection are the most balanced collection system in terms of quality and collection potential.

The various sorting systems were assessed in terms of costs, potential for preparation for reuse and recycling potential. Negative and partial sorting, full sorting and automatic sorting were considered. As a result, full sorting is the only sorting process that can add value to the collected used textiles in accordance with the waste hierarchy.

Recycling of used textiles

The resource conservation and environmental relief potential in the recycling of used textiles was evaluated along the five-stage waste hierarchy. The exact effects vary greatly depending on the material and processing. In general, it can be assumed that recycled fibers reduce water and energy consumption as well as CO₂ consumption in textile production.

By preparing them for reuse, the life cycle of textiles is extended and resources for the production of new textiles are saved. Since the textile industry is global, it does not matter whether second-hand goods are sold in Germany or in other sales markets.

If textiles are neither wearable nor marketable, various recycling processes are available for substituting primary raw materials. These used textiles are usually processed into industrial cleaning rags or torn into fibers. The textile fibers are thermally and acoustically insulating so that they can be used as fleece in many areas. The production of yarn from old textiles is an absolute exception today, as the old textile fibers do not meet the requirements for material purity and color composition. Many projects are working on this textile recycling process in order to meet market requirements. Chemical recycling processes can also be used for the recovery of used textiles. There are a large number of technologies for this which are currently being tested in research and pilot projects. There are only a few that are available on an industrial scale. Energy recovery is an option for used textiles that cannot be recycled. Disposal as the last step in the waste hierarchy is generally not an option for used textiles sorted in Germany, as there is access to energy recovery facilities.

Proposed measures and recommendations for action

In order to promote the preparation for reuse and the recycling of used textiles, the relevant topics for the development of recommendations for action were identified as the sensitization of consumers to sustainable consumption and the handling of textiles, as well as the involvement of manufacturers and retailers in consumer advice and the development of new business models.

The objectives for the development of the measures were to maintain the high level of separately collected quantities of used textiles, even if these will develop into a material stream requiring additional payment, to create transparency within the material stream and to promote high-quality recycling routes in Germany and Europe.

After evaluating all the proposed measures, it can be stated that overall the introduction of extended producer responsibility, despite the high administrative and organizational effort, has the greatest positive effects on the promotion of the textile circular economy and offers solutions for all identified issues. For this reason, the introduction of extended producer responsibility is recommended. Due to the long implementation horizon, the next steps suggested are:

1. Government resolution to introduce extended producer responsibility for textiles
2. Implementation of the measures to promote the consumption of sustainable products and the implementation of information and advisory obligations at all levels
3. Initiation of a stakeholder dialogue with a business game "Introduction of extended producer responsibility"

1 Einleitung

1.1 Vorstellung der untersuchten Abfallströme

§ 6 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) gibt die fünfstufige Hierarchie vor, nach der Abfälle vorrangig zu vermeiden sind, für die Wiederverwendung vorbereitet, recycelt, sonstig verwertet und nur als letztmögliche Option beseitigt werden sollen.

Für bestimmte Abfallströme existieren Regelungen über die erweiterte Herstellerverantwortung (bspw. für Verpackungen, Batterien, Elektro- und Elektronikaltgeräte, Altfahrzeuge). Diese Regelungen verpflichten die Hersteller, Erfassungssysteme für die Altprodukte einzurichten und bestimmte Erfassungs- und teilweise Verwertungsquoten zu erreichen. Es ist anzunehmen, dass derartige Regelungen auch für weitere Abfallströme geeignet sind.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden weitere, bislang nicht abfallstrombezogen geregelte Stoffströme hinsichtlich dieser Annahmen untersucht und bewertet. Es wurden Abfallströme ausgewählt, die mengenmäßig bedeutsam sind und bei denen zu vermuten ist, dass die gegenwärtigen Regelungen nicht ausreichen, um das in diesen Abfallströmen innewohnende Recyclingpotenzial auszuschöpfen.

Es handelt sich dabei um

- ▶ Sperrmüll,
- ▶ Matratzen,
- ▶ Möbel,
- ▶ Teppiche,
- ▶ Kunstrasen,
- ▶ Windeln,
- ▶ Altreifen und
- ▶ Alttextilien.

Teilweise überschneiden sich die einzelnen Abfallströme, da die Grenzen fließend sind, wie beispielsweise beim Sperrmüll und den Möbeln.

1.2 Allgemeines Vorgehen

Die einzelnen Abfallströme werden zunächst hinsichtlich der Praxis der Erfassung und Verwertung untersucht. Es sollen Hemmnisse einer ressourcenschonenden Abfallbewirtschaftung aufzeigt und Handlungsoptionen abgeleitet werden, um die Vermeidung, die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling dieser Abfallströme zu verbessern. In einem abschließenden Kapitel werden die Abfallströme miteinander verglichen und nach einem festgelegten Wertungsschema priorisiert.

1.3 Beurteilung der Maßnahmenvorschläge

Alle abgeleiteten Maßnahmen für die jeweiligen Abfallströme werden nach einheitlichen Kriterien bewertet.

1.3.1 Kriterien

- ▶ Bürokratischer Aufwand
- ▶ Rechtliche Aspekte
- ▶ Statistische Aspekte
- ▶ Organisatorischer Aufwand
- ▶ Umsetzungshorizont
- ▶ Verbindlichkeit
- ▶ Verbesserung der Erfassung
- ▶ Beitrag zur Finanzierung des Recyclings
- ▶ Stärkung des Recyclings
- ▶ Akzeptanz
- ▶ Öffentlichkeitsarbeit

Die Kriterien werden nachfolgend kurz vorgestellt.

1.3.1.1 Bürokratischer Aufwand

Das Einführen von neuen Verwertungswegen kann aufgrund der Einbindung verschiedener Stellen und Akteure, der Organisation von Planungen und Abläufen sowie des Einhaltens verschiedener Anforderungen und Nachweisverpflichtungen zeit- und kostenaufwändig sein.

Mit diesem Kriterium wird abgeschätzt, wie hoch der bürokratische Aufwand ist, eine Maßnahme dauerhaft durchzuführen.

Tabelle 1 Bewertung des Kriteriums „Bürokratischer Aufwand“

1	3	5
Kein zusätzlicher bürokratischer Aufwand erforderlich.	Der zusätzliche bürokratische Aufwand lässt sich in bestehende Formalitäten eingliedern oder kann von beteiligten Akteuren mit verhältnismäßigem Aufwand ausgeführt werden.	Maßnahme führt bei vielen beteiligten Akteuren zu einem unzumutbaren bürokratischen Aufwand und damit verbundenen unzumutbaren Mehrkosten.

1.3.1.2 Rechtliche Aspekte

Bei der Einführung neuer Verwertungswege wie beispielsweise neuer Getrenntsammlersysteme oder Abgabenmodellen bedarf es einer gesetzlichen Grundlage, für freiwillige Maßnahmen hingegen ist dies nicht nötig. Mit diesem Kriterium wird bewertet, inwieweit der rechtliche Rahmen zur Umsetzung einer Maßnahme vorhanden ist bzw. geschaffen oder verändert werden muss.

Tabelle 2 Bewertung des Kriteriums „Rechtliche Aspekte“

1	3	5
Für die Umsetzung der Maßnahme sind keine rechtlichen Änderungen/Ergänzungen erforderlich.	Der rechtliche Rahmen (bspw. Verordnungsermächtigung für den Bund) ist bereits vorhanden.	Es fehlt jeglicher gesetzliche Rahmen zur Umsetzung der Maßnahme.

1.3.1.3 Statistische Aspekte

Bei den untersuchten Abfallströmen ist nicht immer eine statistische Erfassung der Abfallmengen oder der Verwertungswege gegeben. Mithilfe des Kriteriums statistische Aspekte wird beurteilt, ob die Maßnahme dazu beitragen kann, dies zu verbessern. Ist die statische Erfassung eines Abfallstroms bereits voll umfänglich gegeben, wird das Kriterium aus der Wertung genommen.

Tabelle 3 Bewertung des Kriteriums „Statistische Aspekte“

1	3	5
Die Maßnahme stellt die statistische Erfassung der Abfallströme vollkommen sicher.	Die Maßnahme verbessert die statistische Erfassung der Abfallströme.	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Verbesserung der statistischen Erfassung der Abfallströme, obwohl diese mangelhaft ist.

1.3.1.4 Organisatorischer Aufwand

Während der bürokratische Aufwand beschreibt, wie aufwändig es ist, eine Maßnahme durchzuführen, bewertet dieses Kriterium den Aufwand bei der Einführung einer Maßnahme.

Tabelle 4 Bewertung des Kriteriums „Organisatorischer Aufwand“

1	3	5
Der organisatorische Aufwand für die Einführung der Maßnahme ist gering.	Es gibt einen mittleren organisatorischen Aufwand für die Einführung der Maßnahme. Es ist eine konstruktive und zielgerichtete Kommunikation zwischen mehreren Akteuren erforderlich.	Der organisatorische Aufwand für die Einführung der Maßnahme ist hoch. Die erforderliche Einigung verschiedener Akteure ist schwer zu erreichen.

1.3.1.5 Umsetzungshorizont

Manche Maßnahmen sind kurzfristig einführ- bzw. umsetzbar, wohingegen andere Maßnahmen längere Vorlaufzeiten für Vorbereitung oder Planung benötigen.

Tabelle 5 Bewertung des Kriteriums „Umsetzungshorizont“

1	3	5
Kurzfristig (1-2 Jahre)	Mittelfristig (3-5 Jahre)	Langfristig (über 5 Jahre)

1.3.1.6 Verbindlichkeit

Maßnahmen, die verbindlich umzusetzen sind, können eine höhere Wirkung erzielen als unverbindliche Maßnahmen, die nur von einzelnen Akteuren umgesetzt werden.

Tabelle 6 Bewertung des Kriteriums „Verbindlichkeit“

1	3	5
Hochverbindlich (bspw. aufgrund gesetzlicher Grundlage)	Verbindlich (bspw. freiwillige Selbstverpflichtungen)	Unverbindlich (bspw. basierend auf individuellen Entscheidungen der Akteure)

1.3.1.7 Verbesserung der Erfassung

Eine Steigerung der Sammelmenge erhöht das Ressourcenschonungs- und Umweltentlastungspotenzial. Mit dem Kriterium wird bewertet, inwieweit eine Maßnahme die Erfassung des Abfallstroms verbessert.

Tabelle 7 Bewertung des Kriteriums „Verbesserung der Erfassung“

1	3	5
Die Maßnahme verbessert die Erfassung des Abfallstroms.	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms.	Die Maßnahme verschlechtert die Erfassung des Abfallstroms.

1.3.1.8 Beitrag zur Finanzierung des Recyclings

Neben organisatorischen Hemmnissen und Akzeptanzproblemen stehen der Umsetzung einer stofflichen Verwertung häufig finanzielle Nachteile gegenüber einer energetischen Verwertung entgegen.

Mit dem Kriterium wird bewertet, inwieweit eine Maßnahme einen Beitrag zur Finanzierung der stofflichen Verwertung leisten kann.

Tabelle 8 Bewertung des Kriteriums „Beitrag zur Finanzierung des Recyclings“

1	3	5
Die Maßnahme sichert die Finanzierung einer stofflichen Verwertung.	Die Maßnahme sichert die Finanzierung einer stofflichen Verwertung zu einem überwiegenden Teil oder hat einen positiven Effekt auf die Wirtschaftlichkeit von Recyclingverfahren.	Die Maßnahme trägt nicht zur Finanzierung der stofflichen Verwertung bei. Die Finanzierung muss anderweitig gesichert werden.

1.3.1.9 Stärkung des Recyclings

Dieses Kriterium bildet die ökologische Wirkung einer Maßnahme ab und ist das wichtigste Kriterium in Bezug zu den Zielen dieser Studie.

Tabelle 9 Bewertung des Kriteriums „Stärkung des Recyclings“

1	3	5
Die Maßnahme bewirkt eine Steigerung der stofflichen Verwertung des gesamten Abfallstroms.	Die Maßnahme schafft bessere Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung oder wirkt sich nur auf die stoffliche Verwertung eines Teils des Abfallstroms aus.	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Steigerung der stofflichen Verwertung.

1.3.1.10 Akzeptanz

Um eine Maßnahme einzuführen und langfristig umzusetzen, bedarf es der Akzeptanz der jeweiligen betroffenen Akteure. Je mehr Akteure eine Maßnahme akzeptieren und keine intensive Kommunikation zur Überzeugung geleistet werden muss, desto besser kann eine Maßnahme funktionieren und auch beispielsweise Startschwierigkeiten in der Einführung überwinden.

Tabelle 10 Bewertung des Kriteriums „Akzeptanz der Akteure“

1	3	5
Maßnahme wird seitens einer Mehrheit der Akteure akzeptiert	Maßnahme wird von einem Teil der genannten Akteure akzeptiert.	Maßnahme wird seitens einer Minderheit der Akteure akzeptiert.

1.3.1.11 Öffentlichkeitsarbeit

Dieses Kriterium geht mit dem Kriterium Akzeptanz einher und ist vor allem bei Maßnahmen von Bedeutung, von denen Verbraucher*innen betroffen sind und Maßnahmen umsetzen sollen.

Tabelle 11 Bewertung des Kriteriums „Öffentlichkeitsarbeit“

1	3	5
Es wird keine oder kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit zur Umsetzung der Maßnahme benötigt.	Die Maßnahme erfordert einen mittleren Aufwand für Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit.	Die Maßnahme erfordert eine intensive Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit.

1.3.2 Wertung der Kriterien

Für jedes Kriterium werden nach den Definitionen der Tabelle 1 bis Tabelle 11 Bewertungspunkte von 1 bis 5 verteilt¹. Aus allen Kriterien wird ein gewichteter Mittelwert berechnet. Je kleiner das Ergebnis, desto besser ist die praktische Umsetzbarkeit und die Wirkung einer Maßnahme.

Aufgrund der ökologischen Relevanz wird das Kriterium **Stärkung des Recyclings** höher als die anderen Kriterien bewertet und geht mit **dreifachem Gewicht** in die Wertung ein. Die sonstigen Kriterien werden einfach gewertet.

Es gibt grundsätzlich keine K.O.-Kriterien, die Maßnahmen werden als Ganzes betrachtet.

¹ Zwischenbewertungen der oben genannten Definitionen sind möglich.

1.3.3 Adressaten und Fazit

Abschließend wird bei der Bewertung der Maßnahmen angegeben, an welche Adressaten sich eine Maßnahme wendet. In einem Fazit werden die Maßnahmen anhand der vorherigen Bewertung jeweils zusammengefasst und eingeordnet. Wird in der Bewertung festgestellt, dass mehrere Kriterien darauf hindeuten, dass eine Maßnahme nicht zielführend ist, wird dies im Fazit berücksichtigt.

2 Sperrmüll

2.1 Allgemeines

Bei Sperrmüll, auch als Sperrabfall oder sperrige Abfälle bezeichnet, handelt es sich um Abfälle, welche in privaten Haushalten und im Gewerbe anfallen und aufgrund ihrer Größe nicht über den allgemeinen Restabfall entsorgt werden können. Beispiele hierfür sind Möbel, Spielzeug, Sportartikel, Einrichtungsgegenstände und ähnliches, jedoch keine Elektro- oder Elektronikgeräte, da diese gemäß Elektro- und Elektronikgerätegesetz einer separaten Erfassung zuzuführen sind. Aufgrund der großen Vielfalt der Produkte besteht Sperrmüll aus unterschiedlichen Materialien, wie Holz, Metall, Kunststoff oder Glas und liegt häufig als Verbund vor. Für die Abschätzung zum Aufkommen dieses Abfallstroms ist eine produktseitige Betrachtung daher nicht zielführend.

2.2 Erfassung

2.2.1 Erfassungssysteme

Sperrmüll wird überwiegend durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) gesammelt.² Je nach örE unterscheiden sich die Erfassungs- bzw. Sammelsysteme.

Die örE wurden in einer bundesweiten Umfrage³ zur Erfassung von Sperrmüll befragt, ob die Sammlung selbst oder durch Dritte durchgeführt wird und wenn es im Holsystem eine Tandemabfuhr gibt, welche Abfälle abgetrennt werden.

Für die folgenden Darstellungen bilden die Rückläufe von 220 örE die Datenbasis. Insgesamt wird der Abfall von rund 40,7 Mio. Einwohnern durch die befragten örE entsorgt (rund 49 % der deutschen Bevölkerung).

Die örE konnten zur Angabe ihrer Erfassungssysteme unter folgenden Auswahlmöglichkeiten wählen (Mehrfachauswahl möglich):

- ▶ gebührenfreie Abholung an bestimmten Tagen im Jahr
- ▶ gebührenfreie Abholung an Wunschterminen/zugeteilten Terminen
- ▶ gebührenpflichtige Abholung an bestimmten Tagen
- ▶ gebührenpflichtige Abholung an Wunschterminen/zugeteilten Terminen
- ▶ gebührenfreie Abgabe am Wertstoffhof
- ▶ gebührenpflichtige Abgabe am Wertstoffhof

In einem erklärenden Satz wurde erläutert, dass gebührenfrei hier bedeutet, dass für die Leistung keine zusätzlichen Gebühren erhoben werden, da dies bereits über eine Grundgebühr gedeckt ist. Da bei manchen örE diese gebührenfreie Annahme an eine Mengenbeschränkung

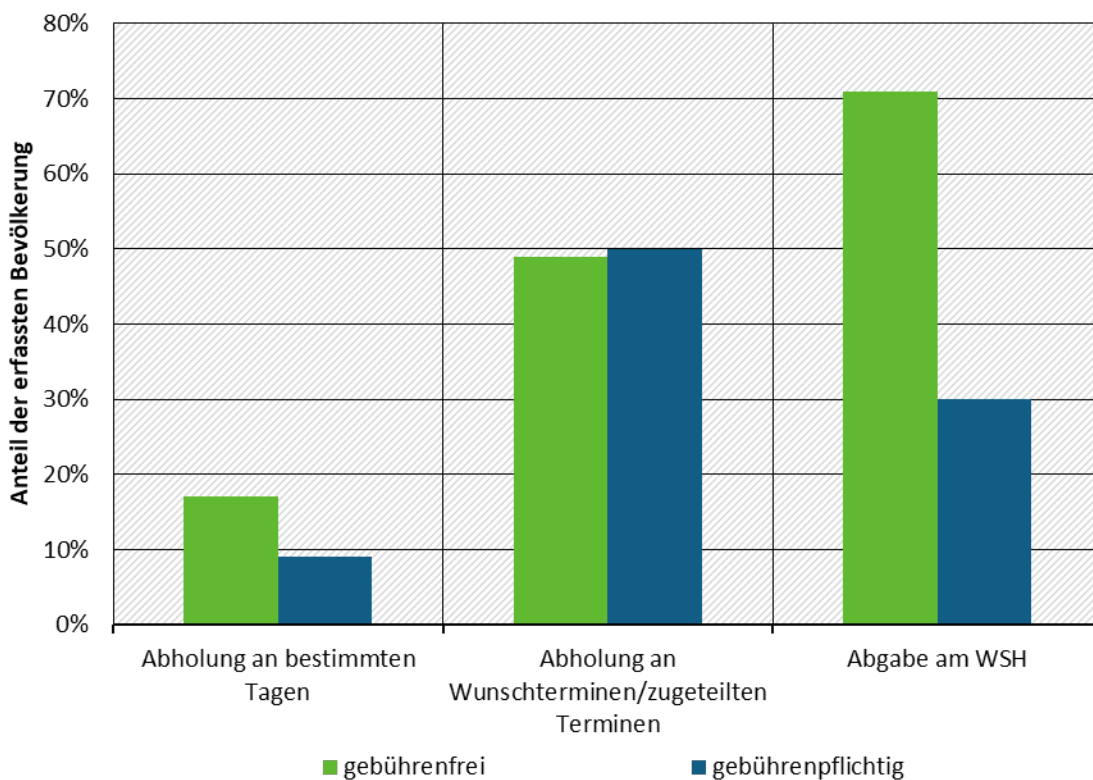
² Nach einem Urteil des Bundesverwaltungsgerichts im Februar 2018 handelt es sich bei Sperrmüll im Gegensatz zu Restabfall allerdings nicht um gemischte Siedlungsabfälle und damit überlassungspflichtige Abfälle im Sinne des KrWG, so dass diese auch gewerblicher oder gemeinnütziger Sammlungen erfasst werden können. (<https://www.bverwg.de/de/230218U7C9.16.0>) Welchen Einfluss das Urteil auf die bisherigen Entsorgungsstrukturen hat, kann noch nicht abgeschätzt werden.

³ Umfrage: „Evaluierung der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft“ vom 02.03.–03.04.2020. Die detaillierten Fragen können Anhang C.1 entnommen werden.

gekoppelt ist, hatten die örE die Möglichkeit, jeweils in Ergänzungsfeldern die begrenzende Menge anzugeben.

Die meisten örE bieten für die Entsorgung von Sperrmüll eine Kombination von Hol- und Bringsystem an (154 örE, betrifft 85 % der erfassten Bevölkerung). 55 örE bieten ausschließlich ein Holsystem an (betrifft 11 % der erfassten Bevölkerung), neun örE ausschließlich ein Bringsystem in Form eines Wertstoffhofs (betrifft 4 % der erfassten Bevölkerung). Am häufigsten werden die gebührenfreie Abholung an Wunschterminen/zugeteilten Terminen und gebührenfreie Abgabe am Wertstoffhof von den örE angeboten:

Abbildung 1 Erfassung von Sperrmüll durch den örE, hier bezogen auf die in der Umfrage erfassten Bevölkerung



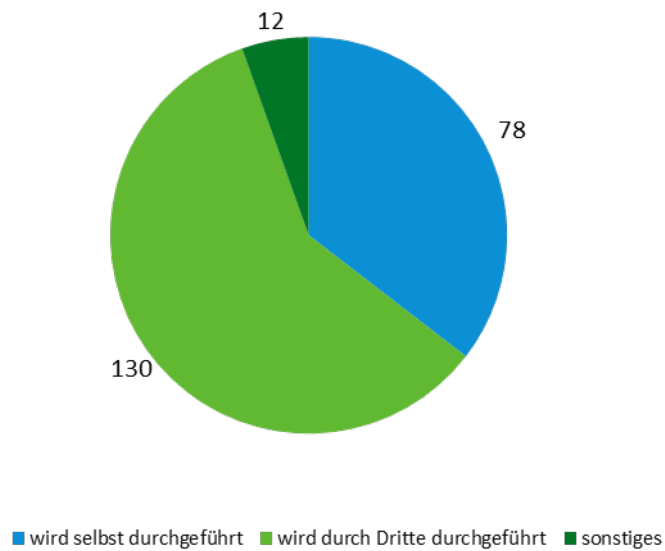
Quelle: eigene Darstellung, INTECUS

Die Gebührenmodelle unterscheiden sich je nach örE. Bei 99 örE (betrifft 36 % der erfassten Bevölkerung) ist die Sperrmüllentsorgung ausschließlich gebührenfrei, bei 38 örE (betrifft 10 % der erfassten Bevölkerung) werden immer Gebühren fällig, unabhängig, ob der Sperrmüll abgeholt oder am Wertstoffhof abgegeben wird.

Bei den meisten örE ist eine Entsorgungsmöglichkeit (Abholung oder Abgabe am Wertstoffhof) durch die Grundgebühr gedeckt und ggf. ein zusätzlicher Service gebührenpflichtig. Bei einer Überschreitung eines bestimmten Volumens/einer bestimmten Menge werden von den örE teilweise Gebühren erhoben.

Auf die Frage, von wem die Sammlung durchgeführt wird, geben 59 % der befragten örE an, dass Dritte hierfür beauftragt sind. 5 % der örE (12 örE) haben mehrere kommunale/private Leistungserbringer wie Tochtergesellschaften, eigene, Dritte oder Unterauftragnehmer für die Sammlung und/oder Annahme auf dem Wertstoffhof beauftragt.

Abbildung 2 Durchführung der Sammlung (Anzahl der örE)



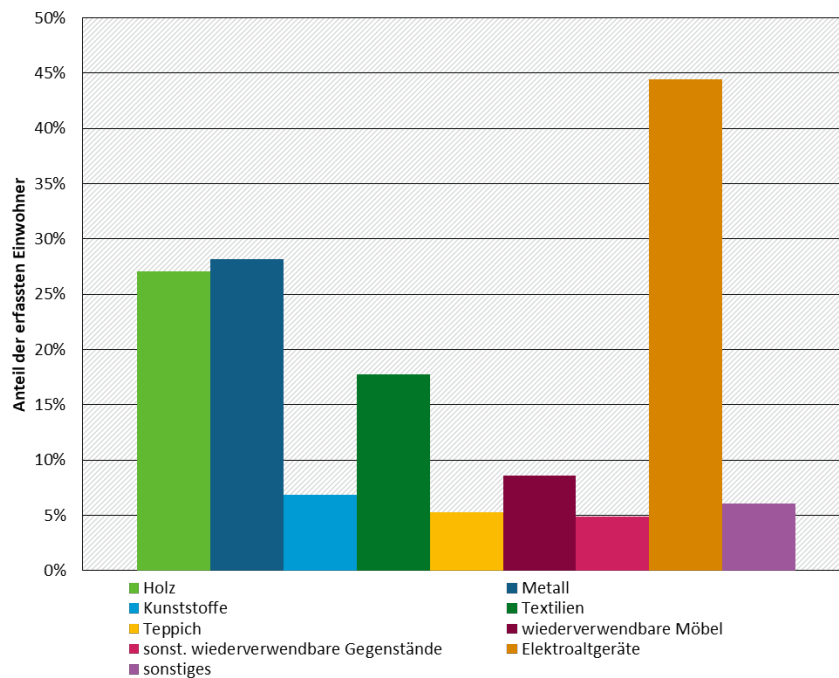
Quelle: eigene Darstellung, INTECUS

Tandemabfuhr

Rund die Hälfte (107 örE, betrifft 57 % der erfassten Bevölkerung) gibt an, eine Tandemabfuhr durchzuführen, das heißt, bereits bei der Abholung des Sperrmülls eine Abtrennung von einzelnen Bestandteilen vorzunehmen, meist unter der Verwendung mehrerer Fahrzeuge.

Bei der Tandemabfuhr werden vor allem Holz, Metalle und Elektro- und Elektronikaltgeräte abgetrennt. Kunststoffe, Teppiche und sonstige Stoffströme wie wiederverwendbare Möbel oder andere wiederverwendbare Gegenstände werden kaum separiert.

Abbildung 3 Durch die Tandemabfuhr separierte Abfallströme



Die in der Abbildung gezeigten Prozentzahlen beziehen sich auf die Gesamtzahl der in der Umfrage erfassten Bevölkerung von 40,7 Mio. Quelle: eigene Darstellung, INTECUS

Abschließend sollten die öRE angeben, welche Mengen jährlich über die Tandemabfuhr gesammelt werden und wie die prozentuale Verteilung der einzelnen abgetrennten Abfallströme ist. Hier konnten die öRE Schätzungen eintragen, da erfahrungsgemäß nicht alle öRE die Mengen der Tandemabfuhr und der einzelnen Abfallströme getrennt erheben. Bei den Mengen gehen die Angaben weit auseinander, als Minimalwert wurde von einem öRE 18 t/a angegeben, als Maximalwert von einem anderen öRE 45.000 t. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass von den öRE die Gesamtmasse des jährlich eingesammelten Sperrmülls und nicht nur die Menge der bei der Tandemabfuhr erfassten Abfallströme angegeben wurde. Im Median werden im Jahr rund 2.450 t durch die Tandemabfuhr gesammelt. Bezüglich der prozentualen Verteilung konnten nur wenige öRE konkrete Zahlen oder Schätzungen abgeben, so dass eine Auswertung nicht zielführend ist.

Weniger als 20 % der öRE führen nach der Sperrmüllsammlung noch eine Nachsortierung durch. In einer solchen Nachsortierung werden vorrangig Metalle, in vielen Fällen auch Altholz und in wenigen Fällen (Hart-) Kunststoffe aussortiert (VKU, 2020).

Viele öRE unterstützen die Wiederverwendung von noch gebrauchsfähigen Produkten, indem sie selbst oder in Kooperation mit Gebrauchtwarenhäusern, Kleiderkammern, dem Roten Kreuz oder ähnlichen Organisationen Gebrauchtwaren der Wiederverwendung zuführen. Häufig weisen die öRE in ihren Internetauftritten auf regionale Tausch- und Verschenkbörsen hin, auf denen Bürgerinnen und Bürger ihre noch verwendbaren Gegenstände anbieten können. In eigenen bzw. unterstützten Werkstätten werden Altwaren der Vorbereitung zur Wiederverwendung unterzogen. Laut der Mitgliederumfrage des Verband Kommunalen Unternehmen e.V. bieten ein Viertel der öRE eine Gebrauchtwarenbörse oder einen Gebrauchtwarenmarkt an, ca. 40 % betreiben einen Online-Verschenkmarkt in Eigenregie oder in Kooperation (VKU, 2020).

Sperrmüll aus dem Gewerbe

Laut § 3, Absatz 1 der Gewerbeabfallverordnung sind Erzeuger und Besitzer von Sperrmüll aus dem Gewerbe verpflichtet, diesen nach den Materialien Papier, Glas, Kunststoffe, Metalle, Holz und Textilien getrennt zu sammeln oder einer Vorbehandlung, das heißt einer Materialsortierung, zuzuführen, wenn die Getrenntsammlung technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht zumutbar ist. Die Pflicht zur Vorbehandlung entfällt, wenn die Kosten für die Behandlung der Gemische und die anschließende Verwertung der Abfälle außer Verhältnis zu den Kosten der Verwertung stehen, für die keine Vorbehandlung erforderlich ist. Die gewerblichen Siedlungsabfälle sind vorrangig der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zuzuführen. Wenn dies nicht möglich ist, soll eine ordnungsgemäße, schadlose und hochwertige Verwertung erfolgen, wobei es sich in den meisten Fällen um eine energetische Verwertung handelt (GewAbfV, 2017).

Es steht dem gewerblichen Abfallbesitzer frei, seine Abfälle selbst zu verwerten oder einen Entsorger zu beauftragen. Viele öRE bieten die Sperrmüllabholung bzw. -annahme gebührenpflichtig auch für Gewerbetreibende*innen an. Wird gewerblicher Sperrmüll bei einem öRE entsorgt, wird der Sperrmüll zusammen mit dem kommunalen Sperrmüll verwertet, für den keine Pflicht zur Vorbehandlung gemischter Abfallströme besteht und der daher in vielen Fällen direkt einer energetischen Verwertung zugeführt wird.

2.2.2 Abfallstatistik/ Erfassungsmengen

In der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (AVV) hat Sperrmüll den eigenen Abfallschlüssel 20 03 07 ("Sperrmüll").

Zur Beurteilung des Aufkommens wurden die Fachserie 19, Reihe 1 des Statistischen Bundesamtes und die Statistiken der Siedlungsabfallbilanzen der Bundesländer ausgewertet.

2.2.2.1 Statistiken des Statistischen Bundesamtes

Das einwohnerspezifische Sperrmüllaufkommen liegt bei ca. 30 kg/(E*a) und ist in den letzten Jahren leicht angestiegen. In Tabelle 12 ist das Gesamtaufkommen von Sperrmüll in den Entsorgungsanlagen in Deutschland von 2013 bis 2017 aufgeführt.

Tabelle 12 Aufkommen von Sperrmüll in Entsorgungsanlagen 2013–2017

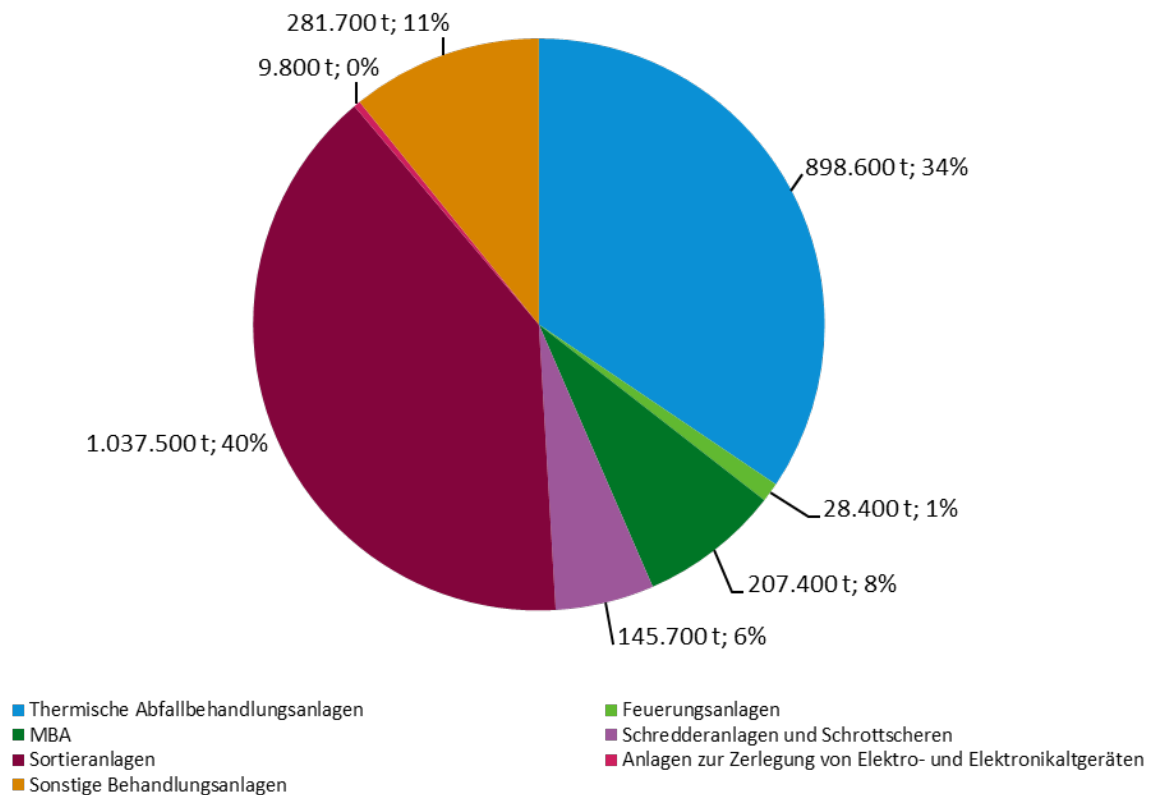
Jahr	Entsorgungsanlagen insgesamt Anzahl	Input (in 1.000 t)			
		insgesamt	Davon		Angeliefert aus dem
			Im eigenen Betrieb erzeugte Abfälle	Inland	Ausland
2013	477	2.486,5	1,8	2.484,6	0,1
2014	508	2.475,2	0,9	2.474,1	0,1
2015	519	2.494,7	10,5	2.484,1	0,1
2016	520	2.547,5	13,2	2.527,4	6,9
2017	522	2.610,1	22,8	2.585,2	2,1

Quelle: DESTATIS 2015-2019

Während in den Jahren 2013–2015 der Input in die Behandlungsanlagen konstant war, ist seit dem Jahr 2016 und 2017 eine Steigerung zu erkennen. Auch die behandelten Sperrmüllmengen aus dem Ausland sind geringfügig gestiegen.

In Abbildung 4 sind für das Jahr 2017 die Anteile der verschiedenen Abfallbehandlungsanlagen dargestellt, in denen der Sperrmüll behandelt wurde.

Abbildung 4 Input von Sperrmüll in Behandlungsanlagen 2017

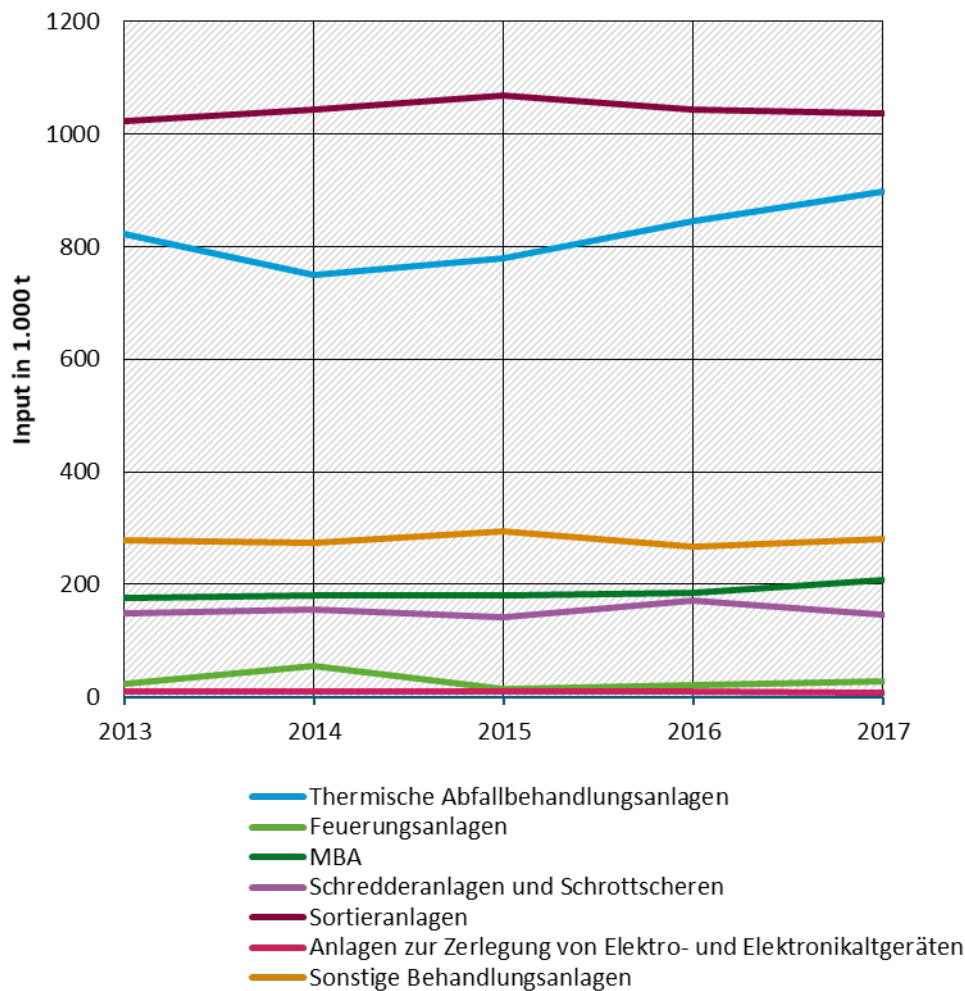


Quelle: eigene Darstellung, INTECUS, mit Daten aus (DESTATIS 2019c)

Der Sperrmüll wird dementsprechend überwiegend thermisch verwertet oder in Sortieranlagen behandelt. Der Anteil an Sperrmüll, welcher aus dem Ausland stammt, wird ausschließlich thermisch verwertet.

In Abbildung 5 ist der Input von Sperrmüll mit der Abfallschlüsselnummer 20 03 07 in den Behandlungsanlagen im Laufe der Jahre dargestellt.

Abbildung 5 Input in die Abfallbehandlungsanlagen 2013–2017



Quelle: eigene Darstellung, INTECUS mit Daten aus (DESTATIS 2015-2019)

Wie in der Abbildung zu sehen ist, ist die Menge des Inputs in die jeweiligen Anlagenarten über die Jahre konstant, nur bei den thermischen Abfallbehandlungsanlagen gibt es eine steigende Tendenz.

Seit dem 15. August 2018 fallen durch die Öffnung des Anwendungsbereichs auf alle Elektro- und Elektronikgeräte auch vermehrt Produkte unter das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) und sind diesem Entsorgungsregime zuzuordnen, welche zuvor eher dem Sperrmüll zugeordnet waren. Beispiele hierfür sind Möbel mit festverbauten Leuchten oder elektrisch verstellbare Sitzmöbel. Aufgrund der Änderung des ElektroG kann die Gesamtmenge des Inputs an Sperrmüll in die Behandlungsanlagen zurückgehen. Im Zuge dessen wird vermutlich der Outputstrom von Sperrmüll aus den Anlagen zur Zerlegung von Elektro- und Elektronikaltgeräten steigen. Statistiken, welche diese Vermutung belegen, liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht vor.

2.2.2.2 Statistiken der Länder

Es wurden die Abfallsiedlungsbilanzen der Bundesländer für das Jahr 2017 ausgewertet. In den meisten Bilanzen wurde der Behandlungsweg mit ausgewiesen.

Tabelle 13 Sperrmüllaufkommen und Behandlung der Bundesländer 2017

Bundesland	Sperrmüll- aufkommen insgesamt	stoffliche Verwertung	sonstige Behandlung	mechanisch- biologische Behandlung	thermische Behandlung	Verwertung auf Deponie	Sperrmüll- Aufkommen pro Kopf	getrennt gesammeltes Altholz	Altholz- Aufkommen pro Kopf
	[1.000 t]						[kg/(E*a)]	[1.000 t]	[kg/(E*a)]
Baden- Württemberg	223,1	74,2	1,2		147,8		20,0	271,0	25,0
Bayern	215,4				überwiegend thermisch		16,6	306,4	23,6
Berlin	65,9	3,6			62,4		18,2	59,4	16,5
Brandenburg	86,0						35,0	10,7	4,3
Bremen	22,4						39,6		
Hamburg	35,7						19,6	30,1	16,5
Hessen	171,5	43,2		21,5	106,4	0,3	27,0	83,4	13,0
Mecklenburg- Vorpommern	74,5						46,0	1,5	1,0
Niedersachsen	267,9						34,0		
Nordrhein- Westfalen	659,6		29,1	312,5 ⁴	318,0		36,8	211,1	12,0
Rheinland- Pfalz	127,6		50,8		76,8		31,0	92,7	22,5
Saarland	46,3						46,6	11,7	11,7
Sachsen	111,3		75,5	15,5	20,3		27,0	28,7	7,0

⁴ Mechanische und mechanisch-biologische Abfallbehandlung

Bundesland	Sperrmüll- aufkommen insgesamt	stoffliche Verwertung	sonstige Behandlung	mechanisch- biologische Behandlung	thermische Behandlung	Verwertung auf Deponie	Sperrmüll- Aufkommen pro Kopf	getrennt gesammeltes Altholz	Altholz- Aufkommen pro Kopf
	[1.000 t]						[kg/(E*a)]	[1.000 t]	[kg/(E*a)]
Sachsen- Anhalt	65,3	7,9	18,1		39,3		29,3	25,4	11,4
Schleswig- Holstein	98,2	63,2		16,6	18,4		41,6	38,6	13,4
Thüringen	84,6		16,0		43,0	26,0 ⁵	39,0	8,6	4,0
Gesamt	2.355,3						28,7	1.179,3	14,3

Quelle: eigene Zusammenstellung mit Daten der Abfallsiedlungsbilanzen der Bundesländer von 2017, gerundete Werte

⁵ Beseitigung auf der Deponie

Insgesamt werden 2.355.300 t Sperrmüll aus dem kommunalen Bereich in den Bilanzen ausgewiesen und somit ca. 250.000 t weniger als laut DESTATIS (2019) in den Behandlungsanlagen eingesetzt wird. Sonstige Herkunftsbereiche sind beispielsweise das Gewerbe oder die Entsorgung öffentlicher Einrichtungen.

Das Pro-Kopf-Aufkommen an Sperrmüll liegt zwischen 16,6 kg/(E*a) (Bayern) und 46,6 kg/(E*a) im Saarland. Gewichtet anhand der Einwohnerzahl der Bundesländer ergibt sich ein mittleres Pro-Kopf-Aufkommen von 28,2 kg/(E*a) Sperrmüll.

Zahlreiche öRE erfassen Altholz bei der Sperrmüllsammlung getrennt. Die im Jahr 2017 getrennt von Sperrmüll erfasste Altholzmenge belief sich auf 1.191.910 t (14,4 kg/(E*a)). Lediglich Bremen und Niedersachsen weisen in den Abfallbilanzen keine getrennt erfassten Altholzmengen aus. Zudem wird in einigen öRE der Sperrmüll zusätzlich von Metallen entfrachtet. Die Masse des auf diesem Wege gewonnenen Metalls wird in den Abfallbilanzen allerdings nicht separat ausgewiesen.

2.3 Verwertung von Sperrmüll

2.3.1 Zusammensetzung

Tabelle 14 zeigt die durchschnittliche Zusammensetzung von Sperrmüll. Den größten Anteil machen Möbel mit 20,6 kg/(E*a) aus, gefolgt von Matratzen und Bodenbelägen (jeweils 2,7 kg/(E*a)). Werden die Materialströme unabhängig von ihrer Herkunft betrachtet, hat Holz mit knapp 50 % den bedeutendsten Anteil. Bei verschiedenen Sortieranalysen (je nach öRE und Erfassungssystem) liegt der Holzanteil bei ca. 40-60 %. Den nächstgrößten Anteil nehmen textile Verbunde, in Form von Polstermöbeln, Matratzen und Teppichen ein, die zusammen ca. 30 % der Sperrmüllmasse ausmachen. Weitere Materialien, wie Metalle, Kunststoffe und Sonstige Abfälle haben mit jeweils unter 10 % eine untergeordnete Rolle (Dornbusch et al., 2020; INTECUS (div.); Hahnenkamp u. Tuminski 2017).

Tabelle 14 Zusammensetzung von Sperrmüll in Deutschland

Stoffgruppe	Gew.-%	kg/(E*a)
Polster- und Verbundmöbel	22,2	7,5
Holzmöbel	38,5	13,1
Teppiche und andere Bodenbeläge	8,0	2,7
Kunststoffe	4,7	1,6
Metall- und Metallverbunde	6,9	2,4
Matratzen	8,1	2,7
Sonstiges Holz	6,8	2,3
Sonstiger Sperrmüll	2,1	0,7
Sonstige Abfälle	2,6	0,9
Summe	100,0	33,9

Quelle: Dornbusch et al., 2020

2.3.2 Verwertungswege

Sperrmüll wird, wie in Kapitel 2.2.2 aufgeführt, überwiegend in thermischen Anlagen energetisch verwertet (34 %) oder in Sortieranlagen behandelt (40 %). Einfluss auf den Entsorgungsweg hat dabei oft nicht die Qualität des Sperrmülls, sondern die langfristigen Entsorgungsverträge der öRE bzw. Kostenaspekte.

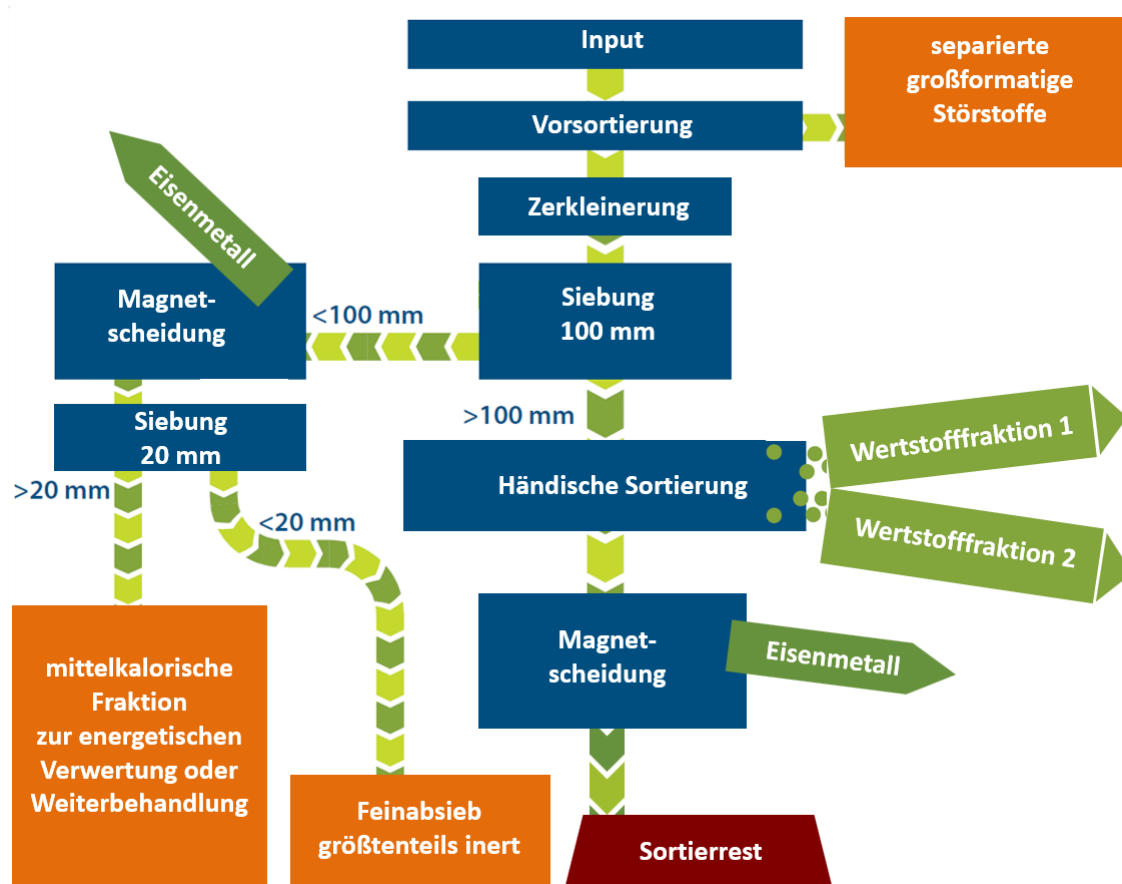
Sortieranlagen können nur betrieben werden, wenn ein Minstdurchsatz von 40.000 t/a gegeben ist und eine Zuzahlung aus Entsorgungsentgelten erfolgt, denn die Erlöse aus dem Verkauf der Sekundärrohstoffe können die Investitions- und Betriebskosten nicht decken (Hahnenkamp u. Tuminski 2017). Eine Sortieranlage kann dabei die folgenden Schritte enthalten:

- ▶ Vorsortierung/Baggersortierung von Großteilen (z.B. Teppiche, Matratzen, Verbunde)
- ▶ Zerkleinerung
- ▶ Magnetscheidung
- ▶ Siebung
- ▶ Händische Sortierung von Wertstofffraktionen

In den Sortieranlagen werden primär werthaltige Fraktionen separiert, wie Metalle und sortenreine Kunststoffteile. Diese werden überwiegend stofflich verwertet. Dennoch liegt die prozentuale Recyclingquote von gewerblichem Sperrmüll in Sortieranlagen aufgrund des geringen Anteils der werthaltigen Fraktionen häufig nur im einstelligen Bereich.

Die Sortierreste werden thermischen Abfallbehandlungsanlagen angedient, die in Deutschland in der Regel das Energieeffizienzkriterium für das R1-Verwertungsverfahren nach Anlage 2 KrWG erfüllen und deswegen als Verwertungsanlagen gelten. Aus hochkalorischen Fraktionen, wie beispielsweise Holz und textilen Verbunden, können Ersatzbrennstoffe hergestellt werden. Abbildung 6 zeigt schematisch, wie eine Sperrmüllsortierung aussehen kann.

Abbildung 6 Schema für einen beispielhaften Sperrmüll-Sortierprozess



Quelle: eigene Darstellung, Bilitewski et al., 2018

Im Folgenden wird auf mengenmäßig bedeutende Materialien im Sperrmüll genauer eingegangen, die sowohl in Möbeln als auch in weiteren sperrigen Gegenständen vorkommen. Für weitere Möbel-Materialien bzw. die Abfallströme Teppiche und Matratzen wird auf die Kapitel 3–4.4.6 verwiesen.

Holz und Holzwerkstoffe

Altholz aus dem Sperrmüll kann gemäß AltholzV Anhang I stofflich als Holzhackschnitzel oder als Holzspäne verwertet werden, wenn es den Altholzkategorien A I (Möbel aus naturbelassenem Vollholz) oder A II (Möbel, ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung) zugeordnet wird und die Grenzwerte von Anhang II der Altholzverordnung einhält. Altholz der Altholzkategorie A III darf nur dann stofflich verwertet werden, wenn Lackierungen und Beschichtungen durch eine Vorbehandlung weitgehend entfernt wurden oder im Rahmen des Aufbereitungsprozesses entfernt werden. In der Praxis wird dies aufgrund des Aufwands nicht durchgeführt, sodass eine energetische Verwertung erfolgt. Altholz-Mischsortiment aus dem Sperrmüll muss laut AltholzV der Kategorie A III zugeordnet werden, da ca. 5 % dieses Altholzes halogenorganische Verbindungen enthält. Im Falle einer Sortierung des Sperrmüllholzes nach Altholzkategorien würde der Großteil in Kategorie II (ca. 80 %) und ein kleiner Teil in Kategorie I einsortiert werden und somit grundsätzlich für eine stoffliche Verwertung zugelassen, wenn außerdem die Schadstoffgrenzwerte eingehalten werden. In der Praxis ist eine Sortierung nach Altholzkategorien für Mischsortiment aus dem Sperrmüll nicht wirtschaftlich durchführbar (Flamme, 2020).

Laut Befragung der öre (Kapitel 2.2.1) separiert rund ein Drittel aller kommunalen Entsorger Altholz schon bei der Sperrmüllabholung von anderen Materialien. Eine Nachsortierung zur Abtrennung von Metallen, Altholz und/oder Hartkunststoffen kommt auch vor, ist allerdings weniger weit verbreitet (VKU, 2020). Oft wird auf dem Wertstoffhof Altholz separat gesammelt. In Sperrmüll-Vorbehandlungs-/Sortieranlagen werden Holz und Holzwerkstoffe abgetrennt und zerkleinert, um beispielsweise als Ersatzbrennstoff oder in Biomassefeuerungsanlagen energetisch verwertet zu werden. Insgesamt werden in Deutschland nur 15 % der Althölzer aus allen Altholzquellen stofflich und mehr als drei Viertel energetisch verwertet, da der Bedarf bei den (Alt-) Holzverwertern regional begrenzt ist und sich Altholz aufgrund seiner guten Brennstoffeigenschaften als erneuerbare Energiequelle eignet (Flamme, 2020).

Die stoffliche Verwertung von Altholz erfolgt fast ausschließlich in der Spanplatten-Herstellung. Die Verwendung bei der Herstellung von anderen Holzwerkstoffen, wie Holzfaser- oder Grobspanplatten, ist aufgrund technischer Hindernisse bzw. Anforderungen an die Größe der Hackschnitzel unüblich. Bei der Herstellung von Spanplatten werden Holzspänen mithilfe von ca. 10 % Klebstoff (z.B. Melamin-Harnstoff-Formaldehydharze) und Härter (z.B. Ammoniumsulfat) verpresst (Rüter und Diederichs, 2012). Im Jahr 2015 lag der Gebraucht-/ Altholzanteil bei der Spanplattenherstellung in Deutschland bei 24,5 % (Döring et al., 2017). Aus technischer Sicht könnte der Altholzanteil in Spanplatten in Deutschland um einen gewissen Anteil gesteigert werden, zum Beispiel auf 40 % (Flamme, 2020). In anderen EU-Ländern liegt der Altholzanteil in der Spanplattenindustrie zum Teil höher, zum Beispiel in Italien, Dänemark und Belgien. In Italien liegt der Recyclingholzanteil im europäischen Vergleich mit 95 % am höchsten (EPF, 2020). Allerdings existieren in Deutschland andere Qualitätsanforderungen bezüglich Schadstoffgehalt und Klebstoffanteil. Zudem müssen bei der Planung auch die Länge des Transportweges zum Spanplattenhersteller, die Anforderungen an die Spanplatte in ihrem jeweiligen Einsatzgebiet und die Altholzqualität berücksichtigt werden, um Verschleppungen von Schadstoffen in neue Produkte zu vermeiden (Flamme, 2020; Strohmeyer, 2019).

Anfang der 2000er Jahre gab es zwei Anlagen der Firma Nolte (heute: Rheinspan) für ein stoffliches Recycling von Spanplatten in Deutschland, die heute nicht mehr betrieben werden (Nienhaus, 2002; Hahnenkamp u. Tuminski 2017). Die stoffliche Verwertung von Spanplatten ist somit technisch möglich, doch derzeit werden Spanplatten hauptsächlich energetisch verwertet. Denn einerseits müssen für ein Recycling von Spanplatten die wirtschaftlichen Bedingungen gegeben sein, die derzeit auf dem Holzmarkt nicht vorliegen. Andererseits müssen bei dem stofflichen Recycling von Spanplatten auch die Grenzwerte der AltholzV eingehalten werden. Mehrere Untersuchungen weisen darauf hin, dass ein relevanter Anteil Althölzer verschiedener Kategorien, insbesondere Spanplatten, die Grenzwerte der AltholzV zur stofflichen Verwertung überschreiten (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2015; Hahnenkamp u. Tuminski, 2017; Riedel et al., 2014). Deswegen sollte die stoffliche Verwertung vorrangig bei Vollholzmöbeln und anderen Althölzern der Kategorie I gestärkt werden (wenn die Wiederverwendung ausgeschlossen ist). Eine stoffliche Verwertung von Spanplatten ist nur dann sinnvoll, wenn dadurch nicht Primärhölzer, die für die stoffliche Nutzung geeignet sind, vermehrt energetisch verwertet werden.

Als weiterer Holzwerkstoff kommt der mitteldichten (Holz-) Faserplatte (MDF) in den letzten Jahren steigende Bedeutung zu. Statt Spänen wird bei diesem Holzwerkstoff fein zerfasertes Holz zu Platten verklebt. Auch zum Recycling von MDF-Platten wurde viel geforscht, es konnte jedoch keine großtechnische Anlage aufgebaut werden. Inzwischen gibt es in Großbritannien eine großtechnische Testanlage, die mithilfe von Ohmschen Erhitzen pro Stunde bis zu 5 t Holzfasern aus MDF-Platten zurückgewinnt (MDF Recovery, o.J.).

In den letzten Jahren hat der Einsatz von Holz-Polymer-Verbundwerkstoffen (WPC – Wood Plastic Composites) zugenommen, beispielsweise für Terrassendielen. Daher wird in den nächsten Jahren auch mit einer Zunahme der WPC in Abfallströmen gerechnet, insbesondere im Sperrmüll oder in gemischten Bau- und Gewerbeabfällen. Bei der Herstellung von WPC können Altholz und Regranulate, zum Beispiel aus Kunststoffprodukten und -möbeln, eingesetzt werden. Mit der ISO 20819-1:2020-04 existiert auch schon eine Norm für WPC aus Recyclingmaterial. Das Recycling von WPC, also das Mahlen, Aufschmelzen und die Extrusion zu neuen WPC, ist theoretisch möglich, solange die Polymerkongruenz gegeben ist, allerdings existieren aufgrund der bisher geringen Mengen keine Strukturen für ein Recycling (Urbanrec, 2018; KC aktuell, 2016a).

Metalle

Metalle werden im Möbelsektor oft als Gestell, beispielsweise von Tischen und Stühlen, eingesetzt und mit anderen Materialien, wie Holz oder Kunststoffe, kombiniert. Weitere Anwendungen sind Aktenschränke, Regale, Spinde, Wäscheständer, Leitern, Fahrräder und andere Metallgegenstände und -möbel. Metallmöbel und -gegenstände werden im Falle einer getrennten Sperrmüllsammlung oder einer Nachsortierung zuerst separiert und anschließend zur stofflichen Verwertung vermarktet. Auch eine Rückgewinnung der Metalle aus der Schlacke nach der energetischen Verwertung ist möglich. Demnach besteht bei Metallen kein akuter Handlungsbedarf zur Verbesserung der Recyclingbedingungen.

Hartkunststoffe

In Abgrenzung zu Folien und Verpackungen werden Hartkunststoffe unter anderem für Möbel, Spiel-, Sport- und Haushaltswaren eingesetzt (z.B. Wäschekörbe und Gießkannen). 3-4 % aller in Deutschland hergestellten Kunststoffe werden in der Möbelindustrie verarbeitet und weitere 3,4 % im Freizeit- und Haushaltswarenssektor (GKV, o.J.). Ausschließlich aus Kunststoff bestehende Möbel sind allerdings weniger üblich und werden vor allem als Gartenmöbel eingesetzt. Hier sind die Kunststoffsorten Polypropylen und Polyethylen besonders häufig (letzteres unter anderem als Polyrattan).

Bei Hartkunststoffen aus Produktionsabfällen ist die stoffliche Verwertung bereits üblich, da viele Kunststoffsorten eingeschmolzen und neu geformt werden können, wenn sie sortenrein vorliegen. Für die stoffliche Verwertung von sortierten Post-Consumer-Abfällen existieren technisch durchführbare Verfahren, bei denen Regranulate erzeugt werden, die sich für den (teilweisen) Ersatz von Neumaterial problemlos eignen. Allerdings müssen solche Regranulate immer mit Neumaterial konkurrieren, weshalb eine Wirtschaftlichkeit insbesondere in Zeiten niedriger Ölpreise nicht gegeben ist (Hahnenkamp u. Tuminski, 2017; KC aktuell, 2016b).

Für eine Erhöhung des werkstofflichen Recyclings ist es demnach entscheidend, die Hartkunststoffe bei der Sperrmüllsammlung und auf dem Wertstoffhof getrennt zu erfassen und anschließend zu sortieren, beispielsweise mithilfe von Nahinfrarotspektroskopie. Einige Kommunen in Deutschland führen dies bereits durch (Abfallwirtschaft Landkreis Lörrach, o.J.; Abfallwirtschaft Vechta, o.J.; ZAW-SR, o.J.).

Sonstige Materialien und inerte Materialien

Neben den zuvor beschriebenen Materialien und den in späteren Kapiteln ausführlich behandelten Abfallströmen gibt es im Sperrmüll bzw. im Möbelsektor weitere Materialien, die in geringerem Umfang eingesetzt werden und daher im Vergleich zu den zuvor genannten weniger Relevanz für die Recyclingbranche haben. Deswegen wurden stoffliche Verwertungsverfahren für diese Materialien aus dem Sperrmüll bisher nicht forciert.

Im Sperrmüll gibt es neben Hartkunststoffen auch biegbare Kunststoffprodukte aus PVC, Gummi, Latex oder mehrschichtigen Kunststofffolien, die nicht wie die Hartkunststoffe werkstofflich recycelt werden können. Dazu gehören zum Beispiel Luftmatratzen, aufblasbares Spielzeug, Schläuche und Rohre und vieles mehr (Hahnenkamp u. Tuminski 2017). Für das Material PVC, heutzutage unter dem Begriff Vinyl vermarktet, gibt es Ansätze für Recyclingverfahren (VinylPlus, o.J.). Allerdings enthielten viele PVC-Produkte noch vor wenigen Jahren hohe Schadstoffgehalte (z.B. Phthalate und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe), sodass ein mechanisches Recycling die Schadstoffe in neue Produkte überführen könnte. Mit der Umstellung auf den Vermarktungsbegriff Vinyl wurden toxische Zusatzstoffe in den Produkten verringert oder durch ungiftige Alternativen ersetzt (VinylPlus, 2020).

Spiegel werden insbesondere in Bad- und Schlafzimmermöbeln eingesetzt oder mit einem Rahmen als Stand- oder Wandspiegel verkauft. Sie bestehen aus Flachglas, das mit einer sehr dünnen Aluminium- oder Silberschicht bedeckt und mit Lack versiegelt wird. In wenigen Fällen wird statt Flachglas auch Kristallglas oder transparenter Kunststoff eingesetzt. Kleine Spiegel oder Spiegelscherben werden meist im Restabfall entsorgt. Für Spiegel bestehen derzeit noch keine separaten stofflichen Verwertungswege, was hauptsächlich auf die schwierige Mengenbündelung zurückzuführen ist.

Auch für Tische, Vitrinen oder Schränke wird häufig Glas eingesetzt. Flachglas, sogenanntes Floatglas, lässt sich grundsätzlich gut wieder einschmelzen und zu neuem Glas verarbeiten, solange das Glas keine Zusätze enthält. Allerdings sind für die Herstellung von Floatglas sortenreinere Ausgangsmaterialien als für die Herstellung von Behälterglas erforderlich, sodass in diesem Prozess nur Scherben aus Produktionsabfällen eingesetzt werden. Und auch bei Behälterglas führen Fremdstoffe zu Ausschussware. Bei Glasmöbeln und Möbeln mit Glasanteil ist bei der Entsorgung jedoch häufig nicht bekannt, um welche Glassorte es sich handelt, und zum Teil sind die Gläser gefärbt oder mit Trübstoffen versetzt (Milchglas) oder mit anderen Materialien verbunden. Dies erschwert das Recycling von Glas aus dem Sperrmüll. Schaum- und Blähglas ist weniger anspruchsvoll und wird großtechnisch mit einem hohen Anteil von recyceltem Glas bzw. Glasscherben (> 66 %) produziert (Deilmann et al., 2017). Zum Teil wird Flachglas auf Wertstoffhöfen separat gesammelt und einer stofflichen Verwertung zugeführt.

Sonstige inerte Materialien, wie beispielsweise Keramik oder Steine haben im Sperrmüll keinen relevanten Mengenanteil und lassen sich weder stofflich noch energetisch verwerten.

2.3.3 Umweltpotenzial und Aufwand

Größtes Umweltentlastungspotenzial ist bei der Wiederverwendung von geeigneten Sperrmüllbestandteilen und der Verringerung des Sperrmüllaufkommens vorhanden. 6-8 % des Sperrmülls können laut Schätzungen wiederverwendet werden, größtenteils Möbel, doch auch 3 % der Bodenbeläge (Dornbusch et al., 2020; Ludmann und Vogt, 2019). Diese Herausforderung ist jedoch nicht Untersuchungsgegenstand dieser Studie.

Ein Umweltentlastungspotenzial ist durch die stoffliche Verwertung von Sperrmüllbestandteilen nur vorhanden, wenn die Materialien mit vertretbarem Aufwand sortiert und vorbehandelt werden können und die rezyklierten Materialien an anderer Stelle Neumaterial in der Produktion ersetzen können. Dies ist beispielsweise bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen möglich, allerdings ist auch hier aufgrund materialtechnischer Probleme der Rezyklateinsatz und somit der Markt begrenzt.

Grundsätzlich ist eine möglichst lange Kaskadennutzung von Holz vor der endgültigen energetischen Verwertung mit den geringsten Umweltauswirkungen verbunden (Gärtner et al.,

2013; Vis et al., 2016). Dennoch führt eine Aufbereitung von Altholz, für das anschließend kein Bedarf zur weiteren Verwertung besteht, zu einem unnötigen Energieverbrauch.

Eine getrennte Abfuhr oder eine Sortierung des heterogenen Sperrmülls ist mit erheblichem finanziellem und energetischem Aufwand verbunden. Am besten lässt sich die getrennte Erfassung am Wertstoffhof umsetzen, solange der Platz für das Aufstellen mehrerer Container vorhanden ist und geschultes Personal eingesetzt werden kann. Allerdings wird der größte Anteil des Sperrmülls mit ca. 60 % im Holsystem erfasst, am Wertstoffhof werden nur ca. 40 % des Sperrmülls erfasst (VKU, 2020).

2.3.4 Bewertung und Fazit

Mit Metallen und erdölbasierten Produkten (Kunststoffe) ist in Sperrmüll ein Rohstoffpotenzial für die stoffliche Verwertung vorhanden. Den größten Anteil im Sperrmüll machen allerdings Holzwerkstoffe aus, bei denen die stoffliche Verwertung aufgrund von teilweise enthaltenen Schadstoffen, einem Überangebot an Altholz im Verhältnis zu den Kapazitäten der stofflichen Verwertung und der Einstufung von Altholz als erneuerbare Energiequelle insgesamt schwierig ist.

Die stoffliche Verwertung von Sperrmüll hängt von der Sortierung beziehungsweise von einer Getrenntsammlung ab. 40 % des Sperrmülls wird in Sortieranlagen behandelt. Dabei werden meist Wertstoffe, wie Metalle, Hartkunststoffe, Folien und Papier/Pappe abgetrennt und einer stofflichen Verwertung zugeführt. Holz wird in Sortieranlagen ebenfalls abgetrennt und als gemischtes Altholz der Altholzkategorie III einer energetischen Verwertung zugeführt, zum Beispiel in Biomassefeuerungsanlagen. Auch die Sortierreste von Sperrmüllsortieranlagen sowie Matratzen, Polstermöbel und Teppiche werden energetisch verwertet.

Insgesamt haben in Deutschland die Tandemabfuhr von Sperrmüll und die Behandlung in Sortieranlage ihren festen Stellenwert, auch wenn Tandemabfahren nicht flächendeckend eingesetzt werden. Durch das kleinteilige Netz an kommunalen Entsorgern findet hier jedoch immer eine Nachjustierung nach Marktbedingungen und örtlichen Gegebenheiten statt.

Um die stoffliche Verwertung von Sperrmüll zu steigern, müsste ein größerer Anteil des Sperrmülls in Sortieranlagen behandelt werden. Dies ist durch die Vorgaben der Gewerbeabfallverordnung für den gewerblichen Teil des Sperrmülls bereits vorgegeben. Für den kommunalen Bereich existieren noch keine dementsprechenden Vorgaben. Eine vermehrte Sortierung des Sperrmülls ist jedoch nur sinnvoll, wenn ein Bedarf an den jeweiligen Stoffgruppen besteht. Bei der Verwendung von Altholz als Energieträger oder zur stofflichen Verwertung hängt die Nachfrage und der Preis auch von der Verfügbarkeit von Holz bzw. Sägerestholz im Allgemeinen ab. Die derzeitige Situation auf dem Altholzmarkt zeigt, dass aufgrund des hohen Holzangebotes mittelfristig nicht mit einer verstärkten stofflichen Verwertung zu rechnen ist (euwid, 2020).

2.4 Maßnahmenvorschläge

Bei der Ableitung von umsetzbaren Handlungsempfehlungen geht es darum, ganzheitliche Maßnahmen zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft zu finden, die sowohl die Sammlung und Mengenbündelung von Materialströmen in verwertbarem Zustand ermöglichen und geeignete Rahmenbedingungen für eine langfristige, wirtschaftliche und umweltfreundliche Verwertung schaffen als auch den Einsatz von Sekundärmaterialien in der Produktion von neuen Gütern fördern.

Mit einer Zusammensetzung aus überwiegend Holz (vor allem Holzwerkstoffe), ca. 7 % Metalle und Metallverbunde, weniger als 5 % reine Kunststoffteile und vielen Verbundmaterialien gibt es im gemischten Abfallstrom Sperrmüll nur begrenzt Potenzial zur Rückgewinnung von Wertstoffen.

Im Folgenden werden verschiedene Maßnahmen für die Verbesserung der stofflichen Verwertung von Sperrmüll beschrieben und nach den in Kapitel 1.3.1 genannten Kriterien bewertet.

2.4.1 Verpflichtende Vorbehandlung für kommunalen Sperrmüll

Für gemischt erfasste gewerbliche Siedlungsabfälle ist die Sortierung im Rahmen der Gewerbeabfallverordnung bereits gefordert. Eine Pflicht zur Abtrennung von Wertstoffen aus kommunalem Sperrmüll, das heißt zur Behandlung in Sortieranlagen, besteht dagegen nicht. Eine gesetzlich verpflichtende Sortierung des kommunalen Sperrmülls würde Sperrmüll aus privaten und gewerblichen Quellen auf eine Stufe stellen und diese zwei ähnlichen Abfallströme auch den gleichen Pflichten unterwerfen.

Tabelle 15 Bewertung der Maßnahme „Verpflichtende Sperrmüllsortierung für kommunalen Sperrmüll“ bei gemischter Erfassung (bspw. im Holsystem)

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	ist vergleichbar mit der Sperrmüllsortierung für das Gewerbe	3
Rechtliche Aspekte	Die verpflichtende Sortierung bedarf einer Rechtsverordnung auf Basis des § 8 Abs. 2 KrWG.	3
Statistische Aspekte	<i>Nicht relevant, da Statistik durch einen eigenen Abfallschlüssel bereits vorhanden</i>	
Organisatorischer Aufwand	Sortieranlagen müssen errichtet werden, da derzeitige Kapazität nicht ausreichend; nach Auslaufen der Verträge muss die Sperrmüllverwertung inklusive zugehöriger Logistik neu ausgeschrieben werden	4
Umsetzungshorizont	Langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	Hochverbindlich	1
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	<i>Nicht relevant, da die Verwertung von Sperrmüll bereits durch die Abfallgebühren der öRE finanziert ist. Ökonomische Effekte: Investition in und Betrieb einer Sortieranlage ist teuer. Bei Kommunen, die eigene MVA betreiben, verringert sich die Auslastung der Anlage, sodass Abfallgebühren insgesamt steigen könnten.</i>	
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms.	3
Stärkung des Recyclings	Die verpflichtende Sortierung sorgt dafür, dass recycelbare Bestandteile des Sperrmülls recycelt werden. Allerdings stehen geringe Anteile an recyclingfähigen Materialien einem hohen Energie- und Kostenaufwand zur Sortierung gegenüber.	2
Akzeptanz der Akteure	Die Verpflichtung wird von den öRE und Betreibern von MVAs weniger positiv gesehen. Sortieranlagenbetreiber werden die Maßnahme begrüßen. Für die Bürger*innen könnte die Maßnahme zu steigenden Abfallgebühren führen.	4

Kriterium	Bewertung	Punkte
Öffentlichkeitsarbeit	Informationsbedarf für die Öffentlichkeit gering	1
Gewichtetes Ergebnis		2,7
Adressaten	Bundesregierung, öRE, Sortieranlagenbetreiber	
Fazit	Die verpflichtende Sperrmüllsortierung stellt kommunalen Sperrmüll mit gewerblichem Sperrmüll auf eine Ebene und sorgt so für Gleichbehandlung dieser gleichen Abfallströme. Gegen die verpflichtende Sortierung spricht, dass Sperrmüll im Verhältnis zum Aufwand und Energiebedarf der Sortierung häufig nur wenig recycelbare Wertstoffe enthält und ein Großteil des Inputs als Ersatzbrennstoff, Biomasse (Holz) oder Sortierrest einer energetischen Verwertung zugeführt wird. Die Maßnahme wird derzeit nicht empfohlen, da die ökonomische und ökologische Sinnhaftigkeit umstritten ist.	

2.4.2 Ausweitung und Kontrolle der Getrennterfassung auf dem Wertstoffhof (für getrennt erfassbare Materialien)

Insbesondere die Getrenntsammlung von Kunststoffteilen auf dem Wertstoffhof sollte flächendeckend erfolgen, da diese ein Potenzial zur Steigerung der stofflichen Verwertung hat. Eine vermehrte Getrennterfassung von unbehandeltem Vollholz (A I-Holz) ermöglicht ebenfalls eine Steigerung der stofflichen Verwertung, wenn im Umkreis stoffliche Verwertungsmöglichkeiten bestehen. Eine Trennung des restlichen Sperrmüll-Altholzes in die Kategorien II und III ist aufgrund der bestehenden stofflichen Verwertungsmöglichkeiten für Altholz nicht sinnvoll.

Tabelle 16 Bewertung der Maßnahme „Konsequente Ausweitung und Kontrolle der Getrennterfassung auf WSH (für getrennt erfassbare Materialien)“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Der bürokratische Aufwand steigt geringfügig, wenn öRE mehr Abfallströme zu bewirtschaften haben und die Getrennterfassung kontrolliert wird	2
Rechtliche Aspekte	Es sind keine rechtlichen Änderungen oder Ergänzungen erforderlich. Gemäß § 20 Abs. 2 Nr. 7 KrWG ist Sperrmüll so zu erfassen, dass Vorbereitung zur Wiederverwendung und Recycling ermöglicht werden.	1
Statistische Aspekte	<i>Nicht relevant, da Statistik durch einen eigenen Abfallschlüssel bereits vorhanden</i>	
Organisatorischer Aufwand	WSH müssen teilweise umgebaut/erweitert werden.	3
Umsetzungshorizont	Mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	Verbindlich	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	<i>Nicht relevant, da die Verwertung von Sperrmüll bereits durch die Abfallgebühren der öRE finanziert ist. Ökonomische Effekte: Es ist mehr Personal nötig, welches auf den WSH eingesetzt werden muss. Die Verwertung der getrennt erfassten</i>	

Kriterium	Bewertung	Punkte
	<i>Materialien kann dies nicht ausgleichen, sodass Abfallgebühren steigen könnten.</i>	
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms.	3
Stärkung des Recyclings	Durch die Ausweitung der Getrennterfassung auf dem WSH kann eine Verwertung besser realisiert werden, es muss sich jedoch nicht zwangsläufig um eine stoffliche Verwertung handeln. Der im Holsystem erfasste Anteil des Sperrmülls wird durch die Maßnahme nicht berührt.	3
Akzeptanz der Akteure	Die Verpflichtung wird von den öRE weniger positiv betrachtet. Andere Akteure wie Bürger*innen sind neutral	3
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme beinhaltet einen gewissen Umfang an Öffentlichkeitsarbeit und persönlicher Abfallberatung; zudem müssen zum Teil deutliche Hinweisschilder auf dem WSH nachgerüstet werden	3
Gewichtetes Ergebnis		2,7
Adressaten	öRE	
Fazit	Die Maßnahme führt unter geringem Aufwand zu einer Verbesserung der stofflichen Verwertung für leicht separat erfassbar und recycelbare Materialien.	

2.4.3 Abfallberatung zu Getrennterfassungssystemen und Wiederverwendung

Mit intensiver Abfallberatung können Akzeptanz und Nutzung der Wertstoffhöfe in der Bevölkerung gesteigert werden. Persönliche Abfallberatung und das Erstellen von Informationsmaterial ist bereits fester Bestandteil der Aufgaben der öRE, könnte bei einigen öRE jedoch ausgeweitet werden. Im Bereich des Sperrmülls geht es darum, Informationen und Möglichkeiten zur Getrennterfassung verschiedener Materialien insbesondere auf dem Wertstoffhof anzubieten und gleichzeitig die Abfallvermeidung und Wiederverwendung zu verbessern. Als Qualitätssicherung bietet sich das seit 2017 existierende RAL Gütezeichen 950 für Rückkonsum an, mit dem funktionale Sammelstellen ausgezeichnet werden.

Tabelle 17 Bewertung der Maßnahme „Abfallberatung zu Getrennterfassungssystemen und Wiederverwendung“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Der bürokratische Aufwand steigt geringfügig für die erforderliche Qualitätssicherung	2
Rechtliche Aspekte	Es sind keine rechtlichen Änderungen oder Ergänzungen erforderlich. Gemäß § 46 KrWG sind öRE zur Abfallberatung verpflichtet. Der Umfang und die Art und Weise der Abfallberatung sind jedoch dem öRE überlassen.	2
Statistische Aspekte	<i>Nicht relevant, da Statistik durch einen eigenen Abfallschlüssel bereits vorhanden</i>	

Kriterium	Bewertung	Punkte
Organisatorischer Aufwand	Kein zusätzlicher organisatorischer Aufwand nötig	1
Umsetzungshorizont	Kurzfristig	1
Verbindlichkeit	Beratung ist verpflichtend, Ausgestaltung der Beratung bleibt den öRE überlassen	2
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme kann einen leicht positiven Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms haben.	2
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	<i>Nicht relevant, da die Verwertung von Sperrmüll bereits durch die Abfallgebühren der öRE finanziert ist. Zusätzliches Personal für die Beratung kann zur Erhöhung der Abfallgebühren führen.</i>	
Stärkung des Recyclings	Die Wiederverwendung wird gestärkt; die stoffliche Verwertung wird durch die Getrennterfassung verbessert	3
Akzeptanz der Akteure	Die Akzeptanz ist bei den öRE und den Bürger*innen insgesamt vorhanden	2
Öffentlichkeitsarbeit	<i>Nicht relevant, da Maßnahme quasi Öffentlichkeitsarbeit ist</i>	
Gewichtetes Ergebnis		2,1
Adressaten	öRE	
Fazit	Eine verstärkte Öffentlichkeitsarbeit steigert das Bewusstsein in der und die Serviceleistung für die Bevölkerung. Dennoch kann die Öffentlichkeitsarbeit durch die öRE nicht zu stark ausgeweitet werden, um den Bürger*innen die Entsorgung ihrer Abfälle zu einem akzeptierten Preis anbieten zu können.	

2.4.4 Zusammenfassung

Für den Abfallstrom Sperrmüll hat die Wiederverwendung von geeigneten Sperrmüllbestandteilen das größte Umweltentlastungspotenzial. Deswegen werden vorrangig folgende Maßnahmen empfohlen:

1. Abfallberatung zu Getrennterfassungssystemen und Wiederverwendung

Neben der Information zu Getrennterfassungssystemen und Wiederverwendung kann eine verstärkte Öffentlichkeitsarbeit auch direkt auf dem Wertstoffhof umgesetzt werden.

2. Ausweitung und Kontrolle der Getrennterfassung auf dem Wertstoffhof

Mithilfe einer konsequenten Ausweitung sowie einer Kontrolle der Getrennterfassung auf den Wertstoffhöfen kann das Bewusstsein für Recycling in der Bevölkerung geschärft werden.

Eine verpflichtende Sortierung des Sperrmülls aus der kommunalen Sammlung wird eher nachrangig empfohlen, da die ökologische und ökonomische Sinnhaftigkeit aufgrund des geringen Anteils stofflich verwertbarer Fraktionen gering ist. Diese Fraktionen (insbesondere Kunststoffe) sollten vorrangig verstärkt getrennt erfasst werden.

3 Matratzen

3.1 Allgemeines

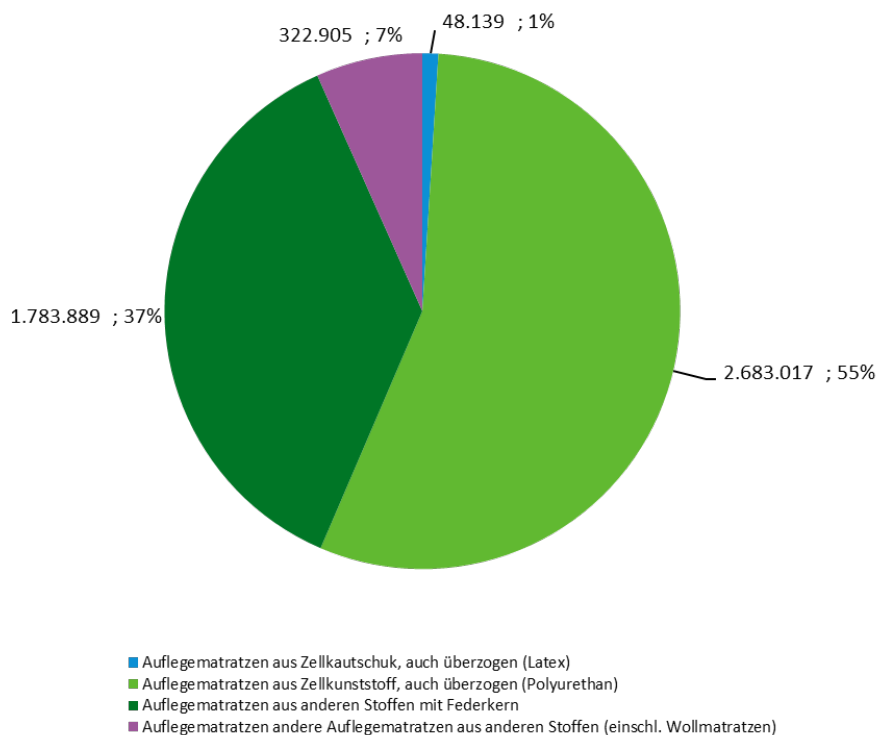
Grundsätzlich werden seitens der Matratzenhersteller folgende Matratzenarten unterschieden:

- ▶ Matratzen mit PUR-Schaum,
- ▶ Matratzen mit Stahlfederkern,
- ▶ Matratzen mit Latexschaum.

Darüber hinaus gibt es noch eine Vielzahl weiterer Matratzen (bspw. Wollmatratzen), die allerdings im Einzelnen keine größere Bedeutung haben.

Abbildung 7 stellt die Anzahl der in Deutschland produzierten Matratzen dar, hierbei handelt es sich um die „klassischen“ Auflegematratzen, d.h., keine Wasserbetten oder ähnliches.

Abbildung 7 Anzahl der in Deutschland im Jahr 2018 produzierten Matratzen



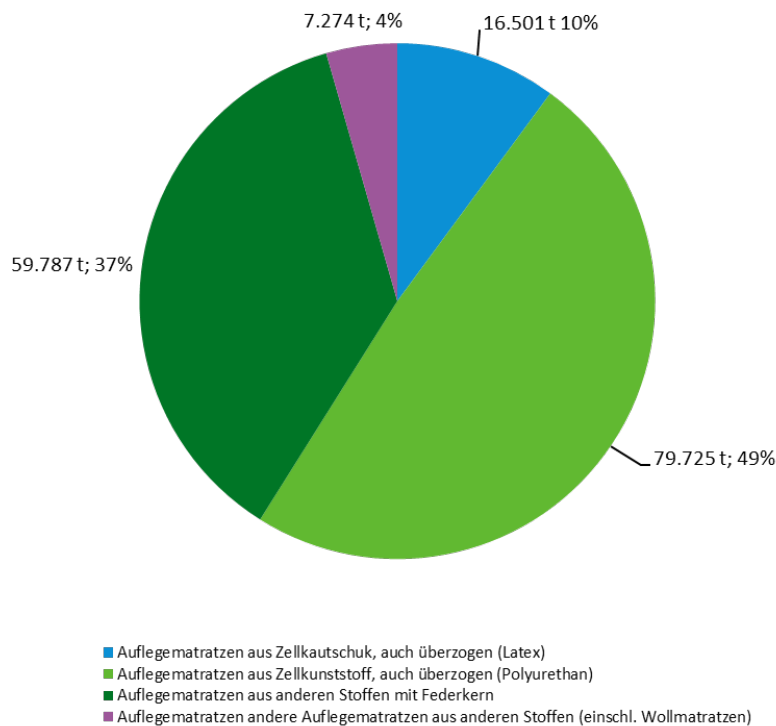
Quelle: eigene Darstellung, INTECUS mit Daten aus (DESTATIS 2019b)

Insgesamt wurden 2018 rund 4,8 Mio. Matratzen in Deutschland produziert. Die Produktion ist im Vergleich zu den letzten Jahren leicht rückläufig.

Für die Abbildung 8 wurden die Zahlen aus Abbildung 7 in Masse umgerechnet⁶ und mit dem Im-/Export der Matratzen verrechnet, um zu ermitteln, wie groß die Masse ist, welche in Deutschland verbleibt.

⁶ Dabei wurde von einer Masse von 20 kg/Matratze gerechnet.

Abbildung 8 Masse der in Deutschland im Jahr 2018 verbliebenen Matratzen



Quelle: eigene Darstellung, INTECUS mit Daten aus (DESTATIS 2019b) in Verbindung mit (Genesis 2019)

Bezüglich der Anzahl der Matratzen in Deutschland und deren Entsorgung gibt es keine offizielle Statistik. Im Folgenden werden daher die drei großen Bereiche, in denen Matratzen genutzt werden, betrachtet. Mit einem Top-down-Ansatz wird eine Abschätzung der Bettenanzahl und damit eingehend der Matratzenanzahl vorgenommen. Anschließend wird der Lebenszyklus der Matratzen betrachtet.

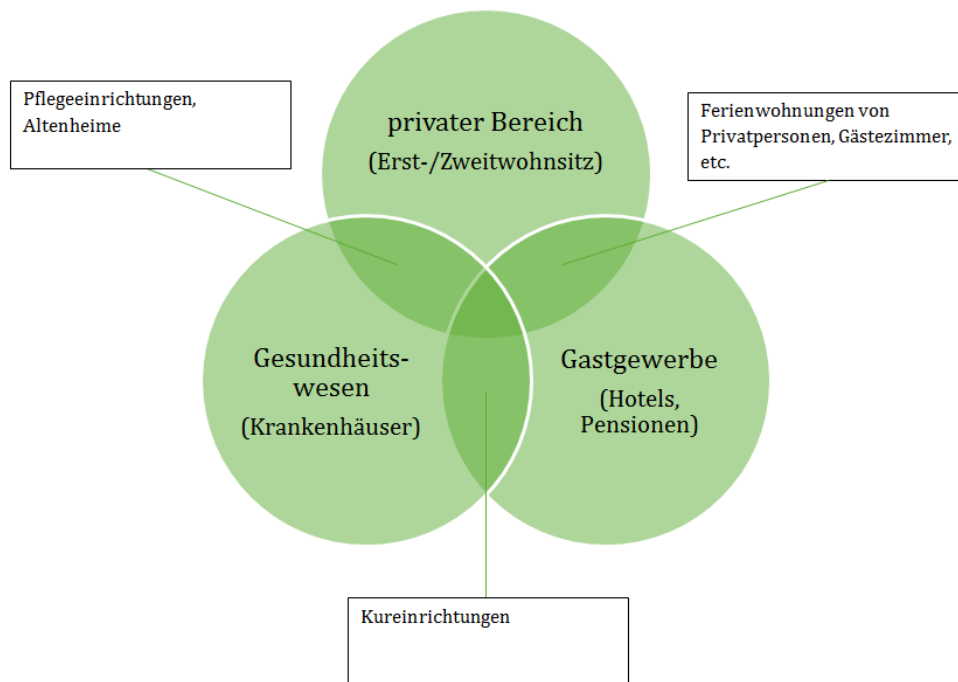
Für die Ermittlung der Größenordnung wird abfallseitig betrachtet, wo und wie Matratzen üblicherweise entsorgt werden. Da diese über keinen eigenen Abfallschlüssel verfügen, muss abgeschätzt werden, um welche Mengen es sich handelt.

In einem weiteren Kapitel wird das Recycling der Matratzen betrachtet.

3.1.1 Top-down-Ansatz – Abschätzung der Bettenanzahl

Im Folgenden wird eine Abschätzung zur Anzahl der Betten bzw. der Matratzen in Deutschland getroffen. Basis hierfür sind Statistiken des Statistischen Bundesamtes.

Abbildung 9 Übersicht der Schlafstätten



Quelle: eigene Darstellung, INTECUS

Prinzipiell können Schlafstätten in drei große Bereiche eingeteilt werden, die sich teilweise überlappen:

- Privater Bereich
- Gesundheitswesen
- Gastgewerbe

3.1.1.1 Privater Bereich

Der private Bereich umfasst den größten Anteil an Betten und damit einhergehend Matratzen. Abgesehen von beispielsweise Pflegeheimen, deren Betten und Bewohner in einer separaten Statistik geführt werden, kann davon ausgegangen werden, dass auf jeden Einwohner Deutschlands mindestens eine Schlafgelegenheit kommt. In Deutschland lebten im Jahr 2017 (Bezugsjahr der Studie) 82.792.351 Menschen (Stichtag 31.12.2017) (DESTATIS 2019). Dabei muss berücksichtigt werden, dass nicht alle Betten bzw. übliche Matratzen nutzen.

Die Wahl der Betten bzw. Matratzen wird von sehr individuellen Gewohnheiten und Faktoren beeinflusst. Neben beispielsweise verschiedenen Härtegraden, Dicken, Zonierungen und Größen werden Matratzen durch ihren Aufbau unterschieden. Die gängigsten Modelle bestehen aus Zellkunststoff, auch überzogen (Polyurethan oder ähnliches), aus Zellkautschuk, auch überzogen (Latex), aus anderen Stoffen mit Federkern oder aus anderen Stoffen (einschl. Wollmatratzen). Auch Kombinationen sind möglich. Des Weiteren finden auch Wasserbetten Verwendung, welche nicht mit den klassischen Matratzen vergleichbar sind.

In den letzten Jahren steigt der Anteil der Boxspringbetten, zumindest im privaten Bereich und im Gastgewerbe (Dierig, 2015). Diese bestehen aus mehreren Lagen, darunter Matratzen und Auflagen (Topper).

Eine Umfrage zu den Schlafgewohnheiten der deutschen Bevölkerung (statista, 2016) hat ergeben, dass 5 % der Bevölkerung auf einem Schlafsofa und 4 % auf sonstigen Schlafgelegenheiten (bspw. Wasserbetten) schlafen. Somit nutzen 9 % aller Deutschen keine klassische Matratze.

Des Weiteren muss abgeschätzt werden, wie viele Deutsche einen Zweitwohnsitz mit Schlafmöglichkeit, beispielsweise in Form einer ausschließlich privat genutzten Ferienwohnung oder für Pendler, haben. Eine offizielle Statistik hierfür gibt es nicht. Laut Schätzungen betrifft dies rund 2 Mio. Haushalte (Handelsblatt, 2017).

Kindermatratzen sind häufig kleiner und schmaler. Häufig werden diese von mehreren Geschwistern genutzt, so dass sie eine ähnliche Lebensdauer haben wie Matratzen für Erwachsene. Sie werden nicht gesondert betrachtet, da der Einfluss auf die Gesamtzahl vermutlich gering ist.

Fazit: Matratzenanzahl im privaten Bereich

82.792.351 Menschen $\triangleq$ 82.792.351 Schlafgelegenheiten

- Anteil der nicht klassischen Matratzen wie Schlafsofas oder Wasserbetten (-9 %)

+ Zweitwohnsitze, private Ferienwohnungen und ähnliches (ca. +2 Mio. Matratzen)

→ rund 77,3 Mio. Matratzen

3.1.1.2 Gesundheitswesen

Laut Statistischem Bundesamt gab es 2017 in Deutschland 1.942 Krankenhäuser mit insgesamt 497.182 Betten. Die Anzahl der Krankenhäuser sowie der Betten ist in den letzten Jahren rückläufig, im Gegensatz hierzu steigt die Fallzahl⁷ leicht an. Einen Überblick über die Zahlen der letzten Jahre gibt Tabelle 18.

Tabelle 18 Krankenhäuser, Betten und Belegung

Jahr	Kranken- häuser – insgesamt	aufgestellte Betten insgesamt	Fallzahl	Berechnungs-/ Belegungstage in 1.000	Durchschnittliche	
					Verweildauer in Tagen	Betten- auslastung in Prozent
2013	1.996	500.671	18.787.168	141.340	7,5	77,3
2014	1.980	500.680	19.148.626	141.534	7,4	77,4
2015	1.956	499.351	19.239.574	141.281	7,3	77,5
2016	1.951	498.718	19.532.779	142.170	7,3	77,9
2017	1.942	497.182	19.442.810	141.152	7,3	77,8

Quelle: DESTATIS 2018

Die Anzahl der Betten in Pflegeeinrichtungen wird statistisch erfasst (Tabelle 19).

⁷ Die Fallzahl beschreibt die Anzahl der behandelten Patienten wieder (stationär, teilstationär, ambulant). Jeder Patient wird bei einem Krankenhausaufenthalt einmal gezählt. (Deutsches Krankenhaus Verzeichnis, o.J.)

Tabelle 19 Betten in Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen

Jahr	Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen	Betten	Patienten	Pflegetage in 1.000	Durchschnittliche	
					Verweildauer Tage	Bettenauslastung Prozent
2013	1.187	166.889	1.953.636	49.455	25,3	81,2
2014	1.158	165.657	1.972.853	49.837	25,3	82,4
2015	1.151	165.013	1.970.595	49.877	25,3	82,8
2016	1.149	165.223	1.984.020	50.211	25,3	83,0
2017	1.142	164.266	1.974.248	50.098	25,4	83,6

Quelle: DESTATIS 2019a

Laut Auskünften von mehreren Krankenhäusern handelt es sich bei den Matratzen überwiegend um Schaumstoffmatratzen, seltener um Matratzen mit Latexkern. Federkernmatratzen werden aufgrund der verstellbaren Liegeflächen nicht genutzt.

Für Krankenhäuser und Pflegeheime gibt es teilweise spezielle Matratzen, welchen Druckstellen bei langen Liegezeiten verringern sollen. Die sogenannten Dekubitusmatratzen werden grob in Weichlagerungssysteme, Wechseldrucksysteme und Mikro-Stimulationssysteme unterschieden und können je nach Aufbau mit elektrischen Komponenten ausgestattet sein (Matratzenwissen 2019). Laut Auskünften von mehreren Krankenhäusern beläuft sich der Anteil von Dekubitusmatratzen auf unter 1 %, welche überwiegend im Intensivbereich eingesetzt werden.

Fazit: Matratzenanzahl im Gesundheitswesen

497.182 Betten in Krankenhäusern

+164.266 Betten in Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen

→ 661.448 Matratzen im Gesundheitswesen

3.1.1.3 Gastgewerbe

Bezüglich des Gastgewerbes müssen vor allem Hotels, Gasthöfe und Pensionen betrachtet werden, welchen den Großteil der Schlafgelegenheiten ausmachen. Schlafgelegenheiten auf Campingplätzen werden im Rahmen dieser Studie nicht berücksichtigt, da es sich überwiegend um Schlafgelegenheiten ohne Relevanz für den Verbrauch von Matratzen handelt.

Die Anzahl der angebotenen Schlafgelegenheiten im Gastgewerbe der letzten fünf Jahre sind in Tabelle 20 aufgelistet (DESTATIS, 2014–2018).

Tabelle 20 Anzahl der angebotenen Schlafgelegenheiten nach Betriebsart

Jahr	Hotels, Gasthöfe, Pensionen	Ferienunterkünfte und ähnliche Beherbergungsstätten ⁸	Sonstige tourismusrelevante Unterkünfte ⁹	Insgesamt
2013	1.758.230	685.809	236.753	2.680.792
2014	1.764.907	684.212	234.160	2.683.279
2015	1.780.168	676.496	235.436	2.692.100
2016	1.785.369	673.348	230.503	2.689.220
2017	1.811.026	683.438	231.345	2.725.809

Im Ergebnis ist für 2017 folgende Anzahl an Schlafgelegenheiten im Beherbergungsgewerbe zu berücksichtigen:

Fazit: Matratzenanzahl im Gastgewerbe

1.811.026 Betten in Hotels, Gasthöfe, Pensionen

+ 683.438 Betten in Ferienunterkünften und ähnliche Beherbergungsstätten

+ 231.345 Betten in sonstigen tourismusrelevanten Unterkünften

→ 2.725.809 Matratzen im Gastgewerbe

3.1.1.4 Fazit Matratzenanzahl

Werden die Matratzenzahlen der drei Bereiche zusammengezählt, ergeben sich ca. 80,7 Mio. Matratzen. Da diese unterschiedlich lang benutzt werden, werden diese in unterschiedlichen Zyklen entsorgt.

3.1.2 Haltbarkeit und Lebensdauer von Matratzen

Zur Haltbarkeit von Matratzen kann keine allgemeine Aussage getätigt werden. Die meisten Hersteller und Internetforen empfehlen, eine Matratze nach fünf bis sieben Jahren, spätestens nach zehn Jahren auszutauschen, teils aus hygienischen Gründen, teils aus Materialermüdung wie Kuhlenbildung (Matratzentester o. J., FOCUS online 2019, Stiftung Warentest 2019). Umfragen zufolge werden Matratzen im privaten Gebrauch von den meisten Deutschen erst nach zehn bis 14 Jahren ausgetauscht (Helping, 2017), im Folgenden wird von zehn Jahren ausgegangen. Im Hotel- und Gastgewerbe werden Matratzen üblicherweise früher ausgetauscht, auch aus hygienischen Gründen (IHA, 2016). Hier werden im Folgenden sechs Jahre als mittlere Lebensdauer angesetzt.

Bisher ist noch nicht absehbar, wie und nach welcher Zeit Boxspringbetten entsorgt werden. Durch den Austausch einzelner Komponenten kann dieses System insgesamt betrachtet langlebiger sein, auf der anderen Seite werden womöglich einzelne Bestandteile schneller ersetzt. Der Einfluss der Boxspringbetten auf die Entsorgungswirtschaft in Deutschland kann

⁸ Beherbergungsstätten, Erholungs- und Ferienheime, Ferienzentren, Ferienhäuser und Ferienwohnungen, Jugendherbergen und Hütten

⁹ Vorsorge- und Rehabilitationskliniken, Schulungsheime

noch nicht abgeschätzt werden. Starke Unterschiede zu den klassischen Matratzen werden jedoch nicht erwartet, daher wird hier mit der gleichen Lebensdauer gerechnet.

Im Gesundheitsbereich kann aufgrund der hohen Auslastung der Betten davon ausgegangen werden, dass die Matratzen ähnlich wie im privaten Bereich und vor allem aus hygienischen Gründen regelmäßig getauscht werden. Eine Vorschrift hierfür gibt es nicht. Abgeschrieben werden können Krankenhausbettgestelle nach 15 bzw. bei Intensivbetten nach acht Jahren, für Matratzen werden keine Abschreibungssätze genannt. Krankenhausmatratzen werden je nach Intensität der Nutzung ausgetauscht, dies geschieht nach Auskunft mehrerer Krankenhausbetreiber meist nach 5–8 Jahren. Des Weiteren erfolgt ein Austausch infolge von der Neuanschaffung von Betten und nach Investitionsvolumen. Da Intensivbetten stärker gefordert werden, werden die Matratzen hier auch aufgrund von stärkeren Verschmutzungen früher ausgetauscht.

Im Folgenden wird eine durchschnittliche Lebensdauer von acht Jahren für Krankenhausmatratzen angesetzt. Bei Betten aus Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen wird aufgrund der hohen Belastung von sieben Jahren ausgegangen.

Theoretisches jährliches Altmatratzenaufkommen

77,3 Mio. Matratzen aus dem privaten Bereich mit einer Lebensdauer von zehn Jahren

+497.182 Betten in Krankenhäusern mit einer Lebensdauer von acht Jahren

+164.266 Betten in Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen mit einer Lebensdauer von sieben Jahren

+2.725.809 Matratzen im Gastgewerbe mit einer Lebensdauer von sechs Jahren

→ rund 8,27 Mio. Altmatratzen fallen im Jahr in Deutschland an

Zusätzlich gibt es im privaten Bereich eine große Anzahl an Gästematratzen und Eltern halten häufig noch ausgestattete Betten für bereits ausgezogene Kinder vor. Die Anzahl dieser Matratzen kann nicht abgeschätzt werden.

3.2 Erfassung

3.2.1 Erfassungssysteme

3.2.1.1 Erfassung aus Privathaushalten

Üblicherweise werden Matratzen aus privaten Haushalten mit dem Sperrmüll entsorgt. Hierfür stehen je nach Gemeinde/Stadt/Landkreis verschiedene Entsorgungsmöglichkeiten bereit, beispielsweise Sperrmülltouren oder Abgabe am Wertstoffhof (siehe Kapitel 2.2.1). Viele Händler bieten bei der Lieferung einer neuen Matratze die zum Teil kostenpflichtige Entsorgung alter Matratzen an.^{10,11} Sehr gut erhaltene Matratzen können teilweise in sozialen Einrichtungen abgegeben werden. Häufig ist eine Weitergabe genutzter Matratzen aufgrund von hygienischen Bedenken eingeschränkt.

¹⁰ <https://www.dormando.de/dormando-altprodukte-entsorgung/>

¹¹ <https://www.betten.de/magazin/bett-und-matratze-entsorgen.html>

3.2.1.2 Erfassung aus Hotel- und Gastgewerbe

Die Erfassung der Matratzen im Hotel- und Gastgewerbe erfolgt über die Gewerbeabfallentsorgung. Kleinere Mengen werden über die Erfassungssysteme der öRE entsorgt.

3.2.1.3 Erfassung aus Gesundheitswesen

Nach Aussage von mehreren Krankenhäusern werden die gebrauchten Matratzen als Spende weitergegeben, wenn dies der Zustand zulässt. Alternativ werden die Matratzen normal als Sperrmüll entsorgt. Die Matratzen, die aus Infektionsbereichen kommen, müssen desinfiziert werden.

3.2.2 Erfassungsmengen

Matratzen wird kein eigener Abfallschlüssel zugeordnet. Werden diese bei den öRE angedient, werden sie dem Sperrmüll zugeordnet (Abfallschlüssel 20 03 07). Dementsprechend liegen keine spezifischen Abfallstatistiken zu dem Abfallstrom Matratzen vor.

Im Durchschnitt verschiedener Größen, Materialien und Hersteller kann die Masse einer Matratze mit ca. 20 kg angenommen werden. Bei dem in Kapitel 3.1.2 ermittelten Matratzenabfall von 8,27 Mio. Matratzen entspricht dies 165.400 t, davon allein 154.600 t aus dem privaten Bereich. Anhand aktueller Sortieranaysen von Sperrmüll verschiedener öRE liegt der Anteil an Matratzen im Sperrmüll bei ca. 8 %, was 2,7 kg/(E*a) bzw. einer Gesamtmenge von ca. 225.000 t entspricht (Dornbusch et al., 2020). Die Differenz von ca. 70.000 t zwischen ermitteltem Altmatratzenaufkommen aus dem privaten Bereich und im Sperrmüll resultiert vermutlich aus den zusätzlichen Matratzen, die von Privathaushalten vorgehalten werden, deren Anzahl im Top-down-Ansatz nicht abgeschätzt werden konnte (z.B. Gästebetten, Betten von ausgezogenen Kindern, Doppelbetten bei verstorbenen Lebenspartnern usw.).

Problematisch bei der Erfassung und dem Transport von Matratzen ist deren unhandliche Größe und deren verhältnismäßig geringe Dichte. Eine Tonne unverpresster Matratzen hat ein Volumen von ungefähr 23 m³ (Chapman und Bartlett, 2015), damit ergibt sich pro Jahr in Deutschland ein Volumen an Altmatratzen von ca. 5 Mio. m³.

3.3 Verwertung

3.3.1 Verwertungswege

Da die Entsorgung der Matratzen aus den privaten Haushalten meist durch die öRE mit dem Sperrmüll erfolgt, sind Verschmutzungen bei der Bereitstellung oder der Sammlung des Sperrmülls nahezu unvermeidbar. Die energetische Verwertung ist derzeit der übliche Verwertungsweg in Deutschland. In der EU werden Matratzen größtenteils deponiert (45 %) oder verbrannt (33 %) (PURESmart, 2020).

Für die Konsument*innen in Deutschland ist die Rückgewinnung von Rohstoffen aus Matratzen kein Thema. Laut einer Umfrage der European Bedding Industries' Association (EBIA) von 2011 war nur für 15 % der Befragten die Umweltfreundlichkeit einer Matratze ein Kriterium, die Recyclingfähigkeit wurde überhaupt nicht erwähnt (EBIA, 2011).

Matratzen bestehen je nach Sorte und Aufbau aus unterschiedlichen Materialien. Tabelle 21 zeigt die durchschnittliche stoffliche Zusammensetzung eines gemischten Altmatratzen-Abfallstroms in Deutschland und gibt somit einen Überblick, welche Materialien bei einem stofflichen Verwertungsverfahren rückgewonnen werden können. Gemischte Textilien (Filz, Baumwolle, Wolle, Polyester-Vliesstoff und andere Naturmaterialien) sowie verschmutzte oder

feuchte Schaumstoffe werden nicht getrennt ausgewiesen, da abgesehen von der energetischen derzeit keine Verwertungsmöglichkeiten bestehen und diese somit beim Verwerter in Deutschland nicht getrennt erfasst werden. Theoretisch könnten aus diesen Materialien Dämmstoffe oder nach der Zerfaserung Filz oder Vlies hergestellt werden, allerdings gibt es aufgrund der geringen Qualität dieser Matratzenmaterialien keine Abnehmer.

Tabelle 21 Durchschnittliche Materialzusammensetzung von Altmatratzenströmen

Material	Durchschnittlicher Massenanteil (%)
PUR-Schaumstoffe	34
Latex-Schaumstoffe	4
Federkerne (ohne Anhaftung)	14
Federkerne (mit Anhaftungen PP-Vlies)	12
Textilien sowie nicht zu verwertende PUR- und Latex-Schaumstoffe	36

Quelle: Weiner, 2020

Matratzenzerlegung

Um Altmatratzen zu recyceln, müssen die einzelnen Materialien voneinander separiert werden. Inzwischen gibt es viele Matratzenhersteller, die abnehmbare Bezüge anbieten, doch entscheidend für das Recycling ist der innere Aufbau einer Matratze. Am besten lassen sich Matratzen mit einem einfachen Schaumstoffkern (PUR oder Latex) zerlegen. Ein solch einfacher Aufbau erfüllt jedoch häufig nicht den erwünschten individuellen Liegekomfort. Um diesen zu erreichen werden in vielen Matratzen verschiedene Materialien kombiniert, zum Beispiel werden verschiedene Schaumstoffsorten verklebt, Vlies- oder Baumwollzwischenschichten eingefügt bzw. angeklebt oder Federkerne in einzelne Polyester-Stofftaschen verpackt. Dies führt dazu, dass für die Zerlegung der Matratzen am Ende der Nutzungsdauer ein höherer Aufwand aufgebracht werden muss.

Insbesondere in Ländern bzw. Bundesstaaten, in denen eine erweiterte Produzentenverantwortung (EPR) für die Entsorgung von Matratzen gesetzlich verankert ist, wie beispielsweise in Frankreich oder Kalifornien, wurden in den letzten Jahren Strukturen zur Sammlung und Anlagen zur Zerlegung von Matratzen aufgebaut. Die Zerlegung erfolgt dabei entweder manuell, teilautomatisiert oder automatisiert (Dri et al., 2018). Als Beispiel für ein manuelles Zerlegungsverfahren kann das australische Unternehmen „soft landing“ dienen. Dabei stellt das Unternehmen vorrangig Menschen ein, die im regulären Arbeitsmarkt Schwierigkeiten haben (soft landing, 2020). Die in dem manuellen Matratzenrecyclingverfahren geschaffenen Arbeitsplätze eignen sich demnach gut für gering qualifizierte oder sozial benachteiligte Menschen. Es kann davon ausgegangen werden, dass pro Arbeiter 10.000 bis 12.500 Matratzen pro Jahr zerlegt werden können (Dri et al., 2018).

Bei dem Zerlegungsverfahren des kanadischen Recyclingunternehmens Recyc-Mattress werden manuelle Arbeitsschritte mit automatisierten gekoppelt (Recyc-Matelas, o.J.). Die niederländische Firma RetourMatras betreibt ein automatisiertes Zerlegungsverfahren. Die dabei gewonnenen textilen Materialien werden in einer Textilfabrik in Marokko erst zu Garn und dann zu neuen Textilprodukten weiterverarbeitet (RetourMatras, 2020).

In Deutschland gibt es in Wesel (NRW) ein Unternehmen, das sich seit mehr als 10 Jahren auf die fachgerechte Zerlegung von Matratzen spezialisiert hat. Die D & E Entsorgung GmbH zerlegt in einer etwa 1.200 m² großen Verwertungsanlage pro Jahr rund 2.000 t Matratzen, was etwa

130.000 Matratzen entspricht. Die Matratzen stammen hauptsächlich aus der kommunalen Sperrmüllsammlung, beispielsweise aus Essen, Dortmund oder Bochum. Es können alle Arten und Größen von Matratzen (außer Boxspringbetten) gegen eine Zuzahlung in Wesel angeliefert werden. Die aus der Zerlegung gewonnen PUR-Schaumstoffe sowie Latex-Schaumstoffe und Stahlschrotte werden als Sekundärrohstoffe verkauft und so einer stofflichen Verwertung zugeführt. Die Textilien und sonstigen Materialien werden energetisch verwertet. Es können so im besten Fall ca. 80 % – 90 % einer Matratze nach der Zerlegung der stofflichen Verwertung zugeführt werden (Asbestos Gruppe, o.J.; Weiner, 2020).

Der Verfahrensablauf bei der Zerlegung von Matratzen läuft dabei üblicherweise nachfolgenden Schritten ab (Dri et al., 2018):

1. Thermisches oder chemisches Hygienisieren der Matratzen

Dieser Schritt ist nicht in allen Verfahren Bestandteil, aber besonders bei einer manuellen Zerlegung aus Arbeitsschutzgründen wichtig. Die Hygienisierung kann entweder thermisch oder durch die Behandlung mit einem Desinfektionsmittel (z.B. als Sprühnebel in einem separaten Raum) erfolgen.

2. Separierung nach Matratzentyp (Schaumstoffe, Federkern, Boxspring)

Mithilfe von Metalldetektoren können Federkernmatratzen automatisch von Schaumstoffmatratzen getrennt werden.

3. Aufschneiden und Abziehen des Matratzenbezugs

Dies kann manuell mithilfe von Teppichmessern oder Winkelschleifern auf einem geeigneten Arbeitstisch erfolgen. Im automatisierten Verfahren wird der Bezug mit Schneidrollen seitlich aufgeschnitten und mit zwei Abziehrollen entfernt.

4. Trennung der einzelnen Materialien voneinander

Abtrennen von Baumwollbestandteilen und anderen textilen Materialien. Herausnehmen des Federkerns und Zerkleinerung des Stahls. Taschenfederkerne müssten meist von den Stofftaschen getrennt werden, um einen Abnehmer zu finden. Verschiedene Schaumstofftypen können durch manuelles Sortieren oder mithilfe von Nahinfrarottechnologie voneinander getrennt werden.

5. Verpressen der sortenreinen Schaumstoff- und Textilmaterialien zu Ballen bzw. Lagerung von Metall und Holz in Containern zum Verkauf an verwertende Unternehmen

Wirtschaftlich zu betreiben sind solche Zerlegungsanlagen derzeit nur mit einer Zuzahlung, da der Verkauf der rückgewonnenen Materialien den Aufwand nicht deckt. Die Höhe der Zuzahlung hängt von dem Verfahren, der Anzahl der behandelten Matratzen und dem erzielbaren Preis für die recycelten Materialien ab. In einer Studie für den EU-Markt wurde die erforderliche Zuzahlung für ein Matratzenzerlegungsverfahren nach bester Praxis zwischen 6,00 € und 7,50 € pro Matratze beziffert (Dri et al., 2018). Das entspricht mindestens 300 €/t und übersteigt somit die Zuzahlung, die bei der energetischen Abfallverwertung von Sperrmüll in Deutschland zu leisten ist, um 100-200 €/t.

Vor Ort werden die geforderten Zuzahlungen einzelner Anbieter je nach den spezifischen Gegebenheiten festgelegt. Solange keine erweiterte Herstellerverantwortung existiert, müssen Matratzenzerlegungsunternehmen häufig die geforderte Zuzahlung an den energetischen Verwertungsverfahren in der Umgebung orientieren, um konkurrenzfähig zu bleiben.

Die Schwierigkeit bei der Anlagenplanung für die Zerlegung besteht in erster Linie in der Verfügbarkeit von Altmatratzen zu wirtschaftlichen Sammel- und Transportkosten in

ausreichender Menge und Qualität. Insbesondere automatisierte Verfahren benötigen aufgrund hoher Investitionskosten eine stetige Altmatratzenzufuhr von mehreren Tausend Tonnen pro Jahr. Eine weitere Herausforderung ist das Trennen von Metall und den PP-Vlies-Umhüllungen bei Taschenfederkernmatratzen. Mit einem gewissen Aufwand ist dies technisch mithilfe von Schreddern und Sortierung möglich, allerdings hängt die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens stark von den Stahlpreisen ab, sodass nicht alle Matratzenzerleger Taschenfederkerne recyceln können. Um den Aufwand beim Recyceln von Taschenfederkernen zu verringern, hat unter anderem die TFR Group (UK) 2016 eine automatisierte Maschine entwickelt, um die Metallfedern einer Matratze innerhalb von 2,5 min zu separieren (TFR Group, 2020).

Wichtig für das Recycling ist ein recyclinggerechtes Design, das heißt eine einfache Zerlegbarkeit der Matratzen. Boxspringbetten lassen sich, ähnlich wie Polstermöbel, derzeit nur mit großem Aufwand zerlegen (Hahnenkamp u. Tuminski 2017). Auch bei Matratzen erschweren zunehmende Material- bzw. Schaumstoffverbunde die Zerlegung in sortenreine Stoffströme. Bei einigen Matratzenherstellern gibt es dagegen schon Bemühungen, kreislauffähige Matratzen herzustellen, auch wenn nur wenige solcher „Closed Loop“-Matratzen schon am Markt verfügbar sind. Die Firma Auping hat zusammen mit DSM-Niaga eine zerlegbare Matratze auf den Markt gebracht. Die Matratze besteht aus Taschenfedern und luftdurchlässigen Textilien, die mit speziellem Kleber und Faden verbunden sind, sodass sie einfach voneinander getrennt werden können. Das ermöglicht neben dem Recycling den Austausch von einzelnen Bestandteilen und kann so zum Beispiel auch die Lebensdauer von Matratzen verlängern (Auping, o.J.).

Recycling von Weichschaum

Werkstoffliche Verwertungswege für Kunststoffe wie PUR-Schaum (bspw. Flockenverbund, Partikelverbund, Pulvereinarbeitung, Fließpressen, Spritzgießen) sind bisher nur für Produktionsabfälle etabliert. Für Weichschaum aus Post-Consumer-Abfällen sind die Vermarktungsoptionen in Europa bisher gering.

Bei der werkstofflichen Verwertung von Weichschäumen werden die Schaumplatten, meist getrennt nach Sorte, zerkleinert und anschließend als Flockenverbund neu zusammengeklebt und gepresst. Dieses Verfahren wird Rebonding genannt. Die so entstandenen Platten können beispielsweise als Dämmstoffe, als Teppichunterlagen oder in Sportmatten verwendet werden (Cormatex, 2020; European Commission 2020). Allerdings sinkt beim Rebonding-Verfahren der Materialwert des Weichschaums. Bei der Verwertung von gebrauchtem Matratzenschaum muss zugleich immer beachtet werden, dass ein hygienisches Risiko durch Staubmilben, Bettwanzen und Allergene besteht. Dies erschwert ein gleichwertiges Recycling durch werkstoffliche Verwertung und verringert die Akzeptanz der Recyclingprodukte bei den Nutzer*innen. Deswegen ist die werkstoffliche Verwertung bisher vor allem für Produktionsabfälle etabliert. Für Weichschaum aus Post-Consumer-Abfällen sind die Vermarktungsoptionen in Europa bisher gering.

Um die Akzeptanz bei den Verbraucher*innen zu erhöhen sind ausreichende Hygienisierung, Überprüfung der Recyclingprodukte und eine Zertifizierung oder ein Label erforderlich. Im Forschungsprojekt URBANREC wurde Weichschaum für Matratzen aus zerkleinerten Post-Consumer PUR-Schäumen in einem heißen Pressverfahren hergestellt. Bei der anschließenden Untersuchung wurden keine biogefährlichen Keime, keine Chemikalien der REACH-Verordnung und nur eine chemische Substanz mit höherem Gehalt als im Oeko-Tex-Standard gefordert gefunden (UrbanRec, 2019). Der französische Recycler und Matratzenhersteller Secondly zerlegt nach einer Hygienisierung Matratzen und produziert aus dem Weichschaum (PUR und Latex) mithilfe der AIR LAY-Technologie neue Flockenverbund-Schaumplatten, die zum Beispiel in der hauseigenen Matratzenproduktion oder bei der Polstermöbelherstellung eingesetzt werden. Die

Textilien werden zerfasert und zu Filz verarbeitet. Auf diese Weise werden 90 % der zerlegten 200.000 Matratzen pro Jahr stofflich verwertet (Secondly, o.J.; Dri et al., 2018; European Commission, 2020).

Auch chemische Verwertungsverfahren können für das Recycling von Weichschaum angewendet werden. Hierbei sind ebenfalls die Reinheit der Ausgangsmaterialien und die Zugabe verschiedener Additive bei der PUR-Herstellung herausfordernd. Daher ist die Verwertung von Produktionsabfällen technisch leichter umsetzbar, während an dem chemischen Abbau von Post-Consumer-PUR-Schaumstoffen zu wiederverwendbaren Polyolen derzeit in Deutschland aber auch in anderen Ländern noch geforscht wird bzw. Verfahren entwickelt oder bereits skaliert werden. Für das chemische Recycling von PUR-Schaumstoff kommen Solvolysenverfahren (z.B. Glykolyse, Acidolyse, Aminolyse) in Frage, bei denen die Polymerketten des Polyurethans mithilfe eines Lösungsmittels gespalten werden (Depolymerisation). Ziel ist die Kreislaufführung von PUR-Weichschaumstoffen; aber mit vielen Verfahren wurde bisher nur die Rückgewinnung von Klebstoffen oder Hartschaumstoffen erreicht, die in anderen Anwendungen als Matratzenschaum eingesetzt werden können.

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts URBANREC entwickelte der Forschungsteilnehmer RAMPF EcoSolutions GmbH einen Solvolysenprozess, mit welchem aus PUR-Schäumen von gebrauchten Matratzen mittels Glykolyse und Acidolyse Polyole gewonnen werden können. Diese dienen als Ausgangsstoff bei der PUR-Herstellung, sodass mit diesem Prozess eine Kreislaufführung möglich ist, die es erlaubt, beispielsweise Kissen, Matratzen, Isolationschäume und Klebstoffe aus den Sekundärstoffen herzustellen (RAMPF, 2019).

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt die H&S Anlagentechnik GmbH, welche nach eigenen Angaben in Dendro (Polen) bereits eine Anlage zum Recycling von PUR-Schaum aus Produktionsabfällen mit einer Kapazität von 1.000 t/a an Reststoffen betreibt, mit denen 2.400 t/a Polyol produziert werden (H&S Anlagentechnik, 2019). Laut Angaben des Unternehmens kann ein Anteil von mindestens 20 % der recycelten Polyole bei der Herstellung neuer PUR-Schaum-Matratzen eingesetzt werden, ohne die mechanischen Eigenschaften zu beeinflussen. Die Kosten des wiedergewonnenen Polyols sollen 25-30 % unter dem Marktpreis der Grundpolyetherpolyol-Neuware liegen. 2021 soll die erste industrielle Anlage für das Recycling von Post-Consumer-Matratzen in Frankreich in Betrieb gehen (H&S Anlagentechnik, 2020).

Von 2019 bis 2022 läuft ein EU-weites Verbundforschungsvorhaben, das sich mit dem Recycling von PUR-Schaum beschäftigt. Die Fragestellungen reichen dabei von der Sammlung und Sortierung, über die chemische Zerlegung und die Herstellung neuer Produkte in recyclinggerechtem Design aus den wiedergewonnenen Monomeren (PReSmart, 2020). Auch BASF und Covestro testen chemische Recyclingverfahren für PUR-Schäume aus Post-Consumer-Matratzen. Erste Pilotversuche laufen seit Mitte 2020 bzw. 2021 (BASF, o.J.; bvse, 2020, Königsreuther, 2021).

Recycling von sonstigen Matratzenmaterialien

Für die Materialien Stahl (und Holz aus Boxspringbetten) gibt es in Deutschland bereits etablierte Verwertungswege und einen Markt, sobald die Materialien getrennt voneinander vorliegen.

Für die stoffliche Verwertung von Polyester-Materialien durch Depolymerisation existieren bereits die ersten Pilotanlagen von patentierten Verfahren und eine großtechnische Anlage in Japan (gr3n sagl, o.J.; Loop Industries, o.J.; Schmidt et al., 2016). Durch das Depolymerisationsverfahren können verschiedenste PET- und Polyestermaterialien verarbeitet

werden. Studien zu möglichen Kosten und Umweltauswirkungen der Verfahren liegen noch nicht vor.

Eine Auflistung, welche Matratzenmaterialien zu welchen Produkten recycelt werden können, findet sich in Tabelle 22. Die Angaben der Unternehmen, welcher Anteil der gesammelten Matratzen sortenrein sortiert werden kann, liegt zwischen 80 und 98 % (Dri et al., 2018; MRC, 2019; European Commission, 2020).

Tabelle 22 Materialien, die aus Matratzen wiedergewonnen werden können und ihre Verwertungswege

Material	Verwertungswege
PUR-Schaum	- Chemische Solvolyse zur Herstellung von Recyclingpolyolen, die (anteilig) zur Herstellung neuer PUR-(Weich)Schaumprodukte oder von Klebstoffen genutzt werden können - Zerkleinerung und Verklebung zu Dämmstoffplatten, Teppichrücken oder neuen Matratzen- bzw. Polsterschaumstoffen (Rebonding)
Metallfedern	- Sekundärrohstoff für die Stahlindustrie
Textiler Bezug	- Reißerei: Zerkleinerung zur Herstellung von Nadelvliesen oder Filzen - Polyester: chemisches Recycling - Herstellung von Dämmstoffen - Ersatzbrennstoffe
Filz, Vlies, Federkernabdeckungen	- Ersatzbrennstoffe - Dämmstoffherstellung - Polyester: chemisches Recycling
Holz (Boxspring-Betten)	- Spanplattenherstellung
Latex-Schaum	- Verpressen zu Teppichbodenunterseiten - Rebonding
Reste (verdeckte Textilien, andere Materialien)	- Ersatzbrennstoffe

3.3.2 Umweltpotenzial und Aufwand

In vielen Ländern weltweit, aber auch in der EU, werden Matratzen nach ihrer Nutzungsdauer deponiert. Im Vergleich zur Deponierung wurden den stofflichen Verwertungsverfahren in mehreren Ökobilanzen geringere Treibhausgasemissionen und eine Reduzierung der negativen Umwelteinflüsse nachgewiesen (Dri et al., 2018; Geyer et al., 2012). In Deutschland dürfen Matratzen ohne Vorbehandlung nicht deponiert werden und werden überwiegend energetisch verwertet. Eine deutsche Studie zu den ökologischen Auswirkungen der Herstellung und stofflichen Verwertung verschiedener Matratzenmaterialien zeigt unterschiedliche ökologische Bewertungen im Vergleich zur energetischen Verwertung. Je nach Recyclingaufwand und erreichbarer Qualität des jeweiligen Sekundärmaterials wurden in den Bereichen Treibhausgasemissionen, Ressourcenverbrauch und Primärenergieaufwendungen die Auswirkungen der stofflichen Verwertung im Vergleich zur Verbrennung abgeschätzt. Während für das Stahlrecycling und das chemische Recycling von Polyester stoffliche Verwertungsverfahren ökologisch vorteilhaft sind, wurde die Zerkleinerung von Baumwolle und das Rebonding von PUR-Schaum mit derzeitigem Stand der Technik als ökologisch nachteilig

eingestuft. Bei Latexschaum (Naturlatex oder synthetisches Material) kann je nach Umweltindikator sowohl stoffliches (Rebonding) als auch thermisches Verwerten vorteilhaft sein. Weitere Matratzenmaterialien und das chemische Recycling von PUR-Schaum wurden in der Studie nicht untersucht (Teubler und Bickel, 2019).

Im Rahmen eines Fachgesprächs am 19.02.2019 bei der Deutschen Umwelthilfe e.V. (DUH) in Berlin kamen die beteiligten Expert*innen zu der Feststellung, dass das Recycling von Matratzen aus der Sperrmüllfraktion kurz- und mittelfristig unter den gegenwärtigen Bedingungen des Entsorgungsmarktes nicht zu realisieren ist, obwohl Konsens darüber besteht, dass eine vermehrte stoffliche Nutzung der Sperrmüllbestandteile sinnvoll wäre. Zwei Gründe erschweren das Recycling bei Matratzen wesentlich:

3. Die Zusammensetzung der Matratzen ist zu heterogen und die Trennung der einzelnen Bestandteile zu kompliziert. Zudem können die Matratzen, welche mit dem Sperrmüll anfallen, sehr alt sein, teilweise über 20 Jahre, sodass heutige Änderungen im Produktdesign erst langfristig im Abfallstrom wirksam werden.
4. Die Materialqualität der mit dem Sperrmüll gesammelten Matratzen ist sehr schlecht. Es wäre eine kostenintensive Getrennthaltung und Lagerung ohne Nässeinwirkung erforderlich, um die Materialqualität für einen stofflichen Verwertungsweg zu gewährleisten.

Zudem wäre es erforderlich, einen Nachfragemarkt für die erzeugten Sekundärrohstoffe zu etablieren (VKU, 2019). Die Nachfrage nach PUR-Schaum könnte steigen, wenn eine chemische Recyclinganlage für Post-Consumer PUR-Schaum in Deutschland errichtet wird.

Eine Zerlegung ist mit einem gewissen Aufwand verbunden. Häufig wird eine manuelle Zerlegung eingesetzt, bei der pro Matratze knapp 10 Minuten Arbeitszeit allein für die Zerlegung gerechnet werden müssen. Bei einer automatisierten Anlage sind die Investitionskosten höher, dafür jedoch die Betriebskosten geringer. Allerdings wird für automatisierte Anlagen ein höherer Mengeninput benötigt (bspw. > 120.000 Matratzen/Jahr), um die Investitionskosten zu decken.

Aufgrund der geringen Dichte von Matratzen und der damit verbundenen hohen spezifischen Transportkosten und Transportemissionen, ist die räumliche Nähe zum Bezugsort der Altmatratzen entscheidend. Insbesondere Kaltschaummatratzen werden vor der Auslieferung oft zusammengerollt, platzsparend verpresst oder vakuumiert und in einer Folie verpackt. Die Technik dafür steht jedoch bei der dezentralen Abfallsammlung nicht zur Verfügung, sodass hier Form und Volumen der vollständig entfalteten Matratze angesetzt werden muss. Von Matratzenzerlegern wird eine Entfernung unter 100 km zwischen Zerlegungsanlage und Anfallort empfohlen. In Frankreich, wo eine erweiterte Herstellerverantwortung für Matratzen gilt, sind mit 7 Matratzenbehandlungsanlagen, dementsprechend eine pro 78.000 km² (ohne Überseegebiete), deutlich weitere Strecken für den Transport der Matratzen anzusetzen (Eco-Mobilier, 2020). Als Anhaltspunkt für das Recycling von PUR-Schaum kann eine maximale Entfernung von 300 km zwischen Anfall der Altmatratzen, Zerlegungsanlage bis hin zur PUR-Recyclinganlage angesetzt werden.

3.3.3 Bewertung und Fazit

Altmatratzen sind ein mengenmäßig relevanter Abfallstrom in Deutschland. Die energetische Verwertung von Matratzen ist ein Entsorgungsweg mit vertretbaren Kosten, geringem Platzbedarf und mäßigen Treibhausgasemissionen.

In Deutschland ist die stoffliche Verwertung von Matratzen aufgrund der Kosten für die Zerlegung und dem fehlenden Markt für die Sekundärmaterialien, abgesehen von Metallen, mit den aktuellen Rahmenbedingungen, unter anderem der Konkurrenz zur Verbrennung, nicht wirtschaftlich. Allerdings sind Matratzen unter anderem aufgrund der Größe kein einfach zu handhabender Abfallstrom für thermische Abfallbehandlungsanlagen. Daher werden Matratzen nur in geringem Anteil in gemischtem Sperrmüll angenommen. Monochargen an Matratzen werden nur zerkleinert in Verbrennungsanlagen entsorgt.

Zum Aufbau eines Recyclingsystems müsste zudem eine Sammellogistik aufgebaut werden, damit eine ausreichende Menge an Matratzen als Input in ein großtechnisches Verfahren gebündelt werden kann. In der Sperrmüllsammlung werden Matratzen oft verschmutzt oder durchnässt, sodass die stoffliche Verwertung hinterher stark eingeschränkt ist.

International existieren inzwischen großtechnisch nutzbare und praktikable Verfahren zur Aufbereitung und zum Recycling von Post-Consumer-Matratzen, mit denen ca. 90 % der Materialien recycelt werden können. Zudem wird weiterhin dazu geforscht und es werden neue Anlagen entwickelt und patentiert. Auch große Unternehmen engagieren sich im Bereich des Matratzenrecyclings. Es wird zwischen Anlagen zur Zerlegung der Matratzen in ihre Bestandteile und Anlagen zur Verwertung der (zugekauften) sortenreinen Materialien unterschieden. Das Zerlegen von Matratzen ist technisch möglich und die Investitionskosten halten sich insbesondere bei manuellen Zerlegungsverfahren in Grenzen. Für eine manuelle Zerlegungsanlage werden in einer Studie für den europäischen Markt Investitionskosten von 30.000 € angenommen, für eine vollautomatisierte Anlage dagegen 2.000.000 € (Dri et al., 2018). Durch die entsprechenden Lohn- oder Abschreibungskosten sind Matratzenzerlegungsanlagen nur mit einer Zuzahlung wirtschaftlich zu betreiben, was derzeit in Deutschland aufgrund der Konkurrenz zur energetischen Verwertung eine Herausforderung ist. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Kapazitäten der energetischen Verwertung zukünftig knapper werden und die Kosten steigen könnten (Obermeier und Lehmann, 2020). Durch ein kreislaufgerechtes Matratzendesign wird die Zerlegbarkeit in die einzelnen Materialien gewährleistet und vereinfacht, was auch das Kosten-Nutzen-Verhältnis von Matratzenzerlegungsanlagen verbessert.

Für die weitere Verwertung der Recyclingprodukte ist in Deutschland der Markt für Sekundärstoffe zu stärken, insbesondere für Weichschäume und textile Bezüge. In erster Linie sollte allerdings eine Rückführung der eingesetzten Materialien in die Matratzenherstellung anvisiert werden, um Stoffkreisläufe zu schließen und mithilfe von kreislaufgerechten Matratzendesigns eine Materialquelle für die Hersteller zu erschließen. Bei PUR-Schaum wird sich in den nächsten Jahren zeigen, ob sich ein chemisches Recycling technisch und wirtschaftlich durchsetzen kann. Ist keine direkte Kreislaufführung möglich, sollte eine Kaskadennutzung anstelle von direkter energetischer Verwertung unterstützt werden. Das kann zum Beispiel die Nutzung von PUR-Weichschaum oder textilen Materialien als Dämmstoff sein. In Matratzenproduktion selbst werden derzeit nur in manchen Modellen geringe Anteile an Sekundärmaterialien eingesetzt, da die Matratzen hohen Hygiene- und Qualitätsansprüchen genügen müssen.

3.4 Maßnahmenvorschläge

Aufgrund der derzeit bestehenden Rahmenbedingungen fehlen in Deutschland bisher Anlagen zur Verwertung von Matratzen sowie Sammelstrukturen zur Mengenbündelung, die für die stoffliche Verwertung geeignet sind. Im Folgenden werden verschiedene Maßnahmen für die Verbesserung der stofflichen Verwertung von Matratzen beschrieben und nach den in Kapitel 1.3.1 genannten Kriterien bewertet.

3.4.1 Aushandeln von einheitlichen Designkriterien auf EU-Ebene, die das Recycling vereinfachen und Übernahme in Normen oder Label

Um zukünftig das stoffliche Recycling zu erleichtern, sollte das Matratzendesign so gestaltet werden, dass eine einfache Zerlegbarkeit gewährleistet ist und die eingesetzten Materialien recyclingfähig sind. Dazu müssen konkrete und transparente Designkriterien mit den Herstellern, Zerlegungs- und Recyclingfirmen ausgehandelt werden. Da heutige Änderungen im Produktdesign von Matratzen aufgrund der langen Nutzungsdauer von Matratzen erst ca. zehn Jahre später für die Abfallwirtschaft relevant werden, müssen die Anreize für kreislauffähige Produkte frühzeitig gesetzt werden.

Darüber hinaus kann eine Kennzeichnung der eingesetzten Materialien die Sortierung bei der Zerlegung vereinfachen. Bei Matratzen kann dies unsichtbar unter dem Bezug realisiert werden. Mithilfe eines QR-Codes an der Matratze könnte auch der Verweis in eine Datenbank umgesetzt werden, in der noch weitere Informationen, zum Beispiel zu möglichen Verwertungswegen oder -anlagen, zu finden sind. Dazu müssten geeignete Methoden gefunden werden, wie eine solche Kennzeichnung einheitlich umzusetzen ist und wie die Lesbarkeit nach der langen Nutzungsdauer gewährleistet werden kann.

Siegel, Label oder Normen helfen dabei, einheitliche Standards für die Industrie zu schaffen und die Verbraucher*innen gezielt über umweltfreundliche Produkte zu informieren. Beispielsweise muss entsprechend der Kriterien des EU-Ecolabels 2014/391/EU für Matratzen herstellerseitig eine einfache Zerlegbarkeit gewährleistet werden. Um die Verbraucher*innen nicht mit neuen Labeln zu verwirren, ist es sinnvoll, bekannte Label, wie beispielsweise den Blauen Engel, um Kriterien für ein recyclinggerechtes Design und den Einsatz von Sekundärmaterialien zu erweitern.

Tabelle 23 Bewertung der Maßnahme „Aushandeln von einheitlichen Designkriterien auf EU-Ebene, die das Recycling vereinfachen, und Übernahme in Label“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Da keine verpflichtende Maßnahme, kein zusätzlicher bürokratischer Aufwand	1
Rechtliche Aspekte	keine rechtlichen Änderungen erforderlich	1
Statistische Aspekte	kein Einfluss auf die statistische Erfassung	5
Organisatorischer Aufwand	hoher organisatorischer Aufwand; Abstimmung zwischen allen Stakeholdergruppen erforderlich, aber Einigung auf nicht verpflichtende Kriterien einfacher als auf verpflichtende	3
Umsetzungshorizont	Mittelfristig (3–5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	Umsetzung von recyclinggerechtem Design ist unverbindlich, allerdings sorgt die Implementierung in Label oder Normen dafür, dass die Designkriterien umgesetzt werden	4
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms.	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	sichert nicht die Finanzierung der Verwertung, gleichwohl können durch ein recyclinggerechtes Design die Kosten für die Zerlegung verringert und der Erlös durch den Verkauf von Sekundärmaterialien gesteigert werden	4

Kriterium	Bewertung	Punkte
Stärkung des Recyclings	Durch ein einheitliches Matratzendesign wird das Recycling vereinfacht und Entsorger können sich besser auf die Behandlung der Altmatratten spezialisieren.	3
Akzeptanz der Akteure	Überlegungen und Diskussionen zu den technischen Möglichkeiten der Rückgewinnung von Rohstoffen aus Matratzen werden von einer Mehrheit der Akteure befürwortet und von vielen Herstellern bereits untersucht.	1
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert keinen Aufwand für die Öffentlichkeitsarbeit.	1
Gewichtetes Ergebnis		2,7
Adressaten	Hersteller, Recycler, chemische Industrie, Politik / BMU, Gütesicherungsorganisationen, Normungsinstitute	
Fazit	Recyclinggerechte Designkriterien verbessern die Zusammenarbeit zwischen Herstellern und Recyclern und fördern die technische Weiterentwicklung. Obwohl diese Maßnahme allein wenig Wirkung entfaltet, ist sie als Grundlage für weitere Maßnahmen sinnvoll.	

3.4.2 Freiwillige Selbstverpflichtung der Hersteller zur Umsetzung eines recyclinggerechten Matratzendesigns und des Handels zum Ausbau von Rücknahmesystemen

In der deutschen Matratzenbranche und der chemischen Industrie besteht bereits Interesse an der Rückführung von Ressourcen und an ökologischen Materialien und Verfahren. Die freiwillige Selbstverpflichtung der Branche erfordert, dass sich EU-weit Hersteller, Materialzulieferer und die Recyclingbranche zusammenfinden, um verpflichtende Ziele für die Sammlung und das Recycling von Altmatratten festzulegen.

Ein weiteres Hindernis der stofflichen Verwertung von Matratzen ist, dass diese bei der Sammlung durch den öRE verschmutzen oder nass werden können. Einige Händler bieten als Serviceleistung bereits die Rücknahme von Altmatratten beim Kauf von neuen Matratzen an. Dennoch bestehen auch hier Herausforderungen, da Schaumstoffmatratzen häufig vor dem Transport zu Verbraucher*innen maschinell zusammengepresst werden, Altmatratten jedoch einen gewissen Platzbedarf haben und Hygieneanforderungen stellen. Der Aufbau von Rücknahmesystemen kann nur durch die Händler erfolgen, da Matratzenhersteller keinen Kontakt zu den Verbraucher*innen haben, sondern immer Händler zwischen Hersteller und Verbraucher*innen agieren.

Tabelle 24 Bewertung der Maßnahme „Freiwillige Selbstverpflichtung der Hersteller zur Umsetzung eines recyclinggerechten Matratzendesigns und des Handels zum Ausbau von Rücknahmesystemen“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Um das Erreichen der festgelegten Ziele zu überprüfen, müssen von allen Herstellern, Händlern und der Recyclingbranche die auf den Markt gebrachten und erfassten Mengen und Verwertungswege zentral erfasst werden	3
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Regelung auf Basis des § 26 Abs. 1 KrWG, um rechtliche Verbindlichkeiten der Zielsetzungen zu erreichen	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
Statistische Aspekte	verbessert die statistische Erfassung; die im Handel rückgenommenen Matratzen müssen bilanziert werden, um die Ziele der Selbstverpflichtung zu überprüfen	3
Organisatorischer Aufwand	hoher organisatorischer Aufwand; Abstimmung zwischen allen Stakeholdergruppen erforderlich, aushandeln von Zielen (EU-Ebene)	4
Umsetzungshorizont	Langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	Verbindlich, da Selbstverpflichtung der Branche	3
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme verbessert durch Rücknahmesysteme und öffentliche Ziele die Erfassung.	2
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Hersteller und Handel beteiligen sich an der Finanzierung von Recyclinglösungen	3
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme kann langfristig die Möglichkeiten der stofflichen Verwertung verbessern, ist aber freiwillig	3
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: mittel (mit hohem Aufwand und Umstellungen verbunden, allerdings weniger ökonomisches Risiko einzelner Hersteller bei der Umsetzung eines recyclinggerechten Designs) Handel: gering (mit hohem zusätzlichem Aufwand verbunden, nötige Fläche und Logistik nicht bei jedem Händler verfügbar) Entsorgungswirtschaft: gut (erleichtert die Zerlegung und Verwertung der Materialien)	3
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen mittleren Aufwand für die Öffentlichkeitsarbeit. Die Verbraucher*innen müssen informiert werden, falls andere Strukturen zur Sammlung von Altmatratzen geschaffen werden.	3
Gewichtetes Ergebnis		3,2
Adressaten	Hersteller und Herstellerverbände, Handel, Recyclingbranche, Gütesicherungsorganisationen, Normungsinstitute, BMU	
Fazit	Die Maßnahme adressiert die Hindernisse Produktdesign und Erfassung. Größte Herausforderung wird es sein, einheitliche Kriterien für den Matratzenaufbau auszuhandeln und Ziele festzulegen. Die Wirkung der Maßnahme hängt von dem Umfang der erzielbaren Festlegungen auf EU-Ebene ab. Die Qualität der Sammlung ist bei Rücknahmesystemen der Hersteller als gut einzustufen, allerdings wird auch zukünftig nur ein Teil der Matratzen in Rücknahmesystemen erfasst werden.	

3.4.3 Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge

Da die Materialerlöse die Kosten für die Zerlegung nur zu einem geringen Teil abdecken, sind für Zerlegungsverfahren Zuzahlungen nötig, die derzeit nicht mit den Zuzahlungen für die energetische Verwertung konkurrieren können. Um ein stoffliches Verwertungssystem aufzubauen, müsste die Finanzierung über andere Wege erfolgen. Hier kann eine erweiterte Herstellerverantwortung, im Sinne eines finanziellen Beitrags pro verkaufter Matratze an eine von den Herstellern gegründete Organisation, Abhilfe schaffen. Sinnvoll wäre es, eine Staffelung des Beitrags nach Kreislauffähigkeit der Matratzen vorzuschreiben, um den tatsächlichen

Aufwand zum Recycling der Matratze widerzuspiegeln und Hersteller zu belohnen, die schon ein kreislaufgerechtes Design umgesetzt haben oder Sekundärmaterialien bei der Produktion einsetzen. Mithilfe dieser Summe könnten separate und überdachte Container bei kommunalen Sammelstellen und (freiwillige) Rücknahmesysteme der Händler sowie eine verbesserte Matratzenzerlegung an mehreren Stellen in Deutschland finanziert werden. Wichtig ist, dass sowohl Online-Händler als auch stationäre Händler gleichermaßen einbezogen und sowohl die klassischen Matratzen als auch Boxspringbetten eingeschlossen werden.

Die Finanzierung kann entweder durch die Hersteller bzw. Importeure direkt erfolgen oder durch Weitergabe des Beitrags beim Verkauf an die Verbraucher*innen. Bei dem Modell des separat ausgezeichneten Beitrags für Verbraucher*innen ist ein höherer Aufwand für die Öffentlichkeitsarbeit erforderlich. Die Methode bietet jedoch auch den Vorteil, dass Verbraucher*innen auf die Vorteile des Recyclings aufmerksam gemacht werden und sich bei einem gestaffelten Beitrag mittels einfacher Kriterien für das einfacher zu recycelnde Produkt entscheiden können.

Tabelle 25 Bewertung der Maßnahme „Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	aufwändig; hoher organisatorischer Aufwand	4
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Regelung auf Basis des § 23 Abs. 4 KrWG bzw. einer EU-Richtlinie	3
Statistische Aspekte	Die Erfassung der statistischen Mengendaten ist aufgrund der Meldeverpflichtungen der Hersteller und Entsorger in einem System der erweiterten Herstellerverantwortung gesichert.	1
Organisatorischer Aufwand	sehr hoher organisatorischer Aufwand; Abstimmung zwischen allen Stakeholdergruppen zur Verbesserung der Akzeptanz erforderlich	5
Umsetzungshorizont	Langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme verbessert die Erfassung des Stoffstroms.	1
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Finanzierung der Sammlung und Verwertung kann über erweiterte Herstellerverantwortung sichergestellt werden. Die Finanzierung wird von einer überwiegend pauschalen Finanzierung über die abfallwirtschaftliche Grundgebühr (Sperrmüllentsorgung) umgestellt auf eine konsumbasierte Basis in Form von in den Einkaufspreis einkalkulierten Entsorgungskosten.	1
Stärkung des Recyclings	In Abhängigkeit der gesetzlichen Vorgaben an Erfassung und Verwertung (Quoten) sowie Implementierung von Anreizsystemen zur nachhaltigen Produktgestaltung (z.B. gestaffelte Beiträge) wird das Recycling gestärkt; die Maßnahme betrifft alle in Deutschland verkauften Matratzen	1
Akzeptanz der Akteure	Hersteller, Handel: gering (hoher Zusatzaufwand) Verbraucher*innen: indifferent (geringe Preiserhöhung) Entsorgungswirtschaft: hoch (hochwertige Entsorgungswege werden ermöglicht)	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen mittleren bis großen Aufwand für die Öffentlichkeitsarbeit. Die Verbraucher*innen müssen informiert werden, für welchen Zweck die Abgabe gezahlt wird, was damit erreicht wurde und wo sie ihre Altmatratzen zukünftig abgeben können.	4
Gewichtetes Ergebnis		2,4
Adressaten	Bundesregierung, Hersteller, Handel, Importeure, örE	
Fazit	Einer hohen Wirksamkeit bei der Umsetzung ökologischer, ökonomischer und statistischer Anforderungen stehen ein hoher Aufwand bei der Umsetzung sowie die geringe Akzeptanz bei Herstellern und Handel entgegen, woraus auch eine langfristige Umsetzungszeit resultiert. Die Herstellerverantwortung muss so gestaltet sein, dass freier EU-Binnenmarkt bestehen bleibt.	

3.4.4 Förderung von Demonstrationsanlagen (z.B. chemisches Recycling von PUR-Schaum) und Beispielprojekten

Auch für die stoffliche Verwertung der bei der Zerlegung gewonnenen Materialien fehlen in Deutschland geeignete Anlagen und Verfahren, die eine ausreichende Nachfrage nach Sekundärmaterialien schaffen. Hier sind neben der Matratzenindustrie branchenübergreifend alle Industrien gefordert, in Forschungs- und Entwicklungsprojekten nach Techniken für den Ersatz von Neumaterialien durch Sekundärmaterialien zu suchen. Insbesondere in der chemischen Industrie engagieren sich einige Unternehmen bereits im Bereich des PUR-Recyclings. Hier ist eine Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Branchen, in denen PUR-Weichschaum eingesetzt wird (bspw. Polstermöbel, Autositze), Entsorgern, Verwertern und der chemischen Industrie erforderlich, um zu ergründen, auf welche Weise die Mengen für ein Recyclingverfahren in geeigneter Qualität am besten gebündelt werden können.

Tabelle 26 Bewertung der Maßnahme „Förderung von Demonstrationsanlagen (z.B. chemisches Recycling von PUR-Schaum) und Beispielprojekten“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	<i>Nicht relevant, da Umsetzung an einzelnen Standorten</i>	
Rechtliche Aspekte	Grundlage vorhanden	1
Statistische Aspekte	<i>Nicht relevant, da Forschungs- oder Entwicklungsprojekt</i>	
Organisatorischer Aufwand	Der organisatorische Aufwand liegt im Rahmen betrieblicher Tätigkeiten zur Errichtung von großtechnischen Anlagen	2
Umsetzungshorizont	Mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	<i>Nicht relevant, da Forschungs- oder Entwicklungsprojekt</i>	
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Stoffstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme sichert die Finanzierung von einzelnen Anlagen in der Projektlaufzeit	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme legt die Grundlage für eine Steigerung des Recyclings. Die ökologischen Effekte der entwickelten Techniken sollten im Rahmen der Forschungsprojekte mithilfe von Ökobilanzen untersucht werden.	3
Akzeptanz der Akteure	hoch, da Forschung und Umsetzung von Projekten zu Ressourcen- und Energieeinsparung mit einem positiven Image behaftet ist	1
Öffentlichkeitsarbeit	nicht relevant; im Rahmen von Projekten durch Industrie und Forschungsinstituten kann Öffentlichkeitsarbeit erfolgen	
Gewichtetes Ergebnis		2,4
Adressaten	Ministerien (insb. BMU), Hersteller, Forschungsinstitute, chemische Industrie	
Fazit	Die Umsetzung von Beispielprojekten ist eine gute Grundlage für die Abschätzung von zukünftigen Möglichkeiten und Hindernissen beim Matratzenrecycling.	

3.4.5 Zusammenfassung

In der Matratzenindustrie bestehen bereits Bestrebungen für das Schließen von Stoffkreisläufen bzw. alternativ für eine Kaskadennutzung von Rohstoffen mit möglichst vielen Stufen und möglichst wenig Veränderungen pro Stufe. Hierfür werden klare Rahmenbedingungen benötigt, die auch die Wettbewerbsfähigkeit kreislauffähiger Produkte sicherstellen und den Preisunterschied zwischen Primärrohstoffen und den derzeit teureren Rezyklaten ausgleichen. Daher werden folgende Maßnahmen zur Unterstützung empfohlen:

1. Aushandeln von Designkriterien

Das Aushandeln von geeigneten Designkriterien mit allen Stakeholdern und die Überführung in bekannte Label oder Normen dient als Grundlage für die Hersteller sowie die Recyclingbranche, unterstützt ein ökologisches Einkaufsverhalten und ist eine sinnvolle Basis für weitere Maßnahmen. Deswegen wird die Maßnahme im zeitlichen Ablauf an erster Stelle empfohlen.

2. Förderung von Demonstrationsanlagen und Beispielprojekten

Parallel sollte die Entwicklung von technischen Lösungen für das Schließen von Stoffkreisläufen oder mehrfache Kaskadennutzung von staatlicher Seite gefördert werden.

3. Erweiterte Herstellerverantwortung

Darauf aufbauend kann eine erweiterte Herstellerverantwortung umgesetzt werden, um die Finanzierung der Verwertung, die Organisation und Qualität der Sammlung und die statistische Erfassung der Altmatratten zu verbessern. Wichtig dabei ist, dass alle Hersteller, Händler und Importeure von Matratzen und Boxspringbetten gleichermaßen einbezogen werden und der zusätzliche Aufwand für die Beteiligten im Verhältnis zum Ziel des verstärkten Recyclings steht.

4 Möbel

4.1 Allgemeines

4.1.1 Eigenschaften

Möbel werden in allen möglichen Formen, Größen, Farben und Materialien für die verschiedensten Einsatzbereiche gefertigt.

Als Materialien kommen unter anderem folgende zum Einsatz:

- ▶ Holz (Voll-/Massivholz, Pressspan)
- ▶ Metall
- ▶ Glas/Keramik/Porzellan
- ▶ Kunststoff
- ▶ Fiberglas/Glasfaser/Glasfaserverstärkter Kunststoff
- ▶ Papier/Pappe
- ▶ Beton/Stein
- ▶ Textilien
- ▶ Rattan
- ▶ Verbund aus mehreren Materialien

Neben dem privaten Bereich werden Möbel in so gut wie allen Lebensbereichen benötigt und genutzt, wie beispielsweise im Gastgewerbe, in Büros, Läden, Restaurants, Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen. Der überwiegende Anteil der Möbel wird im Innenbereich genutzt, Gartenmöbel und ähnliches finden auch im Außenbereich Verwendung.

Abseits von rein funktionellen Eigenschaften wie beispielsweise der Kapazität oder Beständigkeit und preislichen Aspekten werden Möbel überwiegend nach dem persönlichen Geschmack, Empfinden und Trends ausgewählt. Entsprechend vielfältig ist die Produktpalette bis hin zu Möbeln mit festverbauten elektrischen Bauteilen, welche als Elektro- und Elektronikaltgerät entsorgt werden müssen. Die zunehmende Vernetzung von Alltagsgegenständen und Elektro- und Elektronikgeräten kann auch bei Möbeln beobachtet werden, sogenannte Smarte Möbel oder Smart Furniture. Hier besteht die Gefahr, dass Möbel aufgrund von technisch veralteten Funktionen weniger lang genutzt werden (Zapfl, 2018).

4.1.2 Produktion

Der überwiegende Teil der Möbel wird heutzutage in Möbelwerken in Serie hergestellt.

2018 wurde mit in Deutschland hergestellten Möbeln im Inland ein Umsatz von fast 18 Milliarden Euro generiert (Möbelkultur, 2019), insgesamt wurden in Deutschland rund 33 Milliarden Euro für Möbel ausgegeben (Welt online, 2019).

Die Möbel, die in Deutschland gekauft werden, werden zu 65 % importiert, vor allem aus Polen, China und der Tschechischen Republik (Welt online, 2018). Da vor allem Möbel aus dem unteren

Preissegment importiert werden, werden ca. zwei Drittel des Umsatzes der deutschen Möbelbranche innerhalb Deutschlands erzeugt (pwc, 2017). Im Exportgeschäft machen Küchenmöbel den größten Anteil des Umsatzes aus (Ambista, 2019).

In Abteilung 31 des Güterverzeichnisses für Produktionsstatistiken folgende Gütergruppen und -klassen unterschieden:

- ▶ Sitzmöbel und Teile dafür; Teile für Möbel
- ▶ Büromöbel, Ladenmöbel aus Holz
- ▶ Küchenmöbel aus Holz
- ▶ Matratzen
- ▶ Sonstige Möbel
- ▶ Veredlung von neuen Möbeln (ohne Polsterung von Sitzmöbeln)

4.1.3 Wiederverwendung

Gut erhaltene Möbel werden von Privatpersonen auf Trödelmärkten oder in Second-Hand-Läden bzw. über Online-Portale weiterverkauft und -genutzt. Aufgrund der Sperrigkeit einiger Möbelstücke, wie beispielsweise großer Kleiderschränke, ist die Weitergabe häufig regional begrenzt, da privat keine Transportmöglichkeiten bestehen und/oder der Versand per Post nicht möglich ist. Die Zuführung von Gebrauchtmöbeln zur Wiederverwendung ist abhängig von der Nachfrage nach einzelnen Möbelstücken. Tendenziell ist die Nachfrage nach hochwertigen Vollholzmöbeln gut. Bei gebrauchten, zusammenklappbaren Möbeln übersteigt jedoch häufig das Angebot die Nachfrage. Abgesehen davon schränken Beschädigungen durch Demontage, Transport und Anlieferung der Möbel das Angebot an potenziell wiederverwendbaren Möbeln ein (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, 2019). Das gleiche Ergebnis lieferte eine Umfrage unter im Bereich der Wiederverwendung tätigen Unternehmen im Freistaat Sachsen (ÖKOPOL/INTECUS, 2016).

Im Rahmen einer Tandemabfuhr bei der Sperrmüllabholung können wiederverwendbare Möbelstücke aus dem Sperrmüll entnommen werden, um diese gemeinnützigen Organisationen zu überlassen oder in Second-Hand-Läden zu verkaufen. Bei der Befragung der öRE bezüglich der Erfassung von Sperrmüll gaben allerdings nur vier öRE an, im Rahmen der Tandemabfuhr wiederverwendbare Möbelstücke zu separieren. Geschätzt liegt der Anteil an wiederverwendbaren Möbeln im Sperrmüll bei gut 10 %. Damit ließen sich pro Jahr in Deutschland ca. 200.000 t Sperrmüll einsparen (Dornbusch, 2020).

4.2 Erfassung

4.2.1 Erfassungssystem

Gebrauchte Möbel werden je nach Material und Größe meist als Sperrmüll (AS 20 03 07) entsorgt. Werden Holzmöbel bei der Sperrmüllsammlung separat erfasst, fallen sie als nicht gefährliches Altholz (AS 20 01 38 Holz mit Ausnahme desjenigen, das unter 20 01 37 fällt) an. Für Möbel gibt es keinen eigenen Abfallschlüssel. Der Erfassungsweg ist damit analog zum Sperrmüll bzw. dem separat erfassten Altholz (siehe Kapitel 2.2.1).

Sind bei den smarten Möbeln die elektrischen/elektronischen Funktionen fest mit den Möbelstücken verbunden, fällt das Möbelstück als Elektro- und Elektronikaltgerät an und ist

entsprechend der Regelungen des ElektroG zu entsorgen. Neben der Sammlung durch den öRE können diese Abfälle im Handel¹² zurückgegeben werden.

Laut § 3 Absatz 1 der Gewerbeabfallverordnung sind Möbel aus dem gewerblichen Bereich verpflichtend nach Materialien getrennt zu sammeln, solange dies technisch und wirtschaftlich zumutbar ist (GewAbfV, 2017).

4.2.2 Erfassungsmengen

Ein großer Teil der Möbel wird über den kommunalen Sperrmüll oder als Altholz entsorgt. Im Sperrmüll haben Möbel einen Anteil von 61 Gew.-%. Demnach werden ungefähr 1,7 Mio. t pro Jahr im kommunalen Sperrmüll entsorgt (Dornbusch, 2020). Ein weiterer Teil der Möbel wird zusammen mit anderem Altholz, Elektro- und Elektronikaltgeräten oder Schrott gesammelt. Sind die Möbelstücke bzw. -teile klein genug („tonnengängig“), ist auch eine Entsorgung über den Restabfall denkbar.

Die Erfassungsmengen exakt zu beziffern, ist aufgrund der beschriebenen Diversität des Abfallstroms Möbel und der verschiedenen Erfassungswege unmöglich. Es wird im Folgenden eine Abschätzung der potenziellen Abfallmenge aus Möbeln in Deutschland anhand der Produktion und des Im-/Exports und von Möbeln vorgestellt und daraus die Mengen abgeleitet, die jährlich in Deutschland als Abfall anfallen. Hierfür wurde die Produktionsstatistik des Produzierenden Gewerbes (Fachserie 4, Reihe 3.1) des Statistischen Bundesamtes herangezogen (DESTATIS, 2019b). In dieser ist neben den produzierten Stückzahlen der Produktionswert verschiedener Güter, jedoch keine Mengenangaben aufgelistet. Für den Im-/Export von Möbeln liegt die Statistik zur Aus- und Einfuhr von Gütern vor (Genesis, 2019). In dieser werden die Masse und der Wert der ein- und ausgeführten Waren aufgeführt, allerdings keine Stückzahlen. Von beiden Statistiken wurden die Jahre 2016–2018 zur Berechnung herangezogen.

Die einzelnen Güter des Güterverzeichnis der Produktionsstatistik stimmen nicht vollständig mit den Warennummern des Warenverzeichnis des Außenhandels überein, in der Produktionsstatistik wird noch genauer differenziert¹³. Die Zuordnung kann Anhang A entnommen werden.

Um die beiden Statistiken miteinander vergleichen zu können, wurden für die einzelnen Güter der Produktionsstatistik ein durchschnittliches Stückgewicht angenommen. Als Basis dienten die Angaben der Möbel- und Versandhäuser für ähnliche Produkte. Es wurden Durchschnittswerte abgeschätzt.

Mit den ermittelten Stückgewichten wurden die durchschnittlich produzierten Stückzahlen multipliziert, so dass für die Produktionsgüter eine Masse vorliegt. Anschließend wurde gemäß der Zuordnung die Masse der Produktionsgüter mit der Masse der importierten Güter addiert und die Masse der exportierten Güter subtrahiert.

In Summe ergibt sich, dargestellt in Tabelle 27, eine Masse von 3,6 Mio. t an Möbeln¹⁴, die derzeit jährlich in Deutschland verbleiben.

¹² Verkaufsfläche für Elektro- und Elektronikgeräte von mindestens 400 Quadratmetern, im Onlinehandel gelten als Verkaufsfläche alle Lager- und Versandflächen für Elektro- und Elektronikgeräte

¹³ Beispiel: das Warenverzeichnis weist „Sitzmöbel, mit Gestell aus Metall, gepolstert“ aus, die Produktionsstatistik unterscheidet in „Gepolsterte Sitzmöbel, mit Gestell aus Metall, für Büros“ und „Andere gepolsterte Sitzmöbel, mit Gestell aus Metall“).

¹⁴ Für einen anderen Berechnungsansatz zur Ermittlung der Möbelmasse, welche jährlich in Deutschland verbleibt, wurden zunächst mit den oben genannten Statistiken spezifische Kennzahlen (bei der Produktionsstatistik Stück/€ und bei der Import-/Exportstatistik Masse/€, getrennt in Ein- und Ausfuhr) ermittelt, um durch Division dieser beiden spezifischen Kennzahlen je Möbelart ein durchschnittliches Stückgewicht nach Produktgruppe (Holz-, Metall-, Polster- Kunststoff- und Verbundmöbel) zu errechnen. In der Summe ergab sich eine ähnliche Masse (3,8 Mio. t Möbel, welche in Deutschland verbleiben) wie mit dem oben

Den Gütern wurde in einem nächsten Schritt eine durchschnittliche Nutzungsdauer zugeordnet, die sich beispielsweise an den AfA-Tabellen orientiert und informativ in Tabelle 27 angegeben. Demnach ergibt sich je nach Möbelart eine durchschnittliche Nutzungsdauer zwischen 8 und 15 Jahren, allerdings muss berücksichtigt werden, dass im Einzelfall sehr große Unterschiede in der Nutzungsdauer bestehen. In der Praxis werden abgeschriebene Produkte nicht sofort entsorgt, sodass es sich bei den Abschätzungen nach AfA-Tabellen eher um Mindestnutzungsdauern handelt. Im Privatbereich richten sich laut Umfragen die Deutschen im Wohnzimmer im Schnitt alle 9 Jahre neu ein (Möbelkultur 2008), während Küchen durchschnittlich 15 Jahre genutzt werden (Welt online, 2016). Polstermöbel werden mit rund 8 Jahren Nutzungsdauer angegeben.

1,7 Mio. t der 3,6 Mio. t Möbel, die jährlich in Deutschland verbleiben, werden nach ihrer Nutzungsdauer über den Sperrmüll entsorgt. Reine Holzmöbel werden je nach System des jeweiligen öRE auch als Altholz erfasst. Ein weiterer großer Anteil, dessen Masse nicht abgeschätzt werden kann, wird nach der Nutzungsdauer aus Büros, Handel, gewerblichen Einrichtungen etc. als Gewerbeabfall entsorgt. Zusätzlich führt die gestiegene Bevölkerungszahl, die gestiegene Wohnfläche pro Person sowie die Zunahme von 1-Personen-Haushalten und die gestiegene Erwerbstätigkeit auch zu einer Zunahme der Möbelausstattung in Deutschland, sodass zukünftig von steigenden Mengen an Altmöbeln im Sperrmüll und Gewerbeabfall ausgegangen werden kann.

Tabelle 27 Abschätzung der jährlichen Abfallmenge aus Möbeln

Güter	Gewichtetes Stückgewicht	Produzierte/Verkaufte Menge in Deutschland	Nutzungsdauer
Basierend auf den Warennummern des Warenverzeichnisses	basierend auf Schätzungen [kg]	Produktion in Deutschland - Ausfuhr + Einfuhr [t]	Ermittelt mit AfA-Tabellen und Schätzungen
Drehstühle mit verstellbarer Sitzhöhe	17	53.348,2	13
Sitzmöbel, mit Gestell aus Metall, gepolstert	53,2	164.353,0	8
Sitzmöbel, mit Gestell aus Metall	4,8	110.935,6	10
In Liegen umwandelbare Sitzmöbel	87,5	150.543,2	10
Sitzmöbel aus Stuhlrohr, Korbweiden, u. ähnlichen	8	812,6	10
Sitzmöbel, mit Gestell aus Holz, gepolstert	31,5	368.574,1	8
Sitzmöbel, mit Gestell aus Holz	9,5	47.098,4	10
Sitzmöbel, anderweitig nicht genannt	7,1	32.441,1	10

errechneten Wert. Da bei dieser Berechnungsmethode allerdings die Stückgewichte bei einigen Unterkategorien nicht schlüssig waren, wurde letztlich die oben vorgestellte Methode zur Ermittlung gewählt. Da beide Methoden zu ähnlichen Ergebnissen führten, kann die errechnete Möbelmasse als plausibel betrachtet werden.

Güter	Gewichtetes Stückgewicht	Produzierte/Verkaufte Menge in Deutschland	Nutzungsdauer
Metallschreibtische für Büros, Höhe bis 80cm	25	93,5	13
Metallmöbel für Büros, <=80cm, a.n.g.	22,7	13.618,2	13
Metallschränke mit Türen oder Rolläden	25	9.632,6	13
Metallkarteischränke u.a. Metallschränke	70	15.041,5	13
Metallmöbel für Büros, >80cm, a.n.g.	15	10.038,4	13
Holzschreibtische für Büros, Höhe bis 80cm	25,3	84.284,7	13
Holzmöbel für Büros, Höhe bis 80 cm	26	1.185,6	13
Holzschränke für Büros, Höhe über 80cm	25	17.679,1	13
Holzmöbel für Büros, Höhe über 80 cm	25	12.377,9	13
Holzmöbel von der in Läden verwendeten Art	30	365,3	8
Einbauküchenelemente aus Holz	20	277.933,3	15
Holzmöbel von der in der Küche verwendeten Art	25	13.657,4	15
Metallmöbel (ohne Sitzmöbel, Betten und Büromöbel)	17,7	303.919,1	10
Betten aus Metall	20,1	17.527,1	10
Holzmöbel von der in Schlafzimmern verwendeten Art	152,2	1.080.316,4	10
Holzmöbel, in Ess- und Wohnzimmern verwendet	36,7	575.617,3	10
Andere Holzmöbel	13,5	249.344,2	10
Kunststoffmöbel (ohne Sitzmöbel)	11,3	29.299,8	8
Möbel aus Stuhlrohr, Korbweide, u.a.	15	11.069,9	10
Summe aller Güter		3.651.107	

4.3 Verwertung

4.3.1 Verwertungswege

Sofern bei der Sperrmüllabfuhr keine Tandemabfuhr praktiziert wird und noch brauchbare Einzelstücke für die (Vorbereitung zur) Wiederverwendung aussortiert werden (siehe Kapitel 2.2.1), erfolgt die Entsorgung der Möbel hauptsächlich über den Sperrmüll. Je nach öRE werden hier beispielsweise noch Metalle oder Altholz separiert.

Die Verwertungswege sind in der Regel analog zum Sperrmüll (siehe Kapitel 2.3.2).

Neben Unternehmen im sozial-karitativen Bereich sowie Second-Hand-Kaufhäusern der kommunalen Entsorgungsunternehmen haben sich Schreinerwerkstätten und Handwerksbetriebe teilweise darauf spezialisiert, alte Möbel aufzuarbeiten und aus Möbelbestandteilen neue Möbel zu schaffen; allerdings handelt es sich dabei nur um geringe Mengen (Schöner Wohnen, o.J.).

Da Möbel, wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben, aus sehr unterschiedlichen Materialien bestehen, die auch in anderen Sperrmüllgegenständen vorkommen können, hängt die stoffliche Verwertung von der Separierung der einzelnen Materialien ab. Bei der stofflichen Verwertung werden jedoch für die Zerlegung von Möbeln höhere Zuzahlungen benötigt als für die energetische Verwertung. In Sortieranlagen können nach der Zerkleinerung einzelne Wertstoffe für die stoffliche Verwertung aussortiert werden, jedoch wird der Großteil der Möbel zu Ersatzbrennstoffen oder Brennstoff für Biomassefeuerungsanlagen verarbeitet.

In Frankreich wird die Verwertung von Möbeln seit 2012 durch eine erweiterte Produzentenverantwortung finanziert. Die Hersteller müssen demnach die Verwertung ihrer Produkte selber organisieren oder pro Möbelstück eine gestaffelte Umweltabgabe an die akkreditierte Recyclingorganisation entrichten. Die Höhe der Umweltabgabe richtet sich nach Kategorie und Größe (v.a. Gewicht) des Möbelstücks und wird beim Kauf als „Ökobeitrag“ durch Endverbraucher*innen gezahlt. Die Höhe der Umweltabgabe wird mithilfe eines 11-stelligen Codes ermittelt, der für jedes Möbelstück angegeben werden muss und das jeweilige Möbelstück nach Kategorie, Art, Materialien und Merkmalen grob charakterisiert. Wenn ein Möbelstück zu mindestens 75 % aus zertifiziertem Vollholz oder Metall besteht und kein PVC oder Inertmaterialien enthält, ist der Betrag der zu zahlenden Recyclingabgabe geringer, da sich solche Möbelstücke besser recyceln lassen. Bis 2019 gab es noch eine Berücksichtigung von mitwachsenden Möbelstücken (bspw. Baby-/Kinderbetten), die eine längere Nutzungsdauer ermöglichen und deshalb ebenfalls mit einer geringeren Umweltabgabe belegt wurden. Dieser Bonus wurde mit der Tarifierungsanpassung ab 2020 abgeschafft, da er zu selten genutzt wurde. Die Umweltabgabe fließt an die von Möbelherstellern und -händlern gegründete Organisation „Eco-mobilier“ bzw. bei gewerblichen Möbeln „Valdelia“, welche das Sammeln und Verwerten der Altmöbel organisieren. Verbraucher*innen können ihre Altmöbel und Matratzen sowohl karitativen Einrichtungen abgeben, die auf die Vorbereitung zur Wiederverwendung spezialisiert sind, als auch bei kommunalen Sammelstellen. Die Rücknahme in Geschäften ist freiwillig. Mit diesem System wurde 2019 von Eco-mobilier eine Recyclingquote von 57 % erreicht (keine Angabe, wie die Recyclingquote berechnet wurde). 36 % der gesammelten Möbel wurden energetisch verwertet und die verbleibenden 7 % beseitigt (Eco-mobilier, 2020; Knupp, 2015).

Der derzeitige Stand zur Separierung einzelner Stoffströme bei der Sperrmüllfassung in Deutschland wurde in Kapitel 2.2 erläutert und in Kapitel 2.3.2 wurden die Verwertungswege der gängigen Sperrmüllmaterialien vorgestellt. Im Folgenden wird auf die Besonderheiten von möbelspezifischen Abfallströmen eingegangen.

Polstermöbel

Polstermöbel sind Verbunde, die Holz, Textilien (Bezugsstoffe und Vliesstoffe), Schaumstoff, Hartkunststoffe, Metalle, Leder bzw. Kunstleder und weitere Materialien enthalten können. Die Möbelbezugsstoffe werden meist mit Klammern oder Klebstoffen am Gestell oder am Polstermaterial befestigt. Dies erschwert bei den klassischen Polstermöbeln die Zerlegung in die einzelnen Materialien nach der Nutzung. Ein recyclinggerechtes Design konnte sich bisher nicht durchsetzen, mit Ausnahme von Sitzmöbeln, bei denen Kissen unbefestigt auf einem sichtbaren Gestell liegen. Erschwerend für die Einführung eines recyclinggerechten Designs kommt hinzu, dass mehr als die Hälfte der in Deutschland verkauften Polstermöbel im Ausland produziert werden (Schardt und Weinert, 2003). Ist die Zerlegung nach Materialströmen technisch und wirtschaftlich nicht durchführbar, ist die energetische Verwertung ein geeigneter Verwertungsweg, so wie es derzeit in Deutschland praktiziert wird. Wenn im Zuge von recyclinggerechtem Design eine Zerlegbarkeit ermöglicht wird oder über Schreddern und automatisierte Sortierung eine Trennung verschiedener Materialien ermöglicht wird, können stoffliche Verwertungsverfahren gleichermaßen der in Kapitel 3.3.1 beschriebenen Verfahren für Matratzen und Boxspringbetten genutzt werden.

Für Kunstleder und anderen Geweben mit PVC-Beschichtung aus Industrieabfällen gibt es ein Recyclingverfahren, bei dem das Kunstleder zerkleinert und zu großformatigen Platten verpresst wird, die sich beispielsweise als Unterlage von Reitplätzen, Festzelten oder Gewächshäusern eignen. Für Post-Consumer Abfälle wird dieses Verfahren bisher nicht genutzt, da die Ausgangsmaterialien trocken, sauber und frei von Metallen vorliegen müssen (Recycling Magazin, 2017).

Leichtbaumöbel und Pappmöbel

Inzwischen haben sich auch Leichtbaumöbel am Markt durchgesetzt. Häufig bestehen diese aus einer Wabenstruktur aus Pappe oder Kunststoff, die mit dünnen Deckschichten aus Pappe, lackiertem Kunststoff oder Holz und zum Teil zusätzlich mit Furnieren abgeschlossen wird. Für die Pappstruktur wird dabei meist Recyclingmaterial eingesetzt. Die stoffliche Verwertung dieser Leichtbaumöbel hängt stark von der Verknüpfung mit bzw. Trennbarkeit von anderen Materialien ab. Es gibt einzelne Hersteller, die nur Pappe verwenden, sodass diese Möbel nach dem Gebrauch im Papierabfall entsorgt werden können (Stange Design GmbH, o.J.; pappcultur o.J.). Der Großteil der Leichtbaumöbel wird jedoch mit Kunststoffen, Span- oder Faserplatten und Farben bzw. Lacken kombiniert bzw. verklebt, um ein hochwertiges Erscheinungsbild der Möbel zu generieren und die Stabilität bzw. Nutzungsdauer zu erhöhen. Die Zerlegung dieser Möbel ist schwierig und eine Rückgewinnung recycelbarer Fraktionen meist nicht möglich, sodass diese stattdessen einer energetischen Verwertung zugeführt werden.

Verbundmaterialien

Neben den zuvor beschriebenen Polstermöbeln gibt es weitere Möbel aus Materialverbünden, bei denen beispielsweise Holz, Metall, Glas, Spiegel oder Kunststoff miteinander kombiniert werden. Zudem gibt es Möbel mit elektrischen Bauteilen, die als Elektro- und Elektronikaltgerät entsorgt werden müssen und deswegen in dieser Studie nicht behandelt werden.

Bei der Konstruktion von Verbundmöbeln sollten folgende Kriterien berücksichtigt werden, um die Zerlegung zu erleichtern (UrbanRec, o.J.):

- ▶ Einsatz von möglichst wenigen verschiedenen Materialien pro Möbelstück
- ▶ Verwendung von zugänglichen und lösbaren Verbindungen und möglichst wenigen Verbindungstypen

- Angabe der verwendeten Materialien und deren Anteile im Produkt
- Verzicht auf Schadstoffe (z.B. Flammschutzmittel, Formaldehyd, Schwermetalle)¹⁵

Flammschutzmittel werden in Polstermöbeln aufgrund von geltenden Brandschutzvorgaben eingesetzt und können somit von den Herstellern nicht ohne weiteres weggelassen werden. Formaldehyd wird unter anderem in Spanplatten eingesetzt. Hier wurden die Mengen in den letzten Jahren bereits deutlich reduziert, allerdings kann beim Einsatz von Altholz durch Anhaftungen am Material Formaldehyd unbeabsichtigt ins Produkt eingetragen werden.

Label und Qualitätsstandards

Bei vielen Produktzertifizierungen ist die recyclinggerechte Konstruktion, Produktkennzeichnung und der Verzicht auf Schadstoffe bereits in den Kriterien enthalten.

In der VDI-Richtlinie 2243 zur recyclingorientierten Produktentwicklung wird unter anderem die Auswahl verwertbarer Materialien, die Identifizierbarkeit der eingesetzten Materialien, die Zugänglichkeit und Lösbarkeit der Verbindungen und die Zerlegezeit thematisiert.

Das EU-Ecolabel fordert mit dem Beschluss 2016/1332/EU bereits den Einsatz von mindestens 30 Ma.-% Rezyklaten in Kunststoffteilen, wenn ein Möbelstück mehr als 20 % Kunststoff enthält. Darüber hinaus ist die Verwendung von Holz aus Sekundärquellen oder aus nachhaltig bewirtschafteten Forstbetrieben erforderlich. Möbelprodukte aus mehreren Bestandteilen müssen zerlegbar konstruiert sein, also mit üblichen Werkzeugen und ohne technische Vorkenntnisse auseinandergebaut werden können. Zudem muss eine Verbraucherinformation bereitgestellt werden, in der unter anderem die besten Entsorgungsmöglichkeiten und eine anschauliche Zerlegungsanleitung enthalten sind. Seit Ende 2019 gab es einen starken Anstieg an Zertifizierungen für Möbel, trotzdem ist die Anzahl der mit dem EU-Ecolabel zertifizierten Produkte mit 766 Möbel und Matratzen in der gesamten EU noch gering (European Commission, 2020).

Das RAL-Gütezeichen 430 fordert ebenfalls eine recyclinggerechte Konstruktion nach VDI 2243 und die Vermeidung von Materialschuttmitteln und halogenorganischen Verbindungen, was insbesondere für die stoffliche Verwertung von Altholz notwendig ist. Zudem muss ein Ersatz für Verschleißteile mindestens 5 Jahre sichergestellt sein und eingesetzte Kunststoffe > 50 g dürfen keine Zusätze anderer Werkstoffe enthalten, die dem Recycling entgegenstehen.

4.3.2 Bewertung und Fazit

Aufgrund des hohen Anteils an Holz und den verschiedenen Verbundmaterialien besteht bei Möbeln nur ein begrenzt abschöpfbares Potenzial zur stofflichen Verwertung.

Die in Deutschland existierende Sammelstruktur für gemischten Sperrmüll ist als Mengenbündelung für die energetische Verwertung oder zur Vorbehandlung in Sortieranlagen zur Abtrennung von stofflich verwertbaren Metallen und Kunststoffen sowie zur Erzeugung von Ersatzbrennstoffen geeignet. Abgesehen davon gibt es für Möbel bzw. Möbelteile aus Monomaterial, zum Beispiel aus Holz, Glas oder Kunststoff, bei vielen öRE die Möglichkeit, diese am Wertstoffhof oder bei einer Tandemabfuhr getrennt zu erfassen. Mit der Novellierung des KrWG im Jahr 2020 wurde die Getrenntsammlungspflicht der öRE für Sperrmüll rechtlich verankert (§ 20 Abs. 2 Nr. 7 KrWG). Aufgrund der Großteiligkeit dieses Abfallstroms und der dadurch fehlenden Behältergängigkeit war allerdings die Getrenntsammlung von Sperrmüll

¹⁵ Die Kandidatenliste besonders besorgniserregender Stoffe (Substances of Very High Concern – SVHC) gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 und die Gefahreinstufung von Stoffen und Gemischen gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP-Verordnung) geben an, welche Stoffe möglichst vermieden bzw. in geringstmöglichen Konzentrationen eingesetzt werden sollten.

grundsätzlich in allen öRE etabliert. Neu ist allerdings die mit der Regelung verbundene Anforderung, den Sperrmüll in einer Weise zu sammeln, „welche die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling der einzelnen Bestandteile ermöglicht“. Die ausschließliche Sammlung von Sperrmüll im Holsystem mit Pressmüllfahrzeug (ohne Begleitfahrzeug) dürfte nach Auffassung des Gesetzgebers dieser Verpflichtung nicht Rechnung tragen. In der Begründung führt der Gesetzgeber aus, dass „diese Verpflichtung [...] in besonderer Weise dem Umstand Rechnung (trägt), dass die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger bereits nach geltender Rechtslage (§ 20 Abs. 1 KrWG a.F.) zur Einhaltung der Abfallhierarchie nach § 6 KrWG verpflichtet sind. Dies erfordert gerade bei diesem hochwertigen Abfallstrom eine möglichst ressourcenschonende Sammlung.“ Alternativen zur alleinigen Sammlung mit dem Pressmüllfahrzeug sind die Abholung der Altmöbel in der Wohnung inklusive Aussortierung von wiederverwendbaren Möbeln, was allerdings mit hohen Kosten für den öRE verbunden ist, oder eine Abfallberatung gemäß § 46 KrWG bei der Anmeldung einer Sperrmüllabholung, bei der Bürger*innen auf die Prüfung der Wiederverwendbarkeit der Möbel, Wiederverwendungseinrichtungen, Verkauf- und Verschenkplattformen und andere Möglichkeiten der Wiederverwendung vor Ort explizit aufmerksam gemacht werden.

Holzwerkstoffe, aus denen ein Großteil der Möbel besteht, werden in der Praxis energetisch verwertet, da durch das hohe Angebot an Frischholz zu wenig Bedarf an den gewinnbaren Sekundärmaterialien vorhanden ist und die Kreislaufführung im Verhältnis dazu einen hohen Aufwand erfordert.

Speziell für Polstermöbel und andere Verbundmöbel existieren noch keine geeigneten stofflichen Verwertungswege. Da viele unterschiedliche Materialien eingesetzt werden und häufig fest miteinander verbunden sind, ist das Zerlegen von Verbund- bzw. Polstermöbeln und Boxspringbetten zeitaufwändig und teuer, sodass mittelfristig aus wirtschaftlichen Gründen mit keiner Zunahme der Zerlegung zu rechnen ist. Zudem müssten Polstermöbel, wie auch Matratzen, trocken und sauber gesammelt werden, um eine stoffliche Verwertung zu ermöglichen. An den meisten der aus Polstermöbeln rückgewinnbaren Materialien, zum Beispiel Weichschaum, Vlieslagen oder textile Bezüge, existiert derzeit nur ein geringes Interesse auf dem Markt. Allerdings könnte der enthaltene PUR-Weichschaum auf gleiche Weise verwertet werden, wie der Weichschaum aus Matratzen, zum Beispiel in einem chemischen Verfahren (siehe Kapitel 3.3.1), falls eine solche (Demonstrations-) Anlage in Deutschland errichtet werden würde, sodass hier eine Zerlegung und Rückgewinnung einzelner Materialien wieder interessant werden könnte.

Zum Teil wird in Labeln oder Normen ein kreislauffähiges Design von Verbundmöbeln und die Vermeidung von Schadstoffen gefordert. Doch da unterschiedlichste Materialien und Fügetechniken in der Möbelbranche eingesetzt werden, gehen solche Designvorgaben nicht ins Detail. Vorgaben oder Anreize für den Einsatz von Recyclingmaterial bei der Herstellung von Möbeln existieren dagegen nicht.

Für sonstige Materialien fehlen derzeit die Sammel- bzw. Sortierstrukturen oder die Mengenrelevanz, um stoffliche Verwertungswege aufzubauen.

Das größte Umweltentlastungspotenzial besteht bei Möbeln in der Verlängerung der Nutzungsdauer, im Einsatz ökologischer und rezyklierter Materialien und in der Wiederverwendung. Durch die Wiederverwendung von Möbeln wird Energie, Herstellungsaufwand und Material eingespart, Treibhausgasemissionen werden vermieden und bei Holzmöbeln kann die Ressource Holz eingespart werden. Allerdings kann sich der Umweltvorteil relativieren, wenn kleine und alte Möbel durch längere separate PKW-Fahrten

einzelner Verbraucher*innen einer nur kurzen Wiederverwendung zugeführt werden (Ludmann und Vogt, 2019).

Im Möbelbereich geht der Trend auf der einen Seite immer mehr zu umweltfreundlichen Möbeln, indem beispielsweise ein langlebiges Design oder eine ressourcen- und energieschonende Herstellung umgesetzt werden. Auf der anderen Seite versuchen viele Hersteller und Händler die Kund*innen durch günstige Preise, modische Gesichtspunkte und eine nicht für die langfristige Nutzung ausgelegte Qualität zum regelmäßigen Austausch ihrer Möbel zu bewegen, wodurch die Mengen an gemischtem Sperrmüll bzw. Altholz in Zukunft steigen könnten. Demnach ist es umso wichtiger, dass Anreize für ein langlebiges Design, eine lange Nutzung, Wiederverwendung, stoffliche Verwertung und der Einsatz von Recyclingmaterial bei der Produktion von Möbeln gesetzt werden.

4.4 Maßnahmenvorschläge

Im Folgenden werden verschiedene Maßnahmen für die Verbesserung der stofflichen Verwertung von Möbeln beschrieben und nach den in Kapitel 1.3.1 genannten Kriterien bewertet.

4.4.1 Aushandeln von einheitlichen Designkriterien auf EU-Ebene, die das Recycling vereinfachen und Übernahme in Normen oder Label

In Zusammenarbeit mit Möbelherstellern und der Recyclingbranche müssen auf EU-Ebene Standards für das Ökodesign spezifischer Möbelstücke erarbeitet werden, welche die Reparatur, die Getrennterfassung verschiedener Materialien und das Recycling erleichtern. Hierbei müssen zum Beispiel sinnvolle, d.h. lösbare Füge- und Montage- und geeignete sowie ungeeignete Materialien definiert werden. Da die Umsetzung der Standards und die lange Nutzungsdauer dazu führen, dass es einige Zeit dauert, bis das Ökodesign einen relevanten Effekt für die Kreislaufwirtschaft erzielt, müssen Designkriterien frühzeitig ausgehandelt werden.

Tabelle 28 Bewertung der Maßnahme „Aushandeln von einheitlichen Designkriterien auf EU-Ebene, die das Recycling vereinfachen und Übernahme in Normen oder Label“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	geringer bürokratischer Aufwand; Kennzeichnung der Materialien in einer Datenbank erfordert etwas höheren Aufwand	1
Rechtliche Aspekte	so lange Designkriterien nicht verpflichtend angewendet werden müssen, sind keine rechtlichen Aspekte zu berücksichtigen	1
Statistische Aspekte	die Designkriterien haben keinen Einfluss auf die statistische Erfassung des Abfallstroms Möbel	5
Organisatorischer Aufwand	Spezifische Kriterien müssen für alle Möbelarten ausgehandelt werden, dazu bedarf es einer Zusammenarbeit und Einigung zwischen Herstellern, Normungs- und Labelorganisationen und der Recyclingbranche.	4
Umsetzungshorizont	mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	unverbindlich	5
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	<i>nicht relevant, aber die Kosten für das Recycling können sinken, wenn ein Großteil der Möbel durch die gewählten Einsatzstoffe und Fügetechniken für ein Recycling ausgelegt ist.</i>	
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme kann zu verbesserten Bedingungen für die stoffliche Verwertung führen, allerdings hat die Maßnahme nur eine indirekte Wirkung und betrifft nicht alle Möbel (z.B. nicht Importware aus Nicht-EU-Staaten).	3
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: gering (hoher Zusatzaufwand) Verbraucher*innen, Handel: größtenteils gut (ökologisches Bewusstsein, grünes Image) Entsorgungswirtschaft: hoch (hochwertige Entsorgungswege werden ermöglicht)	2
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen geringen Aufwand für Öffentlichkeitsarbeit. Interessierte Verbraucher*innen müssen in der Lage sein, sich zu informieren.	2
Gewichtetes Ergebnis		2,9
Adressaten	Hersteller und Herstellerverbände, Recyclingbranche, Gütesicherungsorganisationen, Normungsinstitute, Politik / BMU	
Fazit	Recyclinggerechte Designkriterien verbessern die Zusammenarbeit zwischen Herstellern und Recyclern und fördern die technische Weiterentwicklung. Obwohl diese Maßnahme allein wenig Wirkung entfaltet, ist sie als Grundlage für weitere Maßnahmen sinnvoll. Auch wenn Designkriterien nicht verpflichtend angewendet werden müssen, legen sie die Grundlage für weitere Maßnahmen und eine ökologische Beschaffung in der öffentlichen Hand, in Unternehmen und für ökologische Kaufentscheidungen von Privatverbraucher*innen.	

4.4.2 Ökologische Kriterien in der öffentlichen Beschaffung

Aufgrund ihres großen Auftragsvolumens ist eine öffentliche Beschaffung, die kreislauffähige Möbel bevorzugt, ein geeigneter Hebel, um frühzeitig die Nachfrage nach recyclinggerechten Möbeln zu erhöhen und Anreize für die Entwicklung von Recyclinglösungen zu setzen. § 45 KrWG (für die Bundesbehörden) sowie die Landesabfallgesetze verpflichten die öffentliche Hand vorbildhaft zur Umsetzung der Ziele des KrWG beizutragen. Hier hat sich in den letzten Jahren einiges getan, doch fehlt es noch immer an praxisnahen Hilfestellungen und der breitenwirksamen Umsetzung.

Tabelle 29 Bewertung der Maßnahme „Ökologische Kriterien in der öffentlichen Beschaffung“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	mittlerer Aufwand, die Beschaffungspraxis muss angepasst werden.	3
Rechtliche Aspekte	Öffentliche Hand ist nach § 45 Abs. 2 KrWG (Bundesbehörden) bzw. nach Landesabfallgesetzen verpflichtet, Produkten den Vorzug zu geben, die zum Beispiel aus Rezyklaten hergestellt worden sind oder sich durch ihre Recyclingfähigkeit auszeichnen. Mithilfe von Verwaltungsvorschriften können die Vorgaben spezifiziert werden.	2

Kriterium	Bewertung	Punkte
Statistische Aspekte	Die Kriterien haben keinen Einfluss auf die statistische Erfassung des Abfallstroms Möbel.	5
Organisatorischer Aufwand	Die Beschaffungspraxis muss angepasst werden, dazu bedarf es praxisnaher Vorlagen, Leistungsblätter, geeigneter Gütezeichen / Label und einer Ergänzung der UBA-Leitfäden zur umweltfreundlichen Beschaffung.	3
Umsetzungshorizont	mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	verbindlich, da gesetzliche Grundlage existiert	2
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Durch ökologische Kriterien wird das zukünftige Recycling unterstützt. Beispielsweise können der Verzicht auf Schadstoffe und eine einfachere Zerlegung der Produkte die Kosten für die Aufbereitung senken.	4
Stärkung des Recyclings	Da die öffentliche Beschaffung nur einen Teil der verkauften Möbel ausmacht und insbesondere vor allem Büromöbel adressiert, ist die unmittelbare Wirkung als gering einzuschätzen. Die Kriterien tragen dazu bei, dass vermeintlich teurere ökologische Produkte eher eingesetzt werden und aufgrund der Vorbildwirkung die Nachfrage nach diesen steigt. Die Hersteller werden dazu angehalten, entsprechende Produkte zu entwickeln, was sich auch auf das B2C-Angebot auswirken sollte.	4
Akzeptanz der Akteure	Eventuell einzelne Vorbehalte gegen zusätzlichen Aufwand, geringere Anzahl an Angeboten oder schwer erfüllbare Anforderungen	2
Öffentlichkeitsarbeit	<i>nicht relevant; trotzdem kann Öffentlichkeitsarbeit sinnvoll sein, um mit dieser Vorbildfunktion auch im privaten Sektor die ökologische Beschaffung zu erhöhen</i>	
Gewichtetes Ergebnis		3,3
Adressaten	Hersteller, Handel, Behörden, UBA, Gütesicherungsorganisationen	
Fazit	Ökologische bzw. recyclinggerechte Kriterien in der öffentlichen Beschaffung sind gesetzlich bereits vorgegeben, doch häufig fehlen klar definierte Kriterien, geeignete Angebote und konkrete Hilfestellungen für die breitenwirksame Umsetzung in der Praxis. Bisherige Maßnahmen, wie Leitfäden und das Einrichten bzw. das Informationsangebot der Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung (KNB), können ausgeweitet werden. Das zuvor genannte Aushandeln von Designkriterien ist auch für die öffentliche Beschaffung hilfreich.	

4.4.3 Einsatzquoten für Sekundärmaterialien

Der vermehrte und branchenübergreifende Einsatz von Recyclingmaterial bei der Herstellung von Möbeln stärkt die Kreislaufwirtschaft, indem bessere Marktchancen für Sekundärprodukte geschaffen werden, wodurch bei Recyclingverfahren die Wirtschaftlichkeit erhöht wird. In der Möbelbranche wird dies zum Teil schon umgesetzt, da oft Spanplatten mit Altholz-Anteil verwendet werden und manchmal auch Sekundärmaterialien für Glas, Kunststoff oder Pappe eingesetzt werden. Dennoch gilt es, den Anteil an Sekundärmaterialien in der Möbelbranche zu steigern und in breiter Masse umzusetzen. Dazu müssen Anreize für die Möbelbranche

geschaffen, weiterhin Projekte zur Steigerung des Rezyklatgehaltes angestoßen und gefördert und die Transparenz gegenüber den Verbraucher*innen erhöht werden. Indem mehr Möbel mit dem EU-Ecolabel zertifiziert werden und Rezyklat- und Zerlegungsvorgaben auch in andere, bekannte Siegel mit aufgenommen werden (bspw. den Blauen Engel), können die Umweltbelastungen in der Möbelbranche reduziert werden.

Tabelle 30 Bewertung der Maßnahme „Einsatzquoten für Sekundärmaterialien“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	sehr hoher Aufwand; die Quoten müssen erfüllt und die Einhaltung der Quoten muss überwacht werden; dies erfordert einen erhöhten Aufwand in der Lieferkette, eine Umstellung der Einkaufspraxis und zusätzliche Bürokratie für die Hersteller	5
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Regelung auf Basis des § 23 Abs. 4 KrWG auf Basis des § 23 Abs. 2 Nr. 2	3
Statistische Aspekte	Die Einsatzquoten haben keinen Einfluss auf die statistische Erfassung des Abfallstroms Möbel	5
Organisatorischer Aufwand	Spezifische Quoten müssen für alle Möbelarten ausgehandelt werden, dazu bedarf es einer Zusammenarbeit und Einigung zwischen Herstellern, Politik und der Recyclingbranche	5
Umsetzungshorizont	langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme trägt nicht zur Finanzierung der Sammlung und Verwertung bei. Durch Einsatzquoten für Sekundärmaterialien wird die Nachfrage nach Sekundärmaterial gestärkt, wodurch die wirtschaftliche Situation von Recyclingverfahren verbessert wird."	3
Stärkung des Recyclings	Die Einsatzquoten tragen dazu bei, dass der Einsatz von Sekundärmaterial steigt, Neumaterial eingespart wird und die stoffliche Verwertung gestärkt wird. Dennoch hängt die ökologische Wirkung auch davon ab, welcher Aufwand für die Produktion des Sekundärmaterials betrieben werden muss und in welcher Qualität Neumaterial ersetzt werden kann.	3
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: gering (hoher Zusatzaufwand, erschwertes Einhalten von Qualitätsanforderungen) Verbraucher*innen: größtenteils gut (ökologisches Bewusstsein), Vorbehalte gegenüber Risiken des Schadstoffeintrags Entsorgungswirtschaft: gut (gesicherte Absatzmärkte für Sekundärmaterialien)	3
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen geringen Aufwand für Öffentlichkeitsarbeit. Interessierte Verbraucher*innen müssen in der Lage sein, sich zu informieren.	2
Gewichtetes Ergebnis		3,4
Adressaten	Hersteller und Herstellerverbände, Gütesicherungsorganisationen, Normungsinstitute, Bundesregierung (insb. BMU)	

Kriterium	Bewertung	Punkte
Fazit	Die Maßnahme stärkt allgemein die Recyclingbranche. Dem entgegen stehen große Vorbehalte hinsichtlich technischer Möglichkeiten, des Einhaltens von Qualitätsanforderungen und des Eintrags von Schadstoffen. Insgesamt lassen sich differenzierte Vorgaben für den Einsatz von Sekundärmaterialien in einzelnen Möbelarten nur schwer festlegen und technisch sowie organisatorisch umsetzen.	

4.4.4 Freiwillige Selbstverpflichtung der Branche für bestimmte Quoten der stofflichen Verwertung

Die freiwillige Selbstverpflichtung der Branche erfordert, dass sich EU-weit Hersteller, Materialzulieferer, die Recyclingbranche und politische Gremien zusammenfinden, um verpflichtende Ziele für die Sammlung und das Recycling von verschiedenen Möbelarten festzulegen und die Form der Umsetzung zu bestimmen. Die Einigung wird verbindlich festgehalten, veröffentlicht und regelmäßig die Einhaltung der Ziele überprüft.

Tabelle 31 Bewertung der Maßnahme „Freiwillige Selbstverpflichtung der Branche für bestimmte Quoten der stofflichen Verwertung“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Um das Erreichen der festgelegten Ziele zu überprüfen, müssen von allen Herstellern, Händlern und der Recyclingbranche die auf den Markt gebrachten und erfassten Mengen und Verwertungswege zentral erfasst werden.	3
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Regelung auf Basis des § 26 Abs. 1 KrWG, um rechtliche Verbindlichkeiten der Zielsetzungen zu erreichen	3
Statistische Aspekte	verbessert die statistische Erfassung	3
Organisatorischer Aufwand	hoher organisatorischer Aufwand; Abstimmung zwischen allen Stakeholdergruppen erforderlich, aushandeln von Zielen (EU-Ebene); Möbelhersteller sind keine Recycler und können auf die stoffliche Verwertung von Möbeln nur in begrenztem Umfang Einfluss nehmen	5
Umsetzungshorizont	Langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	Verbindlich, da Selbstverpflichtung der Branche	3
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Hersteller und Handel beteiligen sich an der Finanzierung von Recyclinglösungen	3
Stärkung des Recyclings	Durch verbindliche Recyclingquoten stärkt die Maßnahme die stoffliche Verwertung, die Wirkung bleibt jedoch auf Möbel beschränkt, die nicht aus anderen Staaten importiert werden.	3
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: gering bis mittel (hoher Zusatzaufwand, aber geringere Kosten als EPR) Verbraucher*innen, Handel: größtenteils gut (ökologisches Bewusstsein, grünes Image)	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
Öffentlichkeitsarbeit	Entsorgungswirtschaft: hoch (hochwertige Entsorgungswege werden ermöglicht) Die Maßnahme erfordert einen mittleren Aufwand für die Öffentlichkeitsarbeit. Die Verbraucher*innen müssen informiert werden, falls andere Strukturen zur Sammlung von Altmöbeln geschaffen werden.	3
Gewichtetes Ergebnis		3,3
Adressaten	Hersteller und Herstellerverbände, Handel, Recyclingbranche, Gütesicherungsorganisationen, Normungsinstitute, BMU	
Fazit	Solange die vor Ort produzierten Möbel meist hochwertig und langlebig sind und Ersatzteile bereitgehalten werden, während günstige Möbel mit kürzerer Nutzungsdauer häufig importiert werden, ist eine freiwillige Selbstverpflichtung der Branche vor Ort wenig zielführend. Der damit verbundene Aufwand sorgt dafür, dass sich die Wirtschaft vor Ort im Vergleich zu Importware verschlechtert. Dadurch können im schlimmsten Fall negative ökologische Effekte erzielt werden.	

4.4.5 Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge

Eine Produktverantwortung ermöglicht die Finanzierung der Verwertung auf konsumbasierter Ebene, indem abhängig von Art und Anzahl der auf den Markt gebrachten Produkte eine Abgabe durch die Hersteller oder als Beitrag durch die Verbraucher*innen entrichtet wird. Zur Umsetzung einer erweiterten Herstellerverantwortung muss eine organisatorische Stelle geschaffen werden, welche die Abgaben verwaltet und sich um die Organisation der Sammlung und Verwertung kümmert.

Ein Beispiel für eine erweiterte Herstellerverantwortung bietet Frankreich. Ein Vorteil eines solchen Systems ist, dass durch gestaffelte Abgaben umweltfreundliche und recyclingfähige Produkte belohnt werden können. Außerdem können die Abgaben Forschung und (Pilot-) Projekte zur stofflichen Verwertung von einzelnen Bestandteilen finanzieren. In Frankreich sind insgesamt 85 % der Einwohner*innen mit der vor einigen Jahren eingeführten Umweltabgabe einverstanden (Eco-Mobilier, 2020). Das System stand allerdings zu Beginn in der Kritik, die Einführung von Möbeln von Herstellern aus anderen Staaten zu erschweren.

Um die Möbelbranche nicht durch unterschiedliche Vorgaben in verschiedenen Ländern zusätzlich zu belasten, ist eine Regelung auf EU-Ebene (bzw. abgestimmte Regelungen mehrerer EU-Staaten) vorrangig anzugehen. Aufgrund der gesicherten Entsorgungslage in Deutschland wird eine von der EU unabhängige Herstellerverantwortung auf Bundesebene zunächst nicht empfohlen. Ein EU-weites System entlastet die Hersteller, die häufig in mehreren EU-Staaten Möbel verkaufen, in dem erforderlichen bürokratischen Aufwand.

Tabelle 32 Bewertung der Maßnahme „Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	sehr hoher Aufwand, da vorrangig eine Regelung auf EU-Ebene getroffen werden müsste; Strukturen müssen geschaffen werden	5

Kriterium	Bewertung	Punkte
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Regelung auf Basis des § 23 Abs. 4 KrWG (bzw. einer EU-weiten Regelung)	3
Statistische Aspekte	Die Erfassung der statistischen Mengendaten ist aufgrund der Meldeverpflichtungen der Hersteller und Entsorger in einem System der erweiterten Herstellerverantwortung gesichert.	1
Organisatorischer Aufwand	sehr hoher organisatorischer Aufwand; Abstimmung zwischen allen Stakeholdergruppen zur Verbesserung der Akzeptanz erforderlich; in der Möbelbranche gibt es viele kleine und einige, wenige sehr große Produzenten, für welche die Regelungen gleichermaßen geeignet und umsetzbar sein müssen	5
Umsetzungshorizont	Langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme ist geeignet, die Erfassung des Abfallstroms zu verbessern.	2
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Finanzierung der Sammlung und Verwertung kann über die erweiterte Herstellerverantwortung sichergestellt werden. Die Finanzierung wird von einer überwiegend pauschalen Finanzierung über die abfallwirtschaftliche Grundgebühr (Sperrmüllentsorgung) umgestellt auf eine Finanzierung nach dem Verursacherprinzip in Form von in den Einkaufspreis einkalkulierten Entsorgungskosten.	1
Stärkung des Recyclings	In Abhängigkeit der gesetzlichen Vorgaben an Erfassung und Verwertung (Quoten) sowie Implementierung von Anreizsystemen zur nachhaltigen Produktgestaltung (z.B. gestaffelte Beiträge) wird das Recycling gestärkt; Schadstoffminimierung durch Verantwortung der Hersteller für Recycling; die Maßnahme betrifft alle in Deutschland verkauften Möbel	1
Akzeptanz der Akteure	Hersteller, Handel: gering (hoher Zusatzaufwand) Verbraucher*innen: indifferent (geringe Preiserhöhung) Entsorgungswirtschaft: hoch (hochwertige Entsorgungswege werden ermöglicht)"	3
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen mittleren bis großen Aufwand für die Öffentlichkeitsarbeit. Die Verbraucher*innen müssen informiert werden, für welchen Zweck die Abgabe gezahlt wird, was damit erreicht wurde und wo sie ihre Altmöbel zukünftig abgeben können.	4
Gewichtetes Ergebnis		2,5
Adressaten	Bundesregierung, Hersteller, Handel, Importeure, Verbraucher*innen, Recyclingbranche, öRE	
Fazit	Einer hohen Wirksamkeit bei der Umsetzung ökologischer, ökonomischer und statistischer Anforderungen stehen ein hoher Aufwand bei der Umsetzung sowie die geringe Akzeptanz bei Herstellern und Händlern entgegen, woraus auch eine langfristige Umsetzungszeit resultiert. Die Herstellerverantwortung muss so gestaltet sein, dass freier EU-Binnenmarkt bestehen bleibt. Fraglich bleibt, in welchem Maße die stoffliche Verwertung von Holzwerkstoffen und Verbunden gesteigert werden kann, da die Rohstoffnachfrage über andere Quellen gedeckt werden kann.	

4.4.6 Zusammenfassung

Für die nächsten Schritte wird folgende Priorisierung der Maßnahmenvorschläge empfohlen:

1. Aushandeln von Designkriterien

Bei Möbeln handelt es sich um einen Abfallstrom, welcher durch eine Vielzahl an Materialien und Anwendungsgebiete gekennzeichnet ist. Einheitliche und recyclinggerechte Designkriterien für spezifische Möbeltypen können eine Zerlegung der Möbel und damit die stoffliche Verwertung oder Reparatur erleichtern. Aufgrund der internationalen Verflechtung der Möbelbranche sollten Designkriterien vorrangig auf EU-Ebene ausgehandelt werden. Da die Maßnahme als Grundlage für weitere Maßnahmen dient, wird sie bei der zeitlichen Umsetzung an erster Stelle empfohlen.

2. Ökologische Kriterien in der öffentlichen Beschaffung

Mithilfe der ausgehandelten Kriterien kann die öffentliche Hand als Vorbild für die Beschaffung von recyclinggerechten Möbeln dienen. Als Grundlage hierfür sollten Leitfäden verfasst bzw. angepasst und das Informationsangebot der Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung (KNB) ausgeweitet werden.

3. Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge auf EU-Ebene

Eine erweiterte Herstellerverantwortung kann mithilfe von gestaffelten Beiträgen so umgesetzt werden, dass echte Anreize für ein recyclingfähiges Design und die Rückgewinnung von Rohstoffen gesetzt werden. Der Vorteil einer Herstellerverantwortung ist, dass nicht nur die Industrie vor Ort belastet wird, sondern alle in Verkehr gebrachten Möbel aus allen Vertriebswegen in die Regelungen einbezogen werden.

5 Teppiche

5.1 Allgemeines

Textile Bodenbeläge bzw. Teppichböden werden als Meterware oder Teppichfliesen vollflächig, also von Wand zu Wand, in einem Raum ausgelegt und besitzen als Bauprodukte nach EU-Verordnung Nr. 305/2011 eine CE-Kennzeichnung. Daneben existieren auch abgepasste Teppiche, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sie nur einen Teil des Fußbodens bedecken und als Dekoartikel verkauft werden. Weitere Teppicharten, zum Beispiel Teppiche in der Automobilindustrie, unterscheiden sich von Teppichböden hinsichtlich des Aufbaus, der Funktion und gesetzlichen Regelungen und werden daher in diesem Kapitel nicht betrachtet. Während abgepasste Teppiche größtenteils aus Asien nach Deutschland importiert werden, wird mehr als die Hälfte der in der EU verkauften Teppichböden auch in der EU produziert, insbesondere in Belgien und den Niederlanden.

Teppichböden werden im privaten Bereich vor allem in Schlaf- und Wohnräumen genutzt. Auch im Gastgewerbe und in Büros werden Teppichböden eingesetzt, insbesondere zur Geräuschminderung. Textile Bodenbeläge machen etwa ein Viertel des deutschen Bodenbelagsmarktes aus. Als Alternative zu textilen Bodenbelägen haben Holz/Laminat, mineralische und elastische Bodenbeläge ebenfalls jeweils ungefähr ein Viertel Marktanteil (GUT, 2019). Je nach Nutzungsintensität und Qualität werden Teppichböden überwiegend nach 8 bis 15 Jahren ausgetauscht. Eine Abschreibung nach AfA ist nach 8 Jahren für normale, nach 15 Jahren für hochwertige Teppichböden möglich (Bundesministerium der Finanzen, 2000). Eine eigene Kategorie innerhalb der Teppichböden bilden Teppiche für Messen, welche sehr robust und brandbeständig sein müssen. Diese werden häufig aufgrund der hohen Belastung nach einmaligem Einsatz entsorgt (Bricoflor, 2018). Außerdem gibt es Event-Teppiche, die sich durch ihre kurze Nutzungsdauer auszeichnen.

Aufgrund der Schnittstelle zum Bausektor gibt es inzwischen für einige Teppichböden Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs) nach ISO 14025, in denen die Umweltauswirkungen im gesamten Lebenszyklus eines Bauproduktes angegeben werden, um es Planern zu ermöglichen umweltfreundliche Produkte auszuwählen. Dabei wird neben Rohstoffentnahme, Produktion, Transport und Eigenschaften während der Nutzung auch die Recyclingfähigkeit bzw. die sonstige Verwertung berücksichtigt. Dies unterstützt Planer dabei, möglichst umweltfreundliche Produkte für Gebäude auszuwählen.

5.2 Erfassung

5.2.1 Erfassungssysteme

Teppichböden haben keinen eigenen Abfallschlüssel. Bei Abbruch oder Rückbau können Teppichböden als Abfall mit dem Abfallschlüssel 17 09 04 (ungefährliche gemischte Bau- und Abbruchabfälle) zugeordnet werden. Fallen Teppichböden aus privaten oder gewerblichen Quellen im Siedlungsbereich als Abfall an, werden diese meist dem Sperrmüll zugeordnet (AS 20 03 07), bei kleineren Mengen/Verschnitten werden Teppichböden und abgepasste Teppiche auch über den Restabfall (AS 20 03 01) entsorgt. Teilweise bieten Teppichhersteller, -händler oder -verleger eine Rücknahme gebrauchter Teppichböden bei Neukauf an:

- Der Teppichhersteller Interface hat mit seinem Rücknahmeprogramm ReEntry® laut eigenen Angaben seit 2011 weltweit 11.000 t Teppichboden vor der Entsorgung in Müllverbrennungsanlagen oder auf Deponien bewahrt. Das Programm fördert unter

anderem die Wiederverwendung durch Aufbereitung und Verkauf von gebrauchten Teppichfliesen (Interface, o.J.).

- Der Teppichhersteller Tarkett sammelt im Rahmen des eigenen Rücknahme- und Recyclingprogrammes ReStart® Verschnittreste von Bodenverlegungsarbeiten und teilweise auch gebrauchte Teppichfliesen in mehreren Ländern. In dem Programm können Verlegerbetriebe Big Bags oder Paletten ordern, die anschließend abgeholt, sortiert und teilweise einem stofflichen Recycling zugeführt werden. Zwischen 2017 und 2019 wurden beispielsweise pro Jahr mindestens 3.300 t verschiedener Bodenbeläge in Amerika und Europa durch das Programm gesammelt (Tarkett, 2020).

5.2.2 Erfassungsmengen

Da Teppichabfälle über verschiedene Wege entsorgt werden (Sperrmüll, Restabfall, gemischte Bau- und Abbruchabfälle, Rücknahmesysteme), können die Mengen nur anhand der Produktionsmengen abgeschätzt werden. Der Verkauf von Gebrauchtware spielt bei Teppichböden und -fliesen keine entscheidende Rolle. Im Sperrmüll haben Bodenbeläge (inklusive Teppiche) einen Anteil von 8 %, das entspricht 2,7 kg/(E*a) bzw. ca. 225.000 t/a (Dornbusch, 2020).

Nach stärkeren Umsatzrückgängen um die Jahrtausendwende ist die Absatzmenge auf dem deutschen Teppichbodenmarkt in den letzten Jahren auf ungefähr konstantem Niveau geblieben, die jährlichen Wachstumsrate lag bei den textilen Bodenbelägen seit 2016 zwischen 0,9 und 1,6 % (Branchenradar, 2017, 2018, 2020). 2016 wurden in Deutschland 176 Mio. m² Teppichprodukte verkauft, davon die knappe Hälfte Teppichböden (82 Mio. m²), gut 20 % abgepasste Teppiche und Läufer und mehr als 30 % Teppiche in anderen Anwendungen, wie beispielsweise dem Automobilsektor. Teppichböden haben eine durchschnittliche Masse von ca. 1,6 kg/m², wobei Teppichfliesen mit mehr als 3,5 kg/m² schwerer sind als Meterware. Damit liegt die Gesamtmasse der Teppichböden bei 130.000-140.000 t/a plus ungefähr 72.000 t/a an abgepassten Teppichen. EU-weit wurden im Jahr 2018 ca. 1,4 Mio. t Teppiche verkauft (ECRA, 2021).

5.3 Verwertung

In diesem Kapitel wird vorrangig auf die Verwertung von Teppichböden und Teppichbodenmaterial eingegangen, da für Teppichböden mehr Erfahrungen im Recycling vorliegen und diese den Großteil der Masse ausmachen.

5.3.1 Zusammensetzung

Teppichböden bestehen meist aus drei Schichten: Nutzschicht (Teppichfaser, Florschicht oder Polschicht), Mittel-/Zwischen-/Trägerschicht sowie eine Rückenschicht. Je nach Verarbeitung, Einsatzzweck und Qualität werden in Teppichen verschiedene Materialien miteinander kombiniert. Die einzelnen Schichten werden dabei miteinander verwoben, verknüpft, verklebt oder gummiert. Die meisten der heute eingesetzten Teppichböden werden getuftet. Tuften ist ein Herstellverfahren, bei dem Garne als Schlingen in ein Gewebe eingebracht werden. Nadelvliessteppiche machen nur knapp ein Viertel des Teppichbodenmarktes in Deutschland aus und gewebte Teppichböden spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Im europaweiten Durchschnitt von Teppichböden liegt der Anteil der Fasern in der Nutzschicht europaweit bei 33 % der Teppichbodenmasse, 12 % ist der Anteil der Fasern im Teppichrücken

(hauptsächlich PET und PP) und 55 % der Anteil der Rückenmaterialien. Teppichfliesen machen im Vergleich zu Meterware den kleineren Anteil aus (ECRA, 2021). Tabelle 33 zeigt die Anteile der eingesetzten Fasermaterialien in Deutschland und in ganz Europa.

Tabelle 33 Teppichfasermaterial – Einsatzmengen in Deutschland und der EU

Teppichfasermaterial	Masse in Deutschland (Daten von 2016)	Anteil an Teppichmaterial gesamt in Deutschland (Daten von 2016)	Masse EU-weit (Daten von 2018)
	[kt]	[Ma.-%]	[kt]
PA 6	7,6	5,8	49
PP	22,5	17,2	107
PA 6.6	5,0	3,8	39
PET	0,4	0,4	n.a.
Wool	8	6,1	5
Naturfasern	n.a.	n.a.	9
Andere	n.a.	n.a.	29
Summe Teppichfasern	43,6	33,3	238
Summe Polymerfasern	35,6	27,2	224

Quelle: ECRA, 2021 und GUT, 2019

Der Teppichrücken ist für die Stabilität des Teppichs zuständig, daher werden oft Füllstoffe verwendet, um eine gewisse Masse zu erreichen. Teilweise ist eine Verklebung des Teppichrückens mit dem Untergrund nötig, welche nach der Nutzungsphase am Teppichrücken haften bleiben kann. Tabelle 34 listet Teppichrücken- und Füllstoffmaterialien mit ihren jeweiligen Anteilen in der EU auf.

Tabelle 34 Teppichrückenmaterialien und Füllstoffe

Material	Masse EU-weit [kt]	Anteil [Ma.-%]
PP	88	7
PET	99	8
PUR	7	< 1
Latex/SBR	237	19
PVC	28	2
Bitumen	58	5
Füllstoffe (Kalziumkarbonat CaCO_3)	433	35
Aluminiumhydroxid $\text{Al}(\text{OH})_3$	210	17
Glasfasern	5	< 1
Sonstige	67	5

Quelle: Onyshko and Hewlett, 2018

5.3.2 Verwertungswege

In Deutschland werden Teppiche überwiegend energetisch verwertet. In der EU werden dagegen immer noch 60 % der Altteppiche deponiert. Eine Wiederverwendung kann vor allem bei Teppichfliesen umgesetzt werden, wenn diese nicht beim Verlegen an den Boden geklebt werden, da Teppichfliesen im Ganzen abgetragen und wiedereingesetzt werden können und bei der Passform weniger festgelegt sind als zugeschnittene Teppichböden von der Rolle.

Schätzungsweise werden weniger als 3 % der in der EU verkauften Teppichböden recycelt (Changing Markets Foundation, 2018). Insbesondere in Großbritannien wird ein Teil der Altteppiche als Reitplatzbelag verwertet. Dabei werden die Teppiche zerkleinert, bei der Zerkleinerung entstehende Mikrofasern abgesaugt und die Teppichschnitzel mit Wachs umhüllt, um die Lebensdauer zu verlängern. Die vorbehandelten Teppichschnitzel werden dann oft im Außenbereich auf einer Unterlage aufgebracht, die unter anderem die Fasern zurückhalten soll (Changing Markets Foundation, 2019). Diese Form der Verwertung kann Teil einer Kaskadennutzung sein, jedoch nicht als hochwertiges stoffliches Verwertungsverfahren angesehen werden. Zudem besteht hierbei die Gefahr, dass dadurch Kunststoffe oder Schadstoffe, wie beispielsweise Flammschutzmittel, in die Umwelt gelangen.

5.3.2.1 Recyclingoptionen für Teppichmaterialien

Entscheidend für die stoffliche Verwertung von Teppichmaterialien ist, dass die einzelnen Materialien nach einer Zerkleinerung voneinander getrennt werden können. Das ist häufig aufgrund des stark verklebten bzw. verknüpften Aufbaus technisch herausfordernd. Die Möglichkeiten reichen von einem Abscheren der Fasern von getufteten Teppichböden, wobei mit einem gewissen Verlust an Fasermaterial gerechnet werden muss, über Auflösung der Klebstoffe mittels chemischer Verfahren, hin zu mechanischen Verfahren mittels Prallmühlen oder Hammermühlen.

Bei Recyclingbestrebungen für Teppiche fokussieren viele Projekte auf die Rückgewinnung von Fasermaterialien, da hier meist hochwertige Kunststoffe eingesetzt werden und das Recycling

vieler Kunststoffe technisch möglich ist. Zum einen können die rückgewonnenen Fasern zu neuen Fasern gesponnen oder werkstofflich zu Pellets recycelt werden, allerdings verringert sich die Materialqualität im Laufe der Nutzung eines Teppichs und die Färbung der rezyklierten Fasern ist eingeschränkt. Zudem könnten in der Vergangenheit eingesetzte Schadstoffe in neue Produkte übertragen werden. Zum anderen werden und wurden in der Vergangenheit bereits chemische Recyclingverfahren entwickelt. Am vorteilhaftesten sind

Depolymerisationsverfahren, bei denen die jeweiligen Monomere zur Produktion eines neuen Kunststoffs rückgewonnen werden. Ein solches Verfahren ist jedoch nicht für alle Kunststoffe möglich und häufig energieintensiv. Des Weiteren gibt es verschiedene Verfahren, um Basischemikalien aus gebrauchten Kunststoffen zu gewinnen, die nach einer Aufbereitung als Ausgangsstoff für die chemische Industrie dienen können. Übersichten zu möglichen Recyclingverfahren verschiedener Teppichmaterialien sind in Tabelle 35 und Tabelle 36 zu finden.

Das Recycling von natürlichen Fasermaterialien ist aufgrund der schlechten Faserqualität am Ende der Nutzungsdauer nicht möglich und es kann maximal eine weitere Nutzungsphase als Dämmstoff etc. erfolgen.

Aufgrund des vielschichtigen Aufbaus des Teppichrückens sind Recyclingverfahren für Teppichrückenmaterialien sehr herausfordernd und es gibt kaum Praxisbeispiele. Zudem wird häufig Latex zum Fixieren der Fasern am Rücken eingesetzt, für den es keine Recyclingverfahren gibt und der die Separation und damit das Recycling der anderen Materialien erschweren kann. Auch Fasermischungen aus Polypropylen und Polyamid lassen sich beim Recycling nicht voneinander trennen (Onyshko und Hewlett, 2018).

Tabelle 35 Recyclingoptionen für Teppich-Fasermaterial

Fasermaterial	Faserrecycling	Chemisches Recycling	Mechanische Verwertung
Polyamid 6 (PA 6)	Ja	Depolymerisation möglich	Downcycling Kunststoffe
Polyamid 6.6 (PA 6.6)	Ja	Depolymerisation technisch herausfordernd	Downcycling Kunststoffe
Polyester (PET)	Ja	Depolymerisation möglich, aber energieintensiv	Teppichrücken, Downcycling Kunststoffe
Polypropylen (PP)	Ja	Rückgewinnung von Basischemikalien	Teppichrücken, Downcycling Kunststoffe
Wolle	Nein	Nein	Dämmstoff, Teppichpolsterung
Jute	Nein	Nein	Dämmstoff, Teppichrücken

Quelle: DUH, 2017 und ECRA, 2021

Tabelle 36 Recyclingoptionen für Teppichfüllstoff- und -rückenmaterial

Fasermaterial	Recycling	Verwertung in anderen Produkten
Polyester (PET)	Ja	Teppichrücken, Downcycling Kunststoffe
Polypropylen (PP)	Nein	Technische Kunststoffe
Jute	Nein	Dämmstoff
Latex	Nein	-
Kreide	Ja	Zement, Downcycling Kunststoffe
Bitumen	Ja	Asphalt, Downcycling Kunststoffe

Quelle: DUH, 2017

Europaweit ist Polypropylen das meistverwendete Fasermaterial. In Deutschland werden die hochwertigen und recycelbaren Kunststoffe PA 6 und PA 6.6 etwas häufiger für die Fasern eingesetzt als im EU-Durchschnitt. Allerdings muss beim Recycling mittels Depolymerisationsverfahren berücksichtigt werden, dass die physikalisch und chemisch ähnlichen Kunststoffe PA 6 und PA 6.6 aufgrund ihrer unterschiedlichen Monomere nicht gemeinsam verwertet werden können. Die Detektion und Trennung der beiden Kunststoffe während der Sortierung sind jedoch technisch schwierig, insbesondere wenn sie innerhalb eines Teppichs zusammen als Fasermaterial verwendet wurden. Daher arbeitet die Teppichindustrie derzeit daran, von PA 6.6 auf PA 6 umzustellen (ECRA, 2021).

Eine Kennzeichnung der eingesetzten Teppichmaterialien, der Teppichart und eventuell sogar der möglichen Recyclingverfahren kann am Ende der Nutzungsdauer die Sortierung und weitere Verwertung von Teppichen erleichtern. In Zusammenarbeit zwischen der Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V. (GUT) und der European Carpet and Rug Association (ECRA), die 85 % der europäischen Teppich-Produktion repräsentiert, wurde das Produktinformationssystem „PRODIS“ erarbeitet. Im Zuge der GUT-Lizensierung der Teppichböden werden Daten zum jeweiligen Teppichboden in einer Datenbank gespeichert. Jeder Händler oder Verbraucher*in kann durch die Eingabe eines Codes Informationen zu Eigenschaften, eingesetzten Chemikalien, Materialzusammensetzung und Umwelt-Produktdeklarationen abrufen (GUT, o.J.). Derzeit sind ca. 4.500 Teppichböden im PRODIS-System gespeichert. An der Definition von recyceltem und recycelbarem Anteil wird derzeit gearbeitet, sodass die Datenbank zukünftig auch um Recyclingstrategien erweitert werden kann. Entscheidend wird zukünftig sein, ob der Code auch nach der Nutzungsdauer für einen etwaigen Recycler verfügbar ist, um die Materialzusammensetzung und die gespeicherten Verwertungsoptionen auszulesen.

5.3.2.2 Versuch des Teppichrecyclings in Deutschland – Polyamid 2000

In Deutschland gab es bisher nur einen großtechnischen Versuch, Altteppiche zu recyceln: 1999 wurde durch die Polyamid 2000 AG in Premnitz (Brandenburg) ein Teppichrecyclingwerk mit einer Kapazität von 120.000 t Altteppichen pro Jahr aufgebaut. Allerdings musste das Werk schon im Jahr 2003 Insolvenz anmelden. Da kein Investor gefunden werden konnte, wird das Werk seitdem nicht mehr zum Recyceln von Teppichen genutzt. Das in Premnitz für wenige Jahre durchgeführte Verfahren konzentrierte sich auf Teppiche mit PA 6-Fasern. In einer automatischen Sortierung mithilfe von Nahinfrarot-Spektroskopie wurden zu Beginn Teppiche aus anderen Materialien aussortiert und einer energetischen Verwertung zugeführt bzw.

Teppiche mit PA 6.6-Fasern aussortiert und granuliert. Aus den verwertbaren Teppichen wurde zunächst die Kreide für die weitere Verwertung in Zementwerken oder Ziegeleien zurückgewonnen. Die PA 6-Fasern wurden nach der Zerkleinerung depolymerisiert und mittels Destillation und Fallfilmkristallisation gereinigt. So konnte der Ausgangsstoff Caprolactam für die erneute Polymerisation von PA 6 in der chemischen Industrie zurückgewonnen werden (Nikzad, 2000). Die Gründe für die Insolvenz lagen einerseits in dem Verfahren an sich, andererseits in der fehlenden Verfügbarkeit von geeigneten Altteppichen: Das Werk war für viel größere Teppichmengen ausgelegt als tatsächlich akquiriert werden konnten, zudem bereitete die Identifikation der Teppiche bei der Materialsortierung Probleme. Auch die Trennung verschiedener Schichten voneinander, das Entfernen von Kleber und die Separierung der Fasern funktionierte nicht problemlos (Wermter et al., 2017).

1995 bis 1999 wurden in dem EU-Projekt RECAM ökologisch tragbare und langfristig kosteneffektive Verwertungsverfahren für Teppich-Altmaterial erarbeitet. In dem Projekt wurde an Lösungen für die Abfallsammlung und Logistik über Technologien zum Kennzeichnen, Sortieren, Reinigen, Zerkleinern, Separieren und Reinigen der Materialkomponenten bis hin zur stofflichen Verwertung geforscht (CORDIS, o.J.). Nach der Insolvenz der Polyamid 2000 AG finden die Ergebnisse des Projektes in Deutschland allerdings keine Anwendung mehr.

5.3.2.3 Aktuelle Recyclingansätze (international)

Einige wenige Teppichhersteller haben sich bereits mit dem Recycling von Teppichböden und einem recyclinggerechten Design auseinandergesetzt. Der Teppichhersteller Interface fördert mit seinem Rücknahmeprogramm ReEntry® neben der Wiederverwendung das stoffliche Recycling. Geeignete Teppiche werden in ihre Hauptkomponenten getrennt und als Rohmaterial für neue Produkte eingesetzt. Der Rest der gesammelten Altteppiche wird einer thermischen Verwertung zugeführt (Interface, o.J.).

Der Teppichhersteller Tarkett mit der Marke Desso hat eine Rückenbeschichtung aus Polyolefinen und Kalk entwickelt, die im Gegensatz zu herkömmlichen Teppichrücken zu 100 % recycelbar ist und für die Recyclingmaterialien, allerdings nicht aus der Teppichindustrie, eingesetzt werden. 2019 wurde das Carpet Recycling Centre in den Niederlanden eröffnet. In dem Werk wird das PA 6-Teppichgarn vom Rücken getrennt und in Zusammenarbeit mit dem Faserhersteller Aquafil zu Recyclinggarn weiterverarbeitet und bei der Produktion von Teppichböden eingesetzt. Der Recyclinganteil an Post-Consumer-Material liegt bei den eigenen Markenteppichen zwischen 0 und 10 % (Tarkett, 2020).

Der Faserhersteller Aquafil S.p.A. hat mit der PA-Faser Econyl® eine Recyclingfaser aus Post-Consumer- und Produktionsabfällen entwickelt. Zur Herstellung werden unter anderem Fischernetze, Textilien oder abgeschorener Teppichflor eingesetzt. Durch Depolymerisation und Reinigungsverfahren wird das Monomer Caprolactam erhalten, welches die gleichen Eigenschaften wie Caprolactam aus fossilen Rohstoffen aufweist und zu neuem Polyamid polymerisiert werden kann. Das Recyclinggarn Econyl® wird bereits von einigen Teppichherstellern eingesetzt (Econyl, o.J.).

Das Tochterunternehmen der Royal DSM N.V., DSM-Niaga, (beide Niederlande) hat mit der Niaga®-Technologie eine einfach zu trennende Verknüpfung zwischen Teppichfasern und Mittel- bzw. Rückenschicht entwickelt, die ein Recycling von Teppichen ermöglichen soll. Die Technologie wird inzwischen von mehreren Herstellern genutzt (DSM-NIAGA, o.J.).

Beispielsweise vertreibt der niederländische Hersteller Donkersloot laut eigenen Angaben einen Teppich aus Recyclingmaterialien, der sich mehrfach zu 100 % recyceln lässt. Der Teppich besteht neben der Niaga®-Technologie aus PA 6 Fasern und recyceltem PET-Filz als Unterlage

(Donkersloot, o.J.). Auch BASF hat zusammen mit DSM einen recycelbaren Teppich entwickelt, der aus Pyrolyseöl von chemisch recycelten Kunststoffen hergestellt wird (BASF, 2019).

Der britische Teppichhersteller Reeds Carpets, der im Event-Bereich Teppichböden mit häufig kurzer Nutzungsdauer anbietet, hat mit der EVO-Kollektion einen recycelbaren Teppichboden entwickelt. Sowohl das Fasermaterial als auch das Rückmaterial des Teppichs besteht aus PP. Somit werden die EVO-Teppiche nach der Nutzung vom Hersteller zurückgenommen und können zu Pellets verarbeitet und verkauft werden (Reeds, o.J.).

In Kalifornien gibt es aktuell neue Ansätze, Teppiche zu recyceln. Durch die 2010 gesetzlich eingeführte erweiterte Herstellerverantwortung für Teppiche, werden die Altteppiche getrennt gesammelt und 2015 wurden 10 % der Teppiche recycelt. Die Firma Circular PolymersTM betreibt in Lincoln eine Teppichrecyclinganlage, in der mittels eines Rotationsprallabscheiders die Teppichfasern vom Rücken getrennt und an die chemische Industrie verkauft werden (Circular Polymers, o.J.). 2019 gab der internationale Konzern Eastman bekannt, in der eigenen chemischen Recyclinganlage aufbereitetes PET-Teppichmaterial von Circular Polymers zu verwerten und zur Produktion neuer Kunststoffteile einsetzen zu wollen (Eastman, 2019).

In Ohio baut PureCycle Technologies LLC derzeit eine Anlage, um transparentes und ultrareines PP mithilfe einer Recyclingtechnologie von Procter & Gamble aus gereinigtem Teppichabfall von Circular Polymers und anderen Abfallströmen rückzugewinnen. Die Anlage soll 2021 in Betrieb gehen. Gleichzeitig beginnt PureCycle schon mit der Standortauswahl für eine Anlage in Europa (PureCycle, 2019; PureCycle, 2020).

5.3.2.4 Hindernisse für die stoffliche Verwertung

Hindernisse für die stoffliche Verwertung sind vor allem minderwertige und/oder gemischte Materialien der einzelnen Schichten, welche sich nur mit großem Aufwand voneinander trennen lassen. Teppiche sind darauf ausgelegt, jahrelangen Belastungen standzuhalten und die Bestandteile sind dementsprechend fest miteinander verknüpft oder verklebt. Eine Umsetzung eines recyclinggerechten Designs würde aufgrund der langen Nutzungsdauer erst nach über einem Jahrzehnt für die Kreislaufwirtschaft relevant werden.

Ein weiteres Problem ist der kaum vorhandene Absatzmarkt für die gewonnenen Sekundärrohstoffe. Oft ist beim Entsorgen von Teppichböden nicht bekannt, aus welchen Materialien der Teppich besteht, sodass für ein Recycling eine manuelle oder automatisierte Sortierung erfolgen müsste. Aufgrund der langen Nutzungsdauer ist bei Altteppichen von hohen Verschmutzungsgraden auszugehen. Zudem kann es bei der Erfassung mit anderen Abfällen, beispielsweise mit anderem Sperrmüll oder Baumischabfall, zu Verunreinigungen kommen, welche die weitere Verwertung einschränken.

Des Weiteren werden Schadstoffgehalte in Teppichen diskutiert. Um die erforderlichen Eigenschaften zu erreichen, werden bei der Teppichherstellung verschiedene Farbstoffe, Weichmacher, Biozide, Flammschutzmittel und andere Additive eingesetzt. Zudem wurden bereits Ausgangsstoffe der Polymersynthese oder Prozesschemikalien in einzelnen Teppichen nachgewiesen. 2018 hat eine Studie im Auftrag der Changing Markets Foundation ergeben, dass in der EU produzierte Teppichböden zum Teil Chemikalien enthalten, welche in Verdacht stehen oder erwiesenermaßen hormonaktiv, krebserregend oder die Fruchtbarkeit beeinträchtigend wirken. Einige der Proben enthielten auch recycelte Stoffe wie PVC oder Polyamidfasern. Es wurden jedoch nicht in allen getesteten Teppichböden, die Recyclingmaterialien beinhalten, auch Schadstoffe gefunden. Das bedeutet, dass es möglich ist, schadstofffreie Teppichböden aus Recyclingmaterialien zu produzieren (Onyshko und Hewlett, 2018; Changing Markets Foundation, 2018). Die Gefahrstoffbewertung und -regulierung wird in der EU im Rahmen der

REACH-Verordnung ständig hinsichtlich neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse überprüft und erweitert. Trotzdem sind enthaltene Schadstoffe ein Hindernis für das Recycling, da Schadstoffe in Alteppichen beim Recycling in neue Produkte verschleppt werden könnten. Hier spielt eine Kennzeichnung der eingesetzten Chemikalien eine entscheidende Rolle, um zukünftig Teppich verlässlich recyceln und schadstoffbelastete Teppiche beim Recycling ausschleusen zu können. Zudem hat eine verlässliche Kennzeichnung den Vorteil, dass Konsumenten bewusste Entscheidungen für schadstoffarme Produkte treffen können (Zimmermann et al., 2019). Bestimmte Label für Teppiche (Blauer Engel, GUT) enthalten bereits strengere Vorgaben für den Ausschluss schädlicher Substanzen in ihren Kriterien, allerdings ist die Zertifizierung stets freiwillig.

5.3.2.5 Recyclinggerechtes Teppichdesign

Um ein recycling- und umweltgerechtes Teppichdesign zu erreichen, muss auf folgende Punkte geachtet werden:

- ▶ Pro Teppichschicht sollte nur ein Material eingesetzt werden und Mischfasern sollten vermieden werden.
- ▶ Es sollten vorrangig recycelbare Materialien eingesetzt werden, zum Beispiel Polyester oder Polyamid.
- ▶ Es sollten Klebstoffe zwischen Teppichrücken und Palschicht eingesetzt werden, die am Ende der Nutzungsdauer eine Trennung ermöglichen.
- ▶ Teppichböden sollten beim Verlegen nicht flächendeckend an den Boden geklebt werden oder es sollte ablösbarer Kleber verwendet werden. Dazu muss die DIN VOB 18365 zu Bodenbelagsarbeiten, die in Teil C eine vollflächige Verklebung fordert, geprüft und angepasst werden, sodass auch recyclinggerechtere Verlegungsarbeiten abgenommen werden können.
- ▶ Der Einsatz von Recyclingprodukten aus der Teppichindustrie oder aus anderen Branchen sollte bei der Herstellung von Teppichen intensiviert werden.
- ▶ Der verstärkte Einsatz von Teppichfliesen anstelle von Meterware erleichtert die Wiederverwendung und eventuell nötige Reparaturen durch das Austauschen einzelner Fliesen.

Eine am Teppich angebrachte Kennzeichnung der eingesetzten Materialien erleichtert bei der späteren Verwertung die Sortierung. Mithilfe eines am Teppich angebrachten Verweises in eine gepflegte Datenbank können zusätzlich zu den verwendeten Materialien auch weitere Informationen zu Aufbau, Verwertungsmöglichkeiten und aktuell verfügbaren Anlagen gegeben werden. Die in Kapitel 5.3.2.1 vorgestellte Datenbank der GUT und ECRA enthält Daten, die für die stoffliche Verwertung hilfreich sind. Allerdings ist die Teilnahme an die GUT-Lizensierung geknüpft, sodass nicht alle Teppiche in der Datenbank hinterlegt sind. Außerdem ist eine Kennzeichnung von Teppichen, die auch nach der Nutzungsdauer noch vorhanden und verfügbar ist, eine Herausforderung. Ein Code auf der Unterseite ist nach dem Verlegen mit vollflächiger Verklebung, Zuschneiden des Teppichbodens und der langen Nutzungsdauer häufig nicht mehr lesbar. Eine Kennzeichnung mit regelmäßig im Teppichboden verteilten RFID-Chips ist technisch möglich, jedoch im Verhältnis zum Nutzen kostenintensiv. Hier besteht noch

Diskussions- und Forschungsbedarf, ob und in welcher Form eine Kennzeichnung für das Recycling von Teppichen sinnvoll ist.

5.3.3 **Umweltpotenzial und Aufwand**

Abgeleitet von Ökobilanzen und Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs) gibt die European Carpet and Rug Association (ECRA) eine Umweltentlastung von 6,5 kg CO₂-Äq pro kg Garn für das chemische Recycling von PA 6 an, da durch das Recycling Neumaterial ersetzt werden kann. Mit einem jährlichen Verbrauch von 49.000 t PA 6-Garn in getufteten Teppichböden und einer Annahme von 70 % Materialrückführung könnten europaweit 223.000 t CO₂-Äq pro Jahr eingespart werden. Damit bietet insbesondere das Recycling von PA 6 im Vergleich zu Neumaterial große ökologische Vorteile. Für ein werkstoffliches Recycling von PP-Fasern ergibt sich ein Umweltpotenzial von 0,9 kg CO₂-Äq pro kg Garn, beziehungsweise europaweit 48.000 t CO₂-Äq pro Jahr bei einem Verbrauch von 107.000 t und einer Materialrückführung von Verwertungsquote von 50 % (ECRA, 2021).

In einer kalifornischen Studie wurde für das Recycling von Teppichen mit PA-Fasern ebenfalls ein Einsparpotenzial für Treibhausgasemissionen berechnet. Für die energetische Verwertung wurde ein Treibhauspotenzial von über 1 kg CO₂-Äq pro kg Teppichabfall berechnet und für das Recycling ein negatives Treibhauspotenzial von ungefähr -2,6 kg CO₂-Äq pro kg Teppichabfall. Die Angaben beinhalten auch die Treibhausgasemissionen von Sammlung und Transport. Die größten Einsparungen an Treibhausgasemissionen können laut dieser Studie neben vermehrtem Recycling durch eine verlängerte Nutzungsdauer, zum Beispiel durch Anwendung eines modularen Designs, erzielt werden (Horvath und Masanet, 2012). Laut Schätzung könnten in Deutschland 3 % der Bodenbeläge im Sperrmüll wiederverwendet werden (Dornbusch et al., 2020). Ein verstärkter Einsatz von Teppichfliesen kann die Lebensdauer eines gesamten Teppichbodens verlängern, da einzelne Fliesen ausgetauscht werden können, und erleichtert die Wiederverwendung, da bei Bodenbelägen von der Rolle die Passform oft eine Wiederverwendung verhindert. Teppichbeläge können vor dem Weiterverkauf gereinigt, gefärbt und beschnitten werden, allerdings müssen die Teppiche für eine Wiederverwendung sauber und unbeschädigt gesammelt und transportiert werden.

Trotz aller guten Gründe dafür ist die stoffliche Verwertung von Teppichen derzeit noch eine Ausnahme. Dies liegt daran, dass die Kosten für ein Recyclingverfahren den Wert der rückgewonnenen Materialien übersteigen. Neben dem Verfahren müssten hochwertige Sammelstrukturen entwickelt werden, damit ein Großteil der Teppichböden nicht in Bauabfällen, im Rest- und Gewerbeabfall oder im Sperrmüll mit anderem Material vermischt und verschmutzt wird. Die Einrichtung von separaten Sammelpunkten und die nötige Logistik verursachen Kosten, die in der derzeitigen Situation (Teppichaufbau und Rohstoffverfügbarkeit) nicht mit der Verwertbarkeit und dem Materialwert von Teppichen korrelieren.

5.3.4 **Bewertung und Fazit**

Obwohl Recycling in der Teppichbodenbranche ein Thema ist und in Forschung und Verbänden behandelt wird, gibt es derzeit nur wenige Ansätze einzelner Hersteller und es wird nur ein Bruchteil der Altteppiche stofflich verwertet.

In heutigen Teppichböden liegen meist Mischmaterialien, fest verbundene Teppichrücken, unlösbare Klebeverbindungen oder gemischte Fasermaterialien vor, weshalb eine Abtrennung einzelner Materialien zur stofflichen Verwertung im großtechnischen Maßstab schwierig bis unmöglich ist. Des Weiteren wurden in einigen Teppichen schädliche Substanzen nachgewiesen. Werden schadstoffhaltige Produkte recycelt, besteht die Gefahr, dass die Schadstoffe in neue

Produkte überführt werden und Verbraucher*innen gefährden. Es existieren erste Ansätze der Teppichbodenindustrie weniger Mischmaterialien (bspw. PA 6 und PA 6.6) und trennbare Designs umzusetzen.

Die bisher entwickelten Recyclingverfahren umfassen meist die Sortierung nach Teppichsorten, die mechanische oder chemische Trennung von Teppichrücken und Fasern und die stoffliche Verwertung einzelner Materialien (PA 6, PET, Kreide und Rückenschicht). In Teppichen eingesetzte Naturfasern weisen nach der Nutzungsdauer kurze Faserlängen auf, sodass eine faserbasierte Verwertung schwierig oder nicht mehr möglich ist. Kunststofffasern können theoretisch werkstofflich verwertet werden, wenn sie sortenrein vorliegen. Allerdings lassen sich aus Altteppichen aufgrund der Färbung, Verschmutzungen und Abnutzung der Polymere nur Rezyklate geringer Qualität herstellen, die nicht für die Herstellung neuer Fasern verwendet werden können. Sinnvoll sind bei Teppichmaterialien auch chemische Recyclingverfahren zur Rückgewinnung von Basischemikalien oder Monomeren (bspw. bei PA 6 oder PET). Allerdings lassen sich die Monomere nicht bei allen Kunststoffsorten rückgewinnen, beziehungsweise sind die Mengen mancher Kunststoffsorten zu gering, um Recyclinganlagen auslasten zu können. Da in der Teppichindustrie verschiedene Teppicharten und -materialien eingesetzt werden, erschwert dies zusätzlich die erforderliche Mengenbündelung und die Materialtrennung. Ein Lösungsansatz dafür ist die Entwicklung von materialspezifischen, aber branchen- und länderübergreifenden Entsorgungs- und Verwertungspfaden, damit in sogenannten Polymerpools die Rückgewinnung von Rohstoffen erfolgen kann.

Somit ist zurzeit eine stoffliche Verwertung von Teppichböden in Deutschland aufgrund des nicht recyclingfähigen Aufbaus, dem Verschmutzungsgrad und der nicht vorhandenen separaten und einheitlichen Sammelstruktur kurz- oder mittelfristig nicht großflächig umsetzbar. Mit folgenden Maßnahmen werden die Grundlagen für ein mögliches stoffliches Recycling gefördert.

5.4 Maßnahmenvorschläge

Im Folgenden werden verschiedene Maßnahmen für die Verbesserung der stofflichen Verwertung von Teppichen beschrieben und nach den in Kapitel 1.3.1 genannten Kriterien bewertet.

5.4.1 Ökologische Kriterien in der öffentlichen Beschaffung

Die öffentliche Hand hat aufgrund des großen Umsatzes einen entscheidenden Anteil daran, die Nachfrage nach recyclingfähigen und schadstoffarmen Teppichböden zu setzen und damit Anreize für die Entwicklung und Umsetzung zu schaffen. In der Praxis ist das Thema Recycling von Teppichböden jedoch irrelevant. So finden sich im Leitfaden zur umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffung von textilen Bodenbelägen des Umweltbundesamtes bisher kaum Kriterien für die Verwertung selbiger nach der Nutzungsdauer (Umweltbundesamt, 2020). Hier sollten entsprechende Kriterien ergänzt werden, um die Umsetzung in der Praxis zu unterstützen.

Des Weiteren können durch Vorgaben bzw. Zertifizierungen im Gebäudebereich auch die Teppichbodenbranche adressiert werden und so eine Nachfrage nach umweltfreundlichen Teppichböden geschaffen werden.

Tabelle 37 Bewertung der Maßnahme „Ökologische Kriterien in der öffentlichen Beschaffung“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	mittlerer Aufwand, die Beschaffungspraxis muss angepasst werden.	3
Rechtliche Aspekte	Die öffentliche Hand ist nach § 45 Abs. 2 KrWG bzw. den Landesabfallgesetzen verpflichtet, Produkten den Vorzug zu geben, die zum Beispiel aus Rezyklaten hergestellt worden sind oder sich durch ihre Recyclingfähigkeit auszeichnen. Mithilfe von Verwaltungsvorschriften können die Vorgaben spezifiziert werden.	2
Statistische Aspekte	Die Kriterien haben keinen Einfluss auf die statistische Erfassung des Abfallstroms Teppiche.	5
Organisatorischer Aufwand	Die Beschaffungspraxis muss angepasst werden, dazu bedarf es praxisnaher Vorlagen, Leistungsblätter, geeigneter Gütezeichen / Label und einer Anpassung der UBA-Leitfäden zur umweltfreundlichen Beschaffung.	3
Umsetzungshorizont	mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da gesetzliche Grundlage existiert	2
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Durch ökologische Kriterien wird das zukünftige Recycling unterstützt. Beispielsweise können der Verzicht auf Schadstoffe und eine einfachere Zerlegung der Produkte die Kosten für die Aufbereitung senken.	4
Stärkung des Recyclings	Die öffentliche Hand hat als größter Bauherr Deutschlands einen großen Einfluss auf den Markt. Damit wird die Nachfrage nach recyclingfähigen Produkten gestärkt und kann durch ein steigendes Angebot entsprechender Produkte auch in anderen Bereichen Effekte erzielen. Trotzdem hat die Maßnahme keinen starken Einfluss darauf, dass die Produkte tatsächlich am Ende ihrer Nutzungsdauer recycelt werden.	3
Akzeptanz der Akteure	Eventuell einzelne Vorbehalte gegen zusätzlichen Aufwand, geringere Anzahl an Angeboten oder schwer erfüllbare Anforderungen	2
Öffentlichkeitsarbeit	<i>nicht relevant; trotzdem kann Öffentlichkeitsarbeit sinnvoll sein, um mit dieser Vorbildfunktion auch im privaten Sektor die ökologische Beschaffung zu erhöhen</i>	
Gewichtetes Ergebnis		3,0
Adressaten	Behörden, UBA, Hersteller, Handel, Gütesicherungsorganisationen (Blauer Engel, GUT etc.), Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung (KNB)	
Fazit	Ökologische bzw. recyclinggerechte Kriterien in der öffentlichen Beschaffung sind gesetzlich bereits vorgegeben, doch häufig fehlen klar definierte Kriterien, geeignete Angebote und konkrete Hilfestellungen für die breitenwirksame Umsetzung in der Praxis. Bisherige Maßnahmen, wie Leitfäden und das Einrichten bzw. das Informationsangebot der Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung (KNB), können ausgeweitet werden. Das zuvor genannte Aushandeln von Designkriterien ist auch für die öffentliche Beschaffung hilfreich.	

5.4.2 Designkriterien aushandeln und Normieren, eventuell inklusive Kennzeichnung

Ein recyclinggerechtes Design wird aufgrund der langen Nutzungsdauer erst zehn bis zwanzig Jahre später für die Verwertung am Ende der Nutzungsdauer relevant. Deshalb ist es wichtig, dass die Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung bereits früh im Produktlebenszyklus beim Design geschaffen werden.

In Zusammenarbeit mit allen Teppichbodenherstellern und der Recyclingbranche (z.B. Anlagenbetreibern) müssen grundlegende Designkriterien entwickelt werden, welche die stoffliche Verwertung ermöglichen. Anschließend sollte eine Überarbeitung der betreffenden Normen forciert werden (u.a. DIN EN 1307, DIN 18365 (vollflächige Verklebung)).

Die Zertifizierung und Kennzeichnung von Teppichen mittels Siegel oder Label ist bei langlebigen Produkten, wie Teppichböden, weniger zur Steigerung der Nachfrage nach recyclingfähigen Produkten geeignet. Eine Zertifizierung spielt bei der Auswahl von qualitativ hochwertigen und schadstoffarmen Produkten eine größere Rolle. Dafür existieren bereits geeignete Siegel für Teppichböden und abgepasste Teppiche (z. B. Blauer Engel, GUT, TÜV, Oeko-Tex-Standard).

Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Sortierung von Teppichen ist eine Material- und Entsorgungskennzeichnung eine zu diskutierende Maßnahme bei der Festlegung von Designkriterien. Die in Kapitel 5.3.2.1 vorgestellte Datenbank der GUT und ECRA enthält Daten, die für die stoffliche Verwertung hilfreich sind. Allerdings ist die Teilnahme an die GUT-Lizensierung geknüpft, sodass nicht alle Teppiche in der Datenbank hinterlegt sind. Außerdem ist eine Kennzeichnung von Teppichen, die auch nach der Nutzungsdauer noch vorhanden und verfügbar ist, eine Herausforderung. Ein Code auf der Unterseite ist nach dem Verlegen mit vollflächiger Verklebung, Zuschneiden des Teppichbodens und der langen Nutzungsdauer häufig nicht mehr lesbar. Eine Kennzeichnung mit regelmäßig im Teppichboden verteilten RFID-Chips ist technisch möglich, jedoch im Verhältnis zum Nutzen kostenintensiv.

Tabelle 38 Bewertung der Maßnahme „Designkriterien aushandeln und Normieren, eventuell inklusive Kennzeichnung“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	geringer bürokratischer Aufwand; Kennzeichnung der Materialien in einer Datenbank erfordert etwas höheren Aufwand	1
Rechtliche Aspekte	So lange Designkriterien nicht verpflichtend angewendet werden müssen, sind keine rechtlichen Aspekte zu berücksichtigen.	1
Statistische Aspekte	kein Einfluss auf die statistische Erfassung	5
Organisatorischer Aufwand	Spezifische Kriterien müssen ausgehandelt werden, dazu bedarf es einer Zusammenarbeit und Einigung zwischen Herstellern, Politik und der Recyclingbranche.	4
Umsetzungshorizont	mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	unverbindlich	5
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Finanzierung einer hochwertigen Verwertung. Die Kosten für eine hochwertige Verwertung können jedoch sinken, wenn ein großer Teil der Teppiche aus verwertbaren Materialien besteht und die Trennbarkeit der einzelnen Materialien voneinander gewährleistet ist	4

Kriterium	Bewertung	Punkte
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms	3
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme kann zu verbesserten Bedingungen für die stoffliche Verwertung führen, indem recycelbare Materialien eingesetzt werden und die Trennbarkeit der einzelnen Materialien voneinander vereinfacht wird.	2
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: gering (hoher Zusatzaufwand) Verbraucher*innen, Handel: größtenteils gut (ökologisches Bewusstsein, grünes Image) Entsorgungswirtschaft: hoch (hochwertige Entsorgungswege werden ermöglicht)"	2
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen geringen Aufwand für Öffentlichkeitsarbeit. Interessierte Verbraucher*innen müssen in der Lage sein, sich zu informieren.	1
Gewichtetes Ergebnis		2,7
Adressaten	Hersteller und Herstellerverbände, Recyclingbranche, Gütesicherungsorganisationen (z.B. GUT), Normungsinstitute, Politik / BMU	
Fazit	Recyclinggerechte Designkriterien verbessern die Zusammenarbeit zwischen Herstellern und Recyclern und fördern die technische Weiterentwicklung. Obwohl diese Maßnahme allein wenig Wirkung entfaltet, ist sie als Grundlage für weitere Maßnahmen sinnvoll und unterstützt Hersteller, die sich bereits mit einem recyclinggerechten Design auseinandergesetzt haben, in ihren Anstrengungen.	

5.4.3 Einsatzquoten für Sekundärmaterialien

Eine Umweltentlastung kann auch durch den vermehrten Einsatz von Recyclingmaterial bei der Herstellung von Teppichböden erzielt werden. Auf diese Weise kann die stoffliche Verwertung von Post-Consumer- und Industrieabfällen von Teppichen oder aus anderen Branchen erzielt werden, indem beispielsweise Weichschäume zu Teppichunterseiten verpresst, Fischernetze zu Teppichgarnen verarbeitet oder Textilabfälle für die Produktion von Nadelvliessteppichböden eingesetzt werden.

Tabelle 39 Bewertung der Maßnahme „Einsatzquoten für Sekundärmaterialien“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	sehr hoher Aufwand; Die Quoten müssen erfüllt und die Einhaltung der Quoten muss überwacht werden; dies erfordert einen erhöhten Aufwand in der Lieferkette, eine Umstellung der Einkaufspraxis und zusätzliche Bürokratie für die Hersteller.	5
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Regelung auf Basis des § 23 Abs. 4 KrWG auf Basis des § 23 Abs. 2 Nr. 2	3
Statistische Aspekte	die Einsatzquoten haben keinen Einfluss auf die statistische Erfassung des Abfallstroms Teppiche	5

Kriterium	Bewertung	Punkte
Organisatorischer Aufwand	Spezifische Quoten müssen ausgehandelt werden, dazu bedarf es einer Zusammenarbeit und Einigung zwischen Herstellern, Politik und der Recyclingbranche	5
Umsetzungshorizont	langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme trägt nicht zur Finanzierung der Sammlung und Verwertung bei. Durch Einsatzquoten für Sekundärmaterialien wird die Nachfrage nach Sekundärmaterial gestärkt, wodurch die wirtschaftliche Situation von Recyclingverfahren verbessert wird.	3
Stärkung des Recyclings	Die Einsatzquoten tragen dazu bei, dass der Einsatz von Sekundärmaterial steigt, Neumaterial eingespart wird und die stoffliche Verwertung gestärkt wird. Dennoch hängt die ökologische Wirkung auch davon ab, welcher Aufwand für die Produktion des Sekundärmaterials betrieben werden muss und in welcher Qualität Neumaterial ersetzt werden kann.	2
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: gering (hoher Zusatzaufwand, Qualitätsanforderungen, Kosten) Verbraucher*innen: größtenteils gut (ökologisches Bewusstsein), Vorbehalte gegenüber Risiken des Schadstoffeintrags Entsorgungswirtschaft: gut (gesicherte Absatzmärkte für Sekundärmaterialien)"	3
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen geringen Aufwand für Öffentlichkeitsarbeit. Interessierte Verbraucher*innen müssen in der Lage sein, sich zu informieren.	2
Gewichtetes Ergebnis		3,2
Adressaten	Hersteller und Herstellerverbände, Gütesicherungsorganisationen, Normungsinstitute, Bundesregierung (insb. BMU)	
Fazit	Die Maßnahme stärkt allgemein die Recyclingbranche. Dem entgegen stehen große Vorbehalte hinsichtlich technischer Möglichkeiten, des Einhaltens von Qualitätsanforderungen und des Eintrags von Schadstoffen.	

5.4.4 Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge

Eine erweiterte Herstellerverantwortung setzt Anreize für ein recyclingfähiges Design und könnte die separate Sammlung und Verwertung von Teppichen finanzieren. Um die Ausgestaltung einer Herstellerverantwortung festzulegen, müssen neben den Herstellern auch die öRE und die chemische Industrie beteiligt werden. Aufgrund der langen Nutzungsdauer sollte eine Vorlaufzeit von mindestens zehn Jahren eingeplant werden, die es den Herstellern ermöglicht, Maßnahmen im Produktdesign zu treffen. Auch bei Teppichen sind gestaffelte Produktabgaben sinnvoll, um Anreize zu setzen und Hersteller zu belohnen, die sich für ein kreislaugerechtes Design einsetzen, und den Einsatz von Recyclingmaterial in der Produktion zu fördern. Da die Teppichbodenindustrie vor allem im europäischen Ausland zu finden ist, ist eine Umsetzung auf EU-Ebene anzustreben.

Allerdings muss bei Überlegungen zu einer erweiterten Herstellerverantwortung für Teppiche geprüft werden, ob nicht auch andere Bodenbeläge, die mit Teppichböden konkurrieren, eingeschlossen werden müssen. Denn auch andere Bodenbeläge werden selten recycelt und die meisten elastischen Bodenbeläge werden ebenfalls aus fossilen Rohstoffen hergestellt. Zudem ist es sinnvoll, Bodenbeläge in einem gemeinsamen Sammelsystem zu erfassen.

Tabelle 40 Bewertung der Maßnahme „Erweiterte Herstellerverantwortung / gestaffelte Beiträge“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	sehr hoher Aufwand, Strukturen müssen geschaffen werden	4
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Regelung auf Basis des § 23 Abs. 4 KrWG (bzw. einer EU-weiten Regelung)	3
Statistische Aspekte	Die Erfassung der statistischen Mengendaten ist aufgrund der Meldeverpflichtungen der Hersteller und Entsorger gesichert.	1
Organisatorischer Aufwand	sehr hoher organisatorischer Aufwand; Abstimmung zwischen allen Stakeholdergruppen zur Verbesserung der Akzeptanz erforderlich	5
Umsetzungshorizont	langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme verbessert die Erfassung des Abfallstroms.	1
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Finanzierung der Sammlung und Verwertung kann über erweiterte Herstellerverantwortung sichergestellt werden. Durch den Aufschlag der Entsorgungskosten auf den Produktpreis erfolgt die Finanzierung nach dem Verursacherprinzip.	1
Stärkung des Recyclings	In Abhängigkeit der gesetzlichen Vorgaben an Erfassung und Verwertung (Quoten) sowie Implementierung von Anreizsystemen zur nachhaltigen Produktgestaltung (z.B. gestaffelte Beiträge) wird das Recycling gestärkt; Schadstoffminimierung durch Verantwortung der Hersteller für Recycling; die Maßnahme betrifft alle in Deutschland verkauften Teppiche	1
Akzeptanz der Akteure	Hersteller, Handel: gering (hoher Zusatzaufwand, steigende Kosten) Verbraucher*innen: indifferent (geringe Preiserhöhung) Entsorgungswirtschaft: hoch (hochwertige Entsorgungswege werden ermöglicht)	3
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen mittleren bis großen Aufwand für die Öffentlichkeitsarbeit. Die Verbraucher*innen müssen informiert werden, für welchen Zweck die Abgabe gezahlt wird, was damit erreicht wurde und wo und in welcher Form sie ihre Altteppiche zukünftig entsorgen können.	4
Gewichtetes Ergebnis		2,4
Adressaten	Bundesregierung, Hersteller, Handel, Importeure, Verbraucher*innen, Recyclingbranche, öRE	
Fazit	Die Maßnahme ermöglicht die Finanzierung der Sammlung, Sortierung und Verwertung der Sekundärmaterialien. Einer hohen Wirksamkeit bei der Umsetzung ökologischer, ökonomischer und statistischer Anforderungen	

Kriterium	Bewertung	Punkte
	stehen ein hoher Aufwand bei der Umsetzung sowie die geringe Akzeptanz bei Herstellern und Händlern entgegen, woraus auch eine langfristige Umsetzungszeit resultiert. Die Maßnahme muss so gestaltet sein, dass der freie EU-Binnenmarkt nicht behindert wird.	

5.4.5 Zusammenfassung

Für die nächsten Schritte wird folgende Priorisierung empfohlen:

1. Aushandeln von einheitlichen Designkriterien

Bei Teppichen bzw. Teppichböden geht es vorrangig um die Entwicklung von recyclingfähigen Teppichdesigns und deren breiten Umsetzung. Dazu bedarf es einer Zusammenarbeit zwischen allen beteiligten Akteuren sowie Anreize, welche die Wettbewerbsfähigkeit der recyclingfähigen Produkte sicherstellen. Dies kann einerseits durch die Überführung der Designkriterien in bekannte und akzeptierte Label und andererseits durch die Überarbeitung industrierelevanter Normen erfolgen.

2. Ökologische Kriterien in der öffentlichen Beschaffung

Gerade bei Teppichböden ist die öffentliche Hand durch Vorgabe von Recyclingkriterien bei der Beschaffung in der Lage, Anreize für die Investition in recyclingfähige Designs zu setzen.

3. Erweiterte Herstellerverantwortung

Auch wenn die erweiterte Herstellerverantwortung im Endergebnis von den Bewertungspunkten her am besten abschneidet, wird bei Teppichen empfohlen, zuerst die technischen Grundlagen für das Recycling zu legen und die bisherigen Maßnahmen und Zielsetzungen der Industrie zu unterstützen, bevor mit einer verpflichtenden Herstellerverantwortung die Sammlung der Altteppiche und der Finanzierung des Recyclings angegangen werden. Bei der Diskussion um die Einführung einer Herstellerverantwortung muss auch in Zusammenarbeit mit der Branche geklärt werden, in welchem Rahmen diese sinnvoll umzusetzen ist, ob zum Beispiel Teppichböden und abgepasste Teppiche bzw. Teppiche in anderen Anwendungen gemeinsam betrachtet werden oder alle Bodenbeläge, die im Baugewerbe eingesetzt werden.

6 Kunstrasen

6.1 Allgemeines

Kunstrasen ist ein spezieller Kunststoffteppich, welcher in Aussehen und/oder Funktion Naturrasen nachempfunden ist. Der Aufbau mit mehreren Schichten ist ähnlich dem normalen Teppich. Besonderheiten ergeben sich durch die Einbringung von Sand oder Granulaten zur Verbesserung der Bespielbarkeit von Kunstrasen als Sportbodenbelag.

Daneben gibt es verschiedenen Varianten von Hybridrasen, bei dem Kunstfasern in Naturrasen eingebracht werden, entweder als Einzelfasern oder als lockerer, offener Teppich. Die Kunstrasenfasern sollen dabei als Schutz und Stabilisator für die Graspflanzen dienen (Artificialgrass, o.J.). Hierbei handelt es sich allerdings eher um ein Nischenprodukt (Dufft, 2020).

6.1.1 Arten und Aufbau von Kunstrasen

Kunstrasen besteht aus einem synthetischen Trärgewebe, auf welches Kunststofffasern in kleinen Büscheln getuftet werden. Um die Rasentufte zu befestigen, wird die Unterseite des Trärgewebes mit Latex oder PU beschichtet. Die Rasenfasern bestehen meist aus PE, das Trärgewebe aus PP (Eunomia, 2017).

Die Rasenfasern können beliebig gefärbt werden. Um der Optik eines Naturrasens zu entsprechen, werden Fasern in verschiedenen Grüntönen und unterschiedlicher Länge in einem Tuft kombiniert. Aus funktionellen und optischen Gründen werden sowohl glatte als auch gekräuselte Fasern verwendet.

Kunstrasen, der in Deutschland im Sportbereich eingesetzt werden soll, muss der DIN EN 15330-1 und DIN 18035-7 entsprechen. Des Weiteren gibt es das Gütezeichen RAL-GZ 944 – Kunststoffrasensysteme in Sportfreianlagen (RAL G GK, 2018). Dieses umfasst Module für die Qualitätssicherung einzelner Komponenten, des Gesamtsystems und für Systemeinstbau und Pflege von Kunstrasen.

Die DIN 18035-7 gibt vor, dass im Sportplatzbau als oberste Schicht eine 3,5 cm dicke elastische Tragschicht aus verklebtem Gummigranulat eingebaut werden muss. Diese dämpft bei Stürzen den Aufprall und verringert das Verletzungsrisiko. Auf diese Schicht wird später der Kunstrasen verlegt. Die elastische Tragschicht ist auf die doppelte Lebenszeit als die des Kunstrasens ausgelegt und wird in der Regel bei der Sanierung des Kunstrasenplatzes nur ausgebessert (Labor Lehmacher, o.J.). Sie gehört damit nicht zum betrachteten Abfallstrom Kunstrasen.

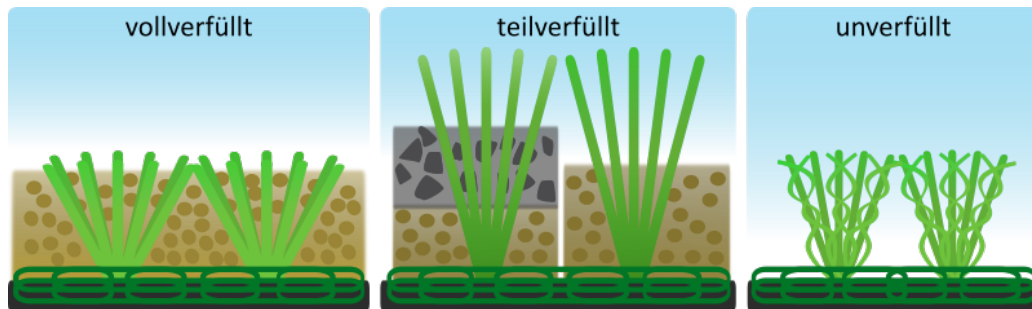
Kunstrasen werden unterschieden in voll-, teil- und unverfüllte Systeme (siehe Abbildung 10). Unverfüllte Kunstrasensysteme bestehen nur aus dem Rasenteppich und der elastischen Tragschicht. Der Kunstrasen ist dichter getuftet und es werden glatte Fasern mit gekräuselten kombiniert, um deren Stabilität zu erhöhen. Die Florhöhe ist dabei niedriger als in verfüllten Systemen (DFB, 2017).

Vollverfüllte Systeme werden bis knapp unter die Rasenspitzen nur mit Quarzsand verfüllt. Hier dient der Rasenteppich vor allem der Stabilisierung des Sandes.

Bei teilverfüllten Systemen wird zuerst eine Schicht Quarzsand in den Rasenflor eingebracht. Diese stabilisiert die Rasentufte und beschwert den Teppich, so dass dieser nicht verrutschen kann. Gleichzeitig dient der Sand auch als Brandschutz (DFB, 2017). Auf den Sand kann zusätzlich eine Schicht aus elastischem Granulat eingebracht werden. Das Granulat dient wie die elastische Tragschicht der Stoßdämpfung und der Vermeidung von Schürfwunden und anderen

Verletzungen (DFB, 2017). Die Korngröße des Granulats muss für den Sportplatzbau zwischen 0,5 und 4,0 mm liegen (DIN 18035-7).

Abbildung 10 Kunstrasensysteme mit und ohne Granulatschicht nach Grad der Verfüllung



Quelle: eigene Darstellung, INTECUS

Es werden eine Reihe synthetischer und natürlicher Granulate angeboten, wobei bisher fast ausschließlich synthetische Granulate eingesetzt wurden. Die wichtigsten Materialien sind dabei Gummigranulate aus dem Altreifenrecycling, meist als SBR bezeichnet, und Neuware aus Kunststoffen wie EPDM und TPE. SBR-Granulat wird auch mit einer PU-Beschichtung angeboten. Bei den pflanzlichen Granulaten ist Kork derzeit das wichtigste Material. Zudem werden Produkte aus Kokos, Hanf oder Olivenkernmehl angeboten (DFB, 2017). In Tabelle 41 werden die häufigsten Materialien mit ihrer Schüttdichte vorgestellt. Während sich die synthetischen Granulate alle in einem relativ ähnlichen Bereich bewegen, ist die Schüttdichte von Kork mit maximal 200 kg/m³ deutlich niedriger und damit auch der Mengenbedarf pro Spielfeld.

Tabelle 41 Dichte der verschiedenen Verfüllungsmaterialien

Material	Schüttdichte (kg/m ³)	Quelle
SBR (Altreifen)	395-465	Genan GmbH 2017
EPDM	450-650	Johansson 2018
TPE	550-850	Johansson 2018
Kork – expandiert	70-80	Johansson 2018
Kork – naturbelassen	100-200	RAL G GK 2018

Die Lebensdauer von Kunstrasen ist abhängig von der Nutzungsintensität und dem daraus resultierenden Verschleiß sowie von den finanziellen Mitteln der Platzeigentümer. Bei intensiver Nutzung wird von 8 Jahren ausgegangen. Im Durchschnitt liegt die Lebensdauer zwischen 10-12 Jahren. Die maximale Lebensdauer wird auf 15 Jahre geschätzt (Eunomia, 2017). Außerhalb des Sportplatzbaus ist die Lebensdauer von Kunstrasen unbekannt.

SBR-Granulat kann nach entsprechender Aufbereitung ein zweites Mal in Kunstrasen eingebaut werden. EPDM- und TPE-Granulate sind für eine Weiterverwendung nicht geeignet, da diese während der Nutzung zu Verklumpung und Anhaftung an den Rasenfasern neigen (Leers, 2020; Schimmelpfennig, 2020).

6.1.2 Verwendung und Aufkommen

Verwendet wird Kunstrasen vor allem im Sportbereich. Er kommt außerdem im Spielplatzbau, aber auch als Auslegeware im Messe- und Veranstaltungsbereich, in privaten Gärten, Balkonen

oder als Dachbegrünung zum Einsatz. Teilweise wird Kunstrasen auch im Innenbereich eingesetzt, beispielsweise in Wintergärten.

Systeme mit Granulat werden nur im Sportbereich auf Fußball-, Rugby- und Multisportplätzen eingesetzt. Hoch- und teilverfüllte Systeme mit reinem Sand und unverfüllte Systeme sind in allen Bereichen anzutreffen.

Das genaue Aufkommen an Kunstrasen ist unbekannt. Die Mehrheit aller Sportplätze mit Kunstrasen als Belag ist in kommunalem Besitz, allerdings gibt es seit 2002 keine statistische Erfassung dieser Plätze mehr (DOSB, 2019).

Tennis

Für den Tennissport kommen nur vollverfüllte Kunstrasensysteme in Frage. Nach Aussage des Deutschen Tennis Bund e.V. (DTB) wird nur sehr selten Kunstrasen eingesetzt, wobei der Trend eher zu Hart- und Ziegelmehlplätzen geht (Wortmann, 2020).

2019 gab es in Deutschland 40.563 Freiplätze für den Tennissport (DTB, 2019). Unter der Annahme, dass 1 % der Freiplätze mit Kunstrasen ausgelegt ist, entspräche dies Bundesweit 406 Plätzen. Die Fläche eines Tennisplatzes inklusive Auslaufzonen beträgt rund 667 m² (Stadionwelt, o.J.). Der Rasenteppich liegt bei rund 3 kg/m² und der Sand bei 30 kg/m². Daraus ergibt sich ein theoretisches Aufkommen von 8.936 t Kunstrasen aus dem Tennissport.

Fußball- und Multisport

Für Spiele der 1.-3. Fußballliga sind in Deutschland nur Natur- oder Hybridrasen zugelassen. Die Anzahl der Hybridrasenplätze ist unbekannt.

Der DFB verfügt über eine Datenbank zur Erfassung von Großspielfeldern aus Kunstrasen für Ligaspiele bis zur Regionalliga. In 2019 waren 5.109 Felder erfasst (DFB und DStGB, 2019). Hierbei handelt es sich hauptsächlich um teilverfüllten Kunstrasen mit Granulat. Rund 1.500 Felder sollen nur mit Sand verfüllt sein (Schimmelpfennig, 2020).

Kunstrasen auf Großspielfeldern haben ein durchschnittliches Gewicht von 35 kg/m². Dabei wiegt der Rasenteppich 2,0-3,5 kg/m², das synthetische Granulat 3-5 kg/m² und der Sand 18-35 kg/m² (Dufft, 2020; DFB, 2017).

Der derzeitige Bestand an Kunstrasenplätzen mit Granulat enthält zu weniger als 20 % SBR. Die übrigen Plätze sind hauptsächlich mit Granulaten aus EPDM, seltener mit TPE verfüllt (Baer, 2020; Schimmelpfennig, 2020; Stadtrat Düsseldorf, 2018). Laut RAL GVK gibt es in Deutschland 400 mit Kork verfüllte Plätze (Schimmelpfennig, 2020).

Eine Auswertung des Bestands einzelner Großstädte in Deutschland zeigt, dass rund 70 % des Bestands Großspielfelder und rund 30 % kleine Spielfelder wie die 1.019 Mini-Spielfelder des DFB sind (DOSB, 2019; Hamburg, 2019; Landeshauptstadt München, 2020).

In Tabelle 42 ist das geschätzte Gesamtaufkommen an Kunstrasen nach Verfüllungsart dargestellt. Es wird ein Höchstaufkommen von 1,39 Mio. t Kunstrasen im Fußball vermutet.

Tabelle 42 geschätzte Anzahl und Schüttdichte von Multisport- und Fußballfeldern aus Kunstrasen in Deutschland

Art der Verfüllung	Schüttdichte [kg/m ²]	Großspielfelder Anzahl	Kleine Spielfelder Anzahl	Gesamtaufkommen [1.000 t]
Nur Sand	20-30	1.500	2.000	263-394
Sand & SBR	28-35	722		144-180
Sand & EPDM	28-35	2887		577-721
Sand & Kork	25-32	400		71-91
Summe	-	5.509	2.000	1.055-1.387

Quelle: Schimmelpfennig, 2020, eigene Darstellung

Hockey

Für den Hockey-Sport wird fast ausschließlich unverfüllter Kunstrasen verwendet. In Deutschland soll es rund 480 Plätze geben, von denen lediglich 3-4 für eine Mischnutzung konzipiert sind und eine Sand-Granulat-Verfüllung enthalten (Dufft, 2020; DHB, 2020). Bis auf diese Ausnahmen wird unverfüllter Kunstrasen eingesetzt. Um ein Verrutschen des Teppichs zu verhindern, wird dieser in den Randbereichen verspannt (Baer, 2020). Das spezifische Gewicht des Rasenteppichs liegt aufgrund der hohen Faserdichte bei 4-7 kg/m² (Baer, 2020; Berghaus, 2020). Die Fläche eines Hockeyplatzes mit Auslaufzonen liegt bei rund 5.700 m² (FIH, 2018). Daraus ergibt sich ein ungefähres Höchstaufkommen von 19.152 t Kunstrasenteppich aus dem Hockeysport.

6.2 Erfassung

6.2.1 Erfassungssystem

Im Sportplatzbau wird bei der Sanierung entweder das gesamte Feld oder nur beschädigte Teilstücke entfernt und ausgetauscht.

Sportplätze mit Kunstrasenbelag sind in den meisten Fällen in kommunalem Besitz. Die Kommunen schreiben bei der Erneuerung in der Regel aus, dass der Lieferant des neuen Kunstrasens die Entsorgung des alten mit übernehmen muss. Die Erfassung erfolgt dabei durch Kunstrasenbauunternehmen.

Kunstrasen hat keinen eigenen Abfallschlüssel. Ein verfüllter Kunstrasen wird dem Abfallschlüssel 17 02 03 (Bau- und Abbruchabfälle - Kunststoff) zugeordnet. Rasenteppich ohne Verfüllung kann unter dem Abfallschlüssel 19 12 04 (Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen – Kunststoff und Gummi) entsorgt werden (Baer, 2020).

Fällt Kunstrasen im Siedlungsbereich als Abfall an, wird dieser meist dem Sperrmüll zugeordnet (AS 20 03 07), kleinere Mengen/Verschnitte werden auch über den Restabfall (AS 20 03 01) entsorgt. Teilweise bieten Kunstrasenhändler oder -verleger im Privatkundenbereich eine Rücknahme des alten Rasenteppichs bei einem Neukauf an.

6.2.2 Erfassungsmengen

Da Kunstrasen keine eigene Abfallschlüsselnummer hat, wird das Aufkommen derzeit nicht getrennt statistisch erfasst. Aufgrund der fehlenden Daten zu Anzahl, Art und Sanierungszustand

der vorhandenen Kunstrasenplätze in Deutschland beruhen Angaben zur Erfassungsmenge auf Schätzungen von Experten.

Rechnerisch müssten in Deutschland bei einem Bestand von rund 5.000 Kunstrasenplätzen 400-450 Plätze pro Jahr erneuert werden (Leers, 2020; Dufft, 2020). Nach verschiedenen Schätzungen werden jedoch jährlich nur rund 200 bis 250 Plätze erneuert. Zusätzlich werden jährlich rund 150 Kunstrasenplätze neu angelegt. Das jährliche Aufkommen wird sich dadurch in den nächsten zehn Jahren auf 350 bis 400 Plätze erhöhen (DFB, 2017; Leers, 2020).

Das durchschnittliche Gewicht von verfüllten Kunstrasen wird mit 200 bis 250 t pro Platz angegeben (Leers, 2020; van Roeckel, 2020). Unter der Annahme, dass alle Plätze verfüllt sind, liegt die maximale Erfassungsmenge derzeit bei 40.000–62.500 t/a Kunstrasen. Bis 2030 dürfte diese Zahl auf 70.000–100.000 t/a steigen.

6.3 Verwertung

6.3.1 Verwertungswege

6.3.1.1 Teillösungen

In der Vergangenheit beschränkte sich die stoffliche Verwertung auf die Verfüllung. Diese wird am Platz oder in einem Zwischenlager aus dem alten Kunstrasen mit Spezialmaschinen entfernt und gesiebt. Bei einer reinen Sandverfüllung kann der Sand nach dem Sieben oft wieder im Sportplatzbau eingesetzt werden (Heiler, 2020).

In gemischten Verfüllungen ist der **Sand** zu unterschiedlichen Graden mit Abrieb vom Granulat und von den Kunstrasenfasern verunreinigt. Er wird meist nicht wieder in neuen Kunstrasen eingesetzt, sondern entweder an andere Nutzer wie die Bauindustrie verkauft oder zusammen mit dem Granulat entsorgt (Baer, 2017; Heiler, 2020). Das **Granulat** kann bei diesem Verfahren nicht ganz von Sand und Verunreinigungen befreit werden, weshalb es in der Regel nicht wieder als Einstreumaterial eingesetzt wird. Stattdessen wird es bei ausreichender Qualität für den Bau von elastischen Tragschichten, Fallschutzprodukten oder in der Herstellung von Flüsterasphalt verwendet (Baer, 2020). Ein unbekannter Anteil wird thermisch verwertet.

In der Vergangenheit wurde der Rasenteppich als solcher entweder bei ausreichend gutem Zustand als Gebrauchtware angeboten oder **thermisch verwertet**, da eine stoffliche Verwertung als zu schwierig und unwirtschaftlich galt. Die Kosten für die energetische Verwertung werden heute auf 120-180 €/t geschätzt (Baer, 2020; Pfitzenmaier, 2020). Für den Teppich eines Fußballfelds liegen die Kosten dadurch bei 1,30-1,60 €/m². Dazu kommen die Kosten für Ausbau und Transport des Kunstrasens. Heute ist es durchaus üblich, den Rasenteppich zur **stofflichen Verwertung** an Recyclingunternehmen abzugeben, die diesen schreddern und das gewonnene Rezyklat an die Kunststoffindustrie verkaufen (Baer, 2020; Berghaus, 2020).

Der Markt für Kunstrasen als **Gebrauchtware** ist eher begrenzt. Eine Studie von Eunomia (2017) ergab, dass gebrauchter Fußball-Kunstrasen international zwar in großen Mengen angeboten wird, aber die Nachfrage sehr gering ausfällt. Auch für Deutschland wird angenommen, dass höchstens 10 % des Kunstrasens als Gebrauchtware verkauft wird (Baer, 2020). Grund für die geringe Weiternutzung ist vor allem der Zustand des Altkunstrasens. Er ist in der Regel so stark verschlissen, dass eine weitere Nutzung nicht in Frage kommt. Im Sportbereich ist zudem der preisliche Vorteil eines gebrauchten Kunstrasens gegenüber Neuware aufgrund der hohen Transportkosten für ein ganzes Feld begrenzt (Eunomia, 2017). Es kommt jedoch vor, dass Sportvereine ihren alten Kunstrasen auf eine nahe gelegene

Trainingsfläche verlegen. Im Hockeysport wird über den Europäischen Hockey Verband die Rasenweitergabe in andere Länder organisiert. Der Rasen muss dabei noch von ausreichender Qualität sein (EHF, 2018).

6.3.1.2 Stoffliche Verwertung des Gesamtsystems

Das vollständige Recycling von Kunstrasen ist technisch anspruchsvoll und wird derzeit nur von wenigen Firmen angeboten.

Das dänische Unternehmen **Re-Match** bietet seit 2016 ein nachverfolgbares Recycling von Kunstrasen an und kann jährlich 40.000 t/a Kunstrasen verarbeiten. Das Verfahren erlaubt eine stoffliche Verwertung von 95 % eines Kunstrasens. Der Kunstrasen wird beim Ausbau auf dem Platz mit der Verfüllung aufgerollt und verpackt. Der Transport zur Recyclinganlage erfolgt per LKW. Bei der Anlieferung wird der Rasen labortechnisch untersucht, um die Materialarten festzustellen. Der Kunstrasen wird mit der Verfüllung vorzerkleinert und getrocknet. Anschließend wird die Verfüllung abgetrennt und mechanisch aufbereitet. Sand und Gummigranulat können dabei bis auf 99 % gereinigt werden und eignen sich zur Wiederverwendung im Kunstrasenplatzbau. Die verbleibenden Teppichstückchen werden erneut zerkleinert. Durch Sichten und Sieben wird die Verklebung aus PU/ Latex entfernt und das Fasermaterial in die Materialgruppen PP und PE getrennt und agglomeriert. Die gewonnenen Rezyklate eignen sich nicht für den erneuten Einsatz in der Kunstrasenherstellung und werden für die Produktion anderer Kunststoffprodukte verkauft (Leers, 2020; ETA Danmark, 2017)

Seit Juli 2020 ist die Recyclinganlage von **GBN Artificial Grass Recycling (AGR)** aus den Niederlanden in Betrieb (GBN AGR, 2020). Die Anlage hat eine Kapazität von 2 Mio. m²/a, was ungefähr 70.000 t/a entspricht. Ähnlich wie bei Re-Match wird der Kunstrasen mit der Verfüllung aufgerollt und transportiert. In der Anlage wird in einem ersten Schritt die Verfüllung aus dem Rasenteppich entfernt. Sie durchläuft eine Waschanlage, in der Sand und Granulat getrennt und von Störstoffen sowie Schadstoffen befreit werden. Der Rasenteppich wird geschreddert und durch Sieben und Zentrifugieren in Fasermaterial, Träger und Verklebung getrennt. Das Verfahren kann 95-96 Gew.-% rückgewinnen. Bei den verbleibenden 5 Gew.-% handelt es sich hauptsächlich um Verunreinigungen und kleinere Teppichreste (van Roeckel, 2020). Ebenso wie bei Re-Match kann das Teppichmaterial ab dem Ausbau am Platz nachverfolgt werden.

Einen anderen Weg geht die **Morton Extrusionstechnik GmbH**, ein Tochterunternehmen des Kunstrasenherstellers FieldTurf. Seit 2017 bietet die Firma das Recycling von Kunstrasenteppichen an. Derzeit liegt die Kapazität bei 79 Kunstrasenplätzen pro Jahr. Der Rasenteppich wird beim Ausbau von der Verfüllung befreit und von einem Partnerunternehmen geschreddert und gereinigt. Der Latexanteil wird dabei zusammen mit den Verunreinigungen entfernt und thermisch verwertet. Die geschredderten Rasenfasern werden als Ballenware an Morton Extrusionstechnik geliefert und dort mit Resten aus der Produktion zu elastischem Granulat verarbeitet. Eine Trennung in PP und PE ist dabei nicht notwendig. Das Produkt ist EU Cert Plast zertifiziert (Berghaus, 2020). In 2020 wurde das Recyclingangebot auf die Verfüllung ausgedehnt. Diese wird zum Zentrallager im Hafen von Dortmund gebracht und von dort per Schiff zu einer Aufbereitungsfirma in Rotterdam transportiert, die Sand und Granulat trennt und reinigt. Eine Schiffsladung fasst die Verfüllung von 10-12 Plätzen. Der Sand verbleibt in den Niederlanden und wird als Baustoff eingesetzt. Das Granulat geht zurück an FieldTurf in Deutschland und wird für den Bau elastischer Tragschichten eingesetzt (Berghaus, 2020).

6.3.1.3 Entsorgungskosten

Wird von den Eigentümern eines Kunstrasenplatzes lediglich allgemein Ausbau und Entsorgung gefordert, liegt der Marktpreis bei 2,50 €/m² (Schimmelpfennig, 2020; Stadtrat Düsseldorf, 2017). Die Kosten für ein vollständiges Recycling inklusive Abbau und Transport liegen bei 3,00 bis 4,50 €/m² bei verfüllten Systemen. Der Transportweg sollte dabei aus Kostengründen nicht über 600 km liegen (Berghaus, 2020; Leers, 2020).

6.3.1.4 Forschungsansätze

Durch rein mechanische Trennverfahren können PP und PE nicht ganz getrennt werden. Die entstehenden Rezyklate eignen sich daher nicht für den Einsatz in der Faserextrusion. Eine echte Kreislaufführung ist nicht möglich.

Morton Extrusionstechnik arbeitet derzeit an einer Alternative zur Latex-Verklebung. Dazu wird aus Rasenfaserrezyklat eine Folie hergestellt, die später auf die Rückseite des Rasenteppichs laminiert wird. Für die Folienherstellung ist eine Trennung von PE und PP nicht notwendig. Der entstehende Rasenteppich kann später vollständig zu neuer Folie recycelt werden (Berghaus, 2020). Ein anderes Projekt sieht die werkstoffliche Verwertung von Faserrezyklat durch Pyrolyse vor. In dem Verfahren werden die Moleküle zu Ethylen aufgeschlossen, welches im Anschluss zur Herstellung von neuem Polyethylen genutzt werden kann (Berghaus, 2020).

Re-Match arbeitet zusammen mit dem Kunstrasenhersteller Polytan an einem Pilotprojekt zur Faserherstellung aus Recyclingmaterial. Im Anschluss an die Aufbereitung bei Re-Match durchläuft dabei Fasermaterial das CreaSolv®-Verfahren von Fraunhofer. Beim CreaSolv-Verfahren werden die Kunststoffe gelöst und durch Destillationsprozesse in reine Fraktionen getrennt. Das entstehende Material ist anschließend frei von Störstoffen. Das Verfahren wurde ursprünglich für die Verpackungsindustrie zum Recycling komplexer Kunststoffverbunde entwickelt, ist aber prinzipiell auch für Kunstrasen geeignet (Andersen, 2019). Das erste Testfeld mit den Recyclingfasern wird ein Kleinspielfeld in Berlin sein, dessen Bau für Anfang 2021 geplant ist (Leers, 2020; SenUVK, 2018).

6.3.2 Umweltpotenziale

Das Umwelt- und Gesundheitsgefährdungspotenzial durch SBR-Granulat wird ausführlich in Kapitel 8.4 behandelt. Aufgrund des geplanten Verbots von Mikroplastik ist auch das Kunststoffgranulat in Kunstrasen in der Diskussion. Als Reaktion darauf haben einige Bundesländer bereits ihre Förderrichtlinien für den Sportstättenbau geändert, sodass Plätze mit Kunststoffgranulat nicht mehr förderfähig sind. Nach Aussagen verschiedener Branchenvertreter gibt es dadurch in Deutschland keine nennenswerte Nachfrage nach neuen Kunstrasensystemen mit synthetischen Granulaten mehr (Leers, 2020; Schimmelpfennig, 2020).

Bisher gibt es keine Ökobilanzen für die unterschiedlichen Verwertungswege von Kunstrasen, da ein umfassendes Recycling erst seit drei Jahren verfügbar ist. Der CO₂-Ausstoß bei der energetischen Verwertung soll bei ungefähr 113 t pro verfülltem Großspielfeld liegen (Re-Match, o.J.).

International werden Kunstrasenplätze mehrheitlich deponiert (Eunomia, 2017). In Deutschland ist eine Deponierung des unbehandelten Kunstrasens verboten. Kunstrasen darf nur thermisch oder stofflich verwertet werden.

Die derzeit verfügbaren Kapazitäten für die stoffliche Verwertung als Gesamtsystem sind in Tabelle 43 dargestellt. Von den 200-250 jährlich in Deutschland anfallenden alten Kunstrasenplätzen werden durch Re-Match und Morton Extrusionstechnik rund 80-100 Plätze verarbeitet. GBN AGR ist derzeit vollständig mit Kunstrasen aus den Niederlanden ausgelastet.

Langfristig ist jedoch die Hälfte der Anlagenkapazität für ausländische Ware vorgesehen (van Roeckel, 2020). Um die 100-150 Kunstrasenplätze werden daher zurzeit entweder nur über Teillösungen stofflich verwertet oder thermisch beseitigt.

Aufgrund der Diskrepanz zwischen Verwertungskapazitäten und Aufkommen sowie der schlechten Nachverfolgbarkeit ist davon auszugehen, dass es Altbestände gibt, die die Fristen für eine Zwischenlagerung überschreiten. In 2020 berichtete „Die Welt“ von einem Unternehmen, das den Ausbau mit Kunstrasen anbot, diesen jedoch lediglich eingelagert hat (Pfitzenmaier, 2020).

Tabelle 43 Verfügbare Verwertungskapazitäten für Kunstrasen in 2020

Unternehmen	Verwertete Plätze pro Jahr aus Deutschland	Aktuelle Anlagenkapazität	Geplante Erweiterung
Re-Match	50-60	40.000 t/a	2 Anlagen à 80.000 t/a
GBN AGR	0	60.000 t/a	2-5 Anlagen à 60.000 t/a
Morton Extrusionstechnik	30-40	70 Plätze	-
Unbekannter Verbleib	100-150		

Quellen: Leers, 2020; Berghaus, 2020; van Roeckel, 2020

Aufgrund der großen Masse je Kunstrasenplatz sind die Transportkosten für das Recycling sehr wichtig. Im Allgemeinen wird von einer maximalen Reichweite von 400-600 km je Recyclinganlage ausgegangen, wenn das gesamte System transportiert wird (Leers, 2020; van Roeckel, 2020). Um den gesamten deutschen Raum bedienen zu können, planen sowohl GBN als auch Re-Match weitere Anlagen. GBN plant für 2021 den Bau einer neuen Anlage zentral in Deutschland und eine in Frankreich. Beide werden eine ähnliche Kapazität wie die Anlage in Amsterdam besitzen. Langfristig sollen zwei weitere Anlagen in Deutschland, eine in der Nähe von Berlin und eine nahe der Grenze zu Österreich dazukommen (van Roeckel, 2020). Re-Match wird im nächsten Jahr eine Anlage mit 80.000 t/a Kapazität in Grenznähe zu Deutschland in den Niederlanden eröffnen. Eine weitere, gleichgroße Anlage ist in Frankreich geplant (Leers, 2020).

6.3.3 Bewertung und Fazit

Alter Kunstrasen ist ein mengenmäßig relevanter Abfallstrom in Deutschland, der aber aufgrund der fehlenden statistischen Erfassung der vorhandenen Flächen nur schlecht abgeschätzt werden kann.

Neben der jährlich neu anfallenden Menge an Kunstrasen als Abfallstrom besteht zudem die Problematik der Altbestände. Aufgrund der fehlenden Nachverfolgung von ausgebautem Kunstrasen ist zu vermuten, dass ein Teil der Plätze illegal gelagert wird und keiner Verwertung zugeführt wurde.

Aufgrund der aktuellen Entwicklungen am Markt ist davon auszugehen, dass in den nächsten drei Jahren die zur Verfügung stehenden Recyclingkapazitäten ausreichen werden, um das gesamte Aufkommen an Kunstrasen aus Deutschland zu verarbeiten.

Eine vollständige vorschriftsmäßige Entsorgung des Kunstrasens ist derzeit aufgrund der mangelnden Nachverfolgbarkeit kaum nachzuweisen. Ob eine stoffliche Verwertung stattfindet, ist stark vom Engagement der Sportplatzeigentümer abhängig.

Die Gütegemeinschaft Kunststoffbeläge arbeitet derzeit an einem Konzept zur Qualitätskontrolle und Lizenzierung von Recyclingunternehmen (van Roeckel, 2020). Das neue Gütezeichen soll

Anfang 2021 veröffentlicht werden und eine sichere Grundlage für die kommunale Ausschreibung des Kunstrasenrecyclings darstellen (Baer, 2020).

Die derzeit stattfindenden Pilotprojekte zeigen Möglichkeiten auf, wie ein geschlossener Kreislauf in der Kunstrasenherstellung geschaffen werden kann. Zum jetzigen Zeitpunkt kann noch nicht abgeschätzt werden, ob und wann die neuen Technologien großtechnisch eingesetzt werden können.

6.4 Maßnahmenvorschläge

6.4.1 Bestandsdatenbank für Kunstrasenplätze

Derzeit beruhen alle Angaben zu Aufkommen und Verwertungswegen auf Expertenschätzungen und Angaben einzelner Kommunen. Um eine sichere Datenbasis für die Erfassung und Bewertung des Abfallstroms Kunstrasen zukünftig zu gewährleisten, sollte eine zentrale Datenbank mit allen bestehenden und geplanten Kunstrasenplätzen in Deutschland aufgebaut werden. Diese sollte neben Standort und Eigentümer die Fläche und Raseneigenschaften wie Höhe und Art der Verfüllung eventuell auch den Namen des Produkts enthalten. Des Weiteren sollte das Einbaudatum und bei Sanierung das Ausbaudatum und die Art der Verwertung vermerkt werden.

Tabelle 44 Bewertung der Maßnahme „Bestandsdatenbank für Kunstrasenplätze“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	mittlerer Aufwand in der Pflege	3
Rechtliche Aspekte	Der rechtliche Rahmen auf Länderebene müsste durch einen Beschluss der Sportministerkonferenz (SMK) geschaffen werden.	3
Statistische Aspekte	Die Maßnahme stellt die statistische Erfassung der vorhandenen Kunstrasenplätze im Sportbereich sicher. Die Entsorgungswege werden nicht zwangsläufig erfasst.	3
Organisatorischer Aufwand	Koordination zwischen verschiedenen Behörden notwendig	3
Umsetzungshorizont	Mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	hochverbindlich	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme hat einen positiven Effekt auf die Finanzierung der Verwertung, da die Planbarkeit für Investitionen verbessert wird.	3
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme schafft bessere Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung	3
Akzeptanz der Akteure	Kommunen: niedrig bis indifferent, da Mehraufwand Sportverbände: sehr hoch Recyclingbranche: hoch	3
Öffentlichkeitsarbeit	Es wird keine oder kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit zur Umsetzung der Maßnahme benötigt.	1

Kriterium	Bewertung	Punkte
Gewichtetes Ergebnis		2,7
Adressaten	Kommunen, Bundesländer, öffentliche Verwaltung, Vereine	
Fazit	Die Maßnahme führt nach anfänglichem Einrichtungsaufwand zu einer soliden Erfassung der Abfallströme, die als Planungsbasis für die Erweiterung einheimischer Verwertungskapazitäten dienen kann. Allerdings hat die 32. SMK im Jahr 2008 beschlossen, im Jahr 2010 keine Erhebung durchzuführen, da die Sportstättenstatistik keine Bedeutung für konkrete Investitionsentscheidungen der Kommunen hat (SMK, 2008).	

6.4.2 Förderung von recyclingfähigen Kunstrasenarten

Durch die begrenzte Trennbarkeit von PE- und PP-Fasern beim Recycling ist eine Nutzung der Fraktionen in der Faserproduktion für neuen Kunstrasen nicht möglich. Kunstrasen aus nur einer Kunststoffart wird bereits am Markt angeboten, ist aber aufgrund des etwas höheren Preises derzeit ein reines Nischenprodukt. Die Nachfrage durch die Kommunen ist stark von den Förderrichtlinien für den Sportplatzbau abhängig. Diese sollten daher angepasst werden, um Kunstrasenteppiche, die aus einer einzigen Kunststoffart bestehen, zu bevorzugen. Dies führt zu einer Vereinfachung des Recyclingaufwands und einer Verbesserung der Rezyklatqualität.

Tabelle 45 Bewertung der Maßnahme „Förderung von recyclingfähigen Kunstrasenarten“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	<i>nicht relevant</i>	
Rechtliche Aspekte	Für die Umsetzung der Maßnahme sind Änderungen/Ergänzungen der Förderrichtlinien für Sportstätten auf Länderebene erforderlich.	2
Statistische Aspekte	<i>nicht relevant; theoretisch statistische Erfassung über Förderstelle möglich, aber nur Einbau, nicht die Entsorgung</i>	
Organisatorischer Aufwand	Es gibt einen mittleren organisatorischen Aufwand für die Einführung der Maßnahme. Es ist eine Koordination zwischen den verschiedenen Bundesländern notwendig.	3
Umsetzungshorizont	kurzfristige (1-2 Jahre) Änderung der Förderrichtlinien für den Sportstättenbau durch die Länder möglich	1
Verbindlichkeit	verbindlich	3
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Abfallstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme hat einen positiven Effekt, da durch den Einsatz von recyclingfähigem Kunstrasen Aufwand und Kosten der Verwertung sinken.	3
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme schafft bessere Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung eines Großteils des Abfallstroms.	2
Akzeptanz der Akteure	Vereine/Kommunen: indifferent bis hoch Hersteller: niedrig bis indifferent, haben breite Produktpalette, die nicht	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
	den Anforderungen entspricht Recyclingbranche: hoch	
Öffentlichkeitsarbeit	Es wird kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit zur Umsetzung der Maßnahme benötigt.	1
Gewichtetes Ergebnis		2,3
Adressaten	Bundesländer - Sportförderung, Kommunen und Vereine, Hersteller	
Fazit	Die Maßnahme führt mit geringem Aufwand zu einer schnellen Erhöhung der Nachfrage nach Kunstrasen mit recyclinggerechtem Design.	

6.4.3 Vergabeleitfaden für die öffentliche Beschaffung - Entsorgung von Kunstrasenplätzen

Eine Verwertung von Kunstrasen erfordert eine klare Nachverfolgbarkeit, um illegale Lagerungen oder unerwünschte Exporte zu verhindern. Die Eigentümer von Kunstrasenplätzen, Kommunen und Vereine, sollten dazu angehalten werden, in der Ausschreibung zur Platzsanierung eine gesicherte Verwertung des alten Kunstrasens zu fordern. Das Berliner Nachweisverfahren kann dabei als Vorbild dienen, um ein echtes Recycling sicherzustellen (SenUVK 2018). Das Verfahren schreibt die Erstellung von Mengenstrombilanzen mit Angabe der Abnehmer der Rezyklate vor. Des Weiteren bietet sich die Aufnahme des künftigen RAL-Gütezeichen Kunstrasenrecycling (geplante Veröffentlichung 2021) in die Ausschreibungskriterien an. Damit kämen die Vergabestellen der öffentlichen Hand auch ihren Verpflichtungen gemäß § 45 KrWG bzw. der entsprechenden Landesgesetzgebung nach.

Tabelle 46 Bewertung der Maßnahme „Vergabeleitfaden für die öffentliche Beschaffung - Entsorgung von Kunstrasenplätzen“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	zusätzlicher bürokratischer Aufwand ist zumutbar	3
Rechtliche Aspekte	Für die Umsetzung der Maßnahme sind keine rechtlichen Änderungen/Ergänzungen erforderlich; ist durch Vergaberecht gedeckt	1
Statistische Aspekte	Die Maßnahme stellt die statistische Erfassung der Abfallströme teilweise sicher.	3
Organisatorischer Aufwand	Es gibt einen mittleren organisatorischen Aufwand für die Einführung der Maßnahme. Kommunen müssen Berliner Richtlinien in eigen Vergabekriterien einarbeiten	3
Umsetzungshorizont	Kurzfristig (1-2 Jahre)	1
Verbindlichkeit	unverbindlich; basiert auf freiwilliger Beteiligung der Kommunen	4
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme verbessert die Erfassung des Abfallstroms	1
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme sichert die Finanzierung der Verwertung von kommunalem Kunstrasen.	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme schafft bessere Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung von kommunalem Kunstrasen.	3
Akzeptanz der Akteure	Kommunen: indifferent Recyclingbranche: hoch	3
Öffentlichkeitsarbeit	Es wird kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit zur Umsetzung der Maßnahme benötigt.	1
Gewichtetes Ergebnis		2,5
Adressaten	Ministerien, Behörden, Verwerter, Unternehmen im Kunstrasenausbau	
Fazit	Die Maßnahme erhöht den Überwachungsaufwand durch die ausschreibende Behörde, aber verhindert dafür effektiv die illegale Entsorgung und fördert die stoffliche Verwertung.	

6.4.4 Zusammenfassung

Für die nächsten Schritte wird folgende Priorisierung empfohlen:

1. Änderung der Förderrichtlinien für den Sportplatzbau

Aufgrund der langen Nutzungsdauer von Kunstrasen machen sich Änderungen im Einkauf erst rund acht Jahre später im Abfallstrom bemerkbar. Die Änderung der Förderrichtlinien sollte daher zeitnah erfolgen, da sie einen sofortigen Effekt erzielen, welcher zu einer langfristigen Verbesserung der stofflichen Verwertung führt.

2. Entwicklung eines Leitfadens für die öffentliche Ausschreibung der Kunstrasenentsorgung durch die Kommunen

Mit der Erarbeitung des Leitfadens sollte umgehend begonnen werden, um Kommunen und Vereine dabei zu unterstützen, eine stoffliche Verwertung ihres Kunstrasens sicherzustellen. Dies wirkt sich positiv auf den aktuellen Abfallstrom aus.

3. Aufbau einer Bestandsdatenbank für Kunstrasenplätze

Der Aufbau der Datenbank ist mittel- bis langfristig umsetzbar und schafft eine echte Datengrundlage für die Bewertung des Abfallstroms. Mithilfe der Bestandsdaten lässt sich nachvollziehen, welche Effekte Maßnahmen haben. Gleichzeitig bieten die Daten den Verwertern eine Planungsgrundlage für den Aufbau von Anlagenkapazitäten.

7 Windeln

7.1 Allgemeines

Spätestens seit Mitte der 1980er Jahre werden in Deutschland für Babys und Kleinkinder überwiegend Einweg-/ Wegwerfwindeln genutzt (Hug & Grow, 2014). Diese bestehen aus einem Verbund von Zellulose und Kunststoff. Um die Ausscheidungen zu binden, werden Polymere eingesetzt, sogenannte Superabsorber, welche bei Kontakt mit Flüssigkeiten aufquellen. Seit einigen Jahren steigt wieder die Nachfrage nach waschbaren Stoffwindeln. Viele Eltern nutzen diese einerseits aus Kostengründen, andererseits werden ökologische Gründe angeführt. Dennoch überwiegt der Anteil der Wegwerfwindelnutzer*innen (Annahme 90 %).

Der Zeitpunkt, wann ein Kind keine oder weniger Windeln benötigt, ist sehr individuell. Im Schnitt benötigt ein Kind zwischen 4.500–11.000 Windeln in den ersten drei Jahren (Windelmanufaktur, 2015). Durchschnittlich werden in den ersten Lebensmonaten 7 bis 12 Windeln am Tag benötigt, später nur noch 4–5. Zum 31.12.2017 lebten in Deutschland rund 2.351.900 Kinder unter drei Jahren (DESTATIS, 2019). Bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 6 Windeln am Tag werden in Deutschland rund 12,7 Mio. Windeln pro Tag verbraucht.

Neben dem Einsatz von Windeln bei kleinen Kindern werden Windeln von Erwachsenen aufgrund von Inkontinenz getragen. Rund neun Millionen Deutsche sollen inkontinent sein und Hilfsmittel benötigen, die Dunkelziffer kann noch höher liegen (Stiftung Warentest, 2017). Es wird dabei zwischen Harn- und Stuhlinkontinenz in mehreren Schweregraden und Bettnässen unterschieden. Je nach Art und Schwere der Inkontinenz werden verschiedene Hilfsmittel in unterschiedlicher Anzahl benötigt (Selbsthilfeverband Inkontinenz e.V., 2015). Bei schwerer oder mittelschwerer Inkontinenz wird der Bedarf zwischen 4–5 Erwachsenenwindeln pro Tag eingeschätzt (Beier, o.J.). Allerdings wird für die meisten Fälle eine leichte bis mittlere Inkontinenz angenommen, bei der Inkontinenzslips oder- einlagen ausreichen. Für die grobe Abschätzung des Bedarfes an Inkontinenzwindeln in Deutschland, wurde pauschal für alle Pflegebedürftigen ab der Pflegestufe 3 eine Inkontinenz angenommen¹⁶. Für die benötigte Anzahl an Inkontinenzwindeln wurden 2 pro Tag geschätzt, da meistens keine schwere oder mittelschwere Inkontinenz vorliegt. Daraus ergibt sich eine Anzahl von 3 Mio. Windeln pro Tag. Die pro Tag verbrauchte Anzahl der kleineren und leichteren Inkontinenzslips in Deutschland wird höher eingeschätzt. Dabei kann jedoch nicht bestimmt werden, wie viele Personen auf waschbare und somit mehrfach nutzbare Inkontinenzprodukte zurückgreifen.

7.2 Erfassung

7.2.1 Erfassungssysteme

Die Entsorgung der Wegwerfwindeln ist überwiegend über den Restabfall organisiert. In einigen Städten und Gemeinden können die Eltern von kleinen Kindern unter drei Jahre bzw. Angehörige von pflegebedürftigen Erwachsenen Anträge auf separate Restabfalltonnen stellen, in denen dann Windeln und Inkontinenzmaterial entweder ausschließlich oder gemeinsam mit dem Restabfall entsorgt werden können. Als Beispiele dafür sind die Landkreise Mayen-Koblenz und Kitzingen zu nennen (Kreisverwaltung Mayen-Koblenz, o.J.; Landratsamt Kitzingen, o.J.). Anstelle von Restabfalltonnen werden zum Teil auch Windelsäcke gestellt oder können gekauft werden. Irrtümlich werden Windeln teilweise in Biotonnen entsorgt. Da gebrauchte Wegwerfwindeln jedoch gemäß der Bioabfallverordnung keine zulässigen, für die

¹⁶ Während nicht alle Pflegebedürftigen ab der Pflegestufe 3 inkontinent sind, kommt Inkontinenz auch bei nicht pflegebedürftigen Kindern und Erwachsenen jeden Alters aus unterschiedlichsten Gründen vor.

bodenbezogene Verwertung geeigneten Bioabfälle sind, fallen die Windeln hier als Fremd- und Störstoff an. Die Windeln enthalten nach Gebrauch regelmäßig Keime und Arzneimittelrückstände, die durch die vorgeschriebenen Behandlungsverfahren (thermophile Vergärung und/oder Kompostierung, ggf. Pasteurisierung) nicht sicher inaktiviert bzw. nicht zerstört werden können. Zudem ist ein Großteil der Bestandteile nahezu aller auf dem Markt befindlichen Wegwerfwindeln nicht biologisch abbaubar.

Des Weiteren werden von manchen Städten und Gemeinden Windelcontainer aufgestellt, in denen ausnahmslos Windeln entsorgt werden. Beispielsweise können in Flörsheim Familien mit kleinen Kindern oder pflegebedürftigen Angehörigen, aber auch Kindertagesstätten oder Krabbelgruppen die Nutzung der Container für eine Jahresgebühr beantragen und bekommen im Gegenzug einen Schlüssel für die Container (Stadt Flörsheim am Main, o.J.). Dieses System wäre der beste Ansatzpunkt zur Erfassung relevanter Mengen für eine mögliche stoffliche Verwertung. Derzeit wird dieses System hauptsächlich angeboten, um Familien mit kleinen Kindern und pflegende Angehörige bei den Abfallgebühren finanziell zu entlasten.

Im EU-Forschungsprojekt „Embraced“ wird ein containerbasiertes Sammelsystem mit einer zugehörigen App entwickelt und seit 2019 in Amsterdam getestet, um sortenreinen Windelabfall für eine stoffliche Verwertung von Privatpersonen zu sammeln. Mit der App können Nutzer*innen die Standorte der Container finden und öffnen. Zusätzlich werden die Nutzer*innen durch die App motiviert, indem der Umweltschutzbeitrag des jeweiligen Nutzers*der jeweiligen Nutzerin und der zugehörigen Nachbarschaft angezeigt wird. Die Container sind geruchsneutral ausgeführt und werden an zentralen Stellen, beispielsweise vor Drogeriemärkten, aufgestellt (Embraced, 2020).

7.2.2 Erfassungsmenge

Über das Aufkommen von Wegwerfwindeln im Abfallstrom können lediglich Abschätzungen betrieben werden. Werden diese über den Restabfall entsorgt, fallen sie unter die gemischten Siedlungsabfälle mit der Schlüsselnummer 20 03 01. Fallen die Windeln in Pflegeheimen oder Krankenhäusern an, fallen sie unter die Schlüsselnummer 18 01 04 (Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden).

Ausgehend von den in Kapitel 7.1 genannten Windelmengen können die Abfallmengen an Windeln in Deutschland abgeschätzt werden. Die Leermasse von Säuglings- und Kleinkinderwindeln beträgt 30-90 g und von Erwachsenenwindeln 90-220 g (Selbsthilfeverband Inkontinenz e.V., 2015), wobei für die Berechnung jeweils der Mittelwert angenommen wird. Der Windelabfall besteht im Mittel zu 68 % der Masse aus Urin und Fäkalien (Odegard et al., 2018). Somit fallen pro Jahr insgesamt ungefähr 1,4 Mio. t Windelabfall in Deutschland an.

Kommunaler Restabfall besteht laut Sortieranalysen zu ca. 13 % aus Hygieneprodukten, zu denen neben Windeln auch Damenhygieneprodukte und andere Einlagen zählen. Demnach fallen in Deutschland 17,3 kg/(E*a) bzw. ca. 1,5 Mio. t/a Hygieneprodukte im Restabfall an (Dornbusch, 2020).

Mögliche Erfassungsmengen in Kindertagesstätten und Pflegeeinrichtungen

Da die flächendeckende, separate Erfassung des Windelabfalls von Privathaushalten mittelfristig nur mit großem Aufwand umzusetzen ist, wird im Folgenden das Windelabfallaufkommen in Kindertagesstätten und Pflegeeinrichtungen abgeschätzt, da an diesen Orten eine separate Erfassung relevanter Mengen mit weniger Sammel- und Transportaufwand erreicht werden kann.

2019 wurden in Deutschland 687.427 Kinder unter drei Jahren in einer Tageseinrichtung betreut. Davon war mehr als die Hälfte über zwei Jahre alt. Insgesamt wurden nur ca. 12 % der Kinder mit bis zu 25 Stunden pro Woche betreut, das heißt der Großteil der Kinder ist mehr als fünf Stunden pro Tag in einer Kindertageseinrichtung (DESTATIS, 2019d). Werden zwei Windeln pro Betreuungstag und Kind angenommen, ergibt das bei 220 Betreuungstagen pro Jahr eine Windelmenge von 57.000 t/a.

In Pflegeeinrichtungen wurden im Jahr 2017 818.289 Pflegebedürftige vollstationär betreut (DESTATIS, 2019e). Mit der Annahme, dass ca. 70 % dieser Pflegebedürftige inkontinent sind (Schmidt, 2000) und einen Bedarf von zwei Windeln pro Tag haben, ergibt das eine Masse Windelabfall von ungefähr 200.000 t/a. Daneben gibt es noch eine Reihe weiterer Einrichtungen, in denen Windeln in größerer Menge anfallen und getrennt gesammelt werden könnten. Dazu zählen Krankenhäuser, Rehakliniken und Kurbetriebe.

Tabelle 47 fasst das Aufkommen an Windelabfällen in Deutschland übersichtlich zusammen.

Tabelle 47 Abschätzung des Windelabfallaufkommens in Deutschland

	Anzahl pro Jahr	Masse pro Jahr [t/a]
Babywindeln insgesamt	4,6 Mill.	869.000
Inkontinenzwindeln insgesamt	1,1 Mill.	542.000
Summe		1.400.000
Hygieneprodukte im Restabfall		1.500.000
Aufkommen...		
...in Kindertagesstätten	0,3 Mill.	57.000
...in Pflegeeinrichtungen	0,4 Mill.	200.000
Summe in Einrichtungen		257.000
Abfallschlüssel 18 01 04 ¹⁾		349.600

1) Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden (z.B. Wund- und Gipsverbände, Wäsche, Einwegkleidung, Windeln). Aufkommen von 2017 (Quelle: destatis)

7.3 Verwertung

7.3.1 Verwertungswege

Windeln werden häufig mit dem Restabfall energetisch verwertet. Aus hygienischen Gründen (vor allem aufgrund von Windeln mit den Fäkalien älterer und/oder kranker Menschen) und der Zerstörung von medikamentösen Rückständen in den Fäkalien ist eine thermische Behandlung sinnvoll. Der Heizwert ist abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt und wird ähnlich wie Restabfall zwischen 5 und 11 MJ/kg angegeben (Beckmann et al., 2007 und Schmidt, 2014).

Eine der bekanntesten energetischen Verwertungen wurde von der Stiftung Liebenau in Meckenbeuren (Baden-Württemberg) errichtet. Der sogenannte Windel-Willi verwertet bis zu 5.000 t Windeln und andere Inkontinenzmaterialien pro Jahr. Die Wärme aus der Verbrennung wird für die Stiftung selbst und eine angegliederte Wäscherei genutzt (Stiftung Liebenau, o.J.).

Die technische Herausforderung beim Recycling von Windeln besteht in dem hohen Feuchtigkeitsgehalt, dem Vorhandensein von Medikamentenrückständen und pathogenen

Keimen, die bei einer Verwertung zerstört werden müssen, und der Geruchsbildung, die zum Einen in der Umgebung der Verwertungsanlage gering sein müssen und zum Anderen nicht die Qualität der Rezyklate herabsetzen dürfen. Allerdings beinhalten Windeln hochwertige Ausgangsmaterialien wie Superabsorber und Zellulosefasern, bei denen es sich auch als Rezyklat um marktfähige Ware handelt. Zudem ergeben sich beim Recycling von sortenreinem Windelabfall relativ einheitliche Recyclingprodukte im Vergleich zu vielen anderen Kunststoff-Mischabfällen.

Zusammensetzung

Die Zusammensetzung von Windeln und Inkontinenzprodukten im Abfall und deren Heizwert ist in Tabelle 48 dargestellt (Odegard et al., 2018).

Tabelle 48 **Zusammensetzung von Abfall aus Windeln und Inkontinenzprodukten**

Material	Heizwert des Materials (MJ/kg)	Babywindeln		Inkontinenzprodukte	
		Zusammensetzung (Ma.-%)	Heizwert (MJ/kg)	Zusammensetzung (Ma.-%)	Heizwert (MJ/kg)
Superabsorber-polymer	25,0	9,7 %	2,4	3,9 %	1,0
Zellstofffasern	16,8	7,1 %	1,2	17,9 %	3,0
PP-Vlies	41,6	6,2 %	2,6	3,0 %	1,3
Gummi- und Klebebänder	27,2	3,8 %	1,0	0,3 %	0,1
PE-Folie	41,2	1,5 %	0,6	1,7 %	0,7
Klebstoff	41,0	0,9 %	0,4	0,8 %	0,3
Sonstiges	0,0	0,3 %	0,0	0,0 %	0,0
Urin und Fäkalien	-2,6	67,5 %	-1,8	67,5 %	-1,8
Plastiktüten (PE)	41,2	3,0 %	1,2	5,0 %	2,1
Heizwert (MJ/kg)			7,7		6,6

Quelle: Odegard et al., 2018

Forschungsansätze in Deutschland

Am Kompetenzzentrum für Energie- und Umweltsystemtechnik der Technischen Hochschule Mittelhessen wurde ein dezentrales Verfahren entwickelt, um in einem anaeroben Fermenter aus Windeln und Inkontinenzmaterial Biogas zu gewinnen und anschließend aus dem Gärrest Kunststoffe und Superabsorberpolymere zurückzugewinnen (Theilen, 2016; Medizin&Technik, 2016).

Die Mitarbeiter*innen des Lehrstuhls Abfallwirtschaft der BTU Cottbus-Senftenberg meldeten ein Patent zur Trennung von Zellulose und Kunststoff aus Windeln an, um diese stofflich zu verwerten. Das mit Wasser angemischte Inkontinenzmaterial wird in einem Autoklav unter Rühren mehrere Stunden auf 150-250 °C erhitzt. Der dabei abgetrennte Kunststoff kann beispielsweise als Ersatzbrennstoff verarbeitet werden und die Zellulose zusammen mit Gülle vergoren werden (Busch et al., 2013).

Forschung und Entwicklung in der EU

In Großbritannien, Italien und den Niederlanden wurden in den letzten Jahren großtechnische Anlagen entwickelt und gebaut, in denen ausschließlich Hygieneartikel aufbereitet werden. Die Verfahren enthalten dabei meist folgende Prozessschritte:

4. Separate Sammlung und Transport zur Recyclinganlage
5. Öffnen und Zerkleinern der Windeln
6. Thermische Behandlung unter hohem Druck zum Hygienisieren und Aufschließen
7. Zerkleinerung und Sortierung von PE, PP und Zellulosefasern
8. Aufbereitung der Zellulosefasern zum Weiterverkauf
9. Waschen und Granulieren der Kunststoffe zum Weiterverkauf
10. Behandlung des Abwassers in einer kommunalen Kläranlage

Aufgrund des hohen Anteils an Urin und Fäkalien in den Windeln ist die räumliche Nähe zu bzw. die Kopplung mit einer kommunalen Kläranlage für das entstehende Abwasser in vielen Fällen sinnvoll.

Die Firma **Knowaste Ltd.** betrieb von 2000 bis 2007 eine Windelrecyclinganlage im niederländischen Arnheim, in der auch Inkontinenzwindeln aus Senioren- und Pflegeheimen in Nordrhein-Westfalen verarbeitet wurden (Schmidt, 2000). Die Anlage wurde 2008 in einem Insolvenzverfahren zerschlagen. Die Gründe für die Insolvenz lagen vor allem in der fehlenden Auslastung der Anlage, da der Vertragsabschluss mit Pflegeheimen schwieriger als erwartet verlief und die Recyclinganlage immer in Konkurrenz zu bestehenden Verträgen mit Müllverbrennungsanlagen stand (de Gelderlander, 2008). Mit Ausnahme des Treibhauspotenzials, das bei der energetischen Verwertung geringer ist, wurde für das Verfahren unter Berücksichtigung der Transporte eine Umweltentlastung ermittelt (Meyer, 2001). 2011 eröffnete Knowaste eine Anlage in Großbritannien mit einer Kapazität von 36.000 t Hygieneartikeln pro Jahr. Auch diese Anlage wurde 2013 aus finanziellen Gründen geschlossen. Dennoch strebt das Unternehmen weitere Anlagen in Großbritannien an mit dem Ziel, an den neuen Standorten die benötigten Hygieneabfälle in einem kleineren Einzugsgebiet zu erfassen zu können. Neben Windeln verarbeitet das Unternehmen in seinen Recyclinganlagen auch Damenhygieneprodukte und Inkontinenzslips (Knowaste, o.J.; Dri et al., 2018; Date, 2013). Für das Verfahren in Großbritannien wurde in einer Life Cycle Assessment Analyse eine Reduzierung von Treibhausgasemissionen von bis zu 71 % im Vergleich zu einem Mix aus Deponierung (81 %) und energetischer Verwertung (19 %) festgestellt (Deloitte, 2011).

Das Unternehmen **Fater S.p.A** betreibt als Joint Venture des weltweit größten Windelherstellers Procter&Gamble eine Recyclinganlage in Norditalien. Die Entwicklung und die Errichtung der Anlage wurde durch das EU-Forschungsprojekte „RECALL“ unterstützt (RECALL, o.J.). Im Prozess wird das Recycling der Windelmaterialien zu den in Tabelle 49 aufgeführten Produkten angestrebt. In dem bis 2022 laufenden EU-Projekt „Embraced“ soll die Recyclinganlage durch eine Bioraffinerie zur Behandlung der organischen Bestandteile erweitert werden. Aus einer Tonne gebrauchter Windeln können rund 150 kg Zellulose, 75 kg absorbierendes Polymer und 75 kg gemischter Kunststoff wiedergewonnen und als Sekundärrohstoffe verkauft werden (UmweltMagazin, 2019). Für das Verfahren wurde ein ökonomischer Vorteil von 208 €/t Hygieneartikelabfälle und eine Vermeidung von Treibhausgasemissionen von 422 kg CO₂-Äq/t Hygieneartikelabfälle verglichen mit der energetischen Verwertung berechnet (Embraced, o.J.).

Tabelle 49 **Mögliche Recyclingprodukte aus den recycelten Materialien von Windeln und Inkontinenzprodukten**

Recyclingmaterial	Recyclingprodukt
Kunststoffe	Schulbänke Zubehörteile Paletten Wäscheklammern Deckel von Reinigungsmittelflaschen Außenmöbel
Zellulose	Spezialpapier Viskose Katzenstreu Nährstoffe für Landwirtschaft Industrielle Absorber Biokraftstoffe
Super Absorber Polymere	Bewässerungskugeln Tragbare Barrieren für die Verhinderung von Überschwemmungen

Quelle: Fater SpA, o.J.

In den Niederlanden betreibt die Firma **ARN BV** in Zusammenarbeit mit Remondis auf Basis der Forschungsarbeiten der BTU Cottbus-Senftenberg seit 2017 eine Anlage, die 2021 auf eine Kapazität von 15.000 t pro Jahr erweitert wird, mit einem etwas anderen Verfahrensprinzip als zuvor beschrieben. Die Windeln werden bei einem Druck von mindestens 40 bar und einer Temperatur von 250 °C zusammen mit ca. 30 % gefaultem Klärschlamm in einem Flüssigreaktor behandelt, wobei die Kunststoffe schmelzen. Beim Abkühlen schwimmen die Kunststoffpartikel obenauf (70 % PP und 30 % PE) und können separat abgezogen und recycelt werden. Der entstehende Schlamm, der 93 % der Masse ausmacht, wird anschließend zu Biogas vergoren. Mit diesem Verfahren werden allerdings nicht die Zellulosefasern zur stofflichen Verwertung zurückgewonnen (ARN BV, 2017; euwid, 2020c). Im Vergleich zur energetischen Verwertung wurde für dieses Verfahren in einer Life Cycle Assessment-Studie eine Einsparung von 480 kg CO₂-Äq/t behandelter Windeln festgestellt. Zudem wurde für das Recyclingverfahren ein negativer Kohlenstofffußabdruck bilanziert, wobei eine Heißdampfversorgung aus einem Müllheizkraftwerk angenommen wurde, der Heißdampf nacheinander für zwei Reaktoren eingesetzt wird und der Schlamm nach der Vergärung zu einem Ersatzbrennstoff verarbeitet wird (Odegard et al., 2018).

Die **acib GmbH** in Österreich forscht an einem Windelrecycling-Prozess, bei dem die Windeln in einem ersten Schritt mithilfe von Enzymen aufgeschlossen werden. Das Verfahren benötigt keine hohen Temperaturen und gefährlichen Chemikalien. Allerdings ist das Verfahren noch mehrere Jahre an Forschungs- und Entwicklungsarbeit von einem industrietauglichen Prozess entfernt (euwid, 2020a).

7.3.2 Bewertung und Fazit

Es existieren mehrere Recyclingverfahren für Windeln und Inkontinenzprodukte, die derzeit in Demonstrationsvorhaben oder bereits in großtechnischen Anlagen untersucht werden. Grundsätzlich wäre es möglich, dass Unternehmen auch in Deutschland in Windelrecyclinganlagen investieren, solange die Sammlung ausreichender Mengen gewährleistet werden kann.

Die Zerstörung von Keimen und Medikamentenrückständen ist nach Angaben der Verfahrensentwickler durch die Behandlung bei hohen Temperaturen gewährleistet. Die Beseitigung von Gerüchen konnte für die Recyclingmaterialien erreicht werden, sodass bei den vorgestellten großtechnischen Verfahren Käufer für die recycelten Kunststoffe gefunden werden konnten. Dennoch ist bei der Sammlung und beim Verwertungsverfahren ein Konzept zur Vermeidung von Geruchsemissionen erforderlich (Slow, 2017).

Es bleibt weiterhin eine Herausforderung, die benötigten Abfallmengen für den Betrieb einer großtechnischen Anlage zu gewährleisten, da Windeln mit dem Restabfall erfasst werden und keine separaten Sammelstrukturen bestehen. In Deutschland gibt es zum Teil Windeltonnen, die allerdings beim Sammeln und Transportieren nicht getrennt vom sonstigen Restabfall behandelt werden. Eine flächendeckende separate Erfassung im Holsystem ist aus Platz- und Kostengründen nicht möglich.

Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu erreichen, benötigen Windelrecyclinganlagen eine Mindestmenge von 8.000 t Windelabfall pro Jahr (Dri et al., 2018). In einer groben Abschätzung kann davon ausgegangen werden, dass für die Sammlung von 10.000 t/a Windeln und Inkontinenzprodukten schätzungsweise 1 Mio. Einwohner angeschlossen sein müssen (Umweltmagazin, 2019). Allerdings hängen die gesammelten Mengen stark von dem gewählten Sammelsystem ab. Damit ist das größte Problem beim Windelrecycling die Bündelung der erforderlichen Mengen, um die Investition in Recyclingverfahren zu ermöglichen.

Betreiber von Windelrecyclinganlagen benötigen eine Zuzahlung, um einen wirtschaftlichen Betrieb aufrecht zu erhalten. Viele Betreiber versuchen die Zuzahlung zwischen 90-130 €/t zu halten, um vergleichbare Preise zur thermischen Behandlung anzubieten und somit konkurrenzfähig zu bleiben (Dri et al., 2018).

Insgesamt haben die Recyclingverfahren an sich einen positiven ökologischen Einfluss im Vergleich zur energetischen Verwertung. Entscheidend für die Ökobilanz ist jedoch auch, über welche Entfernungen die Windelabfälle transportiert werden müssen. Aus hygienischen Gründen ist es ebenfalls sinnvoll, bei Windelabfällen auf kurze Wege bis zur Desinfektion und Unschädlichmachung zu setzen und längere Sammeltourneen sowie Umladung zum Ferntransport zu vermeiden. Daher werden derzeit entstehende Windelrecyclinganlagen im Umkreis von großen Metropolen geplant.

7.4 Maßnahmenvorschläge

Im Folgenden werden verschiedene Maßnahmen für die Verbesserung der stofflichen Verwertung von Windeln beschrieben und nach den in Kapitel 1.3.1 genannten Kriterien bewertet.

7.4.1 Förderung von Projekten mit separaten Sammelsystemen oder Demonstrationsanlagen

Für das Windelrecycling sind in erster Linie Beispiel- und Demonstrationsprojekte in Deutschland wichtig, mit denen die Machbarkeit demonstriert wird und Erfahrungen für einen möglichen Ausbau des Windelrecyclings gewonnen werden können. Dazu könnte eine Windelrecyclinganlage staatlich gefördert werden, wichtiger ist aber die Förderung von verschiedenen Möglichkeiten der Sammlung. Durch eine gesicherte Windelzufuhr von mehreren Tausend Tonnen pro Jahr aus einer Beispiel-Metropole, die über einige Jahre Projektlaufzeit gewährleistet wird, kann die Investition in eine Windelrecyclinganlage ermöglicht werden.

In diesem Rahmen könnte bei einer Beispielkommune die separate Abfuhr von bereits eingeführten Windeltonnen untersucht werden. Dies ist mit einem hohen Maß an Aufwand und Öffentlichkeitsarbeit verbunden und darf die Windeltonne nicht mit einer zusätzlichen Gebühr belasten, da diese in erster Linie dazu dient, pflegende Angehörige und junge Familien zu entlasten. Hier wäre eine einmalige Finanzierung über ein Projekt zu empfehlen, um die Kosten und den Aufwand abzuschätzen, der bei einer zukünftigen Umsetzung durch die Abfallgebühren finanziert werden müsste.

Tabelle 50 Bewertung der Maßnahme „Förderung von Projekten mit separaten Sammelsystemen oder Demonstrationsanlagen“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	<i>nicht relevant; Maßnahme dient der Abschätzung des bürokratischen Aufwands</i>	
Rechtliche Aspekte	Rechtliche Grundlage vorhanden	1
Statistische Aspekte	Maßnahme beinhaltet statistische Erfassung in Beispielkommunen / -städten	3
Organisatorischer Aufwand	Der organisatorische Aufwand innerhalb des Projekts ist als hoch einzustufen; dennoch bleibt der Aufwand auf das Projektgebiet begrenzt	2
Umsetzungshorizont	mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	<i>nicht relevant, da Forschungsprojekt</i>	
Verbesserung der Erfassung	verbessert die Erfassung in Beispielkommunen und erprobt Möglichkeiten der separaten Erfassung	2
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme sichert die Finanzierung der Testprojekte und kann als Grundlage für die weitere Umsetzung von separater Sammlung und dem Recycling von Windeln dienen	1
Stärkung des Recyclings	Projekte liefern die Grundlage, in welcher Form das Windelrecycling in Deutschland am besten umgesetzt werden kann	1
Akzeptanz der Akteure	hoch, da Forschung und Umsetzung von Projekten zu Ressourcen- und Energieeinsparung allgemein mit einem positiven Image behaftet ist	1
Öffentlichkeitsarbeit	hoher Aufwand für Öffentlichkeitsarbeit erforderlich, wenn das Projekt ausgeweitet werden soll und Verbraucher*innen zu separater Sammlung motiviert werden sollen	3
Gewichtetes Ergebnis		1,7
Adressaten	Ministerien (insb. BMU), öRE und Verbraucher*innen in Beispielkommune, Hersteller	
Fazit	Die Umsetzung von Beispielprojekten ist eine gute Grundlage für die Abschätzung von zukünftigen Möglichkeiten und Hindernissen beim Windelrecycling.	

7.4.2 Verpflichtende Sammlung und Vorrang der stofflichen Verwertung in Einrichtungen

Mit der separaten Erfassung in Pflege- und Betreuungseinrichtungen kann zwar nur ein kleiner Teil des Windelabfalls gesammelt werden, doch der Sammelaufwand ist im Verhältnis zur erfassbaren Menge weniger hoch. Da die meisten dieser Einrichtungen bereits Verträge mit Abfallverbrennungsanlagen geschlossen haben, ist hier eine längere Vorlaufzeit entscheidend.

Tabelle 51 Bewertung der Maßnahme „Verpflichtende Sammlung und Vorrang der stofflichen Verwertung in Einrichtungen“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Die Dokumentation der ordnungsgemäßen Erfassung und Verwertung durch die Einrichtungen führt zu hohem zusätzlichem Aufwand	4
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Änderung der Gewerbeabfallverordnung	4
Statistische Aspekte	verbessert die statistische Erfassung für einen relevanten Teil des Windelabfalls	3
Organisatorischer Aufwand	der organisatorische Aufwand für Einrichtungen steigt; Strukturen für die separate Logistik sowie Windelrecyclinganlagen müssen aufgebaut werden	4
Umsetzungshorizont	langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Durch die Maßnahme wird eine Getrennterfassung von einem Teil des Windelabfalls verpflichtend.	2
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Finanzierung der separaten Sammlung und Verwertung wird auf Einrichtungen übertragen.	3
Stärkung des Recyclings	Für einen relevanten Teil des Windelabfalls wird die stoffliche Verwertung erreicht; mit der Maßnahme wird weniger als die Hälfte des gesamten Windelabfalls stofflich verwertet	2
Akzeptanz der Akteure	Akzeptanz des Personals und der Betreiber von Einrichtungen nur zu gewinnen, wenn tatsächlich hochwertige stoffliche Verwertung mit positiven ökologischen Folgen erreicht wird	3
Öffentlichkeitsarbeit	Geringe Öffentlichkeitsarbeit erforderlich	2
Gewichtetes Ergebnis		2,8
Adressaten	Bundesregierung, Kommunen, Betreiber von Einrichtungen, Betreiber von Windelrecyclinganlagen	
Fazit	Der organisatorische Aufwand zur getrennten Erfassung in Einrichtungen ist geringer als die getrennte Erfassung in der Bevölkerung. Dennoch sollte der bürokratische Aufwand für die Einrichtungen möglichst gering gehalten werden. Demnach werden bei der Umsetzung im Rahmen der Gewerbeabfallverordnung Ausnahmen für die erforderlichen Dokumentationspflichten empfohlen.	

7.4.3 Verpflichtende Getrenntsammlung durch öRE

Für die Erfassung aus Privathaushalten könnte ein containerbasiertes Bringsystem im Umkreis einer Windelrecyclinganlage eine Lösung sein, wie es derzeit im Forschungsprojekt Embraced getestet wird. Einzelbeispiele für Windelcontainer mit Bringsystem gibt es in Deutschland bereits (siehe Kapitel 7.2.1). Gerade Eltern mit kleinen Kindern wollen oft einen Beitrag zum Umweltschutz und zur Verringerung des Ressourcenverbrauchs leisten und können auf diese Weise für ein Bringsystem gewonnen werden. Damit könnte auch von Privathaushalten in Ballungsräumen eine relevante Windelabfallmenge gewonnen werden.

Tabelle 52 Bewertung der Maßnahme „Verpflichtende Getrenntsammlung durch öRE“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	sehr hoher Aufwand; öRE müssen einen zusätzlichen Abfallstrom bewirtschaften	5
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Änderung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes	4
Statistische Aspekte	Maßnahme verbessert die statistische Erfassung; Windelabfall würde dann in Abfallbilanzen der öRE ausgewiesen	3
Organisatorischer Aufwand	Sehr hoher organisatorischer Aufwand	5
Umsetzungshorizont	Langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme verbessert die Erfassung des Stoffstroms.	1
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Finanzierung der separaten Sammlung wird auf die öRE übertragen; Abfallgebühren müssen erhöht werden	3
Stärkung des Recyclings	Wird Windelabfall separat erfasst, ist das größte Hindernis für die stoffliche Verwertung überwunden und führt langfristig zu einer Steigerung der stofflichen Verwertung.	2
Akzeptanz der Akteure	öRE: gering (hoher Zusatzaufwand, hohe Kosten) Verbraucher*innen: indifferent (je nach Ausgestaltung der Maßnahme und zu betreibendem Aufwand) Betreiber von Windelrecyclinganlagen: hoch	4
Öffentlichkeitsarbeit	sehr hoher Aufwand für Öffentlichkeitsarbeit; alle Verbraucher*innen müssen für getrennte Sammlung gewonnen werden	5
Gewichtetes Ergebnis		3,2
Adressaten	Bundesregierung, öRE, Verbraucher*innen, Betreiber von Windelrecyclinganlagen	
Fazit	Die verpflichtende Getrenntsammlung für Windeln führt mit höchster Wahrscheinlichkeit dazu, dass Betreiber von Windelrecyclinganlagen in Deutschland investieren. Dem gegenüber stehen ein hoher Aufwand, aus dem steigende Abfallgebühren und eine langfristige Umsetzungszeit resultieren. Zudem bleibt fraglich, in welchem Maße die Bevölkerung in Deutschland für die Getrenntsammlung gewonnen werden kann.	

7.4.4 Erweiterte Herstellerverantwortung

Zur Mengenbündelung und Finanzierung von Verwertungsoptionen könnte natürlich auch eine Produktverantwortung eingesetzt werden. Bei der Produktverantwortung werden die Kosten für die Entsorgung und Verwertung nicht allein durch die Abfallgebühren der Allgemeinheit, sondern bereits beim Inverkehrbringen der Produkte gedeckt.

Tabelle 53 Bewertung der Maßnahme „Erweiterte Herstellerverantwortung“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	sehr hoher Aufwand, Strukturen müssen geschaffen werden; Maßnahme muss so gestaltet sein, dass freier EU-Binnenmarkt bestehen bleibt	4
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Regelung auf Basis des § 23 Abs. 4 KrWG	3
Statistische Aspekte	Die Erfassung der statistischen Mengendaten ist aufgrund der Meldeverpflichtungen der Hersteller und Entsorger in einem System der erweiterten Herstellerverantwortung gesichert.	1
Organisatorischer Aufwand	sehr hoher organisatorischer Aufwand; Aufbau einer Infrastruktur zur Sammlung und Verwertung von Windelabfall in ganz Deutschland erforderlich	5
Umsetzungshorizont	Langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme verbessert die Erfassung des Stoffstroms.	1
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Finanzierung der Sammlung und Verwertung kann über erweiterte Herstellerverantwortung sichergestellt werden.	1
Stärkung des Recyclings	gut; in Abhängigkeit der gesetzlichen Vorgaben an Erfassung und Verwertung (Quoten)	1
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: gering (hoher Zusatzaufwand) betroffene Verbraucher*innen: gering (steigende Kosten, höherer Aufwand für Getrennterfassung)	5
Öffentlichkeitsarbeit	sehr hoher Aufwand für Öffentlichkeitsarbeit; Verbraucher*innen müssen informiert werden, um die Getrennterfassung umzusetzen	5
Gewichtetes Ergebnis		2,8
Adressaten	Bundesregierung, Hersteller, öRE, Verbraucher*innen, Betreiber von Windelrecyclinganlagen	
Fazit	Eine Produktverantwortung für Windeln sollte in Deutschland nicht umgesetzt werden, so lange noch keine Erfahrung vorliegt und keine Infrastruktur besteht. Außerdem führt eine erweiterte Verantwortung meist dazu, dass die Produkte für die Verbraucher*innen teurer werden. Stückpreise für Windeln liegen häufig zwischen 20 und 50 ct. Selbst Mehrkosten von wenigen Cent pro Windel führen zu relevanten Preissteigerungen für junge Familien und pflegende Angehörige bzw. Einrichtungen, die oft nur wenig Möglichkeiten zur Vermeidung haben und nicht zusätzlich finanziell belastet werden sollten.	

7.4.5 Zusammenfassung

Für das Recycling von Windelabfall bzw. Inkontinenz- und Damenhygieneprodukten gibt es in Deutschland bisher noch keine Erfahrung in der Umsetzung. Deswegen müssen vorrangig Demonstrationsprojekte angestoßen werden, um den erforderlichen Aufwand, geeignete Rahmenbedingungen und vorhandene Hindernisse explizit für Deutschland in Erfahrung zu bringen. Darauf aufbauend kann entschieden werden, ob und in welcher Form die Getrennsammlung für Einrichtungen oder für öRE umgesetzt werden soll. Beispielsweise wurde in den Niederlande Windelabfall und Windelrecycling in den Landesabfallplan aufgenommen. In diesem Zusammenhang wurde in vielen Kommunen eine Getrennsammlung von Windelabfall eingeführt.

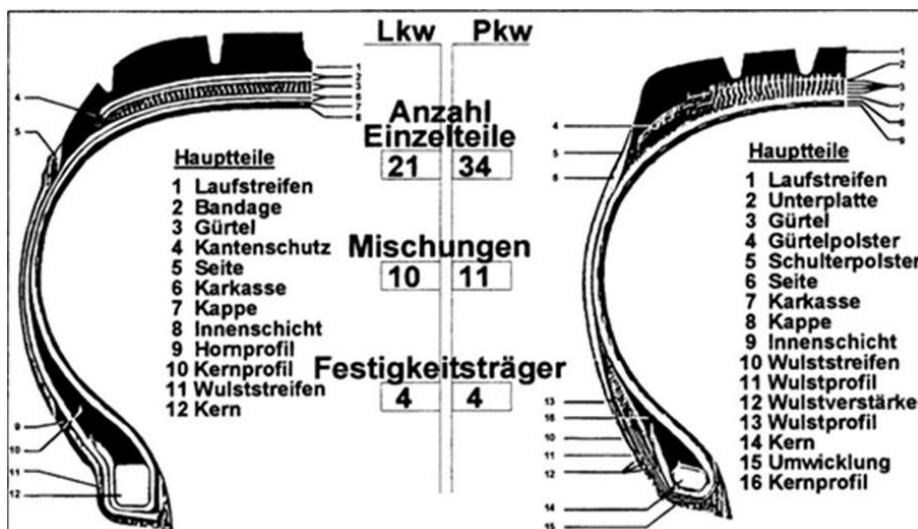
8 Altreifen

8.1 Allgemeines

8.1.1 Problemstellung Altreifenverwertung

Reifen bestehen aus einer Vielzahl grundsätzlich untrennbar verbundener Komponenten wie zum Beispiel Laufstreifen und Karkasse (vgl. Abbildung 11). Je nach Reifensortiment werden in der Herstellung insgesamt ca. 800–900 verschiedene Stoffe eingesetzt (vgl. Tabelle 54). Der Hauptbestandteil von Reifen ist Gummi, ein Elastomer. Dieser Werkstoff entsteht durch die weitmaschige Vernetzung von Kautschuk, der sogenannten Vulkanisation. Jede Reifenkomponente besitzt in Abhängigkeit von Reifenart und -modell ihre eigene, herstellereigenspezifische Gummirezeptur. Die am meisten verwendeten Kautschuktypen sind Natur- (NR), Isopren- (IR), Styrol-Butadien- (SBR) und Butadienkautschuk (BR), die selbst jeweils noch einmal in verschiedene Typen unterteilt sind.

Abbildung 11 Exemplarischer Aufbau moderner Fahrzeugreifen



Quelle: Schmidt und Reinke (1991)

Elastomere können aufgrund ihrer thermisch irreversiblen Vernetzung nicht mehr aufgeschmolzen werden. Darüber hinaus sind sie sehr widerstandsfähig gegenüber vielen bekannten Lösungsmitteln, Laugen und Säuren, was ein Recycling stark erschwert. Daher kommt vor allem das Zerkleinern zu Granulaten (Partikelgröße 1–10 mm) und Pulvern (kleiner 1 mm) zum Einsatz. Der Reifen wird zunächst in mehreren Prozessstufen zerkleinert und gegebenenfalls von Fremdstoffen (z. B. Textilgewebe oder Stahl) getrennt. Die Granulate können dann zu Sekundärprodukten, wie Fallschuttmatten oder Granulaten für Kunstrasenplätze, weiterverarbeitet werden. Das Granulat kann in einem weiteren Verarbeitungsschritt, der Feinvermahlung zu Pulvern (0,5–1 mm) bzw. Feinmehl (< 0,5 mm), weiter zerkleinert werden, um dann für besonders hochwertige Produkte oder beispielsweise zur Herstellung von Reifen eingesetzt werden können. Für diese Feinvermahlung haben sich zwei Verfahren etabliert, die in Warm- und Kryogenvermahlung unterschieden werden. Bei der Kryogenvermahlung wird der Gummi mit flüssigem Stickstoff (ca. 1,75 kg Stickstoff pro kg Gummi) unter seine Glasübergangstemperatur abgekühlt, dadurch versprödet und anschließend durch Prall und Schlag zerkleinert. Im Unterschied hierzu erfolgt die Warmvermahlung bei Raumtemperatur oder darüber, durch die Einleitung hoher Scherkräfte ins Material. Daneben existieren noch eine

Reihe weiterer Recyclingverfahren, beispielsweise mit dem Ziel die Verarbeitungsfähigkeit der Rezyklate zu verbessern. Ein Beispiel dafür ist der Reclaim-Prozess. Dabei handelt es sich um eine Replastizierung des Materials mit dem vordergründigen Ziel, durch thermische und mechanische Behandlung des Gummis, ein kautschukartiges Material zurück zu gewinnen. Dies ist mit einer Verbesserung der Fließfähigkeit (Viskosität) verbunden, führt jedoch oft auch zu Einbußen in den erzielbaren mechanischen Eigenschaften bei der Verwendung in Kautschukfrischmischungen.

Tabelle 54 Orientierungswerte für die Anzahl von Stoffen, welche zur Herstellung von Reifen eingesetzt werden

Stoffgruppe	Anzahl
Stoffe, die zur Herstellung <u>eines typischen Reifensortiments eines Reifenherstellers</u> verwendet werden. *	800 - 900
Stoffe die für die Produktion <u>eines spezifischen Reifens</u> im Schnitt verwendet werden. **	90
Kautschuktypen, die für die Herstellung <u>eines spezifischen Reifens</u> im Schnitt verwendet werden. **	38 (ca. 30 Synthetik- und 8 Naturkautschuktypen)
Rußtypen, die für die Herstellung <u>eines spezifischen Reifens</u> im Schnitt verwendet werden. **	8

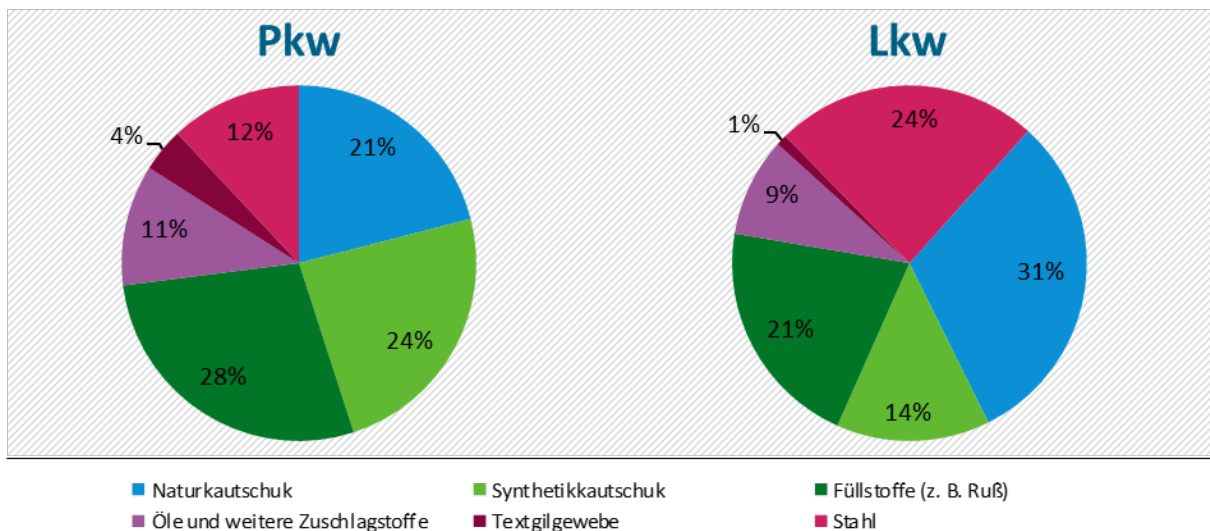
* Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie (2013)

** BiCon AG (2003)

Es ist grundsätzlich zwischen Lkw- und Pkw-Ganzreifen, SEAL-Reifen und anderen (Zweirad-, Vollgummireifen etc.) zu unterscheiden. Pkw-Reifen haben einen deutlich höheren Textilanteil (4 %, meist Reyon und Nylon) als Lkw-Reifen und sind daher oft schwieriger zu verwerten. Zunehmend wird auch der Stahlcord durch hochfeste Garne und Corde aus Aramidfasern ersetzt, wodurch der Textilanteil weiter steigt. Textilien können beispielsweise bei der Feinvermahlung zu Problemen, wie Einschränkungen in der Produktivität, führen oder einen höheren Anteil an Fremdstoffen im Mahlgut zur Folge haben. Auch finden sich im Pkw-Bereich größere Bandbreiten an Qualitäten und Zusammensetzungen wieder, etwa Sommer-, Winter- und Hochgeschwindigkeitsreifen. Lkw-Reifen haben einen deutlich höheren Naturkautschukgehalt (NR, 31 %) im Vergleich zu Pkw-Reifen (21 %), deren Hauptbestandteil Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR, 24 %) ist, und einen wesentlich höheren Stahlanteil. Das Recycling von SEAL-Reifen ist als kritisch anzusehen, da das auf ihrer Innenseite enthaltene viskose Dichtungsmaterial während der Granulierung Brände verursachen kann und Granulierwerkzeuge bzw. das Granulat verklebt und verschmiert.

Eine Sortierung und priorisierte Nutzung der verschiedenen Reifentypen für spezifische Verwertungswege erscheint gerade im Kontext der Gehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) sinnvoll. So enthalten verschiedene Altreifenrezyklate statistisch signifikant unterschiedliche PAK-Gehalte. Nachfolgend in aufsteigender Reihenfolge sortiert (von niedrig zu hoch): Vollgummireifen, Lkw-Ganzreifen, Pkw-Reifen, Lkw-Lauflächen. Diesbezüglich sollten Lauflächen beispielsweise priorisiert wieder in den Reifen zurückgeführt werden (Closed-loop Recycling), was auch aus Sicht der Materialkompatibilität grundsätzlich sinnvoll wäre.

Abbildung 12 Mittlere stoffliche Zusammensetzung von Lkw- bzw. Pkw-Reifen



Quelle: eigene Darstellung nach Daten von ifeu (1999)

Eine Rückführung der Rezyklate in neue Reifen ist jedoch grundsätzlich nur sehr eingeschränkt möglich (siehe Kapitel 8.4.5). Altreifenrezyklate werden daher heute überwiegend in der Form von Granulaten in zahlreichen Sekundäranwendungen eingesetzt, etwa Einstreu für Kunstrasen, Sport- und Spielplatzmatten sowie einfache Formteile. Eine weitere Bestrebung ist es, Sekundärprodukte auf Basis von Feinmehlen (typischerweise im Bereich zwischen 100 und 800 µm) herzustellen, die sich insbesondere durch hohe optische und mechanische Eigenschaften auszeichnen, die in einigen Bereichen Produkten aus Primärrohstoffen ebenbürtig sind. Die Komplexität derartiger Neuentwicklungen, die grundsätzlich relativ kleinen Nischenmärkte sowie das anhaltend niedrige Preisniveau der Primärrohstoffe haben jedoch die mengenmäßige Bedeutung derartiger Ansätze begrenzt.

8.1.2 Situationsüberblick Altreifenentsorgung in Deutschland

Aktuell befindet sich die deutsche Altreifenentsorgungsbranche in einer kritischen Situation. Wesentliche Ursachen sind dabei insbesondere:

1. eine starke präventive Begrenzung des Gehaltes an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Teilen der etablierten Absatzmärkte für Altreifenrezyklate sowie eine damit verbundene Verunsicherung der Märkte und Verbraucher,
2. ein starker Rückgang der energetischen Verwertung von Altreifen in Zementwerken sowie
3. ein allgemein niedriges Preisniveau am Primärrohstoffmarkt.

Zu Punkt 1: In weiten Teilen der etablierten Absatzmärkte für Altreifenrezyklat wurde der Gehalt an PAK in Erzeugnissen präventiv begrenzt (z. B. Verordnung (EU) Nr. 1272/2013, Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB 2019/1). Die jeweiligen Regularien beziehen sich dabei nicht direkt auf Altreifen, sondern auf spezifische Produktgruppen oder Anwendungsbereiche, wie z. B. Bodenbeläge, für welche das Altreifenrezyklat potenziell eingesetzt wird. Je nach Anwendungsfall gelten dabei unterschiedliche Regularien, werden unterschiedliche Typen und Gruppen von PAK-Spezies betrachtet und andere Grenzwerte gesetzt.

Zwar gelten seit 2010 auch in der Reifenindustrie PAK-Grenzwerte für die eingesetzten Weichmacheröle (Europäisches Parlament 2006), jedoch enthält auch der Füll- und

Verstärkungstoff Ruß PAK, deren Gehalt auf EU-Ebene nicht geregelt ist. Es existiert damit formal kein geltender Grenzwert für den Gesamtgehalt an PAK in Reifen, wie er etwa nach Verordnung (EU) Nr. 1272/2013 für Produkte relevant wäre. Die beispielsweise nach (Europäische Kommission 2013, Deutsches Institut für Bautechnik 2019) für verbrauchernahe Produkte geltenden Grenzwerte betrachten den Gesamtgehalt an PAK im Werkstoff und nicht nur jenen des Weichmachers. Entsprechend sind sowohl die Messverfahren als auch die Messergebnisse nicht mit jenen vergleichbar, die gemäß (Europäisches Parlament 2006) für die Reifenproduktion relevant sind.

Die Verwertung von Altreifen zu Sekundärprodukten geriet durch die PAK-Regelungen und die damit verbundene öffentliche Diskussion grundsätzlich stark unter Druck. Es besteht in diesem Zusammenhang die Gefahr, dass große Teile der bisherigen Verwertungsmöglichkeiten von Altreifen entfallen.

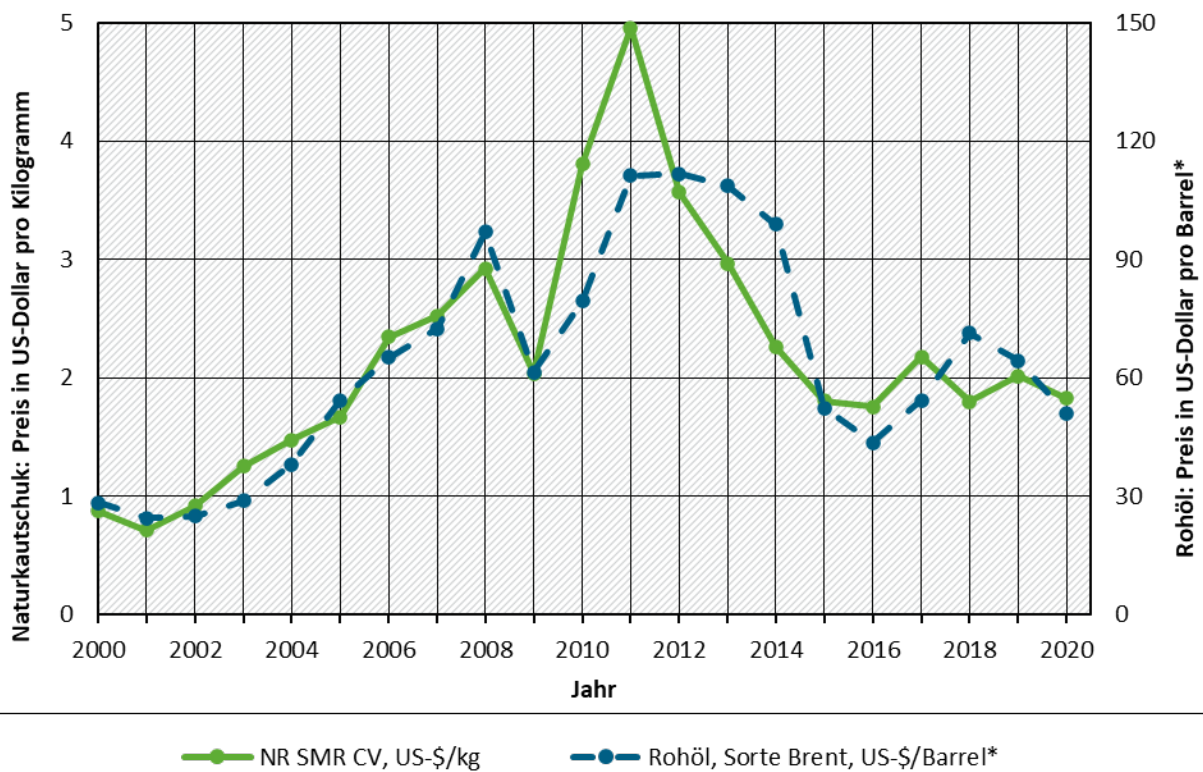
Zu Punkt 2: Viele Reifenentsorger berichten von einem massiven Rückgang der Verwertung von Altreifen in der Zementindustrie (siehe Kapitel 8.4.2).

Zu Punkt 3: Die Preise für den Primärrohstoff Kautschuk befinden sich seit ca. 2014 auf einem anhaltend niedrigen Niveau. Abbildung 13 illustriert dies anhand der auf Jahresbasis gemittelten Referenzpreise für die Naturkautschuktype „SMR CV“ (grün). Zur Illustration der Korrelation ist hier die Preisentwicklung für Rohöl der Sorte Brent gegenübergestellt (blau).

Ausgehend von einem sehr hohen Preisniveau in den Jahren 2010–2012, mit einem Spitzenwert von 4,95 US-\$/kg im Jahr 2011, hat sich der Rohstoffpreis wieder auf ein sehr niedriges Niveau eingependelt, das auf der Höhe des Jahres 2004 liegt. In Vergleich zum Spitzenwert von 2011 beträgt der Kautschukpreis heute noch ca. 39 % (1,92 US-\$/kg). Im Verlauf dieses Preisverfalls wurden bei vielen kautschukverarbeitenden Unternehmen die Recyclingbestrebungen stark zurückgefahren und teils sogar ganze Entwicklungsabteilungen aufgelöst. Auch einige tragende Technologieunternehmen des Gummirecyclings mussten durch die stark gefallene Nachfrage ihren Geschäftsbetrieb einstellen (bspw. Watson Brown HSM GmbH – Hersteller von Entvulkanisierungsmaschinen, Deutsche Gumtec AG – Recycling von technischen Elastomeren).

Das niedrige Preisniveau schränkt die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Altreifenrecycling, zumindest in der kautschukverarbeitenden Industrie (z. B. Reifen), daher stark ein. Dies hemmt damit aktuell sehr wahrscheinlich die notwendigen Investitionen und Entwicklungen zur Ausweitung der stofflichen Verwertung von Altreifen. Dem überlagert kann auch von einer mangelhaften Planungssicherheit bei Neuinvestitionen in Bezug auf die unklare Entwicklung der PAK-Grenzwerte und zugehöriger Messverfahren ausgegangen werden.

Abbildung 13 Preis (Jahresmittel) für Naturkautschuk (Sorte NR SMR CV) und Rohöl (Sorte Brent)



* ein Barrel entspricht 156 Liter, Dichte Rohöl: 0,883 kg/Liter

Werte für 2020 repräsentieren den Mittelwert im Zeitraum von 01.–04.2020 (SMR CV) bzw. 01.–03.2020

Quelle: eigene Darstellung mit Daten von NR: Malaysian Rubber Board (2020) und Brent; Mineralölwirtschaftsverband e.V. (2020)

8.2 Rechtliche Pflichten im Rahmen der Altreifenentsorgung

8.2.1 Einstufung und Nachweispflicht

In Europa gelten Altreifen aus rechtlicher Sicht als Abfall im Sinne des KrWG und sind im Europäischen Abfallkatalog mit der Abfallschlüsselnummer AVV 16 01 03 (Altreifen) gelistet. Der Code gemäß Annex IX, Liste B des Baseler Übereinkommens ist B3140 (Altreifen). Kriterien für das Ende der Abfalleigenschaft werden in Artikel 6 der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (Abfallrahmenrichtlinie) gegeben.

Altreifen sind nicht als gefährlicher Abfall eingestuft und damit sind Erzeuger, Besitzer, Sammler, Beförderer und Entsorger grundsätzlich nicht nachweispflichtig i. S. v. § 50 KrWG. Die zuständige Behörde wird durch § 51 KrWG ermächtigt, die Führung von Registern oder Nachweisen für Erzeuger, Besitzer, Sammler, Beförderer, Händler, Makler oder Entsorger von Abfällen im Einzelfall anzuordnen.

8.2.2 Registerpflicht

Gemäß § 23 NachwV sind Erzeuger, Sammler, Beförderer, Händler, Makler und Entsorger von Abfällen zur Führung von Registern verpflichtet, soweit eine Pflicht zur Führung von Registern nach § 49 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes oder auf Anordnung der zuständigen Behörde nach § 51 Absatz 1 Satz 1 Nummer 1 des KrWG besteht.

Abfallerzeuger, -besitzer, -beförderer und -einsammler von Altreifen sind entsprechend grundsätzlich nicht registerpflichtig. Das Niedersächsische Landesamt für Bau und Liegenschaften (NLBL) empfiehlt jedoch, Abfallerzeuger sollten „zur Vermeidung haftungs- und strafrechtlicher Risiken [...] die Abgabe der nicht nachweispflichtigen Abfälle in geeigneter Form dokumentieren.“ (NLBL 2020)

Abfallentsorger sind gemäß § 49 Abs. 2 KrWG in Verbindung mit § 24 Abs. 4 und 5 NachwV zur Registrierung der Anlieferungen von Abfällen (Abs. 4 NachwV) sowie jeder Abgabe von behandelten und gelagerten Abfällen (Abs. 5 NachwV) verpflichtet. Der Inhalt wird durch § 24 Abs. 4 und 5 KrWG definiert, hinsichtlich der Form besteht Wahlfreiheit entsprechend § 24 Abs. 4 S. 2–4. Der Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk (BRV) definiert weiter fakultative Anforderungen und stellt geeignete Mustervordrucke zur Verfügung (BRV 2020).

8.2.3 Anzeigepflicht

Gemäß § 53 Abs. 1 KrWG in Verbindung mit der Abfall Anzeige- und Erlaubnisverordnung (AbfAEV) haben Sammler, Beförderer, Händler und Makler von Abfällen die Tätigkeit ihres Betriebes vor Aufnahme der Tätigkeit der zuständigen Behörde anzuzeigen.

8.2.4 Zertifizierung nach EfbV bzw. als zertifizierter Altreifenentsorgungsbetrieb

Für Betriebe besteht die Möglichkeit, sich in Bezug auf ihre durchgeführten Tätigkeiten¹⁷ durch eine technische Überwachungsorganisation oder eine Entsorgungsgemeinschaft als „Entsorgungsfachbetrieb“ nach § 56 KrWG in Verbindung mit der Entsorgungsfachbetriebeverordnung (EfbV) zertifizieren zu lassen. Eine Altreifenentsorgung ist jedoch grundsätzlich auch ohne Zertifizierung möglich. Der BRV definiert zusätzlich zu den gesetzlichen Anforderungen gemäß EfbV branchenspezifische Anforderungen. Diese Kriterien können auf Verlangen des Betriebs bei der Zertifizierung als Entsorgungsfachbetrieb nach § 56 KrWG durch die entsprechende Überwachungsorganisation mit betrachtet und eine Erfüllung derselben auf dem Zertifikat vermerkt werden. Nach Vorlage der entsprechenden Zertifikate beim BRV dürfen sich die Betriebe dann „zertifizierte Altreifenentsorgungsbetriebe“ nennen. Eine Übersicht der nach EfbV und BRV-Anforderungsprofil zertifizierten Altreifenentsorgungsbetriebe sowie deren zertifizierte Tätigkeiten können Anhang B.1 dieses Dokuments entnommen werden. Die Informationen wurden durch den BRV bereitgestellt.

8.2.5 Rechtliche Rahmenbedingungen der Lagerung von Altreifen

Formal ist zwischen Lagerung und Ablagerung zu unterscheiden, wobei die bloße Ablagerung von vornherein ohne beabsichtigte nachfolgende Betriebshandlungen erfolgt.

Die Deponierung oder Langzeitlagerung von ganzen oder zerteilten Altreifen über einen Zeitraum von drei Jahren hinaus fällt unter den Anwendungsbereich der Deponieverordnung (DepV) und ist entsprechend § 7 Abs. 1 Nr. 5 und Abs. 2, Nr. 1 DepV bzw. § 23 Abs. 1 DepV grundsätzlich unzulässig.

Die Errichtung und der Betrieb ortsfester Abfallentsorgungsanlagen zur temporären Lagerung oder Behandlung von Altreifen bedürfen nach § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) einer Genehmigung. Für welche Anlagen dies gilt, wird in Anhang 1, Nr. 8 der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV festgelegt (Siehe Tabelle 55). Alle anderen, d. h. in Anhang 1, Nr. 8 4. BImSchV nicht erfassten, Abfallentsorgungsanlagen bedürfen lediglich einer baurechtlichen Genehmigung.

¹⁷ sammeln, befördern, lagern, behandeln, verwerten, beseitigen, handeln oder makeln (§ 56 Abs. 2 KrWG)

Tabelle 55 Genehmigungsbedürftige Anlagen gemäß Anhang 1, 4. BImSchV

Nr.	Anlagenbeschreibung	G	V	E
8.1.1	Anlagen zur Beseitigung oder Verwertung fester [...] Abfälle [...] durch thermische Verfahren, insbesondere Entgasung, Plasmaverfahren, Pyrolyse, Vergasung, Verbrennung oder eine Kombination dieser Verfahren mit einer Durchsatzkapazität von			
8.1.1.3	3 Tonnen nicht gefährlichen Abfällen oder mehr je Stunde	X		X
8.1.1.4	weniger als 3 Tonnen nicht gefährlichen Abfällen je Stunde		X	
8.12.2	Anlagen zur zeitweiligen Lagerung nicht gefährlicher Abfälle mit einer Gesamtlagerkapazität von 100 Tonnen oder mehr		X	
8.14	Anlagen zum Lagern von Abfällen über einen Zeitraum von jeweils mehr als einem Jahr			
8.14.2.1	mit einer Aufnahmekapazität von 10 Tonnen oder mehr je Tag oder einer Gesamtlagerkapazität von 25.000 Tonnen oder mehr, für andere Abfälle als Inertabfälle	X		X
8.14.3	mit einer Aufnahmekapazität von weniger als 10 Tonnen je Tag und einer Gesamtlagerkapazität von			
8.14.3.2	150 bis 25.000 Tonnen	X		
8.14.3.3	Weniger als 150 Tonnen		X	
8.15.3	Anlagen zum Umschlagen von 100 Tonnen oder mehr nicht gefährlichen Abfällen je Tag		X	

G: Genehmigungsverfahren gemäß § 10 BImSchG (mit Öffentlichkeitsbeteiligung)

V: Vereinfachtes Verfahren gemäß § 19 BImSchG (ohne Öffentlichkeitsbeteiligung)

E: Anlage fällt zusätzlich unter die Industrieemissions-Richtlinie (IED) gemäß Art. 10 der Richtlinie 2010/75/EU

Die Errichtung einer immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlage ohne die erforderliche Genehmigung stellt nach § 62 Abs. 1 Nr. 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes eine Ordnungswidrigkeit dar. Der Betrieb einer solchen genehmigungsbedürftigen Anlage ohne die erforderliche Genehmigung ist nach § 327 StGB strafbar.

8.3 Erfassung der Alt- und Gebrauchtreifen

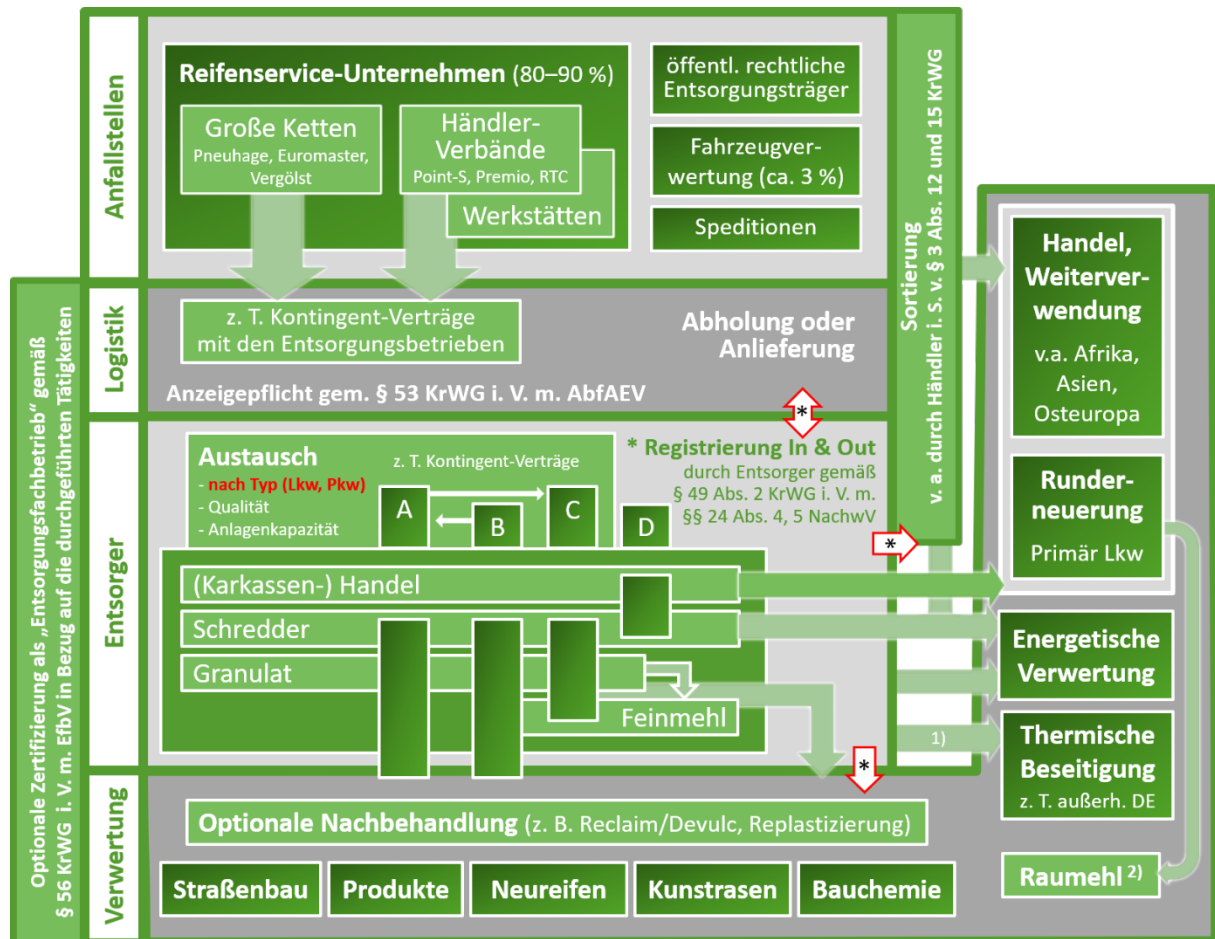
8.3.1 Teilnehmer der Umfrage Reifenrecycling (Hoyer et al. 2020a)

Zur Einordnung der hier an verschiedenen Stellen gegebenen Auswertung der Antworten einer Umfrage unter den Unternehmen entlang der Entsorgungskette von Altreifen (Hoyer et al. 2020a) wird in Anhang B.3 dieses Dokuments eine Übersicht der Umfrageteilnehmer gegeben.

8.3.2 Qualitative Übersicht über Ablauf von Erfassung und Entsorgung

In der folgenden Abbildung wird eine Übersicht über den Ablauf von Erfassung und Entsorgung von Altreifen in Deutschland gegeben. Eine detaillierte Erläuterung erfolgt in den folgenden Kapiteln.

Abbildung 14 Qualitative Übersicht über Ablauf von Erfassung und Entsorgung



- 1) Altreifen, wie z. B. Seal-Reifen, die für Verbrennung kaum noch angenommen werden bzw. für eine stoffliche Verwertung nicht geeignet sind.
- 2) Direktverarbeitung bzw. vorgelagerte Granulierung/Vermahlung

Quelle: eigene Darstellung

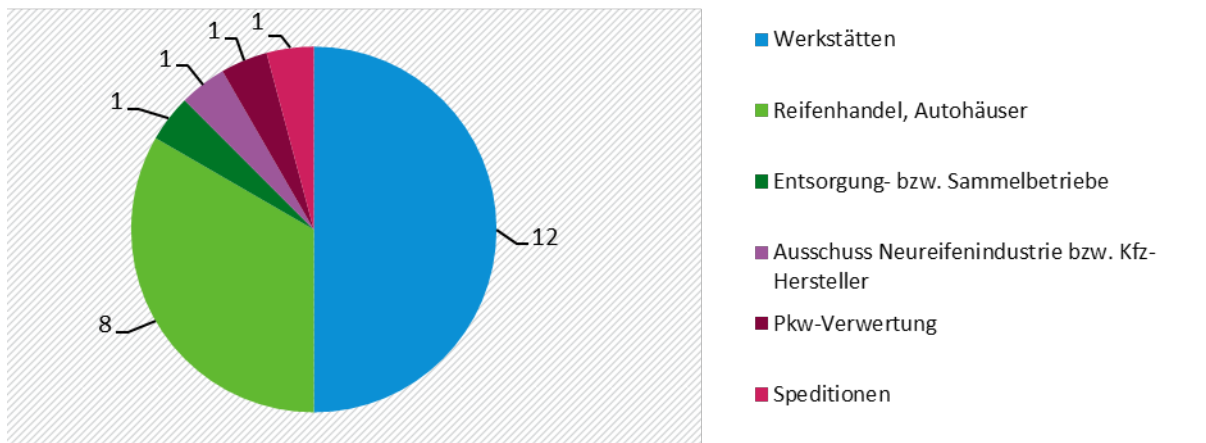
8.3.3 Anfallstellen

Begründet in der stark differenzierten Struktur des Reifenmarktes, beziffert Wallau (2001, S. 274) die Anzahl der Anfallstellen in den alten Bundesländern zum Stand 1996 auf etwa 60.000.

- Nach Schätzungen von Schwalbe (2019) fällt der größte Teil des Altreifenaufkommens direkt bei den Reifenserviceunternehmen an (Reifen- und Autoteilehandel, Werkstätten). Der Anteil am Gesamtaufkommen beträgt schätzungsweise ca. 80–90 %.
- Bilitewski, Härdtle (2013, S. 74) beziffert den Anteil der Altreifen aus der Altfahrzeugverwertung am Gesamtaufkommen auf 3 %.
- Wallau (2001, S. 277) gibt an, dass sich der Anteil der Pkw-Reifen am Altreifenaufkommen in der Altfahrzeugverwertung auf über 80 % beläuft.

Im Rahmen einer Umfrage bei Unternehmen entlang der Entsorgungskette von Altreifen (Hoyer et al. 2020a) wurde erfragt, wo nach deren Kenntnis grundsätzlich die Hauptanfallstellen für Altreifen liegen. Den höchsten Anteil nahmen dabei gemäß Abbildung 15 die Werkstätten sowie der Reifenhandel und Autohäuser ein.

Abbildung 15 Anzahl der Nennungen von Hauptanfallstellen für Altreifen durch 17 Umfrageteilnehmer*innen



Quelle: eigene Darstellung, Hoyer

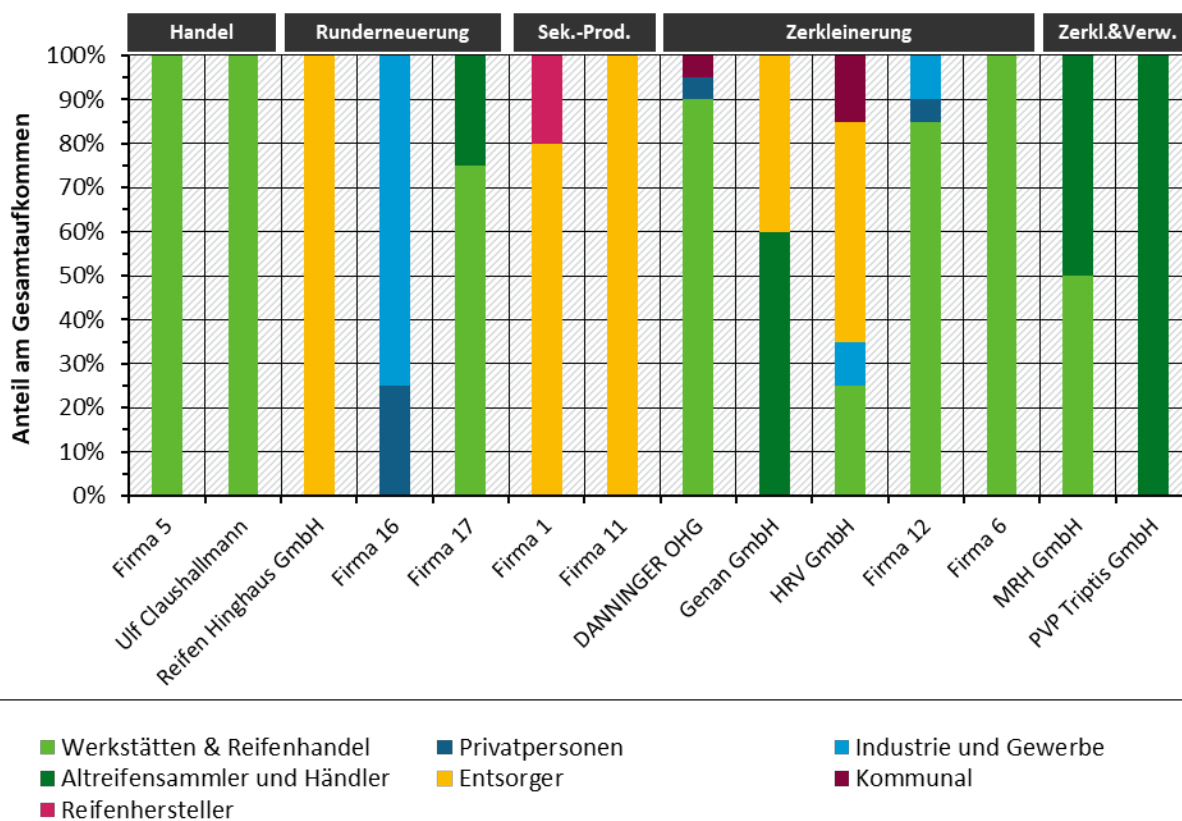
Weiterhin wurde erfragt, woher die Unternehmen ihre Altreifen bzw. Sekundärwerkstoffe aus Altreifen (im Folgenden als Reifenmaterial bezeichnet) beziehen. Die Angaben erfolgten unter Nennung der Art der Bezugsquelle sowie dem prozentualen Anteil am Gesamtaufkommen des jeweiligen Unternehmens. Ferner wurde erfragt, ob das Reifenmaterial abgeholt oder angeliefert wird. Basierend auf den Angaben der Unternehmen erfolgte eine Auswertung hinsichtlich der prozentualen Verteilung der Bezugsquellen für Reifenmaterial der verschiedenen Unternehmen, welche in Abbildung 16 dargestellt ist.

In Abbildung 17 erfolgt schließlich eine Übersicht der prozentualen Verteilung der Bezugsquellen für Altreifen, unter Beschränkung auf Unternehmen mit eigener stofflicher Verwertung von Altreifen, beispielsweise in Form von Shreds, Granulaten oder Feinmehlen.

Anhand des Tätigkeitsprofils der Firmen erfolgte eine Zuordnung zu einer von sechs Gruppen¹⁸ (schwarzes Textfeld). Die Zuordnung erfolgte im Hinblick auf den Tätigkeitsschwerpunkt des Unternehmens. Es schließt nicht aus, dass ein Unternehmen auch Tätigkeiten einer anderen Gruppe durchführt.

¹⁸ 1) Reifenhandel, 2) Runderneuerung, 3) Herstellung von Produkten aus Sekundärrohstoffen aus Altreifen, 4) Reine Zerkleinerung von Altreifen zu Sekundärwerkstoffen, 5) Zerkleinerung von Altreifen und eigenen Produktion von Produkten

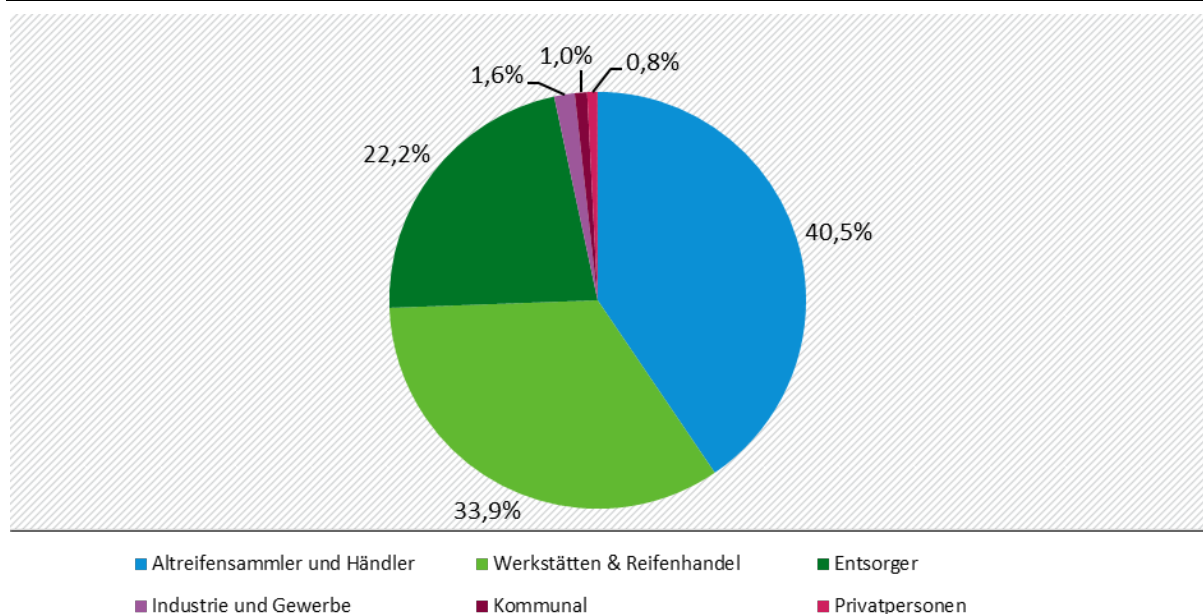
Abbildung 16 Prozentuale Verteilung der Bezugsquellen für Altreifen bzw. Sekundärwerkstoffe bei 14 Umfrageteilnehmer*innen



Sek.-Prod. - Herstellung von Produkten aus Sekundärrohstoffen aus Altreifen; Zerkl. & Verw. - Zerkleinerung von Altreifen und eigenen Produktion von Produkten

Quelle: eigene Darstellung, Hoyer

Abbildung 17 Prozentuale Verteilung der Bezugsquellen für Altreifen bzw. Sekundärwerkstoffe für sieben Altreifenentsorgungsbetriebe mit eigener Zerkleinerung



DANNINGER OHG, Firma 6, 12, Genan GmbH, HRV GmbH, MRH GmbH, PVP Triptis GmbH

Quelle: eigene Darstellung, Hoyer

8.3.4 Sortierung

8.3.4.1 Allgemeines

Alle den Entsorgungsbetrieben vorgelagerten Sortierungen bzw. Abflüsse von Altreifen erfolgen, in Ermangelung geltender Nachweis- und Registerpflichten, grundsätzlich unbilanziert und sind entsprechend kaum nachvollziehbar oder quantifizierbar.

Die Sortierung der Altreifen erfolgt generell entlang der gesamten Entsorgungskette. Dies kann durch den jeweiligen Abfallbesitzer selbst und durch Händler und Sammler im Sinne von Abfällen von § 3 Abs. 12 und 15 KrWG erfolgen. Bei letztgenannten kann es sich beispielsweise um spezialisierte Karkassenhändler oder fliegende Händler handeln, welche die Anfallstellen turnusmäßig anfahren. Die Anfallstellen sortieren oft bereits entsprechend den Bedürfnissen der Händler vor.

Grundsätzlich besteht bei den Anfallstellen ein wirtschaftliches Interesse dahingehend, so viele Altreifen wie möglich an Händler abzustoßen, um Entsorgungskosten einzusparen bzw. einen zusätzlichen Erlös zu erzielen (vgl. Kapitel 8.3.9). Typischerweise werden Altreifen, welche zur Wiederverwendung vorbereitet werden können, direkt bei den Anfallstellen aussortiert. Dies bezieht sich insbesondere auf Altreifen mit einer Profiltiefe¹⁹ von mindestens 4 mm (bei Pkw liegt die Quote der hier bereits aussortierten Altreifen mit entsprechendem Restprofil laut (Schwalbe 2019) bei ca. 90 %). Auch die grundsätzlich zur Runderneuerung geeigneten Altreifen (primär Lkw) werden meist schon bei den Anfallstellen von Karkassenhändlern aufgekauft. Detaillierte Sortierkriterien eines Karkassenhändlers können dem Anhang B.4 dieses Dokuments entnommen werden.

In der Umfrage von Hoyer et al. (2020a) wurden die Unternehmen nach ihrer Einschätzung befragt, welcher Anteil der bei ihnen anfallenden bzw. angelieferten Altreifen für eine uneingeschränkte Weiterverwendung²⁰ geeignet ist. Es wurden keine Vorgaben gemacht, welche Kriterien ein Reifen für die Weiterverwendung erfüllen muss. Die Weiterverwendung kann sich demnach sowohl auf eine nationale Weiterverwendung, unter Einhaltung der entsprechenden Vorgaben, als auch um einen Export zur Weiterverwendung handeln.

Tabelle 56 Anteil uneingeschränkt weiterverwendbarer Reifen unter den bei Ihnen anfallenden bzw. den von Ihnen angenommenen Altreifen einzuschätzen

	Allgemein	Allgemein, vorsortiert	Allgemein, nicht vorsort.	Lkw
Reifenhandel, -service				
Firma 5	5%			
Altreifenhandel				
Ulf Claushallmann	10%			
Runderneuerung				
Firma 16	10%			
Firma 17	20%			

¹⁹ Je nach Nachfrage, z. B. für Pkw deren Baujahr ca. 20 Jahre zurück liegt und v. a. auch 13"-Reifen, werden z. T. auch deutliche Einschränkungen in der Qualität toleriert (bspw. < 1,6 mm Restprofil).

²⁰ Unter „Weiterverwendung“ ist eine Wiederverwendung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu verstehen, die ohne gesonderte Maßnahmen der Vorbereitung zur Wiederverwendung erfolgt. Es erfolgt ggf. nur eine grobe Sichtprüfung und Reinigung.

	Allgemein	Allgemein, vorsortiert	Allgemein, nicht vorsort.	Lkw
Verwerter				
Reine Zerkleinerung (Shreds, Granulate Mehle)				
Firma 2	20%			15%
DANNINGER OHG	5%			
HRV GmbH	15%	5%	25%	10%
KARGRO GROUP				50%
Firma 11	10%			
Zerkleinerung und Verwertung				
Firma 6	30%			

Quelle: Hoyer et al. (2020a)

Basierend auf den Angaben gemäß Tabelle 56, Gruppe „Allgemein“, erfolgte eine statistische Auswertung. Auf Basis einer regressionsanalytischen Schätzmethode wurde der kumulierten Häufigkeit der Angaben für den prozentualen Anteil uneingeschränkt weternutzbarer Reifen eine Normalverteilung $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$ angenähert. Auf Grundlage der Angaben ergibt sich ein Erwartungswert μ von 10,3 % (0,103) bei einer Standardabweichung σ von 8 % (0,08). Der Anteil ist erfahrungsgemäß stark abhängig von der Region und in Metropolregionen tendenziell geringer.

Weiterhin wurde in Hoyer et al. (2020a) erfragt, welcher Anteil der bei den Unternehmen anfallenden Altreifen in ihrer Beschaffenheit grundsätzlich für die Runderneuerung geeignet ist.

Tabelle 57 Anteil der grundsätzlich für die Runderneuerung geeigneten Altreifen

	Allgemein	Allgemein, vorsortiert	Allgemein, nicht vorsort.
Reifenhandel, -service			
Firma 5	5%		
Altreifenhandel			
Ulf Claushallmann	10%		
Runderneuerung			
Firma 16	10%		
Firma 17	20%		
Verwerter			
Reine Zerkleinerung (Shreds, Granulate Mehle)			
Firma 2	20%		
DANNINGER OHG	5%		
HRV GmbH	15%	5%	25%

	Allgemein	Allgemein, vorsortiert	Allgemein, nicht vorsort.
KARGRO GROUP			
Firma 11	10%		
Zerkleinerung und Verwertung			
Firma 6	30%		
MRH Mülsen GmbH		5%	30%

Quelle: Hoyer et al. (2020a)

8.3.4.2 Branchenspezifische Kriterien des BRV

Hinsichtlich der Sammlung und Sortierung definiert der BRV folgende branchenspezifische Kriterien für die Zertifizierung von Altreifenentsorgungsbetrieben (BRV 2020):

Kap. 2.2.1²¹: Beim Sortieren ist es wichtig, geschultes Personal einzusetzen, das die verschiedenen Anforderungen - insbesondere die Vorgaben der Runderneuerungsbetriebe - kennt. Im Rahmen der Auditierung werden die Sortierer auf ihre Sachkunde hin kontrolliert.

Kap. 2.2.2²¹: Die Sortierkriterien und die Sortierklassen sind anzugeben. Bevorzugt sollen die Altreifen wie folgt klassifiziert werden:

- ▶ Profilreifen zur unveränderten Weiterverwendung²² im Inland/Ausland
- ▶ Karkassen zur Runderneuerung im Inland/Ausland
- ▶ Schrottreifen zur werkstofflichen Verwertung im Inland/Ausland
- ▶ Schrottreifen zur energetischen Verwertung im Inland/Ausland

Kap.2.4.2²¹: Zur Bilanzierung der Ein- und Ausgangsmengen sind in den Mustervordrucken Tageseintragungen vorzunehmen. Dies gilt für alle Standorte bzw. Betriebseinheiten und auch für Bewegungen zwischen den Standorten bzw. Betriebseinheiten.

Die Eintragungen sind mit geeigneten Belegen zu hinterlegen, z.B. Lieferschein, Wiegeschein bei Eingangsmengen sowie Wiegeschein, Lieferschein oder äquivalentem Nachweis bei Ausgangsmengen. Diese Unterlagen sind zur Betriebsprüfung vorzulegen.

Kap. 2.4.3²¹: Die Eingangsmenge ist grundsätzlich mittels Wiegung zu ermitteln. Die Ausgangsmengen sollten bevorzugt ebenfalls durch Wiegung festgestellt werden. Ist dies nicht möglich, sind die entsprechenden Angaben in Stückzahlen mit dem jeweiligen Umrechnungsschlüssel direkt umzurechnen. Die Umrechnungsschlüssel sind im Betriebshandbuch zu dokumentieren.

Kap. 2.4.4²¹: Die Lagerbestände sind mindestens einmal jährlich durch eine körperliche Bestandsaufnahme zu überprüfen. Inventurdifferenzen sind offen auszuweisen. Der Auswertungszeitraum beträgt stets ein Kalender- bzw. Geschäftsjahr.

²¹ Die Kapitelangaben beziehen sich auf die Gliederung in (BRV 2020)

²² Hierunter ist eine Wiederverwendung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu verstehen, die ohne gesonderte Maßnahmen der Vorbereitung zur Wiederverwendung erfolgt. Es erfolgt ggf. nur eine grobe Sichtprüfung und Reinigung.

8.3.5 Logistik

Gemäß § 53 Abs.1 KrWG in Verbindung mit der Abfall Anzeige- und Erlaubnisverordnung (AbfAEV) haben Sammler, Beförderer, Händler und Makler von Abfällen die Tätigkeit ihres Betriebes vor Aufnahme der Tätigkeit der zuständigen Behörde anzuzeigen.

Die Logistik, also der Weg von den Anfallstellen zu den Entsorgungsbetrieben, ist stark diversifiziert. Grundsätzlich können die Reifen durch die jeweiligen Abfallbesitzer oder Dritte direkt bei den Entsorgungsbetrieben angeliefert werden. Weiterhin kann eine Abholung durch einen entsprechenden Entsorgungsbetrieb erfolgen, die dazu teilweise eigene Logistiknetze bzw. Partnerschaften mit Logistikunternehmen aufgebaut haben und auch eigene deutschlandweite Sammelplätze betreiben. Zwischen einzelnen Altreifenentsorgern und größeren Ketten oder Händler-Verbänden bestehen darüber hinaus oft Kontingentverträge zur Abnahme vereinbarter (Jahres-)Mengen. Eine Abrechnung kann nach Stück, Gewicht oder Volumen (z. B. pro Container) erfolgen und richtet sich auch nach der Qualität der Reifen (z. B. prozentualer Anteil von Reifen mit einer Profiltiefe > 1,6 mm).

Vereinzelte sind auch Händler aktiv, welche die Reifen bei den Anfallstellen abholen. Teilweise werden dabei geringere Entsorgungskosten offeriert als die der etablierten Entsorgungsbetriebe. Es erfolgt dann zunächst meist eine Zwischenlagerung und Sortierung der Reifen durch die Händler. Das Geschäftsmodell besteht darin, die Reifen möglichst gewinnbringend weiterzuverkaufen oder zu exportieren, um sie zu geringeren Kosten zu entsorgen. Durch kalkulatorische Fehlentscheidungen oder stark steigende Entsorgungskosten besteht die Gefahr, dass die zwischengelagerten Reifen nicht mehr kostendeckend abgestoßen werden können. In diesem Zusammenhang kann die Bildung ungenehmigter Reifenlager die Folge sein.

8.3.6 Entsorger

Unter „Entsorgern von Abfällen“ werden gemäß § 49 Abs. 1 KrWG die Betreiber von Anlagen oder Unternehmen verstanden, die Abfälle in einem Verfahren nach Anlage 1 oder 2 des KrWG entsorgen.

Erst mit Eingang der Altreifen bei den Entsorgern erfolgt eine betriebsinterne Bilanzierung im Rahmen der gesetzlichen Registerpflichten. Eine generelle Verpflichtung, die Register einer Behörde vorzulegen oder Angaben daraus mitzuteilen, besteht nicht. Dies kann jedoch auf Grundlage von § 49 Abs. 2 KrWG behördlich angeordnet werden.

In vielen Fällen erfolgt eine uneingeschränkte Annahme aller Reifentypen (Pkw, Lkw bis Fahrrad) bei den Entsorgungsbetrieben, grundsätzlich jedoch mengenmäßig beschränkt in Abhängigkeit der bestehenden Verwertungskapazitäten²³. Manche Entsorgungsbetriebe nehmen nur spezielle Reifentypen an (z. B. ausschließlich Vollgummireifen) bzw. schließen die Annahme spezifischer Reifentypen aus (z. B. Fahrrad-, Mofa- oder Schubkarren-Reifen, vgl. HeidelbergCement 2019). Des Weiteren bestehen oft spezifische Einschränkungen, etwa in Bezug auf Verschmutzung bzw. Drittstoffe, Reifenalter oder Ursprungsland.

Nach Schätzungen von (Schwalbe 2019) beträgt der Anteil von noch nutzbaren Reifen (ca. 1,6–4 mm) bei nicht vorsortierten Containern ca. 20–25 % (Lkw- und Pkw-Reifen, vgl. Tabelle 56). Der Anteil ist erfahrungsgemäß stark abhängig von der Region und in Metropolregionen tendenziell geringer.

²³ Unter Verwertungskapazitäten sind weitestgehend alle Möglichkeiten der Entsorgung, welche einem Unternehmen zur Verfügung stehen als auch die Kontingente zum wechselseitigen Austausch von Altreifen mit anderen Recyclingunternehmen, zu verstehen.

Auf dem Gelände der Entsorgungsbetriebe erfolgt meist eine weitere Sortierung der Reifen durch die Firmen selbst sowie, je nach Firmenphilosophie, vereinzelt auch durch Händler. Je nach Auslastung und Spezialisierung, z. B. einer ausschließlichen Verwertung von Lkw- oder Pkw-Reifen, erfolgt auch ein wechselseitiger Austausch von Reifen zwischen den einzelnen Entsorgungsbetrieben. Die Firmen haben sich dazu teils zu Netzwerken verbunden und es bestehen vereinzelt auch Kontingentvereinbarungen zwischen ihnen.

Die Auto-Teile-Unger Handels GmbH & Co. KG (A.T.U) hat ein eigenes Tochterunternehmen gegründet, die Estato Umweltservice GmbH (früher „A.T.U Umweltservice“), welche die komplette Entsorgung der Abfälle der Filialen der A.T.U-Gruppe abdeckt. Diese verfügt nach eigenen Angaben über eine Jahreskapazität von 14,6 Mio. Reifen (110 kt). Jährlich werden hier etwa 8 Mio. Altreifen verarbeitet (ATU 2019).

Die Fertigungstiefe bei den verschiedenen Entsorgungsbetrieben ist sehr unterschiedlich. In Abbildung 14 sind **Entsorger** verschiedener Betriebe exemplarisch als vertikale Balken mit der Bezeichnung **A–D** dargestellt, die vertikale Ausdehnung illustriert die Fertigungstiefe. Während einzelne Betriebe beispielsweise nur Ersatzbrennstoffe herstellen (**D**), produzieren andere auch Granulate und ggf. in einer zweiten Stufe Feinmehle (**C**), welche dann verkauft werden. Zuletzt existieren auch Firmen, welche Granulate (**A**, z. B. PVP Triptis) oder Feinmehle (**B**, z. B. MRH Mülsen) selbst herstellen und zu eigenen Produkten verarbeiten.

8.3.7 Erfassungssystem (Beschreibung der bestehenden und möglichen Erfassungswege und -mengen)

8.3.7.1 Abfallbilanzen der Länder

Es wurden die Abfallbilanzen der Länder des Jahres 2017 und, wo bereits verfügbar, 2018 ausgewertet.

Die Bundesländer Baden-Württemberg, Bremen, Hamburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Saarland und Schleswig-Holstein weisen in ihrer Abfallbilanz Altreifen nicht aus. Bayern führt lediglich aus, an wie vielen Anfallstellen von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE) Altreifen gesammelt werden.

Tabelle 58 Angaben zur Altreifenentsorgung in den Abfallbilanzen der Länder

Bundesland	Durch örE entsorgte Menge 2017	Durch örE entsorgte Menge 2018
Berlin	603 t	noch keine Abfallbilanzen für 2018
Brandenburg	202 t „herrenlose“ Altreifen, 962 t entsorgte Altreifen	225 t „herrenlose“ Altreifen, 1.027 t entsorgte Altreifen
NRW	3.019 t Gewerbeabfall an örE überlassen	noch keine Abfallbilanzen für 2018
Rheinland-Pfalz	1.412 t, über örE entsorgt	1.474 t, über örE entsorgt
Sachsen	452 t Tendenz in den letzten Jahren steigend	noch keine AB für 2018
Sachsen-Anhalt	345 t, laut Anhang A: Im Land Sachsen-Anhalt erzeugte nachweispflichtige Abfälle 427 t	noch keine Abfallbilanzen für 2018
Thüringen	264 t, 14.496 Stück, über örE entsorgt	178 t, 15.861 Stück, über örE entsorgt

Grenzüberschreitende Abfallentsorgung

Laut den Daten vom UBA gab es in den letzten Jahren keine grenzüberschreitende Verbringung von Altreifen als zustimmungspflichtige Abfälle, lediglich 2009 wurden 3.000 t Altreifen exportiert.

8.3.7.2 Altreifenstatistik Fachserie 19 Reihe 1 (Statistisches Bundesamt 2019)

Durch das Statistische Bundesamt wird in Fachserie 19, Reihe 1 (Destatis 2019), unter der Abfallschlüsselnummer 16 01 03, der In- und Output von Altreifen in Abfallentsorgungsanlagen, getrennt nach Art der Anlage, dokumentiert.

Tabelle 59 Input an Altreifen in Abfallbehandlungsanlagen gemäß Fachserie 19 Reihe 1 für 2014–2017 in 1.000 t/a

Jahr	Tab. 3.1 Thermische Abfallbehand- lungsanlagen	Tab. 4.1 Feuerungs- anlagen	Tab. 10.1 Shredder- anlagen und Schrottschere n	Tab. 11.1 Sortieranlage n	Tab. 13.1 sonstige Behandlungs- anlagen	Tab. 1.1 Abfallentsor- gungsanlagen insgesamt
2014	2,1	164,8	219,4	74	216,4	677,3
2015	1,1	168,6	184,4	84,5	203,7	642,3
2016	0,1	178	203,1	90,3	190,6	662,1
2017	0,1	191,9	238,7	73,1	200,9	704,7

Zu beachten ist, dass ein Altreifen mehrere Behandlungsschritte durchlaufen kann und somit mehrfach als In- bzw. Output erfasst wird. Insofern kann aus diesen Zahlen nicht unmittelbar auf die tatsächlich anfallende Altreifenmenge geschlossen werden.

Tabelle 60 Output an Altreifen von Abfallbehandlungsanlagen gemäß Fachserie 19 Reihe 1, für 2014–2017 in 1.000 t/a

Jahr	Tab 9.2 Demontagebetrie- be für Altfahrzeuge	Tab 10.2 Shredderanlagen und Schrottscheren	Tab. 11.2 Sortieranlagen	Tab. 13.2 sonstige Behand- lungsanlagen	Summe
2014	13,1	29,8	67,8	50	160,7
2015	12,9	24,7	79,1	61,1	177,8
2016	12,6	81,0	72,4	56,6	222,6
2017	14,7	94,8	57,4	55,5	222,4

8.3.7.3 Datenerhebung GAVS/wdk

Die beim Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V. (wdk) angesiedelte Gesellschaft für Altgummi-Verwertungs-Systeme mbH (GAVS) ermittelte bislang jährlich das Altreifenaufkommen in Deutschland. Die GAVS GmbH wurde 2018 abgewickelt und existiert seitdem nicht mehr. Herr Stephan Rau, technischer Geschäftsführer des wdk, führt nun die Aufgaben der GAVS fort.

Tabelle 61 Altreifenanfall lt. GAVS für die Jahre 2012–2019 in 1.000 t/a

Pos.	Angabe	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Neureifen lt. BRV (Reifenersatzgeschäft)	509	507	498	499	508	513	513	497
2	Runderneuerte Neureifen lt. BRV (Reifenersatzgeschäft)	47	43	42	37	35	34	34	33
3	Gesamtersatzbedarf an Neureifen (Pos. 1+2 zzgl. 8 kt/a (2015-19))	566	560	550	544	551	555	555	538
4	Verschleiß/Abrieb	50	49	49	43	45	45	45	44
5	Altreifenanfall (Pos. 3 abzgl. Pos. 5)	516	511	501	501	506	510	510	494
6	Reifen aus der Fahrzeugverwertung	18	18	18	18	20	20	18	20 ¹⁾
7	Import von Gebrauchtreifen	48	53	52	49	51	54	55	57

Pos. 1 bis 4 bilden die Berechnungsgrundlage für den Altreifenanfall gem. Pos. 5. Es wird angenommen, dass jedem Neureifen (Pos. 1, 2) ein Altreifen, mit entsprechendem Gewichtsabschlag für den Abrieb (Pos. 4), gegenübersteht.

Die Altreifenmenge wird von der GAVS auf Grundlage empirisch basierter Annahmen aus öffentlichen Statistiken sowie eignen Datenerhebungen in den Mitgliedsunternehmen berechnet. Nachfolgend wird in Tabelle 62 eine Übersicht der jeweiligen Berechnungsgrundlage gegeben.

Tabelle 62 Berechnungsmethode für die Statistik der GAVS für die Jahre 2012–2019

Die Positionsnummern korrespondieren mit jenen aus Tabelle 61 und Tabelle 70.

Pos.	Angabe	Quelle/Berechnungsgrundlage
1	Neureifen lt. BRV	Ersatzmarktzahlen des wdk und des BRV.
2	Runderneuerte Neureifen lt. BRV (Reifenersatzgeschäft)	Umrechnung von Stück auf Gewicht durch eigenes Berechnungsmodell für alle Reifentypen (Pkw, Lkw, OTR, Agrar, 2-Rad, E.M., etc.)
3	Ersatzbedarf Reifen	Summe Pos. 1 und 2 zzgl. 8 kt/a (rechnerische Differenz in 2015-2019)
4	Verschleiß/Abrieb	Berechnung aus Pos. 1 und 2 mit Gewichtsabschlag (rechnerisch ²⁴ im Mittel 8,5 %)
5	Altreifenanfall	Pos. 3 abzüglich Pos. 4
6	Reifen aus der Fahrzeugverwertung	Hochrechnung und Interpolation auf Grundlage der Jahresberichte ²⁵ über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland, unter Einbeziehung der Zulassungszahlen (hier erfolgt auch die Berücksichtigung des Exports von Reifen mit Gebrauchtfahrzeugen.)

²⁴ Es handelt sich um Rechenwerte, basierend auf den jeweiligen Angaben, nicht um Angaben der GAVS.

²⁵ Umweltbundesamt. Jahresberichte über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland nach Art. 7 Abs. 2 der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG

Pos.	Angabe	Quelle/Berechnungsgrundlage
7	Import von Gebrauchtreifen	Außen-/Handelsstatistik (DeStatis) WA40122000
8	Angefallene Altreifen zur Entsorgung	Pos. 5 zuzüglich Pos. 6 und 7
9	Wiederverwendung, Inland (Gebrauchtreifen)	Empirische Schätzgröße (rechnerisch im Mittel 1,6 %)
10	Export zur Wieder- und Weiterverwendung	Außen-/Handelsstatistik (DeStatis) WA40122000
11	Export von Runderneuerungen	Außen-/Handelsstatistik (DeStatis) WA40121100, WA40121200, WA40121900
12	Export zur energetischen Verwertung ³⁾	Außen-/Handelsstatistik (DeStatis) WA40040000
13	Karkassen zur Runderneuerung	Berechnung aus Pos. 2 mit Gewichtsabschlag
14	Rezyklierung (Granulate und Mehle)	Meldung der granulierenden Betriebe und Berechnung aus Im- und Export
15	Energetische Verwertung (Zementindustrie)	Angaben des Verbands der Zementindustrie (VDZ 1998-2019)

Die GAVS berechnet zunächst das anfallende Gesamtgewicht der Altreifen aus den Ersatzmarktzahlen für Neureifen des BRV, wobei angenommen wird, dass für jeden Neureifen ein Gebrauchtreifen anfällt. Der BRV weist den Ersatzmarkt für Neureifen sehr detailliert aus, jedoch erfolgt die Angabe in Stück. Für die Zahlen der GAVS ist daher die Umrechnung in Gewicht notwendig, wofür jeweils Schätz- bzw. Näherungswerte für das mittlere Stückgewicht der Altreifen einer spezifischen Fahrzeuggruppe zugrunde gelegt werden. Um zu einem Gesamtgewicht der anfallenden Altreifen auf Basis des Reifenersatzgeschäftes zu gelangen, muss weiterhin der Gewichtsverlust durch Abrieb abgeschätzt und von den ermittelten Werten abgezogen werden. Der gewählte Ansatz erscheint schlüssig, bedarf jedoch sehr genauer Abschätzungen der jeweiligen Faktoren für Stückgewicht und Abrieb. Ein Vergleich von internationalen Literaturangaben mit Bezug auf Altreifengewichte und Abrieb findet sich im Anhang B.5 dieses Dokuments. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der GAVS bzw. dem wdk entsprechend belastbare Daten vorliegen. Im Folgenden wird zusätzlich eine Überprüfung der Plausibilität der errechneten Zahlen der GAVS für das Altreifenaufkommen durchgeführt.

Plausibilitätsprüfung der Daten der GAVS zum Altreifenaufkommen

Die folgende Rechnung basiert auf der Annahme, dass für jeden Neureifen im Ersatzgeschäft, ein Altreifen anfällt. Zur Umrechnung der Stückangaben des BRV in Gewichtsangaben sind für die jeweilige Reifentype mittlere Stückgewichte notwendig. Weiterhin ist ein Abschlag für den Abrieb einzubeziehen, um von den Angaben für Neureifen auf das Gewicht an verschlissenen Altreifen zu schließen.

Im Folgenden wird ein mittleres Stückgewicht für Altreifen ermittelt, welches als direkter Umrechnungsfaktor von den Stückangaben für Neureifen des BRV zu Gewichtsangaben für Altreifen dienen soll. Von der Firma MRH Mülsen wurde dazu ein Datensatz bereitgestellt, welcher 12 Messreihen mit einer Gesamtzahl von 50.000 Altreifen, verteilt auf 78 Container umfasst. Gegeben waren jeweils die Anzahl der Container je Messreihe, deren Gesamtgewicht sowie die Anzahl der enthaltenen Reifen je Typenklasse. Das mittlere Altreifengewicht wurde durch mathematische Optimierungsmethoden (*Monte-Carlo-Simulation*), unter der Vorgabe von sinnvollen Grenzen für den Erwartungswert jeder einzelnen Reifentype, berechnet. Es handelt sich bei den errechneten Werten grundsätzlich um Näherungswerte. Die maximale Abweichung zwischen dem tatsächlichen Containergewicht der 12 vorliegenden Messreihen und jenem, welches auf Basis der ermittelten Werte errechnet wurde, betrug maximal -5,5 % und +10 %.

Tabelle 63 Schätzwerte für das mittlere Gewicht verschiedener Altreifentypen

	Pkw	Motorrad	Lkw	Lkw	Offroad	Acker- schlepper	E.M.	Voll- gummi
Anzahl der betrachteten Reifen [Stück]	32.952	2.530	2.624	8.542	959	459	132	1.091
Mittleres Gewicht [kg/Stk.]	8,8	3,5	25	55	15	69	175	40

Auf Basis der mittleren Stückgewichte in Tabelle 63 erfolgt eine Umrechnung der Angaben für Neureifen des BRV (2019) in Gewichtsangaben für Altreifen (Berücksichtigung des Abriebs).

Die Berechnung des Altreifenanfalls erfolgt auf Basis der Angaben des BRV (2019) zum Reifenersatzgeschäft in Deutschland sowie den in Tabelle 63 ermittelten Näherungswerten für das mittlere Gewicht von Altreifen eines spezifischen Typs. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 64 Überschlägige Berechnung des Altreifenaufkommen in Deutschland

Reifentyp	BRV 2017 [Stück]	BRV 2018 [Stück]	Rechn. 2017 [t]	Rechn. 2018 [t]	mittleres Gewicht [kg/Stk.]
Pkw und Offroad (4x4)	47.436	46.699	417.428	410.951	8,8
AllSeason	7.204	7.968	63.395	70.118	
M + S	23.718	22.788	208.718	200.534	
Sommer	16.513	15.943	145.314	140.298	
Lkw	3.796	3.769	94.925	94.225	25,0
AllSeason	976	1.102	24.400	27.550	
M + S	1.855	1.729	46.375	43.225	
Sommer	966	938	24.150	23.450	
Lkw gesamt (neu & runderneuert)	2.734	2.771	150.370	152.405	55,0
Lkw neu	1.938	1.965	106.590	108.075	
Lkw runderneuert	796	806	43.780	44.330	
Motorrad/Scooter	1.737	1.694	6.080	5.929	3,5

FARM	253	251	17.457	17.319	69,0
EM Gesamt (neu & runderneuert)	42	41	7.525	7.175	175
EM-neu	30	29	5.250	5.075	
EM-runderneuert	13	12	2.275	2.100	
Summe			693.785	688.004	

In Tabelle 65 werden die Angaben der GAVS mit den ermittelten Werten aus Tabelle 64 verglichen. Gemäß den Daten der GAVS fielen in 2018 rund 510.000 t Altreifen in Deutschland an. Über die eigene Berechnung wurde ein Aufkommen von rund 688.000 t ermittelt. Für 2017 und 2018 liegen die Werte der eigenen Berechnung im Mittel rund 35 % höher als die der GAVS, was einer Differenz von etwa 178.000 t entspricht.

Tabelle 65 Vergleich der Werte des GAVS mit der überschlägigen Berechnung des Altreifenaufkommens gemäß Tabelle 64

Ergebnisse	2017	2018
Altreifenanfall gemäß GAVS*	510 kt	510 kt
Altreifenanfall gemäß Tabelle 64	694 kt	688 kt
Differenz der Ergebnisse	184 kt	178 kt
	+36,1 %	+34,9 %

* Tabelle 61, Positionsnummer 5

Obwohl die Gewichtsangaben der GAVS ebenfalls auf Basis der Ersatzmarktzahlen des BRV errechnet werden, zeigt sich eine signifikante Differenz zwischen den Ergebnissen. Es kann an dieser Stelle nicht bewertet werden worauf diese Differenz zurück zu führen ist und welches Ergebnis die Realität besser abbildet. Einerseits zeigen die hier ermittelten mittleren Stückgewichte (Tabelle 64) sehr gute Übereinstimmungen mit der Realität, andererseits handelt es sich nur Schätzwerte, die auf Basis mathematischer Optimierungsmethoden gewonnen wurden und deren Signifikanz damit nicht gesichert ist. Die genauen Umrechnungsfaktoren der GAVS sind nicht bekannt. Nach Rücksprache mit dem wdk sind deren Gewichtsannahmen für die einzelnen Reifentypen differenzierter und in vielen Fällen auch unterschiedlich zu den hier getroffenen Annahmen. Die hohe Differenz von rund 35 % illustriert, wie groß der Einfluss entsprechender Umrechnungsfaktoren ist und welche Grenzen dieser Bilanzierungsansatz hat.

8.3.8 Verteilung des Altreifenaufkommens auf die verschiedenen Reifensorten

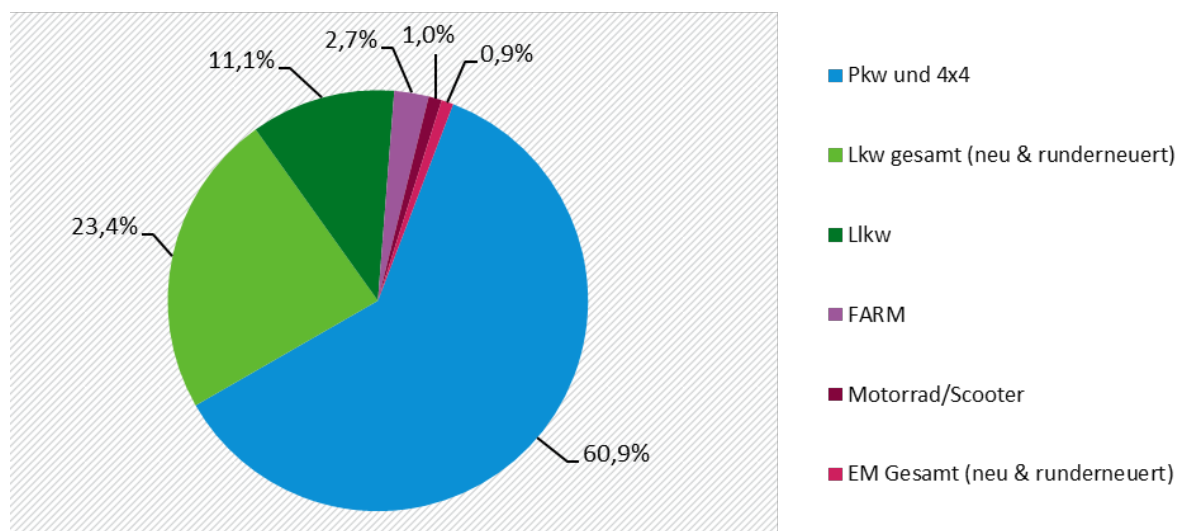
Eine Differenzierung der Altreifenmenge in Pkw-, Lkw- oder andere Reifen wird in den Statistiken der GAVS nicht getroffen. Wallau (2001, S. 277) nenn Quellen aus 1996, welche folgende Aufteilung angeben (gewichtsbezogen): 62 % Pkw-, 20 % Lkw- bzw. Bus-, 10 % leichte Lkw- und 8 % sonstige Reifen. Weiterhin wird angegeben, dass sich der Anteil der Pkw-Reifen bei dem Altreifenaufkommen in der Altfahrzeugverwertung auf über 80 % beläuft.

In Tabelle 66 werden die Angaben von Wallau (2001) mit den berechneten Werten auf Basis der Angaben zum Reifenersatzgeschäft des BRV (2019) gemäß Tabelle 64 verglichen. Die Ergebnisse für 2018 sind in Abbildung 18 dargestellt.

Tabelle 66 Vergleich der Zahlen zur Aufteilung des Reifenmarktes in Deutschland in die verschiedenen Reifentypen

Reifentyp	prozentuale Verteilung 2017	prozentuale Verteilung 2018	Mittelwert	Wallau (2001, S. 277)
Pkw und 4x4	61,3 %	60,9 %	61,1 %	62,0 %
Lkw gesamt (neu & runderneuert)	22,9 %	23,4 %	23,2 %	20,0 %
Llkw	11,1 %	11,1 %	11,1 %	10,0 %
FARM	2,7 %	2,7 %	2,7 %	8 % (Sonstige)
Motorrad/Scooter	1,0 %	1,0 %	1,0 %	
EM Gesamt (neu & runderneuert)	1,0 %	0,9 %	0,9 %	

Abbildung 18 Gewichtsbezogene Verteilung des Reifenaufkommens in Deutschland in 2018



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnungen auf Grundlage von BRV (2019)

8.3.9 Entsorgungskosten

Gegenwärtig ist es in Deutschland üblich, dass jede/r Verbraucher*in bei der Abgabe seiner Altreifen einen Entsorgungskostenbeitrag bezahlt. Ausgehend von erhobenen Kosten von 2,60 € pro Pkw-Reifen und einem mittleren Gewicht von 8,8 kg, ergeben sich Einnahmen von 295 €/t Altreifen bei den Anfallstellen. Bezogen auf den Gesamtanfall von Pkw-Altreifen in Deutschland (410 kt/a, siehe Tabelle 64), entspricht dies einen überschlägigen Gesamtaufkommen von 121 Mio. Euro pro Jahr allein für die Pkw-Reifen.

Die Kosten für die Entsorgung der Altreifen bei zertifizierten Entsorgungsbetrieben betragen etwa 40–135 €/t²⁶. Entsprechend lässt sich feststellen, dass nur ein Viertel²⁷ der von den Verbraucher*innen zu zahlenden Entsorgungskostenbeiträgen tatsächlich bei den Entsorgungsbetrieben ankommen. Der Restbetrag wird von Reifenhändlern, Transporteuren

²⁶ Preise sind insbesondere mengenabhängig. Bei größeren Mengen (ab etwa 500 t/a) etwa 40–50 €/t, Preise zzgl. Anlieferung/Abholung

²⁷ Annahme: 295,- €/t Entsorgungsgebühren der Verbraucher. 20 % der Pkw-Altreifen werden mit direkt bei den Anfallstellen und Altreifenhändlern weiterverkauft. Die restlichen Altreifen werden für 87,50 €/t (Mittelwert aus 40–135,- €) bei Entsorgungsbetrieben abgegeben. Da nur 80 % der angenommenen Altreifen entsorgt werden müssen, entspricht dies relativen Entsorgungskosten in Höhe von 70,- € pro angefallene Tonne Altreifen. Den Einnahmen an Entsorgungsgebühren von 295 €/t stehen damit Entsorgungskosten in Höhe von 70 €/t entgegen (24 %).

und anderen zwischengeschalteten Unternehmen aufgezehrt, wobei noch zusätzliche Einnahmen durch den Verkauf noch nutzbarer Altreifen erzielt werden.

Legt man einen Strompreis von 18,55 Cent pro Kilowattstunde (inkl. Steuern) zugrunde, und berücksichtigt einen spezifischen Energiebedarf zur Granulierung in Höhe von 0,25 kWh/kg Altreifen (vgl. Abbildung 31), ergeben sich reine Energiekosten für die Verwertung von Altreifen zu Granulat in Höhe von 46,38 €/t. Die erhobenen Entsorgungskosten bei zertifizierten Entsorgungsunternehmen bewegen sich damit in der Größenordnung der Energiekosten zur Granulierung.

Die Kosten für eine Entsorgung der Altreifen in Zementwerken betragen etwa 70–110 €/t. Je nach Annahmebedingung müssen die Altreifen jedoch zunächst vorzerkleinert werden.

Gemäß Tabelle 56 finden sich unter den anfallenden Altreifen typischerweise noch bis zu 25 % Pkw-Reifen, die ohne jede Vorbehandlung, zumeist im Ausland, wiederverwendet werden können. Tabelle 67 nennt exemplarische Ankaufspreise für verwendungsfähige Gebrauchtreifen. Werden überschlägig 20 % der Pkw-Altreifen bereits bei den Anfallstellen oder durch nachgelagerte Händler weiterverkauft und legt man einen Erlös von 3 € pro Pkw-Altreifen zugrunde, ergeben sich zusätzliche Einnahmen in Höhe von 68 €/t angefallener Pkw-Altreifen (bei 8,8 kg pro Pkw-Altreifen).

Tabelle 67 Ankaufspreise für Gebrauchtreifen in Abhängigkeit der Profiltiefe, Kurz (2020)

Reifentyp	> 4 mm	> 5,5 mm	> 7 mm	> 10 mm
Lkw			5–40 € (10)	10–50 € (20)
Llkw			8–20 € (10)	10–30 € (15)
Pkw	1,50–3,50 €	4–10 € (6)		

Ankaufspreise pro Stück Reifen. In Klammern: Angabe des abgeschätzten mittleren Ankaufspreises

In der Tabelle 68 und der Tabelle 69 werden die Ankaufspreise eines Runderneuerungsbetriebes (Rigdon) sowie eines Karkassenhändlers (Kurz) für Altreifen dargestellt, die zur Wiederverwendung, insbesondere durch Runderneuerung, geeignet sind.

Tabelle 68 Ankaufspreise für Altreifen, Rigdon (2020)

Reifentyp	Preisspanne pro Stück	Durchschnitt pro Stück	Mittleres Gewicht gem. Tabelle 63	Mittlerer Preis pro Tonne
Llkw	5–12 €	7,85 €	25 kg/Stk	314 €/t
Lkw	5–40 €	15,87 €	55 kg/Stk	289 €/t
EM Radial-Reifen	20–120 €	58,67 €	175 kg/Stk	335 €/t

Tabelle 69 Ankaufspreise für Altreifen, Kurz (2020)

Reifentyp	Preisspanne pro Stück	Durchschnitt pro Stück	Mittleres Gewicht gem. Tabelle 63	Mittlerer Preis pro Tonne
Lkw	5–30 €	10 €	55 kg/Stk.	180 €/t
Lkw	5 € ²⁸	5 €	25 kg/Stk	200 €/t
Pkw	1–2 € ²⁹	1,50 €	8,8 kg/Stk	170 €/t

8.3.10 Bewertung und Fazit (*Bewertung der bestehenden und möglichen Erfassungswege inkl. des (ökonom.) Aufwandes und Ableitung von Schlussfolgerungen*)

Die genaue Erfassung und Bilanzierung des Mengenstroms Altreifen ist in Deutschland derzeit nicht möglich. In Ermangelung von entsprechenden Register- und insbesondere Meldepflichten kann keine sichere Quantifizierung des Altreifenanfalls sowie dessen Differenzierung in die verschiedenen Verwertungswege vorgenommen werden. Grundsätzlich lässt sich die Menge der in Deutschland anfallenden Altreifen nur indirekt aus verschiedenen Indikatoren ableiten (vgl. Kapitel 8.3.7), wobei nicht alle relevanten Mengenströme sicher zu erfassen sind. Das Berechnungsmodell des Wirtschaftsverbands der Kautschukindustrie wdk (Kapitel 8.3.7.3) kann, im Rahmen der verfügbaren Datenbasis, als plausibel betrachtet werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass auch hier nicht alle Mengenströme erfasst werden, insbesondere der Export von Reifen zur thermischen Beseitigung.

Bislang bestehen nur Registerpflichten für die Entsorgungsunternehmen, wobei diese Register nur auf gesondertes Verlangen der zuständigen Behörde vorzulegen sind. Alle vorgelagerten Mengenströme sind daher grundsätzlich unbilanziert und bleiben damit unnachvollziehbar. Entsprechend lassen sich auch illegale Ablagerungen kaum rückverfolgen. Diese illegalen Ablagerungen von Altreifen werden nach Auffassung des Wirtschaftsverbands der Kautschukindustrie (wdk) primär durch unseriöse Altreifensammler und -händler verursacht, deren Geschäftsmodell vorrangig im Weiterverkauf zur Vorbereitung zur Wiederverwendung geeigneter Altreifen besteht. Diesbezüglich wird von den Altreifenentsorgungsunternehmen gefordert Maßnahmen zu ergreifen, welche die Möglichkeiten zur unsachgemäßen Entsorgung von Altreifen unterbinden und die Anfallstellen verpflichten, ihre Altreifen nur nachweislich ordnungsgemäß arbeitenden Unternehmen zuzuführen.

Grundsätzlich bestünde die Möglichkeit auf Grundlage von § 51 KrWG, die Registerpflichten auf Erzeuger, Besitzer, Sammler, Beförderer, Händler, Makler oder Entsorger auszuweiten, diese vorzulegen oder Angaben daraus mitzuteilen sowie die Nachweispflicht gemäß § 50 KrWG einzuführen. Nach Auskunft des BRV entspricht es jedoch der rechtlichen Einschätzung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), dass § 51 KrWG nur auf Einzelfälle³⁰, nicht aber auf die gesamte Abfallgruppe der Altreifen angewendet werden kann. Ggf. wäre hier zu prüfen, ob eine Sammelverfügung umsetzbar wäre.

²⁸ Weniger als 7 mm Restprofil

²⁹ Mindestprofil 2,5 mm Restprofil

³⁰ „Einzelfall i. S. v. § 35 S.1 VwVfG bedeutet, dass der Verwaltungsakt konkret-individuell ist. Konkret bedeutet, dass die Regelung sich auf einen bestimmten Sachverhalt bezieht. Individuell meint, dass ein bestimmter Personenkreis Adressat des Verwaltungsaktes ist.“ [Jura Online] Laut [Juracademy] handelt es sich auch bei abstrakt-individuellen Regelungen ebenfalls um die Regelung eines Einzelfalls i.S.v. § 35 S. 1 VwVfG. abstrakt-individuelle Regelungen richten sich an eine bestimmte Person (individuell) und geben dieser für jeden – zahlenmäßig unbestimmten – Fall des Eintretens eines nach allgemeinen Merkmalen beschriebenen Sachverhalts (abstrakt) eine bestimmte Handlungspflicht auf.

Im Rahmen der Initiative zertifizierte Altreifenentsorger wird die Einführung der Nachweispflicht grundsätzlich befürwortet und bereits seit 2019 diskutiert, wie eine Nachweispflicht bei einem nicht gefährlichen Abfall und mit vertretbarem bürokratischem Aufwand gestaltet werden kann. Es wird weiterhin angestrebt, mit der Dokumentation schon bei der Übergabe vom Konsumenten an den Händler anzusetzen.

Als weitere Problemstellung wird von den Entsorgungsunternehmen angeführt, dass nur ein sehr geringerer Anteil der von den Verbraucher*innen zu zahlenden Entsorgungskosten, unter 8 %, tatsächlich bei den Entsorgern ankommen und für eine ordnungsgemäße und hochwertige Verwertung zur Verfügung stehen.

8.3.11 Illegale Entsorgung

Die illegale Entsorgung umfasst zum einen Altreifenlager deren zulässige Lagerkapazität oder die Lagerdauer von 3 Jahren überschritten wird und zum anderen illegale Ablagerungen außerhalb von Altreifenlagern (vgl. Kapitel 8.2.5).

Die verfügbare Datenlage erlaubt keine Rückschlüsse auf die Menge der illegal entsorgten Altreifen in Deutschland. Die Initiative zertifizierte Altreifenentsorger (ZARE) führt seit 2016 als einzige Organisation in Deutschland eine Dokumentation von Fällen illegaler Altreifenentsorgung in Deutschland durch, die sich weitestgehend auf Meldungen von Google Alerts, Pressemitteilungen sowie Mitteilungen aus dem Netzwerk stützt. Die entsprechenden Informationen sind auf deren Webseite einsehbar (Initiative zertifizierte Altreifenentsorger 2020). Nach Aussage der ZARE ist seit 2017 eine starke und kontinuierliche Zunahme der Fallzahlen festzustellen.

Abbildung 19 Schätzwerte der ZARE für die Anzahl der in Deutschland illegal entsorgten Altreifen



Quelle: Initiative ZARE (Enthält keinen Anspruch auf Richtigkeit, da die Zahlen nur Schätzzahlen sind)

Nach Auskunft des Wirtschaftsverbands der Kautschukindustrie (wdk) funktioniert die Rückgabe von Altreifen durch die Verbraucher*innen gut. Die illegale Ablagerung von Altreifen wird überwiegend durch unseriöse Altreifensammler und -händler verursacht, deren Geschäftsmodell primär im Weiterverkauf noch nutzbarer Altreifen besteht. Die ZARE schätzt den Anteil der illegalen Ablagerung durch Privatpersonen auf 14 %.

Nach Angaben der Landesregierung Sachsen-Anhalt gab es Mai 2017 vier Altreifenlager bzw. Altreifenablagerungen oberhalb von 100 t in Sachsen-Anhalt. In diesen waren 3.040 t Altreifen gelagert (Landesregierung Sachsen-Anhalt, 2017a).

Das Land Brandenburg weist in seinen Abfallbilanzen „herrenlose“, d. h. vermutlich illegal abgelagerte, Altreifen aus. Hier beträgt der Anteil der herrenlosen Altreifen (225 kt) an den durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger des Landes Brandenburg 2018 insgesamt entsorgten Altreifen (1.027 kt) etwa 22 %.

Dieser Wert entspricht den Ergebnissen einer Studie zum Altreifenaufkommen in der Bundesrepublik in 1987 (Bundesregierung, 1995). Dort war bei 20-22 % des Aufkommens an Altreifen der Verbleib unbekannt. Basierend auf Tabelle 62 war in 2019 bei 10.000 t, also rund 1,7 % der Verbleib unbekannt.

8.4 Verwertung (Darstellung von bestehenden und möglichen Verwertungswegen)

Neben dem Altreifenaufkommen ermittelt die GAVS bzw. der wdk auch das Aufkommen an Altreifen für die einzelnen Verwertungswege. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 70 Statistik der GAVS über die Altreifenverwertung für die Jahre 2012–2019

Angaben in 1.000 t pro Jahr (kt/a)

Pos.	Angabe	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
8	Angefallene Altreifen zur Entsorgung ²⁾	582	582	571	568	577	584	583	571
9	Wiederverwendung, Inland (Gebrauchtreifen)	10	10	10	8	8	8	8	8
10	Export zur Wieder- und Weiterverwendung	93	84	71	64	62	67	60	55
11	Export von Runderneuerungen	43	41	39	38	41	46	49	48
12	Export zur energetischen Verwertung ³⁾	k. A.	k. A.	10	10	6	6	6	6
13	Karkassen zur Runderneuerung	38	34	34	30	28	27	27	26
14	Rezyklierung (Granulate und Mehle)	190	190	202 ⁴⁾	203	231	229	236	251
15	Energetische Verwertung (Zementindustrie)	234	234	202	215 ¹⁾	201 ¹⁾	201 ¹⁾	196 ¹⁾	175
16	Verwertungsweg unklar	k. A.	k. A.	3	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.

1) „vorläufige Werte“

2) Formulierung der GAVS: „Altreifen zur Weiterverwendung, Verwertung“

3) umfasst wahrscheinlich auch thermische Beseitigung

4) entsprach 53 % der installierten Nennkapazität

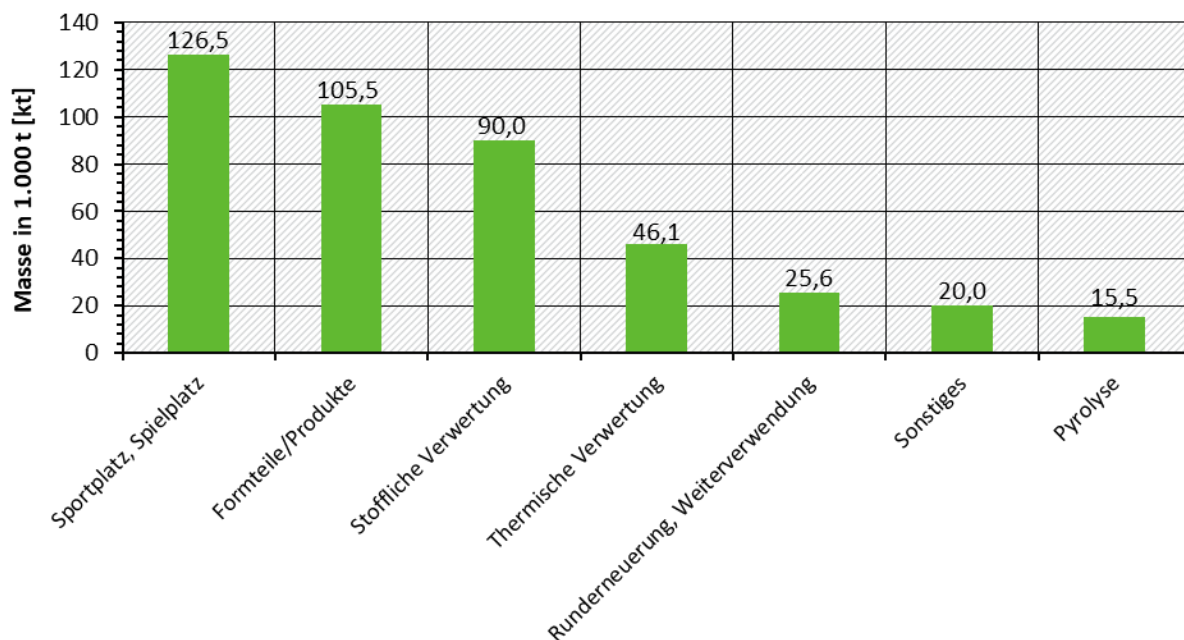
Überraschenderweise verzeichnen die Daten der GAVS den größten Zuwachs der Verwertung von Altreifen in Form von Granulaten und Mehlen im ersten Jahr (2016) nach dem Inkrafttreten der PAK-Grenzwerte gemäß Verordnung (EU) Nr. 1272/2013 (13,8 %).

8.4.1 Absatzmärkte für Produkte bzw. Sekundärrohstoffe der Umfrageteilnehmer von Hoyer et al. 2020a

Die nachfolgende Übersicht gibt einen Überblick über Angaben einzelner Altreifenentsorgungsunternehmen³¹, für welche Anwendungen und in welchen Mengen die von ihnen hergestellten Produkte verwendet werden. Unter „Produkte“ können allgemein Ganzreifen, welche vor einer Weiterverarbeitung zur energetischen Verwertung aussortiert wurden, Shreds, Granulate, Mehle oder aus Altreifenrezyklaten hergestellte Produkte fallen. Es ist ferner nicht auszuschließen, dass Altreifenmaterial hier mehrfach erfasst wird, indem z. B. Granulate der einen Firma als Basis für Produkte einer zweiten Firma dienen. Weiterhin könnten die Angaben auch importierte Rezyklate umfassen.

Konkret wurde erfragt, wo die Absatzmärkte für die Sekundärwerkstoffe bzw. Produkte der Firmen liegen und welche Menge (Angabe in Masse pro Jahr) diese Märkte etwa verwerten. Es erfolgt in Abbildung 20 zunächst eine Übersicht der je Absatzmarkt bzw. Verwertungspfad jeweils verwerteten Masse. In Abbildung 21 werden schließlich die näherungsweise prozentuale Verteilung innerhalb der Unternehmen dargestellt.

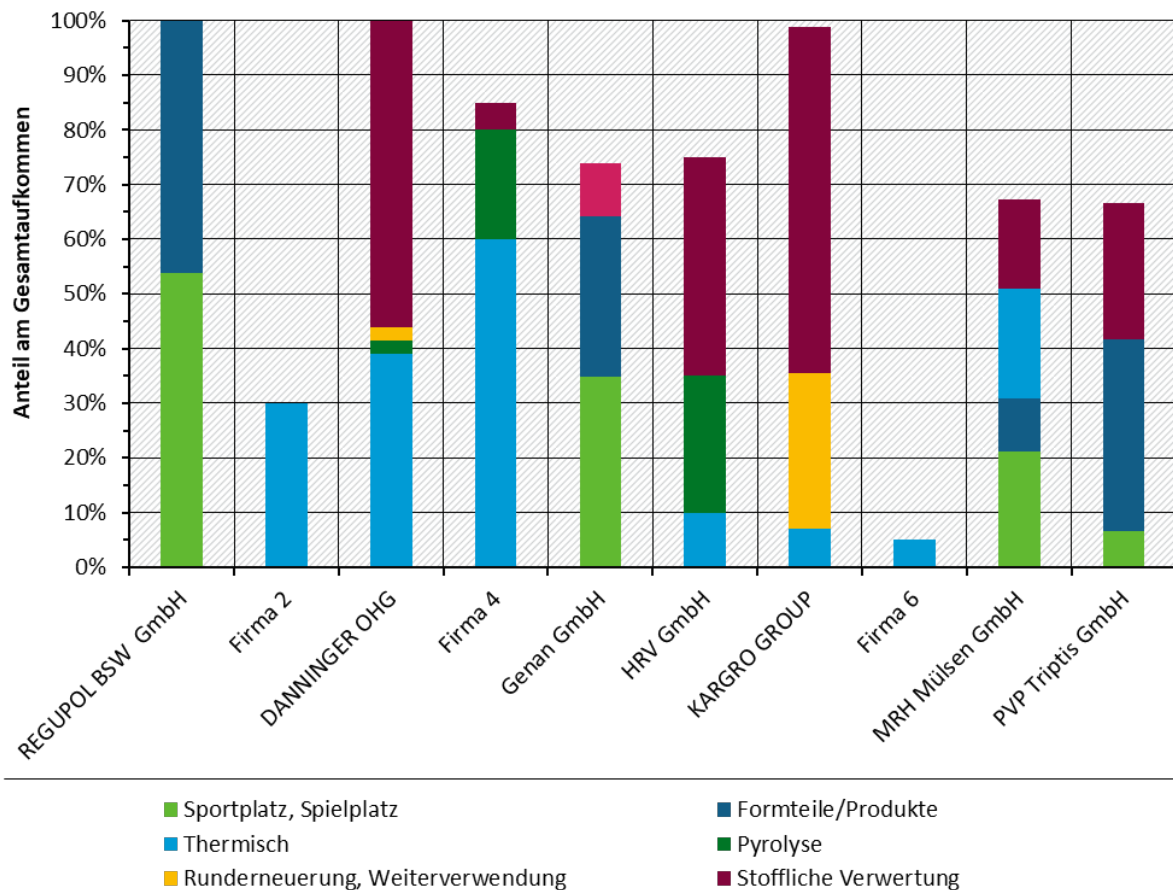
Abbildung 20 Hauptabsatzmärkte für Produkte bzw. Sekundärrohstoffe aus Altreifen aus akkumulierten Angaben der Altreifenentsorger (Gesamtmenge 429,2 kt)



Quelle: eigene Darstellung, Hoyer

³¹ Unter den Umfrageteilnehmern wurden nur die Firmen berücksichtigt, welche eine eigne Verwertung bzw. Beseitigung von Altreifen vornehmen „Entsorger“ gemäß Tabelle 56).

Abbildung 21 Hauptabsatzmärkte für Produkte bzw. Sekundärrohstoffe aus Altreifen, prozentuale Verteilung innerhalb der Unternehmen der Umfrageteilnehmer



Quelle: eigene Darstellung, Hoyer

8.4.2 Energetische Verwertung in Zementwerken

Mit den jährlich aktualisierten "Umweltdaten der deutschen Zementindustrie" (VDZ 1998-2019) dokumentiert der Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) unter anderem den Einsatz von Altreifen zur Klinker- und Zementproduktion. Nachfolgend wird eine Übersicht der Angaben der Jahre 1998 bis 2019 gegeben.

Abbildung 22 Altreifeneinsatz in der Zementindustrie in den Jahren 1998 bis 2019



Quelle: eigene Darstellung, Hoyer, mit Daten von VDZ (1998–2019)

Altreifen besitzen nach dem Bayerischen Landesamt (2011) einen Heizwert von rund 29 Megajoule (MJ) pro Kilogramm (entspricht 7,2 bis 8,9 kWh/kg). Das entspricht einem Äquivalent von 0,7 kg Rohöl (42 MJ/kg). Grundsätzlich eignen sich Altreifen gut als Ersatzbrennstoff zur Zementherstellung, da sie vollständig stofflich und energetisch verwertet werden können und einen hohen biogenen Anteil besitzen.

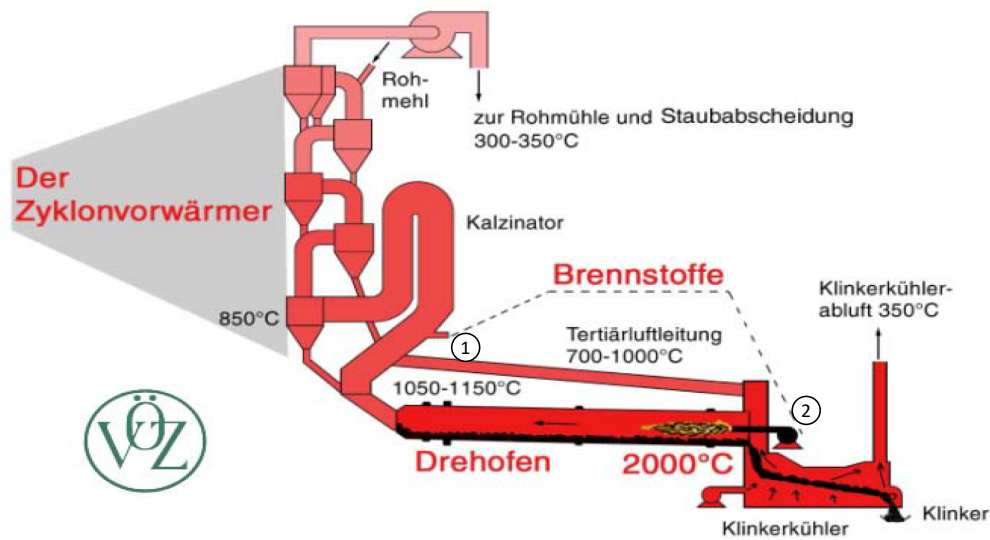
Für die Zementherstellung werden Drehrohröfen genutzt. Die Altreifen werden als Ganzreifen oder in geschredderter Form in den Ofeneinlauf eingebracht und durch die Drehbewegung und die Neigung des Ofens in Richtung der Hauptfeuerung (bis zu 2000 °C, „heiße“ Seite) transportiert. Auf dem Weg werden sie bei mehr als 1000 °C vollständig verbrannt. Die nicht-brennbaren Materialien (z. B. der Stahl) wird vollständig als Eisenkomponente in die Klinkermatrix eingebunden. Die Altreifen werden damit vollständig energetisch als auch stofflich verwertet. Je nach Ofentyp können bis zu 25 % Primärenergieträger durch den Einsatz von Altreifen eingespart werden (Braun, 2001). Nach Braun (2001) ist durch wissenschaftliche Ausführungen belegt, dass die Sekundärbrennstoffe bei geeigneter Prozessführung keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt haben. Auch der VDZ (2020) gibt an, dass der Einsatz von Altreifen hinsichtlich geltender immissionsschutzrechtlicher Anforderungen unkritisch ist.

Die Masse der in der Zementindustrie verwerteten Altreifen ist stark rückläufig (Abbildung 22). Nach Auskunft von Danninger (2020) haben die Zementwerke der HeidelbergCement AG in Burglengenfeld und Schelklingen bislang Altreifen rund 45.000 t jährlich verwertet. Bedingt durch die technische Umrüstung auf Kurzöfen werden in diesen Werken zukünftig grundsätzlich keine Altreifen mehr verwertet werden. Auch das Zementwerk der Märker Holding GmbH in Harburg wird durch eine technische Umrüstung des Ofens zukünftig die energetische Verwertung von Altreifen, von bisher 30.000 t auf nur noch 10.000 t jährlich, reduzieren und nur noch vorzerkleinerte Reifen annehmen (wahrscheinlich im Größenbereich von 2,5 cm).

Damit entfallen allein in Bayern Verwertungskapazitäten in Höhe von ca. 65.000 Jahrestonnen. Dies entspricht einem Anteil von 11 % am Gesamtaltreifenaufkommen in Deutschland im Jahr 2018 bzw. 33 % der bisher energetisch in Zementwerken verwerteten Altreifen.

Der Verein Deutscher Zementwerke e.V. gab auf Nachfrage (VDZ 2020) folgende Gründe an: Zur Steigerung der Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit erfolgt eine Umrüstung von Zementwerken auf sogenannte Kurzöfen. In einem Kurzofen ist dem Drehrohrföfen ein Zyklonvorwärmer mit Kalzinator vorgeschaltet (siehe Abbildung 23). Der Drehrohrföfen hat dabei eine Länge zu Durchmesser-Verhältnis (L/D) von etwa 10–14. Hierbei findet die Hauptreaktion, die Calcination (Entsäuerung des Kalksteins) in einem Flugstromreaktor (Kalzinator) statt. In Anlagen ohne Kalzinator muss diese Reaktion im Drehrohrföfen stattfinden, wodurch diese Öfen etwas länger gebaut sind (L/D bis 18).

Abbildung 23 Schematische Darstellung eines Zyklonvorwärmerofen mit Kalzinator



Quelle: Braun, 2001

In Kalzinatoren werden allein etwa zwei Drittel des Gesamtenergiebedarfs des Prozesses für die endotherme Reaktion der Kalzination benötigt. Dafür werden flugfähige Brennstoffe benötigt (Zugabe an Pos. 1 in Abbildung 23) die von den heißen Gasen der Drehofenanlage getragen, im Kalzinator verbrennen sollen. Nichtflugfähige Brennstoffe, wie Altreifen, werden an diesen Anlagen daher vermindert eingesetzt. Nach Auskunft des VDZ (2020) könnte eine feinere Aufbereitung der Altreifen eine Möglichkeit sein.

Ein Einsatz von Altreifen als Ganzreifen oder in grobstückiger Form ist in der Hauptfeuerung (Pos. 2 in Abbildung 23) nicht möglich. Dort würden sie aufgrund des Gegenstromprinzips (Gas und Feststoff werden entgegengesetzt gefahren) und der Tatsache, dass grobstückige Brennstoffe direkt in die Klinkerschmelze eintauchen würden, die Klinkerbildung stören und insbesondere der Stahlanteil nicht mehr ausreichend aufschmelzen.

In wie weit darüber hinaus auch ökonomische Interessen dahingehend bestehen, auf das aktuelle Überangebot an anderen Ersatzbrennstoffen ³² zurück zu greifen, konnte nicht abschließend bewertet werden. Ungeachtet der technischen und ökonomischen Ursachen wurde von einzelnen Altreifenentsorgungsunternehmen von einer Verdreifachung der Entsorgungskosten für Altreifen in der Zementindustrie berichtet. Dies wird vermeintlich zusätzlich durch einen niedrigen Rohölpreis überlagert.

³² Dabei handelt es sich grundsätzlich um Kunststoffabfälle welche, bedingt durch den Importstopp im Ausland, vermehrt anfallen oder auch Sekundärbrennstoffe, welche zunehmend aus der Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerken verdrängt werden.

Von einzelnen Altreifenentsorgungsunternehmen wurde eine weitere Verschärfung der Situation und der Wegfall weiterer Kontingente in Deutschland prognostiziert. Es bestehen sogar Befürchtungen, dass sich Altreifen zu einer nicht mehr notwendigen Fraktion in der Zementindustrie entwickeln könnten. Weiterhin ist anzunehmen, dass das Defizit an entsprechenden Verwertungskapazitäten in Deutschland zu einem verstärkten Export von Altreifen zur energetischen Verwertung und thermischen Beseitigung führen wird. Dies leitet sich nicht zuletzt daraus ab, dass für einige Reifensorten keine alternativen Entsorgungswege bestehen und eine thermische Beseitigung, bzw. im Idealfall eine energetische Verwertung, alternativlos ist.

8.4.3 Runderneuerung

8.4.3.1 Überblick

Die Runderneuerung von Altreifen stellt eine Vorbereitung zur Wiederverwendung gemäß § 3 Abs. 24 KrWG dar. Im Pkw-Bereich lag 2018 der Anteil der runderneuterten Reifen am Reifenersatzmarkt deutlich unter einem Prozent, im Lkw-Bereich bei etwa 29 % (vgl. Tabelle 64).

Typischerweise werden Pkw-Reifen einmal, Lkw-Reifen bis zu dreimal runderneuert. Pkw-Reifen dürfen dabei nicht älter als sieben Jahre sein. Zur Runderneuerung können zwei verschiedene Verfahren eingesetzt werden: die Kalt- bzw. die Heißrunderneuerung. Zunächst werden die Reifen umfassend überprüft, wofür umfassende europäische Standards und Qualitätsvorgaben bestehen, und anschließend abgeraut. Dabei wird die Lauffläche des Reifens (Kaltrunderneuerung) bzw. die gesamte Karkasse (Heißrunderneuerung) auf ein spezifisches Maß abgeschliffen. In der Kaltrunderneuerung wird ein bereits vulkanisierter Laufstreifen auf die abgeraute Karkasse aufgebracht und in einem Autoklav durch Vulkanisation der Bindegummischicht mit dem Reifen verbunden. Bei der Heißrunderneuerung wird ein unvulkanisiertes Material auf die Lauffläche und Seitenwände aufgetragen. Die Vulkanisation sowie die Form- und Profilgebung des Materials erfolgen dann, analog der Neureifenherstellung, in einer Heizpresse. Die Pkw-Runderneuerung erfolgt heute vorwiegend durch die Heißerneuerung, für Runderneuerung von Lkw-Reifen kommen grundsätzlich beide Verfahren zum Einsatz.

Auf Grundlage der Beschlüsse 2001/507/EG und 2001/509/EG des Rates der Europäischen Union gibt es harmonisierte technische Vorschriften für die Genehmigung der Herstellung runderneuerter Luftreifen für Kraftfahrzeuge und Nutzfahrzeuge und sowie deren Anhänger (UN/ECE-Regelungen Nr. 109 und 108). Diese umfassen insbesondere spezifische Anforderungen an die Produkteigenschaften, den Produktionsprozess und die Qualitätssicherung sowie die entsprechenden Prüfmethode. In Deutschland ist das Kraftfahrtbundesamt für die Durchführung diesbezüglicher Konformitätsüberprüfungen (CoP) verantwortlich.

Hinsichtlich der Qualität von runderneuterten Reifen gibt der GTÜ (2015) an, dass sie bei der Kfz-Hauptuntersuchung nicht auffälliger als Neureifen sind. Die Ausfallsicherheit von runderneuterten Reifen wird entscheidend durch die Qualität der Ausgangskarkasse bestimmt (BAST, 2000). In diesem Kontext empfiehlt der ADAC, runderneuerte Reifen vorrangig von einem Mitglied der Arbeitsgemeinschaft industrieller Runderneuerer (AIR) zu beziehen. Diese hätte sich zu einer fremdüberwachten Anwendung verschiedener technischer Untersuchungen geeigneten Karkassen verpflichtet, was nach Erfahrungen des ADAC gut funktioniert. „Es sind uns keine Beanstandungen bekannt.“ Michelin attestiert seinen runderneuterten Lkw-Reifen ein vergleichbares Leistungsniveau im Hinblick auf Sicherheit, Robustheit, Effizienz wie deren

Neureifen. Jedoch wird seitens Michelin davon abgeraten, diese runderneueren, sogenannten Remix-Reifen auf die erste Lenkachse von Kraftfahrzeugen zu montieren.

Der ADAC (ADAC 2020a) attestiert der industriellen Runderneuerung, eine bewährte Technik zu sein, für die strenge gesetzliche Vorgaben gelten. Obwohl sich die Qualität runderneuerter Reifen bis zum Jahr 2011 kontinuierlich besserte, werden vom ADAC seit 2011 keine runderneuerten Reifen mehr getestet. Dafür sei vor allem die damals rapide schwindende Marktbedeutung von runderneueren Pkw-Reifen verantwortlich.

Vom ADAC wurden 2020 einige grundlegende Probleme von runderneueren Reifen angegeben. Zum einen seien runderneuerte Reifen grundsätzlich sehr laut und es sei nicht garantiert, dass ein Satz runderneuerter Reifen auf einer identischen Karkasse aufbauen würde. Die damit verbundenen, potentiell unterschiedlichen Fahreigenschaften könnten „nicht nur bei unerfahrenen Autofahrern in Extremsituationen gefährlich werden.“

Im Zusammenhang mit den Gebrauchswerteigenschaften hat der Auto Club Europa (ACE 2020) festgestellt, dass ein getesteter runderneuerter Pkw-Reifen gegenüber Neureifen, selbst von Zweitmarken und günstigeren Reifen aus Fernost, unterlegen war. Insbesondere wurden Aquaplaning- und Kurvenverhalten, Gewicht und Rollwiderstand bemängelt. Weshalb allerdings ein spanischer Reifen in der Dimension 215/55 R17 gewählt wurde, die nicht zu den bedeutendsten Reifengrößen gezählt werden kann (vgl. Pneuhage 2020)³³, bleibt fraglich. Der GTÜ (2015) führt weiterhin verallgemeinernd aus: „Im Grenzbereich werden runderneuerte Reifen nie deren Qualitäten hinsichtlich Kurvengeschwindigkeit, Brems-, Anfahr- und Aquaplaning-Verhalten erreichen“. Der Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk (BRV) argumentiert dagegen, dass die Qualitäts- und Sicherheitsstandards von runderneueren Reifen hoch sind und die runderneueren Reifen Neureifen in nichts nachstehen. Im Bereich der Lkw-Reifen stützen insbesondere die relativ hohen Runderneuerungsquoten scheinbar diese Aussage. Im Pkw-Bereich ist die Situation jedoch vermeintlich komplexer.

Grundsätzlich lassen sich die beschriebenen Leistungsdefizite runderneuerter Pkw-Reifen auf einen Mangel an verfügbarem Know-how der Runderneuerungsunternehmen im Hinblick auf die Gummimischungen sowie den Aufbau moderner Laufflächen zurückführen. Im Pkw-Neureifenbereich wird heute verstärkt auf die sogenannte Silika-Technologie gesetzt. Dabei enthalten die Gummimischungen der Reifen zunehmend Anteile von Kieselsäure (Silika) anstatt Ruß als Verstärkungsfüllstoff. Der Einsatz von Silika führt tendenziell zu verbesserter Traktion auf nasser Fahrbahn oder Schnee und einen geringeren Rollwiderstand. Die Entwicklung derartiger Gummimischungen ist hochgradig komplex und langwierig. Typische Entwicklungszyklen von Gummimischungen liegen in Bereich von mehreren Jahren und bedürfen umfassendem Know-how aus verschiedenen Wissensgebieten. Derartige Entwicklungen konnten von den mittelständisch geprägten Runderneuerungsunternehmen, zumal in einer Periode kaum vorhandener Nachfrage, nicht geleistet werden. Darüber hinaus werden zunehmend auch sogenannte Multicompound-Technologien eingesetzt, bei denen die Lauffläche aus mehreren neben- und übereinanderliegenden Gummimischungen besteht. Auch hier besteht mutmaßlich ein Defizit im Hinblick auf das Know-how derartiger Laufflächenkonstruktionen und der zugehörigen Fertigungstechnologien bei den Runderneuerungsbetrieben.

³³ Seitens des ACE wurde die Wahl des hier getesteten spanischen Reifens Insa Turbo Evolution Plus damit begründet, dass es zum Zeitpunkt des Tests der einzig verfügbare Reifen in Dimension 215/55 R17 war. Diese Dimension zählt nach Darstellung der Firma Pneuhage jedoch nicht zu den 20 meistverkauften Neureifengrößen, weshalb die Wahl dieser Dimension Fragen im Hinblick auf die zugrundeliegende Motivation aufwirft.

Die beschriebenen Defizite von runderneuten Reifen sind damit primär auf ein Wissensdefizit zurück zu führen und nicht als intrinsisches Problem der Runderneuerung per se anzusehen. Vorbehaltlich der Verfügbarkeit entsprechender Gummimischungen, etwa durch eine Belieferung entsprechender Materialqualitäten durch die Neureifenindustrie, sollten eine Vielzahl der bisherigen Defizite kompensierbar sein. Das Problem unterschiedlicher Karkassen könnte beispielsweise durch eine entsprechend aufwändigere Sortierung und Paarung der Altreifen, zumindest teilweise, kompensiert werden können. Jedoch würde es die Runderneuerungsbranche vor zusätzliche logistische Herausforderungen stellen und die Wirtschaftlichkeit weiter senken.

8.4.3.2 Kennzeichnungspflicht von Reifen (Reifenlabeling)

Runderneuerte Reifen sind vom Geltungsbereich der EU-Verordnung Nr. 1222/2009 über die Kennzeichnung von Reifen in Bezug auf die Kraftstoffeffizienz und andere wesentliche Parameter bisher ausgenommen. Laut Verordnung muss jeder Neureifen eine Kennzeichnung hinsichtlich Rollwiderstand, Nasshaftung und Geräuschemissionen tragen (Reifenlabel). Die für die jeweilige Einstufung notwendigen Prüfwerte müssen für jedes Reifenmodell und -dimension gemessen werden.

Runderneuerte Reifen bauen grundsätzlich, auch innerhalb eines spezifischen Reifenmodells und -dimension, auf verschiedenen Altreifenkarkassen auf. Hinzu kommen weitere Variationsparameter wie Karkassenalter, Laufstreifen unterschiedlicher Anbieter, diverse Profilvarianten sowie Produktionsmethoden und -parameter. Entsprechend hoch wäre in diesem Fall der Prüfaufwand, da grundsätzlich jede Kombination geprüft werden müsste. Mit Einführung der Kennzeichnungspflicht nach gegenwärtigem Stand wäre eine Rentabilität der Runderneuerung nach Branchenansicht daher nicht mehr gegeben.

Gemäß der Verordnung (EU) 2020/740 wird jedoch grundsätzlich angestrebt, die Kennzeichnungspflichten auch auf runderneuerte Reifen auszuweiten. Allerdings bestehen hier bisher noch keine geeigneten Prüfmethode zur Messung der Leistung, bzw. sind solche noch nicht festgelegt worden. Mit dem Projekt „ReTyre“ wurden wissenschaftlich fundierte und kosteneffektive Methoden zur Klassifizierung von runderneuten Lkw-Reifen untersucht. Ziel war unter anderem die Entwicklung eines computergestützten Simulationswerkzeuges, das Vorhersagen der Eigenschaften runderneuerter Lkw-Reifen in Bezug auf Rollwiderstand, Nasshaftung und Geräusch ermöglichen soll (ReTyre 2014) und damit den Prüfaufwand auf ein umsetzbares Maß reduzieren würde. Nach Auskunft des BRV soll zunächst nur eine Kennzeichnung von runderneuten Reifen der Klasse C3 (schwere Nutzfahrzeuge) eingeführt werden. Hier sollen in den Größen von 17,5 Zoll aufwärts, welche etwa 95 % des Marktes abdecken, etwa 10–15 Dimensionen fokussiert werden. Für den Pkw-Bereich scheinen derartige Bestrebungen, sicherlich auch aufgrund der aktuell geringen Relevanz, nicht zu bestehen.

Die fehlende Möglichkeit des Reifenlabelings führt zu einer vermeintlichen Benachteiligung von runderneuten Lkw-Reifen hinsichtlich der Förderkonditionen des De-minimis-Förderprogramms des Bundesamtes für Güterverkehr. Mangels Rollwiderstands- und Geräuschemissionswerten können runderneuerte Lkw-Reifen bei der Fördermaßnahme 1.9 des De-minimis-Programms nur bis zu 50 % bezuschusst werden, während es bei Neureifen mit entsprechender Energieeffizienzklasse bis zu 80 % sind. Der BRV misst diesem Umstand jedoch nur eine untergeordnete Bedeutung zu, da die hohen Förderquoten von 80 % für Neureifen in der Praxis nur in sehr wenigen Fällen tatsächlich zum Tragen kommen und damit kaum praktische Relevanz haben.

8.4.3.3 Hürden der Runderneuerung

Als Haupthürden für die Runderneuerung bzw. deren Ausweitung wurden von den Teilnehmern der Umfrage Hoyer et al. (2020a) folgende Angaben gemacht:

- ▶ Grundsätzlich besteht ein hoher Wettbewerbs- und insbesondere Preisdruck durch Reifen-Importe aus dem außereuropäischen Ausland. In diesem Zusammenhang hat die Europäische Kommission ab November 2018 vorläufige Antidumpingzölle auf bestimmte Lkw- und Bus-Reifen mit Ursprung in China eingeführt (Verordnung (EU) 2018/683)³⁴. Gerade im Pkw-Bereich sei jedoch die Preisdifferenz zu günstigen Neureifen zu gering, um eine ausreichende Nachfrage zu erzeugen.
- ▶ Die Runderneuerung erfordert einen hohen Aufwand bei der Wareneingangskontrolle und Qualitätsbewertung der Altreifenkarkassen. Die aufwändige Technik zur Qualitätsprüfung, beispielsweise Shearografie, Röntgenverfahren oder Nagellochdetektion, machen das Verfahren entsprechend kostenintensiv und steigern den Preisdruck weiter.
- ▶ Nach Auskunft der Firma Reifen Rigdon bedarf es einer Steigerung des Automatisierungsgrades, um die Wettbewerbsfähigkeit der Runderneuerung zu verbessern. Der bisher relativ geringe Automatisierungsgrad führt zu einem hohen Anteil manueller Arbeit, besonders bei der Sortierung und Qualitätsprüfung der Altreifen.

Im Pkw-Bereich stehen einer verstärkten Runderneuerung vor allem folgende Hürden im Weg:

- ▶ Sehr großes Spektrum an Reifendimensionen (Größenvielfalt), auch herstellerübergreifend innerhalb einer spezifischen Reifengröße, was u. a. einen hohen Sortieraufwand und Investitionsaufwand für entsprechende Vulkanisationswerkzeuge nach sich zieht. Die Firma Rigdon regt an, die Maße von Neureifen sollten vereinheitlicht werden, da schon wenige Millimeter Unterschied den Aufwand deutlich erhöhen.
- ▶ Mangelnde Akzeptanz bei Verbraucher*innen und fehlende Empfehlung durch den Handel.
- ▶ Fehlendes Know-how in Bezug auf Gummimischungen mit Silika-Technologie sowie Multicompound-Lauflächen, was sich in einem Leistungsdefizit gegenüber Neureifen niederschlägt.
- ▶ Schlechte Verfügbarkeit geeigneter Karkassen durch
 - schlechte Qualität von Karkassen, die nicht zur Runderneuerung geeignet sind. In diesem Zusammenhang wurde vermehrt gefordert, dass Karkassen von Neureifen bereits von vornherein in ihrer Konstruktion für eine Runderneuerung ausgelegt sein müssen, etwa im Hinblick auf die ertragbare Verformung und Einfederungszyklen),
 - aufwändige Sortierung der Karkassen bei vorgelagerten Akteuren, sowie vermeintlich geringe Ankaufpreise der Karkassen durch die Runderneuerungsfirmen, was einen

³⁴ Verordnung (EU) 2018/683 der Kommission vom 4. Mai 2018 zur Einführung eines vorläufigen Antidumpingzolls auf die Einfuhren einer für Omnibusse und Kraftfahrzeuge für den Transport von Waren verwendeten Art bestimmter neuer oder runderneuerter Luftreifen aus Kautschuk mit einer Tragfähigkeitskennzahl von mehr als 121 mit Ursprung in der Volksrepublik China und zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) 2018/163

Export der Reifen attraktiver werden lässt. Damit einhergehend eine vermeintlich geringere Sortierung der Reifen im Vergleich zu EU-Nachbarländern.

Tabelle 71 gibt einen Überblick wie hoch die Unternehmen den Anteil der grundsätzlich für eine Runderneuerung geeigneten Altreifen von den bei ihnen anfallenden Mengen einschätzen.

Tabelle 71 Anteil der grundsätzlich für die Runderneuerung geeigneten Altreifen bei den Umfrageteilnehmenden in Hoyer et al. (2020a)

Firma	Reifen allgemein	Pkw-Reifen	Lkw-Reifen
Reifenhandel, -service			
Firma 5			40 %
Altreifenhandel			
Ulf Claushallmann	5 %		
Runderneuerung			
Firma 16			65 %
Firma 17		75 %	75 %
Verwerter			
Reine Zerkleinerung (Shreds, Granulate Mehle)			
Firma 2	30 %	40 %	20 %
DANNINGER OHG	5 %		5 %
HRV GmbH	20 %	20 %	10 %
KARGRO GROUP		10 %	50 %
Firma 11	5 %		5 %
Zerkleinerung und Verwertung			
Firma 6	5 %	5 %	
MRH GmbH			45 %

8.4.4 Herstellung von Sekundärprodukten auf Granulat- und Feinmehlbasis

Die stoffliche Verwertung von Altreifen zu Produkten erfolgt überwiegend in Form von Granulaten (1–10 mm), Pulvern (< 1 mm) und Feinmehlen (< 0,5 mm). Die Masse der in der Umfrage Hoyer et al. (2020a) erfassten, diesbezüglichen Anwendungen summiert sich auf 240.000 t pro Jahr³⁵. Der Anteil von Pulvern und Feinmehlen an dieser Masse kann aus den Angaben nicht klar abgegrenzt werden, wird jedoch auf etwa 20.000 t abgeschätzt. Nach den Daten der GAVS beträgt die Gesamtmasse der in Form von Granulat und Feinmehl verwerteten Altreifen 251.000 t in 2019 (GAVS 2019).

8.4.4.1 Verwertbarkeit von Altreifen

Nicht alle Altreifen eignen sich grundsätzlich für ein stoffliches Recycling. Gemäß den Kriterien der Norm CEN/TS 17045:2020 für die Auswahl von Altreifen zur Verwertung werden solche Altreifen als grundlegend ungeeignet bewertet,

- die von Halden stammen, bei denen sie mit anderem Abfall vermischt waren,
- die teilweise verbrannt sind bzw. mit durch Feuer gebildeten Abbauprodukten kontaminiert sein können,

³⁵ Es ist wahrscheinlich, dass Altreifenmaterial hier mehrfach erfasst wurde, indem z. B. Granulate der einen Firma als Basis für Produkte einer zweiten Firma dienen. Weiterhin könnten die Angaben auch importierte Rezyklate umfassen.

- die durch Fette oder Öle kontaminiert sein könnten,
- die Polymerfüllungen, Gele, Klebstoffe oder nicht-vulkanisierte Werkstoffe enthalten.

Zu letztgenanntem Punkt zählen insbesondere sogenannte Seal-, Runflat und Silent-Reifen. Die sogenannten Seal-Reifen enthalten ein Dichtmittel, welches im Falle einer Penetration des Reifens die Schadstelle abdichtet. Diese Dichtmittel können bei der Granulierung zum Verkleben von Anlagenteilen oder des Granulats, und sogar zu Bränden in den Granulieranlagen führen. Die Silent-Reifen, bei denen eine schallabsorbierende Beschichtung auf der Innenseite der Reifenlauffläche eingeklebt wird, führen zum Eintrag von potentiell störenden Fremdstoffen. Gleiches gilt für einen Teil der Runflat-Reifen, wenn für die Verstärkung artfremde Werkstoffe³⁶ eingesetzt werden.

8.4.4.2 Granulatbasierte Anwendungen

Den mit Abstand größten Anteil an der stofflichen Verwertung von Altreifen nehmen Produkte auf Granulatbasis ein. Die Granulatgröße liegt im Bereich von etwa 0,5 bis 7 mm, mit einem Schwerpunkt bei etwa 2 bis 4 mm. Typische Produkte aus Altreifengranulaten sind Mattensysteme wie Sportböden, Antirutsch-, Bautenschutz- oder Dämpfungsmatten (Schall- bzw. Schwingungsdämpfung), Fallschutzsysteme für Spielplätze oder Formteile, wie beispielsweise Einfassungen oder elastische Pflastersteine (vgl. Abbildung 24, links). Derartige Produkte zeichnen sich zumeist durch ihre Langlebigkeit und Witterungsbeständigkeit, hohe Elastizität und Dämpfungseigenschaften sowie Rutschfestigkeit in Verbindung mit einem niedrigen Preis aus. Die Granulate werden typischerweise mittels Polyurethan als Binder zu Formteilen gepresst. Der Polyurethananteil liegt im Bereich von ca. 3 bis 30 %, typischerweise in der Größenordnung von etwa 5 %. Die Granulate werden dabei vollständig durch das Polyurethan umschlossen, was eine zusätzliche Barriere gegen das potentielle Auslaugen und Ausgasen von Bestandteilen der Gummigranulate darstellt

Die Altreifengranulate substituieren je nach Anwendungsfeld die Primärrohstoffe Kautschuk (vor allem EPDM-, Natur- und Styrol-Butadien-Kautschuk), Polyurethan und Polystyrol. Für viele Anwendungsfelder erscheint eine Verwendung von Primärrohstoffen anstelle der Altreifengranulate, aufgrund des dann ungenügenden Preis-Leistungs-Verhältnisses, jedoch als kaum relevant. Die marktüblichen Kosten für Altreifengranulate liegen im Bereich von 0,20 €/kg. Demgegenüber sind für die entsprechenden Primärrohstoffe etwa 2 bis 3 €/kg zu veranschlagen³⁷. Genauere Angaben zu Energiebedarf und Kosten können Abbildung 31 entnommen werden.

8.4.4.3 Gummipulver- und -feinmehlbasierte Anwendungen

Einen potentiellen Wachstumsmarkt stellen Anwendungen auf Basis von Altreifenpulver oder -feinmehl dar (im Weiteren allgemein als Gummipulver bezeichnet). Diese Pulver werden beispielsweise bereits in der Baubranche/Bauchemie, z. B. als Füllstoffe für Beschichtungssysteme, oder als Ölbindemittel eingesetzt sowie in geringen Anteilen für die Herstellung von Neureifen (siehe Kapitel 8.4.5).

Mit den sehr feinteiligen Pulvern können weiterhin sehr hochwertige Werkstoffe hergestellt werden, die sich insbesondere durch ihre guten optischen und mechanischen Eigenschaften auszeichnen (vgl. Abbildung 24, rechts). Repräsentative Bauteile sind etwa die Produkte der

³⁶ Unter artfremden Werkstoffen sind solche zu verstehen, die nicht typischerweise für die Herstellung konventioneller Reifen eingesetzt werden.

³⁷ Neben den eigentlichen Rohstoffkosten für Kautschuk sind zusätzlich auch die Füllstoffe, Vernetzungschemikalien sowie die Kosten für die Mischungsherstellung zu berücksichtigen.

Firma matteco GmbH, Kappelrodeck. Zu Herstellung von Pulver ist jedoch ein zusätzlicher Prozessschritt, die Feinvermahlung von Granulaten, notwendig, der mit zusätzlichen Kosten und Energiebedarf verbunden ist (vgl. Abbildung 31). Der Preis für derartige Pulver steigt auf etwa 0,50 bis 0,70 Euro/kg an.

Die Pulver können geeigneten Werkstoffen, in Anteilen von bis zu 80 %, zugegeben werden. Dies können zum Beispiel Kautschuk, Polyurethan oder Thermoplaste sein. Der Anwendungsbereich derartiger Werkstoffe ist jedoch eingeschränkt. Der Einsatz von Gummimehl nimmt insbesondere negativen Einfluss auf das Ermüdungsverhalten der Werkstoffe. Daher erscheinen dynamisch hochbeanspruchte Produkte³⁸ grundsätzlich ungeeignet, da die Wahrscheinlichkeit eines vorzeitigen Bauteilversagens besteht. In diesem Zusammenhang sollten auch sicherheitskritische Anwendungen ausgeschlossen werden. Dies leitet sich auch daraus ab, dass bei Altreifenzyklaten grundsätzlich die Gefahr der Kontamination mit Fremdstoffen besteht, die insbesondere bei kautschukbasierten Werkstoffen schon in kleinsten Mengen zu störenden Wechselwirkungen führen und ein unerwartetes Bauteilversagen nach sich ziehen könnten.

Abbildung 24 Links: Fallschutzplatte aus Altreifengranulat (ca. 95 % Altreifenanteil)
Rechts: Bodenmatte aus Altreifenfeinmehl (70 % Altreifenanteil)



Quelle: links: PVP Triptis GmbH, rechts: PTM Mülsen GmbH

8.4.4.4 Kautschukbasierte Matrixwerkstoffe

Auf der Basis von Kautschuk können, unter anteiliger Nutzung von Gummipulvern, besonders hochwertige Werkstoffe hergestellt werden, die zudem hoch produktiv mit kontinuierlichen Verfahren verarbeitet werden können. Insbesondere die mögliche Covernetzung der Gummipulver mit der Kautschukmatrix ist hier hervorzuheben. Dadurch können sehr gute mechanische Eigenschaften der Werkstoffe erreicht werden. Diese chemische Reaktivität hat jedoch auch nachteilige Auswirkungen, dass die Vernetzungsreaktion leicht durch Fremdstoffe gestört werden kann. Insbesondere der Eintrag sogenannter Kautschukgifte muss Berücksichtigung finden. Unter Kautschukgiften werden verschiedene (Schwer-)Metallionen wie Eisen, Kupfer, Kobalt oder Mangan verstanden. Besonders Kupfer und Mangan können zu starken Störungen der Vernetzung bzw. einer Depolymerisation (Autoxidation) der Werkstoffe

³⁸ Unter dynamischer Beanspruchung ist allgemein eine Wechselbeanspruchung zu verstehen, etwa durch eine kontinuierliche zyklische Verformung. Typische Beispiele für dynamisch hoch beanspruchte Bauteile sind etwa Reifen, Simmerringe oder Scheibenwischer, oder allgemein auf Wechselbiegung beanspruchte Bauteile.

innerhalb kürzester Zeit (Monate) nach der Produktion führen. Diese Stoffe können beispielsweise bei der Zerkleinerung eingetragen werden.

Die Komplexität des Werkstoffsystems Kautschuk und die vielen Wechselwirkungen entlang der Fertigungskette stellen damit Hürden für diesen Weg des Recyclings dar und bedürfen einer großen Bandbreite an Know-how. Insbesondere für die meist mittelständischen Altreifenentsorger ist der Aufbau derartiger Kompetenzen schwer umsetzbar.

Altreifenrezyklate eignen sich nicht pauschal als Substitut für gesamte Bandbreiten von Elastomerwerkstoffen. Die Verwendung von Altreifenrezyklaten in Elastomerprodukten bleibt auf einen engen Bereich von Produkten beschränkt, deren Anforderungen grundsätzlich auf Basis der üblichen Werkstoffrezepturen von Reifen erreicht werden können. In Abhängigkeit des Rezyklatanteils können die Eigenschaften des Gesamtwerkstoffs nur noch in eingegrenzten Grenzen durch die Werkstoffrezeptur des Matrixwerkstoffs beeinflusst werden. Hier bestehen insbesondere Einschränkungen im Hinblick auf die Chemikalien- und Temperaturbeständigkeit, die Shore-Härte, dem Verformungs-, Reibungs-, Verschleiß und Dämpfungsverhalten. Grundsätzlich erscheinen daher primär solche Anwendungen relevant, die auf Basis von Natur- oder SBR-Kautschuk basieren. Jedoch müssen auch in diesen Fällen Einschränkungen hinsichtlich der Eigenschaften angenommen werden, da der Einsatz von Rezyklaten grundsätzlich einen negativen Einfluss ausübt. Besonders die hoch dynamisch belasteten Bauteile, wie etwa Simmerringe oder Scheibenwischer, sind daher ebenfalls tendenziell auszuschließen, ebenso wie sicherheitsrelevante Anwendungen.

Für den Einsatz in Kautschukmischungen eignen sich insbesondere Altreifenfeinmehle und -pulver, da besonders hochwertige Werkstoffe erhalten werden. Im Allgemeinen steigt mit dem Übergang von granulat- zu pulverbasierten Anwendungen jedoch die Komplexität der damit verbundenen Werkstoff- und Prozessentwicklungen stark an. Gleichzeitig handelt es sich bei vielen potentiellen Anwendungen um Nischenmärkte. Überdies existiert im Gummibereich kein Standardwerkstoff, vielmehr wird für jede Anwendung eine eigene Mischungsentwicklung durchgeführt. Entwicklungszeiten im Bereich von Jahren sind hier durchaus üblich. Bei einer geplanten Verwendung von Gummipulvern ist auch bei bestehenden Anwendungen grundsätzlich eine Anpassung des Werkstoffsystems und der zugehörigen Verarbeitungsprozesse notwendig. Das niedrige aktuelle Preisniveau für Primärrohstoffe sowie die unklare Entwicklung im Hinblick auf die PAK-Regelungen dämpft die Investitions- und Weiterentwicklungsbereitschaft und erschwert damit die Entwicklung neuer, hochwertiger Anwendungen für Altreifenrezyklate.

Referenzanwendungen

Um das Potenzial der kautschukbasierten Werkstoffe mit Gummipulver aufzuzeigen, hat die TU Chemnitz im Rahmen eines Forschungsprojektes eine Reihe exemplarischer Modellanwendungen umgesetzt (Hoyer et al. 2019). So wurden zunächst, basierend auf den Erkenntnissen der PAK-Messungen, eigene Werkstoffrezepturen entwickelt. Der Anteil der Gummipulver wurde dabei so eingestellt, dass die PAK-Grenzwerte sicher eingehalten wurden. Ferner wurden auch spezielle Niedrig-PAK-Ruße verwendet. Die Ergebnisse der PAK-Gehaltsbestimmung einiger hier entwickelter Werkstoffsysteme kann Tabelle 142 entnommen werden. Anschließend wurden die entwickelten Werkstoffrezepturen unter industriellen Bedingungen hergestellt (gemischt) und hinsichtlich einer optimalen Prozessfähigkeit weiter optimiert.

Die Mischungen wurden schließlich von Industriepartnern unter industriellen Bedingungen weiterverarbeitet. Als Referenzanwendungen wurden Gummiseile (Abbildung 25) und hochwertige Bahnenware (Abbildung 26) ausgewählt. Diese sind, hinsichtlich der

Materialbeanspruchung und den zugrundeliegenden Kapazitäten der relevanten Absatzmärkte, als besonders relevant bewertet worden.

Abbildung 25 Links: Durch Profilextrusion hergestellte Rundschnüre (Durchmesser 6 mm)
Rechts: Daraus hergestellte Gummiseile mit verschiedener Ummantelung



Quelle: eigene Bilder, Hoyer et al. (2019)

Der Werkstoff für die in Abbildung 25 dargestellten Produkte basiert auf Naturkautschuk (36 %), Gummimehl (40 %, Lkw-Ganzreifen, kryogen vermahlen, < 200 µm, Fa. MRH Mülsen), Niedrig-PAK-Ruß (11 %) sowie weiteren Komponenten. Die Mischungsherstellung erfolgte im industriellen Maßstab bei der Firma Polymer-Technik Elbe GmbH (Wittenberg). Die Extrusion der Rundschnüre erfolgte unter industriellen Bedingungen bei den Firmen EUG GmbH (Viernheim), Gummiwerk Meuselwitz GmbH sowie Lausitz Elaste GmbH (Rothenburg/Oberlausitz). Die Gummiseile wurden von der Firma Estoma e.Kfm., Markneukirchen hergestellt.

Abbildung 26 Durch kontinuierliche Vulkanisation (Rotocure) hergestellte Bahnenware
Links: Bahnbreite 1,25 Meter, Dicke 2 mm. Reißfestigkeit: 16 MPa, Dehnung; 440 %
Rechts: Bahnbreite 1,25 m, Dicke 0,6 mm, mit Textilarmierung



Quelle: eigene Bilder, Hoyer et al. (2019)

Der Werkstoff basiert auf Naturkautschuk (32 %), Gummimehl (30 %, Lkw-Ganzreifen, kryogen vermahlen, < 200 µm, Fa. MRH Mülsen GmbH), Niedrig-PAK-Ruß (17 %), Hilfsmittel zur Fließverbesserung (Vestenamer, Fa. Evonik Industries AG) sowie weiteren Komponenten. Die Mischungsherstellung erfolgte im industriellen Maßstab bei der Firma WAGU Gummitechnik GmbH (Warstein-Belecke). Die Fertigung der Bahnenware erfolgte unter industriellen Bedingungen bei der Firma PolymerTechnik Ortrand GmbH.

Die Mischungskosten (Rohstoffe inklusive Kosten für das Mischen) bewegten sich im Bereich zwischen 2,50 und 3 Euro/kg. Die Kosten für das Gummimehl betragen ca. 0,70 Euro/kg. Die damit verbundenen Einsparungen an Werkstoffkosten werden jedoch teilweise durch eine Verschlechterung des Verarbeitungsverhaltens, damit einhergehend der Produktionsgeschwindigkeit, relativiert. Das Gummimehl bewirkt insbesondere eine Verschlechterung der Fließfähigkeit (Anhebung der Viskosität), wodurch vordergründig die Produktionsgeschwindigkeit gedrosselt werden musste. Dieser Effekt war teilweise durch den Einsatz von Hilfsmitteln zur Fließverbesserung zu kompensieren, bedarf jedoch grundsätzlich weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu dessen Minimierung. Die Wirtschaftlichkeit wird dadurch, insbesondere bei der Produktion am Standort Deutschland, stark negativ beeinflusst.

Auch in Bezug auf das Vernetzungsverhalten sowie die Lagerstabilität der Mischungen wurden (negative) Auswirkungen durch das Gummipulver festgestellt. Die Verarbeitungszeit der Mischung wird verkürzt (schnellere Anvulkanisation), was mit zunehmender Lagerzeit noch verstärkt wurde.

Hinsichtlich der umsetzbaren Werkstoffeigenschaften, insbesondere der Härte³⁹, bestehen Grenzen, welche durch die SHORE-Härte der Gummipulver vorgegeben werden. In den Versuchsreihen konnten, ausgehend von einem Gummipulveranteil von 40 %, Werkstoffe mit einer SHORE-Härte von 60 bis 80 SHORE A hergestellt werden. Um die Bandbreite der möglichen Anwendungen zu erweitern, bedarf es daher weiterführender Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, etwa hinsichtlich einer Plastizierung der Gummipulver durch mechanische, thermische oder chemische Verfahren, mit dem Ziel, die SHORE-Härte der Pulver zu reduzieren.

Die Gummipulver bewirken ferner tendenziell eine Verschlechterung der Eigenschaften der Elastomere. Die zugrundeliegenden Mechanismen sind jedoch komplex und systemisch. Grundsätzlich werden alle relevanten Eigenschaften negativ beeinflusst, insbesondere die Zugfestigkeit, die Reißdehnung, der Weiterreißwiderstand, die Ermüdung und der Abrieb. Die erreichbaren Eigenschaften sind jedoch potentiell für eine Fülle von Anwendungen nutzbar. Gummipulver werden jedoch entsprechend nicht grundsätzlich als Substitut für Kautschuk einsetzbar sein und auf spezifische Anwendungen beschränkt bleiben. Ferner können Altreifenpulver aus Kompatibilitätsgründen nicht in alle Kautschuktypen eingemischt werden. Hier bedarf es weiterführender Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, um das Eigenschaftsniveau von Gummiwerkstoffen mit Altreifenrezyklaten weiter zu optimieren und relevante Einsatzbereiche zu identifizieren.

Fazit

Im Ergebnis der durchgeführten Entwicklungen kann festgestellt werden, dass die Herstellung von hochwertigen Produkten mit nennenswerten Anteilen von Altreifenpulvern unter Einhaltung der bestehenden PAK-Grenzwerte umsetzbar ist. Die Eigenschaften der hergestellten Produkte sind ihren Pendanten aus Primärrohstoffen in vielen Bereichen ebenbürtig. Im Falle der Gummiseile lag die Leistungsfähigkeit auf einem absolut vergleichbaren Niveau zur den bisher eingesetzten Gummifilamenten. Auch die Bahnenware zeigte Materialeigenschaften, die sich mit Primärrohstoffen vergleichen lassen. Die notwendigen Werkstoff- und Prozessentwicklungen sind jedoch vielfältig und komplex und müssen grundsätzlich für jede neue Anwendung durchgeführt werden. Weiterhin bestehen noch eine Reihe von Defiziten, insbesondere im

³⁹ Die sogenannte SHORE-Härte ist eine wichtige Werkstoffeigenschaft von Gummi und kann bei üblichen Werkstoffsystemen in weiten Bereichen durch die Mischungsrezeptur eingestellt werden.

Hinblick auf die Verschlechterung der Verarbeitungseigenschaften, welche durch weiterführende Arbeiten behoben werden müssen.

8.4.4.5 Polyurethanbasierte Matrixwerkstoffe

Einen guten Kompromiss stellen die auf Polyurethan basierenden Werkstoffe dar. Da diese nicht mit den Gummipulvern wechselwirken, ist die Werkstoffentwicklung deutlich einfacher umsetzbar. Die Eigenschaften erreichen jedoch meist nicht das Niveau der kautschukbasierten Werkstoffe. Defizite bestehen, gegenüber den kautschukbasierten Anwendungen, auch hinsichtlich der Verarbeitung der Werkstoffe. Die Polyurethan-Gummipulver-Gemische sind ein Gemisch aus Feststoff und Flüssigkeit und können daher meist nicht mit kontinuierlichen Verfahren verarbeitet werden. Aufgrund der hohen Adhäsionsneigung bestehen auch Schwierigkeiten beim Mischprozess sowie dem Handling der Mischungen dadurch, dass das Gemisch stark zum Anhaften an Oberflächen neigt. Ein weiterer Nachteil ist die Reaktion von Polyurethan mit der Oberflächenfeuchtigkeit der Gummipulver, bzw. mit Wasser insgesamt. Daher müssen, bei Produkten mit geschlossenen Oberflächen und höheren Polyurethananteilen (Orientierungswert ca. 30 %), die Gummipulver meist aufwändig vertrocknet werden, um Fehlstellen und Blasenbildung in den Produkten zu vermeiden.

8.4.4.6 Thermoplastbasierte Matrixwerkstoffe

Ein weiteres Einsatzfeld ist die Compoundierung von Gummimehlen mit thermoplastischen Polymeren (vgl. Kroll et al. 2018). Diese Compounds können in einzelnen Fällen die sogenannten thermoplastischen Elastomere (TPA) substituieren. Aufgrund der meist hohen Schmelztemperaturen (in der Regel über 180 °C) treten jedoch thermische Zersetzung der Gummimehle und die Freisetzung von gasförmigen Abbauprodukten auf (vgl. Kapitel 8.6.3). Neben einer Geruchsbelästigung bei der Verarbeitung und durch die Produkte selbst, bestehen auch hinsichtlich der potenziellen Gesundheitsgefährdung ähnlich gelagerte Fragestellungen, wie sie in Kapitel 8.4.6 im Kontext der Anwendung im Straßenbau beschrieben sind.

8.4.4.7 Zusammenfassung

Im Hinblick auf den potenziellen Entfall des Einsatzes von Gummigranulat als Einstreu auf Kunstrasenplätzen (vgl. 6.3.2) sowie dem starken Rückgang der Verwertung in Zementwerken, steht die Frage nach einer Kompensation der Verwertungskapazitäten. Im Bereich der granulatbasierten Produkte wurde bei Befragungen von entsprechenden Firmen eine grundsätzlich positive Wachstumsprognose abgegeben. Ein Unternehmen berichtete von zweistelligen Wachstumsraten ⁴⁰ in den vergangenen Jahren und prognostizieren auch einen derartigen Anstieg in den nächsten Jahren. Derartig hohe Wachstumsraten spiegeln sich jedoch nicht in den Zahlen der GAVS für den Gesamtmarkt wieder, wo die Verwertung von Altreifen in Form von Granulaten und Mehlen, im Zeitraum von 2012 bis 2019, akkumuliert um 32 % angewachsen ist. Dies entspricht einem Schnitt von +4,6 % in den vergangenen 7 Jahren sowie +3,1 % in 2018 und +6,4 % in 2019.

Weiterhin wurde von einer Delle in den Wachstumsraten bei Consumerprodukten, bedingt durch die Diskussion über PAK, berichtet. In diesem Zusammenhang wird ein signifikanter Impuls für eine Nachfragesteigerung erwartet, sofern neue, auf Migration basierende, Grenzwerte eingeführt würden.

Die Anwendungen auf Feinmehlbasis sind als wichtige und sinnvolle Ergänzung zu den bestehenden Verwertungskonzepten auf Basis von Granulaten anzusehen und einer der

⁴⁰ Genauere Angaben liegen nicht vor. Es wird abgeschätzt, dass sich die Zuwachsraten in der Größenordnung von 10 % bewegen.

wenigen potenziell verbleibenden Wachstumsmärkte für die stoffliche Altreifenverwertung. Mengenmäßige Bedeutung scheinen derartige Anwendungen jedoch nur unter bestimmten wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Rahmenbedingungen erreichen zu können. Eine kurzfristige, mengenmäßig bedeutsame Ausweitung scheint, bedingt durch den umfangreichen Entwicklungsaufwand, grundsätzlich nicht umsetzbar. Vor allem im Bereich des Know-how-Transfers bestehen hier wesentliche Chancen zur Stützung derartiger Entwicklungen, Verkürzung der Entwicklungszeit und Reduktion der Entwicklungskosten.

8.4.5 Einsatz von Altreifenrezyklat zur Herstellung von Neureifen

Eine Rückführung der Rezyklate in neue Reifen ist nur eingeschränkt möglich, denn Elastomere sind ein empfindlich reagierendes Ergebnis der ihrer Mischungszusammensetzung. Fremde Bestandteile führen leicht zu störenden Wechselwirkungen bei der Vernetzung der Kautschukmischungen, der sogenannten Vulkanisation, weshalb die chemische Zusammensetzung sowie der Grad an Verunreinigung und Alterung der eingesetzten Rezyklate ausschlaggebend ist. Altreifenrezyklate sind jedoch ein Vielstoffgemisch, dessen Zusammensetzung nicht genau spezifiziert werden kann. Die Vielfalt der Reifenkomponenten sowie deren hersteller- und modellspezifischer Rezepturen verwehrt eine rezepturreine Auftrennung. Auch Raumehl aus der Runderneuerung (Material, das durch das Abrauen der Laufflächen entsteht) kann nicht notwendigerweise als sortenrein betrachtet werden. Die Laufflächen moderner Reifen sind heute teils aus mehreren untereinander bzw. nebeneinanderliegenden Mischungen zusammengesetzt (sog. Cap-and-Base- bzw. Multicompound-Technologie, z. B. Reifen „Aplus T706“).

Zur Rückführung in Neureifen werden priorisiert innerbetriebliche Produktionsreststoffe verwendet. In Bezug auf Altreifenrezyklate kommen darüber hinaus überwiegend Feinmehle, und replastiziertes Material (sog. Reclaim) zum Einsatz. Beim Reclaim-Prozess wird das Material unter hohen thermischen und mechanischen Beanspruchungen wieder in einen kautschukartigen, bedingt fließfähigen Zustand gebracht. Dabei werden, neben den Vernetzungsstellen, auch eine Reihe von Makromolekülen gespalten, weshalb das Material grundsätzlich nicht mehr das Eigenschaftsniveau von Primärware erreichen kann. Dieser Prozess kann ggf. durch Chemikalien unterstützt werden, vordergründig mit dem Ziel, priorisiert nur die Vernetzungsstellen zu spalten. Devulkanisationsverfahren zielen schließlich auf eine möglichst selektive Spaltung der Vernetzungsstellen ab, wofür entsprechende Chemikalien verwendet werden. Devulkanisationsverfahren haben jedoch, in Abgrenzung zu den Reclaim-Verfahren, keine wesentliche Praktische Bedeutung erlangt. Dies liegt zum einen in der „Kontamination“ des Werkstoffs mit einer zusätzlichen Chemikalie und deren Reaktionsprodukten wie auch einer ungenügenden Wirtschaftlichkeit begründet.

Die Art und Menge des zur Produktion von Neureifen eingesetzten Materials hängt, neben einer Reihe weiterer Faktoren, entscheidend vom jeweiligen Fertigungsprozess, der zugrundeliegenden Kautschukmischung sowie der Beanspruchung der jeweiligen Reifenkomponente ab. Weiterhin existiert im Gummibereich kein „Standardwerkstoff“, so dass bei der Einführung von Rezyklaten grundsätzlich jede Reifenkomponente eine Anpassung des Werkstoffsystems und der zugehörigen Verarbeitungsprozesse notwendig ist. Genauere Erkenntnisse sind kaum zu erlangen. Es wird ferner auf Kapitel 8.4.4.4, *Kautschukbasierte Matrixwerkstoffe* verwiesen.

Grundsätzlich kommen Feinmehle unterschiedlicher Art (z. B. Lkw-Lauffläche oder Ganzreifen) in verschiedenen Korngrößen (meist kleiner 200 oder 400 µm) oder Reclaim-Material zum Einsatz.

Ein besonders relevantes Material zur Rückführung in Reifen sind Raumehle von Lkw-Lauflächen, die meist aus der Runderneuerung stammen. Sie zeichnen sich durch einen besonders hohen Naturkautschukanteil aus und sind frei von Textil und Stahl. Weiterhin enthält Raumehl keinen potentiell störenden Butylkautschuk (IIR), welches bei Ganzreifenrezyklat durch den Innerliner vorhanden ist. Die anteilige Zugabe von Lkw-Lauflächenrezyklat zu einer Kautschukmischung führt, in Angrenzung zu Rezyklat derselben Korngröße aus Lkw- oder Pkw-Ganzreifen, tendenziell zu den besten mechanischen Eigenschaften (Hoyer et al. 2020b).

Häufig werden Rezyklate beispielsweise für die Laufläche oder die Seitenwand eingesetzt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass nicht für alle gummibasierten Reifenkomponenten der Einsatz von Rezyklat möglich ist.

Der Einsatz von Rezyklat übt grundsätzlich Einfluss auf die gesamte Fertigungskette sowie die mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe aus. Rezyklat führt zu einer Anhebung der Viskosität der Mischungen, was beispielsweise durch den Einsatz von Reclaim abgemildert werden kann. Die Rezyklate können, etwa durch wechselseitige Diffusion von Chemikalien, zu einer Beeinflussung der Vernetzungsreaktion führen und diese unvorteilhaft beschleunigen oder gar stören. Zuletzt können auch die mechanischen Eigenschaften, wie Abrieb, Ermüdung, Weiterreißwiderstand, Alterungsbeständigkeit usw. in systemischer Weise beeinflusst werden. Der Verfahrens- und Werkstoffoptimierung sind hier entsprechend klare Grenzen gesetzt, da sie auf vielen Einzelkompromissen beruht und die gesamte Prozesskette umfasst. Berücksichtigt man zudem, dass der größte Anteil des kumulierten Energieaufwands (ca. 96 %) im Leben eines Reifens auf die Nutzungsphase entfällt wird leicht ersichtlich, dass bereits kleinste prozentuale Verschlechterungen, beispielsweise des Rollwiderstands, die Gesamtökobilanz über den Lebenszyklus gravierend beeinträchtigen können. So kann sich das Recycling unter Umständen sogar negativ auf die Gesamtbetrachtung auswirken.

Angaben zum Recyclinganteil sind in der Literatur generell kaum zu finden:

Kleemann (1982, Kapitel 23.1) erwähnt 5–10 phr (per hundred Rubber) Gummimehl, was etwa einem Anteil von 2–5 % in einer einzelnen Reifenkomponente entspricht⁴¹. Ferner wird angegeben, dass sich der Einsatz von Gummimehl besonders in Lauflächen- und Seitenwandmischungen anbietet.

Röthemeyer (2013 Kapitel 19) nennt die Obergrenze für den Gummimehlgehalt in Reifen, unterhalb derer der Verlust an Eigenschaften akzeptabel bleibt, bei im Mittel ca. 1 bis 3 %. Es ist hier davon auszugehen, dass sich diese Angabe auf den ganzen Reifen bezieht.

Bridgestone bewirbt sein Reifenmodell „ECOPIA“ mit einem 5 % Altreifenrezyklat in der Lauflächenmischung.

Ein Anteil von 5 % wird schätzungsweise als die derzeitige Obergrenze der Beimischung von Altreifenrezyklat **in eine einzelne Reifenkomponente** angenommen. Dementsprechend erscheint die Angabe von Röthemeyer (2013) mit 1 bis 3 % bezogen auf den gesamten Reifen (der Mittelwert des Rezyklatanteils aller Einzelkomponenten) ebenfalls als relevant. Für weniger anspruchsvolle Anwendungsgebiete, etwa für Baustellenfahrzeuge, könnten jedoch im Einzelfall ggf. auch höhere Anteile realisiert werden.

Ausgehend von einer mittleren Recyclingquote von 2 %, ergibt sich mit den Zahlen für den Ersatzbedarf an Reifen gemäß GVAS (538 kt für 2019, siehe Tabelle 70) eine Masse von 10.800 t bei der Neureifenproduktion eingesetztes Altreifenmaterial.

⁴¹ Eine genaue Umrechnung der pauschalen Angabe „phr“ in Prozent lässt sich ohne Kenntnis des genauen Rezeptes nicht realisieren.

Es erscheint subjektiv grundsätzlich umsetzbar, dass eine Verdopplung der bisherigen Recyclingquoten im Neureifenbereich umsetzbar wäre (in der Größenordnung von 5 % Recyclinganteil bezogen auf den Gesamtreifen). Die damit verbundenen Investitions- und Entwicklungskosten sowie die möglichen Einbußen in der Leistungsfähigkeit von Reifen sind jedoch kaum abschätzbar. Auch das aktuelle Preisniveau von Primärrohstoffen wirkt in diesem Zusammenhang hemmend. Insgesamt ist das Potenzial des closed-loop Recyclings von Altreifen im Verhältnis zum Gesamtabfallaufkommen gering.

8.4.6 Einsatz von Altreifenrezyklat im Straßenbau

8.4.6.1 Allgemeines

Bitumen für den Einsatz im Straßenbau kann durch Zugabe von Modifikatoren (Polymeren) in seinen Eigenschaften verbessert werden. Man spricht in diesem Fall von polymermodifiziertem Bitumen. Laut Wilhelm (2018) werden ca. 25 % des gesamten für den Straßenbau verwendeten Bitumens modifiziert. Nach Eurobitume (2019) wurden 2018 in Deutschland 1,67 Mio. t Bitumen für den Straßenbau verbraucht. Unter der Vielzahl von potenziellen Modifikationen ist auch Gummimehl bzw. -pulver grundsätzlich dazu geeignet, eine Verbesserung der Eigenschaften von Bitumen zu erreichen. In diesem Fall wird von einem gummimodifizierten Bitumen gesprochen. Typische Anteile von Altreifenrezyklaten in Bitumen erstrecken sich laut CTS Bitumen GmbH (2015) von 6 bis 45 Masse-%, wobei 12 % als Standard genannt werden. Die Gummimodifizierung von Bitumen liefert nach bisherigen Erkenntnissen Vorteile in Hinblick auf das Tieftemperatur- und Alterungsverhalten von Asphalt sowie die Lärmemission (Wilhelm 2018, Kraft und Wellner 2017). Laut BiCon AG (2003) ist der Einsatz von Altreifenrezyklaten besonders in den USA und Schweden sehr verbreitet. Hier erfolge in der Deckschicht des Straßenbelags üblicherweise eine Zumischung von 5 % Altreifenrezyklat.

Den Vorteilen stehen jedoch eine starke Erhöhung der Viskosität, was zur Überlastung von Pumpen und Leitungen führen kann, sowie eine mangelnde Lagerstabilität, bedingt durch Segregation der Gummibestandteile, insbesondere bei erhöhten Lagertemperaturen, gegenüber. Falls der Viskositätsanstieg nicht begrenzt wird, kann der Totalausfall von Verarbeitungs- und Mischequipment die Folge sein. Dem Viskositätsanstieg kann beispielsweise durch Additive oder einer Plastizierung⁴², etwa durch eine partielle Devulkanisation (Klein 2020), des Altreifengummis vorgebeugt werden. Der geringeren Lagerstabilität kann durch Rühren begegnet werden. Die oben erwähnten Probleme können auch durch Anwendung des trockenen Prozess⁴³ vermindert werden, wofür sich nach Branchenauskunft insbesondere devulkanisiertes Gummimehl eignet.

Nach Aussage von Kraft und Wellner (2017) liegt der optimale Gummimehlanteil im Bindemittel (Bitumen) bei knapp unter 15 Masse-%. Der Einfluss der Gummimodifizierung ist in Tragschichtgemischen größer als in Deckschichtgemischen. In Tragschichten kann durch den Einsatz gummimodifizierter Asphalte eine Schichtdickenreduzierung erreicht werden.

Eine Hürde für den Einsatz von Altreifenrezyklaten im Straßenbau in Deutschland besteht dahingehend, dass die gegenwärtigen Regelwerke und Normen Gummi-Bitumen-Gemische nicht berücksichtigen. Als einziges Bundesland verfügt Bayern über ein entsprechendes Regelwerk (Staatsministerium des Innern, 2010), dessen Anwendung den Autobahndirektionen und den

⁴² Unter Plastizierung ist allgemein die Rückführung in einen kautschukartigen, Zustand zu verstehen. Dieser zeichnet sich insbesondere durch eine Verbesserung der Fließfähigkeit des Materials aus.

⁴³ Für die Modifikation des Asphalts können der sogenannte trockene Prozess, bei dem das Gummimehl (mit Additiven) direkt mit dem Gestein und nichtmodifizierten Bitumen im Asphaltmischwerk vermischt wird, sowie der nasse Prozess, bei dem zunächst eine Vormischung von Gummimehl und Bitumen erfolgt, zum Einsatz kommen.

staatlichen Bauämtern als technische Mindestbedingung in geeigneten Bauverträgen empfohlen wird. In den anderen Bundesländern werden gummimodifizierte Asphalte daher, in Ermangelung entsprechender Grundlagen, in Ausschreibungen nicht berücksichtigt bzw. explizit gefordert.

8.4.6.2 Emissionen bei der Verarbeitung von gummimodifiziertem Bitumen

Durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurden Bedenken hinsichtlich der Bildung und Ausgasung potenziell gesundheitsgefährdender Abbauprodukte bei der Verarbeitung des gummimodifizierten Bitumens geäußert. Laut FGSV (2003) kann es beim Erhitzen von Gummi-Bitumen-Gemischen auf über 170 °C zur Bildung und Freisetzung von Dämpfen und Aerosolen kommen (vgl. Kapitel 8.6.3). Beim Einbau von Gummi-Bitumen-Gemischen traten laut FGSV (2003) vereinzelt Reizerscheinungen der Schleimhäute bei Arbeitern auf, für welche als Ursache die Bildung schwefelorganischer Verbindungen, als Folge der thermischen Zersetzung des Gummis, vermutet wurden. Ein analytisches Screening während einer Einbaumaßnahme hat in der Folge nicht quantifizierbare Spuren einer Emission von Schwefeldioxid und Benzothiazol festgestellt. Ferner wird auf eine Studie verwiesen (HHS 2001), welche für Gummi-Bitumen-Gemische, ebenfalls die Anwesenheit von Benzothiazol bestätigt und eine, im Vergleich zu konventionell hergestelltem Bitumen, höhere Emission von benzollöslichen Stoffen, polyzyklischen Aromaten und schwefelorganischen Verbindungen fand. An dieser Stelle bleibt jedoch offen, ob die Art und Menge der freigesetzten Stoffe für derartige Reizerscheinungen verantwortlich sind oder aber überhaupt ein grundsätzliches Gesundheitsrisiko darstellen. FGSV (2003) verweist ferner auf eine Studie (Azizian et al. 2003), die im Sickerwasser von gummimodifiziertem Asphalt eine Mischung aus organischen und metallischen Verunreinigungen fand. Neben Benzothiazol und 2(3H)-Benzothiazolon wurden Quecksilber und Aluminium „in potenziell schädlichen Konzentrationen“ ausgelaugt. Diesbezüglich erscheint es jedoch nicht plausibel, inwiefern Quecksilber und Aluminium in Bezug zu Reifenrezyklaten stehen, da keines dieser Metalle einen zur Reifenherstellung verwendeten Stoff darstellt. Diesbezüglich erscheinen die hier durchgeführten Toxizitätstests als auch die Aussagen hinsichtlich der „potenziell schädlichen Konzentrationen“ der Substanzen im Sickerwasser als irrelevant und werden an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

Unter der Voraussetzung einer maximalen Verarbeitungstemperatur von 170 °C gibt Wilhelm (2018) an, dass nach vorliegenden Erkenntnissen keine Unterschiede in der Exposition von Dämpfen und Aerosolen im Vergleich zu herkömmlichen Asphalten auftreten. Die Emissionen im Asphaltmischwerk lägen in derselben Größenordnung wie bei der Herstellung und Wiederverwendung von konventionellen Asphalten. Seit 2008 ist in Deutschland der Einbau von Gussasphalt bis maximal 230 °C zulässig. Walzasphalt, der klassische Straßenbaustoff, wird mit einer Einbautemperatur bis etwa 180 °C verarbeitet. Typische Lagertemperaturen für Asphalt liegen im Bereich von mindestens 170 °C, während und nach dem Mischvorgang können Temperaturen von bis zu 190 °C vorliegen.

Durch Modifikatoren kann eine Absenkung der Verarbeitungstemperatur von Walz- und Gussasphalt um 20 bis 40 °C ermöglicht werden (Rühl 2009). Dieser temperaturabgesenkte Einbau könnte die Verarbeitung von gummimodifizierten Walzasphalt unterhalb der als kritisch beschriebenen Temperaturgrenze von 170 °C ermöglichen. Gogolin (2019) gibt Einblick in die Ergebnisse der Verwendung derartig modifizierter Bitumen zu Herstellung einer industriell genutzten Logistikfläche. Es wurde eine Referenzfläche hergestellt und geprüft, welche 18 % Gummimehl im Bitumen der Deck- und Binderschicht enthielt. Durch den Einsatz von ca. 5 %⁴⁴

⁴⁴ Prozentangabe bezieht sich auf den Gummimehlanteil (18 % additiviertes Gummimehl im Bitumen)

Vestenamer im Gummimehl (entspricht 0,9 % bezogen auf den Bitumenanteil der Asphaltmischung) konnte die Einbautemperatur auf unter 170 °C abgesenkt werden. Das Asphaltmischgut ließ sich maschinell problemlos einbauen bzw. verdichten. Auffälligkeiten, wie störende Geruchsbildung oder Anhaftungen des Asphaltmaterials an Einbaugeräten oder Ladeflächen, während des Einbaus konnten nicht festgestellt werden. Die erstellte Fläche zeichnete sich durch eine hohe Verformungsbeständigkeit und Kälteflexibilität aus.

8.4.6.3 PAK-Gehalt von Straßenbelag

In Deutschland regelt die Richtlinie RuVA-StB 01 die Verwertung von Ausbauasphalt⁴⁵ im Straßenbau. Dabei wird der Ausbauasphalt in Abhängigkeit seines PAK-Gehaltes⁴⁶ in folgende Klassen eingeteilt:

Tabelle 72 Einteilung von Ausbauasphalt in Klassen anhand seines PAK-Gehaltes

PAK-Gehalt (16 EPA PAK)	Einstufung
Maximal 10 mg/kg	Ohne Verunreinigungen
> 10 bis ≤ 25 mg/kg	Gering verunreinigt
> 25 bis ≤ 1.000 mg/kg (und Benzo(a)pyren < 50 mg/kg)	Pechhaltiger Straßenaufbruch
≥ 1.000 mg/kg (und Benzo(a)pyren ≥ 50 mg/kg)	Gefährlicher pechhaltiger Straßenaufbruch <i>Wird als gefährlicher Abfall eingestuft</i>

In Tabelle 73 wird berechnet, welchen überschlägigen Eintrag an PAK das Altreifenrezyklat im Asphalt hervorruft. Es ergibt sich ein Eintrag von überschlägig 0,5 bis 0,8 mg PAK pro kg Asphalt für die Summe der acht EPA PAK. Dies ist weniger als ein Zehntel des Grenzwertes, unterhalb dessen der Asphalt als frei von Verunreinigungen angesehen wird. Dementsprechend ist nicht anzunehmen, dass der Einsatz von Altreifenrezyklat im Straßenbau zu einem nennenswerten zusätzlichen Eintrag von PAK führt.

Tabelle 73 Berechnung des Eintrags an PAK durch Altreifenrezyklat

Eigenschaft	Wert
Bitumengehalt von Asphalt	5–8,5 %
Altreifenanteil im Bitumen	ca. 18 %
Altreifenanteil absolut im Asphalt	0,9–1,5 %
PAK-Gehalt Altreifen 16 EPA PAK, Maximum gemäß Tabelle 81, Pkw	77,1 mg/kg
Maximaler Eintrag an PAK in Asphalt	0,46–0,77 mg/kg

8.4.7 Devulkanisation und Reclaim

Bei Gummipulver handelt es sich um vernetzten Kautschuk und damit grundsätzlich um einen Feststoff. Bei Zugabe in eine Kautschukmischung können die Moleküle des Kautschuks und der

⁴⁵ Unter Ausbauasphalt werden mit Bitumen gebundene Mineralstoffe verstanden, die durch Aufbrechen oder Fräsen aus befestigten Schichten gewonnen wurden.

⁴⁶ „Die quantitative Analyse erfolgt am Bindemittel, das zuvor gemäß DIN 1996 extrahiert wurde. Der ermittelte PAK-Gehalt ist aufgrund der vorhandenen Bindemittelmenge auf die gesamte Mischgutmasse zu beziehen.“ Arbeitskreis Straßenbauabfälle Rheinland-Pfalz (2003)

Mehle kaum ineinander diffundieren, weshalb die Festigkeit derartiger Recyclingwerkstoffe meist negativ beeinflusst wird. Bei Zugabe zu viskosen Flüssigkeiten, wie etwa einer Kautschukmischung oder einer Thermoplastschmelze, wird außerdem die Viskosität des Gemischs oft stark erhöht und die Fließfähigkeit entsprechend verringert.

Um beispielsweise die Interdiffusion der Moleküle zu ermöglichen oder die Fließfähigkeit des Materials zu erhöhen, wird eine sogenannte Replastizierung des Gummimehls durchgeführt. Unter Replastizierung wird allgemein eine teilweise Rückführung des Materials in einen kautschukartigen (d. h. hochviskosen) Zustand verstanden. Dies kann allgemein durch thermische, mechanische oder chemische Bearbeitung des Gummis erfolgen, oder Kombinationen davon. Grundsätzlich ist das Ziel, die Vernetzungsstellen, meist Schwefelbrücken, der Makromoleküle wieder zu spalten. Allen Verfahren scheint jedoch weitestgehend gemein, dass sie kein Material erzeugen, das dem Primärrohstoff Kautschuk uneingeschränkt ebenbürtig ist, und dass die Wirtschaftlichkeit oft nicht gegeben ist.

Beim sogenannten Reclaim-Prozess (z. B. HSM-Verfahren der Watson Brown HSM GmbH) wird das Material unter hohen thermischen ($> 180\text{ °C}$) und mechanischen Beanspruchungen wieder in einen kautschukartigen Zustand gebracht. Dabei werden, neben den Vernetzungsstellen, auch eine Reihe von Makromolekülen gespalten (Reduktion der Molmasse). Das gewonnene Material kann daher tendenziell nicht mehr das volle Eigenschaftsniveau von Primärware erreichen, eignet sich aber für eine Reihe von Anwendungsfällen. Derartige mechanische Prozesse können zusätzlich durch Chemikalien unterstützt werden, vordergründig mit dem Ziel, priorisiert nur die Vernetzungsstellen zu spalten (thermo-chemische Verfahren). Devulkanisationsverfahren zielen schließlich auf eine selektive Spaltung der Vernetzungsstellen ab, wofür entsprechende Chemikalien, bei meist erhöhten Temperaturen und mäßiger mechanischer Beanspruchung, verwendet werden.

Als effektivste Chemikalie für die Devulkanisation von Reifenmaterial hat sich bisher Diphenyldisulfid (DPDS) herausgestellt (vgl. Saiwari 2015). Jedoch sind derartige Verfahren bisher meist nur im Labormaßstab durchgeführt worden. Auch Erkenntnisse zur Weiterverarbeitungsfähigkeit des so hergestellten Materials, insbesondere hinsichtlich der Wechselwirkung des DPDS sowie der Edukte der chemischen Reaktion mit dem späteren Basiswerkstoff, fehlen weitestgehend. Ausgehend vom hohen Preis der Chemikalie, etwa 5,83 US-\$ pro kg zu devulkanisierenden Gummis⁴⁷, ist jedoch nicht von einer ausreichenden Wirtschaftlichkeit auszugehen.

8.4.8 Pyrolyse

8.4.8.1 Grundlagen

Die Pyrolyse von Altreifen wird seit den 1970er Jahren erforscht und wurde seither mehrfach technisch umgesetzt (Pohl und Quicker 2018). International nutzen die meisten Anlagen Drehrohröfen (Banar 2015).

In der Pyrolyse wird organisches Material unter Sauerstoffausschluss verkohlt. Dabei werden die flüchtigen Bestandteile in die Gasphase überführt und es entsteht Pyrolysekoks, ein fester Rückstand aus Kohlenstoff und Asche. Aus dem Gas wird durch Kondensation Pyrolyseöl und Permanentgas gewonnen. Die chemische Zusammensetzung der Produkte und das Verhältnis zwischen den drei Produkten ist abhängig vom Inputmaterial und der Verfahrensführung (Pohl und Quicker 2018). Das Gas wird in der Regel direkt zur Erzeugung von Strom und Wärme für

⁴⁷ Der günstigste ermittelte Preis der Chemikalie beträgt 149,50 US-\$/kg [Oakwood Chemical]. Der benötigte Anteil der Chemikalie beträgt ca. 3,9 Masse-% vom Gummi (18 mmol pro 100 g Gummi), woraus sich Kosten für die Chemikalie von 5,83 US-\$ pro Kilogramm zu devulkanisierenden Gummis ergeben. Der Preis für Naturkautschuk bewegt sich bei unter 2 US-\$ pro Kilogramm.

den Prozess verwendet (Pohl und Quicker 2018). Das Pyrolyseöl hat ähnliche Eigenschaften wie Diesel, aber einen höheren Schwefelgehalt. Es wird als Rohölersatz in der chemischen Industrie eingesetzt.

Pyrolysekoks besteht zu 80–90 % aus dem in der Reifenherstellung zugegebenen Carbon Black (Industrieruß), sowie 1–3 % Schwefel und 10–15 % anorganische Inhaltsstoffe (Cardona et al. 2018). Liegt das Koks als feine Partikel vor, wird es auch als recovered Carbon Black (rCB) bezeichnet (Pohl und Quicker 2018). Carbon Black (CB) wird als Farbstoff und Gummifüllstoff eingesetzt, um die Härte und Widerstandsfähigkeit zu erhöhen. Hauptabnehmer von CB ist die Reifenindustrie (Ceresana 2020). Durch den hohen Anteil an Störstoffen im Vergleich zu CB aus Primärrohstoffen hat rCB ohne eine weitere Aufbereitung nicht die gleiche Wirkung und kann dadurch CB nicht gänzlich ersetzen (Cardona et al. 2018). Auch hinsichtlich weiterer eigenschaftsbestimmender Kriterien, wie etwa der spezifischen Oberfläche oder der Oberflächenaktivität, erscheinen rCB nicht mit den typischen Rußqualitäten, beispielsweise in der Neureifenproduktion, vergleichbar. Die Einsatzmöglichkeiten von rCB deutlich geringer sind und diese nicht als vollwertiger Ersatz von Industrieruß angesehen werden können. Ferner ist nicht auszuschließen, dass durch den Pyrolyseprozess zusätzliche PAK gebildet und in die Ruße eingetragen werden.

Alternativ kann das Pyrolysekoks auch zu Aktivkohle umgewandelt werden (Williams 2013). Hierbei ist jedoch ebenfalls zu hinterfragen, in welchem Umfang die ggf. eingetragenen Schwermetalle und weitere Stoffe, die Verwendbarkeit einschränken.

8.4.8.2 Verfahren – Unternehmen

Pohl und Quicker (2018) enthält eine Übersicht über die in Deutschland vorhandenen Anlagen und Unternehmen.

8.4.8.3 Halbtechnische Anlagen

Bis zur Insolvenz in 2015 wurde von der TPL GmbH in Hoyerswerda eine Anlage mit Drehrohrofen betrieben (Pohl und Quicker 2018).

Die Pyrolyx AG, München übernahm 2015 die cct Steglitz GmbH mit ihrer 2012 gebauten Pyrolyseanlage. Die Anlage wurde bis dahin im Batch-Betrieb gefahren (Pyrolyx 2015). Die Anlage wird als Produktionsstandort und Testanlage genutzt. Über die eingesetzte Anlagentechnik und die Anlagenkapazität gibt es keine Veröffentlichungen (Pohl und Quicker 2018). Im Konzernzwischenabschluss Juni 2018 werden hohe Energiekosten für den Standort Steglitz erwähnt (Pyrolyx 2018). Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass das entstehende Gas nicht ausreicht um den Prozess zu betreiben.

Im Herbst 2019 schlossen Pyrolyx und Continental eine Liefervereinbarung von rCB für die Reifenherstellung. Der Vertrag sieht einen Anstieg der Abnahmemenge auf 10.000 t/a rCB innerhalb von fünf Jahren vor (Pyrolyx 2019b). Pyrolyx hat in 2017 mit dem Bau einer industriellen Anlage in den USA begonnen, die 2019 fertiggestellt wurde und im Frühjahr 2020 in den Dauerbetrieb gehen sollte (Pyrolyx 2019, 2019a). Die Anlage hat eine Kapazität von 40.000 t/a Altreifen (Pyrolyx 2019a). Im Oktober 2020 musste das amerikanische Tochterunternehmen, welches die neue Anlage betreibt, Konkurs anmelden (Pyrolyx 2020).

8.4.8.4 Industrielle Anlagen

Derzeit gibt es nur eine industrielle Anlage zur Verwertung von Altreifen mittels Pyrolyse in Deutschland. Diese wird von der Pyrum Innovations AG in Dillingen/Saar betrieben. Die Anlage ist seit Mai 2020 im regulären Betrieb und hat eine Kapazität von 5.000 t/a Altreifengranulat (Boeckh 2020). Der Betrieb umfasst eine Altreifenrecyclinganlage, die Pyrolyseanlage und ein

BHKW. Derzeit wird die Anlage um ein Mahlwerk für die rCB-Aufbereitung erweitert (Boeckh 2020).

Die Recyclinganlage hat eine Kapazität von 10.000 t/a Altreifen. Die Reifen werden zerkleinert und der Textilanteil sowie der Stahldraht entfernt. Anschließend wird das Reifengummi in mehreren Schritten auf <6 mm granuliert. Es entstehen jährlich bis zu 7.000 t Gummigranulat, 2.500 t Stahl und 1.000 t Textilflusen (Boeckh 2020).

Die Pyrolyse findet in einem elektrisch beheizten vertikalen Wanderbettreaktor bei Temperaturen von 600-700 °C und einer Verweilzeit von 2,5-3,5 Stunden statt (Pohl und Quicker 2018). Im Reaktor gibt es keine beweglichen Elemente. Das Granulat wird in regelmäßigen Intervallen zugegeben und rieselt durch fünf Segmente, in denen die Heizelemente radial eingebaut sind, nach unten. Das Gas wird abgezogen und in einer separaten Einheit kondensiert. Pro Tonne Altreifengranulat entstehen in der Anlage 440 kg Koks, 400 kg Pyrolyseöl und 160 t Gas (Boeckh 2020).

Das Gas wird im eigenen BHKW verstromt und dient der Heizung des Reaktors. Nach der Anfahrphase ist die Anlage dadurch Energieautark und gibt Überschüsse an das Stromnetz ab (Pohl und Quicker 2018).

Das Koks hat ähnliche Korngrößenverteilung wie das Granulat und ist untermahlen zu grob, um als rCB einen guten Preis zu erzielen. Durch das Mahlwerk kann das Koks zukünftig je nach Kundenwunsch auf bis zu 7 µm zerkleinert werden (Boeckh 2020).

Hauptabnehmer für das Pyrolyseöl ist BASF, welche das Öl in der Kunststoffproduktion einsetzt. Im Rahmen des ChemCycling™-Projekts investiert der Konzern zudem 16 Mio. € in die Erweiterung der Pyrum-Anlage um zwei weitere Linien bis 2022 (Pyrum 2020).

Pyrum ist auch Partner im Projekt BlackCycle von Michelin, welches Wertschöpfungsketten für die Verwertung von Altreifen aufbauen und die vorhandene Technologie verbessern will. Das Projekt wird mit 12 Mio. € von der EU gefördert und läuft bis 2023 (Cordis 2020).

8.4.8.5 Bewertung

Wie eingangs beschrieben weisen die Pyrolyseprodukte höhere Störstoffgehalte auf als Produkte aus Primärrohstoffen. Schwefel- und Aschegehalt sowie organische Rückstände im rCB können sich beim Einsatz in der Reifengummiherstellung negativ auf die Werkstoffeigenschaften auswirken. Die Qualität der Pyrolyseprodukte wird dabei maßgeblich von der Verfahrensführung beeinflusst (Cardona et al. 2018).

Derzeit ist eine Bewertung der Pyrolyse hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile als Verwertungsweg für Altreifen nur schwer einzuschätzen, da sich noch kein Verfahren langfristig in Deutschland etabliert hat. Bisherige Versuche, die Altreifenpyrolyse als gewinnbringende Unternehmung durchzuführen, sind gescheitert.

Die Pyrolyse hat das Potenzial wertvolle Sekundärrohstoffe aus Altreifen zu gewinnen, für die es von Seiten der Kunststoff- und Reifenindustrie ein hohes Interesse gibt. Unternehmen wie BASF, Continental und Michelin planen durch den Einsatz von Pyrolyseprodukten den Recyclinganteil in ihren Produkten zu erhöhen (Cordis 2020, Pyrolyx 2019b, Pyrum 2020).

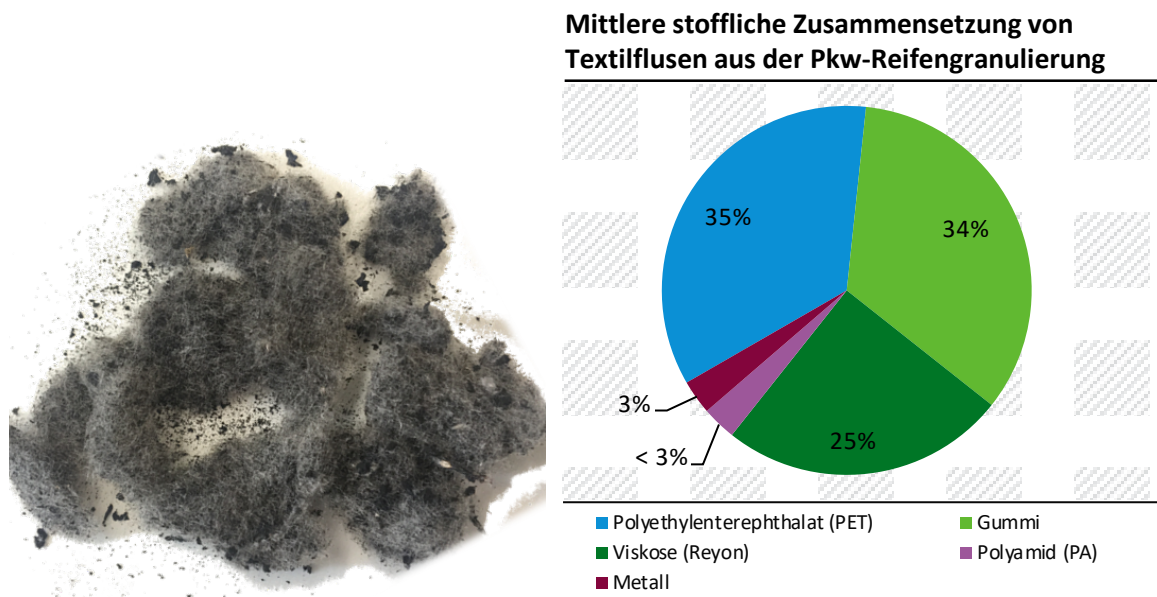
8.4.9 Textilanteile aus der Altreifenverwertung

Neben den Granulaten, fallen, insbesondere bei der Verwertung von Pkw-Reifen, auch große Mengen an Textilflusen an. Der mittlere Gehalt an Textilgewebe eines Pkw-Neureifens beträgt

etwa 4 %, der von Lkw-Reifen 1 % (vgl. Abbildung 12). Bezogen auf Altreifen⁴⁸, ergibt sich damit ein rechnerischer Textilanteil von 4,4 % für den Pkw-, sowie 1,1 % für den Lkw-Altreifen.

Weiterhin finden sich in den Textilresten der Altreifenverwertung typischerweise etwa 34 % Gummianhaftungen (vgl. Abbildung 27). Daraus ergibt sich ein überschlägiger Anteil von Textilresten inklusive Anhaftungen in der Altreifenverwertung von 5,9 % für Pkw-Reifen bzw. 1,5 % für Lkw-Reifen. Diese Werte können nun mit den Rechenwerten gemäß Tabelle 64 multipliziert werden. Es ergibt sich zunächst ein überschlägiger Anfall von Textilflusen von: Pkw: 24,2 kt (411 kt, 5,9 % Textilflusen), Lkw⁴⁹: 5,5 kt (94 kt, 5,9 % Textilflusen) sowie Lkw: 1,6 kt (108 kt⁵⁰, 1,5 % Textilflusen). Der Anteil des stofflichen Recyclings (251 kt/a, vgl. Tabelle 70, Pos. 14) an der Gesamtmenge an anfallenden Altreifen zur Entsorgung (571 kt/a, vgl. Tabelle 70, Pos. 8) beträgt jedoch nur etwa 44 %. In Summe wird damit ein überschlägiger Anfall von 13,8 kt Textilflusen pro Jahr bei der werkstofflichen Verwertung von Altreifen erhalten⁵¹. Diese Werte umfassen jedoch nicht alle anfallenden Reifentypen (z. B. Zweirad) und sind deutlich geringer, als die Angaben des Umweltbundesamtes (2020) in Höhe von 43 kt. Für diese Textilreste besteht bisher noch kein tragfähiges stoffliches Verwertungskonzept. Sie werden überwiegend energetisch verwertet.

Abbildung 27 Links: typische Textilflusen, wie sie bei der Granulierung von Altreifen anfallen Rechts: mittlere stoffliche Zusammensetzung der Textilflusen



Quelle: eigene Bilder/eigene Darstellung, Hoyer, Kroll (2019)

8.4.10 Herstellung von Einstreugranulaten für Kunstrasenplätze

Es existiert keine vollständige Erhebung über die Anzahl der Kunstrasenplätze in Deutschland. Die aktuellen Schätzungen werden in Kapitel 6.1.2 dargestellt.

⁴⁸ Ausgehend von einem mittleren Abrieb von 8,4 % (vgl. Tabelle 61, Pos. 4) entspricht ein Textilanteil eines Neureifen von 4 % damit einem Textilanteil von 4,4 % im Altreifen.

⁴⁹ Es wird hier davon ausgegangen, dass der Aufbau von Lkw-Reifen näherungsweise identisch zu Pkw-Reifen ist und daher auch derselbe mittlere Textilanteil vorliegt.

⁵⁰ Es erfolgte keine Berücksichtigung der runderneuten Reifen.

⁵¹ Summe von 31,4 kt/a für Pkw, Lkw und Lkw, multipliziert mit der mittleren Quote der werkstofflichen Verwertung (Granulierung) von Altreifen von 44 %.

Eine eindeutige Zuordnung zu Kunstrasenplätzen lässt sich aus den Angaben der Unternehmen gemäß Abbildung 20 nicht ableiten. Die Masse des Outputs an Einstreugranulaten für Kunstrasenplätze liegt im Bereich von 38-44 kt/a. Nachfolgend wird eine überschlägige Abschätzung des Marktes von Einstreugranulaten für Kunstrasenplätze vorgenommen:

Tabelle 74 Überschlägige Abschätzung des Marktes von Einstreugranulate

Position	Beschreibung	Wert	Mittelwert	Quelle (Wert)
1	Anzahl der Plätze	> 5.000	5.000	Siehe 6.1.2
2	Infill-Bedarf (Granulat)	3-5 kg/m ²	4 kg/m ²	Siehe 6.1.2
3	Lebensdauer	10-15 Jahre	12,5 Jahre	playground-landscape.com
4	Größe	4.050 -10.800 m ²	7.425 m ²	fussballtraining.de
5	Granulatmenge pro Platz ⁵²	Produkt Pos. 2,4	29,7 t	(12,2–54 t)
6	Granulatmenge gesamt	Produkt Pos. 1, 2, 4	148,5 kt	
7	Mittlerer Ersatzbedarf	Quotient Pos. 6/3	11,9 kt/a	

Unter Berücksichtigung der Mittelwerte der Literaturangaben leitet sich damit ein jährlicher Bedarf von 11,9 kt Granulat ab, wenn ausschließlich SBR-Granulat verwendet wird.

Es wird allgemein von einem jährlichen Zuwachs von 150 Großspielfeldern ausgegangen (Leers, 2020). Zusammen mit Pos. 5 ergibt sich daraus ein überschlägiger jährlicher Bedarf an Granulaten für die Neuerrichtung von Kunstrasenplätzen von 4,5 kt. In Summe wird der Markt für Granulate für Kunstrasenplätze damit überschlägig auf 16 kt/a abgeschätzt.

Bedingt durch die öffentliche Diskussion in Bezug auf PAK-Grenzwerte und anderweitige mögliche Gesundheitsgefahren, die von Einstreugranulaten ausgehen könnten, ist der Markt bereits stark rückläufig. Einzelne Unternehmen beziffern den Auftragsrückgang im letzten Jahr auf ca. 25 %. Im Januar 2019 hat die Europäische Chemikalien Agentur (ECHA 2020) eine weitreichende Beschränkung der bewussten Verwendung von Mikroplastik in Produkten, die in der EU bzw. im EWR in Verkehr gebracht werden, vorgeschlagen, deren Einführung jedoch noch nicht abschließend beschlossen wurde. Unter Mikroplastik werden dabei Partikel verstanden, die zwischen 0,1 und 5 mm groß sind und aus einer Mischung von Polymeren und funktionellen Additiven bestehen. Die Beschränkungen sollen sich (mit spezifischen Übergangsregelungen, die die Entwicklung neuer Alternativen umfassen soll) unter anderem auch auf den Sektor der polymeren Füllmaterialien beziehen, zu denen das Einstreugranulat für Kunstrasenplätze zu rechnen ist. Aufgrund der bereits geänderten Förderrichtlinien im Sportplatzbau ist die Verwendung von ELT-Granulaten in Kunstrasenneubauten in Deutschland fast vollständig eingestellt worden (siehe Kapitel 6.3.2).

8.4.11 Weiterführende Informationen, Normen und Regelungen

Ein Überblick über Normen mit Relevanz in Bezug auf die Entsorgung von Altreifen sowie deren Verwertung zu Produkten kann Anhang B.6 dieses Dokuments entnommen werden.

⁵² In Abgrenzung zu den hier ermittelten Werten gibt ECHA (2017) für einen typischen Fußballplatz (Florhöhe 60 mm) einen Infill-Bedarf von 110-120 t an, für Systeme mit einer stoßdämpfenden Einlage etwa 40 t.

8.5 Internationale Systeme der Altreifenentsorgung

8.5.1 Abgabenbasiertes System

Im abgabenbasierten System wird von einer staatlichen Stelle auf die in den Markt eingeführten Reifen eine Abgabe erhoben. Die erhobenen Abgaben fließen in einen Fonds, der von einer zentralen Stelle beaufsichtigt wird, und der die Gelder nach festgelegten Regeln an die beteiligten Unternehmen der Verwertungskette auszahlt.

Derzeit gibt es nur in Dänemark und in Kroatien abgabenbasierte Systeme zur Altreifenentsorgung.

8.5.1.1 Dänemark

In Dänemark wird auf jeden verkauften Reifen eine Abgabe erhoben, die dazu genutzt wird, die Sammlung von Altreifen und ihre Weitergabe an Verwertungsunternehmen zu bezuschussen. Die gesetzliche Grundlage bildet die *Verordnung über Gebühren und Subventionen für die Rückgewinnung von Reifen* (BEK Nr. 1347/2016, ab 01.2021 BEK Nr. 1660). Unter die Verordnung fallen alle Reifen für motorisierte Fahrzeuge.

Hersteller, Verkäufer und Importeure von neuen oder runderneuten Reifen müssen sich bei der dänischen Steuerbehörde Skatteforvaltningen (SKAT) registrieren und jedes Quartal die in Verkehr gebrachte Anzahl an Reifen nach Reifenart melden. Je Reifenart wird eine **Abgabe** erhoben, die zwischen 10 DKK (1,34 €)⁵³ und 255 DKK (34,26 €)⁵³ liegt (BEK Nr. 1347/2016). Für einen typischen Pkw-Reifen beträgt die Gebühr 25 Dänische Kronen (3,36 €)⁵³.

Ausgenommen von der Abgabepflicht sind runderneute Reifen aus dänischer Altreifensammlung, auf Fahrzeugen montierte Reifen und zur Verwertung importierte Altreifen. Von der gemeldeten Anzahl der Reifen werden exportierte Reifen und Reifen, die an andere registrierte Unternehmen gingen, abgezogen. SKAT leitet die eingedommene Abgabe über die Umweltbehörde (Miljøstyrelsen) an den Daekbranchens Miljøfond (Umweltfond der Reifenbranche) weiter (BEK Nr. 1347/2016).

Die Umweltbehörde ist für die Registrierung und Zulassung von Altreifensammlern und -verwertern zuständig, der Daekbranchens Miljøfond für Prüfung und Auszahlung des Zuschusses für die **Altreifensammlung** (BEK Nr. 1347/2016). Der Fonds wird durch Daekbranchen Danmark, den Dachverband der Reifenindustrie betrieben (Daekbranchen Danmark, o.J.).

Um sich für den Zuschuss zu qualifizieren, müssen sich Sammelunternehmen bei der Umweltbehörde registrieren. Für die Sammlung oder Annahme von Altreifen darf das Unternehmen kein Geld von den Besitzern verlangen (BEK Nr. 1347/2016).

Die Sammler melden monatlich digital Art, Menge und Herkunft der gesammelten Altreifen sowie der ausgelieferten Altreifen je Empfänger an Daekbranchens Miljøfond. Dafür stehen den Unternehmen auch eine App zur Verfügung, über die die Fahrer die Angaben direkt übermitteln können (Daekbranchens Miljøfond, o.J.).

Der Zuschuss wird monatlich für Altreifen gezahlt, die an ein bei der Umweltbehörde registriertes Verwertungsunternehmen geliefert wurden. Die Höhe des Zuschusses ist abhängig vom Reifendurchmesser und der stofflichen Verwertungsquote des Empfängers. Der Basiswert liegt derzeit bei 1,55 DKK/kg (0,208 €/kg)⁵³ für Reifen < 24 Zoll und für Reifen ab 24 Zoll bei 2,10 DKK/kg (0,28 €/kg)⁵³. Bei einem angenommenen mittleren Gewicht von 8,8 kg pro

⁵³ Stand 19.12.2020: 1 DKK = 0,1344 €

Altreifen beträgt die Zuwendung damit bis durchschnittlich 1,83 € für einen Pkw-Altreifen. Für den Zuschuss wird dieser Wert mit der Verwertungsquote multipliziert (BEK Nr. 1347/2016).

Für die Registrierung als **Verwerter** müssen die Unternehmen eine stoffliche Verwertungsquote von mindestens 50 % nachweisen. Als Verwertungsmethode werden nur Granulierung und Pyrolyse anerkannt. Die Verwerter müssen monatlich das erhaltene Gewicht je Reifenkategorie und Reifensammler an den Dækbranchens Miljøfond melden (BEK Nr. 1347/2016).

Es gibt in Dänemark zurzeit nur zwei zugelassene Unternehmen für die stoffliche Verwertung von Altreifen. Dies sind Imdex S/A und Genan S/A. Die stoffliche Recyclingquote von Genan liegt bei 90,6 %, die von Imdex bei 86,0 % (Dækbranchens Miljøfond, o.J.). Beide trennen Stahl und Textilfasern ab. Das Gummi wird zu Granulaten und im Fall von Genan auch zu Gummipulver verarbeitet. Die Textilfasern werden thermisch in der Zementindustrie verwertet, gehen also nicht mit in die stoffliche Verwertungsquote ein (Genan A/S, 2020a; Imdex A/S, 2020a).

Die Verwertungsunternehmen verlangen eine Zuzahlung für die Annahme von den Altreifensammlern. Die Reifen müssen frei von Verunreinigungen und Störstoffen sein. Siloreifen werden zum Beispiel nicht angenommen (Genan A/S, 2020b; Imdex A/S, 2020b).

Ab 2023 soll mit Elysium Nordic ein drittes Unternehmen in Betrieb gehen. Im Gegensatz zu Imdex und Genan soll bei Elysium das Gummi werkstofflich recycelt werden. Das Verfahren zielt auf die Gewinnung von Industrieruß (Carbon Black), Synthesegas und -öl sowie Stahl ab. Das Gas wird dabei in der Anlage selbst genutzt. Die Anlage hat eine geplante Kapazität von 30.000 t Altreifen pro Jahr (Elysium Nordic, 2020).

Durch BEK Nr. 1347/2016 werden spezifische Anforderungen an den PAK-Gehalt der Produkte der Altreifenverwertung (Granulate, sowie Öl und Ruß aus der Pyrolyse) gestellt. Ferner muss bei Verwertungsverfahren zwingend der Stahlanteil separiert werden. Dieser darf in den Sekundärwerkstoffen (Gummi und Ruß) maximal 0,5 Gewichts-% betragen.

8.5.1.2 Kroatien

In Kroatien wird das Altreifen-Management ebenfalls über ein Abgabensystem finanziert, wobei sowohl Sammlung als auch Verwertung darüber bezuschusst werden. Die rechtliche Grundlage bilden das Gesetz zur nachhaltigen Abfallwirtschaft (NN 94/2013) und die Altreifenverordnung (NN 113/2016). Die Verordnung schreibt vor, dass jährlich 80 % der getrennt gesammelten Altreifen wiederverwendet oder stofflich verwertet werden müssen. Im Ausland behandelte Altreifen werden dabei mit eingerechnet. Unter die Verordnung fallen alle Reifenarten und Gummiketten, auch solche auf Altfahrzeugen (NN 113/2016).

Importeure registrieren alle Neureifen, sowohl als Einzelreifen als auch als Teil eines Fahrzeugs, beim staatlichen Fond für Umweltschutz und Energieeffizienz (FZOEU). Dieser erhebt eine **Abgabe** auf die importierte Menge von aktuell 1.067 HRK/t (141,48 €/t)⁵⁴. Werden Neureifen als Teil eines Fahrzeugs importiert, liegt die Gebühr zwischen 6,79 und 174,60 HRK pro Reifen (0,90-23,15 €/Reifen)⁵⁴ (NN 57/2020). Beim Export von Neureifen wird die Gebühr zurückerstattet. Über den Verkaufspreis wird die Abgabe an die Kunden weitergegeben (FZOEU, 2020; NN 113/2016).

Eigentümer von Altreifen sind verpflichtet, diese getrennt zu sammeln und bei Werkstätten, Reifenhändlern oder Recyclinghöfen abzugeben. Diese sind verpflichtet die Altreifen kostenlos anzunehmen und an einen autorisierten Altreifensammler zu übergeben (NN 113/2016). Die

⁵⁴ Stand 19.12.2020: 1 HRK = 0,1326 €

Sammler sortieren die Altreifen nach ihrem Erhaltungszustand und liefern sie entweder an energetische oder stoffliche Verwerter oder verkaufen sie an Runderneuerer.

Sammlung und Behandlung von Altreifen werden in Kroatien ebenfalls über den **FZOEU** organisiert. Dafür schließt der Fond Verträge mit autorisierten Unternehmen ab. Die Autorisierung von Altreifensammlern und -verwertern geschieht durch das **Ministerium für Umweltschutz und Energie**. Die Unternehmen übermitteln monatliche Berichte über die angenommenen, verarbeiteten und entsorgten Mengen, sowie die Menge an zwischengelagerten Reifen an den FZOEU. Der Fond erstattet die Kosten für Sammlung und Verwertung an die jeweiligen Unternehmen (NN 113/2016).

Die **Altreifensammlung** wird vom FZOEU öffentlich ausgeschrieben. Über die Auswertung der Angebote werden die niedrigsten Kosten für die Sammlung ermittelt. Dieser Wert wird als neuer Preis festgelegt, den der Fond für die Altreifensammlung zahlt. Alle geeigneten Anbieter müssen den Preis akzeptieren, um einen Lizenzvertrag mit dem Fond abschließen zu können (NN 113/2016). Die Erstattung für die Übernahme von Altreifen durch den Sammler liegt derzeit bei 350 HRK/t (46,40 €/t⁵⁴) und für Zwischenlagerung, Sortierung und Verladen für den Transport zum Verwerter bei 70 HRK/t (9,28 €/t⁵⁴). Der Transport von Altreifen zum Verwerter wird mit 1 HRK/(t*km) (0,133 €/t*km⁵⁴) vergütet (NN 57/2020). In 2019 gab es 12 zugelassene Altreifensammler in Kroatien (MGOR, 2020).

Für die Zulassung als **Altreifenverwerter** müssen die Unternehmen eine Genehmigung für die Verfahren R1 oder R3 nach Anhang II des Gesetzes zur nachhaltigen Abfallwirtschaft haben. R1 ist die energetische, R3 die stoffliche Verwertung (unter spezifischen Voraussetzungen auch Vergasung und Pyrolyse). Zudem sollten die Unternehmen entweder ein eigenes Umweltmanagementsystem haben oder an einem teilnehmen. Durch einen Vertrag mit dem Fond verpflichten sich die Unternehmen, alle angenommenen Altreifen vereinbarungsgemäß zu verwerten (NN 113/2016). Der Preis für die stoffliche Verwertung liegt bei 600 HRK/t (79,54 €/t)⁵⁴ und für die energetische Verwertung bei 100 HRK/t (13,26 €/t)⁵⁴ (NN 40/2015).

Derzeit gibt es drei zugelassene Verwerter, die Verträge mit dem Fond abgeschlossen haben (FZOEU, 2017). Zwei sind Zementfabriken, die Altreifen energetisch verwerten. Das dritte Unternehmen, Gumiimpex GRP, verwertet Altreifen stofflich zu Gummigranulat oder bereitet sie durch Runderneuerung für die Wiederverwendung vor. Ein Teil des Gummigranulats wird von Gumiimpex in der eigenen Produktion eingesetzt. Die Anlage hat eine Kapazität von 32.000 t Altreifen pro Jahr (Gumiimpex, 2019).

Nach Angaben des FZOEU wurden 2019 in Kroatien 25.949 t Altreifen gesammelt. Davon wurden 21.284 t verwertet. Die übrigen 4.665 t wurden entweder wiederverwendet oder waren zum Stichtag noch im Zwischenlager. Von den verwerteten Altreifen wurden 94 % stofflich und 6 % energetisch verwertet. Damit wurde das jährliche Ziel von > 80 % stofflicher Verwertung erreicht (MGOR, 2020).

8.5.1.3 Vor- und Nachteile

Die beiden abgabenbasierten Systeme in Europa unterscheiden sich darin, wie viele Reifenarten durch das System erfasst werden. Während in Dänemark nur Altreifen der Fahrzeugklassen M1 und N1 erfasst werden, fallen in Kroatien alle Kraftfahrzeug- und Flugzeugreifen in die Verantwortung des Systems.

Die Beseitigung durch illegale Entsorgung entstandener Altreifenablagerungen wird in beiden Fällen nicht über die Systeme finanziert.

Trotz der Unterschiede in der Ausgestaltung der beiden Systeme lassen sich folgende Vor- und Nachteile beobachten:

Vorteile:

- ▶ Verringerte oder keine Anreize, die Reifen auf illegale Weise zu entsorgen
- ▶ Anreizsystem zur Priorisierung der stofflichen Verwertung.
- ▶ Höhere Anreize, die Altreifen auf ihre Verwertbarkeit hin zu prüfen und zu sortieren.
- ▶ Leichtere Steuerung und Kontrolle des Systems durch staatliche Stellen
 - Beeinflussung der Verwertungswege durch die Subventionsbestimmungen
 - Zulassungskriterien für Altreifensammel- und Verwertungsunternehmen
- ▶ Die Grundzüge des freien Marktes bleiben weitestgehend bestehen.
- ▶ Bessere Umverteilung der Entsorgungsgebühren
- ▶ Geringer Anreiz für den Export von Altreifen zur Verwertung

Nachteile:

- ▶ Höherer Bürokratieaufwand bei den Sammlern und den Behörden
- ▶ Kosten für die Allgemeinheit bleiben bestehen für die Beseitigung illegal entsorgter Altreifen

8.5.2 Erweiterte Herstellerverantwortung

In der erweiterten Herstellerverantwortung werden Produzenten einer Ware gesetzlich verpflichtet, die Sammlung und Verwertung ihres Produktes an dessen Lebensende zu organisieren und zu finanzieren. Unter dem Begriff Produzenten werden sowohl Hersteller als auch Importeure des jeweiligen Produktes bezeichnet. Ihrer Verantwortung können die Produzenten je nach System entweder einzeln oder als Gruppe nachkommen. Für die gemeinsame Umsetzung können sie eine Organisation zur Erfüllung ihrer Aufgaben gründen (engl. Producer Responsibility Organization, PRO).

Derzeit gibt es in 20 EU-Ländern eine erweiterte Herstellerverantwortung für Altreifen. Nachfolgend werden exemplarisch das System der Niederlande und das französische System vorgestellt (ETRMA, 2020).

8.5.2.1 Frankreich

In Frankreich gibt es seit 2004 eine erweiterte Herstellerverantwortung für Altreifen. Die rechtliche Grundlage bilden die Artikel L541-10-8 und R543-137 ff des Umweltgesetzes (Code de l'environnement, C. envir.) sowie verschiedene Dekrete. Unter das Gesetz fallen alle Reifen von Fahrzeugen, die in der Straßenverkehrsordnung (Code de la route) unter R311-1 aufgeführt werden. Wurden die Reifen für andere Zwecke als den Verkehr genutzt, wie zum Beispiel als Silageabdeckung oder in der Spielplatzgestaltung, sind sie nicht Teil des Systems.

In Frankreich gibt es seit 2004 eine erweiterte Herstellerverantwortung für Altreifen. Die rechtliche Grundlage bilden die Artikel L541-10-8 und R543-137 ff des Umweltgesetzes (Code de l'environnement, C. envir.) sowie verschiedene Dekrete. Unter das Gesetz fallen alle Reifen von Fahrzeugen, die in der Straßenverkehrsordnung (Code de la route) unter R311-1 aufgeführt werden. Wurden die Reifen für andere Zwecke als den Verkehr genutzt, wie zum Beispiel als Silageabdeckung oder in der Spielplatzgestaltung, sind sie nicht Teil des Systems.

Das Gesetz überträgt die **Verantwortung** für Sammlung und Verwertung der Altreifen auf die Produzenten von Reifen und von Fahrzeugen mit Reifen für den nationalen Markt. Der nationale Markt ist hier neben dem europäischen Teil Frankreichs auch dessen überseeische Gebiete (C. envir., 2016). Um seiner Verantwortung gerecht zu werden kann jeder Produzent entweder ein eigenes System unterhalten oder mit anderen gemeinsam eine **PRO** gründen. Für die Sammlung und Verwertung werden Verträge mit autorisierten Unternehmen abgeschlossen. Sammelunternehmen benötigen eine Genehmigung des Präfekten ihres Départements, die alle fünf Jahre erneuert werden muss. Neben flächendeckender Sammlung und Verwertung der Altreifen müssen auch Studien zur Optimierung des Systems durchgeführt werden und das Reifendesign hinsichtlich Wiederverwendung und Recycling optimiert werden.

Die **Sammlung** muss für die Besitzer von Altreifen kostenlos sein. Die Altreifen werden über den Handel zurückgenommen. Sie können aber in der Regel auch auf den Wertstoffhöfen der Gemeinden abgegeben werden. Das Gesetz schreibt vor, dass jeder Händler so viele Reifen kostenlos zurücknehmen muss, wie er im Vorjahr verkauft hat. Liegt die Sammelmenge niedriger, wird der Fehlbetrag auf die Sammelmenge für das nächste Jahr aufgeschlagen. Die Erhöhung darf dabei nicht mehr als 10 % betragen. Die Sammlung der zurückgenommenen Reifen vom Handel muss kostenlos durch die Produzenten erfolgen (C. envir., 2016). Reifen von Altfahrzeugen fallen ebenfalls unter die Herstellerverantwortungen und müssen ebenfalls kostenlos an den centres VHU (dt. Altfahrzeugzentren) abgeholt werden (C. envir., 2016).

Alle gesammelten Reifen müssen einer **Verwertung** oder der Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden. Die stoffliche Verwertung ist dabei der energetischen Verwertung vorzuziehen (C. envir., 2016). Im Gesetzesentwurf war eine Begrenzung der

energetischen Verwertung auf unter 50 % der Sammelmenge vorgesehen, die aber nicht eingeführt wurde (Ministère de la Transition écologique, 2018). Derzeit gibt es keine Quoten für stoffliche Verwertung oder Wiederverwendung von Altreifen in Frankreich.

Nach Angaben des Ministeriums für ökologischen Wandel (Ministère de la Transition écologique, MTE) (2018) haben nur einzelne Hersteller sich für eine Einzellösung entschieden. Die Mehrheit hat sich einer PRO angeschlossen. In 2018 gab es in Frankreich sechs PROs, davon vier in den überseeischen Gebieten und zwei in Europa. Die beiden europäischen PROs, Aliapur und GIE France Recyclage Pneumatiques (FRP), deckten 80 % der Hersteller ab (MTE, 2018).

Aliapur hat 444 Mitglieder und organisiert Sammlung, Transport und Verwertung über Verträge. Sammlung und Sortierung werden dabei alle vier Jahre neu ausgeschrieben, Transport alle zwei Jahre. Derzeit hat das Unternehmen Verträge mit 27 Altreifensammlern, 12 Aufbereitern und 63 Verwertungsunternehmen. In 2019 wurden nach eigenen Angaben 375.076 t Altreifen durch Aliapur gesammelt. Davon wurden 15 % wiederverwendet, 44 % energetisch und 41 % stofflich verwertet (Aliapur, 2020). Altreifen aus Altfahrzeugen werden über das Tochterunternehmen Aliastocks erfasst. **Aliastocks** erfasst und verwertet zudem Altreifen, die nicht unter die erweiterte Produktverantwortung fallen wie Altreifen aus illegalen Ablagerungen oder Silagereifen. Die Sammelmenge lag bei 10.000 t aus Altfahrzeugen und 20.000 t andere Reifen in 2019. Angaben zu den Verwertungswegen sind nicht veröffentlicht (Aliapur, o.J.; Aliapur, 2020).

FRP hat 259 Mitglieder und für Sammlung und Verwertung Verträge mit sieben Unternehmen geschlossen. In 2019 sammelte das System 87.422 t Altreifen. Rund ein Drittel der Altreifen stammte dabei aus Altfahrzeugen. Insgesamt wurden 44 % stofflich und 42 % energetisch verwertet. 8 % der Altreifen wurden Wiederverwendet (FRP, 2020).

Das Umweltgesetz erlaubt explizit den weltweiten Export von Altreifen zur Runderneuerung oder Verwertung, sofern die EU-Richtlinie Nr. 1013/2006 eingehalten wird (R543-147). Im Fall von Aliapur wurden 2019 nur 34 % der verwerten Altreifen in Frankreich behandelt. 20 % wurden im europäischen Ausland verwertet und 46 % in verschiedenen Ländern Afrikas und Asiens (Aliapur, 2020). FRP macht keine Angaben zu den eigenen Exporten.

Es gibt eine Vereinbarung zwischen den beiden PROs und den Kommunen, dass lediglich Altreifen von privaten PKWs und Motorrädern kostenlos bei den Wertstoffhöfen abgeholt werden. Andere Reifen werden nur gegen einen Aufpreis mitgenommen (Aliapur u.a., 2018).

Um Altablagerungen an Altreifen zu erfassen und aufzuarbeiten, wurde 2008 über eine Branchenvereinbarung das Unternehmen Recyvalor gegründet. Finanziert wurde die Aufarbeitung der illegal entsorgten Altreifen zu gleichen Teilen durch die französische Umweltbehörde ADEME, Aliapur und ARN, die PRO für Altfahrzeuge (Collet, 2017). In 2018 wurde Recyvalor aufgelöst, da seine Aufgabe als erfüllt angesehen wurde (MTE, 2018).

Seit Juli 2019 gibt es eine freiwillige Selbstverpflichtung der Reifenindustrie zur Erfassung und Verwertung von Silagereifen. Im Rahmen dieser Selbstverpflichtung sollen jährlich 15.000 t Silagereifen erfasst werden. Zu diesem Zweck wurde von der Reifenindustrie **Ensivalor** gegründet. Ensivalor richtet in Kooperation mit lokalen Behörden und Vertretern aus der Landwirtschaft lokale Sammelplätze ein, an denen Silagereifen kostenlos abgegeben werden können (Aliapur, 2020; AFIP u.a., 2019).

8.5.2.2 Niederlande

In den Niederlanden wird die Altreifenverwertung im Dekret zur Verwaltung von Fahrzeugreifen (**Besluit beheer autobanden, Bbab**) geregelt, welches 2004 in Kraft trat. Das

Dekret betrifft nur Reifen von PKWs und Nutzfahrzeugen der Klassen M1 und N bis 3,5 t und höchstens neun Sitzen sowie deren Anhänger (Bbab, 2009). Grundsätzlich nicht Teil der Herstellerverantwortung ist die Beseitigung illegal entsorgter Altreifen und historischer Bestände (Winternitz et al., 2019).

Ähnlich wie in Frankreich liegt die Verantwortung für Sammlung und Verwertung der Altreifen bei den Reifenproduzenten. Sie können dieser Verantwortung entweder einzeln oder gemeinsam über eine PRO nachkommen. Das Dekret sieht vor, dass Reifenverkäufer so viele alte Reifen kostenlos zurücknehmen müssen, wie sie neue verkaufen. Über die Anzahl der zurückgenommenen Reifen ist buchzuführen. Besitzer von Reifen können diese auch auf den Wertstoffhöfen ihrer Gemeinde abgeben. Die Produzenten müssen die separat abgegebenen Reifen kostenlos übernehmen (Bbab, 2009).

Die Sammelmenge pro Produzenten richtet sich nach dessen Marktanteil. Jeder Reifenproduzent hat daher jährlich einen Bericht über das Vorjahr abzuliefern und den durchschnittlichen Marktanteil der letzten drei Jahre sowie eine Kontaktperson für den Reifenverkauf anzugeben. Ist ein Produzent Mitglied in einer PRO kann diese seine Auskunftspflichten übernehmen (Bbab, 2009).

Die gesammelten Altreifen sollen entweder wiederverwendet oder verwertet werden, wobei mindestens 20 Gewichts-% der Sammelmenge stofflich zu verwerten ist. (Bbab, 2009)

Als Reaktion auf das Gesetz wurde vom niederländischen Reifenverband „Vereniging Band en Milieu“ die PRO RecyBEM B.V. gegründet, welche die gesetzlichen Aufgaben und berichtspflichten der Produzenten erfüllt. RecyBEM organisiert die Altreifensammlung und -verwertung für die Verbandsmitglieder. Um das System zu finanzieren wurde vom Reifenverband der Stichting Fonds Band en Milieu (dt.: Stiftungsfond Reifen und Umwelt) gegründet. Dieser erhebt von den Produzenten einen Beitrag pro verkauftem Reifen und überweist das Geld als Summe an RecyBEM. Auf diese Weise kann der Marktanteil einzelner Produzenten nicht über den Finanzbericht von RecyBEM nachverfolgt werden (RecyBEM B.V., o.J. c).

RecyBEM wurde 2015 für allgemein verbindlich erklärt (Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu, 2015). Dadurch sind auch Nichtmitglieder des Reifenverbands zur Zahlung des Beitrags und der Nutzung von RecyBEM verpflichtet.

Zur Erreichung der rechtlichen Vorgaben schließt RecyBEM Verträge mit Altreifensammlern und -verwertern ab, die sie selbst zertifiziert hat. Derzeit gibt es 20 zertifizierte Altreifensammler (RecyBEM B.V., o.J. a) und sechs Verwertungsunternehmen. Davon sind zwei in den Niederlanden ansässig, eines in Belgien, zwei in Deutschland sowie eines in Dänemark (RecyBEM B.V., o.J. b).

Laut dem Jahresbericht 2017 wurden 31,9 % der gesammelten Reifen wiederverwendet und 1,3 % runderneuert. Gemäß der Altreifenstatistik der ETRMA wurden 2016 alle Reifen zur Runderneuerung und zur Wiederverwendung exportiert (ETRMA, 2018). Seither veröffentlicht RecyBEM keine Zahlen mehr zum Export-Anteil. Nach Aussagen von Expert*innen wird nach wie vor ein wesentlicher Anteil der wiederverwendbaren Reifen und alle Reifen zur Runderneuerung exportiert, anscheinend vor allem nach Osteuropa und Afrika (Winternitz et al., 2019; Campbell-Johnston et al., 2020).

Gemäß einer Analyse der verschiedenen Verwertungswege für RecyBEM in 2011 lagen die Kosten für die stoffliche Verwertung mindestens 32 % und die der energetischen Verwertung wenigstens 17 % höher als die Kosten für den Export zur Wiederverwendung und Runderneuerung (ARN Advisory, 2011).

Altreifen aus der Landwirtschaft fallen nicht unter die Herstellerverantwortung. Sie wurden zwischen 2007 und 2018 von RecyBEM freiwillig über das Projekt Boerenbanden gesammelt (RecyBEM, 2013; 2018).

8.5.2.3 Vor- und Nachteile

Die Vor- und Nachteile der erweiterten Herstellerverantwortung für Altreifen ist stark abhängig von der konkreten rechtlichen Ausgestaltung des Systems. So unterscheiden sich die europäischen Systeme beispielsweise darin, wie viele Reifenarten sie abdecken. Während in Frankreich ein Großteil aller Reifenarten unter die Herstellerverantwortung fallen, sind es in den Niederlanden nur Pkw-Reifen. Eine eingeschränkte Auswahl wie in den Niederlanden erhöht das Risiko der illegalen Entsorgung nicht mit einbezogener Reifenarten, wobei die Kosten für deren Beseitigung oft von der Allgemeinheit getragen werden müssen (Winternitz et al., 2019). Ein weiterer kritischer Punkt bei der Ausgestaltung der Herstellerverantwortung ist der Umgang mit Altablagerungen. In Frankreich wurden diese über eine Branchenvereinbarung aufgearbeitet, in den Niederlanden sind sie hingegen nicht Teil der Herstellerverantwortung.

Die betrachteten Beispiele der erweiterte Herstellerverantwortung zeigen folgende Vor- und Nachteile:

Vorteil:

- ▶ Regelung der Verantwortlichkeit zur Entsorgung der Altreifen
- ▶ Anreize für die Entsorger, die Altreifen auf ihre Verwertbarkeit hin zu prüfen und zu sortieren.
- ▶ Verringerte bis keine Anreize, die Reifen auf illegale Weise zu entsorgen.
- ▶ Kontrolle über Qualität und Kosten von Sammlung und Verwertung durch Vertragsvorschriften der PRO

Nachteil:

- ▶ Kosten für die Allgemeinheit bleiben bestehen für die Beseitigung illegal entsorgter Altreifen
- ▶ Kosten für die Entsorgung nicht unter das System fallender Reifenarten müssen von deren Besitzer getragen werden und erhöhen das Risiko einer illegalen Entsorgung.
- ▶ Kontrolle von Freeridern durch PRO oder Behörden aufwendig
- ▶ Export von gebrauchten Reifen und Altreifen zur Runderneuerung oder Verwertung in nicht-EU-Länder als kostengünstigster Entsorgungsweg
 - Keine Gewährleistung von ausreichenden Umweltstandards bei der Verwertung
 - Risiko ökologisch nachteiliger Entsorgungswege nach Nutzungsende
 - Reduktion der verfügbaren Altreifen für lokale Recyclingbranche
 - Verlust von Rohstoffen

- Die PRO kann bei mangelnder rechtlicher Ausgestaltung des Systems die Verteilung der Altreifen zum Nachteil einzelner Verwertungsindustrien vornehmen, um den Interessen ihrer Mitglieder zu dienen.
- Tendenzieller Rückgang der stofflichen Verwertung in einigen Systemen zu erkennen.

8.5.3 Freier Markt

Im System des freien Marktes setzt der Staat den Rahmen und formuliert die zu erreichenden Ziele. Die Akteure handeln unter freien Marktbedingungen um die Altreifenentsorgung zu organisieren.

8.5.3.1 Schweiz

Die Altreifensammlung und -verwertung wird in der Schweiz über den freien Markt geregelt.

Altreifen werden im Schweizer Abfallverzeichnis als „andere kontrollpflichtige Abfälle ohne Begleitscheinpflicht“ klassifiziert. Gemäß der Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA) benötigen Sammler, Sortierer, alle Behandlungsanlagen und Zwischenlager eine VeVA-Bewilligung für Altreifen (VeVA, 2020; BVD, 2015). Die Bewilligung gilt immer nur für einen Standort, nicht für das gesamte Unternehmen und wird bei dem jeweiligen Kanton beantragt. Lediglich der reine Transport ohne Zwischenlagerung innerhalb der Schweiz und reine Gebrauchtreifenhändler sind davon ausgenommen (BVD, 2015). Jedes bewilligungspflichtige Unternehmen muss jährlich die angenommene Menge an Altreifen und die Art der Behandlung an das Bundesamt für Umwelt (BAFU) melden sowie die Menge an weitergeleiteten Altreifen und die Betriebsnummer des Empfängers (VeVA, 2020).

Für den Import und Export von Altreifen ist eine Genehmigung des BAFU erforderlich. Gebrauchte Reifen zur Wiederverwendung mit ausreichender Profiltiefe benötigen keine Genehmigung, müssen aber eine Qualitätskontrolle bestehen (RVS ASP, o.J.). Altreifen dürfen zur Aufbereitung, Verwertung und Entsorgung nur in OECD- und EU-Mitgliedsländer exportiert werden (BAFU, 2019; RVS ASP, 2017).

Altreifen können in der Schweiz in der Regel bei Altreifen- und Reifenhändlern, Werkstätten und Autohäusern abgegeben werden. Diese können dem Besitzer die Übernahme der Altreifen in Rechnung stellen, wobei eine kostenlose Annahme nicht unüblich ist (RVS ASP, 2017a). Die Sammelstellen dürfen die Altreifen nur an Unternehmen mit der entsprechenden VeVA-Bewilligung übergeben (BAFU, 2019). Eine Altreifensammlung über kommunale Systeme ist nicht vorgesehen (BAFU, 2019).

Die Anzahl an Verwertungs- und Sammlungsunternehmen in der Schweiz wird von den Behörden nicht veröffentlicht. Der RVS listet 16 Unternehmen auf, die im Altreifenbereich tätig sind. Bei den meisten handelt es sich um Sammelunternehmen. Nur vier geben an, Altreifen stofflich zu verwerten, bzw. EBS herzustellen und bei zwei weiteren handelt es sich um Zementhersteller (RVS ASP, o.J.).

Es gibt keine belastbaren statistischen Daten zum Aufkommen von Altreifen sowie deren Entsorgungswege. Für 2017 wurde ein Aufkommen von 60.000 Mg geschätzt und es wurde angenommen, dass davon 10.000 Mg illegal entsorgt wurden (RVS ASP, 2017a).

8.5.3.2 Vor- und Nachteile

Die Organisation der Altreifenentsorgung durch den freien Markt hat folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile

- ▶ Geringe Bürokratie
- ▶ subventionsfrei arbeitende Verwertungsbranche

Nachteile

- ▶ Nachverfolgbarkeit der Stoffströme kaum gegeben
- ▶ Hohe Gefahr von illegaler Ablagerung der Altreifen
- ▶ Der Markt priorisiert tendenziell den kostengünstigsten Entsorgungsweg
- ▶ Geringe Sortierung der Altreifen
- ▶ Mangelnde Umverteilung der Entsorgungskosten
- ▶ Wettbewerbsverzerrungen durch unlauteren Wettbewerb, z. B. finanzielle Anreize zur illegalen Ablagerung

8.6 Freisetzung von Schadstoffen und Mikroplastik in die Umwelt (Boden, Wasser Luft)

8.6.1 Literaturlauswertung

8.6.1.1 ECHA (2020) ANNEX XV INVESTIGATION REPORT: Investigation of the available analytical methods to measure content and migration of polycyclic aromatic hydrocarbons, limit values in rubber and plastic articles in paragraphs 5 and 6 of Entry 50 of Annex XVII to REACH, and alternative low-PAH raw materials

Dieser Bericht wurde auf Ersuchen der Europäischen Kommission durch die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) erstellt, um die Überprüfung der Absätze 5 und 6 des Eintrags 50 des Anhangs XVII der REACH-Verordnung zu unterstützen. Die ECHA untersuchte Informationen, die zu einer Überprüfung der Grenzwerte für den PAK-Gehalt in Erzeugnissen führen könnten, sowie die verfügbaren Methoden zur Bestimmung des Gehalts an PAK in Erzeugnissen und zur Messung ihrer Migration aus Erzeugnissen.

Auf Grundlage der verfügbaren Informationen kommt die ECHA zu dem Schluss, dass die derzeitigen Grenzwerte für den PAK-Gehalt immer noch als wirksame Risikomanagementmaßnahme zur Kontrolle der Verbraucherexposition betrachtet werden können. Weiterhin wird jedoch ausgeführt, dass diese Gehaltsgrenzen möglicherweise nicht für alle Arten von Kunststoff- und Gummimatrizen ein niedriges Niveau der Migration von PAK sowie die sichere Verwendung garantieren können. Deutschland hätte daher empfohlen, die derzeitigen Grenzwerte beizubehalten oder sogar zu senken. Ob ein Migrationsgrenzwert, als Ausnahme vom Inhaltsgrenzwert oder zusätzlich zu diesem, zur Risikobeherrschung festgelegt werden könnte und ob der derzeitige Grenzwert für den PAK-Gehalt zusätzlich einen ausreichenden Schutz gegen Risiken durch die Exposition gegenüber PAK bietet, bedürfe einer weiterführenden Risikobewertung. Die verfügbaren Methoden zur Bestimmung des Gehalts und der Migration von PAK wurden insgesamt als ausreichend zuverlässig und leicht verfügbar befunden.

Eine analytische Methode zur Bestimmung sehr niedriger Gehaltskonzentrationen von PAK in Gummi- und Kunststoffbestandteilen von Erzeugnissen steht mit der in Annex II von Barrero-Moreno et al. (2018) beschriebenen Methode zur Verfügung (vgl. Tabelle 77). Mit der Bestimmungsgrenze dieser Methode können bis zu zwei Größenordnungen niedrigere Konzentrationen von PAK getestet werden, als mit allen anderen derzeit verwendeten Methoden. Mit der durch das Europäische Komitee für Normung (CEN) zu entwickelnde harmonisierten Methode (Europäische Kommission 2017) könnte darüber hinaus die verbleibenden Mängel beseitigt werden: Bereitstellung einer Peer-Review und Gewährleistung der Anwendbarkeit auf alle Quellen von PAK, einschließlich Ruß.

Die von Barrero-Moreno et al. (2018) entwickelte Methode zur Messung der Migration von PAK mittels 20 %-igem Ethanol als Migrationsmedium wird als ein konservativer Ansatz zur Beurteilung der Migration sowohl in die Haut als auch in die Mundhöhle betrachtet. Die Methode zeige eine gute Leistung jedoch auch eine hohe Variabilität zwischen den Laboratorien. Hier wurden Maßnahmen ermittelt, die zu einer Verringerung der Variabilität beitragen könnten. Weiterhin wurde angeführt, dass verschiedene Untersuchungen zu dem Schluss kommen, dass

- ▶ eine nachweisbare Migration von PAK aus Kunststoff- und Gummimatrizen nur bei Kautschuken mit hohem PAK-Gehalt beobachtet wurde,
- ▶ die toxikologischen Auswirkungen von PAK nicht von der Menge der in dem Artikel enthaltenen PAK abhängen, sondern von den Mengen, die von der Kontaktfläche des Artikels über die Haut in den menschlichen Körper migrieren und
- ▶ es keine direkte Proportionalität zwischen dem PAK-Gehalt im Artikel und ihrer Migration gibt.

Insgesamt ist die ECHA, unter Berücksichtigung aller verfügbaren Informationen, jedoch der Ansicht, dass es einer zusätzlichen Risikobewertung bedarf, um festzustellen, ob ein Migrationsgrenzwert zusätzlich oder alternativ zum Inhaltsgrenzwert festgelegt werden könnte. Die Option der Einführung eines Migrationstests für PAK müsste anhand der spezifischen Expositionsszenarien, auf die der Beschränkungsvorschlag abzielte, bewertet werden. Dazu seien zusätzliche Informationen zum Verständnis des Migrationsverhaltens von PAK notwendig, insbesondere hinsichtlich der Korrelation von Produktdicke, Art der Matrix, Eintragsquelle der PAK, Art und Gehalt der enthaltenen PAK sowie dem Verschleiß des Materials. Zur Durchführung einer derartigen Risikobewertung hat sich die ECHA grundsätzlich bereit erklärt.

Zusammengefasst wird damit möglicherweise eine strengere Methode der PAK-Gehaltsmessung analog der JRC-Methode (Barrero-Moreno et al. 2018) implementiert werden, die insbesondere auch die PAK aus dem Ruß aufschließt. Diesbezüglich ist mit höheren gemessenen PAK-Konzentrationen zu rechnen, als dies beispielsweise mit dem Messverfahren nach ISO 18287 der Fall ist. Gleichzeitig wird verschiedentlich gefordert bzw. erwogen, die Gehaltsgrenzwerte beizubehalten oder sogar zu verringern. In einem Worst-case-Szenario würden damit höhere Messwerte des PAK-Gehaltes, als Folge der potentiell intensiveren Probenextraktion des Messverfahrens, mit verringerten PAK-Gehaltsgrenzen zusammenfallen. Es wird in diesem Kontext jedoch ausgeführt, dass auf Basis der Migrationsversuche gegebenenfalls eine Ausnahmeregelung in Hinblick auf den Gehaltsgrenzwert für PAK überdacht werden könnte.

8.6.1.2 EPA (2019): Synthetic Turf Field Recycled Tire Crumb Rubber Research Under the Federal Research Action Plan

Bei EPA (2019) handelt es sich um behördenübergreifende Studien zu Altreifengranulaten für Kunstrasenflächen und Spielplätze. In zwei Teilen wird eine weitreichende physikalische, chemische und mikrobiologische Charakterisierung der Granulate (Teil 1) sowie die potenzielle Exposition (Teil 2) dargelegt. Es wird jedoch explizit darauf hingewiesen, dass die Forschungsaktivitäten nicht konzipiert waren und für sich allein nicht ausreichen, um Fragen zu potenziellen Gesundheitsrisiken direkt zu beantworten. Dennoch werden einige Rückschlüsse gezogen:

- ▶ Es wurden erwartungsgemäß eine Reihe von Chemikalien in den Altreifengranulaten gefunden, darunter Metalle und organische Chemikalien.
- ▶ Die Emissionen vieler organischer Verbindungen in die Luft lag typischerweise unterhalb der Nachweisgrenzen oder des Prüfkammerhintergrunds
- ▶ Die Freisetzung von Metallen in simulierte biologische Flüssigkeiten war sehr gering (die durchschnittlichen Werte für die Biozugänglichkeit betrugen etwa 3 % in der Magenflüssigkeit und weniger als 1 % in Speichel und Schweiß plus Talg).
- ▶ „Zusammen stützen diese Ergebnisse die Prämisse, dass zwar viele Chemikalien im Altreifengranulaten vorhanden sind, die Exposition jedoch auf der Grundlage dessen, was in Luft oder biologische Flüssigkeiten freigesetzt wird, begrenzt werden kann.“⁵⁵

8.6.1.3 ANSES (2018): Scientific and technical support on the possible risks related to the use of materials derived from the recycling of used tyres in synthetic sports grounds and similar uses

ANSES (2018) wertet eine Reihe von Studien und Gutachten zu den Risiken im Zusammenhang mit der Exposition von Sportlern und Kindern, die Kunstrasenplätze mit Einstreugranulaten verwenden, sowie zu den Risiken im Zusammenhang mit der Exposition von Arbeitnehmern, die an der Einrichtung und Instandhaltung dieser Felder beteiligt sind, aus.

Sie kommen zu den folgenden Schlussfolgerungen:

- ▶ Die ausgewerteten Studien kommen in den meisten Fällen zu dem Schluss, dass das Gesundheitsrisiko vernachlässigbar ist.
- ▶ Die Emissions- und Migrationssimulationen weisen auf niedrige Konzentrationen von Schwermetallen, Weichmachern, Additiven oder VOCs hin, die unterhalb der von den jeweiligen Autoren angegebenen toxikologischen Referenzwerten liegen.
- ▶ Es werden nur niedrige Konzentrationen von Karzinogenen von Reifengranulaten emittiert oder freigesetzt, weshalb das Risiko einer Karzinogenität als gering oder vernachlässigbar angesehen wird.

⁵⁵ Eigene Übersetzung aus dem englischen Originaltext

- ▶ Durgeführte epidemiologischen Studien zeigen keine erhöhte Inzidenz von Krebserkrankungen, insbesondere Lymphomen und Leukämie, im Zusammenhang mit der Installation und Nutzung von synthetischen Sportplätzen.
- ▶ „Was die Umweltkontamination betrifft, so deuten die verfügbaren Charakterisierungsdaten (über Zusammensetzung und Emission) auf die Existenz potentieller Risiken für die Umwelt hin. Diese potentiellen Risiken stehen hauptsächlich im Zusammenhang mit der Freisetzung von Metallen (insbesondere Zink), aber auch von organischen Chemikalien wie einigen Phthalaten oder Phenolen mit endokrinschädigenden Eigenschaften. Nach dem gegenwärtigen Wissensstand sind diese Daten jedoch nicht ausreichend, um die potentiellen Risiken für die Umwelt und die lebenden Organismen zu charakterisieren.“⁵⁶
- ▶ „In der Tat ist das Einstreumaterial, wenn sich die Flächen im Freien befinden, einer Reihe von Umweltbedingungen (wie Regen, Sonne, Wind und variable UV-Strahlung), mechanischer Beanspruchung (durch die Verwendung dieser Flächen) sowie regelmäßigen Pflegepraktiken (Bewässerung) ausgesetzt. Diese Bedingungen können zur Freisetzung von Stoffen, aus denen diese Einstreumaterialien bestehen, in die Umgebung führen. Als größtes potentiell Risiko wurde die Freisetzung gefährlicher Substanzen aus den Einstreumaterialien durch Auslaugen nach deren Kontakt mit Wasser identifiziert. Die freigesetzten Chemikalien können schließlich durch Abfluss, Auslaugung oder Versickerung in terrestrische und/oder aquatische Systeme gelangen.“⁵⁶

ANSES (2018) nennt auch Schwächen der ausgewerteten Studien, unter anderem:

- ▶ die fragliche Repräsentativität der Probenahme auf jedem Feld und die Anzahl der getesteten Böden,
- ▶ der hauptsächliche Fokus der Studien auf Substanzen mit nachgewiesener Karzinogenität, so dass wahrscheinlich nicht alle von Reifengranulat emittierten Substanzen berücksichtigt wurden, sowie
- ▶ die im Vergleich zu synthetischen Sportplätzen geringe Anzahl von Studien zu synthetischen Spielplätzen die durch ihre spezifische Gestaltung und Ausführung, eine vermeintliche komplexere Chemikalienemission zeigen könnten.

8.6.1.4 ECHA (2017). An Evaluation of the Possible Health Risks of Recycled Rubber Granules Used as Infill in Synthetic Turf Sports Fields

ECHA (2017) hat die Risiken, die von recyceltem Gummigranulat für die menschliche Gesundheit ausgehen, bewertet⁵⁷. Aus Studien und der Literatur wurde eine Reihe gefährlicher Stoffe in recyceltem Gummigranulat identifiziert. Substanzen, die häufig in recyceltem Gummigranulat enthalten sind, sind polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs), Metalle, Phthalate, flüchtige (VOCs) halbflüchtige (SVOCs) organische Kohlenwasserstoffe. Ferner wurde die Exposition gegenüber Gummigranulat durch Hautkontakt, Einnahme und Inhalation von Substanzen, die aus dem Granulat verdampfen,

⁵⁶ Eigene Übersetzung aus dem englischen Originaltext

⁵⁷ Die Schlussfolgerungen basieren auf Studien, die mehr als 100 Kunstrasenplätze (bereits in Gebrauch befindliches Füllmaterial) und etwa 50 Proben von neuem recyceltem Gummigranulat abdecken.

sowie durch Staub, der durch das Granulat gebildet wird, untersucht sowie die damit in Verbindung stehenden Risiken bewertet.

Die ECHA kommt zu dem Schluss, dass die Bedenken hinsichtlich einer Exposition gegenüber recyceltem Gummigranulat insgesamt höchstens sehr gering sind:

- 1) In den ausgewerteten Studien lagen die PAK-Konzentrationen normalerweise weit unter den Grenzwerten, die in der relevanten REACH-Beschränkung ⁵⁸ festgelegt wurden. „Es ist jedoch wichtig, darauf hinzuweisen, dass der Grad der Besorgnis nicht gering wäre, wenn die PAK-Konzentration so hoch wäre wie der in REACH festgelegte generische Grenzwert für Mischungen, die an die breite Öffentlichkeit geliefert werden.“⁵⁹
- 2) Die Bedenken hinsichtlich des lebenslangen Krebsrisikos für Spieler*innen und Arbeitnehmer*innen sind angesichts der Konzentrationen von PAK, die typischerweise in recyceltem Gummigranulat gemessen werden, sehr gering.
- 3) Hinsichtlich der verfügbaren, wenn auch begrenzten, Migrationsdaten für Metalle, die unterhalb der in der aktuellen Spielzeuggesetzgebung erlaubten Grenzwerten liegen, sind die Bedenken hinsichtlich Spieler*innen und Arbeitnehmer*innen vernachlässigbar.
- 4) Aus den Konzentrationen von Phthalaten, Benzothiazol und Methylisobutylketon in Gummigranulat leiten sich keine Bedenken für Spieler*innen und Arbeiter*innen ab, da diese unterhalb der Konzentrationen liegen, die zu Gesundheitsproblemen führen würden.
- 5) Es wurde auf Berichte hingewiesen, dass flüchtige organische Verbindungen, die von Gummigranulat in Innenhallen freigesetzt werden, Reizungen der Atemwege, der Augen und der Haut verursachen können.

Weiterhin wurden unter anderem folgenden Unsicherheiten bei der durchgeführten Bewertung identifiziert:

- Es gibt immer noch einige Wissenslücken hinsichtlich der vorhandenen Substanzen und ihrer Konzentrationen in den recycelten Gummigranulaten.
- Die kombinierten Wirkungen aller Substanzen in Gummigranulat sind nicht bekannt und sehr schwer abzuschätzen. Diese Unsicherheit hat jedoch keinen Einfluss auf die wichtigsten Schlussfolgerungen der durchgeführten Bewertung.
- Import-Reifen, die in die EU gelangen, können andere Stoffkonzentrationen aufweisen als in den betrachteten Studien.

8.6.1.5 Robert Moretto (2007): Environmental and health evaluation of the use of elastomer granulates (virgin and from used tyres) as filling in third-generation artificial turf

Es handelt sich um die Auswertung von wissenschaftlichen Studien zur Bewertung der Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen von Polymergranulaten, die als Füllmaterial in Kunstrasen

⁵⁸ Einstreugranulate fallen unter Gemische, weshalb die Konzentrationsgrenzen in Eintrag 28 von Anhang XVII der REACH-Verordnung für die einzelnen REACH-8 PAK gelten: 1 000 mg/kg für Benzo[e]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[j]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren und Chrysen und 100 mg/kg für Benzo[a]pyren und Dibenzo[a,h]anthracen. Diese können mit Hilfe des Additivitätsansatzes in einen Summengrenzwert von 387 mg/kg für die Summe der REACH-8-PAK übersetzt werden.

⁵⁹ Bemerkenswert ist hier, dass die Studien, auf die sich die ECHA bezieht und deren Ergebnisse im Anhang I (ANNEX I - COMPOSITION OF RECYCLED RUBBER GRANULES, Tabelle I.7, Seite 22 ff) aufgelistet sind, auf diversen Methoden der PAK-Gehaltsbestimmung basieren. Sie umfassen beispielsweise das Verfahren nach ISO 18287 (Gomes et al. 2010), Soxhlet-Extraktion mit einem Kaliumhydroxid/Methanol-Gemisch (Marsili, L. et al. 2014) oder Ultraschallextraktion mit Dichlormethan und n-Hexan (Menichini E. et al. 2011).

verwendet werden. Es wurde ein typischer Kunstrasenaufbau geprüft (3. Generation Kunstrasen aus dem FIELDTURF TARKETT-Sortiment: 17,5 kg/m² Sand und 15 kg/m² Granulat). Als Einstreugranulat wurden 1) Granulate aus französischen Altreifen, 2) fabrikneue EPDM-Granulate sowie 3) TPE-Granulate verwendet (TPE = thermoplastische Elastomere).

Repräsentative Kunstrasensegmente wurden sowohl unter künstlicher Bewitterung sowie unter realen Umgebungsbedingungen auf einem Spielfeld untersucht. Dazu wurde das Sickerwasser, das den Kunstrasen passierte, über einen Zeitraum von 11 Monaten aufgefangen und in verschiedenen Zeitperioden analysiert. Weiterhin wurden Emissionsprüfungen durchgeführt.

Die Bewertung der Umweltauswirkungen des Sickerwassers erfolgte durch physikalisch-chemische und ökotoxikologische Analysen. Bei den physikalisch-chemischen Analysen wurden die folgenden Parameter ermittelt: Gesamtcyanide, Phenolindex, Gesamtkohlenwasserstoffe (HCT), 16 polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), organischer Gesamtkohlenstoff (TOC), Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Zn, Fluoride, Nitrate, Ammonium, Chloride und Sulfate, pH-Wert und Leitfähigkeit.

Die erfassten Konzentrationen im Sickerwasser sind für die Mehrzahl der untersuchten Verbindungen und Elemente niedrig. Bestimmte Elemente weisen zu Beginn der Experimente etwas höhere Konzentrationen auf, die dann sehr schnell sinken, was auf einen sehr raschen Rückgang der Freisetzungsraten hinweist. Der wesentlichste Teil der Freisetzung von potentiell umweltschädlichen Substanzen erfolgt im 1. Monat nach dem Einsatz der Granulate im Kunstrasen. Die hier bereits sehr niedrigen Konzentrationen, die überwiegend deutlich unterhalb relevanter Grenzwerte liegen, sinken zügig auf Werte, die Trink- und teils auch Regenwasser nahekommen und manchmal sogar unterhalb der analytischen Nachweisgrenzen liegen. Hinsichtlich der Freisetzungskinetik organischer Verbindungen wurden keine wesentlichen Unterschiede zwischen den betrachteten Materialien 1) – 3) gefunden. Nach Kalbe et al. (2016) sind die Anfangskonzentrationen derartiger Elutionstests demzufolge nicht repräsentativ. Es werden daher beispielsweise gemittelte Referenzkonzentrationen zur Ermittlung des Umweltrisikos verwendet.

Zusammengefasst wurde festgestellt, dass, basierend auf einem Vergleich mit den geltenden französischen und europäischen Richtwerten, die Konzentrationen der organischen Verbindungen, Metalle und Anionen des Sickerwassers den Anforderungen an die Qualität von Wasserressourcen genügen und in den überwiegenden Fällen sogar die Anforderungen für Trinkwasser erfüllen.

Die ökotoxikologische Charakterisierung der Perkolate erfolgt mittels eines standardisierten Tests zur Bestimmung der akuten Toxizität (*Daphnia magna* Mobilitätsinhibitionstest) und eines standardisierten Tests zur Bewertung der chronischen Toxizität (Test zur Hemmung des Wachstums von Weichwasseralgen mit *Pseudokirchneriella subcapitata*). Die Untersuchungen kommen zu dem Schluss, dass aus ökotoxikologischer Sicht die Beschaffenheit der Perkolate, unabhängig von der Art des Füllgranulats, nachweislich ohne Auswirkungen auf die Umwelt ist.

Als Schlussfolgerung der Emissionsmessungen wird festgestellt, dass die VOC- und Aldehydemissionen der drei Arten von Einstreugranulaten beim Einsatz in Innenräumen (kleine und schlecht belüftete Sporthallen) keinen Grund zur Besorgnis um die menschliche Gesundheit darstellen. Eine Ausnahme bilden Arbeiter*innen, die künstliche Beläge in kleinen und schlecht belüfteten Turnhallen installieren und länger als 5 Jahre lang exponiert sind. In diesem Fall wird

empfohlen, bei der Installation mindestens einen zweifachen Luftwechsel pro Stunde (2 Vol./h) sicherzustellen. Erwähnenswert ist hier, dass die Emissionen der EPDM-Neuware, welche häufig als höherwertiges Substitut für Altreifenrezyklate angesehen wird, nach 28 Tagen (TVOC28 Tage), deutlich höhere Emissionen zeigt, als Altreifengranulat. Das EPDM ($490 \mu\text{g}/\text{m}^3$) emittiert hier fast die 4-fache Menge im Vergleich zu Altreifen ($134 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

8.6.2 Austrag von Mikroplastik aus Kunstrasenplätzen

Das Fraunhofer UMSICHT (2019) kommt zu der Erkenntnis, dass der Austrag von Granulat aus verschiedenen Kunstrasenplätzen unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Das Zusammenwirken der zahlreichen identifizierten Einflussfaktoren für die Emission sei noch unklar. Aus Befragungen von Kommunen wurde ein Ersatzbedarf von 50 bis 1.500 kg Granulat pro Platz und Jahr ermittelt. „Aus den Nachlieferungen kann nicht direkt auf die Emissionen geschlossen werden, da Granulatverluste in vielen Fällen durch Sand oder gar nicht ausgeglichen werden. [...] Ob die Emissionen mit der aufgetragenen Masse freier Granulate oder (wahrscheinlicher) mit der Fläche des Platzes korrelieren, sollte Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein.“

Gemäß ECHA (2017) müssen im Durchschnitt pro Feld 0,5 bis 1 t Nachfüllmaterial pro Jahr ergänzt werden. Bei einem Winterbetrieb werden bei der Beräumung zusätzlich 3 bis 5 t mit dem Schnee ausgetragen.

Aufgrund der abweichenden Sportplatzbauvorschriften in Deutschland ist die verwendete Granulatmenge deutlich niedriger als im internationalen Vergleich und die Austragsmenge wird auf unter 500 kg pro Jahr und Feld geschätzt (DFB und DStGB, 2019).

Nach Auskunft der Firma Genan ist es mit relativ einfachen Mitteln möglich, den Austrag von Mikroplastik fast vollständig zu verhindern, in dem die Einhaltung der entsprechenden Vorschriften der Norm CEN/TR 17519 in der Ausschreibung verlangt werden.

8.6.3 Thermisch und mechanisch induzierte Freisetzung von Stoffen aus Altreifen

Bei der Zerkleinerung von Altreifen sowie der Verarbeitung der Rezyklate, etwa durch Compoundierung mit Thermoplasten, wird der Gummi teils hohen Verformungen und thermischen Beanspruchungen ausgesetzt. Dies kann grundsätzlich einen Austrag von Stoffen zur Folge haben. Zum einen enthalten Reifen Alterungs- und Ozonschutzschutzmittel, die teilweise gezielt durch Verformung an die Produktoberfläche ausgetragen werden sollen (vgl. Abbildung 28). Hier ist grundsätzlich davon auszugehen, dass diese Stoffe auch durch die Verformungsbeanspruchungen, beispielsweise bei der Zerkleinerung freigesetzt werden.

Des Weiteren beginnen Altreifenrezyklate unter thermischer Beanspruchung ab etwa 100°C verstärkt Stoffe zu emittieren.

Abbildung 28 Durch Verformung ausgetretene Alterungsschutzmittel eines Reifens



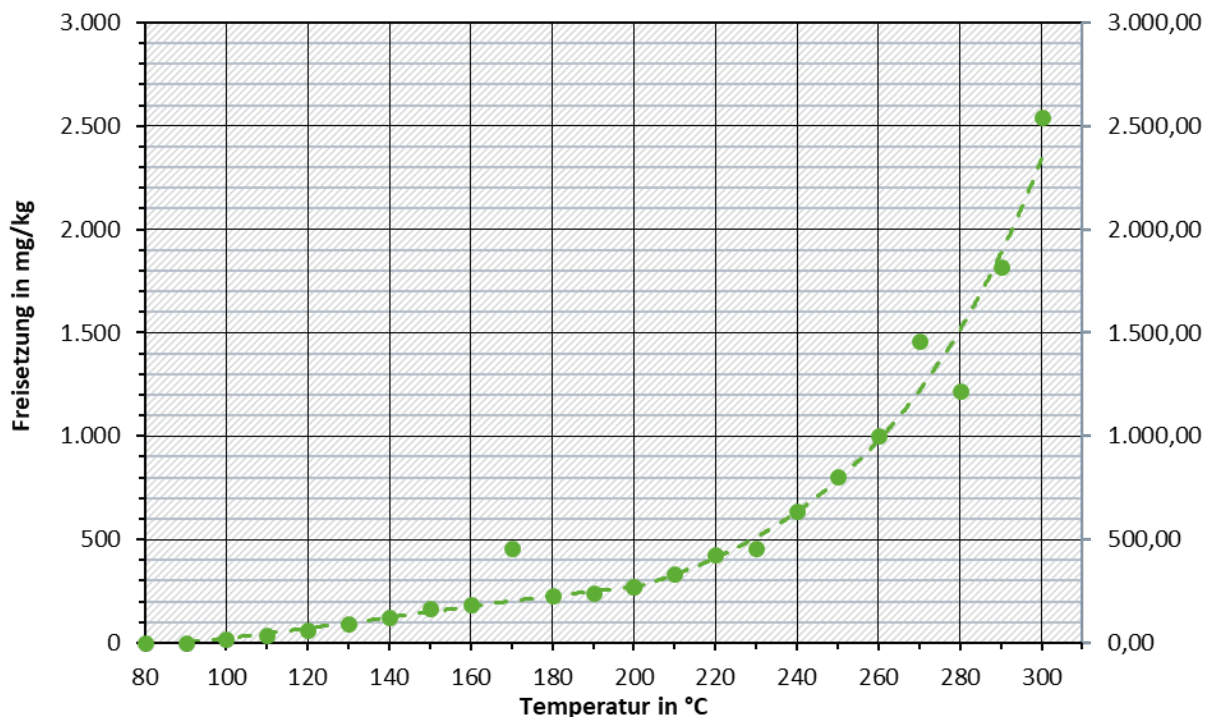
Quelle: eigene Darstellung

Der maximale Einsatztemperaturbereich von Natur- und SBR-Kautschuk beträgt etwa 80 °C (kurzzeitig bis zu 100 °C). Oberhalb dieser Temperaturen kommt es zu einer Degradation des Werkstoffs. Ferner kommt es zu einer Freisetzung von flüchtigen Stoffen aus dem Altreifenzyklat, etwa von Weichmachern, Alterungsschutzmittel und einer Fülle weiterer chemischer Verbindungen.

Das temperaturabhängige Freisetzungspotenzial von flüchtigen organischen Verbindungen aus Altreifenzyklat wurde in Hoyer, Kroll (2019) mittels statischer Dampfraumgas-chromatographie untersucht. Kryogen vermahlener Lkw-Ganzreifen mit einer Größe von 200–400 µm wurde in einer Stickstoffatmosphäre auf Temperaturen zwischen 80–300 °C erwärmt und die Konzentration flüchtiger Stoffe im Dampfraum quantifiziert. Die Freisetzung von Stoffen beginnt ab etwa 80 bis 90 °C und steigt zunächst näherungsweise linear mit der Temperatur (vgl. Abbildung 29). Ab circa 180 °C steigt die Freisetzung dann näherungsweise exponentiell mit der Temperatur an.

Während bei 100°C die Zahl der gefundenen Komponenten noch überschaubar ist, wächst die Zahl der flüchtigen Verbindungen mit zunehmender Temperatur deutlich an. Es werden Verbindungen mit 1–3 Kohlenstoffatomen, zahlreiche Verbindungen mit 4–6 Kohlenstoffatomen, sowie weitere Komponenten mit 6 und mehr als 6 Kohlenstoffatomen festgestellt. Bei niedrigen Temperaturen wurden in der Gasphase nahezu ausschließlich Komponenten C1–C4, sowie Methylisobutylketon, Xylol, Cyclohexanon und Benzothiazol gefunden. Während C1–C4, Toluol und Xylol auch bei höheren Temperaturen noch charakteristisch sind, verschwinden die anderen genannten Verbindungen nach und nach und es wird eine Vielzahl nicht näher zugeordneter Komponenten freigesetzt.

Abbildung 29 Freisetzung von flüchtigen organischen Verbindungen in einer Stickstoffatmosphäre als Funktion der Temperatur



Quelle: Hoyer, Kroll (2019)

Begleitend wurde der Dampf des Altreifenmehls bei ausgewählten Temperaturen mittels gaschromatographischer Verfahren untersucht und die enthaltenen organischen Komponenten

spezifiziert (vgl. Tabelle 75 und Anhang B.10 dieses Dokuments). Es zeigte sich, dass die freigesetzten organischen Verbindungen hauptsächlich aus Ketonen, aromatischen Kohlenwasserstoffen und sauerstoffhaltigen heterozyklischen Verbindungen bestehen. Daneben wurden aber auch einige schwefel- und stickstoffhaltigen Verbindungen gefunden. Die mit Hilfe der Thermodesorptions-GCMS erhaltenen Q1MS-Chromatogramme wurden durch einfachen Datenbankabgleich (NIST2014) qualitativ und quantitativ charakterisiert. Die detaillierten Ergebnisse sind in Anhang B.10 dieses Dokuments wiedergegeben.

Tabelle 75 Zusammensetzung des organischen Anteils des Dampfraums über Altreifenmehl

Dampfraum-Temperatur	140 °C	140 °C	180 °C	180 °C
Anzahl der ermittelten Stoffe (Z)	162	162	365	365
Verbindungs-kategorie	Anzahl Z	Anteil in Gew. %	Anzahl Z	Anteil in Gew. %
Ketone	23	46,2	61	25,9
Aromaten	10	19,6	32	20
O-Heterozyklen	18	12,2	33	11,9
Alkohole	11	5,6	21	0,9
Olefine	16	5,4	37	9,9
Carbonsäureester	16	3,9	33	3,7
Aldehyde	6	2,8	18	10,3
S-Verbindungen	17	2,8	18	0,8
N-Verbindungen	16	0,6	27	3,3
Naphthene	8	0,4	26	7,8
Carbonsäuren	6	0,2	15	2
N-Heterozyklen	8	0,2	5	0,3
n/i-Paraffine	3	<0,1	18	2,4
Sonstige	4	<0,1	12	0,2
S-Heterozyklen	0	0	9	0,8

Die Dauereinsatztemperatur von Werkstoffen mit Altreifenrezyklat sollte daher eine Temperatur von 80 °C nicht überschreiten, die Verarbeitung sollte unterhalb von 180 °C erfolgen.

8.6.4 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

8.6.4.1 Einordnung und Geltungsbereich von Regelungen zum PAK-Gehalt

Hinsichtlich der geltenden Grenzwerte in Bezug auf polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) muss zwischen den Bereichen Neureifen und Sekundärprodukte, welche (anteilig) aus Altreifenrezyklaten hergestellt werden, unterschieden werden.

Seit 2010 gelten gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) (Europäisches Parlament 2006) PAK-Grenzwerte für die Weichmacheröle welche zur Herstellung von Reifen verwendet

werden. Neben Weichmachern ist aber vor allem der Füll- und Verstärkungsstoff Ruß eine Haupteintragsquelle für PAK im Reifen, deren Gehalt auf EU-Ebene nicht geregelt ist. Es existiert damit formal kein geltender Grenzwert für den Gesamtgehalt an PAK in Reifen. Ergebnisse der Messung von Reifen nach den Regelungen gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 finden sich beispielsweise in (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit 2012, ETRMA 2011a, ETRMA 2011b, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2010, Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz 2011). Sadiktsis et al. (2012) zeigen beispielsweise, dass der PAK-Gehalt der Laufflächen verschiedener Reifenhersteller vor 2010 sehr große Schwankungsbreiten aufwies. Die PAK-Gehaltsbestimmung der Lauffläche von verschiedenen Herstellern erbrachte PAK-Gehalte zwischen 3,79 und 85,2 mg/kg für eine Gruppe von 15 PAK-Spezies (0,27 bis 10,1 für Benzo(a)pyren).

Die zur Reifenherstellung verwendeten Rußtypen sind hoch komplex aufgebaute Festkörper, die mittels speziellen Verfahren (meist Furnace) eigens hergestellt werden. Sie werden anhand einer Vielzahl verschiedener Eigenschaften, wie z. B. Teilchengröße, -verteilung oder -struktur, gemäß ASTM-Standard D 1765 in verschiedene Typen klassifiziert, welche jeweils zur Erzielung definierter Materialeigenschaften ausschlaggebend sind. Ein typischer Reifen enthält gleichzeitig ca. 8 verschiedene Rußtypen, die gesamte Fülle an Rußtypen ist jedoch bedeutend größer. Entsprechend kann die Vielzahl der Rußtypen in der Reifenproduktion nur sehr eingeschränkt durch solche mit niedrigen PAK-Gehalten bzw. durch Alternativen wie Silika substituiert werden. Dennoch existiert am Markt eine Reihe von Niedrig-PAK-Rußtypen, beispielsweise von der Firma CABOT. Diese könnten potentiell als Substitute für Rußtypen wie ASTM N650, 683, 539, 550 (z. B. SPHERON® SO-LP), ASTM N300, 200 (VULCAN® 6-LP) oder ASTM N500, 600, 700 (SPHERON® 4000-LP) verwendet werden. In wie weit dies jedoch technisch uneingeschränkt möglich ist und ob derartige Rußtypen zur Produktion von Neureifen Anwendung finden, ist nicht bekannt. In jedem Fall werden nicht alle Ruße, insbesondere die hochverstärkenden Typen, durch Niedrig-PAK-Typen ersetzbar sein.

In weiten Teilen der etablierten Absatzmärkte für Altreifenrecycling wurde der Gehalt an PAK in Erzeugnissen präventiv begrenzt (Europäische Kommission 2013, Deutsches Institut für Bautechnik 2019). Die jeweiligen Regelungen beziehen sich dabei nicht direkt auf Altreifen, sondern auf spezifische Produktgruppen oder Anwendungsbereiche, wie z. B. Bodenbeläge, für welche das Reifenrecycling potentiell eingesetzt wird. Je nach Anwendungsfall gelten dabei unterschiedliche Regelungen, werden unterschiedliche Typen und Gruppen von PAK-Spezies betrachtet und andere Grenzwerte gesetzt. Die hier geltenden Grenzwerte betrachten jedoch, im Unterschied zu den Neureifen, den Gesamtgehalt an PAK im Werkstoff und nicht nur jenen des Weichmachers. Entsprechend sind sowohl die Messverfahren als auch die Messergebnisse nicht mit jenen vergleichbar, die gemäß (Europäisches Parlament 2006) für die Reifenproduktion relevant sind.

8.6.4.2 Historische Entwicklung der PAK-Grenzwerte

Ausgehend von hohen PAK-Gehalten von bis zu 2.000 mg PAK und 87 mg B[a]P pro kg Produkt, welche die Stiftung Warentest 2005 in Werkzeuggriffen und Kabelummantelungen nachgewiesen hatte, wurden unverbindliche Orientierungswerte für technisch unvermeidbare PAK-Gehalte von Produkten vorgeschlagen. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) wurde in der Folge um die Bewertung dieser Orientierungswerte sowie des Auftretens von PAK in verbrauchernahen Produkten gebeten. (BfR 2009)

Der TÜV Rheinland stellte 2009 erneut erhebliche Überschreitungen der Orientierungswerte in Bedarfsgegenständen fest (Maximalwerte von mehr als 9.900 mg PAK und mehr als 500 mg

B[a]P pro kg Produkt). Daher kam das BfR zu dem Schluss, das von „einer andauernden Vermarktung mangelhafter Produkte [auszugehen sei], die gesundheitlich bedenklich sind und einer guten Herstellungspraxis nicht entsprechen“ (BfR 2009, S. 1), „obwohl die Herstellung geringer belasteter Produkte bekanntermaßen in der Regel technisch möglich ist“ (BfR 2009, S. 6). Die Hersteller sollten „die PAK-Gehalte in Produkten so weit wie möglich senken, da für einige PAK keine Schwellenwerte angegeben werden können, unterhalb derer ein Gesundheitsrisiko ausgeschlossen werden kann.“ „Um Verbraucher vor gesundheitlichen Gefahren zu schützen, [hatte das BfR darum] die Festlegung von gesetzlichen Grenzwerten für PAK und Benzo[a]pyren vor[geschlagen], deren Einhaltung eine Voraussetzung für die Verkehrsfähigkeit von verbrauchernahen Produkten mit Hautkontakt sein sollte.“

Es wurde die Auffassung vertreten, dass der PAK-Gehalt in Verbraucherprodukten so weit wie möglich minimiert werden sollte. Entsprechende Regelungen sollten auf dem ALARA-Prinzip⁶⁰ basieren, d. h. so niedrig, wie vernünftigerweise erreichbar sein. In Übereinstimmung mit dem Vorsorgeprinzip der europäischen Umweltpolitik war der Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt eine Priorität. Eine vernünftige Begrenzung des PAK-Gehalts erschien daher zum Schutz von Mensch und Umwelt angemessen, auch wenn der endgültige wissenschaftliche Nachweis, dass solche Produkte ein tatsächliches Gesundheitsrisiko darstellen, noch nicht vollständig erbracht ist.

Das BfR (2009) kam zu dem Schluss, dass:

- ▶ „die Einhaltung der vorgeschlagenen Werte für Werkzeuggriffe und andere Bedarfsgegenstände mit Hautkontakt technisch möglich“ sei,
- ▶ die Orientierungswerte „aber nicht grundsätzlich auf andere Produkte und Produktgruppen übertragen werden [sollten], da die Herstellungsprozesse durchaus unterschiedlich sein können und somit sowohl niedrigere, als auch in speziellen Fällen nur höhere technisch unvermeidbare Gehalte erreichbar sind“,
- ▶ „bei der Festsetzung von Orientierungswerten neben der technischen Vermeidbarkeit auch immer die mögliche Exposition von Verbrauchern berücksichtigt werden“ sollte,
- ▶ „für die Abschätzung des Gesundheitsrisikos [...] weniger die PAK-Gehalte in einem Produkt relevant [sind], als vielmehr die Mengen, die bei Hautkontakt freigesetzt und vom Verbraucher aufgenommen werden“,

Daher wurde vom BfR eine Expositionsabschätzung durchgeführt, die auf experimentellen Ergebnissen des TÜV für die Migration von PAK aus einem Werkzeuggriff in Schweißsimulanz basiert. Als Ergebnis schätzte das BfR im Rahmen einer Worst-Case-Abschätzung eine Migration von 1 % des gesamten PAK-Gehalts in das Schweißsimulanz.

Im Jahr 2010 wurden daher der Europäischen Kommission Grenzwerte empfohlen⁶¹ (BfR 2010), deren Höhe sich an der damaligen Nachweisgrenze der Analysemethode des deutschen GS-Gütesiegels ("Geprüfte Sicherheit") orientierte (0,2 mg/kg).

⁶⁰ ALARA ist ein Akronym für „as low as reasonable achievable“, d. h. so niedrig, wie vernünftigerweise erreichbar.

⁶¹ „Um die menschliche Gesundheit vor den Gefahren vor PAK zu schützen, regte Deutschland im Juni 2010 auf Initiative der REACH-Bewertungsstellen Bundesinstitut für Risikobewertung und UBA an, die Verwendung der acht als krebserregend eingestuft polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Verbraucherprodukten zu beschränken. Dazu sollte die KOM ihr alleiniges Vorschlagsrecht für das vereinfachte Verfahren nach REACH, Artikel 68(2) nutzen. Als Reaktion darauf hat die EU im

8.6.4.3 Regelungen in Bezug auf eine Begrenzung des PAK-Gehaltes

8.6.4.3.1 Verordnung (EU) Nr. 1272/2013 (Beschränkungen der Verwendung von PAK unter der REACH-Verordnung)

Die EU-Verordnung Nr. 1272/2013 gilt seit dem 27. Dezember 2015 und bezieht sich auf zugängliche Kunststoff- oder Gummiteile von Erzeugnissen. Sie begrenzt den Gehalt jedes der folgenden 8 PAK auf 1 mg/kg: Benzo[a]pyren, Benzo[e]pyren, Benzo[a]anthracen, Chrysen, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[j]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren und Dibenzo[a,h]anthracen. Dabei gelten diese Beschränkungen "nur für die Teile von Erzeugnissen gelten, die bei normaler oder vernünftigerweise vorhersehbarer Verwendung unmittelbar, länger oder wiederholt für kurze Zeit mit der menschlichen Haut oder der Mundhöhle in Berührung kommen. Für Spielzeuge oder Kinderartikel gelten darüber hinaus noch niedrigere Grenzwerte. Erzeugnisse oder deren Bestandteile, die nur kurz und selten mit der Haut oder der Mundhöhle in Berührung kommen, sollten nicht unter die Beschränkung fallen, da die darauf beruhende PAK-Exposition unbedeutend wäre." Die Verordnung gibt nicht vor, wie der PAK-Gehalt zu bestimmen ist. Mit dem Durchführungsbeschluss M/556 der Europäischen Kommission (2017) wurden das Europäische Komitee für Normung (CEN) und das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung (Cenelec) aufgefordert, Entwürfe für harmonisierte Normen zur analytischen Konzentrationsbestimmung zu erarbeiten.

Weiter heißt es „Bis zum 27. Dezember 2017 überprüft die Kommission die Grenzwerte gemäß den Absätzen 5 und 6 im Lichte neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse, auch über die Migration von PAK aus den darin genannten Erzeugnissen, sowie über alternative Rohstoffe und ändert diese Absätze gegebenenfalls entsprechend.“

8.6.4.3.2 Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) Ausgabe 2019/1; Amtliche Mitteilungen 2020/1 (Ausgabe: 15. Januar 2020)

Die Muster-Verwaltungsvorschrift wird vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) veröffentlicht und dient als Vorlage für die Vorschriften der Bundesländer. Die (MVV TB 2019/1 in der Fassung vom 15.01.2020) legt die allgemeinen Anforderungen an Bauwerke, Bauprodukte und andere Anlagen und Geräte fest. In Abschnitt 2.2.2.1 werden Grenzwerte für den PAK-Gehalt von Bauprodukten in Aufenthaltsräumen und baulich nicht davon abgetrennten Räumen definiert. Diese gelten für Produkte, die einen direkten oder indirekten Kontakt zum Innenraum haben. Ein indirekter Kontakt besteht, wenn ein Produkt nicht diffusionsdicht verkleidet oder abgedeckt ist.

„Für Produkte, die an die breite Öffentlichkeit abgegeben werden (**verbrauchernahe Verwendungen**) sind die Anforderungen entsprechend der REACH-Verordnung einzuhalten, hierzu zählen auch Fußbodenbeläge und Prallwandkonstruktionen für Sporthallen und Aufenthaltsräume, auch wenn diese nur an professionelle Anwender, die diese verbauen, abgegeben werden.“ Entsprechend sind für verbrauchernahe Anwendungen die Grenzwerte gemäß Verordnung (EU) Nr. 1272/2013 relevant.

„Bei Produkten nach Abschnitt 2.2.1, **auch ohne direkten Kontakt zum Gebäudenutzer** (z. B. Verlegeunterlagen, Trittschalldämmung unter Estrich, Bodenbeläge mit PU-Beschichtung), welche Rohstoffe mit Recyclinganteilen aus Gummi oder Rohstoffe mit Einsatz von PAK-haltigen Weichmacherölen bzw. PAK-haltigem Ruß enthalten“, wird die Summe der 16 PAK nach EPA (s. [UPB20]) auf 50 mg/kg und Benzo[a]pyren (B[a]P) als Leitsubstanz auf 5 mg/kg begrenzt. Der analytische Nachweis von PAK erfolgt in Anlehnung an die **Methode der AfPS GS 2019:01**. Bis

Dezember 2013 erstmalig Grenzwerte für Kunststoff- oder Gummiteile solcher Erzeugnisse festgelegt, die Verbrauchern zugänglich sind.“ (Umweltbundesamt 2016)

zur Veröffentlichung eines neuen europäisch harmonisierten Prüfverfahrens für PAK⁶² (Frist 31.12.2022) ist **optional die GC-Methode nach DIN ISO 18287:2006-05** zulässig (Anhang 8, S. 222, Fußnote 9). Nach Auskunft eines Altreifenentsorgungsunternehmens bestehen Bestrebungen des DIBt, die PAK-Gehaltsgrenzen durch Emissionsgrenzwerte zu ersetzen.

Im Anhörungsdocument zur Änderung der MVV TB (Deutsches Institut für Bautechnik 2021) wurde im Januar 2021 eine Änderung von Anhang 8, Ziffer 2.2.2.1 MVV TB vorgeschlagen. Der PAK-Grenzwert bleibt zwar in Kraft, aber partikeldicht verwendete Produkte werden davon ausgenommen. Partikeldicht bezieht sich auf eine mögliche Freisetzung von partikelgebundenen PAK in den Aufenthaltsraum. Dies betrifft insbesondere Produkte wie Schallschutz und Trittschalldämmungen, die einen großen Anteil an den Recyclingprodukten aus Altreifen einnehmen. Diese Änderung wird von der Recyclingbranche sehr positiv aufgenommen und wird zu einer partiellen Entspannung der aktuellen Situation führen. Jedoch bestehen weiterhin Unsicherheiten im Hinblick auf andere, nicht partikeldicht verbaute Produkte.

8.6.4.3.3 GS-Spezifikation AfPS GS 2019:01 PAK

Die GS-Spezifikation definiert die Anforderungen an den PAK-Gehalt von Produkten im Rahmen der Zuerkennung des GS-Zeichens. Sie ist eine freiwillige Spezifikation, deren Einhaltung die Vergabe des GS-Zeichens (Geprüfte Sicherheit) ermöglicht.

Es werden 15 PAK-Spezies berücksichtigt. Dazu gehören neben Benzo[e]pyren und Benzo[j]fluoranthren auch die 16 EPA-PAK (Umweltprobenbank des Bundes 2020), mit Ausnahme von Acenaphthen, Acenaphthylen und Fluoren. Für Materialien „mit kurzfristigem Hautkontakt (bis zu 30 s) bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung“ werden gemäß Kategorie 3 b. (sonstige Verbraucherprodukte) die Grenzwerte für Naphthalin auf 10 mg/kg und die Summe von Phenanthren, Pyren, Anthracen und Fluoranthren auf 50 mg/kg festgelegt. Der Gehalt aller anderen regulierten PAK ist auf jeweils auf 1 mg/kg begrenzt. Die Summe aller 15 regulierten PAK ist auf 50 mg/kg begrenzt. Die Quantifizierung erfolgt mit Toluol-Extrakten am Gaschromatographen mit massenspezifischem Detektor (GC-MSD) in der SIM-Methode.

8.6.4.3.4 DIN EN 14041:2018-5, Elastische, textile, Laminat- und modulare mehrschichtige Bodenbeläge - Wesentliche Merkmale

Diese Europäische Norm gilt für elastische Bodenbeläge, die für die Verwendung in Innenräumen bestimmt sind. Sie bezieht sich auf die gleichen acht PAK, die in der Verordnung (EU) Nr. 1272/2013 spezifiziert sind, und legt für jeden dieser PAK die gleichen Grenzwerte von 1 mg/kg fest. In Anhang E wird eine detaillierte Beschreibung für die Analyse des PAK-Gehalts durch Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) von Toluol-Extrakten gegeben. Die Einhaltung dieser Norm würde grundsätzlich die Vergabe eines CE-Zeichens erlauben. *Diese Norm ist jedoch bisher noch nicht im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht, weshalb die CE-Kennzeichnung nach dieser Norm bisher noch nicht möglich ist.*

8.6.4.3.5 Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH)

Die Verordnung setzt in Eintrag 28 von Anhang XVII der REACH-Verordnung Konzentrationsgrenzen für die einzelnen REACH-8 PAK in Gemischen. Die elastischen Füllstoffe aus Rezyklat für Kunststoffrasenbeläge werden von der Europäischen Kommission und den Mitgliedsstaaten als Zubereitung (Gemisch) betrachtet (20. Sitzung der CARACAL vom 8./9.03.2016 in Brüssel) und unterliegen damit dem Eintrag 28 des Anhangs XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung) in Verbindung mit Anhang I

⁶² Das neue Prüfverfahren entsteht beim DIN NA 062-08-91 AA (Übersichtsanalyse für besonders besorgniserregende Stoffe) bzw. dem Spiegelausschuss bei CEN/CLC/BT WG 13 „Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in rubber and plastic“

(Tabelle 3.6.2) sowie Anhang VI Teil 3 (Tabelle 3.1) der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP-Verordnung). Die Konzentrationsgrenzen sind 1.000 mg/kg für Benzo[e]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[j]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren und Chrysen (Tabelle 3.6.2) und 100 mg/kg für Benzo[a]pyren und Dibenzo[a,h]anthracen (Tabelle 3.1). Diese können mit Hilfe des Additivitätsansatzes in einen Summengrenzwert von 387 mg/kg für die Summe der REACH-8-PAK übersetzt werden (ECHA 2019).

Zum achten September 2020 hat die Europäischen Kommission (2020) einem Verordnungsentwurf veröffentlicht der vorsieht, den Grenzwert für die Summe der acht REACH-PAK in Granulat und Mulch auf 20 mg/kg abzusenken.

8.6.4.3.6 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)

„Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 12. Juli 1999) legt drei Werte zum Schutz der Böden vor Verunreinigungen fest: Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmewerte. Die Vorsorgewerte sollen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen verhindern. Bei Überschreitung von Prüfwerten liegen konkrete Anhaltspunkte für eine schädliche Bodenveränderung vor. Die Maßnahmewerte dienen dem Zweck der Gefahrenabwehr in Böden. Für PAK bestehen Werte für die Summe der 16 PAK der US-EPA und für die Einzelsubstanzen Benzo[a]pyren und Naphthalin.“ (Umweltbundesamt 2016)

„Für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze gilt ein Prüfwert für Benzo[a]pyren von 1 mg/kg der Feinbodentrockenmasse (TM). Die Maßnahmewerte für Benzo[a]pyren betragen für Kinderspielflächen 2 mg/kg TM, für Wohnflächen 4 mg/kg TM, für Park- und Freizeitanlagen 10 mg/kg TM und für Industrie- und Gewerbegrundstücke 12 mg/kg TM. Als Vorsorgewerte für Benzo(a)pyren in Böden mit einem Humusgehalt > 8 % gelten 1 mg/kg TM, in solchen < 8 % auf 0,3 mg/kg TM.“ (Umweltbundesamt 2016)

8.6.4.3.7 EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, RL 2000/60/EG (2000))

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, RL 2000/60/EG (2000)) benennt in Anhang X acht PAK, für welche durch die Mitgliedsstaaten Qualitätsnormen festzulegen sind. In Deutschland definiert die Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV), Anlage 8, Tabelle 2 derartige Umweltqualitätsnormen. „Darüber hinaus sind die PAK als „prioritär gefährliche Stoffe“ eingestuft, für die zusätzlich eine „phasing out“ Verpflichtung besteht. Diese Stoffe sollten in die Gewässer der Gemeinschaft zu einem noch festzulegenden Zeitpunkt nicht mehr eingetragen werden“ (Umweltbundesamt 2016). Für die Einleitung von Abwasser in ein Gewässer oder das Grundwasser ist eine wasserrechtliche Erlaubnis gem. §§ 8, 9 und 10 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) erforderlich.

8.6.4.4 Von Regelungen erfasste Produkt- und Anwendungsbereiche

Tabelle 76 Von den Regelungen potenziell berührte Anwendungsbereiche

Regelung	Relevanz	Beispiele für betroffene Produktgruppen
Verordnung (EU) Nr. 1272/2013 in Verbindung mit (EG) Nr. 2018/1513	Zugängliche Kunststoff- oder Gummiteile (Erzeugnisse) die bei normaler oder vernünftigerweise vorhersehbarer Verwendung unmittelbar, länger oder wiederholt für kurze Zeit mit der Haut oder der Mundhöhle in Berührung kommen	Griffe, Sportartikel, Antirutsch-Matten/Ladungssicherung, Möbel (z. B. Parkbänke), Kunstrasen je nach Ausführung: Bodenbeläge, Sport- und Fallschutzmatten in Verbindung mit (EG) Nr. 2018/1513 auch Schuhwaren und Kleidung

Regelung	Relevanz	Beispiele für betroffene Produktgruppen
Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) Ausgabe 2019/1	Bauteile, Bausätze und Baustoffe für Aufenthaltsräume und baulich nicht davon abgetrennte Räume	Bodenbeläge, Verlegeunterlagen, Schall- und Schwingungsdämmungen, Prall- und Lärmschutzwände, Sport- und Fallschutzmatten
Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) sowie EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)	Produkte, v. a. mit direktem Kontakt zur Umwelt, deren Eluate, etwa durch Regenwasser, in die Umwelt gelangen können.	Deich-, Bodenschutz-, Stall-, Sport- und Fallschutzmatten, Kunstrasen, Balkonplatten, (Weg-)Einfassungssysteme, Bautenschutz (in Form von Matten oder Beschichtungssystemen), Straßenbau, Bahnübergangssysteme

Die von den Regelungen des PAK-Gehaltes tangierten Anwendungsbereiche für Altrefenrezyklate nehmen grundsätzlich nur einen Anteil am gesamten Markt für Sekundärprodukte ein. Genaue Zahlen sind nicht verfügbar. Der Anteil am Bereich der granulatisierten Produkte wird auf eine Größenordnung von 10 bis 20 % abgeschätzt, wobei dieser Anteil für einzelne Unternehmen deutlich höher ausfallen könnte.

8.6.4.5 Übersicht relevanter Messverfahren bzw. Methoden zur Bestimmung des PAK-Gehaltes in Produkten bzw. Abfällen

Grimmer-Methode (Standard Operating Procedure (SOP) PAK-0397) Diese analytische Methode basiert auf dem Prinzip der stabilen Isotopenverdünnung mittels GC-MS mit selektivem Ionenmonitoring (SIM-Modus) und erlaubt die Quantifizierung des PAK-Gehalts im sub-ppb-Bereich. Die Grimmer-Methode wurde im Rahmen der Arbeiten des Biochemischen Instituts für Umweltkarzinogene (BIU) für die Umweltpollenbank des Umweltbundesamtes (UBA) für verschiedene Matrices validiert und ist veröffentlicht (Grimmer et al. 1997). Zurzeit wird die interne SOP PAH-0397 V16062003 angewendet.

DIN EN 15527:2008-09: Charakterisierung von Abfällen - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Abfall mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC/MS)

DIN ISO 18287:2006-05: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) - Gaschromatographisches Verfahren mit Nachweis durch Massenspektrometrie (GC-MS). Vorübergehend alternativ zulässig (Frist 31.12.2022) für den analytischen Nachweis auf PAK gemäß der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB 2019/1, Ausgabe: 15. Januar 2020).

GS-Spezifikation AfPS GS 2019:01 PAK (Stand: 15. Mai 2019), Anlage Prüfanweisung: Harmonisierte Methode zur Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Polymeren. Die Prüfanweisung ist inhaltlich deckungsgleich zur AfPS GS 2014:01PAK. Beide Spezifikationen unterscheiden sich nur hinsichtlich der betrachteten PAK-Spezies. Gegenüber der AfPS GS PAK 2014:01 sind in der AfPS GS 2019:01 die PAK-Spezies Acenaphthene, Acenaphthylene und Fluorene entfallen, so dass nur noch 15 PAK, statt bisher 18, bestimmt werden. Der analytische Nachweis auf PAK gemäß der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB 2019/1, Ausgabe: 15. Januar 2020) erfolgt in Anlehnung an diese Methode (AfPS GS 2019:01).

Barrero-Moreno et al. (2018): Methode zur Bestimmung sehr niedriger Gehaltskonzentrationen von PAK in Gummi- und Kunststoffbestandteilen von Erzeugnissen.

8.6.4.6 Vergleich der Messverfahren

Die analytische Methode der einzelnen Verfahren basiert auf dem Prinzip der Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS). Die einzelnen Verfahren unterscheiden sich insbesondere in der Art der Extraktion der PAK aus den Proben sowie den dazu verwendeten Lösungsmitteln (vgl. Tabelle 77).

Tabelle 77 Vergleich der Messverfahren bzw. Methoden zur Bestimmung des PAK-Gehaltes

	DIN EN 15527:2008-09	DIN EN 15527:2008-09	DIN ISO 18287: 2006-05	GS-Spezi- fikation AfPS GS 2019:01 PAK	Grimmer- Methode (SOP PAK- 0397)	Barrero- Moreno et al. (2018), Annex 2
Probenmenge	10 bis 25 g	10 bis 25 g	10 bis 25 g	500 mg	3 g	50 / 100 mg (< 1 mm)
Extraktions- methode	Soxhlet- Extraktion	Extraktion Schütteln od. Ultraschall- behandlung	Extraktion durch Schütteln	Ultraschall- bad, 60 °C	Heiß- extraktion (Twissel- mann)	Heiß- extraktion (Randall)
Lösungsmittel	Gemisch (1:1) aus Aceton und a) Petrolether b) n-Hexan c) Isohexan d) Cyclohexan	a) Aceton b) Petrolether c) n-Hexan d) Isohexan e) Cyclohexan	Gemisch 1:1 aus Aceton und Petrolether	Toluol	Toluol	Toluol
Extraktions- dauer	mind. 100 Extraktions- zyklen	2x 30 min	1 h (6 h) schütteln, Verfahren A (B)	1 h	8 h	3 h
Anwendungs- bzw. Bestimmungs- grenze	0,1 mg/kg	0,1 mg/kg	0,01 mg/kg	0,2 mg/kg	0,001 mg/kg	

In Barrero-Moreno et al. (2018) werden im Hinblick auf den Einfluss der verschiedenen Extraktionsmethoden folgende Ausführungen gemacht:

- „Die Auswahl eines geeigneten Lösungsmittels ist für den Extraktionsprozess entscheidend, da seine Wirksamkeit von der Polarität und dem Siedepunkt des Lösungsmittels abhängt. Aufgrund der großen Oberfläche von Ruß hat dieser eine relativ starke Adsorptionsaffinität für PAK, wobei die Extrahierbarkeit bei hohen Temperaturen optimal wird. Die beiden am häufigsten beschriebenen [7, 9, 17-19] Lösungsmittel für die Extraktion von PAK in verschiedenen Matrices sind Toluol und Hexan/Cyclohexan. Hexan hat einen niedrigeren Polaritätsindex (nahe dem Polaritätsindex der hochlipophilen PAK). Sein Siedepunkt liegt jedoch etwa 40 °C niedriger als bei Toluol. Aus diesem Grund wurde Toluol als Extraktionslösungsmittel gegenüber Hexan bevorzugt.“
- „Die Massenkonzentrationen, die bei der Extraktion mit der Randall-Heißextraktion erreicht wurden, waren im Vergleich zu den Konzentrationen, die mit der Ultraschallextraktion erzielt wurden, immer höher. Dieser Unterschied scheint unabhängig vom PAK-Gehalt und

von der Art des Materials zu sein. Die mit Ultraschall-Extraktion erzielten Gehalte waren je nach spezifischer PAK zwischen 10–40 % niedriger, was darauf hindeutet, dass die Ultraschall-Extraktion unter diesen Bedingungen im Vergleich zur Randall-Heißextraktion weniger effizient sein kann.“

- „Das Randall-Heißextraktionsverfahren stellt eine Verbesserung gegenüber der klassischen Soxhlet-Extraktionstechnik dar, da es die Extraktionszeit erheblich verkürzt. Im Vergleich zur klassischen Soxhletmethode, bei der das kondensierte Lösungsmittel eine Temperatur unterhalb des Siedepunkts hat, wird bei der Randall-Methode das Probenmaterial vollständig in siedendes Lösungsmittel eingetaucht, was zu einer großen Zeitersparnis führt, da die Analyten in siedendem Lösungsmittel besser löslich sind. Weitere Vorteile des Heißextraktionsverfahrens sind kurze Prozesswege, geringer Lösungsmittelbedarf und ein extraktionsschonenderes Verfahren (aufgrund der kürzeren Extraktionszeit).“
- „Innerhalb der Fehlermarge, die durch die Standardabweichungen gegeben ist, wurde kein Unterschied in den Massenkonzentrationen (Gehalt) zwischen den Eintauchzeiten von 2h und 4h beobachtet, was darauf hindeutet, dass die Extraktion bereits nach dem Eintauchen für 2h vollständig war. Hamm und Coautoren untersuchten die Extraktionszeit/Zyklen, die erforderlich sind, um eine vollständige Extraktion von PAK aus Ruß mit der traditionellen Soxhlet-Extraktion zu erhalten, und kamen zu dem Schluss, dass 16 Stunden (320 Zyklen) mit Toluol erforderlich sind. Es ist bekannt, dass die Rand-Extraktion die Extraktionszeiten im Vergleich zur klassischen Soxhlet-Extraktion um den Faktor 4 bis 5 verkürzt. Dies entspricht einer Gesamtextraktionszeit von 3–4 Stunden (einschließlich aller drei Schritte) und bestätigt die quantitative Extraktion aller PAK in unserer Studie.“

8.6.4.7 Übereinstimmung zwischen PAK-Gehaltsbestimmung und dem tatsächlichen Gesamtgehalt an PAK

In Barrero-Moreno et al. (2018) erfolgte eine Überprüfung der Übereinstimmung zwischen dem Ergebnis der PAK-Gehaltsbestimmung, gemäß der Methode nach Tabelle 77 sowie dem rechnerischen Gesamtgehalt an PAK der jeweiligen Probe. Bei den untersuchten Materialien handelt es sich um eigens für die Versuche hergestellte Gummiwerkstoffe, mit bekannter Zusammensetzung. Die Ergebnisse der Überprüfung für zwei kautschukbasierte Gummiprobe sind in Tabelle 78 zusammengefasst.

Barrero-Moreno et al. (2018) bewerten die Übereinstimmungen wie folgt: „Die Ergebnisse stimmen im Allgemeinen gut überein, wobei nur Benzo[a]pyren eine höhere Diskrepanz zwischen den theoretischen und den gemessenen Werten für beide NR/BR-Mischungen aufweist. Leider können diese Ergebnisse nicht für eine vollständig quantitative Richtigkeitsbewertung der Methode verwendet werden, da die vom Hersteller angegebenen Werte für den Gehalt an Ruß und destilliertem aromatischen Extrakt nur als halbquantitative Schätzungen betrachtet werden können.“

Tabelle 78 Überprüfung der Übereinstimmung zwischen dem Ergebnis der PAK-Gehaltsbestimmung sowie dem rechnerischen Gesamtgehalt an PAK der jeweiligen Probe

	NR/BR, N375, TDAE r. Gehalt mg/kg	NR/BR, N375, TDAE Messwert mg/kg	NR/BR, N375, TDAE Verhältnis %	NR/BR, N375, DAE r. Gehalt mg/kg	NR/BR, N375, DAE Messwert mg/kg	NR/BR, N375, DAE Verhältnis %
Benzo[a]anthracen	0,2	0,2	100 %	0,7	0,5	71 %
Chrysen	0,3	0,3	100 %	2,7	2,1	78 %
Benzo[b]fluoranthen	1,2	0,9	75 %	2,3	2,1	91 %
Benzo[k]fluoranthen	0,4	0,3	75 %	0,6	0,5	83 %
Benzo[j]fluoranthen	0,5	0,3	60 %	0,7	0,5	71 %
Benzo[e]pyren	3,6	3,2	89 %	6,3	6,6	105 %
Benzo[a]pyren	4,9	3,7	76 %	5,5	4,7	85 %
Dibenzo[a,h]anthracen	0,3	0,4	133 %	0,4	0,5	125 %

r. Gehalt – rechnerischer Gehalt

Quelle: Barrero-Moreno et al., 2018

8.6.4.8 Bewertung des Gesundheitsrisikos von Altreifenzyklaten durch Migrationsversuche

Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung), Nummer 50, Spalte 2, Abs. 8 ⁶³ stellt klar, dass es weiterführender wissenschaftlicher Erkenntnisse über die Migration von PAK aus Erzeugnissen bedarf, um die diesbezüglichen Regelungen an die tatsächlichen Gefährdungspotenziale anzupassen. In diesem Zusammenhang hatte das BfR (2009) bereits festgestellt, dass „für die Abschätzung des Gesundheitsrisikos [...] weniger die PAK-Gehalte in einem Produkt relevant [sind], als vielmehr die Mengen, die bei Hautkontakt freigesetzt und vom Verbraucher aufgenommen werden“.

Bartsch et al. (2016) kommen zu dem Ergebnis, dass Untersuchungen der Migration von PAK mit einem 20 %-igen Ethanol/Wasser-Gemisch bei 37 °C in ausgezeichneter Übereinstimmung mit den ex vivo⁶⁴ in echter menschlicher Haut gemessenen Migrationswerten, die mit der Franz-Zelle durchgeführt wurden, waren. Als Schlussfolgerung wird die Verwendung von 20 % Ethanol bei 37 °C als ein gutes Modell eingeschätzt, um einen Eindruck über die Gesamtmengen zu erhalten, die bei Hautkontakten bioverfügbar werden könnten. „In Bezug auf die B[a]P-Migration erwies sich die Prüfung von 20 %-igem Ethanol bei 37 °C als ein noch besseres Vorhersagemodell als andere gebräuchliche Hautmodelle, die in der Franz-Zell-Kammer (EpiDerm™, Strat-M™ oder Schweinehaut) anwendbar sind.“ ⁶⁵ (Bartsch et al. 2016)

⁶³ „Bis zum 27. Dezember 2017 überprüft die Kommission die Grenzwerte gemäß den Absätzen 5 und 6 im Lichte neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse, auch über die Migration von PAK aus den darin genannten Erzeugnissen, sowie über alternative Rohstoffe und ändert diese Absätze gegebenenfalls entsprechend.“

⁶⁴ „Der Begriff ex vivo bedeutet aus dem Lebenden und charakterisiert Reaktionen bzw. Abläufe, bei denen aus dem Organismus entnommene, lebende Gewebe (z.B. Eizellen, Transplantate) isoliert unter Laborbedingungen getestet bzw. manipuliert werden.“ (flexikon.doccheck.com 2020)

⁶⁵ Eigene Übersetzung aus dem englischen Originaltext

„Im Mai 2016 unterzeichneten die GD GFS 66 und die GD GROW 67 eine Verwaltungsvereinbarung (AA 34003), die als das STANPAHs-Projekt ⁶⁸ bekannt ist. Das Hauptziel bestand für die GFS darin, wissenschaftliche Unterstützung bei der Umsetzung und möglichen Änderung der Beschränkung für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe zu leisten, insbesondere in Bezug auf die Absätze 5 und 6 des Eintrags 50 des Anhangs XVII der REACH-Verordnung. Die Hauptziele des Projekts waren: a) ein besseres Verständnis des Migrationsverhaltens bestimmter PAK ⁶⁹ in Kunststoff- und Gummibestandteilen von Erzeugnissen und b) die Entwicklung einer zuverlässigen Methodik zur Bestimmung der PAK-Migration aus diesen Matrizen unter Bedingungen, die den Hautkontakt (einschließlich der Mundhöhle) bestmöglich simulieren.“ ⁷⁰

Barrero-Moreno et al. (2018) stellt die Ergebnisse der durchgeführten experimentellen Studien und die Erfolge bei der Erreichung dieser Ziele vor. Sie kommen zu folgenden Erkenntnissen:

- Die Verwendung von 20 % Ethanol als Simulanz zeigt eine gute Übereinstimmung mit ex vivo-Tests an menschlicher Haut, die mit der Franz-Zelle durchgeführt wurden. „Die Verwendung von 20 %-igem Ethanol als Migrationsmedium wurde aufgrund der oben erwähnten Korrelationen und der Einfachheit und der geringeren experimentellen Kosten, die mit der Verwendung von 20 %-igem Ethanol verbunden sind, weiter in Richtung Validierung und Standardisierung erwogen.“ ⁷⁰
- „Die Präzision innerhalb des Labors, ausgedrückt als relative Standardabweichung für die Wiederholbarkeit (RSDr %), variierte zwischen 7 und 23 %, und die Präzision zwischen den Labors, ausgedrückt als relative Standardabweichung für die Reproduzierbarkeit. (RSDR %) reichte von 28 bis 113 %. [...] Eine ähnliche Variabilität wurde in einer kürzlich in Deutschland unter Beteiligung von neun Laboratorien durchgeführten Studie über die Migration von PAK aus Gummimaterialien, die mit 20 %-igem Ethanol in Kontakt kommen, festgestellt. Die Variabilität der Methode konnte durch eine Revision des Injektions- und/oder Elutionsvolumens des Standard-Betriebsverfahrens verringert werden. **Es könnte dann nach entsprechender Validierung als gute Grundlage für eine harmonisierte Methode angesehen werden.**“ ⁷⁰
- „Nur die Kautschukmatrizen, die Destillat-Aromatenextrakt (DAE) als Extenderöl enthielten, zeigten eine nachweisbare Migration⁷¹ bei Verwendung von 20 %-igem Ethanol als Migrationslösung.“
- „Darüber hinaus war die **Freisetzung von PAK in experimentellen Tests mit beschichtetem Recyclinggummigranulat zwei- bis dreimal geringer als die in Tests mit unbeschichtetem Granulat gemessene freigesetzte Menge**, was darauf hindeutet, dass die Beschichtung als Barriere für die chemische Migration der Zielsubstanzen wirkt.“

⁶⁶ Generaldirektion Gemeinsame Forschungsstelle (GD GFS)

⁶⁷ Generaldirektion Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU (GD GROW)

⁶⁸ Scientific and technical support on the possible risks related to the use of materials derived from the recycling of used tyres in synthetic sports grounds and similar uses

⁶⁹ Bei den betrachteten acht „Ziel-PAK“ handelt es sich um die PAK nach Verordnung (EU) Nr. 1272/2013

⁷⁰ Eigene Übersetzung aus dem englischen Originaltext (Barrero-Moreno et al. 2018)

⁷¹ Anmerkung: Die Aussage bezieht sich nur auf die hier betrachteten acht PAK-Spezies analog der Verordnung (EU) Nr. 1272/2013

- ▶ „Qualitativ scheint es, dass PAK, die in den Weichmacherölen enthalten sind, leichter migrieren als die in der Rußkomponente der Kautschuke.“
- ▶ Die Ergebnisse bei den Migrationsexperimenten mit 20 % Ethanol deuten darauf, „dass **bei ähnlichen Bedingungen die relative Migration von PAK vom Molekulargewicht jeder Substanz sowie vom Gehalt und der Matrix abhängt.**“
- ▶ „Im gleichen Versuchssatz, der mit den DAE-haltigen Kautschukproben durchgeführt wurde, wurden aus Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM) im Vergleich zu Proben von Naturkautschuk/Butadien-Kautschukmischungen im Allgemeinen höhere PAK-Mengen freigesetzt, unabhängig von der Art des Rußes in der Formulierung.“
- ▶ Es muss berücksichtigt werden, dass die Migration chemischer Substanzen ein Diffusionsprozess ist, der durch die aus dem Fick'schen Gesetz abgeleitete Diffusionsmathematik beschrieben werden kann. Der Diffusionsprozess ist eine Funktion von Zeit, Temperatur, Dicke des Materials, Menge der chemischen Substanz im Material (Elastomere sind durchlässige Materialien) und des Verteilungskoeffizienten. Ein weiterer wichtiger Faktor, der den Migrationsprozess steuert, ist die Mobilität der Chemikalie in der spezifischen Matrix (in diesem Fall Gummi) und hängt von der Größe und Form des Moleküls ab. Die meisten dieser Parameter, wie z. B. Temperatur und Materialdicke, sind bei den [...] Migrationstests konstant. Die Menge der migrierten PAK hängt daher in erster Linie vom Gleichgewicht zwischen ihrem Gesamtgehalt in der Gummiprobe und ihrer Molekularstruktur ab.“
- ▶ „Eine weitere Feststellung kann durch den Vergleich der Freisetzung von PAK aus demselben Material, das unterschiedlichen Ruß enthält, gemacht werden. Obwohl Materialien, die CB550 enthalten, einen geringeren Gesamtgehalt an PAK aufweisen als das gleiche Material, das mit CB375 gemischt wurde, ist die Migration aus Matrizen, die CB375 enthalten, geringer. **Eine Interpretation könnte sein, dass Carbon Blacks die Fähigkeit haben, bereits freigesetzte PAK (z. B. aus Weichmacherölen) wieder zu absorbieren.** Dieser Effekt würde durch die größere Oberfläche von CB 375 sogar noch verstärkt, was zu einer geringeren effektiven Freisetzung von PAK führt.“
- ▶ In diesem Zusammenhang wurde ferner festgestellt, dass absolute Menge an PAK, die aus den Proben freigesetzt wird, zeitabhängig ist. Grundsätzlich nimmt die freigesetzte Menge mit fortschreitender Expositionsdauer zu und neigt dazu, ein Plateau zu erreichen. In Abhängigkeit einer Reihe von Faktoren wie der Mobilität des Zielmoleküls, seinem Gesamtgehalt, der Geometrie der Probe (insbesondere der gewichtsbezogenen, spezifischen Oberfläche) und der Art der Matrix, kann es jedoch auch zu **Wiederaufnahme-Effekten** kommen. In diesem Fall nimmt die freigesetzte Menge einer bestimmten PAK-Spezies, nach Überschreiten eines Maximums, mit zunehmender Expositionsdauer wieder ab (Erreichen eines Freisetzung-Wiederaufnahme-Gleichgewichts)
- ▶ Bei Migrationstest in 20 %-igem wässrigem Ethanol bei 40 °C für 1 und 4 h nimmt die Migration unter dynamischen Bedingungen (linearem Schütteln) bis zu einem Faktor 20 gegenüber einem statischen Eintauchen zu.

- Die Ergebnisse der Migrationsraten wurden durch eine geringfügige Anhebung der Inkubationstemperatur von 37 °C (nach Bartsch et al. 2016) auf 40 °C nicht signifikant beeinflusst.

Rückschlüsse/Schlussfolgerungen

- Der ermittelte PAK-Gehalt von Altreifen ist in hohem Maße abhängig vom gewählten Prüfverfahren. Entsprechend scheint es daher plausibel anzunehmen, dass ein Messverfahren weniger den absoluten PAK-Gehalt eines Produktes bestimmt als vielmehr die unter Versuchsbedingungen extrahierbare Menge an PAK. Die ermittelten PAK-Gehalte sowie in letzter Konsequenz die Grenzwerte der verschiedenen Regelungen sind damit nur eingeschränkt vergleichbar, da verschiedene Messverfahren verwendet werden.
- Mit der Extraktionsdauer von 1h im Soxhlet-Verfahren nach DIN EN 15527:2008-09 erfolgt keine vollständige Extraktion von PAK aus Ruß.
- Für die Schüttel- bzw. Ultraschallverfahren nach DIN EN 15527:2008-09, DIN ISO 18287:2006-05 sowie AfPS GS 2019:01 PAK werden, bedingt durch die geringere Effizienz, deutlich niedrigere PAK-Gehalte erzielt als mit den Verfahren der Soxhlet- oder Heißeextraktion.
- Mit dem Extraktionsverfahren nach der Grimmer-Methode ist grundsätzlich von einer, im Vergleich zu den anderen Verfahren, maximalen Extraktion der PAK auszugehen, welche, in Anbetracht der weitestgehend ähnlichen Methodik, eine näherungsweise ähnlich umfassende Extraktion von PAK erreicht, wie die Methode nach Barrero-Moreno et al. (Tabelle 77).

8.6.4.9 Vergleich der Resultate der PAK-Gehaltsbestimmung nach den verschiedenen Messverfahren bzw. Methoden

Im Folgenden wird ein auszugsweiser Vergleich der Ergebnisse für die oben genannten Messverfahren bzw. Methoden, ausgehend von identischem Probenmaterial, gegeben.

Die PAK-Profilanalysen am BIU Grimmer wurden analog zu der Messung in Kapitel 8.6.5 nach der sogenannten Grimmer-Methode (Standard Operating Procedure (SOP) PAK-0397) durchgeführt. Grundlage der Messungen waren stets Pkw-Ganzreifen (Granulate mit 0,5–2 mm) von der Firma PVP Triptis GmbH. Alle Proben wurden jeweils derselben Monatsmischprobe entnommen und den verschiedenen Prüflaboren zur Messung zur Verfügung gestellt. Das Probenmaterial sowie die zugrundeliegende Probenahme und die Herstellung der Monatsmischproben war identisch zu Kapitel 8.6.5 (Pkw-Ganzreifen: PVP Triptis GmbH).

In Tabelle 79 sind die Ergebnisse von Einfachmessung von identischen Monatsprobe der Firma PVP Triptis GmbH vom Juni 2019 dargestellt. Bei den Ergebnissen der Probe des BIU Grimmer wurde zusätzlich in Klammern der Minimal- und Maximalwert aller 41 Messungen im Zeitraum 07.2017–07.2019 gemäß Kapitel 8.6.5 angegeben.

Tabelle 79 Vergleich der Ergebnisse der PAK-Messung einer identischen Probe von Granulaten aus Pkw-Ganzreifen (0,5-2 mm) für verschiedene Prüfmethode bei verschiedenen Prüflaboren

Prüflabor/-institut	Messmethode	B[a]P	Σ 16 EPA-PAK
BIU Grimmer 22927 Großhansdorf	Grimmer Methode (SOP PAH-0397)	1,45 (1,45–2,5)	54,6 (51,5–77,1)
Institut Alpha 89081 Ulm-Jungigen	DIN ISO 18287:2006-05	0,1	38,3
SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH 01109 Dresden	DIN ISO 18287:2006-05	0,8	47,1
Eurofins Umwelt Ost GmbH 07749 Jena	AfPS GS PAK 2014:01	1,4	47,7

In Tabelle 80 sind die Ergebnisse der Messung von jeweils fünf identischen Monatsproben der Firma PVP Triptis GmbH (Februar bis Juni 2019, Anzahl der Proben je Messung: 5) dargestellt. Es erfolgte jeweils eine Einfachmessung der Proben.

Tabelle 80 Vergleich der Ergebnisse der PAK-Messung von fünf jeweils identischen Proben von Granulaten aus Pkw-Ganzreifen (0,5-2 mm) für verschiedene Prüfmethode bei verschiedenen Prüflaboren

Prüflabor/-institut	Messmethode	B[a]P	B[a]P	B[a]P	Σ 16 EPA-PAK	Σ 16 EPA-PAK	Σ 16 EPA-PAK
		$\bar{x}$	s	Min/Max	$\bar{x}$	s	Min/Max
BIU Grimmer 22927 Großhansdorf	Grimmer Methode (SOP PAH-0397)	1,61	0,19	1,45 / 1,9	55,06	3,39	51,1 / 60,2
SGS FRESENIUS GmbH 01109 Dresden	DIN ISO 18287:2006-05	0,72	0,08	0,6 / 0,8	39,16	5,17	36,2 / 47,1

- Der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$ entspricht dem empirischen Mittelwert aller Messungen.
- Die Stichprobenstandardabweichung s (empirische Standardabweichung aller Messungen) ist ein erwartungstreu Schätzer für die Standardabweichung σ .
- Min/Max geben jeweils den Minimal- und Maximalwert aller 5 Messungen an.

8.6.5 Messkampagne zur Bestimmung der PAK-Gehalte von Altreifengranulaten der TU Chemnitz

8.6.5.1 Versuchsbeschreibung

Bei den nachfolgend vorgestellten Messergebnissen handelt es sich um eine bisher unveröffentlichte zweijährige Messkampagne der TU Chemnitz, welche im Zeitraum von 07.2017–07.2019 durchgeführt wurde. Die Messungen erfolgten im Hinblick auf die Ermittlung des Gesamtgehaltes an PAK in Altreifengranulaten im Sinne der Verordnung (EU) Nr.

1272/2013, wobei jedoch eine deutlich umfangreichere Gruppe von 26 verschiedenen PAK-Spezies analysiert wurde.

Die PAK-Profilanalysen in Altreifengranulaten wurden am Biochemischen Institut für Umweltkarzinogene (BIU), Prof. Dr. Gernot-Grimmer-Stiftung nach der sogenannten Grimmer-Methode (Standard Operating Procedure SOP PAK-0397) durchgeführt. Diese analytische Methode basiert auf dem Prinzip der stabilen Isotopenverdünnung mittels GC-MS mit selektivem Ionenmonitoring (SIM-Modus) und erlaubt die Quantifizierung des PAK-Gehalts im sub-ppb-Bereich. Die Extraktion der PAK erfolgte durch Heißextraktion einer Teilprobe von 3g mit Toluol für 8 h in einem Twisselmann-Extraktor. Bei Mehrfachbestimmungen wurde stets eine separate Probenextraktion durchgeführt. Die Grimmer-Methode wurde im Rahmen der Arbeiten des BIU für die Umweltprobenbank des Umweltbundesamtes (UBA) für verschiedene Matrices validiert und ist veröffentlicht (Grimmer et al. 1997). Zurzeit wird die interne SOP PAH-0397 V16062003 angewendet.

Weitere Details zu Versuchsaufbau und -durchführung können dem Anhang B.7 dieses Dokuments entnommen werden.

8.6.5.2 Untersuchte Materialien

Es wurden drei verschiedene Arten von Reifenrezyklaten untersucht:

- ▶ Lkw-Ganzreifen (0,5–2 mm), Mülsener Rohstoff- und Handelsgesellschaft mbH (MRH)
- ▶ Lkw-Laufläche (Raumehl bzw. kryogen vermahlen < 400 µm), MRH
- ▶ Pkw-Ganzreifen (0,5-2 mm), PVP Triptis GmbH

Da beide Verwerter jeweils ausschließlich Pkw- (PVP Triptis) bzw. Lkw-Reifen (MRH Mülsen) verarbeiten, kann das Material als sortenrein in Bezug auf den Reifentyp (Lkw bzw. Pkw) angesehen werden. Bei den Proben handelte es sich um Monatsmischproben, welche durch Vereinigung mehrerer Einzelproben erzeugt wurden. Das geprüfte Granulat durchlief mehrere aufeinanderfolgende Zerkleinerungs- und Zwischenlagerungsschritte. Es ist daher anzunehmen, dass das Material ausreichend gemischt ist und somit nicht nur auf einen einzelnen Reifen oder gar auf eine einzelne Komponente eines Reifens zurückzuführen ist. Daher wird das Material als quasihomogen und repräsentativ für die herstellerübergreifende Grundgesamtheit der typischerweise in Deutschland anfallenden Altreifengranulate angesehen.

8.6.5.3 Messergebnisse der PAK-Gehaltsbestimmung für Granulate

Tabelle 81 Ergebnisse der PAK-Gehaltsbestimmung für Granulate, welche aus Pkw- (links) bzw. Lkw-Ganzreifen (rechts) hergestellt wurden

	Verordnung (EU) Nr. 1272/2013	MVV TB 2019/1	AfPS GS 2019:01 PAK (Kat. 3 b.)	Pkw, Ganzreifen (n=41)						Lkw, Ganzreifen (n=36)					
				Arithmetischer Mittelwert $\bar{x}$	absoluter Fehler e (halbe Breite Konfidenzintervall)	Empirische Standardabweichung s	Maximalwert aller Messungen	p-Wert Anderson-Darling-Test	p-Wert des Anderson-Darling In(x)	Arithmetischer Mittelwert $\bar{x}$	absoluter Fehler e (halbe Breite Konfidenzintervall)	Empirische Standardabweichung s	Maximalwert aller Messungen	p-Wert Anderson-Darling-Test	p-Wert des Anderson-Darling In(x)
Acenaphthen		Σ		0,13	0,04	0,14	0,87	0,00	0,00	0,21	0,03	0,08	0,46	0,02	0,51
Acenaphthylen		Σ		1,15	0,04	0,12	1,35	0,68	0,56	2,34	0,09	0,27	2,82	0,17	0,05
Anthanthren				3,92	0,22	0,69	4,88	0,00	0,00	2,99	0,22	0,64	4,27	0,01	0,00
Anthracen		Σ	Σ^*	0,31	0,02	0,06	0,54	0,08	0,67	0,39	0,02	0,07	0,56	0,44	0,34
Benzo[a]anthracen	1	Σ	1	0,51	0,05	0,15	1,18	0,00	0,27	0,36	0,02	0,05	0,45	0,10	0,24
Benzo[a]pyren	1	5/ Σ	1	1,82	0,06	0,19	2,50	0,02	0,01	1,72	0,05	0,14	2,04	0,81	0,66
Benzo[b]fluoranthren	1	Σ	1	0,92	0,05	0,16	1,44	0,34	0,28	0,54	0,02	0,06	0,69	0,05	0,17
Benzo[b]naphtho [2,1-d]thiophen				0,99	0,08	0,26	1,53	0,36	0,02	0,23	0,01	0,04	0,30	0,00	0,00
Benzo[c]phenanthren				0,21	0,01	0,03	0,29	0,93	0,66	0,17	0,01	0,02	0,21	0,01	0,00
Benzo[e]pyren	1		1	2,96	0,14	0,43	3,74	0,32	0,06	2,10	0,07	0,20	2,43	0,07	0,04
Benzo[ghi]fluoranthren				3,34	0,09	0,29	3,77	0,00	0,00	3,23	0,09	0,26	3,64	0,00	0,00
Benzo[ghi]perylene		Σ	1	13,0	0,37	1,16	14,3	0,00	0,00	11,6	0,34	1,01	12,7	0,00	0,00
Benzo[j]fluoranthren	1		1	0,29	0,02	0,07	0,56	0,01	0,19	0,17	0,01	0,02	0,23	0,35	0,63
Benzo[k]fluoranthren	1	Σ	1	0,29	0,02	0,06	0,46	0,89	0,46	0,15	0,01	0,03	0,22	0,80	0,37
Chrysen	1	Σ	1	1,01	0,06	0,20	1,49	0,63	0,43	0,55	0,02	0,05	0,64	0,07	0,12
Coronen				11,2	0,28	0,87	12,8	0,17	0,05	9,60	0,25	0,74	11,2	0,41	0,61
Cyclopenta[cd]pyren				4,59	0,20	0,62	5,52	0,02	0,00	4,16	0,22	0,64	5,22	0,56	0,40
Dibenzo[a,h]anthracen	1	Σ	1	0,07	0,01	0,03	0,16	0,00	0,31	0,03	0,00	0,01	0,05	0,09	0,59
Fluoranthren		Σ	Σ^*	8,26	0,22	0,70	9,94	0,54	0,70	9,18	0,21	0,63	10,2	0,00	0,00
Fluoren		Σ		0,29	0,03	0,11	0,79	0,00	0,03	0,39	0,04	0,12	0,72	0,01	0,18
Indeno[1,2,3-cd]pyren		Σ	1	2,30	0,07	0,22	2,69	0,27	0,17	1,90	0,07	0,20	2,32	0,63	0,67
Naphthalin		Σ	10	1,62	0,16	0,52	3,39	0,00	0,00	2,36	0,12	0,35	3,64	0,05	0,29
Perylen				0,42	0,02	0,07	0,55	0,36	0,02	0,26	0,01	0,04	0,36	0,25	0,30
Phenanthren		Σ	Σ^*	4,19	0,18	0,58	6,29	0,00	0,00	5,34	0,15	0,44	6,29	0,57	0,30
Pyren		Σ	Σ^*	30,4	0,88	2,77	34,1	0,00	0,00	32,9	1,11	3,28	36,1	0,00	0,00
Triphenylen				1,02	0,07	0,23	1,54	0,56	0,24	0,37	0,01	0,04	0,46	0,77	0,43
* Σ 4 PAK AfPS GS			*50	43,1	1,16	3,69	49,7	0,01	0,00	47,8	1,42	4,19	52,6	0,00	0,00
Σ 8 PAK EU 1272/2013				7,87	0,37	1,16	11,1	0,35	0,09	5,62	0,17	0,51	6,71	0,08	0,06
Σ 15 PAK AfPS GS			50	67,9	1,83	5,80	79,1	0,00	0,00	69,3	1,94	5,75	76,2	0,00	0,00
Σ 16 PAK (EPA)		50		66,2	1,76	5,57	77,1	0,00	0,00	69,9	1,95	5,78	77,0	0,00	0,00
Σ aller 26 PAK				95,2	2,53	8,02	107	0,00	0,00	93,2	2,61	7,70	102	0,00	0,00

Tabelle 82 Ergebnisse der PAK-Gehaltsbestimmung Raumehl aus der Lkw-Reifen-Runderneuerung, in der Form von kryogen nachvermahlenem Feinmehl (links) sowie unbehandeltem Raumehl (rechts)

	Verordnung (EU) Nr. 1272/2013	MVV TB 2019/1	AfPS GS 2019:01 PAK (Kat. 3 b.)	Lkw, Raumehl < 400 µm (n=13)						Lkw, Raumehl (n=3)			
				Arithmetischer Mittelwert $\bar{x}$	absoluter Fehler e (halbe Breite Konfidenzintervall)	Empirische Standardabweichung s	Maximalwert aller Messungen	p-Wert Anderson-Darling-Test	p-Wert des Anderson-Darling $\ln(x)$	Arithmetischer Mittelwert $\bar{x}$	absoluter Fehler e (halbe Breite Konfidenzintervall)	Empirische Standardabweichung s	Maximalwert aller Messungen
Acenaphthen		Σ		0,21	0,04	0,06	0,36	0,26	0,49	0,10	0,01	0,01	0,11
Acenaphthylen		Σ		5,35	0,33	0,54	6,10	0,53	0,44	4,69	1,09	0,44	5,06
Anthanthren				4,55	0,62	1,02	6,26	0,53	0,55	1,72	0,58	0,23	1,99
Anthracen		Σ	Σ^*	0,58	0,04	0,06	0,67	0,35	0,24	0,41	0,08	0,03	0,44
Benzo[a]anthracen	1	Σ	1	0,34	0,03	0,06	0,46	0,87	0,90	0,24	0,10	0,04	0,29
Benzo[a]pyren	1	5/ Σ	1	2,68	0,22	0,37	3,38	0,59	0,61	1,85	0,56	0,23	2,10
Benzo[b]fluoranthren	1	Σ	1	0,84	0,07	0,11	1,08	0,88	0,95	0,63	0,19	0,07	0,72
Benzo[b]naphtho [2,1-d]thiophen				0,18	0,02	0,03	0,24	0,75	0,90	0,24	0,09	0,04	0,28
Benzo[c]phenanthren				0,22	0,02	0,03	0,27	0,28	0,18	0,19	0,01	0,004	0,20
Benzo[e]pyren	1		1	2,79	0,22	0,36	3,59	0,66	0,77	2,15	0,45	0,18	2,35
Benzo[ghi]fluoranthren				4,56	0,24	0,40	5,21	0,30	0,32	3,45	0,11	0,04	3,49
Benzo[ghi]perylene		Σ	1	15,12	1,29	2,14	19,27	0,55	0,57	10,67	2,12	0,86	11,61
Benzo[j]fluoranthren	1		1	0,26	0,03	0,06	0,39	0,33	0,46	0,18	0,05	0,02	0,20
Benzo[k]fluoranthren	1	Σ	1	0,24	0,03	0,05	0,32	0,69	0,79	0,16	0,06	0,03	0,19
Chrysen	1	Σ	1	0,51	0,05	0,08	0,71	0,04	0,09	0,54	0,26	0,10	0,66
Coronen				12,16	0,76	1,26	14,27	0,50	0,39	8,15	1,28	0,51	8,74
Cyclopenta[cd]pyren				10,24	1,07	1,77	12,60	0,15	0,13	7,05	2,40	0,96	7,94
Dibenzo[a,h]anthracen	1	Σ	1	0,02	0,00	0,01	0,04	0,19	0,53	0,001	0,000	0,000	0,001
Fluoranthren		Σ	Σ^*	14,43	0,83	1,38	15,98	0,12	0,10	11,38	1,29	0,52	11,72
Fluoren		Σ		0,40	0,08	0,13	0,63	0,09	0,23	0,25	0,02	0,01	0,26
Indeno[1,2,3-cd]pyren		Σ	1	3,15	0,26	0,43	4,22	0,24	0,43	1,65	0,43	0,18	1,85
Naphthalin		Σ	10	7,48	0,57	0,95	8,78	0,47	0,50	6,74	1,11	0,45	7,16
Perylen				0,38	0,05	0,09	0,57	0,39	0,53	0,25	0,06	0,03	0,27
Phenanthren		Σ	Σ^*	8,09	0,40	0,66	9,00	0,15	0,12	6,96	0,97	0,39	7,40
Pyren		Σ	Σ^*	42,52	2,65	4,38	47,82	0,04	0,04	32,23	2,17	0,87	32,74
Triphenylen				0,27	0,03	0,05	0,37	0,24	0,54	0,30	0,08	0,03	0,33
* Σ 4 PAK AfPS GS			*50	71,59	4,18	6,91	79,70	0,05	0,05	56,02	5,35	2,15	57,71
Σ 8 PAK EU 1272/2013				7,69	0,57	0,94	9,57	0,80	0,78	5,76	1,61	0,65	6,51
Σ 15 PAK AfPS GS			50	99,07	6,24	10,33	113,5	0,10	0,09	75,80	8,93	3,60	79,43
Σ 16 PAK (EPA)		50		102,0	6,31	10,44	115,0	0,08	0,08	78,50	9,66	3,89	82,29
Σ aller 26 PAK				137,6	8,89	14,71	157,0	0,08	0,08	102,2	14,24	5,73	108,1

Erläuterungen zu der Ergebnisdarstellung und Auswertung in Tabelle 81 und Tabelle 82:

- ▶ Jeder Messwert einer diskreten PAK-Spezies sowie die Summenwerte in den fünf unteren Zeilen muss für sich allein betrachtet werden, da die hier angegebenen Werte nicht notwendigerweise innerhalb einer diskreten Messung gleichzeitig vorlagen. Diesbezüglich werden hier auch die Summen der diskreten PAK nicht mit den jeweiligen Summenwerten in den unteren fünf Zeilen korrespondieren. Ein Aufsummieren der einzelnen Werte diskreter PAK-Spezies würde zu falschen Ergebnissen führen. Die Summenwerte wurden für jede einzelne Messung separat berechnet und anschließend die statistischen Kennwerte aus diesen diskreten Einzelsummen abgeleitet.
- ▶ In den Spalten 2 bis 4 werden die in den jeweiligen Regularien relevanten PAK farblich gekennzeichnet und der jeweils geltende Grenzwert angegeben. Sofern ein Summenzeichen eingetragen ist, findet sich der Grenzwert für den jeweiligen Summenwert in den fünf unteren Zeilen.
- ▶ Der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$ entspricht dem empirischen Mittelwert aller Messungen.
- ▶ Die Stichprobenstandardabweichung s (empirische Standardabweichung aller Messungen) ist ein erwartungstreuer Schätzer für die Standardabweichung σ .
- ▶ Der absolute Fehler e entspricht der halben Breite des zweiseitigen Konfidenzintervalls des Mittelwertes $\bar{x}$ zum Konfidenzniveau von 95 % ($\alpha = 0,05$). Definitionsgemäß umschließen die Grenzen des Konfidenzintervalls ($\bar{x} \pm e$) in 95 % der Fälle die wahre Lage des Mittelwerts. Das Konfidenzintervall ist damit ein Maß für den Bereich, in dem der wahre Mittelwert des jeweiligen PAK-Gehalts zu erwarten ist bzw. mit welcher Genauigkeit der wahre Mittelwert auf Basis des Stichprobenumfangs (n) und der vorliegenden Stichprobenstandardabweichung (s) geschätzt werden kann. Die Angabe des mittleren PAK-Gehaltes sollte daher grundsätzlich in der Form $\bar{x} \pm e$ erfolgen.
- ▶ Der Maximalwert gibt über alle Messungen hinweg für jedes einzelne PAK bzw. für die jeweiligen Summen den in einer Einzelmessung jeweils höchsten gemessenen Wert wieder.
- ▶ Anhand des p -Wertes wurde geprüft, ob eine Normalverteilung der gemessenen Werte auszuschließen ist. Der dazu verwendete Anderson-Darling-Test vergleicht die gemessenen Werte mit der theoretischen Verteilung der Werte in Bezug auf die Normalverteilung. Ist der p -Wert kleiner 0,05 ist die Hypothese abzulehnen, dass die Werte einer Normalverteilung entsprechen (in diesem Fall wurden die Felder rot gekennzeichnet). Demgegenüber bedeutet ein p -Wert größer als 0,05 jedoch nicht zwangsläufig, dass die Daten normalverteilt sind. Der Anderson-Darling-Test kann ab einem Stichprobenumfang von $n=8$ eingesetzt werden, weshalb auf eine Auswertung für das Raumehl aus Lkw-Laufläche ($n=3$) verzichtet wurde.

8.6.5.4 Ableitung des maximalen Rezyklatgehalts zur Einhaltung der PAK-Grenzwerte

Nachfolgend wird die Berechnung eines maximal anzunehmenden Gehaltes an PAK-Spezies durchgeführt. Dabei werden zunächst die PAK-Spezies ausgewählt, welche die Grenzwerte der jeweiligen Regelungen am höchste überschritten. Sowohl für Lkw- als auch Pak-Reifen war dies

Benzo[e]pyren für die Verordnung (EU)1272/2013 sowie die Summe der 16 EPA-PAK für die Musterverwaltungsvorschrift TBB.

Die Berechnung basiert auf der Annahme einer Normalverteilung⁷² der Messwerte der jeweiligen PAK-Spezies bzw. Summenwerte. Als Erwartungswert wird der Mittelwert gemäß Tabelle 81 angenommen. Im Intervall der 2,58-fachen Standardabweichung (s) um den Erwartungswert sind bei einer Normalverteilung 99 % aller Messwerte zu finden.

$$w_G = \bar{x} + (2,575829 \cdot s) \quad (3.8)$$

Der maximale Rezyklatgehalt in Produkten wird durch Division des geltenden Grenzwertes durch den ermittelten Grenzwert w_G nach (3.8) berechnet.

Tabelle 83 Berechnung des maximalen Rezyklatgehaltes in Produkten

	Grenzwert w_{max}	Grenzwert w_{max}	Arithm. Mittelwert	Standard- abweichung	absoluter Fehler	Grenzwert	Maximaler Rezyklatgehalt
	EU1272/ 2013	MVV TB 2019/1	$\bar{x}$	s	e	w_G	w_{max} / w_G
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
Pkw, Ganzreifen (n = 41)							
Benzo[e]pyren	1		2,96	0,43	± 0,14	4,07 ⁷³	24,6 %
Σ 16 PAK (EPA)		50	66,2	5,57	± 1,76	80,56 ⁷⁴	62,1 %
Lkw, Ganzreifen (n = 36)							
Benzo[e]pyren	1		2,10	0,20	± 0,07	2,63 ⁷³	38,2 %
Σ 16 PAK (EPA)		50	69,9	5,78	± 1,95	80 ⁷⁵	62,5 % ⁷⁶

8.6.6 Bestimmung der PAK-Migration aus Prüfkörpern aus Altreifenmaterialien

Die Migrationsbestimmung der PAK aus Gummigranulat-Prüfkörpern wurde nach einem kürzlich publizierten lösungsmittel-basierten Verfahren des BfR (20 %-iges Ethanol für 24 Stunden in einem Schüttelwasserbad bei 40 °C, siehe Bartsch et al. 2016) und basierend auf den gewonnenen Erfahrungen des BIU während der Teilnahme des vom Joint Research Centre (JRC) der EU in ISPRA ausgerichteten Ringversuchs (Barrero-Moreno et al. 2018) zur Validierung dieses Verfahrens durchgeführt. Weitere Details zu Versuchsaufbau und -durchführung können Anhang B.8 dieses Dokuments entnommen werden.

⁷² Die Datenbasis lässt jedoch grundsätzlich noch keine gesicherten Rückschlüsse auf das Vorliegen einer Normalverteilung zu.

⁷³ Der p -Wert des Anderson-Darling-Tests, welcher mit den Messwerten durchgeführt wurde, beträgt für B[e]P 0,322 (Pkw) bzw. 0,07 (Lkw). Eine Normalverteilung ist damit nicht auszuschließen.

⁷⁴ Basierend auf dem Anderson-Darling-Test, welcher mit den Messwerten durchgeführt wurde, ist eine Standardnormalverteilung der Daten für Σ 16 PAK (EPA) auszuschließen (p -Wert = 0,0028). Der resultierende Grenzwert erscheint, in Anbetracht des Maximalwertes aller Messungen (s. Tabelle 55), allerdings relevant.

⁷⁵ Basierend auf dem Anderson-Darling-Test ist eine Standardnormalverteilung der Daten für Σ 16 PAK (EPA) auszuschließen (p -Wert = 0). Der Grenzwert wurde, basierend auf der Verteilung der Messwerte abgeschätzt.

⁷⁶ Keine Berücksichtigung des absoluten Fehlers e

8.6.6.1 Probenübersicht

Gemäß den Feststellungen von Barrero-Moreno et al. (2018), dass die relative Migration von PAK auch wesentlich von der Matrix abhängt und für beschichtetes Gummigranulat zwei- bis dreimal geringer als für unbeschichtetes ist, wurden Migrationsversuche für eine Reihe potenziell relevanter Matrixwerkstoffe durchgeführt. Bei den untersuchten Proben handelte es sich stets um Plattenmaterial mit einer Dicke von 2 mm. Zu deren Herstellung wurden zunächst Werkstoffmischungen auf Grundlage unterschiedlicher Basiswerkstoffe (Matrix) und Altreifenrezyklaten (Mehle und Granulate) hergestellt und diese dann zu Platten verarbeitet. Weiterhin wurde eine Probe ohne Matrix aus reinem Gummimehl, durch das sogenannte High-Pressure High-Temperature Sintering, hergestellt.

Tabelle 84 Übersicht der stofflichen Zusammensetzung der Migrationsproben

Probenbezeichnung	Zusammensetzung/Herstellung
GM1	Basiswerkstoff: 100 % Gummimehl - Gummimehl: Lkw-Ganzreifen, kryogen vermahlen, 200–400 µm (MRH Mülsen, K0204) - Platten hergestellt durch HPHTS⁷⁷ (150 °C, 20 min, 145 bar) - Dichte: 1,15 g/cm³
GM2	Basiswerkstoff: Naturkautschuk (Typ SVR CV 60) - Mischungsverhältnis: 37 % Aluminiumhydroxid, 36 % Gummimehl, 16 % Naturkautschuk, 5,5 % Ruß (SPHERON SO LP), 5,5 % Vernetzungskemikalien und Additive - Dichte: 1,37 g/cm³
PUR1	Basiswerkstoff: Polyurethan (2-Komponenten-System: Isozyanat und Polyol) - Polyurethan: aromatisches Polyether - Altreifengranulat: Lkw-Ganzreifen, Größe 10–35 mm (MRH Mülsen, W1035) - Mischungsverhältnis: 10 % Polyurethan, 90 % Altreifengranulat - Dichte: 1,14 g/cm³
PUR2	Basiswerkstoff Polyurethan (2-Komponenten-System: Isozyanat und Polyol) - Polyurethan: aromatisches Polyether - Gummimehl: Lkw-Ganzreifen, kryogen vermahlen, 200–400 µm (MRH Mülsen, K0204) - Mischungsverhältnis: 38 % Gummimehl, 32 % Kaolin, 30 % Polyurethan - Dichte: 1,38 g/cm³
TPU GM 60	Basiswerkstoff: thermoplastisches Polyurethan (Elastollan 1170 A, Polyether) - Gummimehl: Lkw-Ganzreifen, kryogen vermahlen, 200–400 µm (MRH Mülsen, K0204) 60 % Gummimehl, 40 % TPU - Dichte: 1,12 g/cm³

8.6.6.2 Ergebnisse der Migrationsmessungen

In Tabelle 85 sind die Ergebnisse der Migrationsmessungen dargestellt. Es wurden nur die Messergebnisse berücksichtigt, welche oberhalb der Bestimmungsgrenze des Messverfahrens lagen.

Tabelle 85 Übersicht der Ergebnisse der Migrationsmessung

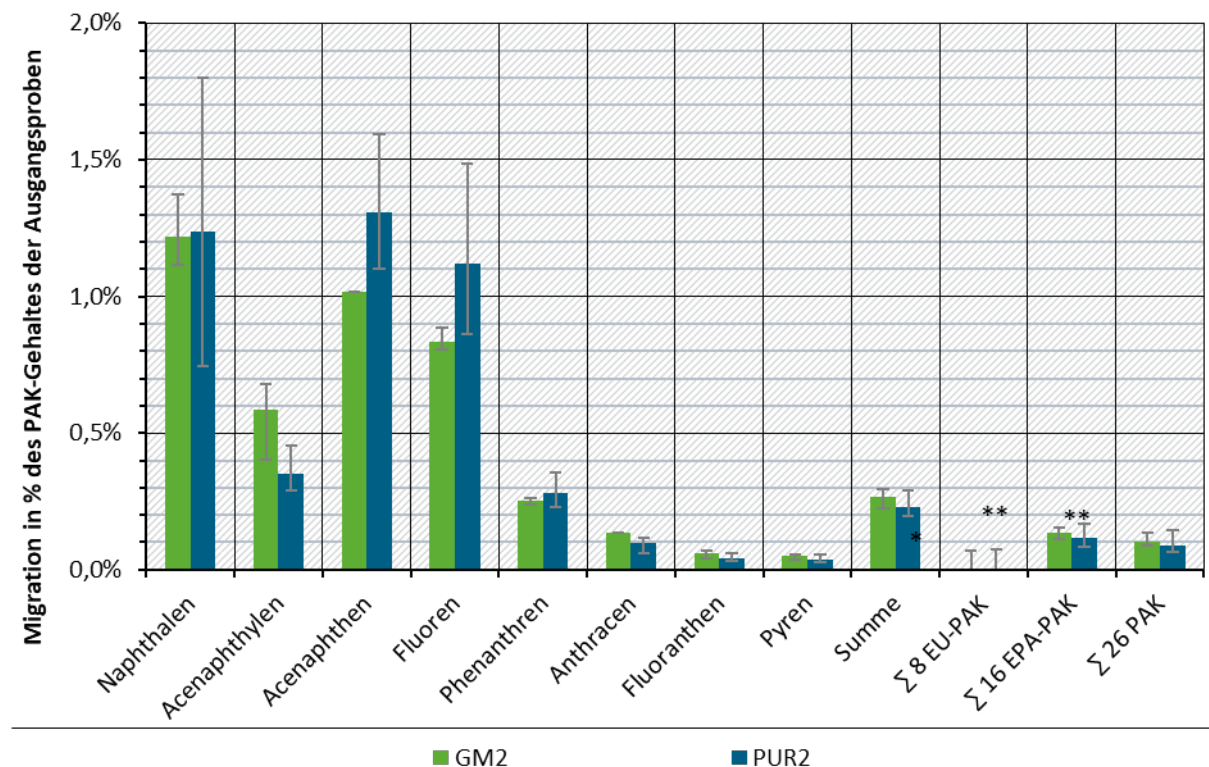
Angabe in Mikrogramm pro Quadratdezimeter Probenfläche (µg/dm²)

⁷⁷ HPHTS: High-Pressure High-Temperature Sintering

Proben- bezeichnung	Naphthalin	Acenaphthylen	Acenaphthen	Fluoren	Phenanthren	Anthracen	Fluoranthren	Pyren	Summe
GM1	0,173	0,03	0,007	0,01	0,053	0,002	0,02	0,04	0,335
	0,172	0,04	0,007	0,007	0,035	0,001	0,018	0,057	0,337
	<0,052	0,023	<0,007	0,007	0,039	0,002	0,019	0,04	0,13
GM2	0,14	0,059	0,008	0,01	0,056	0,002	0,024	0,067	0,366
	0,165	0,058	0,008	0,01	0,058	0,002	0,025	0,069	0,395
	0,134	0,035	0,008	0,011	0,053	0,002	0,015	0,042	0,3
PUR1	0,166	0,035	<0,007	0,007	0,033	0,001	0,018	0,057	0,317
	0,173	0,04	0,007	0,007	0,035	0,001	0,018	0,059	0,34
	0,122	0,046	0,01	0,013	0,068	0,002	0,033	0,099	0,393
PUR2	0,184	0,038	0,009	0,011	0,049	0,001	0,021	0,066	0,379
	0,076	0,026	0,013	0,019	0,076	0,002	0,012	0,034	0,258
	0,119	0,024	0,01	0,013	0,055	0,002	0,012	0,039	0,274
TPU GM 60	0,12	0,022	0,007	0,009	0,043	0,001	0,016	0,049	0,267
	0,163	0,016	<0,007	0,006	0,018	0,002	0,006	0,018	0,229
	0,052	0,015	<0,007	0,006	0,018	0,001	0,006	0,018	0,116

Um die Menge an migrierten PAK in ein Verhältnis zu den in den Proben enthaltenen Mengen an PAK zu setzen, erfolgte eine PAK-Gehaltsbestimmung ausgewählter Proben gemäß Tabelle 85 mittels Grimmer-Methode (siehe Tabelle 77). Die Berechnung der Migrationsraten der einzelnen PAK-Spezies erfolgte relativ zu den so ermittelten PAK-Gehalten. Beide Schritte sind in Anhang B.9 dieses Dokuments detailliert beschrieben. Die Ergebnisse für die relative Migrationsrate für die Proben „GM2“ und „PUR2“ ist in Abbildung 30 gegeben.

Abbildung 30 Relative Migrationrate der PAK aus Werkstoffproben mit Altreifenrezyklat nach JRC-Methode bezogen auf deren Gesamtgehalt in den Proben



Relative Migration in 20%-iges (aq.) Ethanol, bezogen auf den analytischen PAK-Gehalt der Probe. Auslagung über 24 Stunden mit 20 %igem Ethanol in einem Schüttelwasserbad bei 40 °C

Angabe von Mittelwert (Balken) sowie Minimal- und Maximalwerte (Fehlerindikatoren) für jeweils 3 Messungen

* Zur Berechnung der Migrationsraten wurde als Minimalwert Null angenommen, da alle relevanten PAK-Spezies unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Als Maximalwert wurde die Summe der jeweiligen Bestimmungsgrenze der PAK-Spezies gemäß Tabelle 141 angenommen.

** Für die Berechnung der Minimum- und Mittelwerte wurden jeweils nur die PAK-Spezies gemäß Tabelle 85 berücksichtigt, welche oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Für die Maximalwerte wurde für die PAK-Spezies, welche unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, die jeweilige Bestimmungsgrenze gemäß Tabelle 141 berücksichtigt.

Quelle: Hoyer et al. 2019

8.6.6.3 Migrationsmessungen von Barrero-Moreno et al. (2018)

In Tabelle 86 sind die Ergebnisse einer Migrationsmessung von Barrero-Moreno et al. (2018), ausgedrückt als relative Migration⁷⁸, dargestellt (Ergebnisse für 24 h Auslaugungsdauer).

Die Analyse erfolgte nur im Hinblick auf die acht EU-PAK gemäß Verordnung (EU) Nr. 1272/2013, unter Verwendung einer 20 %-igen wässrigen Ethanollösung. Bei den Proben handelte es sich um eigens hergestellte Gummiprobe, welche verschiedene Kautschuktypen, Ruß und Weichmacher enthielten, mit einer Fläche von 0,204 dm² (30 x 30 x 2 mm). Die Versuche erfolgten 24 Stunden bei 40 °C unter Schütteln (Dynamisch, 150 Umdrehungen pro Minute). Die Versuchsdurchführung ist damit näherungsweise identisch zu jenen gemäß Kapitel 8.6.5.

⁷⁸ Normalisierung der migrierten PAK-Masse auf ihren jeweiligen, analytisch bestimmten Gesamtgehalt) in den Proben.

Tabelle 86 Relative Migration von PAK aus Gummiprobe im Verhältnis zum jeweiligen PAK-Gehalt in der Probe (Barrero-Moreno et al. 2018)

Die Angabe erfolgt in Gewichtsprozent, als Verhältnis der migrierten Massen zu der in den Proben enthaltenen Masse jeder einzelnen PAK-Spezies. N. m. = nicht messbar (unterhalb der Bestimmungsgrenze)

PAK-Spezies	EPDM 375 DAE	EPDM 550 DAE	NR BR 375 DAE	NR BR 550 DAE	Mittelwert
Benzo[a]anthracen	0,031 %	0,064 %	0,017 %	0,034 %	0,037 %
Chrysen	0,055 %	0,091 %	0,034 %	0,041 %	0,055 %
Benzo[b]fluoranthen	0,020 %	0,033 %	0,009 %	0,013 %	0,019 %
Benzo[k]fluoranthen	n. m.	n. m.	0,008 %	n. m.	0,002 %
Benzo[j]fluoranthen	n. m.	n. m.	0,007 %	n. m.	0,002 %
Benzo[e]pyren	0,016 %	0,038 %	0,007 %	0,014 %	0,019 %
Benzo[a]pyren	0,009 %	0,024 %	0,004 %	n. m.	0,009 %
Dibenzo[a,h]anthracen	n. m.	n. m.	n. m.	n. m.	0,000 %

8.6.7 VOC-Prüfung einer Bodenmatte mit Altreifenzyklatanteil (Hoyer et al. 2019)

Zur gesundheitlichen Beurteilung der von einer Bodenmatte mit hohem Altreifenanteilen freigesetzten Stoffe, erfolgte eine Prüfung eines derartigen Produktes nach DIN EN 16516:2018.

Es handelte sich um eine Noppenbodenmatte auf Basis von Polyurethan als Matrixwerkstoff gemäß Abbildung 24, rechts.

Probenform: Noppenbodenmatte, 500 x 500 mm, Dicke 3,5 mm (Noppen 4,5 mm)

Zusammensetzung: 30 % Polyurethan, 70 % Gummipulver, Lkw-Ganzreifen, 0,4–1 mm

Die Probe wurde entsprechend den Zulassungsgrundsätzen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) zur gesundheitlichen Beurteilung von Bauprodukten auf abgegebene flüchtige und mittelflüchtige organische Verbindungen (VVOC, VOC und SVOC) am ALAB Analyse Labor Berlin geprüft. Die Untersuchung erfolgte nach DIN EN 16516:2018-01 Bauprodukte – Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen – Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft.

Die Untersuchung nach den Zulassungsgrundsätzen des DIBt sieht Probenahmen auf Tenax und DNPH-Kartuschen nach 3 und nach 28 Tagen vor. In Tabelle 87 sind die sich in der Prüfkammer einstellende Gleichgewichtskonzentration nach 3 und 28 Tagen angegeben. Die Auswertung erfolgte entsprechend dem AgBB-Bewertungsschema für die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VVOC, VOC und SVOC) aus Bauprodukten. Diesen Ergebnissen sind jeweils die Anforderungen des AgBB-Bewertungsschemas für VOC aus Bauprodukten sowie der Anforderungen gemäß Kapitel 3.2.1 Innenraumluftqualität der Vergabekriterien für den Blauen Engel für elastische Fußbodenbeläge (DE-UZ 120) gegenübergestellt.

Tabelle 87 Ergebnisse der Emissionsbestimmung in die Innenraumluft nach DIN EN 16516:2018-01 und Vergleich mit relevanten Anforderungen

Parameter	Tag 3 Gleichgewichtskonzentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tag 3 Anforderung gemäß AgBB $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tag 3 Anforderung gemäß DE-UZ 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tag 28 Gleichgewichtskonzentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tag 28 Anforderung gemäß AgBB $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tag 28 Anforderung Gemäß DE-UZ 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
TVOC	46	≤ 300	≤ 1000	25	≤ 1000	≤ 300
Σ SVOC	0	≤ 30		0	≤ 100	≤ 30
Σ VVOC	0			0		
R-Wert	0,027	≤ 500		0,008	≤ 1000	≤ 1
Σ VOC ohne NIK	19	≤ 50		17	≤ 100	≤ 100
Σ Kanzerogene	0	≤ 1	≤ 10 (Summe)	0	≤ 1	≤ 1 (je Einzelwert)

VOC - flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds), Präfix: S: semi, T: total, V: sehr (very)

NIK - niedrigste interessierende Konzentration

Quelle: Hoyer et al. 2019

8.6.8 Zusammenfassung/Auswertung

Nach Stand der Wissenschaft und Forschung migrieren aus Altreifenrezyklaten nur sehr geringe Mengen an potentiell schädlichen Stoffen, wie Schwermetalle oder PAK, in Wasser oder in die Haut. Auch die Emissionen in die Luft sind sehr gering. Die gemessenen Konzentrationen liegen meist unterhalb relevanter Grenzwerte und oft sogar unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen. Die Überwiegende Zahl der Untersuchungen fokussiert dabei auf Einstreugranulate für Kunstrasen. Die Einbettung von Rezyklaten in eine Werkstoffmatrix, wie es bei der Mehrzahl von Erzeugnissen auf Altreifenrezyklatbasis der Fall ist, würde Migrations- und Emissionsraten sehr wahrscheinlich noch einmal signifikant verringern (vgl. Kapitel 0). Allgemein werden die Messergebnisse als nicht besorgniserregend bewertet. Jedoch bestehen weiterhin Defizite hinsichtlich der wissenschaftlichen Durchdringung der Korrelation zwischen PAK-Gehalt und Migration, weshalb eine abschließende Bewertung im Hinblick auf eine Anpassung der geltenden Regelungen bislang noch nicht erfolgt ist. Laut Auffassung der ECHA bedarf es einer weiterführenden Risikoanalyse.

Für die PAK-Gehaltsbestimmung in Gummi- und Kunststoffbestandteilen von Erzeugnissen existiert bisher noch kein einheitliches, harmonisiertes Messverfahren. Gemäß Tabelle 79 und In Tabelle 80 sind die Ergebnisse der Messung von jeweils fünf identischen Monatsproben der Firma PVP Triptis GmbH (Februar bis Juni 2019, Anzahl der Proben je Messung: 5) dargestellt. Es erfolgte jeweils eine Einfachmessung der Proben.

Tabelle 80 sind die Ergebnisse der Bestimmung des PAK-Gehaltes in hohem Maße vom gewählten Messverfahren abhängig. In diesem Zusammenhang sollte nicht von einem absoluten PAK-Gehalt, sondern von der unter Versuchsbedingungen extrahierbare Menge an PAK gesprochen werden. Aus den gemäß Kapitel 8.6.5 ermittelten PAK-Gehalten ist daher zunächst grundsätzlich nicht darauf zu schließen, dass Produkte mit Altreifenrezyklat die Grenzwerte nach Verordnung (EU) Nr. 1272/2013 nicht einhalten würden, da die Unternehmen aktuell, in gewissen Grenzen, in der Wahl des PAK-Messverfahrens frei sind.

Das JRC hat eine eigene analytische Methode entwickelt, mit der auch sehr niedrige Gehaltskonzentrationen von PAK bestimmt werden können (Annex II von Barrero-Moreno et al. 2018). Die Entwicklung eines harmonisierten Verfahrens ist gegenwärtig beim Europäischen Komitee für Normung (CEN) in Arbeit (Europäische Kommission 2017). Im Hinblick auf die aktuelle wissenschaftliche Diskussion erscheint die Einführung von PAK-Gehaltsmessungen, deren Probenextraktion ähnlich intensiv sind wie die Methoden nach Grimmer oder Barrero-Moreno et al. (siehe Tabelle 77), wahrscheinlich. Damit einhergehend ist mit deutlich höheren Messwerten für den PAK-Gehalt zu rechnen, als es beispielsweise nach der Methode ISO 18287 der Fall ist (vgl. Tabelle 75). Entsprechend kann angenommen werden, dass die Grenzwerte von Altreifenrezyklaten potentiell nichtmehr eingehalten werden können.

Mit den Daten der PAK-Gehaltsmessungen gemäß Kapitel 8.6.5 liegt ein sehr umfassender und detaillierter Überblick über die Höhe und Schwankungsbreite der Gehalte einer Vielzahl von PAK-Spezies in Altreifengranulaten in Deutschland vor. Die genutzte Grimmer-Methode basiert auf einer sehr intensiven Probenextraktion, so dass grundsätzlich eine sehr hohe Extraktionsrate, insbesondere der an den Ruß gebundenen PAK, erreicht wird. Sie kann als ein ähnlich intensives Verfahren betrachtet werden, wie die Methode nach Barrero-Moreno et al. (2018). Auf Basis der berechneten oberen Grenzwerte für den PAK-Gehalt wurden maximale Rezyklatgehalte in Produkten berechnet (Tabelle 83). Hieraus wird deutlich, dass granulatbasierte Produkte, die typischerweise über 90 % Altreifen enthalten, die Grenzwerte gemäß der Musterverwaltungsvorschrift technische Baubestimmungen sowie der Verordnung (EU) 1272/2013 überschreiten würden, sofern ein ähnlich aggressives Verfahren wie die Grimmer-Methode zur PAK-Gehaltsbestimmung Anwendung finden würde. Unmittelbare Folge wäre eine signifikante Absenkung des Rezyklatanteils in den Erzeugnissen. Darüber hinaus ist es außerdem Gegenstand aktueller Abwägungen, die bestehenden PAK-Gehaltsgrenzen noch weiter abzusenken. Dies würde die Situation weiter verschärfen.

Die von Barrero-Moreno et al. (2018) entwickelte Methode zur Messung der Migration von PAK mittels 20 %-igem Ethanol als Migrationsmedium wird als ein sicherer („konservativer“) Ansatz zur Beurteilung der Migration von PAK aus Produkten in die Haut als auch in die Mundhöhle betrachtet. Es besteht jedoch noch keine abschließende Bewertung dahingehend, ob ein Migrationsgrenzwert eingeführt werden kann und ob dieser an die Stelle der PAK-Gehaltsgrenzen tritt. Es bedarf weiterführender Informationen zum Verständnis des Migrationsverhalten sowie insbesondere einer Risikobewertung.

Für die Analyse des Migrations- (Kapitel 8.6.6.3) und Emissionsverhaltens (Kapitel 8.6.7) wurden eigens Mischwerkstoffe auf Basis von Gummimehlen und verschiedenen Matrixwerkstoffen hergestellt, deren PAK-Gehalt analytisch bestimmt und die Migrations- und Emissionsraten bestimmt. Das gewählte Verfahren zur Bewertung der Migration in die Haut entsprach dem Verfahren nach Barrero-Moreno et al. (2018). Hinsichtlich der Summe aller 26 betrachteten PAK-Spezies wurde eine Migrationsrate von 0,06 % gefunden. Diese liegen damit deutlich niedriger als der Wert von 1 %, welchen das BfR (2009) im Rahmen einer Worst-Case-Abschätzung angenommen hatte⁷⁹. Mangels Grenzwerten können die Ergebnisse jedoch zunächst nicht eingeordnet werden. Es bedarf, wie eingangs erörtert, einer weiterführenden Risikoanalyse. Die Migrationsmessungen aller acht REACH-PAK lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Hinsichtlich der Emission konnten alle relevanten Grenzwerte mit gutem Abstand eingehalten werden. Die Ergebnisse bestätigen damit die Erkenntnisse der Literatur, dass nur sehr geringe Mengen an PAK aus den Produkten austreten.

⁷⁹ Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Messungen des BfR nicht uneingeschränkt mit den hier erarbeiteten Ergebnissen vergleichbar sind. So basieren die PAK-Gehaltsmessungen auf verschiedenen Methoden und die Migrationsversuche auf unterschiedlichen Eluat.

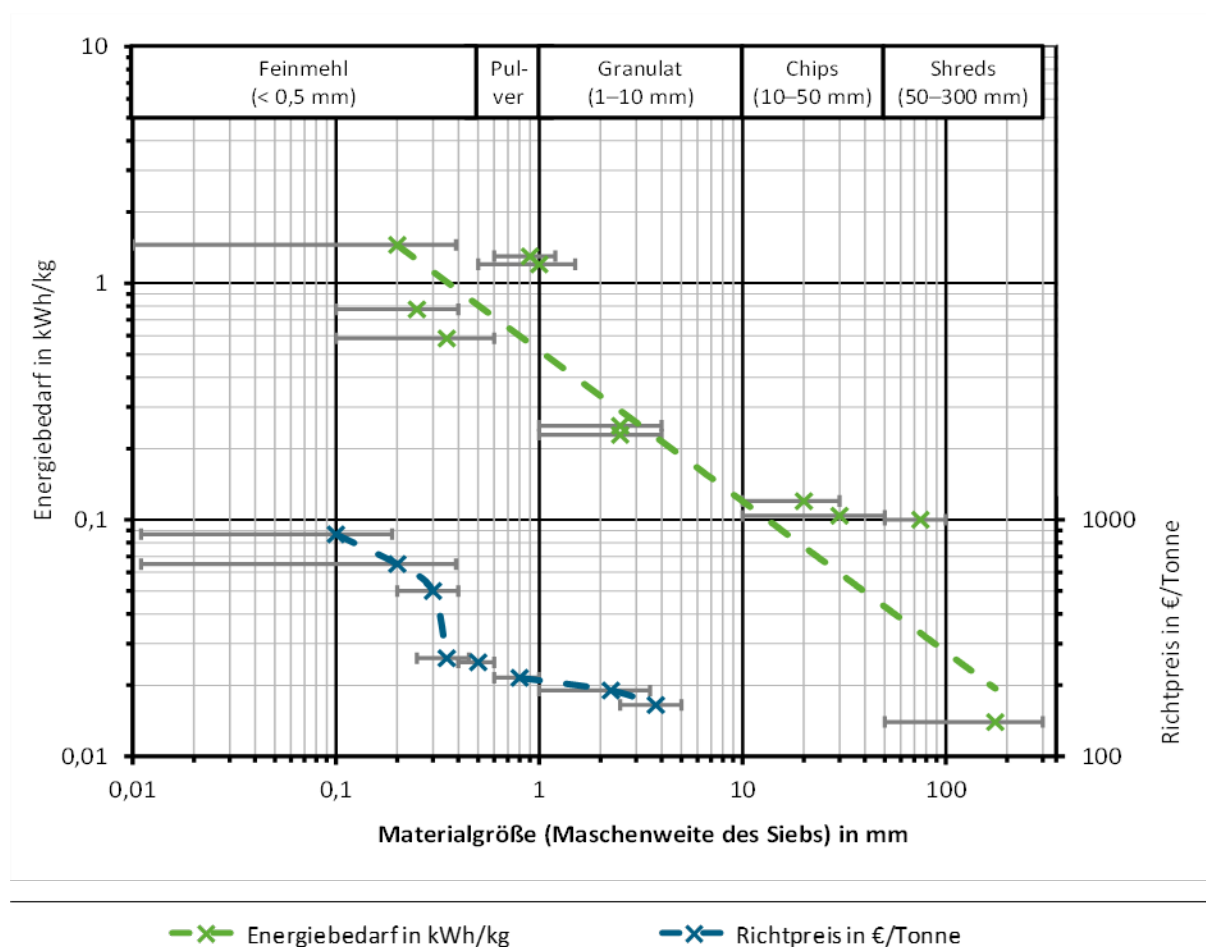
Seitens der ECHA (2020) wird die Möglichkeit erwogen, auf Basis von Migrationsmessungen Ausnahmeregelungen für die PAK-Gehaltsgrenzen zu erlassen. Dies erscheint im Hinblick auf die ermittelten PAK-Gehalte von Altreifen gemäß Kapitel 8.6.5 als sinnvoll, da insbesondere bei Einführung strengerer Methoden zur PAK-Gehaltsbestimmung wie auch der Absendung der PAK-Gehaltsgrenzen ein signifikanter Rückgang der maximalen Beimischung von Altreifenrezklaten zu neuen Werkstoffen zu erwarten ist.

8.7 Umweltpotenzial und Aufwand (Darstellung der Umweltpotenziale und des Aufwandes für die o.g. Verwertungswege)

8.7.1 Aufwand zur Altreifenzerkleinerung

In Abbildung 31 sind der spezifische Energiebedarf für die Herstellung von Reifenrezyklaten unterschiedlicher Korngröße deren marktüblichen Preisen gegenübergestellt. Die Angabe der Korngröße bezieht sich auf die Maschenweite des Siebs in mm, mit dem das Material siebklassiert wurde.

Abbildung 31 Spezifischer Energiebedarf zur Herstellung von Reifenrezyklaten und marktübliche Richtpreise



Grün: Spezifischer Energiebedarf in Kilowattstunden (kWh) zur Herstellung eines Kilogramms Rezyklat der Korngrößenverteilung. Werte beziehen sich jeweils auf das Ausgangsprodukt Ganzreifen.
 Blau: Richtwert für den Marktpreis von Altreifenrezyklat der jeweiligen Korngrößenverteilung.
 (x) - mittlere Korngröße; horizontaler Balken - gesamtes Korngrößenspektrum des jeweiligen Materials
 Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Faller (2020), Hoyer (2020), Pöppel (2020), Reschner (2019), Seidel (1992)

Quellen-spezifischer Energiebedarf Reifenzerkleinerung

Faller (2020) stellte Richtwerte für den spezifischen Energieverbrauch zur Zerkleinerung von Altreifen mit der aktuellen Generation der Recyclinganlagen der Firma Eldan Recycling A/S bereit. In Abbildung 31 wurden jeweils die akkumulierten Maximalwerte berücksichtigt.

- ▶ Pkw/Lkw Reifen zu Shreds: ca. 13–14 kWh/t
- ▶ Shreds zu Chips: ca. 70–90 kWh/t (akkumuliert 83–104 kWh/t)
- ▶ Chips zu Granulat (1–4 mm): ca. 100–125 kWh/t (akkumuliert 183–229 kWh/t)

Pöppel (2020) beziffert den Energiebedarf zur Herstellung von Granulat mit einer Korngröße von 1–4 mm aus Pkw-Reifen auf ca. 0,25 kWh/kg. Die Angaben stammen von einem Zulieferer der Firma Regupol und beziehen sich auf einen Durchschnittswert, entstanden aus dem Gesamtenergieverbrauch eines Jahres im Verhältnis zur erzeugten Granulatmenge. Die Werte decken sich weitestgehend mit den akkumulierten Werten der Firma Eldan Recycling (Faller 2020).

Madelung (2020) beziffert den Energiebedarf zur Herstellung von Granulat mit einer Korngröße von 0,5–3,25 mm aus Pkw-Reifen auf 0,304 kWh/kg.

Hoyer et al. (2020b) nennt Werte für den Energiebedarf etablierter Verfahren zur Herstellung von Feinmehl ausgehend von Granulat mit einer Korngröße von ca. 2,5–5 mm. Der Wert für die Kryogenvermahlung beinhaltet bereits einen Energiebedarf von 0,97 kWh für die Erzeugung des flüssigen Stickstoffs (1,75 kg Stickstoff pro kg Altreifengummi). In Abbildung 31 wurden nur die Werte für Lkw-Reifen berücksichtigt. Ferner wurde in der Darstellung in Abbildung 31 zusätzlich ein spezifischer Energiebedarf von 0,25 kWh/kg addiert, um die Herstellung des Granulats zu berücksichtigen.

- ▶ Kryogenvermahlung Lkw-Reifen zu Mehl < 400 µm: 1,2 kWh/kg
- ▶ Warmvermahlung Lkw-Reifen zu Mehl < 600 / 400 µm: 0,34 / 0,55 kWh/kg
- ▶ Warmvermahlung Pkw-Reifen zu Mehl < 600 / 400 µm: 0,4 / 0,63 kWh/kg

Reschner (2019, S. 4) nennt Werte für den Energiebedarf zur Zerkleinerung von Reifen auf verschiedene Größen. Die Werte liegen jedoch signifikant höher als (Pöppel 2020, Faller 2020, Hoyer et al. 2020b) und repräsentieren daher möglicherweise einen älteren Stand der Technik.

- ▶ Vorzerkleinerung ganzer Reifen auf Chips (50–100 mm): 0,1 kWh/kg
- ▶ Zerkleinerung ganzer Reifen auf ca. 0,5 bis 1,5 mm: 1,2 kWh/kg
- ▶ Zerkleinerung ganzer Reifen zu Feinmehl < 400 µm: 2,5 kWh/kg

Seidel (1992, S. 199) nennt Werte für die Herstellung von Chips mit einer Größe kleiner 30 mm. Ausgangsbasis sind entwulstete Textilreifen. Herausgestochene Seitenteile und Protektor werden mittels Häcksler auf ca. 10 cm vorgeschnitten und anschließend mittels Schneidgranulator auf maximal 30 mm granuliert. Der spezifische Gesamtenergiebedarf wird mit 0,12 kWh/kg angegeben. Für die Berücksichtigung dieser Werte in Abbildung 31 wurde ein Korngrößenbereich von 10–30 mm angenommen.

8.7.2 Aufwand zu Herstellung und Verarbeitung der Primärrohstoffe

Nachfolgen wird ein Überblick über den Energieaufwand zur Herstellung verschiedener Rohkautschuk-Typen gegeben. Reifen bestehen überwiegend aus den Kautschuktypen NR und SBR. Parallel erfolgt zusätzlich die Angabe der Werte für solche Rohstoffe, die Altreifenrezyklate typischerweise substituieren (EPDM, PUR).

Tabelle 88 Energieaufwand zur Rohstoffherstellung nach Jones (1994, 2000)

Kautschuktyp	Kurz- zeichen	Energieverbrauch zur Rohstoffherstellung GJ/t	Energieverbrauch zur Rohstoffherstellung kWh/kg	Quelle
Naturkautschuk	NR	16	4,44	Jones (1994)
Dünger und andere Chemikalien		5	1,39	Jones (2000)
Primärverarbeitung		3	0,83	Jones (2000)
Transport		5–8	1,4–2,2	Jones (2000)
Styrol-Butadien-Kautschuk	SBR	130	36,1	Jones (1994)
Butadien-Kautschuk	BR	108	30	Jones (1994)
Butylkautschuk	IIR	174	48,3	Jones (1994)
Ethylen-Propylen-Dien- Kautschuk	EPDM	142	39,4	Jones (1994)
Polyurethan	PUR	174	48,3	Jones (1994)

In Tabelle 89 ist der Energiebedarf für typische Verarbeitungsprozesse von Kautschuk gegeben.

Tabelle 89 Energieaufwand zur Verarbeitung von Kautschuk nach Jones (1994)

Prozessschritt	GJ/t	kWh/kg
Typischer Energiebedarf für die Kautschukverarbeitung	20–30	5,6–8,3
Mastikation (nur NR)	1,2	0,33
Mischen (Banbury)	2,9	0,81
Kalandrieren	6,6	1,83
Extrusion	3,8	1,06
Vulkanisation	6,3	1,75

Tabelle 90 Energieaufwand zur Herstellung eines Reifens nach Continental (1999)

Prozessschritt	MJ/Reifen	MJ/kg ⁸⁰	kWh/kg
Rohstoffgewinnung	211	32,5	9
Transport	16	2,5	0,7
Produktion	104	16	4,4
GESAMT	331	51	14,1

⁸⁰ Annahme für das Gewicht eines Reifens: 6,5 kg. Die Angaben der Veröffentlichung beziehen sich auf die Einheit Stück (Reifen). Es wird nicht explizit angegeben, welches Gewicht ein derartiger Reifen im Mittel hat. Aus dem Kontext der Angaben erscheint jedoch ein Gewicht von 6,5 kg als wahrscheinlich.

8.8 Ökologische Bewertung der verschiedenen Verwertungswege

Für die ökologische Bewertung der verschiedenen Verwertungswege von Altreifen wurden mehrere Ökobilanzen betrachtet. Im Rahmen von Ökobilanzen werden die Umweltwirkungen eines Produkts oder Verfahrens ermittelt und bewertet. Die am häufigsten untersuchte Umweltwirkungskategorie ist das Treibhauspotenzial, (englisch Global Warming Potential), welches die Summe aller Treibhausgasemissionen als CO₂-Äquivalente (kg CO₂-Äq) für ein Produkt innerhalb der Systemgrenzen darstellt und mit denen eines anderen Referenzprodukts vergleicht. Ein negatives Treibhauspotenzial bedeutet, dass gegenüber dem Referenzprodukt Treibhausgase vermieden wurden und das Produkt ökologisch vorteilhafter ist.

Bei vielen Ökobilanzen handelt es sich um vergleichende Analysen, bei denen Altreifen und die aus ihnen gewonnenen Produkte mit Primärrohstoffen bzw. Neuprodukten verglichen werden. Auftraggeber der Analysen sind entweder Reifenhersteller oder Altreifenverwerter.

Die betrachteten Studien (siehe Tabelle 91) unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Systemgrenzen. Nur wenn in einer Studie mehrere Verwertungswege gleichzeitig betrachtet werden, können die Ergebnisse verglichen werden. Wie in Tabelle 40 zu erkennen ist, ist dies bei drei Studien der Fall.

Tabelle 91 Übersicht der ausgewerteten Ökobilanzen nach Vermeidung und Verwertung

Ökobilanzen		Vermeidung	Verwertung		
Studie	Auftraggeber	Vorbereitung zur Wiederverwendung	stofflich	werkstofflich	energetisch
Boustani et al. 2010		x			
Krömer et al. 1999	Continental	x			
Bakas et al. 2009 Kløverpris et al. 2010*	Genan		x		x
Merlin und Vogt 2020	Genan		x	x	x
Clauzade et al. 2010	Aliapur		x	x	x
Banar 2015				x	
Johansson 2018	Ragn Sells		x		
Krieg 2017	matteco			x	
ARN Advisory 2011	RecyBEM	x	x		x

*Kløverpris et al. 2010 ist eine Erweiterung der Originalstudie von Bakas et al. (2009)

(Merlin und Vogt 2020) vergleichen die stoffliche Verwertung als Granulat im Kunstrasen, die werkstoffliche Verwertung als kryogenes Altreifenpulver und die energetische Verwertung in der Zementindustrie. Die Studie ist ein Nachfolger der gleichnamigen Studie von (Bakas et al. 2009). Hier wurde eine Mischung aus zwei stofflichen Verwertungswegen mit der energetischen Verwertung in der Zementherstellung (Bakas et al. 2009), bzw. mit der stofflichen Verwertung als Drainageschicht (Kløverpris et al. 2010) verglichen.

(Clauzade et al. 2010) vergleichen vier stoffliche, eine werkstoffliche und vier energetische Verwertungsmöglichkeiten.

Im Auftrag von RecyBEM wurden über das Tool ecotest das Treibhauspotenzial und die Materialeinsparungen durch die stoffliche oder energetische Verwertung sowie die Runderneuerung von Altreifen berechnet. Die Nutzungsphase der jeweiligen Produkte lag dabei außerhalb der Systemgrenzen. Die funktionale Einheit war 1 t Altreifen. Das Tool nutzte die Software SimaPro und brancheninternen Daten für die Berechnung der beiden Indikatoren (ARN Advisory, 2011). Die zugrundeliegenden Daten, die genaue Methode, Annahmen und Systemgrenzen wurden nicht veröffentlicht.

8.8.1 Vorbereitung zur Wiederverwendung

Boustani et al. (2010) haben eine Ökobilanz für die Runderneuerung von Pkw- und Lkw-Reifen in den USA erstellt. Untersucht wurde nur der Energieaufwand für die Herstellung/ Runderneuerung und während der Nutzung von Reifen. Verglichen werden jeweils Reifen, die 2001 hergestellt und 2004 runderneuert wurden mit Neureifen aus 2004. Die funktionale Einheit besteht jeweils aus vier Reifen. Die Studie basiert häufig auf Werten aus 1977, die auf das Jahr 2004 übertragen wurden.

Grundsätzlich stellt die Studie fest, dass für die Herstellung von Neureifen deutlich mehr Energie verbraucht wird als bei der Runderneuerung. Während der Nutzungsphase hängt der Energieverbrauch stark vom Rollwiderstand der betrachteten Reifen ab. Je höher der Widerstand desto höher ist der Treibstoffverbrauch. In der Studie wurden verschiedene Szenarien berechnet. Für die Nutzungsphase lässt sich daher kein eindeutiges Ergebnis zum Energieaufwand ableiten. In der Summe wird in der Studie angenommen, dass runderneuerte Reifen einen niedrigeren Energieverbrauch aufweisen als Neureifen (Boustani et al., 2010).

Die für Continental erstellte Ökobilanz (Krömer et al., 1999) kommt zu einem ähnlichen Ergebnis. Die Runderneuerung hat eine deutlich niedrigere Umweltwirkung als die Neureifenherstellung. Krömer et al. (1999) gehen davon aus, dass der runderneuerte Reifen einen höheren Rollwiderstand hat und daher der Neureifen in der Nutzungsphase besser abschneidet. Im Gesamtergebnis wurde geschlussfolgert, dass runderneuerte Reifen eine höhere Umweltwirkung haben als Neureifen.

Gemäß den von RecyBEM veröffentlichten ecotest-Ergebnissen kann durch die Runderneuerung von Pkw-Altreifen $-2.330 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/t}$ und 85 % des Materialverbrauchs der Neureifenproduktion eingespart werden (ARN Advisory, 2011). Die Nutzungsphase wurde nicht mitbetrachtet.

Die Runderneuerung selbst scheint demnach ökologisch vorteilhafter zu sein, als die Neureifenproduktion. Es ist jedoch unklar, ob ein runderneuerter Reifen ökologisch vorteilhafter ist als ein Neureifen, da dafür der Treibstoffverbrauch während der Nutzungsphase entscheidend ist und die vorliegenden Studien hier hinsichtlich der Eingangsgrößen veraltet sind.

8.8.2 Stoffliche Verwertung

Die Verwendung von Altreifengranulaten als elastische Schicht in Kunstrasen wurde in den letzten zehn Jahren in verschiedenen Ökobilanzen betrachtet. Die Studien vergleichen dabei das Altreifengranulat mit Granulaten aus Primärrohstoffen.

Die Studie von Johansson (2018) im Auftrag von Ragn Sells, Schweden, vergleicht Altreifengranulat (SBR) mit Granulat aus Kork, EPDM und TPE. Ragn Sells ist der einzige Altreifengranulierer in Schweden und Norwegen.

Abweichend von allen anderen Ökobilanzen wurde als funktionale Einheit ein Fußballfeld mit einer Fläche von 7.881 m², einer Granulatschichthöhe von 1,5 cm und einer Lebenszeit von 10 Jahren gewählt. Für die Bestimmung der Transportdistanzen wurde als Standort für das Fußballfeld Stockholm gewählt. Die Systemgrenzen für SBR umfassen die Sammlung und Granulierung der Altreifen sowie die Lieferung zum Fußballfeld. Der bei der Verwertung von Altreifen anfallende Stahldraht und Textilflusen wurden nicht separat betrachtet. Alle Umweltwirkungen des Verfahrens wurden auf das Granulat umgelegt.

Für die neuen Granulate reichen die Systemgrenzen von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Anlieferung am Fußballfeld. Nicht betrachtet wurden die Auffüllung des Granulats im Rahmen von Pflegemaßnahmen während der Nutzungsphase des Kunstrasens und die Entsorgung bzw. Verwertung des Granulats nach dessen Lebensende.

Für die Studie wurden sieben Umweltwirkungskategorien untersucht, wobei der Fokus auf das Treibhauspotenzial gelegt wurde. Die Ergebnisse für das Treibhauspotenzial sind in der Tabelle 92 dargestellt.

Tabelle 92 Treibhauspotenzial von Altreifengranulat im Vergleich zu Neuware

Granulat	Masse [t pro Feld]	THG*-Emissionen kg CO ₂ -Äq pro Feld	masse-spezifisch kg CO ₂ -Äq / t	Treibhauspotenzial kg CO ₂ -Äq / t
Altreifen - SBR	52	6.400	123	
Kork	21	9.700	462	-339
EPDM	77	98.000	1.273	-1.150
TPE	65	178.000	2.738	-2.615

Quelle: Johansson 2018, angepasst

Den Ergebnissen dieser Ökobilanz zufolge hat das Altreifengranulat von allen untersuchten Alternativen die geringste Umweltwirkung in allen Kategorien, gefolgt von Kork. Der Abstand zu den beiden Kunststoffgranulaten ist in allen Kategorien sehr deutlich, wobei TPE in der Regel die höchsten Werte hat.

Gerade in Bezug auf das Korkgranulat ist die Studie kritisch zu sehen, da hier mit einer Nutzungsdauer von nur 3-4 Jahren gerechnet wurde, wodurch das Granulat während der Nutzungsphase des Kunstrasens einmal vollständig getauscht werden muss. Die Autorin weist bereits darauf hin, dass der angenommene Wert möglicherweise zu niedrig ist.

In (Merlin und Vogt 2020) wurde im Auftrag von Genan Altreifengranulat mit Granulat aus SEBS, einem TPE, und aus EPDM verglichen. Kork wurde von Merlin und Vogt (2020) nicht untersucht, da es nach ihrer Einschätzung bisher zu wenig Erfahrungen und Veröffentlichungen hinsichtlich der Nutzungsdauer gibt.

Als funktionale Einheit wurde 1 t Altreifen festgelegt. Anders als bei Johansson (2018) wurde angenommen, dass das Altreifengranulat gegen die gleiche Masse an Kunststoffgranulat getauscht wird. Dadurch fallen die möglichen ökologischen Vorteile des Altreifengranulats niedriger aus.

Die Systemgrenzen umfassen die Aufbereitung der Reifen in Genans Anlagen, die stoffliche Verwertung des Gummis als Kunstrasengranulat sowie die energetische Verwertung von Stahldraht und Textilflusen. Für die Berechnung der Ökobilanz wurde angenommen, dass die Granulate am Lebensende des Kunstrasens energetisch verwertet werden. Sammlung und Transport der Altreifen liegen außerhalb der Systemgrenzen und werden nicht mit einbezogen.

Anders als (Johansson 2018) hat bei (Merlin und Vogt 2020) das EPDM-Granulat eine höhere Umweltwirkung als das untersuchte TPE, wobei der Unterschied zwischen beiden niedriger ausfällt. Das Einsparpotenzial an Treibhausgasen bei der Nutzung von Altreifengranulat anstelle von EPDM liegt in dieser Studie bei -972 kg CO₂-Äq/t und für TPE bei -838 kg CO₂-Äq/t.

In der für Aliapur erstellten Ökobilanz von (Clauzade et al. 2010) wurde ebenfalls 1 t Altreifen als funktionale Einheit gewählt. 1 t Altreifen ersetzt gemäß der Studie 0,5 t neues EPDM und 2 t Kalk im Kunstrasen. Es wurde zudem angenommen, dass die Nutzungsdauer von EPDM bei nur vier Jahren liegt. Aus heutiger Sicht ist dieser Wert zu niedrig und es wird eher von 10 Jahren ausgegangen.

Die Systemgrenzen umfassen wie bei Johansson (2018) auch Sammlung und Transport der Altreifen zur Aufbereitung. Bei der stofflichen Verwertung wurde die Entsorgung ausgeklammert (Clauzade et al. 2010). Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass durch die Nutzung von Altreifengranulat anstelle von EPDM -3.217 kg CO₂-Äq/t vermieden werden.

Für die Ermittlung von Treibhauspotenzial und Materialeinsparung wurde für ecotest eine Kombination verschiedener stofflicher Verwertungswege gewählt (ARN Advisory, 2011). Ähnlich wie bei den Ökobilanzen werden die Textilflusen energetisch verwertet. Der Stahldraht ersetzt Primärrohstoffe, wobei das Einsatzfeld nicht bekannt ist. Das Altreifengummi wird granuliert und wird zu 50 % als elastisches Granulat und zu 5 % als elastische Tragschicht im Sportplatzbau eingesetzt. Weitere 35 % werden für die Herstellung von Gummimatten genutzt. In allen drei Fällen wird EPDM ersetzt. 10 % des Granulats werden weiter zu Pulver vermahlen und als Additiv im Asphalt eingesetzt. Das Tool berechnete, dass die stoffliche Verwertung in dieser Kombination ein Treibhauspotenzial von -1.050 kg CO₂-Äq/t hat und 80 % des Materialeinsatzes eingespart werden kann (ARN Advisory, 2011).

8.8.2.1 Carbon Black

In ihrer Ökobilanz gehen Merlin und Vogt (2020) davon aus, dass das von Genan hergestellt Gummipulver neues Carbon Black im Masseverhältnis 1:1 ersetzt. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass die Nutzung des Gummipulvers im Vergleich ökologisch vorteilhafter ist. In der Auswertung wird erwähnt, dass das Gummipulver auch deshalb eine niedrigere Umweltwirkung als neues Carbon Black, weil es einen hohen Anteil an Kreide enthält. Es ist dadurch unklar, ob das angenommene Masseverhältnis realistisch ist.

Durch Pyrolyse lässt sich aus Altreifen das darin enthaltene Carbon Black zurückgewinnen, wobei die Reinheit durch Asche aus anderen Reifeninhaltsstoffen geringer ist als bei Neuware. Bisher gibt es nur wenige Ökobilanzen zur Pyrolyse, die sich hauptsächlich auf Laboruntersuchungen und nicht auf Werte aus industriellen Anlagen berufen.

Banar (2015) hat für eine türkische Testanlage mit Drehrohrofen eine Ökobilanz erstellt, wobei neben dem Carbon Black auch das Pyrolyseöl und der Stahldraht betrachtet wurde. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass in der Summe die Pyrolyseprodukte in sieben Kategorien eine niedrigere Umweltwirkung haben als die Primärprodukte. Lediglich in der Kategorie Versauerung hatte die Pyrolyse eine höhere Umweltwirkung.

Das Unternehmen Scandinavian Enviro Systems AB hat in einer Pressemitteilung bekannt gegeben, dass für ihre Pyrolyseanlage eine Ökobilanz erstellt worden ist. Die Studie selbst wurde nicht veröffentlicht. Nach Angaben der Pressemeldung soll das Treibhauspotenzial bei -1,43 bis -2,00 kg CO₂-Äq pro kg neues Carbon Black liegen (Scandinavian Enviro Systems AB 2019). Ohne Kenntnis zu funktioneller Einheit und Systemgrenzen lässt sich die Aussage nicht weiter einordnen.

8.8.2.2 Synthetisches Gummi

Die matteco GmbH hat 2017 eine Studie für ihr neues Verfahren zur Gummimattenherstellung durch das Verpressen von Altreifenmehl durchgeführt (Krieg 2017). Teil der Studie ist eine Umweltbilanz für die Jahresproduktion. Dabei wird das Treibhauspotenzial für den Ersatz von PU Granulat, PU Mehl und neuem SBR ermittelt.

Tabelle 93 Treibhauspotenzial für den Ersatz von PU Granulat, PU Mehl und neuem SBR

Einsatzstoffe Jahresproduktion	Neuware				Altreifen- Recyclingmaterial	Treibhaus- potenzial
	PU Granulat	PU Mehl	SBR	Summe		
Menge t/a	173,3	146,3	130,5	450,0	450,0	
THG t CO ₂ -Äq/a	739	724	3.575	5.038	2.119	-2.919
THG kg CO ₂ -Äq/t	11.196				4.709	-6.487

Durch den Austausch der Einsatzstoffe kann in dem Verfahren 2.919 t CO₂-Äq pro Jahr eingespart werden.

Clauzade et al. (2010) haben ebenfalls die Nutzung von Altreifen als Ersatz für PU in der Herstellung von Gummimatten untersucht und kamen zu dem Ergebnis, dass das Treibhauspotenzial bei -2.703 kg CO₂-Äq/t Altreifen liegt.

Wie schon beim Carbon Black gehen (Merlin und Vogt 2020) davon aus, dass das Gummipulver neues synthetisches Gummi im Masseverhältnis 1:1 ersetzt. Als mögliche Einsatzbereiche werden die Herstellung von Sohlen und Gummimatten genannt. Auch diese Studie kommt zu dem Ergebnis, dass das Gummipulver ökologisch vorteilhafter ist als neues Material aus Primärrohstoffen.

8.8.3 Energetische Verwertung

Fokus bei der energetischen Verwertung ist der Einsatz von Altreifen in der Zementherstellung. Hierbei wird ermittelt, welche Effekte durch die Vermeidung von Primärrohstoffen als Brennstoff und als Eisenquelle auftreten. Dies wurde in den Studien von (Clauzade et al. 2010), (Bakas et al. 2009) und (Merlin und Vogt 2020) untersucht.

Neben der stofflichen Verwertung wurde von (Merlin und Vogt 2020) ebenfalls die energetische Verwertung von Altreifen in der Zementherstellung untersucht. Die funktionale Einheit war 1 t Altreifen. In der Studie ersetzen die brennbaren Bestandteile der Altreifen Energieträger in Höhe von 26 GJ und die nicht-brennbaren Bestandteile (Stahl, ZnO, etc.) ersetzen 161 kg Eisenerz und Siliciumdioxid. Für die Studie wurde angenommen, dass der zu ersetzende Energieträgermix zu 43 % aus EBS besteht. Die Systemgrenzen beinhalten die Zerkleinerung und Mitverbrennung der Altreifen. Sammlung und Transport der Altreifen wurden nicht mit einbezogen. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass die energetische Verwertung von Altreifen die ökologischen Auswirkungen der Zementherstellung verringern. Das ermittelte Treibhauspotenzial liegt bei -197 kg CO₂-Äq/t Altreifen.

Clauzade et al. (2010) kamen im Prinzip zu dem gleichen Ergebnis, allerdings wurde angenommen, dass die Altreifen nur primäre Rohstoffe ersetzen. Dadurch liegt das Treibhauspotenzial mit -1.466 kg CO₂-Äq/t Altreifen rund siebenmal höher als bei Merlin und Vogt.

Für ecotest wurde ebenfalls angenommen, dass bei der energetischen Verwertung nur Primärrohstoffe ersetzt werden (ARN Advisory, 2011). Neben der Verwertung in der

Zementherstellung wurde die Nutzung in Blockheizkraftwerk betrachtet. Es wurde berechnet, dass das Treibhauspotenzial von Altreifen in der Zementherstellung bei $-954 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/t}$ und in der Verwertung im Blockheizkraftwerk bei $-940 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/t}$ liegt. In beiden Fällen liegt die ermittelte Materialeinsparung bei 15 %.

8.8.4 Vergleich der Verwertungswege

In der Review-Studie von Santiago Gomes et al. (2019) werden neun Ökobilanzen aus sechs Ländern genauer untersucht. Die Anzahl an verfügbaren Studien zu den Verwertungswegen wird dabei als zu niedrig angesehen, um die Umweltwirkungen der einzelnen Verfahren bewerten zu können.

In der Regel lassen sich nur die Ergebnisse zu verschiedenen Verwertungsweisen innerhalb derselben Studie vergleichen, da es zwischen den Studien Unterschiede bei der Setzung der Systemgrenzen gibt. Es lassen sich jedoch einige Trends beobachten.

Sowohl (Merlin und Vogt 2020) als auch (Clauzade et al. 2010) kamen zu dem Ergebnis, dass die stoffliche Verwertung von Altreifengranulat in Kunstrasen die ökologisch vorteilhafteste Verwertung ist, gefolgt von der werkstofflichen Verwertung in der Gummimattenproduktion. Die energetische Verwertung in der Zementindustrie hat einen deutlich kleineren Effekt, ist aber trotzdem ökologisch sinnvoller als die Nutzung von Primärrohstoffen.

Hinsichtlich der werkstofflichen Verwertung als Carbon Black und der Runderneuerung sind die Ergebnisse schwer einzuschätzen. Die Runderneuerung selbst hat einen unstrittig niedrigeren Ressourcenverbrauch und ein niedrigeres Treibhauspotenzial als die Neureifenproduktion. Ob ein runderneuerter Reifen während der Nutzungsphase einen ökologischen Vorteil gegenüber einem Neureifen ist dagegen unklar. Hier ist eine breitere Datenbasis notwendig, um eine Aussage darüber treffen zu können, in welchem Verhältnis diese zu den anderen Verwertungsweisen stehen.

8.9 Situationsüberblick und Zusammenfassung

Die aktuelle Situation erlaubt keine exakte Bilanzierung des Altreifenaufkommens. Es bestehen aktuell nur Registerpflichten für die Entsorgungsunternehmen, welche die Zahlen nur auf gesondertes Verlangen der zuständigen Behörde vorlegen müssen. Entsprechend finden alle den Entsorgern vor- und nachgelagerten Handlungen mit Altreifen generell unbilanziert statt. Die Berechnungen der GAVS (wdk) zum Altreifenaufkommen und der Entsorgung erscheint, in Anbetracht der verfügbaren Datenlage, als zweckmäßig. Jedoch werden die Ergebnisse stark durch die zugrundeliegenden Umrechnungsfaktoren bestimmt. Basierend auf eigenen überschlägigen Rechnungen wird ein um 35 % höheres Aufkommen gefunden. Weiterhin ist anzunehmen, dass nicht alle Stoffströme erfasst sind und, in einem geringen Maße, eine Doppelerfassung von Rezyklaten erfolgt. Zur Verbesserung der Genauigkeit dieses Berechnungsmodells sollte geprüft werden, ob die Ermittlung aktueller mittlerer Altreifengewichte verschiedener Reifensorten zweckmäßig wäre. Eine umfassende Bilanzierung des Altreifenanfalls erscheint unter den gegebenen Voraussetzungen kaum umsetzbar, insbesondere auch im Hinblick einer Doppelerfassung von Mengen bei verschiedenen Verwertungsschritten.

Die aktuelle Situation in Deutschland ist gekennzeichnet durch einen signifikanten Rückgang der Verwertungsquoten in der Zementherstellung und einem weitgehenden Entfall der stofflichen Verwertung in Form von Kunstraseneinstreuerganulaten. Daneben bestehen in einigen Absatzmärkten für Sekundärprodukte aus Altreifen (Schätzung 10–20 % der Produkte) regulatorische Hürden (PAK) und damit verbundene Akzeptanzprobleme, die sich auch auf

unregulierte Märkte erstrecken und das Wachstum sowie die Investitionsbereitschaft in neue Produkte und Verfahren insgesamt hemmen. Durch die im Januar 2021 vom DIBt vorgeschlagenen Änderung der MVV TB (Deutsches Institut für Bautechnik 2021) werden partikeldicht verbaute Produkte zukünftig von den PAK-Grenzwerten ausgenommen sein. Dies wird die Situation im mengenmäßig bedeutsamen Markt der Schallschutz und Trittschalldämmungen deutlich verbessern. Jedoch bestehen weiterhin Unsicherheiten im Hinblick auf andere, nicht partikeldicht verbaute Produkte. Dies wird überlagert durch ein insgesamt niedriges Preisniveau der Rohstoffmärkte und einer mangelnden Umverteilung der Entsorgungsgebühren der Verbraucher*innen zu den Entsorgungsunternehmen.

Vor allem bedingt durch den Rückgang der Verbrennung zeichnet sich ein Defizit der verfügbaren Verwertungskapazitäten für Altreifen in Deutschland ab, was steigende Entsorgungskosten, verstärkte illegale Ablagerung und zunehmenden Export zur Folge haben kann bzw. bereits hat. Die Einführung von Maßnahmen zur Unterbindung der illegalen Ablagerung müssten Register- und Meldepflichten für die den Entsorgern vorgelagerten Handlungen (ab der Anfallstelle) umfassen, um wirksam zu sein.

8.9.1 Altreifenerfassung und -sortierung

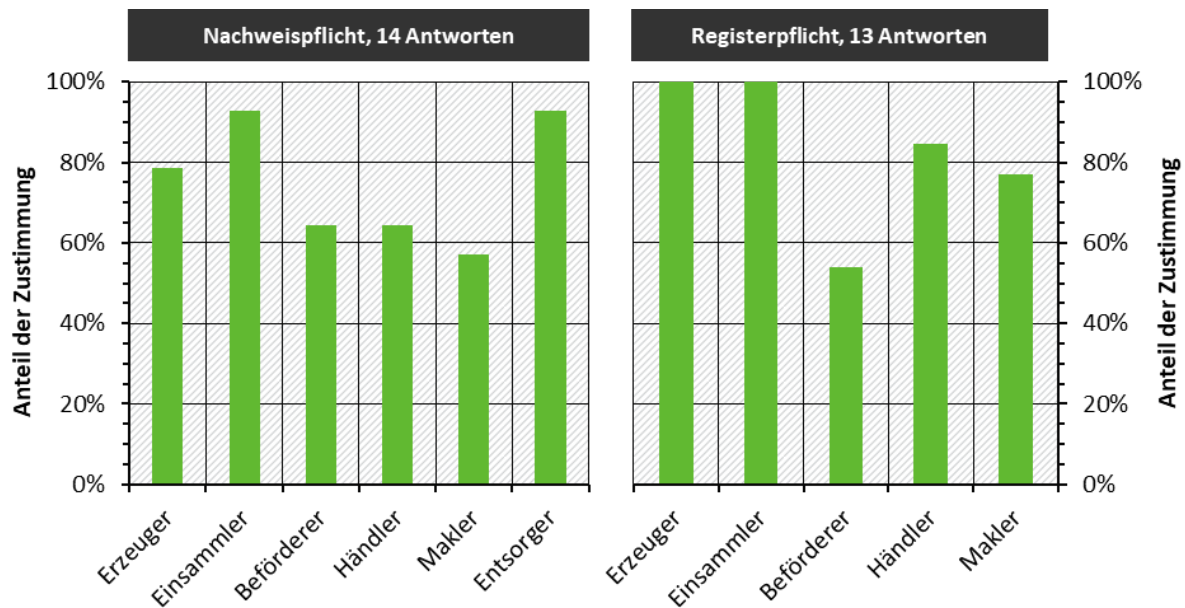
Der Rücklauf von Altreifen von den Endverbrauchern zu den Sammelstellen sowie Werkstätten funktioniert nach Branchenauskunft gut. Es fehlt jedoch an einer Nachvollziehbarkeit der anfallenden Menge der Altreifen sowie deren Entsorgungswegen. Die Entsorgungsbranche tritt für die Einführung einer Art von Nachweispflicht ein, insbesondere für die den Entsorgungsbetrieben vorgelagerten Akteure der Entsorgungskette. Zielstellung ist hier insbesondere die Schaffung von Möglichkeiten, die illegale Ablagerung von Altreifen zurückverfolgbar zu machen und damit zu unterbinden. Grundsätzlich wird angestrebt, die Art und die Menge der Altreifen sowie die beteiligten Akteure aller den Entsorgungsbetrieben vorgelagerten Tätigkeiten zu dokumentieren und weiter zu melden. In einer Umfrage (Hoyer et al. 2020a) wurden die Unternehmen entlang der Entsorgungskette von Altreifen befragt, auf welche Tätigkeitsbereiche bzw. Marktteilnehmer die Register- bzw. Nachweispflichten ausgeweitet werden sollten (siehe Abbildung 32).

Ein möglichst hoher Sortiergrad der Altreifen sollte grundsätzlich angestrebt werden. Bereits heute erfolgt eine Vorsortierung der Reifen bei den Anfallstellen und Altreifenhändlern mit der Zielstellung, so viele Altreifen wie möglich mit Gewinn weiter zu verkaufen. Dabei handelt es sich primär um Reifen, die ohne weitere Maßnahmen im In- oder Ausland wiederverwendet werden können. Andererseits besteht vermeintlich ein Defizit in der Sortierung von Altreifen, die sich für die Runderneuerung eignen. Runderneuerungsbetriebe beziehen oft hohe Anteile ihrer Karkassen aus dem Ausland, was auf eine mangelnde Vorsortierung der Reifen in Deutschland hinweist. Es scheint keine hinreichend hohe Motivation zu bestehen, die Altreifen entsprechend zu sortieren. Zuletzt besteht jedoch auch seitens der Altreifenentsorger die Forderung, nicht nur komplett abgefahrene Reifen zu erhalten. Es bedarf eines gewissen Anteils von Altreifen mit hohem Restprofil, um ausreichende Mengen verwertbaren Gummis zu erhalten. Werden nur Reifen mit verhältnismäßig geringem Restprofil abgegeben, steigen in der Regel auch die Kosten für die Entsorgung durch die Altreifenentsorger an.

Die Altreifenentsorgungsbranche kritisiert ferner eine mangelnde Umverteilung der Entsorgungskostenbeiträge der Endverbraucher. Nur etwa 24 % der von den Verbraucher*innen zu zahlenden Entsorgungskosten kommen tatsächlich bei den Entsorgungsbetrieben an bzw. können durch das Annahmeentgelt für Altreifen bei den Entsorgungsbetrieben erlöst werden. Eine Anhebung der Entsorgungskosten der Altreifenrecycler, wie sie in der jüngeren Vergangenheit bereits teilweise erfolgt ist, wird unter

den bestehenden Marktbedingungen die Anreize zur unsachgemäßen oder gar illegalen Entsorgung von Altreifen jedoch weiter erhöhen.

Abbildung 32 Zustimmungsqoten zum Geltungsbereich der Nachweis- bzw. Registerpflichten



Quelle: eigene Darstellung, Hoyer

8.9.2 Abfallvermeidung

Unter den gegebenen Marktbedingungen in Deutschland besteht eine hohe intrinsische Motivation bei den Anfallstellen und Altreifensammlern, die Abfallvermeidung durch Vorsortierung und Weiterverkauf wiederverwendbarer Altreifen zu maximieren (vgl. Kapitel 8.3.9). Es werden so jedoch auch eine Vielzahl an Reifen, welche die Anforderungen an deutsche Normen der Zulassung für den Straßenverkehr, insbesondere im Hinblick auf die Profiltiefe, nicht mehr erfüllen, als verwendbare Reifen exportiert und somit den etablierten, umweltfreundlichen Entsorgungswegen entzogen. Die Praxis des Exports von Altreifen kann sowohl Probleme bei der Verkehrssicherheit als auch Umweltfolgen bei der späteren Entsorgung zur Folge haben.

8.9.3 Wiederverwendung/Runderneuerung

Die Runderneuerung hat heute in Deutschland nur im Lkw-Reifenbereich Bedeutung. Im Pkw-Bereich liegt der Anteil unter 1 %. Nach Branchenauskunft, bestehen in Deutschland die Kapazitäten, um die Runderneuerung von Lkw-Reifen von derzeit 29 % auf bis zu 40 % des Altreifenanfalls auszuweiten.

Im Bereich der Runderneuerung ist es Pkw- und Lkw-Reifen gemein, dass runderneuerte Reifen in einem sehr großen Preiswettbewerb zu günstigen Neureifen stehen, der die Nachfrage dämpft. Besonders ausgeprägt ist die Situation bei den Pkw-Reifen. Um die Nachfrage zu erhöhen bedarf es primär einer Verbesserung der Kostenstruktur sowie dem Abbau der Vorurteile hinsichtlich mangelnder Qualität. Hier erscheint insbesondere die Automatisierung des Runderneuerungsprozesses von zentraler Bedeutung. Daneben müssen auch im Bereich der Werkstofftechnik (Silika-Mischungen) sowie der Fertigungstechnologie (Multicompound-Laufflächen) Weiterentwicklungen forciert werden, um auf das Leistungsniveau moderner Pkw-Reifen aufzuschließen. Zuletzt ist auch die Verfügbarkeit entsprechend geeigneter Altreifen, insbesondere im Hinblick auf die Qualität der Karkasse, ein Faktor, der die Ausweitung der

Runderneuerung im Pkw-Bereich begrenzt. Hierbei wäre im Detail zu prüfen, ob eine bessere Sortierung der Altreifen allein genügt, oder ob zusätzlich eine konstruktive Änderung der Karkassen von Neureifen im Hinblick auf eine bessere Runderneuerung notwendig ist. Die Kombination aus mangelnder Nachfrage auf der einen sowie notwendiger Investitionen in Werkstoff- und Produktentwicklung sowie Prozessautomatisierung auf der anderen Seite stellen jedoch einen schwierig zu überwindenden Konflikt dar.

Der Rollwiderstand und der Abrieb (Lebensdauer) sind zwei Faktoren, welche die Ökobilanz runderneuerter Reifen maßgeblich beeinflussen. Um die Runderneuerung ökologisch bewerten zu können, sollten neue Ökobilanzen erstellt werden, da die vorliegenden Studien hinsichtlich der Eingangsgrößen veraltet sind.

Im Lkw-Bereich kann angesichts der relativ hohen Runderneuerungsquote darauf geschlossen werden, dass die Runderneuerung hier grundsätzlich wirtschaftlich ist und keine bedeutsamen Einbußen hinsichtlich Kraftstoffverbrauch und Lebensdauer hat. Im Pkw-Bereich bedarf es insbesondere einem Aufschließen der Runderneuerungsbranche auf das Know-how der Neureifenindustrie hinsichtlich Mischungsrezepturen und Fertigungstechnologien. Damit könnten viele Defizite runderneuerter Pkw-Reifen, die sich auf das Leistungsvermögen sowie die Ökobilanz auswirken können, kompensiert werden.

Entsprechend muss der Runderneuerung von allen werkstofflichen Verwertungsverfahren die größte Bedeutung zugemessen werden. Die Runderneuerung sollte, soweit es unter den gegebenen Marktkapazitäten möglich ist, ausgeweitet werden. Die Hürden, welche von den Runderneuerungsbetrieben, insbesondere im Pkw-Bereich, zu überwinden sind, erscheinen jedoch eingeschränkt durch regulatorische Maßnahmen überwindbar zu sein. Dennoch sollte es Ziel etwaiger Maßnahmen sein, die Runderneuerung, vor allem im Pkw-Bereich, soweit wie möglich zu unterstützen, insbesondere bei der Know-how-Entwicklung sowie dem Marktzugang.

8.9.4 Werkstoffliche Verwertung/Recycling

8.9.4.1 Einschätzung der umwelt- und gesundheitsbezogenen Risiken von Altreifenrezyklaten

Nach aktuellem Stand der Forschung scheinen von Altreifenrezyklat und daraus hergestellten Erzeugnissen im Hinblick auf Migration und Emission von gesundheitsgefährdenden Stoffen keine signifikante Gefährdung für Mensch und Umwelt auszugehen. Lediglich hohe Einsatz- (80 °C) und Verarbeitungstemperaturen (ab ca. 170 °C) sollten gemieden werden, da dies eine verstärkte Emission von Stoffen zur Folge hat.

Die zukünftige Situation im Bereich der Herstellung von Erzeugnissen für die Anwendung in Aufenthaltsräumen sowie für Produkte, die regelmäßig mit der Haut oder der Mundhöhle in Kontakt kommen, ist nicht vollständig absehbar. Die bisher bestehenden PAK-Gehaltsgrenzen sind in vielen Bereichen in Überarbeitung. Dabei wird die Einführung von migrations- und emissionsbasierten Messverfahren ebenso diskutiert, wie die Anpassung der bestehenden PAK-Grenzwerte und -Messverfahren. Die Einführung von verbindlichen Messverfahren zur PAK-Gehaltsbestimmung von Altreifenrezyklaten nach Vorbild der Methode nach Barrero-Moreno et al. (2018) würde perspektivisch höhere gemessene PAK-Gehalte ergeben, als es nach den bisher zulässigen Methoden, etwa der DIN ISO 18287, der Fall ist. Entsprechend würden einige Anwendungen entfallen oder einer signifikanten Verringerung des Rezyklatanteils bedürfen. Auch wenn sich die PAK-Regelungen nur auf einen Teilbereich dieses Marktes erstrecken, führt die allgemeine Verunsicherung auch zu einer Dämpfung auf angrenzende Anwendungsgebiete.

Die Frage nach der besten Umweltverträglichkeit der verschiedenen werkstofflichen Verwertungsansätze kann nicht abschließend beantwortet werden. Neben den trivialen

Aspekten, wie der Einsparung von Primärrohstoffen, nehmen insbesondere die Verarbeitungsprozesse zu neuen Produkten sowie die resultierenden Gebrauchswerteigenschaften und die Lebensdauer gravierenden Einfluss auf die Gesamtbilanz.

Die Bandbreite der Verarbeitungsverfahren zur Herstellung von Produkten auf Basis von Altreifenrezyklaten reicht von relativ einfachen Formpressverfahren bis zu komplexen kontinuierlichen Verfahren aus dem Bereich der Thermoplast- und Kautschukverarbeitung. Die Unterschiede im technischen Aufwand und dem spezifischen Energiebedarf dieser stark diversen Verarbeitungsverfahren sind sehr groß und lassen sich pauschal kaum abschätzen. Insbesondere auch deshalb, da bei einem bestehenden Produkt der Einsatz von Rezyklat mit einer Anpassung oder gar einer grundlegenden Änderung der Verarbeitungstechnologie verbunden sein kann.

Durch den Einsatz von Rezyklat kann der Bedarf an Primärrohstoffen zur Herstellung von Produkten grundsätzlich stark gesenkt werden. Der Anstieg des spezifischen Energiebedarfs, etwa durch eine Verschlechterung der Verarbeitungseigenschaften wie der Viskosität, kann jedoch diesen Vorteil teilweise aufheben. Diesbezüglich ist eine Einzelfallbetrachtung spezifischer Produkte und zugehöriger Verarbeitungstechnologien unabdingbar.

Ein wesentlich gewichtigerer Aspekt sind darüber hinaus die Gebrauchswerteigenschaften und die Lebensdauer der Sekundärprodukte auf Basis von Altreifengranulat. Hier existiert, je nach Anwendungsfeld, eine große Bandbreite relevanter Materialeigenschaften, die durch den Einsatz von Rezyklaten oft stark beeinflusst werden. Entsprechend lassen sich an dieser Stelle kaum allgemeingültige Aussagen treffen. Dies wird deutlich bei der Betrachtung des Closed-Loop-Recyclings: Berücksichtigt man beispielsweise, dass der größte Anteil des kumulierten Energieaufwands im Leben eines Reifens auf die Nutzungsphase (ca. 96 %, s. Continental 1999) entfällt, wird leicht ersichtlich, dass bereits kleinste prozentuale Verschlechterungen, beispielsweise des Rollwiderstands, die Gesamtbilanz gravierend beeinträchtigen können oder sogar negativ werden lassen.

Besonders relevant erscheinen Sekundäranwendungen, welche die intrinsischen Vorteile der Altreifenmaterialien, wie Witterungsbeständigkeit, Elastizität und Dämpfungsverhalten ausnutzen. Dies betrifft insbesondere eine Vielzahl der granulatbasierten Anwendungsfälle. Hier ist aus subjektiver Sicht kaum mit Einbußen in den Gebrauchswerteigenschaften gegenüber Primärrohstoffen zu rechnen. Andere Anwendungen, die etwa vorrangig durch Verschleiß- oder dynamische Beanspruchung gekennzeichnet sind, müssen im Einzelfall bewertet werden.

Die Nutzung von Altreifenrezyklaten auf Basis von Granulaten und Mehlen zur Herstellung von Produkten hat grundsätzlich die Einsparung hoher Anteile von Primärrohstoffen zur Folge. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse besteht kein Anlass, eines der beiden werkstofflichen Verwertungskonzepte (Granulat oder Feinmehl) zu priorisieren. Zwar lassen sich auf Basis von Feinmehlen optisch und mechanisch deutlich hochwertigere Produkte herstellen. Jedoch sind die Auswirkungen des Feinmehls auf die Gebrauchswerteigenschaften nicht ohne weiteres abzuschätzen, weshalb feinmehlbasierte Produkte, unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus, nicht zwingend eine höherwertige Verwertung darstellen.

Zur Herstellung granulatbasierter Formteile werden ferner meist nur minimale Mengen an Primärrohstoffen als Binder⁸¹ benötigt, was als positiver Aspekt zu bewerten ist. Grundsätzlich sollten daher beide Verwertungsansätze gleichberechtigt angesehen und im Rahmen ökologischer und ökonomischer Sinnhaftigkeit ausgeweitet werden. Im Falle förderpolitischer

⁸¹ Dies könnte sich jedoch mit der Einführung von strengeren Methoden zur PAK-Gehaltsbestimmung ändern, da der Rezyklatgehalt in Folge der höheren gemessenen PAK-Gehalte abgesenkt werden müsste.

Maßnahmen sollte ggf. dem erhöhten Forschungs- und Entwicklungsaufwand von feinmehlbasierten Anwendungen, insbesondere auf Kautschukbasis, Rechnung getragen werden. Im Hinblick auf den höheren Energiebedarf zur Herstellung von Feinmehl (ca. 1,2 kWh) sollte sorgsam abgewogen werden, ob eine höhere Förderung zielführend ist. Es sollte vermieden werden, dass granulat- und feinmehlbasierte Anwendungen miteinander in Wettbewerb treten und die Feinvermahlung, ohne Notwendigkeit und auf Grundlage besserer Förderbedingungen, priorisiert wird.

Lkw- und Pkw-Reifen sollten grundsätzlich getrennt recycelt werden. Dies leitet sich aus deren unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung sowie den teils signifikant unterschiedlichen PAK-Gehalten ab. Aus Hinsicht des Umwelt- und Gesundheitsschutzes besteht kein Anlass, einzelne werkstoffliche Verwertungswege auszuschließen (vgl. Kapitel 0), sofern die Verarbeitung der Rezyklate, insbesondere im Hinblick auf die Verarbeitungstemperaturen, nach Stand der Technik erfolgt.

Tabelle 94 fasst die wesentlichsten Unterschiede in diesem Zusammenhang noch einmal zusammen.

Tabelle 94 Zusammenfassung der wesentlichsten Unterschiede von Lkw- und Pkw-Reifen im Hinblick auf deren stoffliche Verwertung

Lkw-Reifen	Pkw-Reifen
+ Niedriger PAK-Gehalt, insbesondere für die Summe der 16 EPA-PAK (relevant für Anwendungen in Aufenthaltsräumen)	– Tendenziell höherer PAK-Gehalt als Lkw, insbesondere für die Summe der 16 EPA-PAK
+ Geringer Textil-, hoher Stahlanteil	– Hoher Textilanteil, der insbesondere die Feinvermahlung erschweren kann
+ Gute Grundlage für Anwendungen in Kautschukmischungen, da ein hoher Naturkautschukanteil vorliegt. (Lkw-Laufflächen sind hier noch besser)	– Schlechtere Kennwerte bei Rückführung in Kautschukmischungen im Vergleich zu Lkw-Reifenrezyklaten
+ Hohe Relevanz der Runderneuerung	– Kaum Relevanz der Runderneuerung

Für die stoffliche Verwertung von Altreifen sollte die Zielstellung sein, die Altreifen einem ökologisch sinnvollen zweiten Lebenszyklus zuzuführen. Die Recyclbarkeit dieser Sekundärprodukte sollte dabei, aus den folgenden Erwägungen heraus, nicht notwendigerweise im Vordergrund stehen: Sekundärprodukte auf Altreifenbasis können zwar grundsätzlich für ein erneutes stoffliches Recycling geeignet sein, jedoch besteht die Frage

- in welchem Umfang diese Produkte am Ende ihres Lebens gesammelt und sortenrein zurückgeführt werden können,
- welchen Einfluss die Werkstoffzusammensetzung (Mischwerkstoff aus Altreifenrezyklaten und meist artfremden Matrixwerkstoffen) im Hinblick auf deren Recyclingfähigkeit hat und
- welchen Einfluss etwaige Alterungserscheinungen sowie der Eintrag von Stör- und Fremdstoffen hat.

In Anbetracht des aktuellen Überangebots von Altreifenrezyklaten sollten in Verwertungskonzepte primär die ökonomischen und ökologischen Zielkriterien optimiert und

die Sekundärprodukte am Ende ihres Lebens priorisiert energetisch verwertet werden. Die Produkte sollten daher so beschaffen sein, dass Sie ohne großen technischen oder energetischen Mehraufwand der energetischen Verwertung zugeführt werden können. Weiterhin sollten Produkte mit Gummirezyklat leicht identifizierbar sein, um sie in einem späteren Abfallstrom leicht separieren zu können.

8.9.4.2 Straßenbau

Einer der größten, bisher kaum erschlossenen Wachstumsmärkte für die stoffliche Verwertung von Altreifen ist der Einsatz im Straßenbau. Die Gummimodifizierung von Bitumen führt zu einer Verbesserung einzelner Leistungsparameter von Straßen und kann auch die Reduktion der Schichtdicke ermöglichen. Auf Basis des aktuellen Erkenntnisstands erscheint der Einsatz von Altreifenrezyklaten daher ökonomisch sinnvoll und kann, durch aktuelle Entwicklungen zum Absenken der Einbautemperaturen von Asphalt, auch ohne nennenswerte Gefährdung von Mensch und Umwelt erfolgen. Hier bedarf es primär der Schaffung von Grundlagen für die Berücksichtigung derartig modifizierter Asphalte bei Ausschreibungen (Regelwerke).

8.9.4.3 Energetische Verwertung

Für die energetische Verwertung sollten in Deutschland dringend entsprechende Kapazitäten erhalten bzw. zusätzlich geschaffen werden, um den bereits gefallenen und zukünftig vermutlich weiterfallenden Anteil der Verwertung in Zementwerken zu kompensieren. Eine spezifische Grundkapazität für die energetische Verwertung von Reifen ist zwingend notwendig, insbesondere für solche Altreifen, die sich nicht für die Granulierung eignen. Dabei handelt es sich in der Regel um Seal- und Silentreifen sowie solche Altreifen, die aufgrund von Alter, Herkunft oder Verschmutzung für ein stoffliches Recycling nicht geeignet sind. In diesem Zusammenhang ist eine möglichst effiziente Nutzung der Feedstock-Energie der Altreifen anzustreben.

Die Aufrechterhaltung der Verwertung in Zementwerken könnte perspektivisch durch eine entsprechende Vorzerkleinerung der Altreifen erfolgen, welche einen Einsatz der Altreifenrezyklate in Brennöfen mit Kalcinator ermöglicht. Hier muss in weiterführenden Arbeiten jedoch detailliert evaluiert werden, welcher Zerkleinerungsgrad notwendig ist und ob unter diesen Voraussetzungen eine Verwertung von Altreifen in Zementwerken weiterhin ökonomisch und ökologisch sinnvoll erfolgen kann. Eine weitere Option wäre beispielsweise die hocheffiziente energetische Verwertung in Blockheizkraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung. Der Einsatz von Pyrolyse erscheint überdies nur relevant, wenn gesicherte Kapazitäten zur Verwertung der erzeugten Sekundärrohstoffe, insbesondere dem Ruß, nachgewiesen werden können. In der Schweiz wurde der Verbrennung im Drehrohrofen eine Pyrolysebehandlung vorgeschaltet. Alle Zerlegungsprodukte der Pyrolyse werden anschließend der Klinkerherstellung zugeführt.

8.9.5 Prognose der Entwicklung der Verwertungskapazitäten

Tabelle 96 stellt die aktuellen Verwertungskapazitäten einzelner Verwertungswege den prognostizierten Verwertungskapazitäten gegenüber. Hierbei wird angenommen, dass der Marktzugang für Straßenbau und Runderneuerung kurzfristig gelingt und die Rezyklierung sowie für die Verwertung in der Zementindustrie unverändert zurückgeht.

Es handelt sich bei den Kapazitätsprognosen überwiegend um Schätzwerte, insbesondere für die Rezyklierung sowie die Runderneuerung von Pkw-Reifen. Hierbei sind grundsätzlich spezifische Rahmenbedingungen notwendig, unter denen sich die Märkte optimal entwickeln können. Im Hinblick auf die Rezyklierung sind dies insbesondere umsetzbare PAK-Regelungen, im Bereich

der Runderneuerung eine entsprechende Nachfrage seitens der Verbraucher*innen und für die Anwendung im Straßenbau die Schaffung entsprechender Regelwerke.

Die größten Potenziale für eine Ausdehnung der stofflichen Verwertung von Altreifen liegen in granulat- und feinmehlbasierten Anwendungen, im Straßenbau und in der Runderneuerung (insbesondere Pkw).

Sollten die Märkte für Straßenbau, Runderneuerung und Rezyklierung keinen Zuwachs ihrer Verwertungsquoten erreichen (Stagnation auf den Werten von 2019), würde sich eine Verwertungskapazität von 333.400 t pro Jahr in 2030 ergeben. Dies entspräche einem Defizit von 128.600 t Altreifen zum prognostischen Altreifenanfall im Jahr 2030 (Tabelle 95).

Tabelle 95 Altreifenanfall in Deutschland und Extrapolation des Trends

	Ist-Stand	Extrapolation
Altreifenaufkommen in Deutschland lt. GAVS (Tabelle 62, Pos. 5+6)	514 kt/a (2019) <i>Zwischen 2012 und 2019 im Mittel rückläufig mit 0,54 %/a</i>	462 kt/a (2030) <i>Bei Beibehaltung aktueller Trend von -0,54 %/a</i>
Altreifenaufkommen nach eigener Rechnung (Tabelle 65 zzgl. 20 kt Altfahrzeugverwertung)	Gesamt: 708 kt/a Pkw: 431 kt (60,9 %) Lkw: 166 kt (23,4 %) Llkw: 79 kt (11,1 %)	667 kt/a (2030) <i>Bei Beibehaltung aktueller Trend von -0,54 %/a</i>

Tabelle 96 Überschlägige Prognose der Kapazitäten verschiedener Verwertungswege

Anwendungsbereich	Ist-Stand	Extrapolation bzw. Abschätzung
Einsatz im Straßenbau	Unbekannt Schätzung 2 kt/a	Jahreskapazität max. 50 kt <i>1,67 Mio. t/a Bitumen, 25 % modifiziert, 12 % Gummianteil</i>
Rezyklierung zu Granulat und Feinmehl	251 kt/a , davon Formteile granulatbasiert ca. 150 kt/a feinmehlbasiert: ca. 21 kt/a <i>Wachstumsrate 2013-2019 durchschnittlich +4,2 %/a</i>	Unklar Jahreskapazität von 350 kt bei Beibehaltung des aktuellen Trends (+4,2 %/a)
Runderneuerung	26 kt/a (nach anderer Rechnung 48 kt) Lkw ca. 29 % Pkw unter 1 % <i>Zwischen 2012 und 2019 im Mittel rückläufig mit 5,2 %/a</i>	Kapazität abgeschätzt 118 kt/a Pkw, Lkw: Jahreskapazität von 51 kt <i>Quote: 10 % von 510 kt/a Pkw- u. Lkw-Altreifen</i> Lkw: Jahreskapazität 67 kt/a <i>Steigerung von 29 % auf 40 %, entspricht zusätzlicher Kapazität von 19 kt/a (bei 166,4 kt/a Lkw-Altreifen)</i>
Zementindustrie	175 kt/a <i>Exponentieller Rückgang</i> <i>2011–2019: -39 % (111 kt/a)</i> <i>2019 allein -11 % (27 kt/a)</i>	68 kt/a im Jahr 2030 <i>Bei Beibehaltung des aktuellen Trends (exponentieller Rückgang)</i>
Gesamt	477,4 kt/a	512 kt/a (2030)

8.10 Maßnahmenvorschläge

Ziel des Vorhabens ist es, Ressourcenschonungs- und Umweltentlastungspotenziale durch eine verbesserte Erfassung und Verwertung von Altreifen zu ermitteln und Handlungsansätze für eine Erschließung von Ressourcenschonungspotenzialen aufzuzeigen. Im Folgenden werden verschiedene Maßnahmen für die Verbesserung der Erfassung und stofflichen Verwertung von Altreifen beschrieben.

Jede Maßnahme wird anhand der in Kapitel 1.3.1 genannten elf Kriterien bewertet. Aufgrund der ökologischen Relevanz wird das Kriterium „Stärkung des Recyclings“ dreifach gewichtet. Je kleiner das Ergebnis, desto besser sind die praktische Umsetzbarkeit und die Wirkung einer Maßnahme.

8.10.1 Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung oder eines abgabenbasierten Systems

Eine Reihe von bestehenden Problemen im freien Markt lassen sich durch die Änderung des Systems beheben. Wie in Kapitel 8.3.11 beobachtet, stellt die illegale Entsorgung von Altreifen durch gewerbliche Teilnehmer der Entsorgungskette ein wesentliches ökologisches Problem dar, das mit hohen Kosten und Aufwand für die öffentliche Entsorgung verbunden ist. Des Weiteren ist derzeit Nachverfolgbarkeit der Stoffströme in der Altreifenentsorgung kaum gegeben.

Als Alternativen zum freien Markt bieten sich das abgabenbasierte System, ähnlich wie in Dänemark und Kroatien, und die erweiterte Herstellerverantwortung an, wie sie in Deutschland bereits für mehrere Stoffströme existieren. Je nach Ausgestaltung des Systems ergeben sich verschiedene Vorteile gegenüber dem freien Markt. In Tabelle 97 werden die Anforderungen an ein solches System dargestellt.

Tabelle 97 Anforderungen an die Ausgestaltung der Maßnahme

Anforderung	N	O
Klare Regelung der Verantwortlichkeit zur Entsorgung der Altreifen	x	
Sichere Finanzierung von Sammlung und Verwertung	x	
Höhere Anreize, die Altreifen auf ihre Verwertbarkeit hin zu prüfen und zu sortieren	x	
Anreize zur Priorisierung der Vorbereitung zur Wiederverwendung	x	
Kostenlose Annahme von Altreifen für Letztbesitzer*innen	x	
Statistische Erfassung der Stoffströme in der Altreifenentsorgung	x	
Finanzierung von Forschung, (Pilot-)Projekten, Öffentlichkeitsarbeit		x

N – notwendig, O - optional

In der erweiterten Herstellerverantwortung werden die Produzenten von Reifen gesetzlich verpflichtet, die Sammlung und Verwertung der Altreifen zu organisieren und zu finanzieren. Unter dem Begriff Produzenten werden sowohl Hersteller als auch Importeure von Reifen bezeichnet. Ihrer Verantwortung können die Produzenten je nach Ausgestaltung des Systems entweder einzeln oder als Gruppe nachkommen. Für die gemeinsame Umsetzung können sie eine Organisation zur Erfüllung ihrer Aufgaben gründen (engl. Producer Responsibility Organization, PRO).

In beiden Systemen werden durch die verbesserte Nachverfolgbarkeit der Altreifen und die gesicherte Finanzierung der Anreiz, die Reifen auf illegale Weise zu entsorgen, deutlich verringert.

Altreifen werden durch Handel und Werkstätten kostenlos von den Verbraucher*innen zurückgenommen. In der Regel ist die Übernahme der Altreifen von der Anfallstelle durch die Altreifensammler ebenfalls kostenlos.

In Deutschland sind geeignete Karkassen nur eingeschränkt verfügbar, was die Ausweitung der Runderneuerung im Pkw-Bereich hemmt. Weder die Annahmestellen noch die Altreifensammler sortieren derzeit die abgegebenen Reifen entsprechend intensiv, weshalb die Runderneuerer oft auf Importe aus anderen EU-Ländern angewiesen sind. Im Rahmen des Systemwechsels kann durch die Vorgabe entsprechender Sortierkriterien für Annahmestellen und Sammlern eine

höhere Quote von Altreifen für die Vorbereitung zur Wiederverwendung gewonnen werden. Hierfür könnten die Kriterien für Sammlung und Sortierung der BRV für die Zertifizierung von Altreifenentsorgungsbetrieben (BRV, 2020) mit in die Anforderungen an die Systemteilnehmer aufgenommen werden.

Widerstände gegen den Wechsel des Systems sind insbesondere aus dem Reifenhandel und -service zu erwarten. Diese haben im bestehenden System bisher Einnahmen aus den Entsorgungskostenbeiträgen der Verbraucher*innen generiert und sehen sich dann einem stark erhöhten bürokratischen Aufwand gegenüber. Auch für die Inverkehrbringer, Reifenhersteller und Importeure, bestünde ein erhöhter bürokratischer Aufwand.

Die Beseitigung bereits bestehender Ablagerungen illegal entsorgter Altreifen wird über beide Systemtypen nicht finanziert. Hier wäre nach dem Systemwechsel eine Branchenvereinbarung ähnlich wie in Frankreich in Erwägung zu ziehen. Die Beseitigung der Ablagerungen wird durch die Reifenbranche organisiert und umgesetzt. Die Finanzierung erfolgt zu gleichen Teilen durch die öffentliche Hand und die Hersteller (siehe Kapitel 8.5.2.1).

Tabelle 98 Bewertung der Maßnahme „Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung für Altreifen“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	zusätzlicher bürokratischer Aufwand ist zumutbar, da in den meisten EU-Ländern umgesetzt	3
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Regelung nach § 23 Abs. 4 KrWG	3
Statistische Aspekte	Die Erfassung der statistischen Mengendaten ist aufgrund der Meldeverpflichtungen der Hersteller und Entsorger gesichert.	1
Organisatorischer Aufwand	sehr hoher organisatorischer Aufwand; Abstimmung zwischen allen Stakeholdergruppen zur Verbesserung der Akzeptanz erforderlich	5
Umsetzungshorizont	Langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme verbessert die Erfassung des Stoffstroms	1
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Finanzierung der Sammlung und Verwertung kann sichergestellt werden. Durch den Aufschlag der Entsorgungskosten auf den Produktpreis erfolgt die Finanzierung nach dem Verursacherprinzip.	1
Stärkung des Recyclings	Maßnahme betrifft alle in Deutschland verkauften Reifen; Wirkung abhängig von den gesetzlichen Vorgaben zu Erfassung und Verwertung	1
Akzeptanz der Akteure	Hersteller, Handel: gering (hoher Zusatzaufwand) Verbraucher*innen: indifferent (geringe Preiserhöhung) Recyclingbranche: hoch	3
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen mittleren Aufwand für die Öffentlichkeitsarbeit. Die Verbraucher*innen müssen informiert werden, wo sie ihre Altreifen kostenlos abgeben können.	3
Gewichtetes Ergebnis		2,2

Kriterium	Bewertung	Punkte
Adressaten	Bundesregierung, Hersteller, Importeur, Handel, Recyclingbranche, Verbraucher*innen	
Fazit	Einer hohen Wirksamkeit bei der Umsetzung ökologischer, ökonomischer und statistischer Ziele stehen ein hoher Aufwand bei der Umsetzung sowie eine geringe Akzeptanz bei Herstellern und Handel entgegen. Es sind daher gewisse Widerstände zu erwarten, was zu einer langwierigen Umsetzungsphase führen kann.	

Das abgabenbasierte System

Die Kosten des Systems werden im abgabenbasierten System durch die Verbraucher*innen getragen. Von einer staatlichen Stelle wird auf die in den Markt eingeführten Reifen eine Abgabe erhoben, die auf den Verkaufspreis der Reifen aufgeschlagen wird. Dadurch reduzieren sich im Vergleich zur erweiterten Herstellerverantwortung die Möglichkeiten, das System zu umgehen. Die erhobenen Abgaben fließen in einen Fonds, der von einer zentralen Stelle beaufsichtigt wird, und der die Gelder nach festgelegten Regeln an die beteiligten Unternehmen der Verwertungskette auszahlt. Gleichzeitig bleiben im abgabenbasierten System Elemente des freien Markts bestehen.

Im Gegensatz zur erweiterten Herstellerverantwortung können in einem abgabenbasierten System die Verwertungswege der Altreifen durch die Subventionsbestimmungen und Zulassungskriterien für Altreifensammler und Verwerter direkt durch staatliche Stellen gesteuert und kontrolliert werden. Ein aus rein finanziellen Gründen attraktiver, aber ökologisch bedenklicher Export von Altreifen zur Verwertung ins nicht-EU-Ausland, wie er in vielen Systemen der erweiterten Herstellerverantwortung üblich ist, kann durch entsprechende Anforderungskriterien im abgabenbasierten System deutlich verringert werden.

Der europäische Vergleich zeigt, dass in Systemen der erweiterten Herstellerverantwortung die Gefahr besteht, dass die PROs die Verteilung der Altreifen zum Nachteil einzelner Verwertungsindustrien vornehmen, um den Interessen ihrer Mitglieder zu dienen. Dies betrifft besonders die Runderneuerung, deren Produkte in direkter Konkurrenz zu Neureifen stehen.

Das abgabenbasierte System erlaubt eine einfachere Förderung der Runderneuerung, welche in Konkurrenz zum Neureifenverkauf steht, durch eine gestaffelte Abgabe für runderneuerungsfähiges Design oder eine Abgabenbefreiung von runderneuertem Reifen bei gleichzeitiger Subvention der Runderneuerung, analog zu anderen stofflichen Verwertungsverfahren.

Im deutschen Recht wäre für ein abgabenbasiertes System die Einführung einer Sonderabgabe mit Finanzierungszweck notwendig, an die strenge Anforderungen gestellt werden. Die Gerichte haben fünf Rechtmäßigkeitsanforderungen an diese Sonderabgaben entwickelt (Wissenschaftliche Dienste, 2020), von denen die ersten drei hier von speziellem Interesse sind. Zunächst muss die Abgabe eine homogene Gruppe in Anspruch nehmen. Diese wäre hier die Gruppe der Reifenkäufer*innen, da die Abgabe auf den Reifenpreis aufgeschlagen wird. Die zweite Anforderung ist eine spezifische Sachnähe zwischen dem Kreis der Abgabepflichtigen und dem mit der Abgabenerhebung verfolgten Zweck. Der Zweck der Abgabe ist die Förderung und sichere Finanzierung der Sammlung und Verwertung von Altreifen. Eine Sachnähe kann hier bestehen, da die Reifenkäufer*innen zu Besitzende von Abfällen werden, wenn sie sich ihrer Altreifen entledigen wollen. Gemäß §7 (2) und §8 (2) des Kreislaufwirtschaftsgesetz sind sie dann verpflichtet ihre Altreifen einer geregelten Entsorgung durch Verwertung oder Beseitigung

zuzuführen. Sie sind daher auf eine funktionierende Entsorgungsinfrastruktur angewiesen, wie sie durch die Abgabe gesichert werden soll.

Als drittes muss eine gruppennützige Verwendung des Abgabenaufkommens gegeben sein. Der Gruppennutzen kann hier gegeben sein, da die Reifenkäufer*innen, anders als im freien Markt, keinen in der Höhe variablen Entsorgungskostenbeitrag zahlen müssen, sondern ihre Altreifen kostenlos zurückgeben können. Durch die Abgabe wird zudem gewährleistet, dass die Käufer*innen sicher sein können, dass ihre Altreifen nicht illegal entsorgt werden, sondern fachgemäß verwertet oder beseitigt werden.

Neben der Prüfung, ob alle an die Einführung einer Sonderabgabe geknüpften Voraussetzungen erfüllt werden, ist eine Prüfung der subventionsrechtlichen Zulässigkeit der geplanten Subventionierung von Altreifensammlung und -verwertung vorzunehmen.

Tabelle 99 Bewertung der Maßnahme „Einführung eines abgabenbasierten Systems für Altreifen“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	zusätzlicher bürokratischer Aufwand ist zumutbar	3
Rechtliche Aspekte	Es fehlt der gesetzliche Rahmen zur Umsetzung der Maßnahme.	5
Statistische Aspekte	Die Erfassung der statistischen Mengendaten ist aufgrund der Meldeverpflichtungen der Hersteller und Entsorger gesichert.	1
Organisatorischer Aufwand	sehr hoher organisatorischer Aufwand; Abstimmung zwischen allen Stakeholdergruppen zur Verbesserung der Akzeptanz erforderlich	5
Umsetzungshorizont	Langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme verbessert die Erfassung des Stoffstroms	1
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Finanzierung der Sammlung und Verwertung kann sichergestellt werden. Durch den Aufschlag der Entsorgungskosten auf den Produktpreis erfolgt die Finanzierung nach dem Verursacherprinzip.	1
Stärkung des Recyclings	Maßnahme betrifft alle in Deutschland verkauften Reifen; Wirkung abhängig von den gesetzlichen Vorgaben zu Erfassung und Verwertung	1
Akzeptanz der Akteure	Hersteller, Handel: gering (hoher Zusatzaufwand) Verbraucher*innen: indifferent (geringe Preiserhöhung) Recyclingbranche: hoch	3
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen mittleren Aufwand für die Öffentlichkeitsarbeit. Die Verbraucher*innen müssen informiert werden, für welchen Zweck die Abgabe gezahlt wird, was damit bezweckt wird und wo sie ihre Altreifen abgeben können.	3
Gewichtetes Ergebnis		2,4
Adressaten	Bundesregierung, Hersteller, Importeur, Handel, Recyclingbranche, Verbraucher*innen	

Kriterium	Bewertung	Punkte
Fazit	Einer hohen Wirksamkeit bei der Umsetzung ökologischer, ökonomischer und statistischer Ziele stehen einem hohen Aufwand bei der Umsetzung sowie der geringen Akzeptanz bei Herstellern und Handel entgegen, woraus auch eine langfristige Umsetzungszeit resultiert. An die Einführung sind höhere rechtliche Hürden geknüpft als bei der erweiterten Herstellerverantwortung, jedoch sind die Steuerungsmöglichkeiten durch staatliche Stellen größer.	

8.10.2 Maßnahmen zur Förderung der Runderneuerung

8.10.2.1 Aufnahme von Reifen in die EU Ökodesign-Richtlinie: Umsetzung von Designanforderungen an Runderneuerbarkeit

Derzeit sind viele Altreifen, insbesondere von Pkw, aufgrund ihres Designs nicht oder nur eingeschränkt für die Runderneuerung geeignet. Vor allem der tragende Unterbau, die Karkasse, sollte im Hinblick auf deren Lebensdauer und der ertragbaren Belastungszyklen konstruktiv für eine Runderneuerung optimiert werden. Zudem gibt es zwischen den Herstellern und einzelnen Modellen Unterschiede in den genauen Maßen innerhalb einer Größenklasse. Diese Varianz in der spezifischen Geometrie der Reifen kann nur eingeschränkt mit einer Vulkanisationsform abgedeckt werden. Daher müssen in der Regel mehrere Vulkanisationsformen vorgehalten und die Reifen aufwendig vorsortiert werden. Um den Aufwand in der Runderneuerung deutlich zu reduzieren, sollten daher die Reifenmaße in den einzelnen Größenklassen standardisiert werden.

Tabelle 100 Bewertung der Maßnahme „Aufnahme von Reifen in die EU Ökodesign-Richtlinie: Umsetzung von Designanforderungen an Runderneuerbarkeit“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	geringer bürokratischer Aufwand	1
Rechtliche Aspekte	Derzeit sind Verkehrsmittel zur Personen- oder Güterbeförderung von der EU Ökodesignrichtlinie ausgeschlossen. Ob dieser Ausschluss auch für Reifen gilt, wäre zu prüfen. Im Rahmen des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft der EU-Kommission ist eine Ausweitung der Ökodesignrichtlinie auf möglichst viele Produktgruppen geplant.	5
Statistische Aspekte	keinen Einfluss auf die statistische Erfassung	5
Organisatorischer Aufwand	Der organisatorische Aufwand für die Einführung der Maßnahme ist hoch. Die erforderliche Einigung verschiedener Akteure ist schwer zu erreichen	5
Umsetzungshorizont	Langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Stoffstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme hat einen positiven Einfluss auf die Finanzierung der Vorbereitung zur Wiederverwendung, da sie Aufwand und Kosten reduziert.	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
Stärkung des Recyclings	Maßnahme betrifft alle Neureifen; erhöht den Anteil der Altreifen, die sich für die Runderneuerung eignen	2
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: niedrig bis indifferent (Aufwand für Anpassung der eigenen Produkte) Recyclingbranche: hoch (Vereinfachung der Arbeitsabläufe, Verbesserung der Produktqualität)	3
Öffentlichkeitsarbeit	Es wird keine oder kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit zur Umsetzung der Maßnahme benötigt.	1
Gewichtetes Ergebnis		2,9
Adressaten	EU, Bundesregierung, insbesondere BMU, Hersteller, Branchenverbände, Recyclingbranche	
Fazit	Von Seiten der Hersteller gibt es keine Motivation, eine Standardisierung des Reifendesigns zugunsten der Runderneuerung vorzunehmen. Die Festschreibung eines runderneuerungsfähigen Designs in der EU Ökodesign-Richtlinie erhöht den Anteil der Altreifen, die sich für die Vorbereitung zur Wiederverwendung eignen deutlich und senkt den Aufwand in der Runderneuerung.	

8.10.2.2 Förderung des Technologie- und Wissenstransfers zwischen Reifenherstellern und Runderneuerung

In der Neureifenherstellung kommt vermehrt die sogenannte Silika-Technologie zum Einsatz, in der in der Gummimischung ein Teil des Carbon Black durch Kieselsäure (Silika) ersetzt wird. Eine weitere Neuerung ist der Einsatz von Multicompound-Lauflächen, die aus mehreren neben- und übereinanderliegenden Gummimischungen bestehen. Der mittelständisch geprägte Sektor der Runderneuerung verfügt nicht über die Mittel und Möglichkeiten, eigene Materialforschung zu betreiben. Um langfristig eine hohe Qualität in der Runderneuerung zu sichern, muss ein Wissens- und Technologieaustausch zwischen dem Neu- und Altreifensektor stattfinden. Dies kann durch die Einrichtung von Foren, Förder- und Forschungsprogrammen durch den Bund oder die Länder gefördert werden.

Tabelle 101 Bewertung der Maßnahme „Förderung des Technologie- und Wissenstransfer zwischen Reifenherstellern und Runderneuerung“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Kein zusätzlicher bürokratischer Aufwand erforderlich.	1
Rechtliche Aspekte	Für die Umsetzung der Maßnahme sind keine rechtlichen Änderungen/Ergänzungen erforderlich.	1
Statistische Aspekte	keinen Einfluss auf die statistische Erfassung	5
Organisatorischer Aufwand	Es gibt einen mittleren organisatorischen Aufwand für die Einführung der Maßnahme. Es ist eine konstruktive und zielgerichtete Kommunikation zwischen mehreren Akteuren erforderlich.	3
Umsetzungshorizont	Kurzfristig (1-2 Jahre)	1

Kriterium	Bewertung	Punkte
Verbindlichkeit	unverbindlich; basiert auf freiwilliger Beteiligung der Hersteller und Runderneuerer	5
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Stoffstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme hat einen positiven Einfluss auf die Finanzierung der Vorbereitung zur Wiederverwendung	3
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme schafft bessere Voraussetzungen für die Vorbereitung zur Wiederverwendung.	3
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: niedrig Recyclingbranche: hoch	4
Öffentlichkeitsarbeit	Es wird keine oder kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit zur Umsetzung der Maßnahme benötigt.	1
Gewichtetes Ergebnis		2,7
Adressaten	BMU, UBA, Hersteller, Recyclingbranche	
Fazit	Durch die Maßnahme kann die Qualität und Wirtschaftlichkeit der Runderneuerung verbessert werden. Der Erfolg hängt jedoch wesentlich davon ab, ob Partner aus der Reifenherstellung für die Maßnahme gewonnen werden können.	

8.10.2.3 Förderung der Anlagenautomatisierung in der Runderneuerung

Runderneuerte Reifen stehen in Konkurrenz zu preisgünstigen Neureifen, die vor allem aus dem außereuropäischen Ausland importiert werden. Seit November 2018 gelten für den Import von bestimmten Lkw- und Bus-Reifen aus China vorläufig Antidumpingzölle (Verordnung (EU) 2018/683). Im Pkw-Bereich ist die Preisdifferenz derzeit zu gering, um eine ausreichende Nachfrage zu generieren.

Die Runderneuerung hat einen relativ geringen Automatisierungsgrad. Gerade die Sortierung und Qualitätsprüfung der Altreifen im Wareneingang ist sehr arbeits- und personalintensiv. Die Nachfrage nach Pkw-Reifen wird zudem durch die Varianz der Verformungs- und Dämpfungseigenschaften verschiedener Karkassen gedämpft. Hier müssen Lösungsansätze erarbeitet werden, wie Karkassen mit identischem Aufbau und damit Verhalten sortiert und gepaart werden können, damit ein Satz aus vier Reifen möglichst identisches Verhalten zeigt. Um die Wettbewerbsfähigkeit der Runderneuerung in Deutschland zu erhöhen, bedarf es einer Steigerung der Anlagenautomatisierung.

Zur Förderung der Anlagenautomatisierung können Pilotprojekte durchgeführt werden oder Förder- und Forschungsprogramme eingerichtet werden. Eine Anknüpfung an bestehende Förderungen wie das Umweltinnovationsprogramm ist dabei auch denkbar.

Tabelle 102 Bewertung der Maßnahme „Förderung der Anlagenautomatisierung“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	geringer zusätzlicher bürokratischer Aufwand erforderlich.	2

Kriterium	Bewertung	Punkte
Rechtliche Aspekte	Für die Umsetzung der Maßnahme sind keine rechtlichen Änderungen/Ergänzungen erforderlich.	1
Statistische Aspekte	keinen Einfluss auf die statistische Erfassung	5
Organisatorischer Aufwand	Es gibt einen mittleren organisatorischen Aufwand für die Einführung der Maßnahme. Es ist eine konstruktive und zielgerichtete Kommunikation zwischen mehreren Akteuren erforderlich.	3
Umsetzungshorizont	Mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	unverbindlich; Teilnahme an Förderprogramm freiwillig	5
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Stoffstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme hat einen positiven Einfluss auf die Finanzierung der Vorbereitung zur Wiederverwendung	3
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme verbessert die Qualität und Quantität der Vorbereitung zur Wiederverwendung.	3
Akzeptanz der Akteure	Recyclingbranche: hoch	1
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen mittleren Aufwand für Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit, um das Programm in der Branche bekannt zu machen.	3
Gewichtetes Ergebnis		2,9
Adressaten	Ministerien, Runderneuerer	
Fazit	Die Maßnahme führt in einem überschaubaren Zeitrahmen zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Runderneuerung und erhöht die Absatzchancen für runderneuerte Reifen.	

8.10.3 Förderung der stofflichen Verwertung

Die stoffliche Verwertung ist abhängig davon, dass ihre Rezyklate Abnehmer finden. In Anbetracht der vielseitigen Eigenschaften von Altreifenrezyklaten muss branchenübergreifend nach neuen Einsatzmöglichkeiten gesucht werden, um den Ausfall von Abnehmern aufgrund der Unsicherheit in Bezug auf die Entwicklung der PAK-Grenzwerte zu kompensieren.

8.10.3.1 Aufbau einer Material- und Verarbeitungsdatenbank

Ähnlich wie bei der Runderneuerung sollte ein Wissenstransfer zwischen Herstellung und Verwertung ermöglicht werden. Dazu könnte eine Material- und Verarbeitungsdatenbank geschaffen werden, um technische Hürden bei der komplexen, aber sehr hochwertigen Verwertung von Altreifenrezyklaten in Kautschukmischungen zu stützen. Diese würde den Forschungs- und Entwicklungsaufwand verringern und eine bessere Vorabschätzung der Umsetzbarkeit neuer Verwertungswege erleichtern.

Tabelle 103 Bewertung der Maßnahme „Aufbau einer Material- und Verarbeitungsdatenbank“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	zusätzlicher bürokratischer Aufwand ist zumutbar	3
Rechtliche Aspekte	Für die Umsetzung der Maßnahme sind keine rechtlichen Änderungen/Ergänzungen erforderlich.	1
Statistische Aspekte	Die Maßnahme verbessert die statistische Erfassung der Abfallströme.	3
Organisatorischer Aufwand	sehr hoher organisatorischer Aufwand; Abstimmung zwischen allen Stakeholdergruppen zur Verbesserung der Akzeptanz erforderlich	5
Umsetzungshorizont	Mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	unverbindlich; basiert auf freiwilliger Beteiligung der Unternehmen	5
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Stoffstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme hat einen positiven Einfluss auf die Finanzierung der stofflichen Verwertung	3
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme schafft bessere Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung und die Vorbereitung zur Wiederverwendung.	3
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: niedrig bis indifferent Recyclingbranche: hoch	3
Öffentlichkeitsarbeit	Es wird keine oder kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit zur Umsetzung der Maßnahme benötigt.	1
Gewichtetes Ergebnis		3,0
Adressaten	Ministerien, Hersteller, Recyclingbranche	
Fazit	Die Datenbank würde den Forschungs- und Entwicklungsaufwand für die stoffliche Verwertung verringern und eine bessere Vorabschätzung der Umsetzbarkeit neuer Verwertungswege erleichtern. Der Erfolg der Maßnahme hängt jedoch stark vom Engagement der Hersteller ab.	

8.10.3.2 Regelwerke für die Nutzung von gummimodifiziertem Asphalt

Bisher werden Altreifenrezyklaten in gummimodifizierten Asphalten in Deutschland nur selten eingesetzt, da die gegenwärtigen Regelwerke und Normen Gummi-Bitumen-Gemische nicht berücksichtigen. Durch die Erstellung von Regelwerken auf Länderebene für den Einsatz von Altreifenrezyklat im Straßenbau, ähnlich wie in Bayern, können die notwendigen Ausschreibungsgrundlagen geschaffen werden.

Tabelle 104 Bewertung der Maßnahme „Erstellung von Regelwerken für den Einsatz von Altreifenrezyklat im Straßenbau“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Kein zusätzlicher bürokratischer Aufwand erforderlich.	1

Kriterium	Bewertung	Punkte
Rechtliche Aspekte	Der rechtliche Rahmen auf Länderebene für die Erstellung der Regelwerke ist bereits vorhanden.	3
Statistische Aspekte	kein Einfluss auf die statistische Erfassung	5
Organisatorischer Aufwand	Der organisatorische Aufwand für die Einführung der Maßnahme ist gering.	1
Umsetzungshorizont	Kurzfristig (1-2 Jahre)	1
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Stoffstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme hat einen positiven Einfluss auf die Finanzierung der stofflichen Verwertung	3
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme schafft bessere Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung.	3
Akzeptanz der Akteure	Bundesländer: indifferent Recyclingbranche: sehr hoch	2
Öffentlichkeitsarbeit	Es wird keine oder kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit zur Umsetzung der Maßnahme benötigt.	1
Gewichtetes Ergebnis		2,3
Adressaten	Ministerien der Bundesländer	
Fazit	Die Regelwerke bilden die Grundlage für die Erschließung neuer Absatzmärkte für Altreifenrezyklate und können mit geringem organisatorischem Aufwand eingeführt werden.	

8.10.3.3 Überprüfung der PAK-Grenzwerte und Nachweisverfahren auf EU-Ebene

Um das von PAK-haltigen Materialien ausgehende gesundheitliche und ökologische Risiko zu bewerten, wurden präventiv extraktionsbasierte Gehaltsgrenzwerte festgelegt. Es besteht jedoch keine direkte Korrelation zwischen PAK-Gehalt und Bioverfügbarkeit. Dazu müssen die PAK migrieren oder emittieren. Um den aktuellen Stand der Wissenschaft zu entsprechen, sollte bis zum 27.12.2017 eine Überprüfung und ggf. Änderung der PAK-Grenzwerte durch die EU-Kommission vorgenommen werden (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006; EU-Verordnung 12872/2013). Dies ist bisher nicht erfolgt. Es sollte daher auf Ebene der EU darauf hingewirkt werden, dass eine entsprechende Überprüfung der Grenzwerte vorgenommen wird und gefährdungsbezogene Grenzwerte eingeführt, die sich auch auf neue Erkenntnisse zur Korrelation von PAK-Gehalt und Migration von PAK stützen sollten.

In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass auf nationaler Ebene bei der Aktualisierung der Musterverwaltungsvorschrift technische Baubestimmungen (MVV TB, 2019) geprüft werden sollte, inwiefern für Anwendungen in Aufenthaltsräumen emissionsbasierte PAK-Grenzwerte an die Stelle von Gehaltsgrenzwerten treten können. Im Januar 2021 wurde zwar vorgeschlagen, partikeldicht verbaute Produkte von den Gehaltsgrenzwerten

auszunehmen, jedoch verbleiben weiterhin Unklarheiten in Bezug auf die Relevanz der Gehaltsgrenzen für nicht partikeldicht verbaute Produkte ohne Hautkontakt.

Tabelle 105 Bewertung der Maßnahme „Überprüfung der PAK-Grenzwerte und Nachweisverfahren auf EU-Ebene“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Kein zusätzlicher bürokratischer Aufwand erforderlich.	1
Rechtliche Aspekte	Der rechtliche Rahmen auf EU-Ebene muss aktualisiert werden.	2
Statistische Aspekte	kein Einfluss auf die statistische Erfassung	5
Organisatorischer Aufwand	Der organisatorische Aufwand für die Einführung der Maßnahme ist gering.	1
Umsetzungshorizont	Mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Stoffstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	nicht bewertbar; abhängig vom Ergebnis positive oder negative Wirkung auf Finanzierung möglich	
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme schafft bessere Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung.	3
Akzeptanz der Akteure	Maßnahme wird seitens einer Mehrheit der Akteure akzeptiert	1
Öffentlichkeitsarbeit	Es wird keine oder kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit zur Umsetzung der Maßnahme benötigt.	1
Gewichtetes Ergebnis		2,3
Adressaten	EU-Kommission, Bundesregierung (insb. BMU)	
Fazit	Rechtliche Sicherheit in Bezug auf die PAK-Grenzwerte ist essentiell für die Erhaltung der stofflichen Verwertung. Auch wenn sich die PAK-Regelungen nur auf einen Teilbereich dieses Marktes erstrecken, führt die allgemeine Verunsicherung auch zu einer Dämpfung auf angrenzende Anwendungsgebiete.	

8.10.3.4 Senkung des PAK-Eintrags in der Reifenherstellung

Für die meisten aus Altreifenrezyklat herstellbaren Produkte existieren PAK-Gehaltsgrenzwerte. Um die Nutzung von Altreifenrezyklaten als Sekundärrohstoff zu sichern, ist daher ein niedriger PAK-Gehalt im Reifengummi essenziell.

Eine der Haupteintragsquellen für PAK in Reifen ist der Füll- und Verstärkungsstoff Ruß (Carbon Black), dessen PAK-Gehalt auf EU-Ebene nicht geregelt ist. Reifen enthalten eine Mischung verschiedener Rußtypen, die unterschiedliche Funktionen im Gummi wahrnehmen. Die Mischungen der einzelnen Hersteller unterscheiden sich teilweise deutlich und damit der PAK-Gehalt der Reifen. Ein Teil der Rußtypen kann gegen Varianten mit niedrigerem PAK-Gehalt oder

alternative Stoffe wie Silika ausgetauscht werden. Es stehen jedoch nicht für alle Rußtypen funktionsgleiche Alternativen zur Verfügung. In welchem Umfang eine PAK-Minimierung in der Reifenherstellung stattfindet oder technisch möglich ist, ist schwer abschätzbar, auch wegen der eingeschränkten Kommunikation der Reifenhersteller. Die beiden folgenden Maßnahmen helfen, hier Klarheit zu schaffen.

8.10.3.4.1 Studie zur Ermittlung des PAK-Gehalts in Neureifen

Um den derzeitigen Stand besser zu verstehen, kann eine Studie durchgeführt werden, in der der PAK-Gehalt von einzelnen Reifenmodellen verschiedener Hersteller untersucht und verglichen wird. Darüber kann festgestellt werden, ob es signifikante Unterschiede im PAK-Gehalt gibt und damit auch, ob eine nennenswerte Absenkung ohne Eigenschaftsverluste der Reifen möglich ist.

Basierend auf den Ergebnissen kann eine rechtliche Beschränkung des PAK-Gehalts in Neureifen erwogen werden. Die Beschränkung könnte Teil zukünftiger Ökodesignanforderungen an Reifen sein (siehe Kapitel 8.10.2.1) oder in die Vorgaben einer erweiterten Herstellerverantwortung (siehe Kapitel 8.10.1) integriert werden.

Tabelle 106 Bewertung der Maßnahme „Studie zur Ermittlung des PAK-Gehalts in Neureifen“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Kein zusätzlicher bürokratischer Aufwand erforderlich.	1
Rechtliche Aspekte	Für die Umsetzung der Maßnahme sind keine rechtlichen Änderungen/Ergänzungen erforderlich.	1
Statistische Aspekte	keinen Einfluss auf die statistische Erfassung	5
Organisatorischer Aufwand	Der organisatorische Aufwand für die Einführung der Maßnahme ist gering.	1
Umsetzungshorizont	Kurzfristig (1-2 Jahre)	1
Verbindlichkeit	<i>nicht relevant; ist Forschungsprojekt</i>	
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Stoffstroms	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	<i>nicht relevant; Maßnahme hat keine finanziellen Aspekte</i>	
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme schafft indirekt bessere Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung.	4
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: niedrig bis indifferent (Ergebnis könnte zu Änderungen von rechtlichen Anforderungen an Reifen führen) Recyclingbranche: hoch	3
Öffentlichkeitsarbeit	Es wird keine oder kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit zur Umsetzung der Maßnahme benötigt.	1
Gewichtetes Ergebnis		2,5
Adressaten	BMU, UBA	

Kriterium	Bewertung	Punkte
Fazit	Die Maßnahme lässt sich mit geringem Aufwand umsetzen und liefert die Grundlagen für die weitere PAK-Entfrachtung des Abfallstroms Altreifen. Ergebnisse der Studie zeigen, ob und wie hoch das Potenzial für die Reduzierung des PAK-Gehalts in Reifen ist. Basierend darauf können auf EU-Ebene passende Maßnahmen ergriffen werden.	

8.10.3.4.2 Aufbau einer Datenbank für Schadstoffgehalt in Neureifen

Um eine weitere Materialentwicklungen hin zu geringen PAK-Gehalten zu erwirken, ist ein gewisser Druck auf die Hersteller notwendig. Die Einrichtung einer Datenbank zum Schadstoffgehalt mit Identifikation besonders kritischer Reifentypen/Marken und einem Zugang für Altreifenverwerter wäre dabei ein erster Schritt.

Basierend auf der EU-Richtlinie 2008/98/EG Artikel 8 (1) kann im Rahmen einer erweiterten Herstellerverantwortung eine Verpflichtung zur Offenlegung relevanter Informationen zum Schadstoffgehalt der einzelnen Reifenmodelle durch die Hersteller erwogen werden. Hierbei wäre von besonderem Interesse der Gesamt-PAK-Gehalt, wie er für Sekundärprodukte relevant ist, sowie der Anteil weiterer relevanter und regulierter Schadstoffe und Schwermetalle, wie zum Beispiel Zinkverbindungen.

Hersteller müssen seit Januar 2021 Daten zum Gehalt an besonders besorgniserregenden Stoffen in ihren Produkten an die neue SCIP-Datenbank der ECHA melden, wenn der Anteil des Stoffes 0,1 Masse-% übersteigt (ECHA, 2021). Zum Zeitpunkt dieses Berichts ist die SCIP-Datenbank noch nicht öffentlich abrufbar. Aufgrund der augenscheinlich umfangreichen Möglichkeiten zur Anonymisierung von Produkten muss beobachtet werden, ob die über die Datenbank bereitgestellten Informationen zu Neureifen eine ausreichende Tiefe haben, um für die Altreifenverwertung von Nutzen zu sein.

Tabelle 107 Bewertung der Maßnahme „Aufbau einer Datenbank für Schadstoffgehalt in Neureifen“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	zusätzlicher bürokratischer Aufwand ist zumutbar	3
Rechtliche Aspekte	Im Falle der Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung kann basierend auf der EU-Richtlinie 2008/98/EG Artikel 8 (1) die rechtliche Grundlage geschaffen werden.	4
Statistische Aspekte	keinen Einfluss auf die statistische Erfassung	5
Organisatorischer Aufwand	Es gibt einen mittleren organisatorischen Aufwand für die Einführung der Maßnahme. Es ist eine konstruktive und zielgerichtete Kommunikation zwischen mehreren Akteuren erforderlich.	3
Umsetzungshorizont	Mittelfristig (3-5 Jahre)	3
Verbindlichkeit	hochverbindlich, da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Erfassung des Stoffstroms	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme hat einen positiven Einfluss auf die Finanzierung der stofflichen Verwertung	3
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme schafft bessere Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung.	3
Akzeptanz der Akteure	Hersteller: niedrig Recyclingbranche: hoch	3
Öffentlichkeitsarbeit	Es wird keine oder kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit zur Umsetzung der Maßnahme benötigt.	1
Gewichtetes Ergebnis		2,9
Adressaten	Bundesregierung (insb. BMU), UBA, Hersteller	
Fazit	Die Maßnahme schafft die Voraussetzungen für eine Reduzierung des Schadstoffgehalts in Rezyklaten und damit eine höhere Akzeptanz bei Abnehmern und Verbraucher*innen.	

8.10.4 Zusammenfassung

Die Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung oder eines abgabenbasierten Systems hat die größten positiven Effekte in Bezug auf die statistische Erfassung, die Finanzierung der Sammlung und Verwertung und die Reduktion der illegalen Entsorgung.

Im Vergleich zur erweiterten Herstellerverantwortung erfordert das abgabenbasierte System unter Umständen weniger Koordinationsaufwand und Kooperationsbereitschaft aller Akteure. Die Förderung ökologisch vorteilhafter Verwertungswege kann durch die zuständige staatliche Stelle einfacher gesteuert werden. Das System bietet zudem weniger Möglichkeiten die Teilnahme zu umgehen. Bei der Gestaltung eines abgabenbasierten Systems ist jedoch zu prüfen, ob es den Anforderungen an Sonderabgaben und den Subventionsbestimmungen in Deutschland entspricht.

Es ist davon auszugehen, dass die Umsetzung in ein gesetzliches Regelungswerk noch einige Jahre andauern wird. Für die nächsten, zeitnahen Schritte wird daher folgende Priorisierung empfohlen:

1. Überprüfung der PAK-Grenzwerte und Nachweisverfahren auf EU-Ebene

Die Umsetzung der Maßnahme hat die höchste Wirkung auf die Absatzmärkte für Altreifenrezyklate und damit den Fortbestand der stofflichen Verwertung. Da das Verfahren zur Überprüfung der Grenzwerte umfangreich ist, sollte mit der Maßnahme zügig begonnen werden.

2. Studie zur Ermittlung des PAK-Gehalts in Neureifen

Eine derartige Studie kann zeitnah umgesetzt werden und liefert die notwendigen Daten für das weitere Vorgehen, wenn es um die Begrenzung von PAK in Reifen und in Reifenrezyklaten geht.

3. Regelwerke für die Nutzung von gummimodifiziertem Asphalt

Da es mit den Technischen Lieferbedingungen für Gummimodifizierte Bitumen des Landes Bayern bereits eine Vorlage gibt, sollte die Einführung entsprechender Regelwerke in den anderen Bundesländern mit Nachdruck verfolgt werden.

9 Alttextilien

9.1 Allgemeines

Die Alttextilsammlung war viele Jahre geprägt, gut erhaltene Bekleidung, Schuhe und Haustextilien wie Bett- und Tischwäsche, Handtücher, Bettwaren Gardinen etc. zu erfassen, um sie einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zuzuführen. Insbesondere die humanitäre Unterstützung durch gemeinnützige Organisationen wurde jahrelang eng mit der Alttextilsammlung verknüpft. Die Erfassung von Alttextilien hat demzufolge wenige Aufmerksamkeit in Bezug auf die abfallwirtschaftliche Tätigkeit erlangt. Infolge der Novellierung des KrWG in 2012 und der einhergehenden Anzeigepflicht gewerblicher und gemeinnütziger Sammlungen wurde das Ausmaß der Alttextilsammlung erstmals ersichtlich. Einige öRE sind auch in den Alttextilmarkt eingestiegen, sodass die Sammlung, Sortierung und Verwertung von Alttextilien vermehrt ausgeschrieben wurde. Da es bislang keine fachlichen Anforderungen für die Handhabung von Alttextilien gab, hat der Landkreistag gemeinsam mit dem Deutschen Städtetag im Jahr 2016 eine Orientierungshilfe für die Praxis bei kommunalen Ausschreibungen zur Erfassung, Sortierung und Verwertung von Alttextilien verfasst.

Unter anderem gewinnen Alttextilien durch die Novelle der Abfallrahmenrichtlinie in 2018 (Richtlinie (EU) 2018/851) aus abfallrechtlicher Sicht an Bedeutung, da sie eine Getrennterfassungspflicht für Textilien ab dem Jahr 2025 vorsieht. Die Vorgaben sind in der Novellierung des KrWG in 2020 in der Gestalt umgesetzt worden, dass die Getrennterfassungspflicht an den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger adressiert wurde. Bis heute fehlt es an bundesweit statistisch erfassten Daten zu Alttextilien und die detaillierte Kenntnis von Mengen in Deutschland, deren Zusammensetzung und Verbleib. Eine von der Privatwirtschaft, dem Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. (bvse) beauftragte Studie zum Konsum, Bedarf und Wiederverwendung von Bekleidung und Textilien in Deutschland aus dem Jahr 2015 gibt hierzu eine Einschätzung mit dem Bezugsjahr 2013. Im Rahmen der Studie wurden die Mitglieder des bvse befragt und deren Angaben zum Verbleib der Sammelware auf das rechnerisch ermittelte Sammelaufkommen insgesamt übertragen. Die Rücklaufquote lag bei 40 %. Das Sammelaufkommen wurde darüber hinaus mit sekundärstatistischen Daten ermittelt (Seite 14 der bvse Studie zu Vorgehensweise und Methode). Die bvse Studie schätzt ein Sammelpotenzial von ca. 1,35 Mio. t an Textilien, Schuhen und Taschen/Lederwaren, von denen ca. 1,01 Mio. t als Alttextilien erfasst wurden. Das entspricht einer Sammelquote von rund 75 %. Laut Studie werden ca. 93 % der Alttextilien in Europa sortiert, davon ca. 66% in Deutschland; ca. 7% der Sammelmengen werden zur Sortierung ins außereuropäische Ausland verbracht.

In 2020 hat der bvse eine Fortschreibung, die Textilstudie 2020 (bvse 2020) veröffentlicht. Die Studie befasst sich insbesondere mit der veränderten Situation des Alttextilmarktes und deren Einflussfaktoren und zeigt die Inlandsverfügbarkeit sowie das Sammelaufkommen für das Bezugsjahr 2018 auf. Die Ergebnisse fließen im Rahmen der nachfolgenden Bewertung mit ein.

9.2 Analyse erfasster Alttextilien

Die Evaluierung der Alttextilmengen erfolgte insbesondere durch die Abfrage der erfassten Alttextilien im Siedlungsgebiet. Grundsätzlich ist zu erwähnen, dass es bislang für zuständige Behörden keine gesetzliche Berichtspflicht zu Alttextilien gibt.

Deshalb wurden zur Datensammlung die für Anzeigeverfahren nach § 18 KrWG zuständigen Behörden der Bundesländer gebeten, folgende Angaben zu machen:

- ▶ Sammelmengen, aufgeteilt nach gewerblichen, gemeinnützigen Sammlungen sowie Sammlungen im Rahmen der freiwilligen Rücknahme nach § 26 KrWG
- ▶ Sammelsysteme (Depotcontainer, Unterflurcontainer, Recyclinghöfe, Straßensammlungen, Sammlungen durch Abfallsammelbehälter oder im stationären Handel)
- ▶ Rechtliche Anforderungen bzw. Prüfungen im Rahmen des Nachweiswesens
- ▶ Verbleib der Sammelware zur anschließenden Sortierung (Deutschland, EU-Staaten, OECD-Staaten, Staaten außerhalb EU/OECD)
- ▶ Output-Bilanz nach der Sortierung (Anteil der Vorbereitung zur Wiederverwendung sowie deren Absatzmärkte, Anteil von Putzlappen, Reißware, energetische Verwertung, Beseitigung sowie deren Bestimmungsort)

Darüber hinaus konnten sie ihre Einschätzung zu folgenden Fragestellungen abgeben:

- ▶ Entwicklung der Sammelmengen in Deutschland
- ▶ Entwicklung der Sammelmengen in Europa
- ▶ Entwicklung der Qualität der Sammelmenge

Des Weiteren wurden die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) in einer bundesweiten Befragung um folgende Angaben gebeten:

- ▶ Durchführung einer Getrennterfassung von Alttextilien in ihrem Zuständigkeitsgebiet (durch eigene Sammlung oder Beauftragung Dritter)
- ▶ Sammelmengen
- ▶ Sammelsysteme (Depotcontainer, Unterflurcontainer, Recyclinghöfe, Straßensammlungen, Sammlungen durch Abfallsammelbehälter)
- ▶ Rechtliche Anforderungen bzw. Prüfungen im Rahmen des Nachweiswesens
- ▶ Verbleib der Sammelware zur anschließenden Sortierung (Deutschland, EU-Staaten, OECD-Staaten, Staaten außerhalb EU/OECD)
- ▶ Output-Bilanz nach der Sortierung (Anteil der Vorbereitung zur Wiederverwendung sowie deren Absatzmärkte, Anteil von Putzlappen, Reißware, energetische Verwertung, Beseitigung sowie deren Bestimmungsort)

Darüber hinaus konnten sie ihre Einschätzung zu folgenden Fragestellungen abgeben:

- ▶ Entwicklung der Qualität der eigenen Sammelmengen
- ▶ Entwicklung der Sammelmengen in Deutschland
- ▶ Entwicklung der Sammelmengen in Europa
- ▶ Entwicklung der Qualität der Sammelmenge

Ebenso konnten die öRE Angaben machen in Bezug auf die Kenntnis von Verfahren hinsichtlich der illegalen Aufstellung von Sammelbehältern.

Rücklauf der zuständigen Behörden

Grundsätzlich wurden alle Befragten gebeten, den Fragebogen auch dann zurückzusenden, wenn keine Angaben gemacht werden konnten. Die Rücklaufquote bei den zuständigen Behörden lag bei ca. 29 % (87 Antworten), wobei nur 58 Fragebögen in die weitere Bewertung mit einfließen konnten. Die restlichen 29 Behörden meldeten, keine weiteren Angaben machen zu können. Die 58 Rückläufe umfassen ein Gebiet von ca. 20,7 Mio. Einwohnern (ca. 25 % der deutschen Bevölkerung). Generell kann festgehalten werden, dass die Informationstiefe insgesamt weiter abnimmt, wenn es um den weiteren Verbleib der Sammelware geht. Für die Analyse der Sammelmenge basiert die Berechnung auf nur noch 12,8 Mio. Einwohner (ca. 15 % der deutschen Bevölkerung). Davon stammen 76 % der Rückläufer aus zwei Bundesländern. Zum Verbleib der Sammelware konnten nur 9 Behörden eine Rückmeldung geben, was ca. 9 % der Gesamtbevölkerung ausmacht und hinsichtlich des Outputs der Alttextilsortierung konnten nur Fragebögen bewertet werden, die insgesamt ca. 6 % der Gesamtbevölkerung darstellen.

Tabelle 108 Übersicht Rückläufe zuständige Behörden

	Anzahl Fragebögen	Einwohnerzahl (EW)	Anteil EW im Bundesgebiet
Rückmeldung gesamt	87		
Rückmeldung einbezogen in Bewertung	58	20.676.660	24,9 %
davon für die Sammelmengen	29	12.767.010	15,4 %
davon für die Erfassungssysteme	27	10.164.849	12,2 %
davon für den Verbleib	9	7.114.898	8,6 %
davon für den Output nach Sortierung	10	4.615.033	5,6 %
davon für die Destinationen	0	0	

Rücklauf öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (öRE)

Bei der Befragung der öRE gab es insgesamt 266 Rückläufe, wobei in die Analyse 195 Fragebögen mit einbezogen werden konnten, die insgesamt ein Gebiet von ca. 37,2 Mio. Einwohner (ca. 45 % der deutschen Bevölkerung) umfassen.

Von diesen Rückläufern führen 97 öRE eine eigene Alttextilsammlung durch, wobei 43 % der öRE selbst sammeln, in den restlichen 56 Gebieten erfolgt die Sammlung durch einen beauftragten Dritten. Nicht alle öRE konnten Angaben zu den Sammelmengen machen. Die Bewertung erfolgt demnach auf Gebiete, die insgesamt ca. 26 % der deutschen Bevölkerung umfassen. Zum Verbleib der Sammelware konnten nur noch 43 öRE eine Rückmeldung geben, was ca. 16 % der Gesamtbevölkerung ausmacht und hinsichtlich des Outputs der Alttextilsortierung konnten nur Fragebögen bewertet werden, die insgesamt ca. 10 % der Gesamtbevölkerung darstellen. Die Rückläufe verteilen sich auf die Bundesländer dahingehend, dass 62 % der Rückmeldungen aus drei Bundesländern stammen.

Tabelle 109 Übersicht Rückläufe örE

	Anzahl Fragebögen	Einwohnerzahl (EW)	Anteil EW im Bundesgebiet
Rückmeldung gesamt	226		
Rückmeldung einbezogen in Bewertung	195	37.246.266	44,9 %
davon für die Sammelmengen	97	21.371.424	25,7 %
davon für die Erfassungssysteme	87	20.859.137	25,1 %
davon für den Verbleib	43	13.488.624	16,2 %
davon für den Output nach Sortierung	30	8.272.999	10,0 %
davon für die Destinationen	10	2.634.495	3,2 %

Bezogen auf alle beiden Befragungen umfassen die Rückmeldungen sowohl ländliche Gebiete als auch Großstädte. Des Weiteren stammen die Angaben aus insgesamt 15 Bundesländern, wobei der Großteil der Rückmeldungen aus insgesamt drei Bundesländer stammen.

9.2.1 Sammelmengen

Alle Sammelakteure erfassen die Alttextilien in der Regel gemeinsam im jeweiligen örtlichen Zuständigkeitsbereich des örE. Allerdings kann der Sammelanteil je Akteur und Gebiet recht unterschiedlich ausfallen.

Sammelmengen aus der Abfrage der zuständigen Behörden

Die Auswertung bezieht sich auf gewerbliche, gemeinnützige Sammelmengen sowie Mengen des stationären Einzelhandels, der im Rahmen der freiwilligen Rücknahme Alttextilien eingesammelt hat.

Die Sammelmengen aus dem Jahr 2018 aus dem stationären Einzelhandel belaufen sich gemäß den Angaben der zuständigen Behörden auf insgesamt 79 t (Angaben aus einem Bundesland). Rechnet man den Wert auf das Bundesgebiet hoch, so ist die Sammelmenge 3.579 t. Wieviel Handelsunternehmen die Rücknahme von Alttextilien anbieten, ist nicht bekannt. Die Modekette H&M hat ihre Sammelmengen für Deutschland auf der Webseite Charity Star veröffentlicht (Charity Star o.J.). Die Mengen belaufen sich seit der Einführung der Sammlung auf ca. 12.600 t, die bei einer jährlichen Betrachtung ca. 1.800 t ausmachen. Andere Veröffentlichungen sind nicht bekannt.

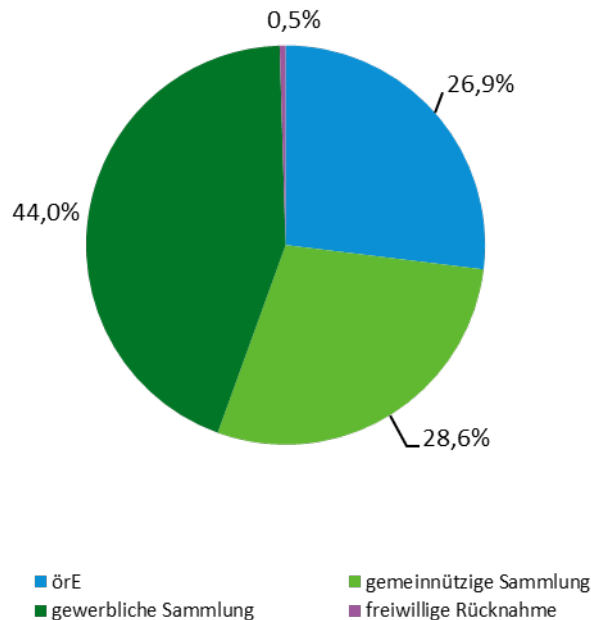
Die Befragung der zuständigen Behörden für den Bereich der gewerblichen Sammlungen ergab für das Jahr 2018 insgesamt 50.923 t, für den Bereich der gemeinnützigen Sammlungen wurden 33.080 t übermittelt. Bezogen auf die beiden Mengen inklusive der Mengen aus dem stationären Einzelhandel ergibt sich eine bundesweite Hochrechnung von insgesamt 549.822 t (6,6 kg/EW).

Sammelmengen aus der Abfrage der örE

Die Summe der Mengen der bewerteten örE-Fragebögen beläuft sich auf insgesamt 52.205 t (2,4 kg/EW). Hochgerechnet auf die Gesamtbevölkerung ist die Sammelmenge für das Jahr 2018 202.794 t hoch.

Hochgerechnet über alle Sammelakteure beläuft sich die Menge für das Jahr 2018 auf insgesamt 752.615 t (9,1 kg/EW).

Abbildung 31 Übersicht Anteil Akteure an der Alttextilsammlung



Quelle: eigene Darstellung, Kösegi

9.2.1.1 Bewertung der Ergebnisse

Die Ermittlung der Sammelmengen basieren grundsätzlich auf einer Hochrechnung der Einwohnerzahlen des Gesamtgebietes der bewerteten Fragebögen im Verhältnis zu den Einwohnerzahlen der Gesamtbevölkerung. Vergleicht man die Sammelmenge der örE für das Jahr 2018 mit den statistischen Angaben von Destatis (Destatis o.J.), die insgesamt 156.700 t betragen, so fallen die Mengen aus der Befragung hochgerechnet um ca. 29 % höher aus als die über das statistische Bundesamt veröffentlichten Mengen.

In Bezug auf gewerblich oder gemeinnützige Sammlungen gibt es keine eigenen Statistiken. Vereinzelt sind in den Abfallstatistiken der Bundesländer Mengen aus diesen Herkunftsbereichen aufgeführt. Allerdings wird oftmals darauf verwiesen, dass die Daten ohne Gewähr aufgeführt sind. Der bvse veröffentlicht als einzige Quelle turnusmäßig ein Sammelaufkommen von Alttextilien in Deutschland. Die jüngste Veröffentlichung ist aus dem Jahr 2020 (bvse 2020) für das Bezugsjahr 2018. Das Sammelaufkommen wird für das Jahr 2018 mit 1.271.242 t angegeben. Die Abweichung zu den oben ermittelten Daten beträgt 518.627 t (ca. 40 %).

9.2.1.2 Mögliche Schwachstellen und fehlende Informationen bei der Befragung

Die Daten der Fragebögen wurden plausibilisiert. Insbesondere bei großen Abweichungen und offensichtlichen Fehlern bei der Datenübermittlung wurde das Ergebnis mit der Behörde besprochen und Daten entweder angepasst oder nicht in das Gesamtergebnis mit aufgenommen. Betrachtet man einzelne Mengenmeldungen vergleichbarer Siedlungsstrukturen, gibt es teilweise Abweichungen von +/- 36 % (Zinkler et al., 2019). Eine Clusterbildung erscheint deshalb nicht möglich. Des Weiteren liegen kaum Daten aller Sammelakteure für ein Gebiet insgesamt vor. In einigen Fragebögen wurde bemerkt, dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Menge über alle gewerblichen und gemeinnützigen Sammler nicht vollständig angegeben ist, da der Auflage im Rahmen der Anzeige nach § 18 KrWG, jährlich die Mengen zu übermitteln, oftmals nicht gefolgt würde. Auch wenn die Rückmeldungen sowohl ländliche als

auch (Groß-) städtische Daten umfassen, liegen diese Gebiete zum großen Teil in drei Bundesländern. Vergleicht man das Ergebnis der Befragung mit der Ermittlung des Sammelaufkommens des bvse, so lässt es den Schluss zu, dass die Daten nicht für eine repräsentative Hochrechnung genügen.

9.2.1.3 Weitere Quellen zur Bewertung der Daten

Wie bereits erwähnt, hat der bvse in seiner Textilstudie 2020 (bvse 2020) verschiedene Daten zu Alttextilien veröffentlicht, die für eine Bewertung mit herangezogen werden können.

9.2.1.3.1 Ermittlung der verfügbaren Sammelmenge durch den bvse

Im Gegensatz zu der Abfrage der zuständigen Behörden zu den Mengenstromdaten, die die tatsächlich erfasste Menge an Alttextilien berücksichtigt, hat der bvse eine verfügbare Sammelmenge auf Basis nachfolgender Methode ermittelt:

Ausgangspunkt ist die Inlandsverfügbarkeit der Erzeugnisse, die in der Regel über die Sammelsysteme für Alttextilien erfasst werden (Bekleidung, Haustextilien, Taschen/Lederwaren und Schuhe). Für die statistische Betrachtung wurde dabei unterstellt, dass die Tragedauer ein Jahr beträgt und die Inlandsverfügbarkeit deshalb dem potentiellen Sammelaufkommen entspricht (bvse 2020, Seite 7). Die Tragedauer ist stark abhängig vom Benutzungsgrad des Textils. Die Organisation WRAP hat im Rahmen der Studie „Valuing Our Clothes: the cost of UK fashion“ (WRAP 2017) Konsumenten befragt, wie lange sie ihre Bekleidung (ohne Unterwäsche) tragen. Im Durchschnitt waren es 3,3 Jahre. Der bvse hat sich in seiner Vorgängerstudie aus dem Jahr 2015 (Korolkow, J. 2015, Seite 56) ebenso mit der Veränderung der Tragedauer verschiedener Textilien beschäftigt. So hat sich gezeigt, dass die Tragedauer je nach Textil sehr unterschiedlich ist. Im Vergleich der Betrachtungszeiträume 1998 und 2005 hat sich gezeigt, dass die Tragedauer abgenommen hat und im Mittel bei ca. 3 Jahren liegt.

9.2.1.3.1.1 Betrachtung der Inlandsverfügbarkeit

Die Inlandsverfügbarkeit wird in der bvse Textilstudie 2020 (bvse 2020) anhand mehrerer Methoden ermittelt:

► Grundmethode

Die Inlandsverfügbarkeit wird mittels der Inlandsproduktion und dem Außenhandelssaldo, der die Differenz zwischen den Exporten und den Importen darstellt, der eingangs erwähnten Erzeugnisse berechnet.

Bei der Ermittlung der Daten wurde nicht nach Textilien und Schuhe unterschieden, die für Haushalte oder für gewerbliche Zwecke (zum Beispiel Arbeitsbekleidung) hergestellt wurden. Arbeitsbekleidung oder Textilien für gewerbliche Anfallstellen haben üblicherweise andere Entsorgungswege als Alttextilien aus Haushalten. Die Menge an Textilien für gewerbliche Zwecke wird mit ca. 2,7 % beziffert (Sustainable Global Resources Ltd 2017). Zusätzlich zu den für den deutschen Markt produzierten Textilien kommen als potentielle Sammelmenge auch illegal eingeführte Textilien sowie Textilien in Betracht, die Haushalte beispielsweise aus dem Auslandsurlaub mitgebracht haben und zu einem späteren Zeitpunkt in Deutschland entsorgt werden. Hierzu gibt es keine statistischen Daten. Für die Ermittlung der Mengen der Grundmethode wurden die Schätzwerte aus der Vorgängerstudie 2015 (Korolkow 2015) herangezogen.

► Verbrauchsmethode

Bei dieser Methode wird der Pro-Kopf-Verbrauch an Textilien ermittelt und mit der Einwohnerzahl multipliziert. Die Ermittlung beruht auf Schätzungen des Modekonsums in Deutschland. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit schätzt, dass durchschnittlich 60 Kleidungsstücke gekauft werden (BMU o.J.). Zu diesem Verbrauch, der vom bvse mit 18 kg pro Einwohner beziffert wird, wurden noch 3,5 kg pro Einwohner für Haustextilien addiert, sodass ein Pro-Kopf-Verbrauch von insgesamt 21,5 kg ermittelt wurde. Im Rahmen der Kearney Studie „Can circularity save the fashion industry?“ (Warschun et al., 2020) wurden im Jahr 2020 insgesamt 8.000 Konsumenten in Deutschland zu ihrem Modekonsum befragt. Die Befragung ergab, dass im Durchschnitt 17 Kleidungsstücke pro Jahr gekauft werden, was ein Verbrauch von 5,1 kg pro Einwohner bedeuten würde, wenn man den Referenzwert des bvse für das Gewicht pro Kleidungsstück ansetzt. Allerdings wurden hierbei keine Zahlen bezüglich des Kaufs von Unterwäsche, Schwimmbekleidung oder Nachwäsche berücksichtigt. Diese Zahl erscheint sehr niedrig. Im europäischen Vergleich gehört Deutschland zu den Ländern, die einen überdurchschnittlichen Konsum zu verzeichnen haben. Der Zwischenbericht „Research into circular economy perspectives in the management of textile products and textile waste in the European Union“ in Auftrag gegeben von Joint Research Centre (Köhler et al., 2020) beziffert den durchschnittlichen Verbrauch an Textilien in der EU mit 12,3 kg pro Einwohner. Insofern kann das Ergebnis der Kearney-Befragung nicht als weiteren Referenzwert herangezogen werden.

In Frankreich müssen Hersteller und Importeure die in Verkehr gebrachten Mengen an Bekleidung, Haustextilien und Schuhe melden. Diese Verpflichtung ist Teil der gesetzlichen Vorgaben im Zusammenhang mit der Umsetzung der erweiterten Herstellerverantwortung für Textilien (EcoTLC agreement, 2020). Für das Jahr 2019 wurden insgesamt 2,88 Milliarden Produkte gemeldet, das bezogen auf die französische Bevölkerung ca. 44 Produkte pro Einwohner entspricht. In der Produktpalette sind im Vergleich zu Deutschland aber keine Lederwaren und Taschen enthalten. Vergleicht man ausschließlich den Umsatz an Bekleidung beider Länder, so hat Deutschland im Jahr 2019 einen ca. 42 %-ig höheren Pro-Kopf-Konsum als Frankreich (Statista 2020). Vergleicht man diesen Prozentwert mit dem Verhältnis der Anzahl der Kleidungsstücke, die in beiden Ländern gekauft werden, so wurde in Deutschland ca. 37 % mehr Teile gekauft als in Frankreich. Die Daten sind insofern nicht 1:1 miteinander vergleichbar. Allerdings ist zu bemerken, dass es für Frankreich IST-Daten gibt, die für die Betrachtung der Mengen in Deutschland zumindest näherungsweise herangezogen werden können. Das durchschnittliche Gewicht der Textilien beträgt in Frankreich 0,225 kg, in Deutschland wurde ein Referenzwert in Höhe von 0,3 kg ermittelt. Wie bereits erwähnt, sind in Frankreich keine Taschen und Lederwaren enthalten, die in Deutschland ca. 10 % der Gewichtsmenge ausmachen. Dafür sind Haustextilien berücksichtigt, die in der bvse Studie mit einem Referenzwert in Höhe von 0,1 kg beziffert werden und zusätzlich in die Ermittlung nach der Verbrauchsmethode mit eingeflossen sind. Insgesamt werden 3,5 kg/Einwohner hinzugerechnet, was zu den 60 Kleidungsstücken noch einmal ein Verbrauch von 35 Haustextilien pro Einwohner ausmachen würde (bvse 2020, Seite 8). Insgesamt erscheint der Pro-Kopf-Verbrauch etwas zu hoch, der entweder durch die Reduzierung der Anzahl der Produkte oder durch die Herabsetzung des Durchschnittsgewichtes angepasst werden kann.

► Konsummethode

Bei der Konsummethode wird die prozentuale Differenz der Konsumausgaben und des Umsatzes des Textileinzelhandel zum Ergebnis der Inlandsproduktion und des Außenhandelsaldos hinzugerechnet. Die Differenz kann Rückschlüsse auf im Ausland gekauften und nach Deutschland eingeführten Produkte haben. Die Differenz beträgt laut bvse ca. 200.000 t. (bvse 2020, Seite XX). Bei dieser Berechnung sind wie bei der Grundmethode auch Textilien eingeflossen, die nicht dem Haushalt zuzuordnen sind.

9.2.1.3.1.2 Bewertung der verschiedenen Methoden

Die Mengenermittlung insbesondere auf Basis der Daten des Statistischen Bundesamtes gestaltet sich insofern als schwierig, da diese in unterschiedlicher Weise veröffentlicht werden. So gibt es kaum Gewichtsdaten, sodass die Mengen anhand von Referenzgewichten und den angegebenen Produktionsmengen ermittelt werden mussten. Des Weiteren sind nicht alle Produzenten verpflichtet, Daten an das Statistische Bundesamt zu melden. Sofern es keine aktualisierten Daten gab, wurde auf Werte der Vorgängerstudie zurückgegriffen, die das Bezugsjahr 2015 betrachtet hat oder eigene Schätzungen angestellt.

Insofern gibt es unterschiedliche Parameter, die das Ergebnis maßgeblich beeinflussen. Nachfolgend sind einige relevante Punkte zur Variantenrechnung je Methode aufgeführt:

► Variantenrechnung zur Grundmethode

Tabelle 110 Angepasste Mengen der Grundmethode

Parameter	Menge in t	Bemerkung
Inlandsverfügbarkeit (INLV) bvse	1.634.731	
Berücksichtigung Tragedauer (3a)	-99.721	Inlandverfügbarkeit 2015 = 1.535.010t.
Abzug Menge Arbeitsbekleidung	-38.210	Anteil = 2,7 %
Berücksichtigung private Einfuhren gemäß Konsummethode	80.294	
Ergebnis angepasste Parameter	1.577.094	

► Variantenrechnung zur Verbrauchsmethode

Tabelle 111 Angepasste Mengen der Verbrauchsmethode

Parameter	Gewicht pro Kleidungsstück
Referenzwert bvse	0,3 kg
Gewicht pro Teil gemäß Mengenmeldung in Frankreich	0,224 kg
Gewichtung: bvse 40 % / französischer Wert 60 %	0,254 kg
Ergebnis angepasste Parameter	1.575.679 t

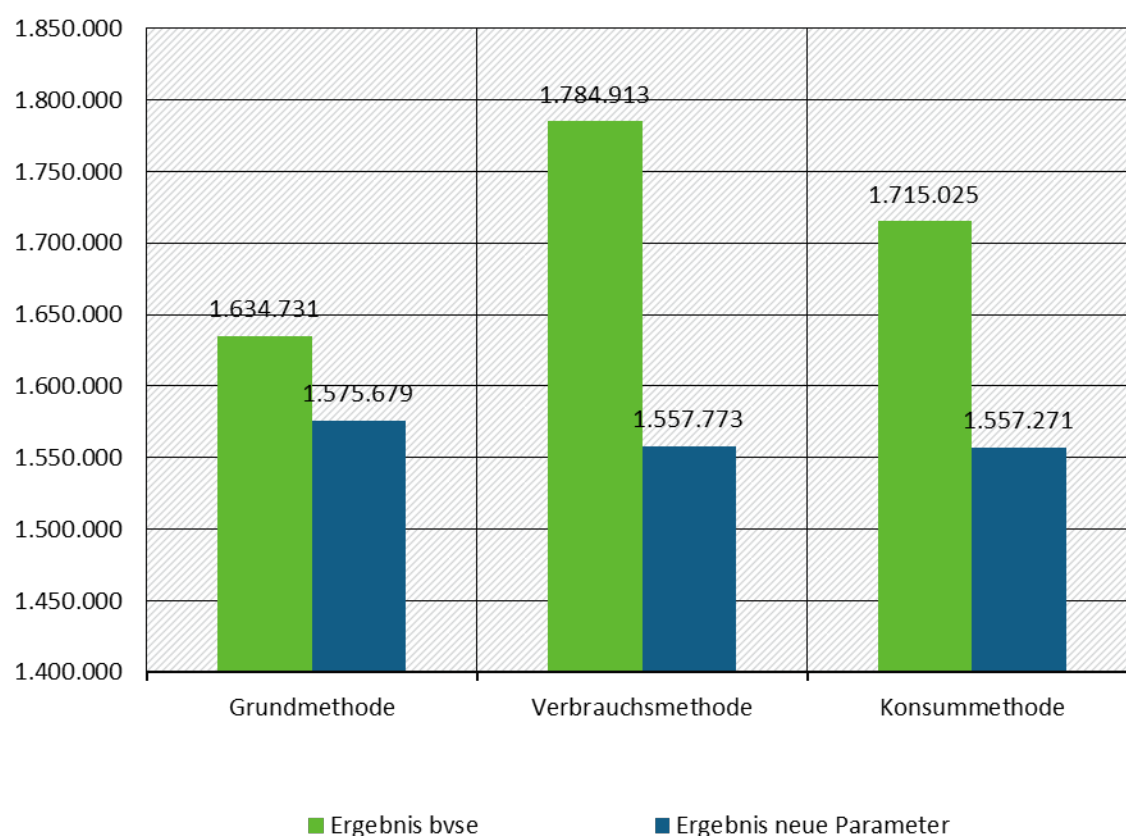
► Variantenrechnung zur Konsummethode

Tabelle 112 Angepasste Mengen der Konsummethode

Parameter	Ansatz bvse (in t)
Inlandsverfügbarkeit (INLV) ohne private Einfuhren neu	1.375.560
%-uale Differenz	13,21 %
Ergebnis angepasste Parameter	1.557.271

Die Anpassung der einzelnen Parameter führt auch zur Angleichung der Einzelergebnisse zueinander.

Abbildung 31 Übersicht Inlandsverfügbarkeit bvse und Ergebnis neue Parameter



Quelle: eigene Darstellung, Kösegi

Auf Basis der Bewertung aller Erkenntnisse wird die potentielle Sammelmenge für das Jahr 2018 auf ca. 1,56 Mio. t geschätzt.

Um das tatsächliche Sammelaufkommen zu ermitteln, muss diese Menge bereinigt werden. Die bvse Studie hat nachfolgende Abzüge berücksichtigt:

► Abzug einer Reserve:

Neben der unterschiedlichen Tragedauer gibt es viele Textilien, die lange Zeit ungenutzt im Kleiderschrank verbleiben, bis sie tatsächlich über die Alttextilsammlung entsorgt werden. Der bvse schätzt diese Reserve auf 5 % des gesamten Konsums ein. Die Einschätzung wurde aus den

vorangegangenen Studien übertragen, eine aktuelle Bewertung für Deutschland gibt es nicht. In verschiedenen Umfragen wie beispielsweise die Kearney Studie „Can circularity save the fashion industry?“ (Warschun et al., 2020) kommt man zum Ergebnis, dass die Deutschen Konsumenten durchschnittlich rund 100 Kleidungsstücke besitzen. Zu diesem Ergebnis kam auch die Greenpeace Umfrage „Wegwerfware Kleidung“ aus dem Jahr 2015 (Wahnbaeck, C.; Groth, H. 2015). Ca. 40 % davon werden selten oder fast nie getragen. Insofern erscheint die abgezogene Reserve etwas zu gering. Vergleicht man den Ansatz mit anderen Studien, die sich ebenso mit der Alttextilentsorgung befassen, so wird beispielsweise die Reserve für das Vereinigte Königreich auf 14 % eingeschätzt (Bartlett et al., 2012). Die Differenz bezogen auf die vom bvse ermittelten Inlandverfügbarkeit macht 147.126 t aus.

► Abzug Gewichtsverlust:

Während der Gebrauchsphase, insbesondere durch das Waschen, verlieren Textilien durch den Faserabrieb an Gewicht. Dieser Verlust wird pauschal mit 2 % angesetzt. Der Ansatz wurde aus den Vorgängerstudien übernommen, da es keine neuen Erkenntnisse dazu gibt. Zu beachten ist in diesem Fall auch, dass Textilien bei immer kürzerer Tragedauer auch nicht mehr so oft gewaschen werden. Dadurch würde sich der Faserabrieb verringern. Eine aktuelle Studie, die die (durchschnittlichen) Faserverluste beim täglichen Gebrauch analysiert, ist nicht bekannt.

► Menge nicht getrennt erfasster Alttextilien:

Aufgrund fehlender aktueller Daten wurden die Mengen an Alttextilien, die über die Restmülltonne entsorgt werden, mit 3,0 kg/ EW bewertet. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass von geänderten Mengen auszugehen ist (bvse 2020, Seite 10). Der in 2020 veröffentlichte Abschlussbericht zur Restmüllanalyse in Deutschland (Dornbusch et al., 2020) beziffert die Alttextilmenge im Restmüll in Höhe von 4,5 kg/ EW. Die Differenz von 1,5 kg / EW macht insgesamt eine weitere abzugsfähige Menge von 124.529 t aus.

Würde man die Daten mit den neuen Erkenntnissen und Annahmen aktualisieren, so würde sich das tatsächliche Sammelpotenzial des bvse von 1.271.242 t um 271.665 t auf 999.588 t reduzieren. Berücksichtigt man darüber hinaus das aktualisierte potentielle Sammelaufkommen auf Basis vorgenannter Parameter läge das tatsächliche Sammelaufkommen bei ca. 930.000 t. Bei dieser Berechnung ist zu beachten, dass die tatsächliche Sammelmenge auch Fehlwürfe beinhaltet, die im Rahmen der Befragung der zuständigen Behörden und der öre mit ca. 5 % angegeben wurden. Ebenso befinden sich auch systembedingte andere Mengen im Sammelgemisch wie beispielsweise nicht-textile Spielsachen, aber auch Folie und Pappe als Verpackungsmaterial.

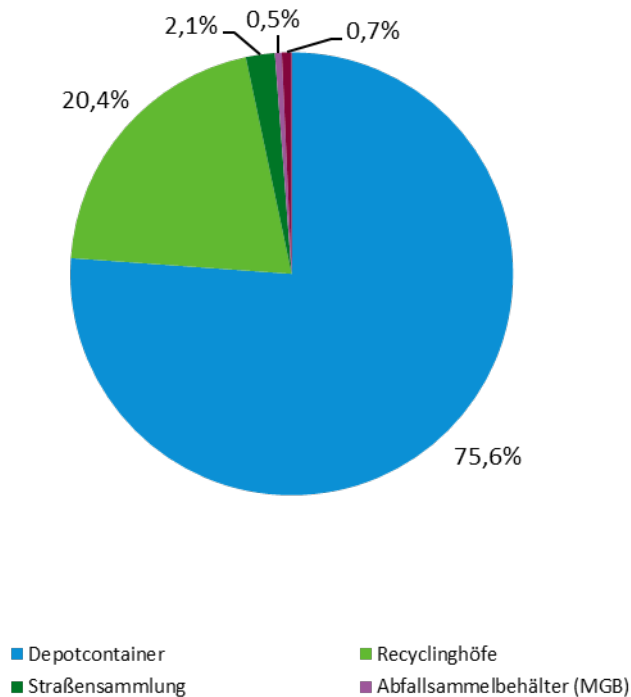
9.2.1.4 Abschätzung der tatsächlichen Sammelmenge 2018

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es keine verlässlichen Daten gibt. Aus Basis aller Datenerhebungen und Erkenntnisse sowie von Vergleichen wird für das Jahr 2018 die Sammelmenge auf ca. 1,0 Mio. t abgeschätzt.

9.2.2 Sammelsysteme

Für die Erfassung von Alttextilien werden verschiedene Sammelsysteme genutzt. Den größten Anteil in Höhe von ca. 75,6 % machen die Depotcontainer aus. An zweiter Stelle mit ca. 20,4 % ist die Annahme von Alttextilien auf Recyclinghöfen, wobei auf den Recyclinghöfen meistens auch Depotcontainer aufgestellt sind. Die Straßensammlungen machen ca. 2,1 % aus. Zusammen mit der Sammlung über Abfallsammelbehälter (MGB) am Haushalt (0,5 %) und der Rücknahme im stationären Einzelhandel (0,7 %) spielen diese Systeme aber eine eher untergeordnete Rolle.

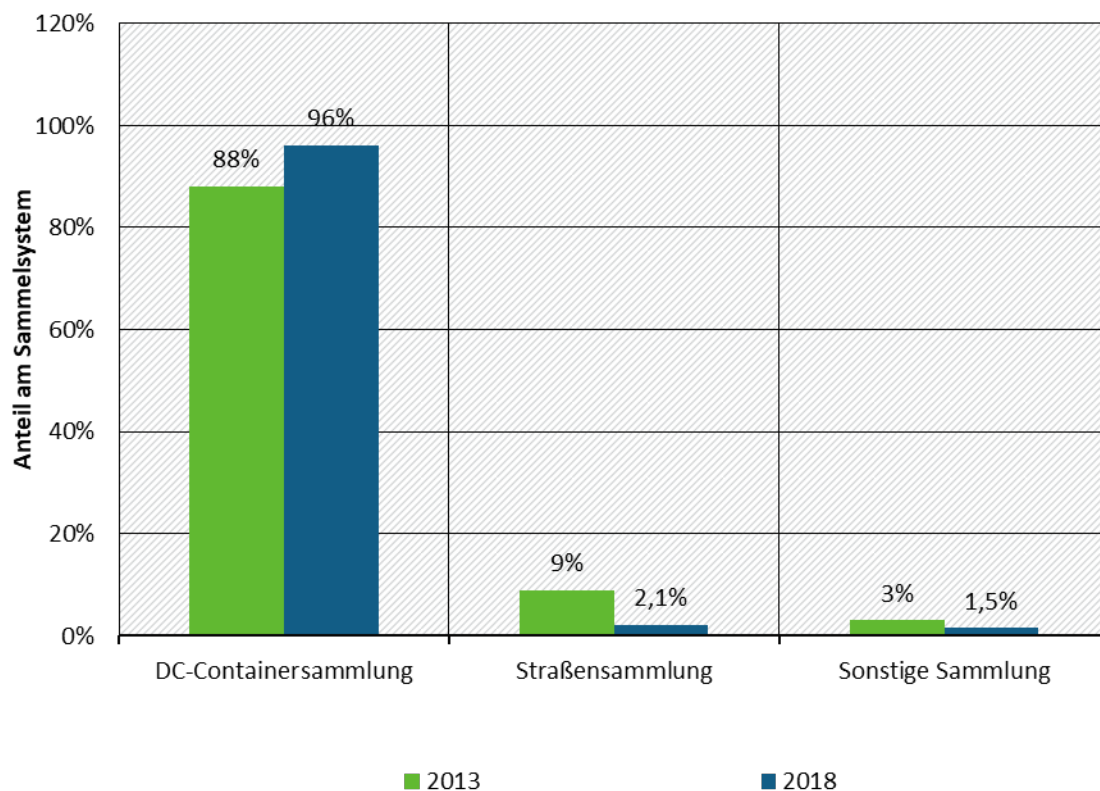
Abbildung 33 Sammelsysteme



Quelle: eigene Darstellung, Kösegi

Im Vergleich zu den implementierten Sammelsystemen im Jahr 2013 (Korolkow, J. 2015) haben die Straßensammlungen signifikant abgenommen. Die Sammlungen auf den Recyclinghöfen wurden für den Vergleich den Depot-Containersammlungen zugeordnet, da die Sammlung dort hauptsächlich mit Depotcontainer, die im gesamten Siedlungsgebiet aufgestellt sind, durchgeführt wird. Andere Sammelsysteme wie Online-Sammlungen oder Sammlungen im stationären Handel spielten in 2013 wie heute keine besondere Rolle und sind im Vergleich als sonstige Sammlungen zusammengefasst.

Abbildung 34 Vergleich der Sammelsysteme 2013 zu 2018



Quelle: eigene Darstellung, Kösegi mit Daten der bvse-Textilstudien von 2015 und 2020

9.2.3 Anforderung von Nachweisen

Um die derzeitige Vollzugspraxis zu bewerten, wurden die zuständigen Behörden gebeten, Angaben über die Anforderung von Nachweisen zu übermitteln. Die nachfolgenden Informationen und Nachweise sind bei der Anzeige von Sammlungen vorzulegen:

Im Rahmen der Prüfung der Anzeigeverfahren nach § 18 KrWG werden von gewerblichen Sammlern folgende Daten abgefragt:

- ▶ Angaben über die Größe und Organisation des Sammlungsunternehmens,
- ▶ Angaben über Art, Ausmaß und Dauer, insbesondere über den größtmöglichen Umfang und die Mindestdauer der Sammlung,
- ▶ Angaben über Art, Menge und Verbleib der zu verwertenden Abfälle,
- ▶ eine Darlegung der innerhalb des angezeigten Zeitraums vorgesehenen Verwertungswege einschließlich der erforderlichen Maßnahmen zur Sicherstellung ihrer Kapazitäten sowie
- ▶ eine Darlegung, wie die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung der gesammelten Abfälle im Rahmen der benannten Verwertungswege gewährleistet wird.

Der Anzeige der gemeinnützigen Sammlung sind beizufügen:

- ▶ Angaben über die Größe und Organisation des Trägers der gemeinnützigen Sammlung sowie gegebenenfalls des Dritten, der mit der Sammlung beauftragt wird, sowie

► Angaben über Art, Ausmaß und Dauer der Sammlung.

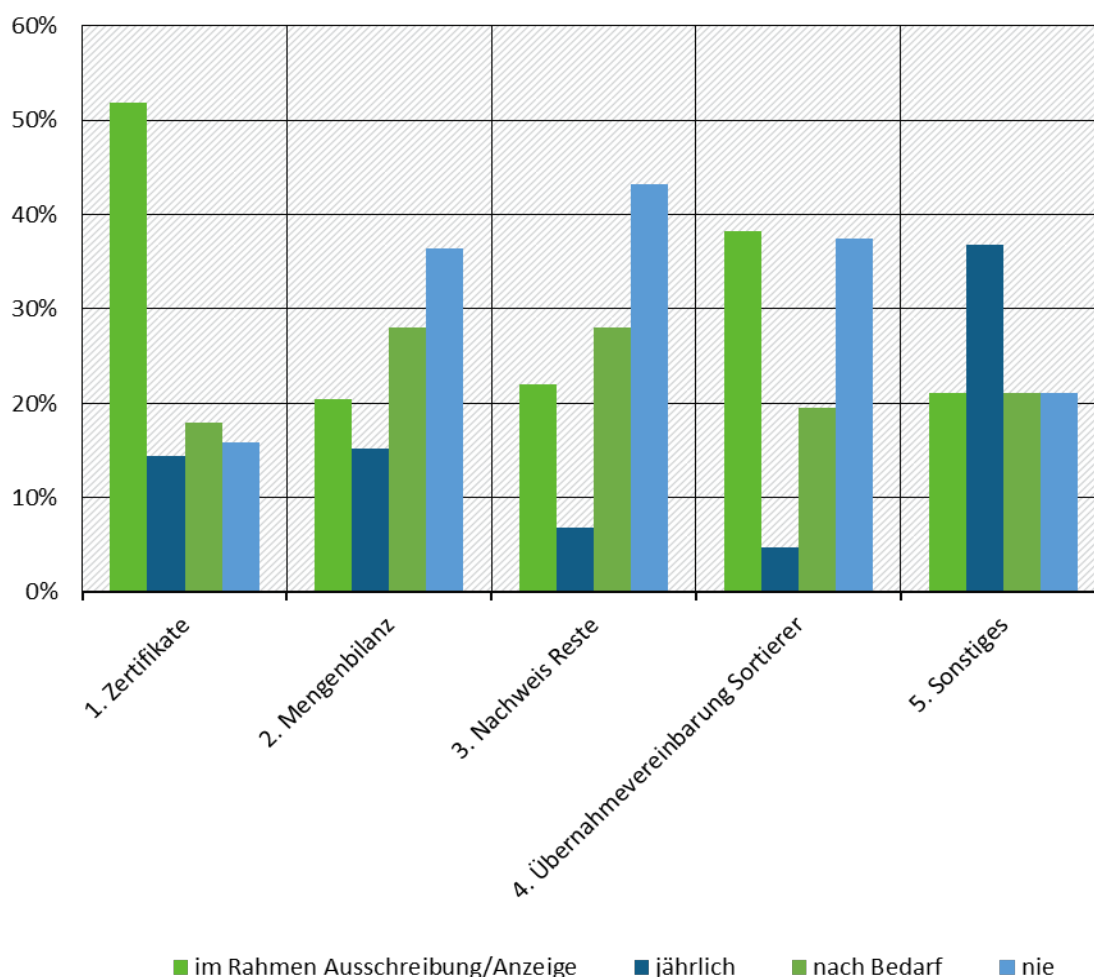
Des Weiteren ist bei der Vergabe in kommunalen Ausschreibungsverfahren (der Sammlung und Verwertung von Alttextilien) dafür Sorge zu tragen, dass die Abfallhierarchie beachtet wird und eine bestmögliche Verwertung des Abfallstromes erfolgt.

Nachfolgende Auswahlmöglichkeiten zur Beantwortung der Vollzugspraxis konnten die Behörden angeben:

- Zertifikate von Sortierunternehmen (EfB-Zertifikat, TÜV Rheinland oder ähnliches)
- Mengenbilanz und Aufstellung des Verbleibs der Mengen nach der Sortierung
- Nachweis der Verwertung oder Beseitigung der Rest- und Störstoffe
- Vereinbarung zur Übernahme der Alttextilien durch Sortierunternehmen
- Sonstige Nachweise

Für jede Nachweisart konnte eine Auswahl getroffen werden, ob diese im Rahmen der Ausschreibung oder Anzeige, jährlich, nach Bedarf oder nie angefordert werden. Insgesamt wurde diese Fragestellung von 70 % der zurückgesendeten Fragebögen beantwortet.

Abbildung 35 Übersicht Nachweise



Quelle: eigene Darstellung, Kösegi

In circa der Hälfte der Fragebögen wurde mitgeteilt, dass Zertifikate von Sortierunternehmen im Rahmen der Ausschreibung bzw. des Anzeigeverfahrens angefordert werden. An zweiter Stelle kommt die Überenahmevereinbarung mit Sortierunternehmen mit 38 %. Alle anderen Nachweise werden zu diesem Zeitpunkt von weniger als 23 % der Behörden bzw. der öRE angefordert. Ansonsten kann festgehalten werden, dass alle anderen Nachweise unabhängig vom Zeitpunkt von rund einem Viertel angefordert werden. Eine jährliche Prüfung weiterer Nachweise erfolgt von 37 % der Behörden bzw. der öRE.

Es kann zusammenfassend verzeichnet werden, dass der Abfallstrom Alttextilien bei der Anforderung von Nachweisen und Überprüfung der Leistung bislang wenig Beachtung erhält.

9.2.3.1 Qualitative Kriterien in kommunalen Ausschreibungen

Leistungsfähigkeitsnachweise werden auch im Rahmen kommunaler Ausschreibungen angefordert. Die Nachweise sollen zum einen die Zuverlässigkeit des Bieters belegen, aber auch die hochwertige Verwertung absichern. Hierzu hat die Gemeinschaft für textile Zukunft in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Städtetag und dem Landkreistag eine Orientierungshilfe in Bezug auf Anforderungen an die Erfassung, Sortierung und Verwertung von Alttextilien im Rahmen kommunaler Ausschreibungen veröffentlicht, die als Hilfestellung bei der Ausgestaltung der Ausschreibungsbedingungen, der Erstellung der Leistungsbeschreibung sowie der Feststellung der Bietereignung dienen soll (GfZ 2016).

Zur Prüfung, ob bei kommunalen Ausschreibungen auch Leistungskriterien für die Sammlung, Sortierung und Verwertung von Alttextilien aufgenommen werden, wurden innerhalb der Projektlaufzeit Ausschreibungsunterlagen gesichtet und ausgewertet. Bis zum 22.12.2020 wurden insgesamt 29 Ausschreibungen (entweder Veröffentlichung der Ausschreibung oder Bekanntmachung der Vergabe) ausgewertet. Ca. 24 % der Ausschreibungen enthielten auch andere Kriterien als den Preis für den Zuschlag, wobei in diesen Fällen der Preis als Kriterium das größte Gewicht mit >75 % hat. Ansonsten kann festgehalten werden, dass im Allgemeinen verschiedene Nachweise angefordert werden, wie beispielsweise das Zertifikat als Entsorgungsfachbetrieb oder der Nachweis der gleichwertigen Qualifikation der zu erbringenden Leistung (z.B. Transportgenehmigung), eine Referenzliste, Eigenerklärung zum Gesamtumsatz, Darstellung der Verwertungswege etc.

Ein konkreter Verweis in den Ausschreibungen auf die Orientierungshilfe des Deutschen Städtetages und des Landkreistages gab es nicht, allerdings ist auch erkennbar, dass verschiedene Hinweise bzw. Leistungskriterien in die Ausschreibungsbedingungen aufgenommen wurden.

9.2.4 Illegale Sammlungen

Illegale Sammler kommen weder ihren rechtlichen Pflichten zur Anzeige einer gewerblichen Sammlung nach § 18 KrWG nach, noch haben sie die Erlaubnis seitens der Gemeinde/Stadt oder eines privaten Grundstücksbesitzers, einen Container aufzustellen. Die Verkaufspreise für Sammelware lag in den Jahren 2012 bis Mitte 2014 im Durchschnitt bei 0,45€/kg (Korolkow, J. 2015). Auf Basis dieses vergleichsweise hohen Preisniveaus lohnte es sich, Container illegal aufzustellen, auch wenn das Risiko bestand, dass der Container nach kurzer Zeit wieder entfernt wird. Die Mitglieder des bvse bezifferten in der bvse Studie 2015 den Anteil der illegal aufgestellten Container auf 33 % (Korolkow, J. 2015). Es liegt somit nahe, dass ein direkter Zusammenhang zur Höhe des Verkaufserlöses der Sammelware besteht. In 2018 lag der durchschnittliche EUWID Preis für Sammelware bei 0,29€/kg, Tendenz fallend (bvse 2020). Vor dem Hintergrund dieser Marktsituation haben insgesamt 190 öRE die Anfrage nach illegal aufgestellten Containern wie folgt beantwortet. 16 % dieser Befragten kennen

Gerichtsverfahren über illegal aufgestellt Behälter, 84 % der Befragten sind keine Fälle bekannt. Es wurde insgesamt auf 37 Gerichtsverfahren verwiesen, bei denen 135 Stellplätze involviert sind. Auf Basis dieser Ergebnisse spielen illegal aufgestellte Sammelcontainer kaum noch eine Rolle.

Die Expertenbefragung mit bvse, FairWertung und GfZ ergab ein ähnliches Bild. Es wurde bemerkt, dass es immer weniger illegale Sammlungen gibt; aufgrund der gesunkenen Marktpreise für Original Sammelware ist der Benefit aus der Sammlung nicht mehr hoch, sodass es sich nicht mehr lohnt – ggfls. für kurze Dauer- einen Container illegal aufzustellen. Des Weiteren sind die Sammelunternehmen mittlerweile sensibilisiert, sodass Container schneller entdeckt würden. Ebenso ist für die Verwaltungen aufgrund vieler (Gerichts-)Verfahren geklärt, wie ein Abzugsverfahren illegaler Container erfolgreich durchzuführen ist. Somit können diese Container auch wesentlich schneller abgezogen werden.

Vor dem Hintergrund der zu erwartenden negativen Qualitätsveränderungen ist davon auszugehen, dass zukünftig keine hohen Marktpreise für Sammelware mehr erzielt werden können. Es ist deshalb davon auszugehen, dass das Ausmaß der illegalen Sammlungen gering bleibt.

9.2.5 Einschätzung der zukünftigen Entwicklung von Sammelmenge und Qualität von Alttextilien

Insgesamt 156 Rückmeldungen lieferten Einschätzungen, wie sich die Sammelmenge und die Qualität der eingesammelten Alttextilien in Deutschland und der EU aufgrund der Getrennterfassungspflicht ab 2025 verändern wird.

62 % gaben an, dass die Sammelmenge in Deutschland ansteigen wird. Die überwiegende Zahl von 82 % schätzen ein, dass die Menge in Europa ansteigen wird. Hinsichtlich der Qualität der Sammelware waren sich 67 % einig, da sich diese verschlechtern wird, weitere 18 % geben eine signifikante Verschlechterung der Qualität an. Nur 9 % sind der Meinung, dass die Qualität steigen wird, 6 % schätzen, dass sie konstant bleibt.

Die öRE gaben darüber hinaus zu 67 % an, dass sich ihre Qualität der erfassten Alttextilien bereits heute verschlechtert hat, 2 % teilten eine Verbesserung der Qualität mit, 31 % konnten bislang keine negative Veränderung erkennen.

9.3 Analyse der sortierten Alttextilien zur Vorbereitung zur Wiederverwendung und zur sonstigen stofflichen Verwertung

9.3.1 Verbleib der Sammelware zur Vorbereitung zur Wiederverwendung

Rund 34 % der Rückmeldungen enthielten Angaben zum Verbleib der Sammelware. Die Rückläufe der zuständigen Behörde und öRE, die hochgerechnet im Mittel ca. 17 % der deutschen Bevölkerung repräsentieren, ergeben, dass mehr als 70 % der Sammelware in Deutschland einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt wird. Der bvse hat den Verbleib der Sammelware in seiner aktuellen Textilstudie 2020 (bvse 2020) nicht berücksichtigt. In der Studie aus dem 2015 wird die in Deutschland sortierte Sammelware mit 61 % beziffert (Korolkow, J. 2015). Betrachtet man die Außenhandelsstatistik des Jahres 2018 (siehe Kapitel 9.5) so wurden insgesamt 515.944 t an Abfälle mit dem Code 63090000 „Altwaren“ exportiert. Berücksichtigt man den Warenwert insgesamt, ist ersichtlich, dass es sich bei diesen Mengen auch um bereits sortierte Abfälle oder Produkte handeln muss. Im Durchschnitt war der Warenwert 0,68 €/kg (vgl. auch Marktpreise für Sammelware, Kapitel 9.2.4). Aus Sicht der Expert*innen sind die Länder Niederlande und Polen diejenigen, die die

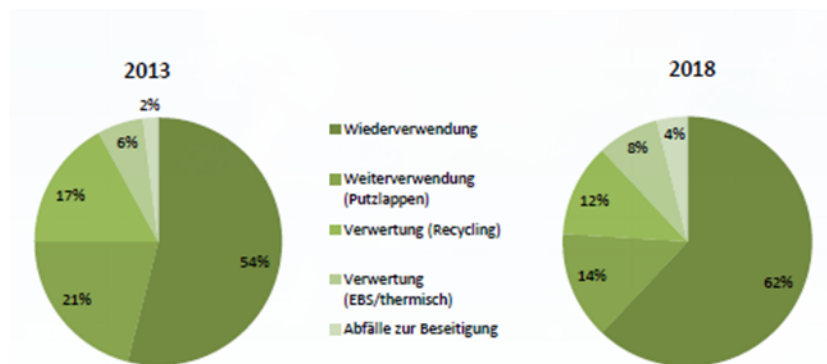
Hauptmengen aufnehmen. Es wird insgesamt angenommen, dass mindestens 50 % der Sammelmengen exportiert und größtenteils in Europa sortiert werden. Die Zunahme der Exporte korreliert auch mit der Entwicklung des Mindestlohnes vor dem Hintergrund der personalintensiven Sortierleistung.

9.3.2 Verbleib nach der Sortierung

Neun Behörden machten allgemeine Angaben zum Output nach der Sortierung. Bei der Befragung zu den Verwertungswegen und Zielländer konnten bis auf vier Behörden keine weiteren Angaben dazu machen. Bei der öre-Befragung sieht die Datenqualität ähnlich aus. 30 öre gaben Output Mengen an, die Zielländer der Verwertungswege waren bei lediglich 26 Fragebögen enthalten. Dieses Ergebnis ist nicht repräsentativ, um den Output nach der Sortierung zu skizzieren.

Der bvse hat in seinen Textilstudien (Korolkow, J. 2015, bvse 2020) die Verwertungswege für die Jahre 2015 und 2018 aufgezeigt, Zielländer der Verwertungswege sind nicht enthalten. Nachfolgend sind die Verwertungswege inklusive des Anteils der Alttextilien, die nach der Vorbereitung zur Wiederverwendung als Second-Hand-Waren vermarktet wurden veranschaulicht.

Abbildung 36 Output Bilanz bvse Textilstudie 2015 und 2020



Quelle: bvse Textilstudie 2020

9.3.2.1 Zielländer in Bezug auf die einzelnen Verwertungswege

Die Außenhandelsstatistik kann für diese Bewertung nicht herangezogen werden, da zwischen den einzelnen unsortierten und sortierten Alttextilströmen nicht unterschieden wird.

Sowohl die Befragungen der zuständigen Behörden und öre als auch die Informationen aus der Expertenbefragung ergab keine detaillierte Übersicht, wo die sortierten Alttextilien verbleiben.

Im Ergebnis können folgende allgemeine Einschätzung der Expert*innen festgehalten werden:

- ▶ Stoffliche Verwertung (Putzlappen): Der überwiegende Anteil der Verwertung zu Putzlappen erfolgt im europäischen Ausland.
- ▶ Stoffliche Verwertung (Reißware): Die Verwertung zu Reißware erfolgt zu einem geringen Maße in Deutschland. Der überwiegende Teil dieser Verwertung erfolgt im europäischen und außereuropäischen Ausland.

- **Energetische Verwertung:** die energetische Verwertung sortierter Mengen (Reste und nicht marktfähige Anteile, die keiner stofflichen Verwertung zugeführt werden können) erfolgt für die in Deutschland sortierten Alttextilien in Deutschland. Originalware, die in anderen Ländern sortiert werden, werden die entsprechenden Mengen nach den Regelungen in diesen betreffenden Ländern energetisch verwertet, sofern überhaupt energetische Verwertungsmöglichkeiten vorhanden sind.
- **Beseitigung:** In Deutschland ist eine Beseitigung nicht vorgesehen. Sie findet dann statt, wenn eine Verbrennungsanlage keinen „Verwerterstatus“ besitzt, sondern eine thermische Beseitigung darstellt. Für exportierte Mengen liegen keine verlässlichen Informationen vor.

Allgemein wurde bemerkt, dass die stoffliche Verwertung in zunehmendem Maße auch außerhalb von Europa erfolgt.

9.4 Ermittlung der Sammelquote von Alttextilien

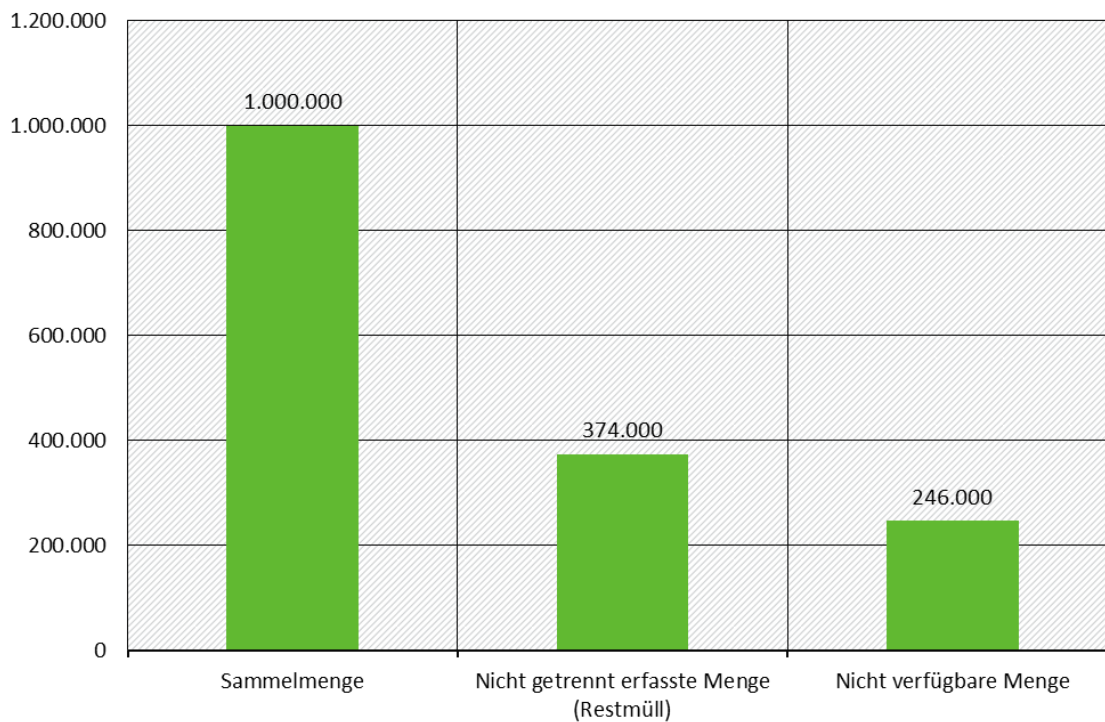
9.4.1 Methode zur Ermittlung der Sammelquote

Generell wird für die Ermittlung einer Sammelquote die eingesammelte Menge ins Verhältnis zur in Verkehr gebrachten und zur getrennten Erfassung zur Verfügung gestellten Menge gestellt. Für Alttextilien gibt es bislang keine spezifische Regelung, wie die Sammelquote zu ermitteln ist. Die erfasste Menge an Alttextilien wurde für das Jahr 2018 auf ca. 1,0 Mio. t abgeschätzt (siehe Kapitel 9.2.1.4). Die potentiell zur Verfügung stehende Sammelmenge wurde auf Basis der bvse Textilstudie (bvse 2020) sowie anderer Datenquellen und Vergleichen auf ca. 1,56 Mio. t bemessen (siehe Kapitel 9.2.1.3.1.2).

Insofern ergibt sich für das Jahr 2018 eine Sammelquote in Höhe von 64 %.

Wie im Kapitel 9.2.1.3.1.2 ausgeführt, gibt es mehrere Ursachen, die dazu führen, dass die potentiell zur Verfügung stehende Sammelmenge nicht getrennt erfasst wird. Ein Grund ist, dass die Alttextilien im Rahmen der Restmüllsammlung entsorgt werden. Die Menge beläuft sich auf insgesamt 374.000 t. Der restliche Anteil bezieht sich auf Mengen an Textilien, die zum einen nicht mehr genutzt werden, aber dennoch „im Kleiderschrank“ verbleiben oder sie vom Konsumenten als Second-Hand-Ware weitergegeben - oder veräußert werden. Diese Menge steht insofern für abfallwirtschaftliche Maßnahmen gar nicht oder zumindest erst zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung. Betrachtet man nur die verfügbare Menge und bereinigt die Sammelmenge um die Fehlwürfe und systembedingten anderen Abfälle, die ca. 70.500 t ausmachen, dann liegt das technische Verwertungspotenzial bei 71 %.

Abbildung 37 Übersicht Mengenaufteilung Sammelpotenzial (inkl. Fehlwürfe u.a. Mengen)



Quelle: eigene Darstellung, Kösegi

9.4.2 Allgemeine Bewertung des Ergebnisses

Für einen heute (noch) nicht verpflichtend getrennt zu erfassenden Stoffstrom ist die Sammelquote von 64 % überdurchschnittlich hoch. Hierzu können Vergleiche aus anderen Stoffströmen herangezogen werden. Die Sammelquote liegt beispielsweise über der gesetzlich vorgeschriebenen Sammelquote von Elektronik- und Elektroaltgeräten, die nach § 10 ElektroG bei mindestens 45 % liegt. Die Sammelquote bei Geräte-Altbauteilen wurde durch Novelle des Batteriegesetzes ab dem 01.01.2021 auf 50 % angehoben (§ 16 BattG2).

Die Stakeholderbefragung, an der bvse, FairWertung, GfZ, der Gesamtverband textil + mode sowie der BTE Handelsverband Textil teilgenommen haben, ergab, dass aus Sicht der Teilnehmenden bereits heute ein Sammelssystem mit hoher Flächenabdeckung vorhanden ist, sodass Verbraucher*innen in den meisten Regionen in gut erreichbarer Nähe Alttextilien abgeben können. Ebenso wird bemerkt, dass der Handel aufgrund von eingeschränkten Lagerkapazitäten keine Sammelstellen aufbauen kann, was aber auch nicht als notwendig erachtet wird, da es bereits gut funktionierende Sammelstrukturen gibt. Allerdings ist die Dichte des Netzes weitestgehend abhängig von der Situation auf dem Markt für Alttextilien. Diese Aussage wird auch durch das Ergebnis der Analyse der Siedlungsrestabfälle in Deutschland (Dornbusch et al., 2020, Seite 119) bekräftigt. Der Anteil an Alttextilien im Restabfall ist in den verschiedenen Siedlungsstrukturen unterschiedlich hoch. So wird angenommen, dass je nach Marktlage eine unterschiedliche Containerdichte vorhanden ist und die Entscheidung zur Containergestaltung von einer effizienten Logistik mitbestimmt wird. Die Sammelstruktur ist heute in hohem Maße von der Privatwirtschaft eingerichtet. Auch gemeinnützige Organisationen würden heute mit privaten Sammlern kooperieren, da sie kaum über eigenes Sammelpersonal verfügen. In diesem Zusammenhang wurde auch bemerkt, dass die Alttextilsammlung als Abfallsammlung weiterhin eine soziale Dimension hat. Die EU-Kommission hat im Rahmen des EU Action Plans auf die Bedeutung gemeinnütziger Organisationen und Sozialunternehmen für eine Kreislaufwirtschaft ausdrücklich hingewiesen. Eine gesetzliche vorgeschriebene

Sammelquote für Alttextilien wird aus heutiger Sicht der Stakeholder der Entsorgungsbranche grundsätzlich nicht benötigt. Ggfls. würde sie notwendig sein, wenn die Flächendeckung nicht mehr erreicht wird oder aber bei Einführung einer gesetzlichen Regelung zur erweiterten Herstellerverantwortung.

In Bezug auf die Einrichtung weiterer Sammelstellen, beispielsweise im stationären Handel wurde bemerkt, dass diese Sammelstruktur weiterhin eine eher untergeordnete Rolle spielen und vielmehr als Ergänzung zu den öffentlich zugänglichen Sammelstellen gesehen wird.

Die Analyse der Siedlungsrestabfälle in Deutschland ergab, dass 4,5 kg/ EW an Alttextilien enthalten sind (Dornbusch et al., 2020). Im Bericht wurde aufgeführt, dass es sich hierbei vielfach um beschädigte, zerrissene oder stark verschmutzte Alttextilien handeln würde, bei der der überwiegende Teil noch einer stofflichen Verwertung zugeführt werden kann. Stark verschmutzte Alttextilien sind generell für keine stoffliche Verwertung geeignet. In wieweit der starke Verschmutzungsgrad des Textils bereits beim Einwerfen vorhanden war oder erst durch die Vermischung mit anderen Abfällen erfolgt, wurde nicht behandelt.

9.5 Einhaltung der Anforderungen bei der grenzüberschreitenden Abfallverbringung

Zur grenzüberschreitenden Verbringung von Alttextilien gibt es im Warenverzeichnis der Außenhandelsstatistik den Code 63090000 mit der Bezeichnung „Altwaren“. Dieser Code ist dem Bereich „Spinnstoffe und Waren daraus“ zugeordnet, ist aber sonst nicht näher definiert.

Tabelle 113 Übersicht Außenhandelsstatistik 2018 für Altwaren, Warencode 63090000

Partnerstaatengruppe	Einfuhr		Ausfuhr		Exportüberschuss (Wert in 1.000 €)
	Menge in t	Wert in 1.000 €	Menge in t	Wert in 1.000 €	
EU	28.181	22.469	313.912	164.759	285.731
EFTA	5.693	2.941	2.541	1.279	-3.153
OECD	367	568	24.855	19.599	24.488
Nicht-OECD Staaten ohne KV ¹	224	89	83.517	61.270	83.293
Nicht-OECD Staaten mit KV ²	14	13	46.281	65.492	46.267
Nicht-OECD Staaten mit Einfuhrverbot ³	97	421	44.838	40.378	44.741
Summe	34.577	26.501	515.944	352.777	481.367

1: ohne Kontrollverfahren für Altwaren, 2: mit Kontrollverfahren für Altwaren, 3: Einfuhrverbot für Altwaren

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis der Außenhandelsstatistik

Der Export von Abfällen in Nicht-OECD-Staaten ist in der EU-VO 1418/2007 geregelt. Je nachdem, wie sich diese Staaten in einer Abfrage der Europäischen Kommission geäußert haben, gilt für die Ausfuhr von Abfällen des Basel-Codes B3030 die freie Verbringung wie zwischen OECD-Staaten oder das Notifizierungsverfahren gemäß Abfallverbringungsverordnung oder ein Exportverbot.

Die Hauptausfuhrstaaten sind die Niederlande und Polen mit jeweils ca. 85.000 t, gefolgt von weiteren EU-Staaten. Der Nicht-OECD-Staat mit der höchsten Ausfuhrmenge ist Pakistan mit 22.000 t.

Der Tabelle oben lässt sich entnehmen, dass ca. 90.000 t in Staaten mit Verbot oder mit Kontrollverfahren exportiert wurden. Kontrollverfahren wurden diesbezüglich jedoch nicht durchgeführt. Daher wäre beides illegal, wenn es sich hierbei noch um Abfall handeln würde. Es ist daher anzunehmen, dass dieser Code auch für Waren verwendet wird, die einer Sortierung unterzogen wurden und daher nicht mehr dem Abfallregime unterliegen. Besonders betroffen sind die Vereinigten Arabischen Emirate mit 13.000 t und viele afrikanische Staaten. Von einer illegalen Verbringung in diesem Ausmaß kann nicht ausgegangen werden, da im Zollverfahren doch intensiv kontrolliert wird. Ein Zollverfahren ist sowohl in Deutschland als auch im Einfuhrstaat zu absolvieren.

Unabhängig davon ergibt sich, dass die grenzüberschreitende Verbringung im Alttextilsektor einen signifikanten Anteil am Aufkommen ausmacht. Bei einem Aufkommen von 1,0 Mio. t ergeben die ausgeführten 516.000 t einen Anteil von gut 51 %. Da der Import gering ist, ändert sich daran auch in der Verbringungsbilanz nicht viel.

Aufgrund dieses hohen Anteils wurden 27 zuständige Behörden hinsichtlich ihrer Vollzugspraxis zur Einhaltung der Anforderung bei grenzüberschreitender Abfallverbringung befragt. Die Rücklaufquote diese Befragung lag bei 74 %.

Grundsätzlich ist zu erwähnen, dass alle Behörden die Problematik aufgezeigt haben, dass der Basel Code B3030 nicht die Sammelpraxis von Alttextilien in Deutschland wiedergibt. Üblicherweise werden neben der Bekleidung und Haustextilien wie Bett- und Tischwäsche, Handtücher, Daunendecken und Steppdecken auch Schuhe und Accessoires wie Gürtel, Schals, Handtaschen, aber auch Stofftiere erfasst.

Bis auf ein Bundesland gehen alle davon aus, dass es sich bei der Original-Sammelware um ein Abfallgemisch handelt, das unter die „grüne Liste“ fällt und unter dem Basel-Code B3030 zu deklarieren ist. Bei der konkreten Prüfung im Einzelfall gibt es allerdings Unterschiede im Umgang mit Bewertung von Störstoffen. 50 % der befragten zuständigen Behörden legen den Begriff der Alttextilien weit aus, der der o.g. Sammelpraxis entspricht. Störstoffe beziehen sich sodann auf andere Abfälle, die oben nicht aufgeführt sind.

Zwei befragte Behörden stellen auf die vorherige Sichtung der Original-Sammelware ab. Eine befragte Behörde geht in diesem Zusammenhang sehr weit und folgert, dass eine Original-Sammelware aus Containern grundsätzlich notifizierungspflichtig sei, da der Inhalt der Tüten nicht bekannt ist und dieser mit diversen Abfällen vermischt sein kann.

Bei vier Rückmeldungen wurde angegeben, dass es bislang keine Probleme bei der Einordnung der Original-Sammelware gab, die als „grün gelistete“ Abfälle zu deklarieren ist.

Bei den übrigen befragten Behörden gibt es im Rahmen der Prüfung der Störstoffe unterschiedliche Sichtweisen. Neben anderen Abfällen werden auch nicht-textile Bestandteile wie Schuhe und / oder Accessoires (Gürtel) aus der Original-Sammelware als Störstoffe angesehen. In jedem Fall erfolgt eine Einzelfallprüfung, eine festgeschriebene Störstoffquote gibt es nicht.

Einige wenige Behörden wünschen sich ausdrücklich eine Festlegung der Störstoffquote. Auch wenn die meisten befragten Behörden einen Umgang zur Umsetzung der Abfallverbringungsregeln gefunden haben, begrüßen einige, wenn der Begriff Alttextilien einheitlich auf europäischer Ebene definiert wird, da die Empfängerstaaten wiederum eigene Regelungen haben, die im Zweifel nicht mit denen des Versandstaates übereinstimmen. In

diesem Zusammenhang wurde auf die in 2014 zwischen den EU Mitgliedstaaten geführte Diskussion zur Erweiterung des Anhang III A verwiesen, die eine Legalität für die Verbringung von Alttextilien aus Alttextilsammlungen unter der allgemeinen Informationspflicht nach Art. 18 VVA schaffen sollte. Hierzu war eine Konkretisierung des Eintrags „Alttextilien“ in „unsortierte Alttextilien aus Sammelcontainern oder aus der Haussammlung, auch vermischt mit Schuhen aus beliebigem Material, Bekleidung und Taschen aus Leder oder Kunststoff, Pelze und Stofftiere, aber keine Matratzen und Teppiche“ angedacht.

9.6 Auslandsvergleich

Die Erfassung, Sortierung und Verwertung von Alttextilien ist in Europa sehr unterschiedlich. Ein Vergleich der deutschen Sammel- und Verwertungsstruktur mit der Ausgestaltung in anderen Ländern soll aufzeigen, welche Rahmenbedingungen und Systeme geeignet sind, hohe Sammelmengen zu ermöglichen, die anschließend hochwertig verwertet werden können.

Für den Vergleich wurde Belgien, Dänemark, Frankreich, die Niederlande und Großbritannien ausgewählt. Mittels eines Interviewleitfadens wurden die Expert*innen in den jeweiligen Ländern gebeten, die Alttextilsammlung, -sortierung und -verwertung zu beschreiben sowie ihre Einschätzung zur zukünftigen Entwicklung des Marktes als auch der gesetzlichen Rahmenbedingungen abzugeben (s. Anlage). Interviews wurden geführt mit dem belgischen Verband des Abfall- und Recyclingsektors Denuo (Kristof Bogaert, Dimitri Bohez), dem dänischen Beratungsunternehmen Planmilio (David Watson), der französischen Organisation EcoTLC (Alan Claudot), dem niederländischen Ministerium Rijkswaterstaat Environment (Emile Bruls) sowie mit dem britischen Textilrecyclingverband TRA (Alan Wheeler).

9.6.1 Organisation der Alttextilsammlung

Was wird unter Alttextilien verstanden?

In allen Ländern mit Ausnahme von Dänemark wird der Begriff weiter gefasst und beinhaltet neben Bekleidung und Haustextilien zusätzlich auch

- Schuhe (in Belgien, Niederlande, Frankreich, Großbritannien)
- Accessoires (in Belgien, Großbritannien)

Für Frankreich ist zu erwähnen, dass im Zusammenhang mit der Einführung der erweiterten Herstellerverantwortung für Textilien Produkte definiert werden mussten, die unter die Regelungen fallen. Das sind Bekleidung, Haustextilien und Schuhe. Üblicherweise werden aber auch Accessoires miterfasst. Seit dem Jahr 2020 fallen unter Haustextilien auch textile Gardinen und Innenjalousien (EcoTLC 2020).

Im Rahmen eines freiwilligen Commitments (Green Deal 2012) wurde in den Niederlanden der Versuch gestartet, die Sammelmenge an Alttextilien zu verdoppeln. Vor diesem Hintergrund wurde eine Richtlinie entwickelt, welche Textilien zu erfassen sind. Neben den o.g. Produkten sollten insbesondere auch kaputte Bekleidung miterfasst werden; explizit ausgeschlossen waren Matratzen, Bettzeug, Teppiche, nasse oder mit Farbe oder Öl verschmutzte Textilien. Allerdings haben die Sammelunternehmen die Richtlinie ohne eine finanzielle Unterstützung für nicht vermarktbare Alttextilien nicht akzeptiert.

Ist die Alttextilsammlung rechtlich gesehen eine Abfallsammlung?

In den Ländern Belgien, Frankreich und die Niederlande wird die Sammlung von Alttextilien als Abfallsammlung angesehen. Dänemark und Teile Großbritanniens bilden hier eine Ausnahme.

Wenn der Sammler in Dänemark zum Ausdruck bringt, dass er nur gut erhaltene Bekleidung für Wiederverwendungszwecke haben möchte, fällt die Sammlung nicht unter das Abfallregime. Nur im Fall, dass trotz Kommunikation signifikante Anteile an nicht tragbarer Bekleidung beinhaltet ist, dann wird die Sammlung im Einzelfall als Abfallsammlung betrachtet. Typischerweise wird aber immer davon ausgegangen, dass ca. 20-30 % der Sammelmenge nicht mehr tragfähig ist. Bislang gibt es aber keine Richtlinie seitens der dänischen Umweltbehörde, wie hoch dieser Anteil maximal sein darf, damit die Sammlung weiterhin nicht als Abfallsammlung angesehen wird. Sollten die Alttextilien aus gewerblichen Anfallstellen stammen, dann ist es immer eine Abfallsammlung. Insofern wird in der Praxis der größte Teil der Alttextilien außerhalb des Abfallregimes erfasst.

In Großbritannien gibt es keine einheitliche Regelung. Beispielsweise ist in Nordirland die Depotcontainersammlung eine Abfallsammlung, nicht aber in den restlichen Landesteilen England, Wales und Schottland. Gespendete Textilien, die in den Shops der karikativen Organisationen verkauft werden, sind grundsätzlich kein Abfall; allerdings die verbleibenden, nicht veräußerbaren Alttextilien, die dann an Sortierbetriebe verkauft werden.

Seit einiger Zeit entstehen vereinzelt Rücknahmesysteme im stationären Bekleidungshandel. In Belgien, Großbritannien und den Niederlanden gibt es keine spezielle Regelung. Die Sammlung erfolgt somit außerhalb des Abfallgesetzes. Da die erfassten Mengen vergleichsweise gering sind, gab es bislang höchstens punktuelle Auseinandersetzungen in Bezug auf diese Rücknahme. Allerdings wird anerkannt, dass es eine Ungleichbehandlung gibt im Vergleich zu anderen Sammlern, die im Rahmen des Abfallgesetzes bestimmte Vorgaben erfüllen müssen.

In Belgien, Frankreich und den Niederlanden wird die Sammlung entsprechend abfallrechtlicher Regelungen organisiert. Für Alttextilien aus Haushaltungen bzw. Geschäften, die haushaltsähnliche Abfälle erzeugen, gilt grundsätzlich die kommunale Zuständigkeit (in Frankreich sind das nur Haushalte).

Frankreich hat in 2007 die erweiterte Herstellerverantwortung für Textilien eingeführt. Unternehmen, die Bekleidung, Haustextilien oder Schuhe auf den französischen Markt einführen, sind verpflichtet, ein eigenes Sammel- und Recyclingprogramm aufzustellen, das von den französischen Behörden akkreditiert wurde oder einen Beitrag an Eco TLC (die bislang einzige, von den französischen Behörden akkreditierte Organisation) zu zahlen.

Welche Kriterien gibt es für das Abfallende?

Da in Dänemark Alttextilien kein Abfall darstellen, kommt diese Frage hier nicht in Betracht.

In allen anderen Ländern ist die Sortierung als Vorbereitung zur Wiederverwendung ein Verfahren, nach dem Alttextilien einen Produktstatus erlangen, wenn sie als Second-Hand-Waren verkauft werden. Die Regelung für sortierte Mengen, die nicht als Second-Hand-Ware verkauft werden können, ist folgendermaßen:

Putzlappenfraktionen: In Belgien wird diese grundsätzlich noch als Abfall angesehen. Die Niederlande verweisen auf die allgemeinen Regelungen zum Ende der Abfalleigenschaft. In Großbritannien hängt die Bewertung von der jeweilig zuständigen Behörde ab. In Frankreich erfolgte in 2018/2019 eine Konkretisierung, wonach für die Putzlappenfraktion das Abfallende bereits nach der vorgenannten Sortierung erreicht ist.

Fraktionen für Reißware: bei dieser Fraktion wird grundsätzlich von allen Ländern davon ausgegangen, dass es sich noch um einen Abfall handelt.

Welche Rolle spielt die Kommune?

Grundsätzlich ist die Kommune verantwortlich für die Abfallentsorgung bei Haushaltungen, das gilt auch für Alttextilien. Insofern sammeln die Kommunen in allen Ländern – wenn auch in untergeordneter Rolle - Alttextilien. Meistens erfolgt die Vergabe der Dienstleistung an Dritte im Rahmen einer Ausschreibung. Im Bereich der Depot-Containersammlung ist sie ebenso für die Stellplatzvergabe verantwortlich. Auch wenn in Frankreich die erweiterte Herstellerverantwortung umgesetzt ist, so haben Kommunen im Rahmen der Umsetzung ihrer Abfallvermeidungsprogramme die Möglichkeit, beispielsweise die Rücknahme von Alttextilien auf Recyclinghöfen auszuschreiben.

In Belgien besteht bereits im Gegensatz zu allen anderen Ländern eine Getrennterfassungspflicht für Textilien. Es gibt hierzu Mindestvorgaben (Uitvoeringsplan huishoudelijk afval). Die Sammlung hat viermal im Jahr oder durch Aufstellung von Depotcontainern (mit einer Dichte von 1000 Einwohner/DC) zu erfolgen.

Wer sammelt Alttextilien mit welchen Erfassungssystemen?

In allen Ländern werden Alttextilien von gemeinnützigen Organisationen mit / oder durch private Unternehmen sowie Kommunen eingesammelt, wobei die gemeinnützigen Sammlungen den überwiegenden Anteil (ca. 70 %) ausmachen (Ergebnis der Länderabfrage). Modemarken nehmen vereinzelt Alttextilien in ihren Läden zurück, wobei dieser Anteil sehr gering ist. In Frankreich beispielsweise liegt der Anteil bei 2,5 % (Eco TLC 2018). Die Kommunen komplettieren die Akteure aktuell als kleineren Marktteilnehmer.

Das Hauptsammelsystem unabhängig der Art des Sammlers ist die Depot-Containersammlung auf öffentlichem oder privatem Grund. In Dänemark und Großbritannien ist der Anteil der Alttextilien, der direkt zu karikativen Läden gebracht wird, überdurchschnittlich hoch. In Dänemark sind es ca. 11 %, in Großbritannien werden sogar 48 % der Alttextilien direkt in Läden gebracht (Ergebnis der Länderabfrage). In den Niederlanden ist das Unterflursystem gängige Praxis, Abfälle im Bring System zu erfassen. Infolgedessen haben viele, insbesondere größere Städte, die Alttextilsammlung mittels Unterflursysteme eingeführt.

Im Rahmen der Interviews wurde in Bezug auf die Erfassungssysteme gefragt, welches Sammelsystem geeignet ist, die Qualität der verwendeten Textilien für eine qualitativ hochwertige Verwendung zu erhalten. Alle Befragten stimmten überein, dass persönliche Abgabe der Textilien am besten geeignet wäre. Die Hemmschwelle, andere Abfälle oder besonders verschmutzte oder nasse Textilien unterzumischen, ist wesentlich höher als beim Einwurf in einen Sammelbehälter auf der Straße. Allerdings wird auch gesehen, dass das Potenzial Alttextilien über dieses System zu erfassen, nicht groß ist. Verbraucher*innen sollten die Möglichkeit haben, nahezu jederzeit, Alttextilien abzugeben und die Erreichbarkeit (Entfernung und Parkmöglichkeit) sollte ebenso gegeben sein. Unterflursysteme werden nur in den Niederlanden verwendet. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass dieses System nicht geeignet ist, die Qualität der eingeworfenen Alttextilien zu erhalten. Das Hauptproblem ist, dass die Textilien feucht werden und so zum Großteil nicht mehr wiederverwendet werden können. Des Weiteren kann bei der Entleerung der Container keine erste Sichtung der Sammelware erfolgen, um ggfls. Störstoffe oder nasse Waren zu entfernen. Vor diesem Hintergrund hat das niederländische Ministerium für Umwelt (Rijkswaterstaat Environment) in Zusammenarbeit mit Alttextilverband VHT und NVRD, der Verband der Kommunalbetriebe für Abfallwirtschaft- und -reinigung und VND eine Richtlinie entwickelt, um die Alttextilsammlung qualitativ hochwertig zu gestalten und insbesondere Querkontamination mit anderen Abfällen zu verhindern (VANG 2020).

Insgesamt sehen alle Länder die Depotcontainersammlung als guten Kompromiss an, große Alttextilmengen mit einer guten Qualität erfassen zu können. Die Alttextilien werden händisch entnommen und können bereits am Container einer ersten Sichtung unterzogen werden, um offensichtliche Störstoffe von den Alttextilien zu trennen. Um die Störstoffe grundsätzlich zu vermeiden, sind folgende Punkte relevant: die Standplatzauswahl, Containerbeschaffenheit und Beschriftung sowie die allgemeine Kommunikation zur Alttextilsammlung.

Statistik und Reporting

In Frankreich ist das Reporting dezidiert geregelt. EcoTLC, das akkreditierte System für Textilien, ist gegenüber der Umweltbehörde verpflichtet, jährlich einen Mengenstromnachweis zu dokumentieren. Diese Vorgaben sind auf die Sammler und Sortierer in Vereinbarungen übertragen. Beispielsweise sind die Standplätze der Container bzw. Sammelstellen zu melden. Darüber hinaus müssen Angaben zu den erfassten, wiederverwendeten und verwerteten Mengen gemacht werden. Die Anlagenbilanzen der Sortieranlagen werden jährlich im Rahmen eines Audits überprüft.

In den anderen Ländern werden kommunale Abfallmengen im Rahmen der landesweiten Dokumentation erfasst. Für Alttextilien ist das aber häufig nicht der Fall, da die kommunale Erfassung in allen Ländern eine untergeordnete Rolle spielt. Da Alttextilien in Dänemark nicht unter das Abfallregime fallen, gibt es auch keine Dokumentationspflicht. In den Niederlanden wurde entschieden, eine „Mass Balance“ für Haushaltsabfälle, also auch für Alttextilien einzuführen. Das Ministerium für Umwelt (Rijkswaterstaat Environment) hat erstmals in 2014 (mit Bezugsjahr 2012) begonnen, alle relevanten Daten in Bezug auf den Konsum, die Sammlung, Sortierung und Verwertung durch Befragungen zusammenzutragen. Im April 2020 wurden die Daten für 2018 veröffentlicht. Die Rücklaufquote der Befragung lag bei 70 %, sodass sich das Monitoring weiter verbessert hat. In Großbritannien gibt es für die Sammler keine Anforderung, Mengen zu melden. Alle verfügbaren Daten zu Alttextilien werden in verschiedenen Studien zusammengeführt. Maßgeblich verantwortlich ist die Non-Profit Organisation WRAP (Waste and Resources Action Programme). Da es in Belgien eine Getrennsammelpflicht für Alttextilien gibt, sind die Mengen auch zu melden. Aus diesem Grund müssen alle Sammler ihre erfassten Mengen monatlich an die Kommune und einmal im Jahr an die Landesbehörde melden. Sortierunternehmen müssen den Input von in Belgien gesammelter Ware melden sowie den anteiligen Sortierrest.

Insgesamt ist festzustellen, dass es teilweise große Schwächen in den Statistiken gibt. Nur in Frankreich und für Sammelmengen in Belgien gibt es konkrete Vorgaben für eine landesweite und einheitliche Dokumentation. In Großbritannien und Dänemark gibt es ausschließlich Datensammlungen seitens Forschungsunternehmen oder -institute. Durch die Übernahme der Datenbeschaffung seitens der niederländischen Umweltbehörde, konnte für diese Studie eine breite Akzeptanz bei allen Akteuren geschaffen werden, sodass die Datenlage präzise scheint.

9.6.2 Verbrauch und Erfassung von Alttextilien

Die Sammelmengen sind mit Ausnahme von Frankreich alle geschätzt. Sie stammen aus Studien oder Abschätzungen von Branchenverbänden. Hinsichtlich der Datenqualität wird auf den vorgenannten Punkt „Statistik und Reporting“ verwiesen. Die Zusammensetzung der Alttextilien in den einzelnen Ländern unterscheidet sich zum Teil, sodass die Werte auch aus diesem Grund nicht 1:1 vergleichbar sind. Dennoch geben die Informationen insgesamt Aufschluss über das Sammelverhalten und den Marktanteil der verschiedenen Akteure.

Tabelle 114 Abschätzung Verbrauch, Sammelmengen und Sammelquote Ländervergleich

	Deutschland ³	Belgien	Dänemark ^{1,2}	Frankreich ²	Niederlande	Großbritannien
Verbrauch (t/a)	1.560.000	175.462	75.000	624.000	305.000	1.629.000
Verbrauch (kg/EW*a)	18,8	15,0	13,1	9,3	17,7	24,6
Sammelmenge (t/a)	1.000.000	120.000	36.000	239.000	136.000	620.000
Sammelmenge (kg/EW*a)	12,0	10,3 (8,1 ⁴)	6,3	3,6	7,9	9,4
Sammelquote	64 %	68,4 % (54 %⁴)	48 %	38 %	44,6 %	38 %

1 ohne Schuhe

2 ohne Accessoires

3 inkl. Taschen und Lederwaren

4 Daten Region Flandern

9.6.3 Sortierung und Verwertung

Die inländische Sortier- und Verwertungsstruktur ist sehr unterschiedlich. Dänemark hat nur eine Sortieranlage mit einer Kapazität von ca. 1.000 t pro Jahr. Ansonsten werden die nicht auf den dänischen Markt vermarktbar Textilen zusammen mit den nicht mehr tragbaren exportiert. Insgesamt wird geschätzt, dass ca. 10.000 t an Second-Hand-Bekleidung auf dem dänischen Markt verbleiben, 21.800 t werden exportiert. Für den Export findet teilweise eine grobe Sichtung statt, um beispielsweise verschmutzte Textilien oder Störstoffe zu entfernen. Im Zusammenhang mit der Verwertung von Textilien gibt es sehr wenige Initiativen, die sich mit der Produktion von Non-Woven Produkten (Vliesstoffen) beschäftigen; insgesamt verarbeiten diese aber nur ein paar Hundert Tonnen im Jahr.

Auf der anderen Seite gibt es in den Niederlanden eine stark ausgeprägte Sortierinfrastruktur. Es wurden in 2018 insgesamt 155.000 t Alttextilien sortiert, wobei die eigenen Sammelmengen in Höhe von 57.000 t ca. 42 % ausmachen. 98.000 t wurden aus Belgien, Deutschland und Frankreich importiert. Dagegen gibt es nur eine geringe Anzahl von Recycling- und Putzlappenbetrieben. Allerdings sind Textilien in die Circular Economy Aktionen der Regierung integriert wie Dutch Circular Valley (www.dutchcirculartextile.org). Hier gibt es eine Vielzahl an Projekten, die sich mit dem Faser-zu-Faser-Recycling beschäftigen. In Großbritannien werden die Mengen, die nicht in den Charity Shops abgegeben werden, größtenteils exportiert. Zu den inländischen Sortierkapazitäten gibt es keine Informationen. Großbritannien erhält generell keine ausländische Sammelware zur Sortierung. In der Region West Yorkshire gibt es ca. 20 Unternehmen mit Putzlappenbetrieben und Reißereien. In Frankreich ist die Sortierlandschaft durch das EcoTLC – System geprägt. EcoTLC fördert den Aufbau von Sortierbetrieben, die insbesondere Arbeitsplätze des 2. Arbeitsmarktes schaffen. Es gibt ca. 160.000 t Sortierkapazitäten in Frankreich, was 50 % der französischen Sammelmenge entspricht. Insgesamt sind 52 Sortieranlagen bei EcoTLC registriert, die eine durchschnittliche Kapazität von 3.000 t pro Jahr haben. Die restlichen Mengen werden exportiert, Hauptabsatzländer sind Belgien, Holland, Deutschland, Portugal, Tunesien und die Vereinigten Arabischen Emirate. Für

die Herstellung von Putzlappen sind Betriebe in einer Größenordnung von ca. 5.000 t und für Reißware von ca. 15.000 t vorhanden.

9.6.4 Strategische und politische Entwicklungen

Gibt es Pläne, die aktuellen Rahmenbedingungen zu ändern?

In Belgien gibt es nach Angaben des Verbandes Denuo aktuell Diskussionen, die freiwillige Rücknahme in das Abfallregime zu überführen. Da in Belgien bereits die Getrennterfassung umgesetzt ist, sind aus Sicht der Regierung die Anforderungen der Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie (EU) 2018/851) in Bezug auf die getrennte Erfassung von Textilien erfüllt. Die Regierung ist der Auffassung, dass noch immer zu viele Textilien im Restmüll landen; der erste Schritt zur Verbesserung der Sammelquote war somit die Verpflichtung, Sammelcontainer so zu beschriften, dass auch kaputte Textilien miterfasst werden. Vor dem Hintergrund der allgemeinen Entwicklung im Alttextilrecycling und dem Trend, dass der zur Vorbereitung zur Wiederverwendung ungeeignete Anteil weiter ansteigen wird, wird eingeschätzt, dass Maßnahmen zur Förderung des Textilrecycling eingeleitet werden müssen.

Das dänische Bundesumweltamt hat eine Studie beauftragt zur Evaluierung der Alttextilerfassung in den Nachbarregionen (Watson et al., 2019). Ziel der Studie ist eine Datengrundlage zu schaffen, um die Anforderungen zur Getrennterfassung von Textilien in nationales Recht umzusetzen. Unabhängig davon wurde im Juni 2020 entschieden, dass der Adressat der Getrennterfassung von Textilien die Kommune sein soll (Klimaplan 2020). Die Umsetzung hat bereits zum 01.01.2022 zu erfolgen und startet somit deutlich früher als Vorgabe der EU Direktive (Richtlinie 2008/98/EG). Im Rahmen dieser Studie sind auch Alttextilien aus dem Behörden- und Geschäftsbereich, Arbeitsbekleidung ohne besondere Schutzfunktion betrachtet worden. Der Anteil dieser Bekleidung beträgt immerhin 12 % des gesamten Konsums. Es wird eingeschätzt, dass dieser (oftmals homogene) Mengenstrom in zukünftige Regulierungen mit einbezogen wird.

Auf Basis der Erkenntnisse wird empfohlen, die politischen Maßnahmen über die Einführung einer Getrennterfassung von Textilien zu erweitern, zum einen um den Konsum zu reduzieren, aber auch die Recyclingfähigkeit von Textilien sicherzustellen. Aus Sicht der Forschungsnehmer bedarf es Regelungen zum Ökodesign, die die Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit fördern, Geschäftsmodelle, die die Textilien solange wie möglich im ursprünglichen Zustand halten sowie einen nachhaltigen Konsum.

In den Niederlanden soll die erweiterte Herstellerverantwortung für Textilien eingeführt werden. Detaillierte Pläne gibt es bislang nicht. Es gibt u.a. Überlegungen, die Definition für Alttextilien zu konkretisieren und könnte wie folgt aussehen: Bekleidung, Haustextilien und möglicherweise auch Schuhe (sowohl von Haushaltungen als auch Geschäftsbereichen inkl. Öffentlicher Sektor). In diesem Zusammenhang wurden bereits einige strategische Maßnahmen getroffen mit dem Ziel, eine textile Kreislaufwirtschaft aufzubauen. Die Regierung hat in 2017 in Zusammenarbeit mit Modint, dem niederländischen Bekleidungs- und Textilverbandes eine Roadmap für eine textile Kreislaufwirtschaft veröffentlicht (Dutch Circular Textiles Platform 2017). Daraus haben sich u.a. viele Initiative in allen Bereich der Wertschöpfungskette entwickelt. Darüber hinaus gibt es weitere Initiativen aus dem European Clothing Action Plan Projekt (ECAP). Zuletzt hat das Ministerium für Infrastruktur und Wasserwirtschaft mit Schreiben vom 14. April 2020 ein Richtlinienprogramm für eine textile Kreislaufwirtschaft für den Zeitraum 2020-2025 veröffentlicht (government.nl 2020). Das Dokument enthält Maßnahmen für das Design und der Produktion, für den Konsum und der Gebrauchsphase sowie Maßnahmen für die anschließende Entsorgung. Ein Vorschlag für ein Modell zur Einführung

einer erweiterten Herstellerverantwortung wurde für das Frühjahr 2021 auf Basis der Erkenntnisse einer beauftragten Studie angekündigt. Für die Erfassung und Verwertung von Textilien gibt es bereits konkrete Ziele:

2025: der Anteil der Recyclingfasern oder nachhaltigen Materialien soll mindestens 25 % sein für Textilien, die in den Niederlanden in Verkehr gebracht werden; davon sollten mindestens 30 % einem Recycling zugeführt werden, sofern nicht mehr trag- oder gebrauchsfähig.

2030: Anstieg der nachhaltigen Materialien in Textilien, die in Verkehr gebracht werden auf 50 %, wovon mindestens 30 % aus Recyclingfasern bestehen müssen; Anstieg der o.g. Recyclingquote auf 50 %

In Großbritannien gibt es keine konkreten Pläne. Die Regierung hat sich zum Circular Economy Package 2.0 der EU bekannt, mit der Folge, dass ab 2025 Alttextilien getrennt erfasst werden müssen. Allerdings hat die Regierung einen rechtlichen Rahmen geschaffen, um die erweiterte Herstellerverantwortung für verschiedene Abfallströme einzuführen, u.a. auch für Textilien, die als einer der relevanten Abfallströme identifiziert wurden. In 2019 wurde vom Umweltsprüfungsausschuss des House of Common ein Bericht über den Verbrauch und die Nachhaltigkeit von Kleidung „Fixing Fashion“ veröffentlicht. Der Bericht „Fixing Fashion“ (parliament uk 2019) bewertet u.a. die Umweltauswirkungen, geht auf das Abfallproblem aufgrund des steigenden Modekonsums ein und empfiehlt, dass die Regierung Rahmenbedingungen für eine Vielzahl einzelner Themen festlegt. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund dieser Grundlagen eine Strategie für Textilien entwickelt wird.

Am 10. Februar 2020 wurde in Frankreich ein Gesetz in Bezug auf die Implementierung einer Kreislaufwirtschaft und den Kampf gegen Verschwendung verabschiedet (Loi n° 2020-105 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire). Diese Vorgaben betreffen auch Textilien. Neben dem Vernichtungsverbot von unverkäuflichen Produkten wie beispielsweise Bekleidung und Schuhe sind auch Regelungen zur Sammlung und Verwertung von Textilien (siehe Art. L. 541-10-8) siehe sowie Ziele für die erweiterte Herstellerverantwortung enthalten (siehe Art. L. 541-10 ff).

Diese Ausrichtung hat auch Einfluss auf die bestehende Organisation, die die Rücknahmeverpflichtungen bis heute umsetzt. EcoTLC hat Ende 2019 eine weitere Genehmigung bis 31.12.2020 erhalten. In 2020 wurde die Organisation umfirmiert auf den Namen Refashion (<https://refashion.fr/pro/fr>). Die Namensänderung soll auch eine neue Vision zum Ausdruck bringen. Neben der Unterstützung beim Aufbau von Recyclingaktivitäten möchte die Organisation auch die Transformation von einer linearen zu einer zirkulären Kreislaufwirtschaft fördern, beispielsweise durch verschiedene Programme, die Bereitstellung verschiedener Informationen und durch das Vernetzen verschiedener Akteure.

9.6.5 Zukunft des Textilrecyclings

Im Rahmen der Interviews wurde auch nach der Einschätzung zur Entwicklung des Textilrecyclings in den nächsten 5-10 Jahren gefragt. Die Beantwortung basierte auf folgende Leitfragen:

- ▶ Welche Herausforderungen sehen Sie bei der Einführung einer obligatorischen getrennten Sammlung gebrauchter Textilien?
- ▶ Was sind die technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Herausforderungen für die Wiederverwendung und das Recycling gebrauchter Textilien?

- Welche Aktivitäten auf politischer Ebene und innerhalb der Branche sind notwendig, um ein qualitativ hochwertiges Recycling zu ermöglichen?

Alle Länderexpert*innen stimmen überein, dass ansteigende Alttextilmengen insgesamt, aber auch der steigende Anteil an Alttextilien, die weder trag- noch marktfähig sind, ein großes Problem darstellen, wenn nicht bald eine auf die Mengen und Qualitäten der eingesammelten Alttextilien abgestimmte Recyclingwirtschaft aufgebaut wird. Die Herausforderung liegt nicht in der Sammlung der Alttextilien, sondern im Vorhandensein von Absatzmärkten für Alttextilien.

Zwei Befragte gehen auch auf den steigenden Modekonsum ein, der aus Sicht der Befragten durch Anpassung der Fast Fashion Geschäftsmodelle reduziert werden muss. Geschäftsmodelle, die auf Langlebigkeit der Bekleidung beruhen, sollen gefördert werden. Insbesondere muss sich auch das Konsumverhalten, immer (neue) Bekleidung zu kaufen, ändern. Konsumenten in Westeuropa sollen motiviert werden, Second-Hand-Mode zu kaufen. Da die meisten Second-Hand-Waren außerhalb von Europa verkauft werden, ist es darüber hinaus zwingend notwendig, die Absatzmärkte für europäische Waren offen zu halten. Der Einfluss der chinesischen Aktivitäten in Afrika ist bereits heute groß und hat Auswirkungen auf die Vermarktbarkeit der europäischen Waren.

Alle fordern eine echte Kreislaufwirtschaft, vom ökologischen Design neuer Produkte bis zur Integration von recycelten Materialien in die Herstellung neuer Produkte. Zur Schließung des Kreislaufes bedarf es einer Recyclingindustrie, die in der Lage ist, die zu recycelnden Produkte und Materialien so vorzubereiten, dass auch ein Faser-zu-Faser Recycling möglich ist. Die Automatisierung bestimmter Prozesse ist dabei unerlässlich und die Recyclingtechnologien müssen massentauglich sein und im industriellen Maßstab umgesetzt werden können.

Alle Befragten sehen es als wichtig an, dass gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, die den Einsatz von Recyclingfasern fördern und vereinfachen durch Förderung der Substitution von Neuware durch Recyclingmaterial in allen Branchen. Parallel muss die Nachfrage durch Vorgaben zum Mindesteinsatz von Recyclingfasern gesteigert werden. Aufgrund des komplexen Abfallstromes sollte auch chemisches Recycling gefördert werden.

9.7 Verwertung von Alttextilien

9.7.1 Einführung

Der Abfallstrom Alttextilien besteht aus unterschiedlichen, zu Abfall gewordenen Produkten wie Bekleidung, Haustextilien, Schuhe und Accessoires. Die Besonderheit dieses Abfallstromes im Vergleich zu anderen Abfallströmen wie PPK oder Kunststoffen ist, dass durch die Sortierung ein hoher Anteil einer Wiederverwendung zugeführt werden kann. Damit dieses Potenzial ausgeschöpft werden kann, bedarf es nach Fühßer, M. (2016) einer materialschonenden Erfassung der Alttextilien, um sie hochwertig verwerten zu können.

Nachfolgend werden unterschiedliche gängige Erfassungssysteme für Alttextilien betrachtet. Bei der Bewertung soll überprüft werden, welche qualitativen Kriterien die einzelnen Systeme für eine materialschonende Erfassung von Alttextilien aufweisen. Des Weiteren wird beleuchtet, über welches Sammelpotenzial das jeweilige Erfassungssystem verfügt. Die Ergebnisse beinhalten Einschätzungen einer Expertenbefragung, an der der bvse, FairWertung und die GfZ teilgenommen haben. Die Bewertung basiert auf einem Schulnotensystem. Dem geringsten Sammelpotenzial „sehr gering“ wurde dabei fünf Punkte zugewiesen, dem größten Sammelpotenzial „sehr hoch“ einen Punkt. Für die qualitative Bewertung des jeweiligen Sammelsystems erfolgt die Bewertung gleichermaßen entlang der 5-stufigen Abfallhierarchie.

9.7.2 Erfassung von Alttextilien

9.7.2.1 Holsysteme

Erfassungssysteme, die Alttextilien am Haushalt erfassen, sind für den Abfallerzeuger grundsätzlich bequem und sollten im Vergleich zu Bringsystemen über eine hohe Sammelquote verfügen. Für Alttextilien sind nachfolgende Holsysteme im Einsatz:

Die Straßen – bzw. Körbchensammlung ist ein seit vielen Jahren praktiziertes Sammelsystem, das allerdings mittlerweile seine Bedeutung verloren hat. Heute werden ca. 2,1 % (siehe Kapitel 9.2.2) der Alttextilien im Rahmen dieser Sammelart erfasst. Das „Ausmisten“ ausgedienter Bekleidung findet nicht mehr saisonal statt. Die Sammlung wird aber aufgrund des hohen Personalaufwandes maximal zweimal im Jahr durchgeführt. Deshalb müssen Alttextilien lange zwischengelagert werden. Vor diesem Hintergrund wird das Sammelpotenzial als mittelmäßig bewertet. Betrachtet man die Qualität der eingesammelten Alttextilien werden von allen Experten bestätigt, dass der Anteil an Alttextilien, die zur Wiederverwendung vorbereitet werden, hoch ist und der Anteil an Fremd- und Störstoffen gering ausfällt. Der Anteil, der einer stofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt werden muss, da die Alttextilien nicht mehr tragbar sind und / oder kein Absatzmarkt vorhanden ist, wird als mittelmäßig angesehen.

Ein weiteres Holsystem ist die Gestellung von Müllbehältern am Haushalt, deren Sammlung durch Pressmüllfahrzeuge erfolgt. Im Gegensatz zur Straßensammlung findet hier in der Regel eine 4-wöchige Abholung statt. Der Haushalt verfügt nicht über eine separate weitere Tonne, vielmehr wird die Tonne für die Sammlung von PPK (Papier, Pappe, Kartonage) im Wechsel genutzt (Duo-Tonne). Vor diesem Hintergrund wird die potentielle Sammelmenge auch als mittelmäßig angesehen wird. Aus qualitativen Gesichtspunkten wurde bemerkt, dass das Sammelgemisch eine eher geringe Qualität aufweist, da die Fehlwurfquote analog der Sammlung von Leichtverpackungen mittels Müllbehälter als hoch eingeschätzt wird.

9.7.2.2 Bringsysteme

Bei den Shops ist die Unterscheidung zwischen Kleiderkammern, die von gemeinnützigen Organisationen betrieben werden (Second-Hand-Läden) und von Rücknahmestellen des stationären (Bekleidungs-) Einzelhandels vorzunehmen. Die Abgabe von gebrauchten Textilien in Kleiderkammern oder Second-Hand-Läden ist in der Regel keine Abfallsammlung, da es um die Abgabe einzelner Kleidungsstücke geht, die zum unmittelbaren Weitergebrauch abgegeben oder verkauft werden. Aus diesem Grund wird der Anteil der Textilien, die zur Wiederverwendung vorbereitet werden von allen als sehr hoch angesehen und im Umkehrschluss ist nur ein sehr geringer Anteil an gebrauchten Textilien vorhanden, die nach erfolglosem Verkauf oder Weitergabe einer Verwertung zu geführt werden muss. Die Sammlung durch den stationären Einzelhandel wird dagegen generell als Abfallsammlung eingestuft (VG Würzburg, Urteil vom 10.02.2015 – W 4 K 13.2015). In verschiedenen Fällen wird auch geradezu beworben, dass gebrauchte Textilien unabhängig vom Zustand angenommen werden (H&M: Let's close the loop). Die Qualität bzw. der Anteil, der zur Wiederverwendung vorbereitet werden kann, wird mit gut bewertet, der Anteil an Fremd- oder Störstoffen wird dagegen als sehr gering eingestuft.

Für allen Annahmestellen gilt, dass die Abgabemöglichkeit durch die Öffnungszeiten begrenzt ist und je nach Rücknahmestelle eine Kontrolle stattfindet, sodass das Sammelpotenzial insgesamt als sehr gering angesehen wird.

Die Depotcontainersammlung auf öffentlichem oder privatem Grund stellt mit ca. 77 % (siehe Kapitel 9.2.2) den größten Anteil an den Sammelsystemen dar. Das System ist laut Einschätzung der Experten großflächig eingerichtet, sodass der Privathaushalt zeitenunabhängig und in seiner

Nähe die Möglichkeit hat, Alttextilien einzuwerfen. Insofern wird das Sammelpotenzial für dieses Sammelsystem als sehr hoch eingeschätzt. In Bezug auf die Qualität der erfassten Menge wird unterschieden zwischen der manuellen Erfassung (händische Entnahme der Alttextilien aus den Depotcontainern) und dem Hakenliftsystem (automatisches Öffnen der Bodenluke und Entleerung in ein Hakenliftfahrzeug). Generell wird eingeschätzt, dass die Qualität der Alttextilien eine durchschnittlich gute bis mittelmäßige Wiederverwendungsquote aufweist. Diese Aussage korreliert mit dem hohen bis sehr hohem Sammelpotenzial, da auch nicht mehr tragfähige Bekleidung eingeworfen wird. Darüber hinaus erfolgt der Einwurf (mit Ausnahme auf den Recyclinghöfen) anonym, sodass ein spürbarer Anteil an Fehlwürfen vorhanden ist. Der bvse hat in seiner Textilstudie 2020 (bvse 2020, S. 20) den Anteil an Schad- und Störstoffen auf 10,8 % beziffert, die direkt bei der Entnahme der Alttextilien aus dem Container separiert werden. Die manuelle Entnahme und erste Sichtung der Alttextilien verhindert somit, dass offensichtliche Störstoffe in den Stoffstrom zur Sortierung gelangen, da diese Mengen bereits vor Ort separiert werden. Darüber hinaus können lose eingeworfene Alttextilien in Säcke gepackt werden, damit sie bei der Verladung und dem Transport zur Sortieranlage vor Feuchtigkeit, aber auch vor Querkontaminationen geschützt werden. Dieses Handling ist bei einem Hakenliftsystem nicht gegeben. Aus diesem Grund wird beim Hakenliftsystem der Anteil an Alttextilien, die zur Wiederverwendung vorbereitet werden können, geringer eingeschätzt und der Anteil zur energetischen Verwertung von Alttextilien sowie der Anteil an Fremd –und Störstoffen als hoch bewertet.

Auf den Recyclinghöfen wird die Alttextilannahme in der Regel mittels Depotcontainer (mit manueller Entnahme) durchgeführt. Aufgrund der Öffnungszeiten und teilweise längeren Anfahrtswegen im Vergleich zu den vorgenannten Sammelsystemen auf öffentlichem oder privatem Grund wird das Sammelpotenzial als gering bis mittelmäßig eingeschätzt. Die Qualität wird aufgrund einer Vorort-Kontrolle dafür höherwertiger eingestuft, der Anteil zur stofflichen und energetischen Verwertung von Alttextilien sowie der Anteil an Fremd –und Störstoffen wird geringer eingestuft.

Die Online-Sammlung ist eine weitere neue Sammeloption, die im Bereich des Bringsystems eingeordnet wird, da der Privathaushalt das Paket in der Regel zu einer Annahmestelle des Logistikdienstleisters eines Online-Händlers bringen muss. Der Aufwand wird im Vergleich zu den anderen Sammelsystemen als sehr hoch eingeschätzt. Des Weiteren wird angenommen, dass je Versandvorgang nur eine geringere Menge verschickt werden kann, als bei der Abgabe bei anderen Sammelsystemen. Vor diesem Hintergrund wird das heutige Sammelpotenzial als gering eingestuft. Allerdings wurde auch bemerkt, dass der steigende E-Commerce-Handel dazu führen könnte, dass dieses Sammelsystem in der Zukunft einer größeren Bedeutung haben wird. Mittlerweile bieten einige Online-Händler die Rücknahme von gebrauchter Bekleidung an wie Zalando (Wardrobe), C&A (we take it back), OTTO (Platz schaffen mit Herz). Die Qualität der Sammelware wird als gut bewertet. In wieweit diese Rücknahmesysteme als Abfallsammlung eingestuft sind, ist nicht bekannt. Es gibt hierzu auch noch keine Gerichtsentscheidung, die diese Frage grundsätzlich geklärt hat. Unabhängig davon, wäre diese Fragestellung im Einzelfall zu prüfen, solange es keine Entscheidung zu Online-Sammlungen gibt.

9.7.3 Gesamtbetrachtung Sammelsysteme

Nachfolgend sind die Ergebnisse in einer Matrix aufgeführt. Alle Kriterien wurden mit einem Notensystem bewertet, das die Abstufungen von sehr hoch (1) bis sehr gering (5) beinhaltet.

9.7.3.1 Quantitative Kriterien

Ein Sammelsystem soll grundsätzlich geeignet sein, ein hohes Sammelaufkommen zu ermöglichen. Diese Bewertung soll auch den Aspekt der Einführung der Getrennterfassungspflicht für Textilien zum 01.01.2025 berücksichtigen.

Die Einschätzung auf Basis der Expertenbefragung in Bezug auf das Sammelpotenzial wird wie folgt bewertet:

Tabelle 115 Bewertung Sammelsysteme quantitative Kriterien

	RH	KK	SKS	DCM	DCH	Duo-Tonne	Online
Sammel-Potenzial	4	5	3	1	1	3	5

Legende: RH=Recyclinghof, KK=Kleiderkammer/Shops, SKS= Straßen- und Körbchensammlung, DCM= Depotcontainer manuelle Erfassung, DCH = Depotcontainer Hakenliftsystem, Duo-Tonne = Behälter für Pressmüllfahrzeuge, Online = Online-Sammlung

9.7.3.2 Qualitative Kriterien

Das Erfassungssystem soll eine möglichst hohe Wiederverwendung nach der Sortierung ermöglichen. Deshalb wurde für die qualitative Bewertung des Systems eine Gewichtung vorgenommen, indem die Ergebnisse der Expertenbefragung jeweils mit den nachfolgenden Prozentwerten gewichtet wurden:

1. Potenzial Vorbereitung zur Wiederverwendung (WV): 60 %
2. Verwertungspotenzial insgesamt (VW): 30 %
3. Anteil Fremd- und Störstoffe (FSS): 10 %

Tabelle 116 Bewertung Sammelsysteme qualitative Kriterien

Qualit. Kriterien	Gew.	RH	KK	SKS	DCM	DCH	Duo-Tonne	Online
1. WV	60 %	2	1	1	2	4	4	2
2. VW	30 %	3	2	3	3	3	3	2
3. FSS	10	2	1	1	3	5	4	1
Ergebnis	100 %	2,3	1,3	1,6	2,4	3,8	3,7	1,9

Legende: RH=Recyclinghof, KK=Kleiderkammer/Shops, SKS= Straßen- und Körbchensammlung, DCM= Depotcontainer manuelle Erfassung, DCH = Depotcontainer Hakenliftsystem, Duo-Tonne= Behälter für Pressmüllfahrzeuge, Online = Online-Sammlung

9.7.3.3 Bewertung Sammelsysteme qualitative und quantitative Kriterien

Zu Evaluierung, welches Sammelsystem sowohl die quantitativen als auch qualitativen Anforderungen erfüllt, sind die vorgenannten Ergebnisse zusammenzuführen. Hierbei wurde das Ergebnis der quantitativen Befragung mit 40 % bewertet und das Ergebnis der qualitativen Befragung mit 60 %.

Es gibt zwei Sammelsysteme, die ein schlechtes Sammelpotenzial aufweisen. Sowohl die Kleiderkammern / Shops als auch die Online-Sammlung wurde mit einer sehr niedrigen Sammelquote bewertet. Diese Systeme können insofern nur ergänzend in Verbindung mit anderen Sammelsystemen vorgehalten werden. Dies zeigt auch der geringe Anteil an Mengen,

die einer stofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt werden. Schlechtere Qualitäten werden demzufolge heute anderweitig erfasst. Würden diese Systeme alleine betrachtet, so würde der Anteil der nicht mehr trag- und marktfähigen Alttextilien ansteigen bzw. bei Nichtannahme (wie beispielsweise in Second-Hand-Läden) würden diese Alttextilien im Restmüll landen. Vor diesem Hintergrund werden diese beiden Systeme in der Gesamtbewertung nicht weiter betrachtet.

Tabelle 117 Bewertung Sammelsysteme qualitative und quantitative Kriterien

	RH	SKS	DCM	DCH	Duo-Tonne
Gesamt	3,9	2,8	2,8	4,2	4,9

Legende: RH=Recyclinghof, SKS= Straßen- und Körbchensammlung, DCM= Depotcontainer manuelle Erfassung, DCH = Depotcontainer Hakenliftsystem, Duo-Tonne = Behälter für Pressmüllfahrzeuge

Fazit

Vergleicht man nur die qualitativen Kriterien untereinander, so haben die Kleiderkammern / Shops sowie die Online-Sammlung die höchste Bewertung erzielt. Bezieht man aber das Sammelpotenzial in die Bewertung mit ein, so ist der Depotcontainer als manuelle Sammlung das ausgewogenste Sammelsystem zusammen mit der Straßen- und Körbchensammlung, wobei zu erwähnen ist, dass diese in der Regel nur zweimal pro Jahr durchgeführt wird. Beide manuellen Systeme sind geeignet, die Sammelware auch für die nachfolgende Beförderung zur Sortieranlage so zu behandeln, dass diese vor Witterung geschützt ist und eine Querkontamination während des Transports vermieden werden kann (Kietz et al., 2019).

Nach Angaben der Expert*innen steht eine hohe Sammelmenge zwangsläufig in Korrelation zu einer Verringerung der Qualität. Umso größer ist die Bedeutung einer materialschonenden Erfassung und Vermeidung von Querkontaminationen durch Fehlwürfe. Des Weiteren sollten die Privathaushalte verstärkt informiert werden, wie Alttextilien abgegeben bzw. eingeworfen werden sollen. Generell sollte die Aufmerksamkeit in der Bevölkerung für Alttextilien erhöht werden und mehr Verbraucheraufklärung stattfinden.

9.7.4 Vorbereitung zur Wiederverwendung von Alttextilien

Es gibt qualitativ unterschiedliche Sortierverfahren für Alttextilien. Aufgrund des hohen Potenzials dieses Abfallstromes, zur Wiederverwendung vorbereitet zu werden, ist generell jedes Sortierverfahren geeignet, das in hohem Maße die Wiederverwendung von Alttextilien vorbereitet.

Vorbereitung zur Wiederverwendung im Sinne des KrWG ist jedes Verfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wieder für denselben Zweck verwendet werden können, für den sie ursprünglich bestimmt waren. Für den Bereich der Alttextilien stellt die Sortierung als Vorbereitung zur Wiederverwendung die 2. Stufe der Abfallhierarchie dar (Kietz et al., 2019).

Nachfolgende werden typische Sortierverfahren hinsichtlich der vorgenannten Eigenschaft bewertet:

9.7.4.1 Negativsortierung

Bei der Negativsortierung werden ausschließlich Stör- und Fremdstoffe oder auch verschmutzte oder nasse Alttextilien entnommen. Diese kann bereits im Rahmen der Entleerung eines

Sammelbehälters erfolgen oder zentral an der Stelle, an der die eingesammelten Alttextilien erstmals abgeladen werden. Neben der Vermeidung von Querkontaminationen während der anschließenden Beförderung zur nächstgelegenen Sortieranlage kann es auch Ziel sein, die Sammelware für den Export vorzubereiten und im Rahmen dieses Vorgangs die Einhaltung der Export- bzw. Importbestimmungen zu prüfen. In den meisten Fällen wird das bereinigte Sammelgemisch in Säcke oder Big Bags verpackt. Aus diesem Grund bleibt der Abfallstatus für die gesamte (bereinigte) Sammelware bestehen, da es zu keinem weiteren Sortierschritt kommt. Das verbleibende Sammelgemisch könnte somit nur in ein energetisches Verwertungsverfahren gelangen oder müsste beseitigt werden. Die Negativsortierung stellt somit keine Vorbereitung zur Wiederverwendung dar.

9.7.4.2 Teilsortierung

Die Teilsortierung bezieht sich im Gegensatz zur Negativsortierung explizit auf die manuelle Entnahme werthaltiger, trag- und marktfähiger Produkte, die entweder einzeln oder als Produktgruppen zusammengefasst als Second-Hand-Ware vermarktet werden. Für diesen Anteil endet nach diesem Sortierverfahren die Abfalleigenschaft. Um den Sortieraufwand möglichst gering zu halten, ist davon auszugehen, dass dabei nicht alle trag- und marktfähigen Textilien gefunden werden. Der verbleibende Anteil ist somit weiterhin ein Gemisch aus unterschiedlichen zu Abfall gewordenen Produkten, das insgesamt nur einem energetischen Verwertungs- oder Beseitigungsverfahren zugeführt werden kann. Für die Zuführung in ein stoffliches Verwertungsverfahren muss dieser Anteil in einem nachgelagerten Sortierprozess, nach den Annahmebedingungen der einzelnen Verfahren sortiert werden.

9.7.4.3 Vollsartierung

Die Vollsartierung ist ein aufwendiger, meist mehrstufiger Sortierprozess. Im Rahmen der Vorsortierung werden die Säcke manuell geöffnet und das Sammelgemisch auf Basis des Zustandes jedes einzelnen Teils nach Tragfähigkeit in Kombination der Kenntnis eines vorhandenen Absatzmarktes, sortiert. Nicht mehr trag- und marktfähige Alttextilien werden dabei nach den verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten sortiert. Des Weiteren werden vorhandene Fremd- und Störstoffe entfernt. Für Alttextilien, die weder zur Wiederverwendung vorbereitet noch recycelt werden können, werden ebenso zu den energetischen Verwertungs- bzw. Beseitigungsverfahren sortiert. Insgesamt entstehen in diesem ersten Sortierprozess 40-50 Produktgruppen. Produktgruppen, die trag- und marktfähige Artikel enthalten, werden anschließend in der Feinsortierung in unterschiedlichste Qualitäten sortiert. Jedes einzelne Teil wird auf Basis der Qualität und der Anforderung der verschiedenen Märkte (klimatische oder kulturelle Bedingungen) in die finalen Artikel sortiert. Aufgrund der Artikelvielfalt entstehen am Ende des Sortierprozesses mindestens 200 Artikel, die weltweit vermarktet werden.

Die vorgenannte Prüfung jedes einzelnen Teils kann aus heutigem Stand der Technik nicht automatisiert werden. Automatisierte Sortiertechnologien können nur für den nicht mehr trag- und marktfähigen Anteil eingesetzt werden, die das Resultat einer manuellen Vorsortierung sind (Kietz et al., 2019).

9.7.4.4 Automatische Erkennung und Sortierung nach Materialart, Farbe oder anderen Erkennungsmerkmalen

Die nicht mehr trag- und marktfähigen Alttextilien werden bei einer Vollsartierung manuell in verschiedene Produktgruppen für ein Recyclingverfahren sortiert. Bei bestimmten Produktkategorien (wie T-Shirts, Handtücher, Hemden etc.) ist das eingesetzte Material (beispielsweise ein hoher Anteil an Baumwolle) sehr ähnlich. Insofern erfolgt die manuelle Sortierung in die verschiedenen Recyclingfraktionen auf Basis der Produktkategorie. Die

heutigen Recyclingbetriebe wie Betriebe, die Alttextilien zu Putzlappen verarbeiten oder die Reißware zur Vliesherstellung herstellen, arbeiten seit vielen Jahren mit Sortierunternehmen zusammen und haben sich entsprechend auf die Sortierqualität eingestellt, die beispielsweise für die Herstellung von Dämmmaterial vollkommend ausreichend ist. Für andere Anwendungen, wie zum Beispiel die Verarbeitung von Recyclingfasern zu Garnen zur Herstellung von neuer Bekleidung, bedarf es einer sehr präzisen Sortierung nach Material, ggfls. Farben und anderen Merkmalen. Diese Anforderung kann eine Sortierkraft durch pures Erfühlen nicht erfüllen. Die einzige Möglichkeit wäre, das vorhandene Textiletikett auf Materialart zu überprüfen. Circle Economy (2020) hat im Rahmen einer Studie „CLOTHING LABELS: ACCURATE OR NOT?“ die Kennzeichnung der Materialzusammensetzung auf Textiletiketten überprüft. Insgesamt wurde festgehalten, dass nur 59 % der Etiketten die korrekte Materialzusammensetzung enthielten. Gemäß der Europäischen Kennzeichnungspflicht von Textilien, darf die Abweichung der Materialzusammensetzung maximal +/- 3 % betragen. Bei der Bewertung sind Abweichungen von 5 % in das Ergebnis der korrekten Kennzeichnung zugeordnet worden, sodass die gesetzliche Toleranz bereits berücksichtigt wurde. Eine Etikettenprüfung wäre somit auch nicht zielführend unabhängig des enormen Personalaufwandes.

Insofern kann bei der Sortierung von Alttextilien nach Materialzusammensetzung eine automatische Erkennungstechnologie hilfreich sein, einen homogenen materialspezifischen Stoffstrom zu erzeugen. Es gibt einige Projekte bzw. (Pilot)- Anlagen in Europa, die Erkennungstechnologien einsetzen bzw. für Alttextilien prüfen:

Tabelle 118 Überblick NIR-Technologien zur Sortierung

Projekt	Beschreibung	Technologie	Publikation
FIBERSORT: Laufzeit: 2016-2020 Leitung: Circle Economy	Entwicklung der Fibersort-Technologie inkl. eines Sortierroboters zur maschinellen Aufgabe der Alttextilien. Ein weiteres Ziel ist es, alle relevanten Stakeholder zusammenzubringen, um die Schließung der textilen Kreisläufe voranzubringen.	NIR + Farbsortierung (Valvan)	https://www.fibersort.eu/
Telaketju: Leitung: VTT und LSJH Telaketju ist eine Gruppierung von Projekten und Netzwerken zum Aufbau einer Textilrecyclingindustrie in Finnland.	Ein Projekt bezieht sich auf die Entwicklung eines Handscanners zur Unterstützung der manuellen Sortierung. In 2019 wurde eine Pilotanlage in Turku installiert. Ziel ist es, die Technologie auch in einer automatischen Sortierung zu überführen.	NIR (Spectral Engines)	https://telaketju.turkuamk.fi/

Projekt	Beschreibung	Technologie	Publikation
SIPTex (Stufe 3): Laufzeit 2019-2021 Leitung: IVL Betreiber: sysav	Seit 2015 wird an der Entwicklung einer Sortierlösung gearbeitet, mit dem Ziel, Alttextilien hochwertig recyceln zu können (Stufe 1+2). Im Rahmen der letzten Projektstufe wird eine automatische Sortieranlage in industriellem Maßstab gebaut mit einer Jahreskapazität von 8.000t. pro Schicht. Der operative Start ist in 2020 geplant.	NIR + Farbsortierung (TOMRA)	https://www.vinnova.se/en/p/swedish-innovation-platform-for-textile-sorting-siptex/

Legende: NIR: Nahinfrarot Spektroskopie

9.7.4.5 Bewertung der NIR (Nahinfrarot Spektroskopie)

Die Technologie befindet sich für die Sortierung von Alttextilien noch in der Entwicklungsphase, die ersten Ergebnisse sind jedoch vielversprechend. Terra hat im Rahmen der Studie Veille sur les technologies de tri optique et de reconnaissance des matières textiles à l'échelle européenne (2020) eine Stakeholderbefragung durchgeführt, die insbesondere nachstehende Herausforderungen für automatische Erkennungstechnologien aufgeführt hat:

► Die Komplexität von Alttextilien

unterschiedlichste Zusammensetzung von Alttextilien von Monofasern über Fasergemische, die 2 oder mehr verschiedene Materialarten mit verschiedenen Anteilen aufweisen

► Erkennung von kleinen Anteilen anderer Materialien, wenn das Ziel ist, Alttextilien nur mit 100 % eines Materials (beispielsweise 100 % Baumwolle) auszusortieren. Oftmals sind geringe Anteile (2-5 %) an Elastan enthalten.

► Die Technologie analysiert die Oberfläche:

Insofern können Fehler in der Erkennung entstehen, wenn die Alttextilien mehrere Schichten an unterschiedlichen Materialien haben, ebenso kann die Konstruktion der Alttextilien oder die Beschichtung Einfluss auf die Erkennung haben.

► Farben:

Bei dunklen Farben behindern einige Pigmente (wie Ruß) die Erkennung des Materials. Im Vergleich zur Kunststoffsortierung bei Verpackungen sollen diese Pigmente in der Textilherstellung aber weniger Verwendung finden.

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass der Grad der Sortiertiefe von den einzelnen Recyclingverfahren abhängt und eingesetzte Technologien darauf abzustimmen sind.

Neben der reinen Sortierung nach Materialien wie Baumwolle, Polyester, Wolle, Polyacryl oder Mischungen daraus sind für bestimmte Recyclingverfahren weitere Informationen in Bezug auf eingesetzte Stoffe relevant, mit denen sich insbesondere nachfolgende Projekte befassen:

Tabelle 119 Überblick RFID-Technologie zur Sortierung

Projekt	Beschreibung	Publikation
Tex.IT Laufzeit: 2018-2021 Leitung: RI.SE	Das Projekt prüft die Möglichkeit, digitale Informationsträger wie RFID in Textilien zu integrieren, um neben der Erhöhung der Transparenz auch die Rückverfolgbarkeit für das Ende der Produktlebensdauer nutzen zu können. Ziel ist es Kenntnisse in folgenden Bereichen zu erlangen: Informations- und Datensammlungssysteme, Standardisierungsbedarf, Kosten, Auswirkungen der Integration	https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/informationssystem-framtidens-textilier-rfid
4RFID Laufzeit: 2018 - 2023 Leitung: Decathlon (EcoTLC Projekt)	Intension ist, Bekleidung mit einem RFID-Tag auszustatten, der 2 Informationen enthält (Materialzusammensetzung und die Farbe), um eine fehlerfreie Sortierung zu ermöglichen	https://www.ecotlc.fr/ressources/Documents_site/Chemins-Innovation2019_EN_BD.pdf (Seite 8)

Legende: RFID: englisch radio-frequency identification

9.7.4.6 Bewertung RFID- Technologie

Digitale Informationsträger, die in Kleidungsstücke oder andere Textilien integriert sind, können die Transparenz und Rückverfolgbarkeit der Textilien über die gesamte Wertschöpfungskette von der Produktion bis zum Ende der Lebensdauer erhöhen. Einige Modemarken wie H&M (Nedap 2017), Inditex (Barrie 2018) oder Adidas (RFID store) beabsichtigen die Implementierung dieser Technologie bzw. haben sie bereits in Bezug auf Logistikoptimierung, Lager/Store-Management und Bestellungen neuer Waren eingeführt. Insofern könnte diese Technologie auch für andere Zwecke wie der Sortierung von Alttextilien zur Anwendung kommen. Neben der Information über Materialzusammensetzung können eine Vielzahl an weiteren Informationen enthalten sein wie beispielsweise chemische Inhaltsstoffe oder Färbemethode, die für bestimmte Recyclingverfahren relevant sind. Allerdings wird auch zu prüfen sein, welche Auswirkungen die Tags selbst auf die Recyclingprozesse haben können. Ebenso bedarf es einer kritischen Marktgröße an Bekleidung und Textilien mit RFID-Tags, um relevante Stoffströme erzeugen zu können. Hierbei spielt die Verbraucherakzeptanz mit Blick auf den Schutz der eigenen Daten und die Transparenz für den Einsatz dieser Technologie ebenso eine Rolle.

9.7.4.7 Gesamtbetrachtung automatische Sortiertechnologien:

Abfallwirtschaftlich betrachtet sind automatisierte Sortiertechnologien nur für bereits vorsortierte Alttextilströme geeignet bzw. können unterstützend im Rahmen der manuellen Sortierung eingesetzt werden.

Die automatische Textilsortierung befindet sich immer noch in der Entwicklungsphase. Allerdings hat sie in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Um Textilabfälle für neue, hochwertige Recyclingverfahren vorzubereiten, ist eine präzise Sortierung insbesondere nach Materialart notwendig. Zusätzliche Sortierschritte wie die Sortierung nach Farben oder Ausschluss bestimmter nicht-textiler Bestandteile oder Substanzen sind weitere mögliche Anforderungen, die nachfolgend noch beleuchtet werden. In jedem Fall aber können diese Systeme die manuelle Sortierung unterstützen, um eine größtmögliche Wertschöpfung der Alttextilien zu ermöglichen.

9.7.4.8 Gesamtbetrachtung Sortiersysteme

Nachfolgend werden alle vorgenannten Sortiersysteme untereinander mit einem Punktesystem bewertet, das die Abstufungen von sehr hoch (1) bis sehr gering (5) beinhaltet. Bei der Bewertung wird angenommen, dass die jeweiligen Verfahren für sich alleine stehen. Da die Vorbereitung zur Wiederverwendung im Sinne der Abfallhierarchie das größte Wertschöpfungspotenzial darstellt, wird die Gewichtung der einzelnen Kriterien wie folgt vorgenommen:

- Sortierkosten: 10 % (SK)
- Potenzial Vorbereitung zur Wiederverwendung: 60 % (WV)
- Verwertungspotenzial: 30 % (VW)

Tabelle 120 Bewertung Sortiersysteme

Kriterien	Gew.	Negativ-Sortierung.	Teilsortierung.	Voll-Sortierung	Automatische Sortierung
SK	10 %	1	2	5	5
WV	60 %	5	3	1	5
VW	30	5	5	3	2
Gewichtetes Ergebnis	100 %	4,6	3,5	2,0	4,1

Fazit

Die Vollsartierung ist das einzige Sortiervfahren, dass die Wertschöpfung der gesammelten Alttextilien gemäß Abfallhierarchie umsetzen kann. Die Negativ- bzw. Teilsortierung bezieht sich nur auf einen Anteil der Sammelware, sodass der verbleibende Anteil in einem weiteren Sortierprozess für die einzelnen Verwertungsoptionen aufzubereiten sind. Maschinelle Sortiervfahren können in die Vollsartierung integriert werden bzw. stellen eine Ergänzung dar, um die Stoffströme insbesondere nach den Spezifikationen hochwertiger Recyclingverfahren zu sortieren.

9.7.4.9 Ressourcenschonungs- und Umweltentlastungspotenziale:

Durch die Vorbereitung zur Wiederverwendung wird der Lebenszyklus von Bekleidung, Haustextilien, Schuhe und Accessoires verlängert; über die tatsächliche Dauer gibt es keine genauen Aussagen. In Studien zur Bewertung des gesamten Lebenszyklus von Bekleidung werden hierzu unterschiedliche Annahmen getroffen, beispielsweise eine 50 %-ige Verlängerung (Benton et al., 2014, S. 66) oder das Weitertragen der Bekleidung von neun Monaten (WRAP 2017). Eine Studie für den Konsum in Deutschland ist hierzu nicht bekannt. Bei jeder Art von Rohstoff, den unterschiedlichen Produktionstechnologien und auch der Behandlung während der Gebrauchsphase gibt es unterschiedliche Umweltfaktoren, die für die Bewertung eine Rolle spielen. Insgesamt kann es im Zusammenhang mit dem tatsächlichen Konsum, dem Verbraucherverhalten während der Gebrauchsphase und am Ende des Lebenszyklus zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, sodass Studien aus anderen Ländern nicht 1:1 mit der Situation in Deutschland vergleichbar sind. Sie bilden jedoch eine fundierte Basis für das Aufzeigen der Effekte in Bezug auf den deutschen Kleiderkonsum. Nachstehend eine Zusammenfassung relevanter Aussagen aus verschiedenen Studien:

- ▶ Die Verlängerung des Lebenszyklus um 50 % reduziert insgesamt 8 % CO₂, 10 % Wasser und 4 % Abfall (WRAP 2017)
- ▶ Eine 70 %- Sammelquote von Alttextilien zur Vorbereitung zu Wiederverwendung reduziert CO₂ um 8 % (Benton et al., 2014, S. 124)
- ▶ Eine Verdopplung der Tragedauer von Bekleidung senkt den ökologischen Fußabdruck um 49 % (Sandin et al., 2019)
- ▶ Verzichtet der Konsument auf den Kauf von 3 Kleidungsstücken, so spart er 57 kg CO₂-Äq (Milieu Centraal)

In Deutschland kaufen Verbraucher*innen im Durchschnitt sechzig Kleidungsstücke pro Jahr (BMU o.J.). Würde auf 10 % der Bekleidung verzichtet werden, so könnten insgesamt 9,5 Mio. t CO₂-Äq eingespart werden (Berechnung analog Milieu Centraal). Dies zeigt, wie groß die Auswirkungen des Konsums auf Ressourcen und Umwelt sind. Wird bedacht, dass ca. 40 % der Bekleidung ungenutzt im Kleiderschrank hängt (siehe Kapitel 9.2.1.3.1.2), so ist das Potenzial zur Umweltentlastung durch Änderung des Verbraucherverhaltens sehr hoch.

Die Umweltentlastung kann zum Beispiel durch den Kauf von Second-Hand-Waren erfolgen. Die Einsparungen sind ähnlich, da sich durch den Kauf von Bekleidung aus zweiter Hand die Produktion von Neuwaren ausgleicht. Allerdings setzt es voraus, dass es für noch tragfähige Bekleidung auch einen Absatzmarkt gibt.

9.7.4.9.1 Deutscher Absatzmarkt

In Deutschland ist die Nachfrage an Second-Hand-Waren recht gering. Eine Repräsentativumfrage des InNaBe Projektes in 2017 ergab folgende Vorbehalte zum Tragen von Bekleidung aus zweiter Hand:

- ▶ Auswahl zu klein (56 %)
- ▶ unangenehm zu tragen (48 %)
- ▶ minderwertige Qualität (40 %)

- zu ‚billig‘ –nur was für Bedürftige (39 %)
- nicht modisch (36 %)

Schätzungsweise können nur 1-2 % (Einschätzung Expertenbefragung) der Second-Hand-Waren aus aussortierten Alttextilien in Deutschland verkauft werden. Aufgrund der Billig- und Fast Fashion Anbieter ist aus preislicher Sicht auch kaum Bedarf vorhanden, Second-Hand-Mode zu kaufen. Um den Anteil zu steigern, wurde aus Sicht der Stakeholder empfohlen, den ökologischen Mehrwert in den Vordergrund zu stellen und die Verbraucher*innen im Rahmen der Klimadebatte aufzuklären und zu sensibilisieren, welche positiven Effekte das Tragen von Second-Hand-Mode hat. Ggfls. könnte der Second-Hand-Handel auch durch eine Mehrwertsteuerentlastung unterstützt werden.

Allerdings gibt es mittlerweile eine Vielzahl an online-Plattformen, die den privaten Verkauf von gebrauchter Bekleidung, Schuhe oder Accessoires organisieren (wie beispielsweise der Kleiderkreisel oder Mädchenflohmarkt). Diese Produkte verbleiben im privaten Umlauf und gelangen erst gar nicht in die Alttextilsammlung, was nach Angaben des bvse für die Wertschöpfung der Sortierer zunehmend ein Problem darstellt (bvse 2020). Wie hoch der Anteil genau ist, kann allerdings nicht beziffert werden.

Laut Online Monitor 2020 (Handelsverband Deutschland (HDE) (2020) macht der Online Handel im Bereich des Fashion- und Accessoires Marktes mittlerweile 30 % aus, was ein Anstieg von 1,33 % im Vergleich zum Jahr 2018 bedeutet. In jedem Fall ist vor dem Hintergrund des kontinuierlichen Anstiegs von E-Commerce davon auszugehen, dass dieser Aufwärtstrend anhalten wird. Auch Modemarken wie H&M (Krisch, J. (2019), Decathlon (second-use) oder Zalando (Wardrobe) haben den Second-Hand-Markt für sich entdeckt. Des Weiteren gibt es zahlreiche Modemarken, die das 2020 Commitment der Global Fashion Agenda (Global Fashion Agenda (2017) unterzeichnet haben und sich als eine der Ziele den Verkauf von Second-Hand-Mode gesetzt haben.

Darüber hinaus hat der Online Monitor 2020 ein Handelsszenario des Instituts für Handelsforschung in Köln für das Jahr 2030 veröffentlicht. Es wird geschätzt, dass das bewusste Handeln für den Umweltschutz beim Konsum an Bedeutung gewinnen wird. Die Nutzung von Second-Hand-Angeboten ist dabei mit 37% ein wesentlicher Bestandteil des nachhaltigen Konsumverhaltens. Dieser Konsumtrend kann insgesamt aber nur als nachhaltig betrachtet werden, wenn der Second-Hand-Kauf nicht zusätzlich zum Konsum von Neuwaren getätigt wird, sondern den Kauf von neuen Produkten tatsächlich ersetzt.

9.7.4.9.2 Globaler Absatz von Second-Hand-Ware

Der Großteil der in Deutschland aussortierten Second-Hand-Waren wird ins Osteuropäische bzw. außereuropäische Ausland exportiert. Vor dem Hintergrund der Transportentfernung und der teilweise anschließenden begrenzten Verwertungsmöglichkeiten insbesondere außerhalb von Europa soll nachfolgend darauf eingegangen werden, ob der Export von Second-Hand-Waren aus Alttextilien ins Ausland gleichermaßen ökologisch sinnvoll ist.

Die Skandinavische Studie „Exports of Nordic Used Textiles“ (Watson et al., 2016) hat unter anderen mit dem Export von Second-Hand ins Ausland auseinandergesetzt. Vergleichbar wie die sortierte Ware in Deutschland wird der Großteil nach Afrika oder andere Drittstaaten exportiert, deren Bevölkerung aus finanziellen Gründen auf Second-Hand-Ware angewiesen ist. Die Länder verfügen in der Regel nicht über getrennte Sammel- oder Verwertungsstrukturen, sodass die nicht mehr tragbare/n Bekleidung und Schuhe am Ende auf Deponien entsorgt werden.

Die Transportwege bzw. -entfernungen der Second-Hand-Waren können als vergleichbar mit denen der neu produzierten Ware angesehen werden, da die Bekleidungsindustrie eine globale Lieferkette hat.

Im Ergebnis wurde festgehalten, dass unter den nachfolgenden Voraussetzungen der Export von Second-Hand-Waren insgesamt einen ökologischen Nutzen hat:

- ▶ Im Rahmen der Sortierung müssen alle nicht wiederverwendbaren Alttextilien und nicht textile Abfälle entfernt werden.
- ▶ Es muss sichergestellt sein, dass die importierte Ware im Zielland vermarktungsfähig ist (konditionelle, kulturelle, klimatische Bedingungen). Zum einen sind die Importvorschriften der jeweiligen Länder zu beachten; darüber hinaus erfolgt die Abstimmung mit dem Händler vor Ort, was grundsätzlich eine längerfristige Zusammenarbeit bedingt.

Es wird unter diesen Voraussetzungen angenommen, dass die Second-Hand-Waren die Nachfrage nach neuen Textilien ausgleicht. Am Ende der Nutzungsdauer werden dann Second-Hand wie Neuwaren entsprechend der örtlichen Gegebenheiten entsorgt.

Fazit

Die Verlängerung der Lebensdauer durch die Vorbereitung zur Wiederverwendung reduziert einen Großteil der negativen Umweltbeeinträchtigungen der textilen Produktionskette. Dazu bedarf es effektiver Sammel- und Sortiersysteme, um die größtmögliche Abschöpfung trag- und marktfähiger Textilien, Schuhe und Accessoires zu gewährleisten. Um Second-Hand-Märkte bedienen zu können, ist langjährige Expertise notwendig und ein langjähriger Kundenstamm, mit dem sich verändernde Nachfragebedingungen (neue Trends etc.) abgestimmt werden können.

Der heute hohe Anteil an Alttextilien zur Vorbereitung zur Wiederverwendung in der Sammelware trägt zur Wertschöpfung der gesamten Alttextilbranche bei. Parallele Sammelsysteme- oder Ankauf- oder Verkaufsplattformen haben zur Folge, dass sich bestimmte Qualitäten aus der Alttextilsammlung ausschleichen werden. Der bvse schätzt in seiner Textilstudie 2020 ein, dass dadurch insbesondere die hochwertigen Qualitäten nicht mehr vorhanden sein werden, diese aber das Geschäftsmodell der Alttextilbranche insgesamt finanzieren (bvse 2020). Die neuen Geschäftsmodelle im Bereich B2C (englisch business to consumer) und die damit einhergehende Abschöpfung der hochwertigen Qualitäten aus der Alttextilsammlung wird nicht aufzuhalten sein. Die Ausprägung dieses Trends sollte auf lange Sicht überprüft werden. Bei signifikanter Veränderung der Zusammensetzung der Sammelware ist möglicherweise die Anpassung des heutigen Sammel- und Sortiersystems notwendig.

9.7.5 Recycling

Der Abschnitt befasst sich mit der nachgelagerten Stufe des Recyclings von Alttextilien. Dieser Stufe der Abfallhierarchie wird immer bedeutender, da die Menge der nicht mehr trag- und marktfähigen Alttextilien ansteigen wird (Bünemann et al., 2019).

Recycling im Sinne des KrWG ist jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Weniger als 1 % der Alttextilien wird für die Herstellung eines ähnlichen oder gleichen Produkts verwendet (Ellen Mac Arthur Foundation, 2017). Die heutigen gängigen Recyclingverfahren beziehen sich insofern auf Recyclingprodukte außerhalb der Bekleidungs- und Textilindustrie.

9.7.5.1 Verarbeitung zu Putzlappen

Alttextilien aus Baumwolle (wie T-Shirts, Hemden, Bettwäsche, Handtücher) eignen sich sehr gut für die Herstellung von industriellen Putzlappen. Diese werden in den Betrieben nochmals nach Materialeigenschaften (Trikotware, Flanell, Bettwäsche etc.) oder auch Farben sortiert und dann zugeschnitten. Sowohl die Sortierung als auch der Zuschnitt erfolgt manuell. Die gefertigten Putzlappen können dann zum Reinigen oder Polieren verwendet werden. Die Sortierung erfolgt insbesondere nach Materialeigenschaften wie Saugfähigkeit, fusselfreie Textilien oder Reißfestigkeit und auch nach Farben wie weiß, bunt hell oder bunt dunkel. Diese Putzlappen ersetzen nichtgewebte Stoffe aus Papier und Kunststoffen. Die Putzlappen werden von unterschiedlichsten Branchen aus Gewerbe und Industrie verwendet. Laut einer Umfrage beim Einzelhandel sind diese Putzlappen allerdings nicht für den privaten Bereich veräußerlich (Pokkyarath et al., 2014).

9.7.5.2 Reißware für die Vlies- oder Garnherstellung

Bei mechanischen Verwertungsverfahren von Textilfasern werden die Alttextilien zunächst vorzerkleinert. Dabei werden bereits Metall- und Kunststoffteile wie Reißverschlüsse und Knöpfe entfernt. Die kleinen Textilabschnitte gelangen dann in eine Mischkammer, von der sie dann in die Reißlinie geführt werden. Der erste Schritt ist das Öffnen der Textilstruktur unter Verwendung eines Zylinders mit groben Spitzen mit dem Ziel, die Faser freizulegen. Die Aufbereitungslinie ist so konzipiert, dass die Alttextilien / Alttextilfasern weitere Zylinder durchlaufen, die immer feinere Spitzen haben, sodass am Ende des Prozesses, bei dem ca. 6 Zylinder aneinandergereiht sind, die Alttextilien zu Fasern gerissen sind. Während des Reißprozesses werden auch Metallteile durch Magnetabscheider oder Knöpfe mechanisch entfernt.

Beim Reißprozess nimmt die Faserlänge grundsätzlich ab. Das Ergebnis hängt insbesondere vom Material und der Konstruktion des Textils ab, aber auch vom Umgang in der Gebrauchsphase (z.B. chemische Reinigung). Um die geforderte Qualität der Recyclingfaser für unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten erzeugen zu können, werden jeweils unterschiedliche sortierte Alttextilien wie kaputte Jeans oder Strickwaren verwendet.

Die Textilfaser ist thermisch und akustisch isolierend, sodass diese in folgenden Bereichen eingesetzt werden:

- ▶ Automobilindustrie: Verarbeitung im Boden eines Fahrzeugs, Kofferraum und Motorhaube, Hutablagen und Decken
- ▶ Hausisolierung sowie Interieur: Dachisolierung oder Deckenpaneele
- ▶ Andere Bereiche: Es gibt eine breite Palette von Einsatzmaterialien im Bereich der Matratzenherstellung. Wollreiches Material mit höherem Qualitätsgehalt, aber auch Acryl oder synthetisches Mischgestrick werden hier verwendet. Recycelte Textilfasern werden aber auch für die Polsterherstellung verwendet oder für Filtrationssysteme.

Für die Garnherstellung ist es wichtig, dass die Faser möglichst lang bleibt. Alttextilien aus Wolle werden seit vielen Jahren recycelt. Für die Gewinnung dieser hochpreisigen Faser, werden die Alttextilien aus Wolle nach Farben sortiert, alle nicht textilen Bestandteile bzw. andere Materialien vor oder während dem Recyclingprozess entfernt. Bezogen auf den weltweiten Fasereinsatz macht Wolle laut Textile-Network (2019) allerdings nur einen Anteil von 1 % aus.

Das Baumwollrecycling gewinnt zunehmend an Bedeutung. Es gibt bereits Bekleidung, die 15-20 % an recycelten Baumwollfasern enthalten. Des Weiteren wurden in mehreren Projekten versucht, die Qualität der Faser zu verbessern zum Beispiel durch Anpassung der Reißverfahren, da diese traditionell für die Vliesherstellung ausgelegt sind oder Herstellung verschiedener Fasermischungen wie die Hinzugabe von Produktionsresten aus Baumwolle oder synthetischen Fasern wie Polyester (Brouw od den, H. 2019).

Beim Interreg Projekt (RETEX o.J.) wurde u.a. die stoffliche Verwertung von Polyester-Bekleidung getestet und das Ergebnis im Rahmen eines Workshops vorgestellt (Verstraete, D. 2019). Die Fasern werden allerdings beim Reißprozess so kurz, sodass sie maximal für die Vliesherstellung verwendet werden können. In Kombination mit einem thermischen Verarbeitungsprozess konnten die Alttextilien aber zu Pellets verarbeitet werden, Voraussetzung ist, dass es sich um 100 % Polyester handelt. In der Zwischenzeit sind viele Projekte entstanden, die das Faser-zu-Faser-Recycling testen und um zu eruieren, für welche Alttextilströme es technisch und wirtschaftlich sinnvoll scheint, neue Verwertungskapazitäten aufzubauen (z.B. ECAP o.J.)

Grundsätzlich ist zu erwähnen, dass bei mechanischen Verwertungsverfahren keine Farben oder andere Substanzen entfernt werden und in der Recyclingfaser verbleiben. Je nach Einsatzgebiet sind deshalb noch weitere Sortierschritte notwendig, beispielsweise nach Farben oder um die Aussortierung bestimmter Alttextilien zu gewährleisten. Des Weiteren sind die Schadstoffgrenzwerte, die für das neue Produkt gelten, einzuhalten. Der mögliche Schadstoffeintrag von Alttextilien wird Im Kapitel 9.7.8 näher beleuchtet.

Zusammenfassung kann festgehalten werden, dass die Nutzung von Recyclingfasern den Wasser-, Energieverbrauch und CO₂ Ausstoß verringert, der insbesondere bei der Extraktion des Rohstoffes wie auch teilweise bei der Produktion von Textilien entsteht. Die Ressourcenschonungspotenziale sind hierbei auf das jeweilige Material zu betrachten (Roos et al., 2019). Farben und andere Substanzen bleiben allerdings enthalten und die Qualität der Faser wird durch den Recyclingprozess negativ beeinträchtigt. Das mechanische Recycling ist allerdings seit Jahren im Einsatz und im industriellen Maßstab verfügbar.

9.7.5.3 Chemische Verwertungsverfahren

Für bestimmte Alttextilströme können auch chemische Verwertungsverfahren in Betracht kommen. Stand heute befinden sich etliche Verfahren in der Entwicklungsphase. Es gibt nur einige wenige, die im industriellen Maßstab verfügbar sind. Die meisten Verfahren befinden sich im Versuchsaufbaustadium im Labor oder im Pilotanlagenstatus. Das Eingangsmaterial besteht Stand heute meist aus industriellen Abfällen, PET-Flaschen oder Textilfasern aus anderen Herkunftsbereichen.

Bei der chemischen Verwertung gibt es unterschiedliches Verfahren wie beispielsweise die Depolymerisation oder lösemittelbasierte Verfahren. Bei der Depolymerisation werden Polymere in Monomere oder kurze Polyketten zerlegt, um sie anschließend wieder zu polymerisieren oder ein Polymer aufzubauen. Bei dem lösemittelbasierten Verfahren wird das gewünschte Polymer abgetrennt und bleibt dabei in seiner Struktur erhalten. Im Bereich des biochemischen Recyclingverfahrens erfolgt die Aufspaltung durch Enzyme. Diese Verfahren ermöglichen es, eine vergleichbare oder teilweise bessere Qualität des ursprünglichen Materials zu produzieren, Farben und andere Substanzen werden während des Prozesses auch (größtenteils) entfernt. Generell sind dieses Verfahren für alle synthetischen Fasern geeignet, im Wesentlichen sind aber nur Recyclingtechnologien für PET oder Polyamid in der Entwicklung verfügbar (Roos et al., 2019).

Cellulosefasern wie beispielsweise Baumwolle können ebenso chemisch recycelt werden. Durch den chemischen Prozess entsteht eine Cellulose Pulp, der für die Herstellung von Cellulosefasern verwendet werden kann. Da Bekleidung häufig aus Mischfasern (Baumwolle und Polyester) hergestellt ist, fokussieren sich einige Verfahren auch auf das Recycling von Polyester-Baumwoll-Mischfasern.

Tabelle 121 Überblick chemische Recyclingtechnologien

Fasertyp	Output	Unternehmen
PET	PET	Ioniqua (Pilotanlage), Tejin (Eco Circle; kommerziell verfügbar)
PET	PET	CARBIOS (planen in 2020 den Bau einer Pilotanlage), biochemisches Verfahren
Polyamid	Polyamid, ECONYL®	Aquafil (Industrieabfälle, Fischernetze)
Baumwolle	Cellulosepulp	re:newcell (Pilotanlage von 7.000t, Industrieanlage in Planung)
Baumwolle	Cellulosepulp + Herstellung von Cellulosefaser	Lenzing (Refibra™)
Baumwolle	Cellulosepulp	VTT (inifinit Fibre Company)
Polyester und Baumwolle	Cellulosepulp + PET	WornAgain (Pilotanlage in Planung)
Polyester und Baumwolle	Cellulosepulp	Södra (in Weiterentwicklung bzgl. Entfärbung und Nutzung von Polyester)
Polyester und Baumwolle	Cellulosepulp + PET	Hongkong Research Institute (Pilotanlage in Koop. mit H&M), hydrothermisches chemisches Verfahren

9.7.6 Energetische Verwertung

Energetische Verwertungsverfahren kommen für Alttextilien in Betracht, wenn diese nicht für das Recycling geeignet sind. Das betrifft beispielsweise stark verschmutzte oder durchnässte Alttextilien. Für Alttextilien, die in Deutschland sortiert werden, besteht ein Zugang zu diesem Verwertungsverfahren; für den Anteil, der nicht in Deutschland sortiert wird, kann grundsätzlich keine Aussage gemacht werden, ob dieses Verwertungsverfahren verfügbar ist oder ob Alttextilien dann einem Beseitigungsverfahren zugeführt werden müssen.

9.7.7 Beseitigung

Die Beseitigung von Alttextilien ist dann gegeben, wenn sie einem Beseitigungsverfahren zugeführt werden. Da in Deutschland eine Deponierung für Alttextilien nicht mehr möglich ist und die Verbrennungsanlagen in der Regel nicht als Beseitigungsanlagen, sondern als Verwertungsanlagen eingestuft sind, ist davon auszugehen, dass in Deutschland keine Beseitigung von Alttextilien mehr stattfindet. Allerdings spielt diese Form der Abfallentsorgung außerhalb Deutschlands immer noch eine Rolle und kann dann für Alttextilien zum Tragen kommen, wenn diese exportiert und die nicht mehr trag- und marktfähigen Teile im Zielland auf Deponien entsorgt oder thermisch beseitigt werden.

9.7.8 Schadstoffeintrag

In der Produktion von Textilien werden eine Vielzahl an Chemikalien verwendet, um zum einen den Herstellungsprozess zu unterstützen und zum anderen sind sie Bestandteil des fertigen Erzeugnisses wie Farben, Prints oder Substanzen mit schmutz- und wasserabweisender Wirkung.

Im Rahmen einer Studie der Swedish Chemicals Agency (2014) wurden rund 2.400 verschiedene Substanzen identifiziert, die innerhalb der textilen Produktionskette potenziell verwendet werden. Ca. 5 % davon wurden als potentiell Umweltisiko eingeschätzt mit einigen wenigen, Substanzen, deren Einsatz gemäß REACH beschränkt ist.

Bei mechanische Verwertungsverfahren werden diese Substanzen nicht entfernt. In chemischen Verwertungsverfahren könnte es sein, dass sie den Auflöse – oder Depolymerisationsprozess stören. In jedem Fall müssen Recyclingprodukte je nach Anwendungsfall bestimmte Grenzwerte einhalten; insofern ist es wichtig, die Inhaltsstoffe zu kennen oder dessen Herkunft. Die schwedische Research Institute RI.SE hat in 2019 im Rahmen einer Studie eine Risikobetrachtung von Alttextilien in Bezug auf mechanische Verwertungsverfahren vorgenommen.

Hierbei wurden Alttextilien (T-Shirt, Hose, Jacke, Badebekleidung, Bettwäsche etc.) aus unterschiedlichen Materialien und Verarbeitungsprozessen untersucht, in wieweit nachfolgende gefährliche Substanzen im Textil auch nach der Gebrauchsphase enthalten waren:

- ▶ Per- und Polyfluorsubstanzen
- ▶ Halogenierte Flammschutzmittel
- ▶ Giftige Weichmacher
- ▶ Giftige Metalle
- ▶ Toxische Farbstoffe und Pigmente
- ▶ CMR-Biozide
- ▶ CMR-Lösungsmittel
- ▶ Spuren toxischer Abbauprodukte wie polycyclische Kohlenwasserstoffe (PAK), Dioxine und Dibenzofurane

Neben den gesetzlichen Grenzwerten wurden die Ergebnisse auch mit den Grenzwerten des STANDARD 100 by OEKO-TEX®. verglichen. Im Ergebnis hat kein Textil die gesetzlichen Grenzwerte überschritten. 15 von 20 Teile haben den OEKO-TEXT Standard erfüllt.

Unabhängig der vorgenannten Ergebnisse wurde bemerkt, dass Recyclingfasern nicht zu 100 % in neue Produkte eingesetzt werden, vielmehr werden sie mit Fasern aus dem ursprünglichen Material oder anderen Fasern gemischt, um die gewünscht Qualität des Textils herzustellen. Für den Einsatz von Recyclingfasern spielt insofern die Herkunft und Transparenz der Lieferkette eine besondere Rolle. Erfüllt das produzierte Textile die gesetzlichen Produkthanforderungen, so liegt der Schluss nahe, dass das zu Alttextil gewordene Produkt ebenso diese Anforderung erfüllt. Im Bereich des Verpackungsrecyclings wurde ein Zertifizierungssystem EuCertPlast entwickelt, das den Recyclern ermöglicht, die REACH Anforderungen zu erfüllen (EuCertPlast o.j.). Dieses System könnte auf das Alttextilrecycling übertragen werden bzw. bereits für

Textilien bestehende Zertifizierungen wie der Global Recycling Standard erweitert werden (Textile Exchange o.J.).

Speziell für Lederschuhe und Outdoorbekleidung wird immer wieder der Schadstoffgehalt im Produkt thematisiert. Um eine wasserabweisende Wirkung zu erzeugen werden in Outdoorbekleidung häufig Per- und Polyfluorsubstanzen eingesetzt. Greenpeace hat sich in einer Studie mit der Verbreitung gefährlicher per- und polyfluorierter Chemikalien auseinandergesetzt (Cobbing et al., 2015). Auch wenn die Outdoorbranche immer weiter von der Verwendung dieser Chemikalien absieht, sind viele Textilien noch im Umlauf, die nach der Nutzungsphase in einen Verwertungs- bzw. Beseitigungsweg gelangen. Das Umweltbundesamt verweist hierbei auf eine Studie der dänischen Umweltschutzbehörde aus dem Jahr 2015, wonach immer noch 50 % der hergestellten PFC für textile Anwendungen genutzt werden (Umweltbundesamt 2020).

Bei Erzeugnissen aus Leder können bei manchen Gerbverfahren Chrom VI- Verbindungen entstehen, die gesundheitsschädlich sind. Seit Mai 2015 gilt gemäß der Europäischen Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH-V) für Ledererzeugnisse oder Erzeugnisse, die Lederteile enthalten, die mit der Haut in Berührung kommen, ein Verkehrsverbot, wenn ihr Gehalt an Chrom VI 3 mg/kg oder mehr beträgt. Das Niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit hat in einem Projekt in 2017 verschiedene Ledererzeugnisse auf Chrom VI- Gehalt untersucht. Von 41 Proben wurden drei beanstandet.

Für Schuhe gibt es bislang aber keine ausgereifte Recyclingtechnologie, sodass keine Informationen bestehen, wie mit diesem potentiellen Schadstoffeintrag umzugehen wäre. (Thomson et al., 2012).

Grenzwerte für energetische Verwertung- bzw. Beseitigungsverfahren:

Alttextilien werden auch als Input in Ersatzbrennstoffanlagen genutzt. Diese haben im Vergleich zu energetischen Verwertungsanlagen hohe Qualitätskriterien (z.B. Ausschluss von Schwermetallen, die potentiell bei Alttextilien aus Leder vorkommen können). Ebenso sind teilweise Alttextilien mit einer bestimmten Struktur oder Zusammensetzung unerwünscht, da sie den Zerkleinerungsprozess stören können (z.B. Outdoorjacken mit dicken Füllungen und vielen nicht-textilen Anteilen). Insgesamt ist aber zu erwähnen, dass es sich bei Alttextilien aus der Sortierung um ein Gemisch aus unterschiedlichsten zu Abfall gewordenen Produkten handelt und einzelne unerwünschte Bestandteile vernachlässigbar sind.

9.7.9 Gesamtbetrachtung Verwertungsverfahren

Alttextilien sind ein komplexer Abfallstrom, für den es heute verschiedene Verwertungsoptionen außerhalb der Textilindustrie gibt. Nicht für alle nicht mehr trag- und marktfähigen Alttextilien gibt es eine Verwertungslösung. Alle Stakeholder schätzen ein, dass die Alttextilmenge insgesamt und der nicht mehr trag- und marktfähige Anteil sogar überproportional ansteigen wird. Die heutigen Sortier- und Verwertungskapazitäten werden nicht ausreichen, um die zukünftigen Sammelmengen zu verarbeiten. Die Gemeinschaft für textile Zukunft (Bünemann et al., 2019) geht aufgrund der Getrennterfassungspflicht von Textilien in Europa ab 2025 davon aus, dass die Sammelmengen um ca. 2,0 Mio. t pro Jahr ansteigen werden und ca. 1,3 Mio. t an neuen Recyclingkapazitäten benötigt werden. Des Weiteren werden Sortierkapazitäten benötigt, deren Investitionen bei sinkenden Preisen aus finanziellen Gesichtspunkten in Frage gestellt sind.

Aus Sicht der Stakeholder gibt es folgende technische und ökonomischen Herausforderungen für das Textilrecycling:

Technische Herausforderungen:

- ▶ Mangel an Information in Bezug auf Inhaltsstoffe/Materialarten
- ▶ Nicht-textile Anteile am Produkt
- ▶ Chemikalien im Produkt
- ▶ Gebrauch von Fasergemischen
- ▶ Verfügbarkeit von Infrastruktur zur Vorbereitung des Inputs für Recyclinganlagen
- ▶ Verfügbarkeit von Sortiertechnologie

Ökonomische Herausforderungen:

- ▶ Kaum finanzielle Unterstützung oder Anreize für die Investition neuer Technologien
- ▶ Hohe Sortier- und Aufbereitungskosten
- ▶ Fehlende Investitionssicherheit
- ▶ Recyclingfasern sind teurer als Neumaterial
- ▶ Kaum Nachfrage an Recyclingfasern

Folgende Maßnahmen helfen aus Sicht der Stakeholder das Recycling zu fördern:

- ▶ Circular Design
- ▶ Spezifische Recyclingquote für Alttextilien, auch verschiedene Recyclingquoten für unterschiedlichen Bereiche (Fashion, Funktionsbekleidung etc.)
- ▶ Wiedereinsatzquote von Recyclingfasern aus Alttextilien
- ▶ Förderung von Forschung und Entwicklung: der Forschung sollte mehr Freiheit eingeräumt werden, damit Neues entstehen kann. Forschungsvorhaben werden oftmals nicht genehmigt, da sie zu unkonkret sind.
- ▶ Erleichterung von Genehmigungen für Recyclinganlagen, Recycling muss gesellschaftlich gewollt sein
- ▶ Zum Aufbau von Verwertungsverfahren im industriellen Maßstab: Es gibt bereits Recyclingtechnologien, die eine staatliche Subvention für einen Projektzeitraum erhalten. Eine dauerhafte staatliche Unterstützung erscheint nicht nachhaltig und sinnvoll. Vielmehr sollten die Inverkehrbringer dauerhaft die Finanzierung der Wiederverwendung und der Verwertung sicherstellen; so wären Investitionen in neue Verwertungsverfahren finanziell abgesichert.
- ▶ Zusammenarbeit aller Akteure („Shared Knowledge“)
- ▶ In Bezug auf die Öffentliche Hand: Verpflichtung zum Einkauf von recycelten/recyclingfähigen Produkten bzw. langlebige Produkte

- ▶ Einheitliche Kontroll- und Nachweispflichten, die eine hochwertige Verwertung garantieren
- ▶ Klare Rahmenbedingungen, aber keine (zusätzlichen bürokratischen) Hürden
- ▶ Berücksichtigung der außereuropäischen Einflüsse (aufgrund des hohen Importanteils)
- ▶ Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung
- ▶ nationale Absatzmärkte für Recyclingfasern und Second-Hand-Ware aufbauen

Insgesamt wurde bemerkt, dass die Kreislaufwirtschaft eines systematischen Wandels bedarf, bei dem alle Akteure mit eingebunden sein müssen. Dabei sollte beachtet werden, dass auch neue Ansätze mit einfließen und nicht ein IST-Zustand manifestiert wird, der ggfls. hinderlich für den Wandel sein kann. Auch sollte die Vielfalt der Produkte und Funktionalitäten bei Textilien beachtet werden, die dazu führt, dass es auch einer Vielzahl von Strategien bedarf, eine textile Kreislaufwirtschaft zu implementieren.

Fazit

Die Alttextilsammlung in Deutschland sowie die Sortierung und Verwertung des Stoffstroms ist von der Privatwirtschaft aufgebaut und finanziert sich heute ausschließlich durch die Verkaufserlöse der aussortierten Second-Hand-Waren. Den gemeinnützigen Organisationen kommt in diesem Bereich ebenso eine bedeutende Rolle zu.

Bereits heute sind Qualitätsverschlechterungen der Sammelware erkennbar. Der hohe manuelle Sortieraufwand muss finanziell in Frage gestellt werden, wenn der Verkaufserlös durch die geringere Qualität der Sammelware die Kosten des Systems nicht mehr tragen kann. Die weiter steigende Alttextilmenge durch die Einführung der Getrennterfassung von Textilien ab 2025 in Europa wird den Effekt weiter verstärken. Der Preisdruck infolge eines größeren Angebots auf dem Second-Hand-Markt wird sich verschärfen. Darüber hinaus wird das Angebot an nicht mehr trag- und marktfähiger Alttextilien für ein Recycling die vorhandenen Kapazitäten übersteigen; bereits heute findet das Recycling kaum mehr in Deutschland statt und wird zunehmend auch ins außereuropäische Ausland verlagert. Parallel nimmt die Recyclingfähigkeit der Textilien aufgrund der Herstellungsweise von Bekleidung der (Fast-) Fashion Industrie ab. Zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft für Textilien bedarf es eines systematischen Wandels, der eine Vielzahl an Maßnahmen erfordert, damit Kreislaufwirtschaft gelingen kann.

9.8 Maßnahmenvorschläge

9.8.1 Einführung

Alttextilien sind ein heterogener Stoffstrom, für dessen Entsorgung sich gegenwärtig im überwiegenden Maß die private Alttextilbranche verantwortlich zeichnet. Die breit angelegte Sammelstruktur weist eine hohe Sammelquote von ca. 64 % aus; die Verwertungsquote liegt bei 96 %, wobei die nachgelagerten stofflichen Verwertungsverfahren kaum in Deutschland stattfinden. Alle Stakeholder gehen davon aus, dass der Alttextilmarkt infolge des Mengenanstieges und sinkender Qualitäten in eine finanzielle Schieflage gerät und Absatzprobleme entstehen werden. Die Getrennterfassungspflicht für Textilien ab 2025 forciert diese Entwicklung; alle Befragten im Rahmen des Auslandsvergleiches sehen diese Entwicklung gleichermaßen. Der EU-Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft beinhaltet die Entwicklung einer Textilstrategie, das Regelwerk soll die Wettbewerbsfähigkeit und Innovation in der Textilbranche stärken sowie die Herstellung nachhaltiger und kreislauffähiger Textilien

forcieren (Europäische Kommission 2020b). Das Maßnahmenpaket umfasst auch die Förderung der Sortierung, der Vorbereitung zur Wiederverwendung und des Recyclings von Textilien unter anderen durch Innovation, Förderung industrieller Anwendungen und Regulierungsmaßnahmen wie erweiterte Herstellerverantwortung.

9.8.2 Ableitung von Handlungsempfehlungen

Für die Ableitung von Handlungsempfehlungen wurden relevante Themenbereiche für die hochwertige Erfassung und Verwertung von Alttextilien auf Basis der Ergebnisse der Evaluierung identifiziert, die nachfolgend erläutert werden:

9.8.2.1 Förderung des Konsums nachhaltiger Produkte und der Umsetzung von Informations- und Beratungspflichten nach dem KrWG

Das Konsumverhalten hat einen großen Einfluss auf den Ressourcenverbrauch an Primärrohstoffen, Wasser sowie den Ausstoß von CO₂-Emissionen. In Deutschland liegt der Pro-Kopf-Ausstoß bei über 11,0 t an CO₂ Äquivalenten, wobei der Kauf von Textilien und Bekleidung knapp 3 % des durchschnittlichen Ausstoßes an Treibhausgasemissionen pro Person und Jahr ausmacht (Umweltbundesamt, 2019b). Neben dem Konsum ist auch der Umgang mit Textilien während der Nutzungsphase relevant sowie der Entsorgungsweg nach dem Gebrauch. Die lange Nutzung von Bekleidung ist ein wesentlicher Nachhaltigkeitsfaktor, die durch verschiedene Maßnahmen innerhalb des gesamten Lebenszyklus verbessert werden können. Deshalb sollte fortlaufend eine Sensibilisierung der Verbraucher*innen erfolgen in Bezug auf:

Kaufentscheidung /-verhalten:

Textile Produkte sollen wieder eine höhere Wertschätzung erfahren mit dem Ziel, dass Verbraucher*innen

- Weniger Einkaufen, aber dafür höherwertige Produkte
- Beim Einkauf auf nachhaltige Materialien achten, hierzu können Siegel hilfreich sein
- Second-Hand-Produkte einkaufen, Kleidung für spezielle Anlässe mieten oder tauschenden „

Nutzungsphase:

Der Gebrauch von Textilien spielt im Ressourcenverbrauch eine ebenso große Rolle. Unnötiges Waschen mit oftmals zu hohen Temperaturen schaden der textilen Faser und trägt zum höheren Energieverbrauch und Wasserbedarf bei. Verbraucher*innen sollen besser über die richtige Pflege der Produkte informiert werden. Des Weiteren tragen Reparaturangebote dazu bei, dass Textilien länger genutzt werden können.

Nach der Nutzung:

In Bezug auf die Entsorgung von Alttextilien sollten Verbraucher*innen einfachen Zugang zu Informationen über Abgabemöglichkeiten oder den Standorten von Containern haben; aber auch, wie Alttextilien zu verpacken sind, um die Qualität der Alttextilien zu erhalten. Darüber hinaus gehende Informationen über die Entsorgungswege für Alttextilien sind ebenso bedeutsam, um als Verbraucher*in nachvollziehen zu können, warum die schonende Handhabung der Alttextilien im Vergleich zu anderen Abfallströmen wichtig ist.

Für die vorgenannten Empfehlungen kommen verschiedene Adressaten in Betracht. Die Novelle des KrWG enthält hierzu bereits verschiedene Regelungen. Im § 46 KrWG wurden die Abfallberatungspflichten der öRE auf die Vermeidung von Abfällen und die Vorbereitung zur

Wiederverwendung erweitert; Maßnahmen sind insbesondere auf Basis § 33 (3) Nr. 2 KrWG sowie der Festlegungen des aktuellen Abfallvermeidungsprogramms, das auch Textilien mit einbezieht, zu legen. Des Weiteren wurde die Produktverantwortung nach § 23 KrWG deutlich erweitert. Neben der Einsparung von Ressourcen, die unter anderem auch die Unterstützung von Systemen zur Wiederverwendung und Reparatur (Nr. 4) beinhaltet, sind Hersteller und Vertreiber nach Nr. 9 verpflichtet, Verbraucher*innen zu beraten. Folgende Themen sollten dabei besonders adressiert werden:

Der Textileinzelhandel sollte Verbraucher*innen mobilisieren, sich stärker mit den Textilpflegesymbolen auf dem Etikett befassen und die Bekleidung nach Herstellerempfehlung zu pflegen. Die Erweiterung der Dienstleistungsangebote des Einzelhandels zur Reparatur von Bekleidung wäre darüber hinaus eine Maßnahme, die die Langlebigkeit von Textilien unterstützt. Durch Kampagnen von Modemarken für langlebige oder recyclingfähige Bekleidung können Verbraucher*innen beim Kauf proaktiv sensibilisiert werden, sich mit der Qualität auseinanderzusetzen, um bewusste Kaufentscheidungen für nachhaltige Mode zu treffen. In diesem Zusammenhang sollten Unternehmen im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsstrategie auch prüfen, welche Geschäftsmodelle zu einem nachhaltigeren Konsum führen, und bestehende Konzepte ggfls. verändern.

9.8.2.2 Mengenstromdaten

Es gibt aktuell keine verlässlichen Daten über die bundesweit erfasste Menge an Alttextilien sowie deren Entsorgungswege. Die Befragung der zuständigen Behörden hat gezeigt, dass die Aktivitäten im Rahmen einer gewerblichen und gemeinnützigen Sammlung kaum nachverfolgt werden. Selbst bei Sammlungen, die durch die öRE initiiert sind, ist die Kenntnis über die Entsorgungswege der Sammelmenge lückenhaft; ebenso kann angemerkt werden, dass die Alttextilmenge nicht korrekt in die Statistiken des Statistischen Bundesamtes aufgenommen sein können. So wurde seitens des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2019c) für das Jahr 2017 veröffentlicht, dass insgesamt 118.400 t Textilabfälle in 46 Sortieranlagen sortiert wurden. In Kenntnis des Entsorgungsmarktes ist zu hinterfragen, welche Sortieranlagen miterfasst wurden.

Vor dem Hintergrund der zu erwartenden Entwicklungen ist eine gute Datenbasis unerlässlich, um ggfls. weitere abfallrechtliche Maßnahmen einleiten zu können. Deshalb wird empfohlen, die Datenerhebung des Statistischen Bundesamtes in Bezug auf Sortieranlagen zu überprüfen, mit dem Ziel, dass alle Sortieranlagen, die Alttextilien annehmen, in der Erhebung erfasst sind und eine Mengenmeldung erfolgt. Hierzu zählt insbesondere die Ermittlung aller nach dem BImSchG genehmigten Sortieranlagen für Alttextilien und die Aufnahme dieser Anlagen in das jährliche Monitoring.

Im Zusammenhang mit der Einführung der Getrennterfassung von Textilien ab 2025 sollten die öRE im Eigeninteresse mindestens zwei bis drei Jahre vor der Umsetzungsfrist prüfen, ob die zukünftige Verpflichtung zur Getrennterfassung von Textilien ggfls. durch die bereits heutige bestehende Sammelstruktur erfüllt ist. Des Weiteren sollten für die Verbesserung der Datenlage die Berichtspflichten der öRE an die Länder für deren Abfallbilanzen auf gewerbliche und gemeinnützige Sammlungen sowie Sammlungen im Rahmen der freiwilligen Rücknahme ausgeweitet werden. Zur Umsetzung dieser Maßnahmen wird empfohlen, dass die Landesumweltministerien Regelungen treffen, um die Datenzusammenführung zu ermöglichen. Die Empfehlungen zur Verbesserung der Mengenstromdaten haben nur unverbindlichen Charakter; verbindliche Regelungen gibt es für diese Maßnahme innerhalb bestehender gesetzlicher Regelungen nicht.

9.8.2.3 Sammelmenge und Flächendeckung

Die Evaluierung hat gezeigt, dass die Sammelquote für Alttextilien mit ca. 64 % überdurchschnittlich hoch ist und über den gesetzlich vorgeschriebenen Sammelquoten anderer getrennt zu erfassender Stoffströme liegt (siehe Kapitel 9.4.2). Die bundesweite Sortieranalyse für Restabfälle (Dornbusch et al. 2020) legt dar, dass noch ca. 4,5 kg pro Einwohner an Alttextilien im Restabfall enthalten sind. Dabei wird es sich vielfach um beschädigte, zerrissene oder verschmutzte Alttextilien handeln, von denen der überwiegende Teil noch einer stofflichen Verwertung zugeführt werden könnte. Im Zusammenhang einer Fortschreibung der Restmüllanalyse wird vorgeschlagen, den Alttextilanteil unter dem Aspekt der Verschmutzung dahingehend zu untersuchen, ob Alttextilien durch die Vermischung im Restabfall verschmutzt wurden oder ob sie deshalb nicht getrennt erfasst wurden, weil sie bereits verschmutzt waren. Stark verschmutzte Alttextilien können nämlich nur bedingt einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Auch würden beispielsweise mit Farbe verschmutzte oder feuchte Alttextilien zu Querkontaminationen des Alttextilsammelgemisches führen, weshalb diese Alttextilien gerade nicht über die Alttextilsammlung entsorgt werden sollten, sondern über den Restmüll. Darüber hinaus sollten die öRE bei ihren lokalen Restmüllanalysen die Ermittlung des Getrennterfassungspotenzials an Textilien aufnehmen. Das Ergebnis dient auch als eigene Kontrolle der Umsetzung der Getrennterfassungspflicht nach § 20 (1) Nr. 6 KrWG.

Mit Blick auf die allgemeine Entwicklung ist zu erwarten, dass die Kosten für die Erfassung der Alttextilien nicht mehr durch den Verkauf der Sammelware gedeckt werden können. Gewerbliche wie gemeinnützige Sammler, die nicht mehr kostendeckend arbeiten können, werden ihre Sammlung sukzessive aufgeben. Die heutige großflächig angelegte private Erfassungsstruktur würde in diesem Fall auseinanderfallen. Aus diesem Grund bedarf es Maßnahmen, die die breit angelegte Sammelstruktur, auch unter anderen Marktgegebenheiten aufrechterhalten. Lösungsmöglichkeiten werden im nachfolgenden Kapitel 9.8.3 aufgezeigt.

9.8.2.4 Verwertung

Die Verwertung von Alttextilien besteht zu ca. 92 % aus der Vorbereitung zur Wiederverwendung und aus dem Recycling (bvse 2020). Insofern richten sich die Handlungsempfehlungen vielmehr darauf, dieses hohe Niveau zu halten.

Die Verwertung findet heute in untergeordnetem Maße in Deutschland statt und zunehmend auch außerhalb von Europa. Künftige Importbeschränkung bzw. ein Überangebot durch global ansteigende Sammelmengen stellen ein Risiko dar, dass nicht mehr alle aussortierten Second-Hand-Waren vermarktet werden bzw. Alttextilien aufgrund von Kapazitätsengpässen nicht mehr stofflich verwertet werden können.

Wird die Vorbereitung zur Wiederverwendung betrachtet, ist festzustellen, dass die Rahmenbedingungen für eine personalintensive Sortierung im Ausland günstiger sind und deshalb davon auszugehen ist, dass die Sortierung von Alttextilien in Deutschland weiter abnehmen wird. Des Weiteren ist anzumerken, dass Verbraucher*innen in zunehmendem Maße gut erhaltene (Marken-) Bekleidung selbst auf Second-Hand-Plattformen verkaufen. Wird das Handelsszenario 2030 (HDE Online Monitor 2020) betrachtet, so gewinnt umweltbewusstes Handeln beim Konsum insgesamt gesehen immer mehr an Bedeutung, was dazu führt, dass die Nachfrage nach Second-Hand-Produkten steigen wird. Bekleidung, die ohne Sortieraufwand weiterhin in zweiter oder dritter Hand in der Gebrauchsphase verbleibt, ist aus ökologischen Gesichtspunkten zu begrüßen. Allerdings forciert der Trend der privaten Second-Hand-Verkäufe die Qualitätsverschlechterung der Sammelware, was dazu führen kann, dass eine aufwendige Vollsartierung durch private Sortierer nicht mehr selbst finanzierbar ist.

Um den Mengenanstieg bewältigen zu können, sind auch weitere Verwertungskapazitäten notwendig. Der Aufbau einer Verwertungsstruktur für Alttextilien wird durch private Investitionen finanziert und grundsätzlich nur dann realisiert, wenn eine Nachfrage an Recyclingprodukten vorhanden ist und die Rahmenbedingungen für den Einsatz in neue Produkte geschaffen sind. Die Nachfrage an Recyclingfasern oder Rezyklaten aus Alttextilien müsste somit alleine durch die private Industrie angekurbelt werden, die Stand heute aber nicht ausreichend ist und durch ergänzende Maßnahmen forciert werden sollte. Entsprechende Vorgaben könnten aus binnenmarktrechtlichen Gründen nur auf EU-Ebene umgesetzt werden. Vor diesem Hintergrund wird vorgeschlagen, dass sich das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit für die Einführung einer gesetzlichen Regelung zum Einsatz von Recyclingfasern oder Rezyklaten aus Alttextilien auf EU-Ebene einsetzt.

9.8.3 Gesetzliche und andere weitere Regelungsmöglichkeiten

Nachfolgend werden Maßnahmen im Rahmen verschiedener Regelungsmöglichkeiten untersucht und anhand ihrer Wirkung bewertet. Im Anschluss werden diese auf Basis der Kriterien und Methodik gemäß Kapitel 1.3.1 miteinander verglichen, um eine konkrete Handlungsempfehlung für Alttextilien zu reichen.

9.8.3.1 Entwicklung von LAGA-Merkblättern sowie Implementierung weiterer Kontrollmaßnahmen (Marktüberwachung) zur Unterstützung des KrWG

Die Novelle des KrWG hat bereits einige Regelungen getroffen, die durch nachfolgende ergänzende Maßnahmen unterstützt werden können:

Für die in Kapitel 9.8.2.1 aufgeführten Handlungsempfehlungen bedarf es umfassender Kommunikationsmaßnahmen. Diese sollten insgesamt einheitlich gestaltet sein und deren Umsetzung überprüft werden. Aus diesem Grund wird empfohlen, dass die Länder im Rahmen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) eine Richtlinie zur Umsetzung der erweiterten Abfallberatungspflichten der öRE entwickeln sollen. Darüber hinaus wird angeregt, dass die Prüfung der Beratungspflichten der Hersteller und Vertreiber sowie weitere Pflichten nach § 23 (2) KrWG in die Marktüberwachung der unteren Abfallbehörde aufgenommen wird. Hierzu könnte eine Vollzugshilfe entwickelt werden, die die Kriterien und Maßnahmen der Prüfungen im Rahmen der Marktüberwachung konkretisiert und harmonisiert. Das Land Sachsen-Anhalt hat in 2016 ein Handbuch als Vollzugshilfe zur markenrechtlichen Überwachung veröffentlicht, das als Muster dienen kann (INTECUS 2016).

Die Novelle des KrWG adressiert die Getrennterfassungspflicht für Textilien gegenüber dem öRE. Insofern würde es dann zu Marktverschiebungen kommen, von einer kostenfreien gewerblichen bzw. gemeinnützigen Sammlung hin zu einer kommunalen, gebührenfinanzierten Sammlung. Die öRE müssten ihr bisheriges Engagement signifikant erhöhen (der Anteil der öRE-Sammlung lag in 2018 bei ca. 27 %), um die derzeitige Intensität der Sammelstruktur zu erhalten; die Gebühren würden dadurch ansteigen.

Wird vergleichsweise die Einführung der Getrennterfassung von Kunststoffen mit Ausnahme von Verpackungen seit dem Jahr 2015 betrachtet, so hat sich gezeigt, dass die öRE in den meisten Fällen kein weiteres haushaltsnahes Holsystem oder bürgernahes Bringsystem implementiert haben. Bürger*innen können Kunststoffabfälle oftmals nur am Recyclinghof abgeben. Wird diese Umsetzung auf Alttextilien übertragen, würde das komfortable Depotcontainersystem in eine Annahme auf dem Recyclinghof überführt werden, was erfahrungsgemäß zu geringeren getrennt erfassten Alttextilmengen führen wird. Auch die Corona-Pandemie im Jahr 2020 hat

gezeigt, dass einige öRE mit eigener Alttextilsammlung die Sammelcontainer aufgrund von Engpässen abgezogen und die Abgabe nur noch auf den Recyclinghöfen angeboten wurde (z.B. Stadt Hamburg (euwid 2020b) oder Landkreis Pinneberg (GAB 2020)). Um die heutige hohe Sammelquote zu erhalten, ist es deshalb erforderlich, die derzeitige Intensität der Alttextilerfassung aufrecht zu erhalten. Beispielsweise könnten Mindestvorgaben der LAGA oder der Länder im Rahmen gesetzlicher Vorgaben dazu beitragen. Hier könnte eine Sammeldichte (bspw. Anzahl Sammelpunkte pro 1.000 Einwohner) festgelegt werden, die für jedes Entsorgungsgebiet gelten soll. Die Verantwortung des öRE würde sich insbesondere auf die Organisation beziehen, da die Sammelpunkte auch von gewerblichen / gemeinnützigen Sammlern errichtet werden können. Sofern die Mindestanzahl über andere Akteure nicht erreicht ist, müsste der öRE die Differenz an Sammelpunkten in seinem Namen aufbauen. Gleichzeitig sollten Mindeststandards bezüglich der Erfassungsqualität eingeführt werden (siehe Arbeitspapier der Länder BW, NRW, SN, Stand November 2019). Hinsichtlich der Umsetzbarkeit ist festzuhalten, dass die Entwicklung eines LAGA-Merkblattes eine unverbindliche Empfehlung darstellt und nur durchgesetzt werden kann, sofern die Vorgaben in einen verbindlichen abfallrechtlichen Rahmen der Länder integriert werden. Eine flächendeckende Umsetzung wäre nur gegeben, wenn alle Länder den verbindlichen Rahmen vorgeben. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Sammelstruktur bei Übernahme der Verantwortung für eine Getrenntsammlung durch die öRE ab dem Jahr 2025 gebührenpflichtig sein wird. Bereits heute gibt es zuzahlungspflichtige Sammelmengen (GFA Lüneburg o.J.), die Entwicklung wird sich verschärfen. Die Umsetzung der Getrenntsammlung von Textilien würde eine Gebührenerhöhung bedeuten, die grundsätzlich politisch schwer durchzusetzen ist.

In der Novelle des KrWG wurde der Begriff „Textilien“ im Zusammenhang mit der Getrennterfassungspflicht nicht näher definiert. Die heutige Alttextilsammlung umfasst eine Vielzahl an zu Abfall gewordenen Produkten wie Bekleidung, Haustextilien, Schuhe, Accessoires, aber auch Stofftiere. Bei enger Auslegung würden nur textile zu Abfall gewordene Produkte wie Bekleidung und Haustextilien getrennterfassungspflichtig sein. Gemäß bvse Textilstudie 2020 (bvse 2020) machen Schuhe, Taschen und Lederwaren aber einen Anteil von ca. 25 % an der potenziellen-Sammelmenge aus. Diese Definition ist auch von Bedeutung, wenn der Erfolg einer Getrennterfassung auf Basis der Ergebnisse der bundesweiten Sortierrestanalyse für Restabfälle (Dornbusch et al., 2020) bewertet wird.

Neben der Getrennterfassungspflicht von Textilien gibt es keine weiteren Vorgaben oder spezielle Ziele in Bezug auf die zu erfassenden und zu verwertende Alttextilien.

Kommunale Systeme sind vordergründig auf die Sammlung ausgerichtet. Der öRE trägt dafür Sorge, dass alle Leistungen in diesem Zusammenhang über den Gebührenhaushalt finanziert und damit die Kosten auf den Abfallerzeuger umgelegt werden. Der öRE kann nur im begrenztem Umfang Anreize auf die Kreislauffähigkeit von Produkten setzen. Weitere, spezifische Steuerelemente im Sinne der Förderung einer Kreislaufwirtschaft sind in diesem System nicht angelegt. Es können weder Vorgaben für ein ökologisches Design gemacht werden, noch zu einzelnen Verwertungsarten. Lediglich die Beachtung der Abfallhierarchie gemäß § 8 Abs. 1 KrWG setzt einen gewissen Rahmen, welcher sich auch auf die Auswahl der Sammelsysteme im Hinblick auf die Erfassungsqualität auswirken sollte.

Tabelle 122 Bewertung ergänzende Maßnahmen „Entwicklung von LAGA-Merkblättern und Implementierung weiterer Kontrollmaßnahmen (Marktüberwachung) zur Unterstützung des KrWG“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Mittlerer bürokratischer Aufwand hinsichtlich Erweiterung Berichtspflichten, auch bzgl. Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit	3
Rechtliche Aspekte	Für die ergänzenden Maßnahmen sind keine gesetzlichen Änderungen notwendig	1
Statistische Aspekte	Die statistische Erfassung der Sammelmengen wird verbessert, allerdings nicht hinsichtlich des Verbleibs der Sammelware	3
Organisatorischer Aufwand	Mittlerer Aufwand; Entwicklung Mindeststandards; politische Entscheidung bzgl. Öffentlichkeitsarbeit und Sammelsystem sowie Vorbereitung Ausschreibung oder Investition; Entwicklung Vollzugshilfe zur markenrechtlichen Überwachung	3
Umsetzungshorizont	Mittelfristig (3-5 Jahre): Die Entwicklung von Mindeststandards kann kurzfristig umgesetzt werden; die Organisation der Getrennterfassung muss bis 2025 umgesetzt sein; die Umsetzung übrigen Maßnahmen ist dagegen kurzfristig (1-2 Jahre)	2
Verbindlichkeit	Unverbindlich (Mindeststandards sind unverbindlich; im KrWG gibt es keine spezifischen Ziele oder Vorgaben für Alttextilien; Gestaltungsfreiheit der öRE durch kommunale Selbstverwaltung); eine Überführung in landesrechtliche Vorgaben könnte die Verbindlichkeit erhöhen; Aufnahme von Textilhersteller- oder vertreiber in die Marktüberwachung ist ebenso unverbindlich	4
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Effekt, die Sammelmenge zu steigern	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Sammlung und Verwertung des gesamten Abfallstromes wird über den Gebührenhaushalt finanziert; eine verursachergerechte Gebührengestaltung bei Depotcontainersammlung nicht möglich	3
Stärkung des Recyclings	Das Recycling wird im Rahmen der fünfstufigen Abfallhierarchie umgesetzt; zusätzliche Anreize zur Förderung des Recyclings sind nicht möglich	4
Akzeptanz der Akteure	Kommunen (mittel): Verband kommunaler Unternehmen sieht Anpassungsbedarf Entsorgungswirtschaft/gemeinnützige Organisationen (keine Akzeptanz): fordern die Einführung eines EPR-Systems Verbraucher*innen: indifferent (Gebührenerhöhung nicht sichtbar; geringere Benutzerfreundlichkeit, sofern Mindeststandard nicht bundesweit umgesetzt wird) Hersteller/Handel (mittel): Konkretisierung/Überwachung der Beratungspflichten	3
Öffentlichkeitsarbeit	Teile der Maßnahmen erfordert eine intensive Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit insbesondere im Bereich Abfallvermeidung.	4
Gewichtetes Ergebnis		3,2
Adressaten	öRE, zuständige Landesbehörden, Hersteller und Handel	

Kriterium	Bewertung	Punkte
Fazit	Kommunale Systeme sind vornehmlich auf die Sammlung ausgerichtet. Die Finanzierung des gesamten Abfallstromes ist zwar gesichert, aber für die Stärkung des Recyclings ist es erforderlich, dass Mindeststandards in den abfallrechtlichen Rahmen der Länder überführt werden. Erforderliche Kommunikationsmaßnahmen können durch die Implementierung von Mindeststandards und Kontrollen gestärkt werden	

9.8.3.2 Freiwillige Selbstverpflichtung der Textilindustrie

Die freiwillige Rücknahme von Alttextilien im Rahmen der Wahrnehmung der erweiterten Herstellerverantwortung ist bereits heute in § 26 KrWG angelegt. Die Regelung umfasst die gesamte Entsorgungskette mit dem Ziel, die Kreislaufwirtschaft zu fördern. Diese Maßnahmen könnten insofern das kommunale Sammelsystem insbesondere für den Ausbau von Sortier- und Verwertungsstrukturen unterstützen. Global gesehen werden heute weniger als 1 % der Textilabfälle aus Alttextilien als Recyclingfaser in die Herstellung neuer Textilien eingesetzt (Ellen MacArthur Foundation 2017). Auch in Deutschland nehmen heute nur wenige Hersteller und Vertreiber von Textilien diese Verantwortung freiwillig wahr.

Allerdings gibt es mittlerweile eine Vielzahl an Initiativen von einzelnen Unternehmen, aber auch im Rahmen von Bündnisinitiativen, die Textilindustrie kreislauffähig zu gestalten. Das Forschungskuratorium Textil e.V. zeigt in seiner Studie „Perspektiven 2035“ (FKT o.J.) die vielfältigen Aktivitäten der Textilindustrie auf, um sich auf den Wandel und der textilen Zukunft vorzubereiten. Dabei werden auch die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle, die nachhaltige und ressourcenschonende Produktion von Textilien sowie das „Design for Recycling“ bzw. „Design for 2nd/3rd Use Phase“ thematisiert. Die Studie verdeutlicht auch, welche mannigfaltigen Anwendungen es für den Werkstoff Textil gibt und deshalb unterschiedliche Ansätze in diesem Zusammenhang verfolgt werden. Der Europäische Dachverband der Textilindustrie Euratex hat sich zum Ziel gesetzt, fünf sogenannte Recycling Hubs (ReHubs) in Europa, einer davon in Deutschland, zu errichten (Euratex 2020). Hier sollen sowohl textile Industrieabfälle, als auch Alttextilien in unterschiedlichen Recyclingverfahren verwertet und für die Europäische Industrie als Sekundärrohstoff zur Verfügung gestellt werden. Als nächste Schritte werden die Feinabstimmung der ReHubs genannt, die Koordination und Erweiterung der beteiligten Stakeholder sowie die Evaluierung der finanziellen Ressourcen ermitteln, die notwendig sind, um technoökonomische Machbarkeitsstudien der ReHubs zu entwickeln, mit dem Ziel, größere privat-öffentliche Partnerschaften anzustoßen.

Jedoch gibt es bislang keine freiwillige Selbstverpflichtung der Branche insgesamt oder eines bedeutenden Anteils, bestimmte Sammel- und Verwertungsziele zu erreichen. Unabhängig davon können freiwillige Maßnahmen aber eine sehr gute Grundlage bilden und in Pilotprojekten aufzeigen, „was möglich ist“. Der Vorteil ist, dass jedes Unternehmen in Bezug auf seine Tätigkeit Maßnahmen entwickeln kann, Kreisläufe zu schließen - insbesondere vor dem Hintergrund des vielfältigen Einsatzes von Textilien. Gegenüber Behörden gibt es keine Berichtspflichten, deshalb ist der administrative Aufwand gering. Allerdings gibt es auch keine offiziellen Kontrollinstrumente in Bezug auf die Zielerfüllung und somit auch keine Sanktionen bei Nichterfüllung. Die Umstellung von Produktionsprozessen ist teilweise mit hohen Kosten verbunden, ein Vorteil muss zumindest langfristig gegeben sein. Freiwillige Maßnahmen schaffen letztlich nur Investitionssicherheit, wenn sich die Investition finanziell trägt und sich dadurch keine Wettbewerbsnachteile ergeben.

Aus Erfahrungen bei anderen Abfallströmen gelingt eine freiwillige Selbstverpflichtung insbesondere dann, wenn der Abfallstrom einen positiven Marktwert hat. Es ist bei Alttextilien

aber davon auszugehen, dass sich Alttextilien zu einem zuzahlungspflichtigen Stoffstrom entwickeln werden. Im Bereich des Verpackungsrecyclings, bei dem es sich ebenfalls um einen zuzahlungspflichtigen Stoffstrom handelt, hat in Deutschland nur die Verschärfung der gesetzlichen Recyclingquoten bei Einführung des neuen Verpackungsgesetzes dazu geführt, dass die Recyclingaktivitäten erhöht wurden. Des Weiteren hat die Changing Markets Foundation weltweit freiwillige Maßnahmen großer Konzerne in der Verpackungsindustrie untersucht und kommt zum Ergebnis, dass die Initiativen gescheitert sind; infolge dieser Versprechungen haben sich darüber hinaus die Gesetzgebungsprozesse verzögert (Delemare Tangpuori et al., 2020). Letztlich scheint es ohne gleiche Wettbewerbsbedingungen innerhalb einer globalen Lieferkette schwierig, eine freiwillige Selbstverpflichtung großflächig umzusetzen. Aus diesem Grund soll nun ein nationales Lieferkettengesetz eingeführt werden (BMU 2020).

Die Global Fashion Agenda, die als non-profit Organisation die Modeindustrie in der Umsetzung nachhaltiger Lösungen unterstützt (GFA o.J.), hat unter anderem das „2020 Circular Fashion System Commitment“ initiiert, das Modemarken und Händler auffordert, (eigene) Ziele für ein nachhaltiges Geschäftsmodell einzugehen. Die Zielerreichung wird dabei jährlich überprüft. Insgesamt haben 90 Unternehmen die Vereinbarung unterzeichnet, wie beispielsweise Adidas, Bestseller, Esprit, Inditex, H&M. Insgesamt machen diese Unternehmen aber nur 12,5 % des weltweiten Modemarkts aus (GFA Circular Actions o.J.). Des Weiteren beschäftigt sich die Organisation auch mit den rechtlichen Rahmenbedingungen zum Gelingen einer textilen Kreislaufwirtschaft. Zusammen mit anderen Organisationen aus dem Bereich Bekleidung und Schuhe, der Sustainable Apparel Coalition (SAC) und dem Verband der Europäischen Sportartikelindustrie (FESI) wurde der Policy Hub gegründet, der darauf abzielt, einen wirksamen politischen Rahmen für die Kreislaufwirtschaft innerhalb der Branche in Europa zu entwickeln und gemeinsam voranzutreiben (Policy Hub o.J.).

Für Deutschland ist bereits nach § 26 (1) KrWG eine Verordnungsermächtigung zur Festlegung von Zielen für eine freiwillige Rücknahme von Alttextilien angelegt. Da nur ca. 5% der Textilien, die in Deutschland auf den Markt gebracht werden, durch die einheimische Textilindustrie hergestellt werden, ist darauf zu achten, dass für diese Option der Bekleidungs- und Textileinzelhandel in die Selbstverpflichtung mit einbezogen wird.

Tabelle 123 Bewertung der Maßnahme „freiwillige Selbstverpflichtung der Textilindustrie“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Geringer bürokratischer Aufwand; es gibt keine behördliche Kontrolle; ggf. Durchführung jährlicher Audits im Rahmen eigener Kontrollmaßnahmen	2
Rechtliche Aspekte	Eine Regelung auf Basis des § 26 Abs. 1 KrWG wäre darüber hinaus möglich	2
Statistische Aspekte	Die Maßnahme verbessert die statistische Erfassung der Abfallströme.	3
Organisatorischer Aufwand	Hoher organisatorischer Aufwand in Bezug auf die Implementierung der operativen Maßnahmen	4
Umsetzungshorizont	Langfristig (> 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	Durch Selbstverpflichtung der Wirtschaft besteht Verbindlichkeit; Sanktionsmöglichkeiten fehlen allerdings	3
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat kaum einen Effekt, die Sammelmenge zu steigern	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Hersteller und Handel beteiligen sich an der Finanzierung von Recyclinglösungen	3
Stärkung des Recyclings	Die stoffliche Verwertung wird für einen Teil des Abfallstromes gesichert und verbessert für diesen das Recycling langfristig	3
Akzeptanz der Akteure	Grundsätzlich werden freiwillige Maßnahmen begrüßt, die breite Wirkung wird allerdings von allen anderen Akteuren in Frage gestellt; Verbraucher*innen: hoch (nachhaltiges Handeln gewinnt immer mehr an Bedeutung)	3
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert eine zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit. Anreize sollen nachhaltiges Handeln der Verbraucher*innen fördern	4
Gewichtetes Ergebnis		3,2
Adressaten	Hersteller, Handel, Importeure	
Fazit	Hoher Aufwand für die Implementierung einer Recyclingindustrie (diese ist nicht Teil der Selbstverpflichtung); dafür spricht der niedrigere bürokratische Aufwand; Selbstverpflichtung kann nicht sanktioniert werden; insofern bleibt der Wirkungsgrad ungewiss; in jedem Fall müssen der Handel und Importeure durch den hohen Importanteil mit eingebunden sein.	

9.8.3.3 Textilabgabe oder Textilsteuern

Bei der Implementierung eines Abgaben- oder Steuersystems gibt es verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten, ob der zu zahlende Betrag auf das Produkt erfolgen soll oder auf den eingesetzten Rohstoff. Textilhersteller- oder Vertreiber sollen dadurch Anreize für die Herstellung nachhaltiger Textilien erhalten, da sie in diesem Fall geringere Abgaben oder Steuern zahlen müssten. Um einen spürbaren Effekt zu erzielen, müsste das Modell so gestaltet sein, dass die zu entrichtende Abgabe bzw. Steuer einen deutlichen Kostenanteil darstellt, der auf den Produktpreis aufgeschlagen wird. Werden die unterschiedlichen funktionalen Anforderungen bestimmter textiler Produkte betrachtet, so könnte sich allerdings eine ungerechtfertigte Ungleichbehandlung ergeben, wenn es zum Beispiel technische Erfordernisse gibt, bestimmte Materialien zu verwenden, die zu höheren Abgaben oder Steuern führen würden.

Die Steuereinnahmen würden in den Bundeshaushalt fließen und wären nicht zweckgebunden. Insofern hätte die Steuer nur die Lenkungsfunktion, nachhaltige Textilien zu begünstigen. Eine Finanzierung der Entsorgungskosten von Alttextilien wäre insofern nicht gegeben. Bei einem Abgabenmodell können die Abgabeneinnahmen für die Entsorgungskosten verwendet werden. Da es sich um eine produktbezogene Abgabe handelt, wäre die Behörde auch in diesem Fall auf Bundesebene anzusiedeln, die aber keinen direkten Bezug zum Abfallanfall und dessen Entsorgung hat. Insofern stellt sich hier insbesondere die Frage, wie die Einnahmen und für welchen Zweck sie, beispielsweise für eine hochwertige Verwertung und nicht nur für die ordnungsgemäße Entsorgung, verteilt werden. Des Weiteren muss ein Modell entwickelt werden, nach welchen Nachhaltigkeitskriterien die Abgaben bzw. Steuern erhoben werden. Neben der Administration zur Anmeldung der Produkte bedarf es auch einer Kontrolle zur Deklaration der eingesetzten Rohstoffe oder Produktionsweise von Textilien in Bezug auf die Lebensdauer.

Tabelle 124 Bewertung der Maßnahme „Textilabgabe“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Hoher bürokratischer Aufwand in Bezug auf laufende Festsetzung der Abgaben sowie Verwaltung und Auskehrung der Einnahmen (Mittelverwendung); hohe bürokratische Belastung für alle Hersteller, Händler und Importeure	4
Rechtliche Aspekte	Es fehlt jeglicher gesetzlicher Rahmen	5
Statistische Aspekte	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Verbesserung der Transparenz des Abfallstromes, obwohl diese mangelhaft ist; zumindest aber auf die in Verkehr gebrachte Mengen	4
Organisatorischer Aufwand	Hoher organisatorischer Aufwand; Einrichtung von mindestens einer Institution erforderlich sowie Erstellung eines Kriterienkatalogs zur Berechnung und Festsetzung der Abgaben sowie Auskehren der Einnahmen	5
Umsetzungshorizont	Langfristig (> 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	Hochverbindlich (da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt)	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Effekt, die Sammelmenge zu steigern	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Abgabe muss zweckgebunden für die Entsorgung von Alttextilien eingesetzt werden; die Ausgestaltung bestimmt, in welchem Umfang das Recycling (und nicht nur die Sammlung) finanziert wird	3
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme kann je nach Ausgestaltung Anreize zur Steigerung der stofflichen Verwertung setzen	3
Akzeptanz der Akteure	Entsorgung, Hersteller: gering bzw. indifferent Verbraucher*innen: indifferent (ggfls. Preiserhöhung nicht sichtbar)	4
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen mittleren Aufwand für Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit hinsichtlich Erläuterung der Umsetzung und Wirkung auf Produktpreis.	3
Gewichtetes Ergebnis		3,5
Adressaten	Bundesregierung nach Anhörung beteiligter Kreise, Hersteller, Handel, Importeure	
Fazit	Hoher bürokratischer und organisatorischer Aufwand für die Umsetzung einer Textilabgabe. Ungewissheit besteht in Bezug auf die Mittelverwendung. Die Stärkung des Recyclings ist nicht gewährleistet, da die Behörde keinen unmittelbaren Bezug zum Abfallanfall hat	

Tabelle 125 Bewertung der Maßnahme „Textilsteuer“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Mittlerer bürokratischer Aufwand in Bezug auf laufende Festsetzung der Steuern sowie Verwaltung; hohe bürokratische Belastung für alle Hersteller, Händler und Importeure	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
Rechtliche Aspekte	Es fehlt jeglicher gesetzlicher Rahmen	5
Statistische Aspekte	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Verbesserung der Transparenz des Abfallstromes, obwohl diese mangelhaft ist; zumindest aber auf die in Verkehr gebrachten Mengen	4
Organisatorischer Aufwand	Hoher organisatorischer Aufwand; Erstellung Kriterienkatalog zur Berechnung und Festsetzung der Steuern	4
Umsetzungshorizont	Langfristig (> 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	Hochverbindlich (da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt)	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat keinen Effekt, die Sammelmenge zu steigern	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Steuern sind nicht zweckgebunden	5
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme kann je nach Ausgestaltung der Steuer Anreize in Bezug auf die Recyclingfähigkeit von Textilien setzen	4
Akzeptanz der Akteure	Die Maßnahme wird von allen Akteuren abgelehnt Verbraucher*innen: indifferent (ggf. Preiserhöhung nicht sichtbar)	5
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert einen mittleren Aufwand für Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit hinsichtlich Erläuterung der Umsetzung und Wirkung auf Produktpreis	3
Gewichtetes Ergebnis		3,8
Adressaten	Bundesregierung nach Anhörung beteiligter Kreise, Hersteller, Handel, Importeure	
Fazit	Trotz des hohen bürokratischen und organisatorischen Aufwands hat die Maßnahme keinen Einfluss auf das Recycling, noch kann sie zur Finanzierung des Abfallstromes beitragen. Die Maßnahme wird generell abgelehnt	

9.8.3.4 Fondmodell in Bezug auf Fasereinsatz

Die schwedische Studie „Impact assessment of policies promoting fiber-to fiber-recycling of textiles (Elander M. et al., 2017) hat ein Rückerstattungsmodell auf Basis des eingesetzten Rohstoffes bewertet. Hintergrund der Überlegung war, dass Recyclingfasern teurer sind als Fasern aus Primärrohstoffen und der Einsatz der teureren Faser durch Rückzahlungen aus dem Fond kompensiert werden kann.

Beim Fondmodell handelt es sich um eine zweigeteilte Vorgehensweise, bei der der Hersteller eine Gebühr für die Verwendung von Fasern aus Primärrohstoffen zahlen muss. Es erfolgt im Nachgang eine Rückerstattung an diejenigen Hersteller, die im Verhältnis zur Gesamtproduktion einen hohen Anteil an recycelten Fasern verwenden. Hersteller mit einem überdurchschnittlichen Recyclingfaseranteil werden zu Netto-Empfängern, Hersteller, die wenig oder keine Recyclingfasern einsetzen, sind die Nettozahler im System. Generell ist der Ansatz sinnvoll, um den Preisunterschied der Fasern aus Primär- und Sekundärrohstoffe auszugleichen. Es kann auch davon ausgegangen werden, dass dieses Modell einen positiven Effekt auf das

Faser-zu-Faser-Recycling hat. Als Problem wird insbesondere die Festlegung der Gebühren angesehen, um den gewünschten Effekt zu erzielen, aber vor allem durch den hohen Aufwand in der Verwaltung des Fondsmodells, die Kontrolle und das Reporting im Zusammenhang mit der komplexen und globalen Lieferkette. Hauptansatz dieses Modells ist der Preisausgleich, um Recyclingfasern wettbewerbsfähiger zu machen.

Tabelle 126 Bewertung der Maßnahme „Fondsmodell in Bezug auf Fasereinsatz“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Hoher bürokratischer Aufwand in Bezug auf Umsetzung des Modells; hohe bürokratische Belastung für alle Hersteller, Händler und Importeure	4
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Regelung auf Basis des § 23 Abs. 4 KrWG	3
Statistische Aspekte	Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die Verbesserung der Transparenz des Abfallstromes, obwohl diese mangelhaft ist; ggfls. aber auf die in Verkehr gebrachte Mengen	4
Organisatorischer Aufwand	Hoher organisatorischer Aufwand; Einrichtung von mindestens einer Institution erforderlich sowie Erstellung Kriterienkatalog und Entwicklung eines Modells hinsichtlich Zahlungsströme	5
Umsetzungshorizont	Langfristig (> 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	Hochverbindlich (da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt)	1
Verbesserung der Erfassung	Die Maßnahme hat kaum einen Effekt, die Sammelmenge zu steigern	3
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Maßnahme trägt nur zum Preisausgleich für den Einsatz von Recyclingfasern bei; sichert teilweise die Finanzierung des Recyclings	3
Stärkung des Recyclings	Die Maßnahme schafft bessere Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung	3
Akzeptanz der Akteure	Entsorger, Hersteller: gering bzw. indifferent; Verbraucher*innen: indifferent (ggf. Preiserhöhung nicht sichtbar)	4
Öffentlichkeitsarbeit	Es wird kaum zusätzliche Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit benötigt, da das Fondsmodell nur indirekte Effekte Verbraucher*innen hat	1
Gewichtetes Ergebnis		3,2
Adressaten	Bundesregierung nach Anhörung beteiligter Kreise, Hersteller, Handel, Importeure	
Fazit	Die Wirkung der Maßnahme bezieht sich auf einen Teilaspekt und hat deshalb nur mittlere Wirkung auf ökonomische, ökologische wie statistische Anforderungen; dagegen steht ein hoher organisatorischer und bürokratischer Aufwand	

9.8.3.5 Erweiterte Herstellerverantwortung

Die erweiterte Herstellerverantwortung (EPR) gilt als zentrales Instrument zur Umsetzung der Abfallhierarchie. EPR stellt im Gegensatz zu den vorherigen Regelungen einen ganzheitlichen Ansatz dar, da verschiedene Steuerungselemente aufgegriffen werden können, um die Kreislaufwirtschaft zu fördern wie:

- ▶ Vorgaben zur Herstellung, zum Design
- ▶ Ziele für die Sammlung
- ▶ Ziele für die Vorbereitung zur Wiederverwendung
- ▶ Ziele für das Recycling nicht trag- und marktfähiger Alttextilien
- ▶ Vorgaben für die Dokumentation und Nachweisführung
- ▶ Überwachung und Kontrollmechanismen
- ▶ Vorgaben zur Öffentlichkeitsarbeit
- ▶ Anforderung an / Förderung von Forschung und Entwicklung

Das Zusammenwirken verschiedener Ziele hat direkten bzw. indirekten Einfluss auf den gesamten textilen Kreislauf inklusive der Abfallentsorgung.

Verschiedene EPR-Modelle sind hierbei denkbar. Diese unterscheiden sich vor allem durch die Definition der Verpflichteten sowie deren Identifizierung, die Umsetzung der Pflichtenerfüllung sowie durch die Prüfung und Kontrolle der Einhaltung der Pflichtenerfüllung.

Auf Basis der bisherigen Erfahrungen in Deutschland mit EPR-Modellen in Bezug auf andere Abfallströme wird nachfolgend auf eine geteilte Herstellerverantwortung und eine volle Herstellerverantwortung eingegangen. Die Varianten differieren neben den vorgenannten Aspekten insbesondere in Bezug auf die operative Umsetzung und die Ausgestaltung der finanziellen Flüsse.

Die EU-Abfallrahmenrichtlinie (RL 2008/98/EG) stellt den Mitgliedstaaten nach Artikel 8 frei, EPR-Systeme einzuführen. In jedem Fall müssen aber allgemeinen Mindestvorgaben nach Artikel 8a eingehalten sein. Vor diesem Hintergrund ist eine geteilte Herstellerverantwortung nicht mehr möglich.

9.8.3.5.1 Pflichtenbereiche (gültig für alle EPR-Modelle)

9.8.3.5.1.1 Systemrelevante Produkte (für alle EPR-Modelle gleich)

Generell ist festzulegen, für welche systemrelevanten Produkte die erweiterte Herstellerverantwortung gelten soll. Dies ist unerlässlich für eine klare Abgrenzung hinsichtlich der Übernahme von Pflichten, aber auch in Bezug auf die Prüfung und Einhaltung der Pflichtenerfüllung.

Aufgrund der bisherigen Praxis der Alttextilsammlung werden auch nicht-textile Abfälle eingesammelt, die bei weiter Auslegung unter dem Begriff Alttextilien subsumiert werden. Dies sind insbesondere nicht-textile Schuhe, Accessoires, Stofftiere oder Lederwaren.

Das französische EPR-Modell bezieht beispielsweise Schuhe aller Materialarten, aber keine Lederbekleidung oder Taschen aus Leder mit ein. Im schwedischen Entwurf zur Einführung eines EPR-Systems für Textilien aus Dezember 2020 (Regeringskansliet 2020) werden nur textile Produkte mit einbezogen. In jedem Fall sollte es einen Kriterienkatalog mit Beispielen geben, in dem auch eine Abgrenzung zu anderen Abfallströmen wie zu Sperrmüll (Teppich, Polstermöbel, Matratzen etc.) enthalten ist.

Des Weiteren ist festzulegen, ob die Anfallstelle, die das später zu Abfall gewordene Produkt entsorgen möchte, ein weiteres Kriterium sein soll.

Tabelle 127 Überblick Anfallstellen

Anfallstellen	Bezeichnung
Private Haushalte	Privathaushalte (Einfamilienhaus bis Großwohnanlage)
Den privaten Haushalten gleichgestellten Anfallstellen	Hotel, Gastronomie, Krankenhäuser, Verwaltung
Gewerbliche Anfallstellen	Industrie (Arbeitsbekleidung)
Sonstige Anfallstellen	Polizei, Bundeswehr (Uniformen)

9.8.3.5.1.2 Rollen und Verantwortlichkeiten

In einem EPR-System werden die Rollen und Verantwortlichkeiten den verschiedenen Akteuren zugewiesen. Diese können je Modell unterschiedlich sein:

Tabelle 128 Überblick Rollen und Verantwortlichkeiten

Rollen	Verantwortlichkeiten
Alle Akteure innerhalb einer Lieferkette	Sollen Anreize für eine nachhaltige Produktion erhalten
Verpflichtete Unternehmen	Rücknahmepflichten oder Beteiligung an einem System
System	Verantwortlich für die Organisation und Pflichtenerfüllung der beteiligten Unternehmen (Ausgestaltung je nach Modell)
Handel	Ggfs. Rücknahmepflichten/-möglichkeiten; Vertriebsverbot nicht beteiligter Produkte etc.
Verbraucher	Soll zum nachhaltigen Konsum motiviert werden (auch Second-Hand-Kauf und korrekte Entsorgung von Alttextilien)
Entsorger (Sammler, Sortierer, Verwerter)	Umsetzung einer hochwertigen Erfassung bis Verwertung; Leistung wird über verpflichtete Unternehmen oder System finanziert
Behörde / Aufsicht	Kontrolle der Umsetzung der Pflichten, auch des Systems
örE	Abstimmung der Erfassungsstruktur oder Umsetzung der Erfassung; Bindeglied zu den Verbraucher*innen (Öffentlichkeitsarbeit)

9.8.3.5.1.3 Behördliche / neutrale Stelle

Der behördlichen bzw. neutralen Stelle kommt im Zusammenhang mit der Kontrolle der Umsetzung der Pflichten eine besondere Bedeutung zu. So identifiziert sie mindestens die Verpflichteten und betreibt ein Register für die Verpflichteten. Da die Behörden bislang kaum Aufgaben im Bereich der Überwachung der Alttextilentsorgung wahrgenommen haben, wird vorgeschlagen, dass diese neutrale Stelle auch die Kontrolle der gesetzeskonformen Umsetzung übernehmen sollte, wie die Plausibilisierung der Mengenmeldung und Prüfung der Pflichtenerfüllung. Darüber hinaus sollte sie auch Vorgaben zu Kriterien und zur Zertifizierung/ für Sachverständige sowie zur Nachweisführung entwickeln. Die einheitliche Umsetzung ist insbesondere bei mehreren Systemen im Wettbewerb relevant und bei der Möglichkeit, herstellereigene Rücknahmesysteme zu errichten.

Je nach Ausgestaltung des EPR-Modells können die vorgenannten Aufgaben auch beim gemeinsamen (non-profit) System integriert sein, das die Pflichten für alle Hersteller und

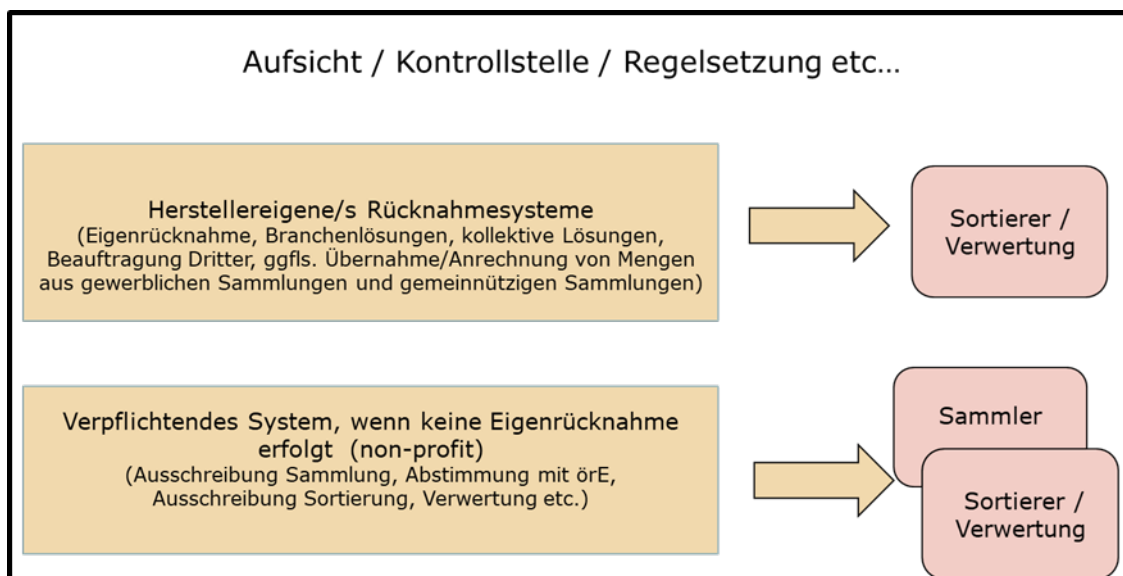
Importeure übernimmt, sofern keine Eigenrücknahme erfolgt. Sollten mehrere Systeme im Wettbewerb agieren, müssten für diese Aufgaben eine neutrale Stelle aufgebaut werden.

9.8.3.5.2 Volle Herstellerverantwortung I

In diesem Modell erfolgt die Umsetzung vollumfänglich durch die Privatwirtschaft. Der öRE ist Abstimmungspartner hinsichtlich der Erfassungsstruktur und übernimmt Aufgaben in Bezug auf die Öffentlichkeitsarbeit, für die er vergütet wird. Sofern er Erfassungsleistungen durchführen möchte, muss er sich im Rahmen der Ausschreibung gleichermaßen bewerben.

Verpflichtete können ihre Pflichten selbst erfüllen (auch in einer Gemeinschaft) oder müssen sich an einem System beteiligen. In letzteren Fall ist das System für alle anderen Verpflichteten für die Organisation der flächendeckenden Rücknahme verantwortlich; es schließt hierzu Verträge mit Erfassungs-, Sortierungs- und Verwertungsunternehmen durch die Vergabe im Wettbewerb. Des Weiteren übernimmt das System die Abstimmung mit den öRE in Bezug auf die Standplatznutzung und Öffentlichkeitsarbeit.

Abbildung 38 Übersicht Rollen und Verantwortlichkeiten volle Herstellerverantwortung I

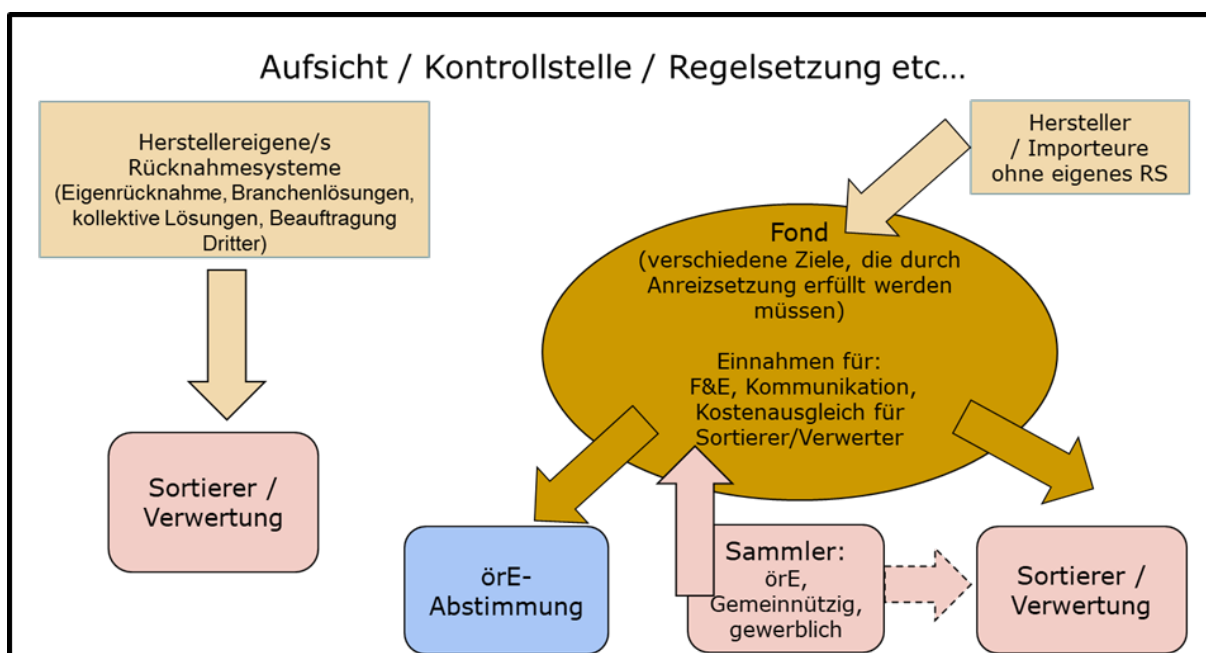


Quelle: eigene Darstellung, Kösegi

9.8.3.5.3 Volle Herstellerverantwortung II (Fondmodell)

Auch im Fondmodell haben die Verpflichteten die Möglichkeit, ihre Pflichten selbst zu erfüllen. Der Fond übernimmt die Aufgabe für alle anderen Verpflichteten. Der Fond soll insbesondere dort unterstützen, wo der (finanzielle) Bedarf gegeben ist. Er selbst hat wie die Verpflichteten auch, Ziele gemäß den gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen. Dazu muss der Fond durch vertragliche Regelungen mit den Entsorgern Anreize setzen, um die Zielvorgaben zu erreichen. Die aktuellen Akteure der Sammlung (gewerbliche und gemeinnützige Sammler, öRE) wie auch Sortierer/Verwerter können sich dem Fondmodell anschließen; insofern würden in diesem Modell die Regelungen zur Erfassung in der heutigen Ausgestaltung bestehen bleiben. Sammler, Sortierer/Verwerter müssen allerdings registriert sein und bestimmte Vorgaben erfüllen, um aus dem Fond zu profitieren (z.B. für Sortierer: bestimmte Quoten, Mengenstromnachweis etc.). Die Abstimmung mit den öRE bezieht sich insbesondere auf die Öffentlichkeitsarbeit und Unterstützung ausreichend Sammelstellen (aller Akteure) im Gebiet zu errichten. Wie bei den anderen Varianten auch kann der Verpflichtete auch ein eigenes Rücknahmesystem implementieren.

Abbildung 39 Übersicht Rollen und Verantwortlichkeiten volle Herstellerverantwortung II (Fondmodell)



Quelle: eigene Darstellung, Kösegi

Generell ist für alle zwei Varianten zu bemerken, dass es durch das Zusammenspiel der verschiedenen Akteure eine Vielzahl an Abstimmungen und Vertragsschlüssen gibt. Der administrative Aufwand für die Verpflichteten wird in jedem Fall ansteigen, auch in Bezug auf die Registrierung und Meldung von Daten. Auch wenn die Pflichten selbst übernommen werden, muss die Erfüllung nachgewiesen werden, was ein zusätzlicher Kontroll- und Reporting Aufwand mit sich bringt. In allen Varianten besteht die Möglichkeit, die Pflichten selbst zu übernehmen. So sind die Modelle sowohl für große als auch kleinere Unternehmen geeignet, die ihre Pflichten ggfls. auf das System übertragen.

Des Weiteren ist zu beachten, dass das novellierte KrWG den öR als Adressat für die Getrennsammelpflicht ab dem 01.01.2025 vorsieht. Aufgrund der bisherigen Beteiligung an der bundesweiten Erfassung von Alttextilien in Höhe von ca. 27 % müssten die öR erst flächendeckende Sammelstrukturen aufbauen bzw. die Organisation für die Getrennterfassung bundesweit übernehmen. Der Aufbau würde bei Einführung einer vollen Herstellerverantwortung obsolet, was zu Konflikten führen kann, wenn der Systemwechsel (unmittelbar) nach 2025 erfolgen würde.

9.8.3.5.4 Bewertung der erweiterten Herstellerverantwortung

Tabelle 129 Bewertung der Maßnahme „erweiterte Herstellerverantwortung“

Kriterium	Bewertung	Punkte
Bürokratischer Aufwand	Hoher bürokratischer Aufwand in Bezug auf die Kontrolle der Pflichten sowie operative Umsetzung; hohe bürokratische Belastung für alle Hersteller, Händler und Importeure und Entsorgungswirtschaft	4
Rechtliche Aspekte	Bedarf einer Regelung auf Basis des § 23 Abs. 4 KrWG	3

Kriterium	Bewertung	Punkte
Statistische Aspekte	Die Erfassung der statistischen Mengendaten ist aufgrund der Meldeverpflichtungen der Hersteller und Entsorger in einem System der erweiterten Herstellerverantwortung gesichert	1
Organisatorischer Aufwand	Hoher organisatorischer Aufwand; Einrichtung von mindestens einer Institution erforderlich; hohe organisatorische Belastung für alle Hersteller, Händler und Importeure sowie Entsorgungswirtschaft	5
Umsetzungshorizont	Langfristig (über 5 Jahre)	5
Verbindlichkeit	Hochverbindlich (da Umsetzung auf gesetzlicher Grundlage erfolgt)	1
Verbesserung der Erfassung	Gesetzliche Vorgaben hinsichtlich der zu erfassenden Menge, sind geeignet, die Sammelmenge zu steigern	2
Beitrag zur Finanzierung des Recyclings	Die Finanzierung der Sammlung und stofflichen Verwertung kann sichergestellt werden. Durch den Aufschlag der Entsorgungskosten auf den Produktpreis erfolgt die Finanzierung nach dem Verursacherprinzip.	1
Stärkung des Recyclings	In Abhängigkeit der gesetzlichen Vorgaben an Erfassung und Verwertung (Quoten) sowie Implementierung von Anreizsystemen zur nachhaltigen Produktgestaltung (z.B. modulated fees) wird das Recycling gestärkt	1
Akzeptanz der Akteure	Hersteller, Handel: gering (hoher Zusatzaufwand) Entsorgungswirtschaft/gemeinnützige Organisationen: hoch Kommunen: mittel Verbraucher*innen: hoch (nachhaltiges Handeln gewinnt immer mehr an Bedeutung)	3
Öffentlichkeitsarbeit	Die Maßnahme erfordert eine intensive Kommunikations- oder Öffentlichkeitsarbeit. Anreize sollen nachhaltiges Handeln der Verbraucher*innen fördern	5
Gewichtetes Ergebnis		2,5
Adressaten	Bundesregierung nach Anhörung beteiligter Kreise, Hersteller, Handel, Importeure	
Fazit	Einer hohen Wirksamkeit bei der Umsetzung ökologischer, ökonomischer und statistischer Anforderungen stehen ein hoher Aufwand bei der Umsetzung entgegen; verschiedene Akteursgruppen fordern die Einführung eines EPR-Systems; die Akzeptanz bei Herstellern und Handel ist gering (hoher Zusatzaufwand)	

9.8.4 Zusammenfassung

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung die größten positiven Effekte in Bezug auf die relevanten Kriterien zur Förderung der textilen Kreislaufwirtschaft hat und auch Lösungen für alle identifizierten Themenbereiche bietet. Die im novellierten KrWG verankerten Vorgaben reichen nicht aus, da kommunale Systeme vordergründig auf die Sammlung ausgelegt sind. Die anderen rechtlichen Regelungen beziehen sich nur auf einen Teilaspekt. Eine freiwillige Selbstverpflichtung reicht aus Erfahrungen in anderen Bereichen nicht aus, um einen systemischen Wandel herbeizuführen. Aus diesem Grund wird die Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung empfohlen.

Es ist davon auszugehen, dass die Umsetzung in ein gesetzliches Regelungswerk noch einige Jahre andauern wird. Für die nächsten, zeitnahen Schritte wird folgende Priorisierung empfohlen:

1. Regierungsbeschluss zur Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung für Textilien

Ein zeitnaher Beschluss ist insbesondere für die öRE relevant, da sie sich zwei bis drei Jahr vor der Einführung der Getrennterfassungspflicht von Textilien mit deren Umsetzung befassen müssen. Insofern sind bei allen weiteren Maßnahmen bestehende Umsetzungsfristen zu beachten.

2. Förderung des Konsums nachhaltiger Produkte und der Umsetzung von Informations- und Beratungspflichten nach dem KrWG

Die aufgezeigten Maßnahmen sollten unmittelbar auf allen Ebenen umgesetzt werden. Die Umsetzung ist kompatibel mit der Einführung anderer gesetzlicher Regelungen und könnten ggfls. in einem neuen Regelwerk weitergeführt werden.

3. Stakeholder Dialog

Die Evaluierung hat gezeigt, dass sich nahezu alle Akteursgruppen bereits heute intensiv mit der Zukunft von Alttextilien befassen. Parallel zur Diskussion in Deutschland wird die Veröffentlichung der EU-Strategie für Textilien in 2021 erwartet, die wie angekündigt auch Regelungsmaßnahmen enthalten wird. Es kann insofern davon ausgegangen werden, dass sich die Europäische Kommission auch mit der Einführung eines EPR-Systems befassen wird. In Bezug auf die zeitliche Abfolge wird allerdings nicht empfohlen, auf die Veröffentlichung und nächste Schritte der EU-Kommission abzuwarten, sondern parallel einen Stakeholder Dialog zu initiieren, der sich mit der Übernahme von Produktverantwortung nach dem KrWG sowie der Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung auseinandersetzt.

In dieser Studie wurden verschiedene Grundmodelle eines EPR-Systems aufgezeigt, wobei jedes EPR-Modell in Teilen modifizierbar ist. Des Weiteren gibt es aktuelle Beispiele von EPR-Systemen für Textilien, deren Umsetzung auf die Ausgangslage in Deutschland abgeglichen werden kann wie aus Frankreich, aus Schweden (Entwurf veröffentlicht) und aus den Niederlanden (Entwurf verfügbar voraussichtlich im 1. Halbjahr 2021). Der Stakeholder Dialog könnte im Rahmen eines Planspiels die Auswirkungen auf verschiedene Aspekte wie Transparenz, Kontrollierbarkeit, Wettbewerb, Wirkungen auf die Herstellung von Textilien, Wirkungen auf die Entsorgung sowie wirtschaftliche Auswirkungen der verschiedenen Modelle bewerten. Die zu erwartenden Elemente der EU-Strategie können ebenso mit einfließen.

10 Priorisierung der Abfallströme

Abschließend zu den vorangegangenen Kapiteln werden die Abfallströme bezüglich der Dringlichkeit zur Verbesserung der stofflichen Verwertung nach definierten Kriterien (Mengenrelevanz, Technologieverfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Ökologie) bewertet, die im Folgenden kurz vorgestellt werden. Die Bewertung erfolgte je Abfallstrom und Kriterium mit den Bewertungspunkten 1 bis 5. Je kleiner das Ergebnis, desto dringlicher sollten Maßnahmen bei dem Abfallstrom umgesetzt werden.

10.1 Kriterien

10.1.1 Mengenrelevanz

Das Kriterium Mengenrelevanz beschreibt das jährliche Aufkommen der Abfallströme. Je größer das Aufkommen eines bestimmten Abfallstroms ist, desto mehr ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen können durch spezifische Maßnahmen erreicht werden. Bei großen Abfallströmen bestehen bessere Bedingungen für die Auslastung großtechnischer Recyclinganlagen.

Tabelle 130 Einstufungsmatrix der Kriterien Mengenrelevanz und Nutzungsdauer

Punkte	Mengenrelevanz
1	> 2 Mio. t/a
2	1-2 Mio. t/a
3	0,5-1 Mio. t/a
4	100.000-500.000 t/a
5	< 100.000 t/a

10.1.2 Technologieverfügbarkeit

Das Kriterium Technologieverfügbarkeit setzt sich zusammen aus der Verfügbarkeit von Recyclinganlagen und dem Grad der Etablierung von recyclingfähigem Produktdesign. Der vorhandene Erfahrungsschatz und die Verfügbarkeit von Beste-Praxis-Beispielen zu dem jeweiligen Produkt- bzw. Abfallstrom werden dabei berücksichtigt.

Tabelle 131 Einstufungsmatrix der Kriterien Recyclinganlagen und Produktdesign

Punkte	Recyclinganlagen	Produktdesign
1	funktionierende Anlagen in Deutschland	breite Palette an Produkten recyclingfähig
2	funktionierende Anlagen außerhalb Deutschlands	einige Produkte sind recyclingfähig und am Markt etabliert
3	Demonstrationsanlagen und erfolgsversprechende Konzepte im In- bzw. Ausland; Erfahrungen aus fehlgeschlagenen Recyclingverfahren in Deutschland vorhanden	vereinzelte Produkte sind bereits recyclingfähig, aber nicht die Norm
4	Pilotprojekte geplant; einzelne Patente vorhanden	an recyclingfähigen Produkten wird gearbeitet
5	bisher keine erfolgsversprechende Technologie verfügbar	recyclingfähiges Produktdesign ist eine Herausforderung

10.1.3 Wirtschaftlichkeit

Das Kriterium Wirtschaftlichkeit betrachtet die Kosten und Erlöse von Recyclingverfahren und den Aufwand der Sammlung für das Recycling eines Abfallstroms. Je höher der Aufwand für die recyclinggerechte Sammlung eines Abfallstroms ist und je höher die Investitions- und Betriebskosten für eine Recyclinganlage sind, desto größer ist die Belastung für die Marktteilnehmer, die mit den jeweiligen politischen Maßnahmen adressiert werden. Ziel muss immer sein, mit möglichst wenig belastenden und effizienten Maßnahmen die größtmöglichen ökologischen Vorteile zu erzielen.

Tabelle 132 Einstufungsmatrix der ökonomischen Kriterien Recyclingverfahren und Sammlung

Punkte	Recyclingverfahren	Sammlung
1	wirtschaftlich tragfähig; Kosten gleich oder niedriger als energetische Verwertung	gut funktionierendes System vorhanden
2	kann mit energetischer Verwertung konkurrieren, Kosten liegen etwas höher	Anpassung bestehender Sammelsysteme mit vertretbarem Aufwand möglich
3	teurer als energetische Verwertung, bedingt konkurrenzfähig, abhängig von Förderung	Änderung bestehender Systeme notwendig und mit Mehrkosten verbunden
4	mehr als doppelt so teuer wie energetische Verwertung; langfristige Tragfähigkeit unklar	aufwendig umzusetzen und mit deutlichen Mehrkosten verbunden
5	keine wirtschaftlichen Verfahren vorhanden	Sammlung wäre unverhältnismäßig teuer

10.1.4 Ökologie

Recycling darf nicht zum Selbstzweck erfolgen. Voraussetzung für Maßnahmen, die eine finanzielle oder bürokratische Belastung für Wirtschaft und Gesellschaft mit sich bringen, ist, dass ein relevanter ökologischer Nutzen durch die Rückgewinnung von möglichst hochwertigen Ressourcen erzielt werden kann.

Das Kriterium Ökologie befasst sich zum einen mit den im Abfallstrom gebundenen endlichen oder kritischen Ressourcen und zum anderen mit dem Potenzial der stofflichen Verwertung des Abfallstroms.

Tabelle 133 Einstufungsmatrix der Kriterien Recyclingquote und Ressourcen

Punkte	Recyclingquote	Ressourcen
1	sehr hohe Recyclingquote möglich; Einsatz in Herstellung gleichwertiger Produkte	Produkt besteht größtenteils aus endlichen oder kritischen Ressourcen; positive Effekte für Recyclingverfahren in Ökobilanzen ermittelt
2	hohe Recyclingquote möglich; Einsatz in Herstellung neuer Produkte	Produkt besteht größtenteils aus endlichen oder kritischen Ressourcen; überwiegend positive Effekte für Recyclingverfahren in Ökobilanzen ermittelt
3	mittlere Recyclingquote möglich; Einsatz in Herstellung niederwertiger Produkte	Produkt besteht teilweise aus endlichen oder kritischen Ressourcen; überwiegend positive Effekte für Recyclingverfahren in Ökobilanzen ermittelt
4	nur niedrige Recyclingquote möglich	Produkt besteht größtenteils aus nachwachsenden Rohstoffen; keine positiven Effekte für Recyclingverfahren in Ökobilanzen ermittelt
5	keine sinnvoll einsetzbaren Sekundärmaterialien in Recyclingverfahren zu erhalten	Produkt besteht größtenteils aus nachwachsenden Rohstoffen; negative Effekte für Recyclingverfahren in Ökobilanzen ermittelt

10.1.5 Gewichtung der Kriterien

Tabelle 134 Gewichtung der Kriterien zur Priorisierung der Abfallströme

Kriterium		Gewichtung	
		Einzelwertung	Summe
Mengenrelevanz		25%	25%
Technologieverfügbarkeit	Recyclinganlagen	10%	15%
	Produktdesign	5%	
Wirtschaftlichkeit	Recyclingverfahren	10%	20%
	Sammlung	10%	
Ökologie	Recyclingquote	20%	40%
	Ressourcen	20%	

10.2 Bewertung der Abfallströme

Die zuvor untersuchten Abfallströme wurden nach den genannten Kriterien eingestuft, um einen Vergleich zu ermöglichen. Ausgangspunkt ist die Überlegung, für welchen der Abfallströme vorrangig Maßnahmen umgesetzt werden sollten. Dabei wurden die Kriterien unterschiedlich gewichtet, da die einzelnen Kriterien unterschiedliche Relevanz für politische Maßnahmen haben. Die Wichtung, sowie die Einstufung und das für jeden Abfallstrom berechnete Ergebnis sind in Tabelle 135 dargestellt.

Tabelle 135 Einstufung und Ergebnis der Abfallströme

Kriterien		Wichtung	Sperrmüll	Altmatrizen	Altmöbel	Altteppich	Kunstrasenabfall	Windelabfall	Altreifen	Alttextilien
Mengenrelevanz		25 %	1	4	1	4	5	2	3	2
Technologieverfügbarkeit	Recyclinganlagen	10 %	1	3	2	3	2	2	1	2
	Produktdesign	5 %	4	2	3	3	2	3	5	2
Ökonomie	Recyclingverfahren	10 %	5	3	5	4	2	2	2	2
	Sammlung	10 %	4	2	4	3	2	4	2	1
Ökologie	Recyclingquote	20 %	4	2	4	2	2	2	2	2
	Ressourcen	20 %	4	2	4	2	2	2	1	2
Gewichtetes Ergebnis			3,1	2,7	3,1	3,0	2,8	2,3	2,1	1,9
Rangfolge			7	4	8	6	5	3	2	1

Im Ergebnis wird empfohlen, in erster Linie für die Abfallströme Alttextilien und Altreifen Maßnahmen zu ergreifen. Bei Alttextilien ändern sich derzeit akut die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, sodass zu befürchten ist, dass die Sammelsysteme und die Möglichkeiten der Verwertung in Deutschland verschwinden. Theoretisch sind hohe Recyclingquoten in der Altreifenverwertung möglich, aber aufgrund der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und rechtlicher Unsicherheiten hinsichtlich der PAK-Grenzwerte wird das Potenzial derzeit nicht ausgeschöpft.

In zweiter Linie sollten Maßnahmen für Windeln, Matratzen, Kunstrasen und Teppiche umgesetzt werden, da diese Produkte zum Teil aus erdölbasierten Materialien hergestellt werden und es durch Änderungen im Produktdesign oder im Sammelsystem sowie durch den Aufbau von Recyclinganlagen möglich wäre, Sekundärrohstoffe zurückzugewinnen. Sperrmüll und Möbel weisen zwar die höchste Mengenrelevanz auf, bestehen jedoch zum größten Teil aus Holzwerkstoffen, die derzeit in keiner ökonomisch und ökologisch geeigneten Qualität für die Verwertung zurückgewonnen werden können. Dementsprechend erreichen Sperrmüllsortieranlagen in Deutschland derzeit Recyclingquoten im einstelligen Prozentbereich. Statt Maßnahmen im Bereich der stofflichen Verwertung werden für Möbel bzw. Sperrmüll in erster Linie Maßnahmen zur Vermeidung und Wiederverwendung empfohlen.

11 Quellenverzeichnis

- Abfallwirtschaft Landkreis Lörrach (o.J.): Hartkunststoffe. <https://www.abfallwirtschaft-loerrach-landkreis.de/wertstoffe/hartkunststoffe> (23.07.2020)
- Abfallwirtschaft Vechta (o.J.): Hartkunststoffe: Ausgedient, aber zu schade zum Verbrennen!. <https://www.abfallwirtschaft-vechta.de/index.php/abfallentsorgung/sortier-system/234-hartkunststoffe> (23.07.2020)
- ACE (2020): Auto Club Europa e. V.: Runderneuerte Reifen – Neues Leben eingehaucht. <https://www.ace.de/nc/ratgeber/fahrberichte/fahrberichte-artikel/artikel/runderneuerte-reifen-neues-leben-eingehaucht/> (23.04.2020)
- ADAC (2020a): ADAC: Runderneuerte Reifen: Eine gute Alternative zu Neureifen? <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/reifen/reifenkauf/runderneuerte-reifen/> (23.04.2020)
- ADAC (2020b): Wie alt dürfen Reifen sein? <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/reifen/reifenkauf/reifenalter/> (24.02.2021)
- Adidas (2013): Adidas RFID store. <http://retail-innovation.com/a-look-into-adidas-neo-concept-stores/> (25.08.2020)
- AFIP, Aliapur, CCFA, CSIAM, FRP, Mobivia (2019): Accord volontaire de la filière pneumatique pour une économie circulaire et la réduction des impacts environnementaux (dt.: Freiwillige Vereinbarung der Reifenindustrie für eine Kreislaufwirtschaft und eine Verringerung der Umweltauswirkungen.). <https://www.aliapur.fr/uploads/pdfs/2019-07-15-accord-volontaire-filiere-pneumatique.pdf> (05.10.2020)
- Aliapur (2020): The Essentials 2019. <https://www.aliapur.fr/uploads/pdfs/aliapur-essentiel-2019-en.pdf> (19.09.2020)
- Aliapur (o.J.): Aliastocks, pour les pneus hors filière (dt.: Aliastocks, für Geländereifen). <https://www.aliapur.fr/fr/faire-collecter-ses-pneus.html> (24.09.2020)
- Aliapur, AMF, CNR, FRP (2018): Charte de reprise des pneumatiques usagés en déchèteries (dt. :). Association des maires de France et des présidents d'intercommunalité (ANF), Cercle National du Recyclage (CNR). <http://www.gie-frp.com/infos-et-reglementations.html> (24.09.2020)
- AltholzV (2002): Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung vom 15. August 2002 (BGBl. I S. 3302), die zuletzt durch Artikel 120 der Verordnung vom 19.Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist)
- Ambista (2019): Möbelbranche: Zahlen, Daten, Fakten 2019. <https://www.ambista.com/de/magazin/jahrbuch-der-moebelbranche> (25.08.2020)
- Andersen, D. (2019): Re-Match Turf Recycling. Re-Match A/S. <https://static1.squarespace.com/static/54cfae0ce4b00a94eb7327a8/t/5c98c89a1905f42a6f53d429/1553516706894/8.+Dennis+Anderssen+Rematch+Recycling.pdf> (13.08.2020)
- Anjum, A.; Ramani, B.; Bramer, E.; Brem, G.; Dierkes, W.; Blume, A. (2019): Role of Recovered Carbon Black Ash Content Composition on In-Rubber Performance. In: International Rubber Conference, 05.09.2019. <https://research.utwente.nl/en/publications/role-of-recovered-carbon-black-ash-content-composition-on-in-rubb> (20.11.2020)
- ANSES (2018): Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Scientific and technical support on the possible risks related to the use of materials derived from the recycling of used tyres in synthetic sports grounds and similar uses. November 2018

Arbeitskreis Straßenbauabfälle Rheinland-Pfalz (2003): Leitfaden für die Behandlung von Ausbaupavement und Straßenaufbruch mit teer-/pechtypischen Bestandteilen. <https://www.edoweb-rlp.de/resource/edoweb:1750751-1/data> (22.12.2020)

ARN Advisory (2011): Ecotest. <https://www.recybem.nl/en/about-recybem/environmental-performance/ecotest> (12.02.2021)

ARN BV (o.J.): Diaper recycling: the benefits. <http://www.recyclediapers.com/> (19.06.2020)

Artificialgrass: Naturrasen mit Kunstrasenfasern verstärkt. <http://www.artificialgrass.info/de/ueber-kunstrasen/verstaerkter-naturrasen.html> (26.08.2020)

Asbestos Gruppe (o.J.): Rohstoffe zurückgewinnen statt verbrennen. <https://www.asbestosgruppe.de/leistungen/matratzen-recycling.html> (27.07.2020)

A.T.U Auto-Teile Unger GmbH (2019): A.T.U erhält Top-Auszeichnung für „Nachhaltiges Engagement“. Pressemitteilung. <https://www.atu.de/pages/unternehmen/presse/pressemitteilungen/2019/2019-04-24-pm-nachhaltigkeit-auszeichnung.html> (26.08.2020)

Auping Germany B.V. & Co. KG (o.J.): Matratze Evolve. <https://www.auping.com/de/matratzen/matratze-evolve> (27.07.2020)

Azizian, M.; Nelson, P.; Thayumanavan, P.; Williamson, K.J. (2003): Environmental impact of highway construction and repair materials on surface and ground waters. Case study: crumb rubber asphalt concrete. Waste management, 23 8, 719-28.

Badila, C. A. (2013): Scrap Tire Weight and Characteristics Study Passenger Light Truck (PLT). 2013, <http://www.tirestewardshipmb.ca/wp-content/uploads/Scrap-Tire-Weight-and-Characteristics-Study-October-2013-1.pdf> (27.08.2020)

Baer, C. (2020) Telefongespräch mit Herrn Baer (KRB Unternehmensgruppe) am 26.08.2020

BAFU (2019): Altreifen. Bundesamt für Umwelt, Schweiz. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/abfallwegweiser-a-z/altreifen.html> (07.09.2020)

Bakas, I.; Jørgensen Kjær, B.; Schmidt, A.; Hedal Kløverpris, N.; Vogt, R.; Giegrich, J. (2009): Ökobilanzieller Vergleich zweier Verwertungsalternativen für Altreifen: Stoffliche Verwertung und Mitverbrennung im Zementofen. Genan Business & Development A/S.

Banar, M. (2015): Life Cycle Assessment of Waste Tire Pyrolysis. Fresenius Environmental Bulletin, 2015, 24, 4.

Barrero-Moreno, J.; Senaldi C.; Bianchi, I.; Geiss, O.; Tirendi, S.; Folgado de Lucena, A.; Barahona, F.; Mainardi, G.; Leva P.; Aguar-Fernandez, P. (2018): Migration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from plastic and rubber articles. JRC Technical Reports EUR 29282 EN.

Barrie, L. (2018): Inditex to deploy RFID technology across all brands by 2020. https://www.just-style.com/news/inditex-to-deploy-rfid-technology-across-all-brands-by-2020_id134124.aspx (25.08.2020)

Bartlett, C; McGill, I; Willis, P (2012): Textiles flow and market development opportunities in the UK (S. 20)

Bartsch, N.; Heidler, J.; Vieth, B.; Hutzler, C.; Luch, A. (2016): Skin permeation of polycyclic aromatic hydrocarbons: A solvent-based in vitro approach to assess dermal exposures against benzo[a]pyrene and dibenzopyrenes. J. Occup. Environ. Hyg. 13, 969-979.

BASF (2020): Chemisches Recycling: Pyrolyseöl aus Altreifen. In: Recycling magazin, 2020, 10, S. 19, DETAIL Business Information GmbH, München. <https://www.recyclingmagazin.de/2020/09/22/chemisches-recycling-pyrolyseol-aus-altreifen/> (13.11.2020)

BASF (2019): DSM and BASF produce prototype of a special adhesive based on plastic waste.

<https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/whats-new/sustainability-news/2019/dsm-prototype-adhesive-based-on-plastic-waste.html> (25.08.2020)

BAST (2000): Bundesanstalt für Straßenwesen: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen.

https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Publikationen/Archiv/Infos/2001-2000/05-2000.html (22.12.2020)

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2011): InfoBlatt Abfallwirtschaft: Altreifen.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2015): Untersuchung von Spanplatten vor dem Hintergrund der stofflichen Verwertung von Altholz. Artikel-Nr: Ifu_abfall_00214.

https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/ifu_abfall_00214.htm (26.08.2020)

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2019): Leitfaden für die Vorbereitung zur Wiederverwendung.

https://www.stmuv.bayern.de/themen/abfallwirtschaft/haushalts_gewerbeabfaelle/abfallvermeidung/leitfaden_wiederverwendung.htm (26.08.2020)

Bbab (2009): Besluit beheer autobanden (dt.: Dekret zur Verwaltung von Fahrzeugreifen) (Fassung vom

01.05.2009). Niederlande. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0016038/2009-05-01#SlotformulierEnOndertekening> (19.09.2020)

Beckmann, M.; Pohl M.; Ncube, S. (2007): Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen hinsichtlich brennstofftechnischer Eigenschaften. Energie aus Abfall – Band 3, S. 204. TK Verlag

Beier (o.J.): Ab mittlerer Inkontinenz werden Windeln von der Krankenkasse bezahlt. <https://www.pflege-durch-angehoerige.de/ab-mittlerer-inkontinenz-werden-windeln-von-der-krankenkasse-bezahlt/> (26.08.2020)

BEK Nr 1347 af 21/11/2016. Bekendtgørelse om gebyr og tilskud til nyttiggørelse af dæk (dt.: Verordnung über Gebühren und Subventionen für die Rückgewinnung von Reifen vom 21.11.2016).

<https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2016/1347> (24.09.2020)

Benton, A; Dias, D; Farrant, L; Gibon, T; Le Guern, Y; Desaxce, M; Perwuelz, A; Boufateh, I (2014): Environmental Improvement Potential of textiles

Berghaus, U. (2020) Telefongespräch mit Herrn Dr. Berghaus (Morton Extrusionstechnik GmbH) am 24.08.2020

Bertling J.; Bertling R.; Hamann, L. (2018): Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen.

<https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/publikationen/2018/kunststoffe-id-umwelt-konsortialstudie-mikroplastik.pdf> (26.08.2020)

Bilitewski B.; Härdtle, G. (2013): Abfallwirtschaft, Handbuch für Praxis und Lehre. 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013

Bilitewski, B.; Wagner, J.; Reichenbach, J. (2018): Bewährte Verfahren zur kommunalen Abfallbewirtschaftung. Informationssammlung über Ansätze zur nachhaltigen Gestaltung der kommunalen Abfallbewirtschaftung und dafür geeignete Technologien und Ausrüstungen. UBA-FB 002527. ISSN 1862-4359

BiCon AG (2003): Altreifenentsorgung. Was ist ökologisch sinnvoll? http://www.bicon-ag.com/gutachten-uvp/VCS_Altreifen_BiCon_2003.pdf (26.08.2020)

Bockhorn, H. (2015): Technologisches Gutachten zum Thermolyse-Verfahren für Altreifengummi der Pyrum Innovations ESC GmbH (Zusammenfassung).

https://www.pyrum.net/fileadmin/pdf/Gutachten_Pyrum_kurz.pdf?v=1501172692 (20.11.2020)

Boeckh, M. (2020): Pyrolyse kann die Wertsteigerung beim Altreifenrecycling deutlich erhöhen: Mit Carbon Black gegen den Klimawandel. In: Entsorga-Magazin, 2020, 04, S. 20-21.

Boustani, A.; Sahni, S.; Gutowski, T.; Graves, S. (2010): Tire Remanufacturing and Energy Savings. Environmentally Benign Manufacturing Laboratory, Sloan School of Management.
<http://web.mit.edu/ebm/www/Publications/MITEI-1-h-2010.pdf> (02.12.2020)

Branchenradar (2017, 2018, 2020): BRANCHENRADAR Textile Bodenbeläge in Deutschland. Leseprobe. BRANCHENRADAR.com Marktanalyse GmbH

Braun (2010): Sekundärbrennstoffeinsatz in der Zementindustrie - vom Altreifen bis zum Tiermehl. Lafarge - Centre Technique Europe Centrale GmbH, Wien.

Bricoflor (2018): Messeteppich – ideal für Ihren individuellen Messeauftritt!
<https://www.bricoflor.de/blog/2018/06/22/messeteppich> (26.08.2020)

Brouwer, H. (2019): Circular Textiles Ready to market; European Clothing Action Plan

BRV (2019): Pressemitteilung: Reifenersatzgeschäft in Deutschland 2018, Tabelle "Reifenersatzgeschäft in Deutschland", Stand 03/2019. https://www.bundesverband-reifenhandel.de/fileadmin/user_upload/Pressemitteilungen/2019/PI_19031501_REG_2018_2019_Tabelle.pdf (22.12.2020)

Bünemann, A.; Kösegi, N. (2019): Erweiterte Produzentenverantwortung für Textilien – Fachtagung der Gemeinschaft für textile Zukunft. Textilrecycling - eine zwingende Herausforderung, Kempinski Bristol, 27.11.2019, Berlin

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit (BLAC)(2012): Bericht zum nationalen Überwachungsschwerpunkt „PAK in Reifen“. Baden-Württemberg.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (o.J.): Mode und Textilien. <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/produkte-und-konsum/produktbereiche/mode-und-textilien/> (17.12.2020)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)(2020): Rede von Svenja Schulze bei der Lieferkettenkonferenz. <https://www.bmu.de/rede/rede-von-svenja-schulze-bei-der-lieferkettenkonferenz/> (27.12.2020)

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (2009): PAK in verbrauchernahen Produkten müssen so weit wie möglich minimiert werden, Aktualisierte Stellungnahme Nr. 025/2009 des BfR vom 8. Juni 2009

Bundesministerium der Finanzen (2000): AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter (AfA-Tabelle "AV").
https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/Ergaenzende-AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_AV.html (26.08.2020)

Bundesregierung (1995): Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Marion Caspers-Merk, Dr. Angelica Schwall-Düren, Wolfgang Behrendt, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der SPD – Entsorgung von Altreifen. Drucksache 13/1572, 01.06.1995.

Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk e. V. (BRV) (2019): Pressemitteilung. Reifenersatzgeschäft in Deutschland 2018, Tabelle "Reifenersatzgeschäft in Deutschland", Stand 03/2019. https://www.bundesverband-reifenhandel.de/fileadmin/user_upload/Pressemitteilungen/2019/PI_19031501_REG_2018_2019_Tabelle.pdf

Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk e. V. (BRV)(2020): Branchenspezifische Kriterien für die Zertifizierung von Altreifenentsorgungsbetrieben

Busch, G.; Burkhardt, M.; Wegner, J.-E. (2013): Verfahren zur Behandlung und Separation von Cellulose-Kunststoff-Mischprodukten.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/a2/56/7e/9995bcca850432/WO2013171248A2.pdf> (26.08.2020)

BVD (2015): Merkblatt Lagerung, Behandlung und Export von Alt- und Gebrauchtreifen. Bau- und Verkehrsdirektion, Kanton Bern, Schweiz.

https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/formulare_bewilligungen/Abfllle.html

bvse (2020): Textilstudie 2020 - „Bedarf, Konsum, Wiederverwendung und Verwertung von Bekleidung und Textilien in Deutschland“

C&A (o.J.): we take it back. <https://www.c-and-a.com/de/de/shop/wetakeitback> (26.08.2020)

Cambell-Johnston, K.; Friant, M. C.; Thapa, K.; Lakerveld, D.; Vermeulen, W. J.V. (2020): How circular is your tyre: Experiences with extended producer responsibility from a circular economy perspective. In Journal of Cleaner Production, Band 270, Eslevier B.V., Amsterdam, Nr. 122042.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122042> (29.09.2020)

Cardona, N.; Campuzano, F.; Betancur, M.; Jaramillo, L.; Martínez, J.D. (2018): Possibilities of carbon black recovery from waste tyre pyrolysis to be used as additive in rubber goods -a review-. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 437, 012012. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/437/1/012012/meta> (04.12.2020)

Ceresana (2020): Marktstudie Carbon Black (Industrieruß).

<https://www.ceresana.com/de/marktstudien/chemikalien/carbon-black/> (23.11.2020)

Changing Markets Foundation (2018): Auf Schadstoffe getestet. Chemikalien in europäischen Teppichböden als Gesundheitsrisiko und Hindernis für die Kreislaufwirtschaft.

[https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Teppich-Recycling/181030 Bericht Auf Schadstoffe getestet FINAL.pdf](https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Teppich-Recycling/181030_Bericht_Auf_Schadstoffe_getestet_FINAL.pdf) (20.08.2020)

Changing Markets Foundation (2019): Smoke and Mirrors. Exposing the reality of carpet recycling in the UK.

https://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2019/11/Smoke_and_Mirrors_FINAL.pdf (20.08.2020)

Chapman und Bartlett (2015): A Business Case for Mattress Recycling in Scotland. A Business Case for investment in infrastructure. <https://www.zerowastescotland.org.uk/content/business-case-mattress-recycling-scotland-0> (17.06.2020)

Circle Economy (2020): CLOTHING LABELS: ACCURATE OR NOT?. <https://www.circle-economy.com/resources/clothing-labels-accurate-or-not> (26.08.2020)

Circular Polymers (o.J.): Recycled Polymer From Carpet. <https://circularpolymers.com/> (23.12.2020)

Clauzade, C.; Osset, P.; Hugrel, C.; Chappert, A.; Durande, M.; Palluau, M. (2010): Life cycle assessment of nine recovery methods for end-of-life tyres. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2010, 15, S. 883-892. Springer Nature Switzerland AG, Cham. <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0224-z> (20.11.2020)

Cobbing, M.; Jacobson, T.; Santen, M. (2015): Chemie in unberührter Natur- Greenpeace untersucht die globale Verbreitung gefährlicher per –und polyfluorierter Chemikalien, Greenpeace e.V

Code de l'environnement (*C.envir.*) (12.08.2016), Livre V, Titre IV, Chapitre III – Section 8 : Déchets de pneumatiques – Articles R543-137 à R543-152-1 (dt.: Umweltgesetz, Buch V, Titel IV, Kapitel III – Abschnitt 8: Reifenabfälle, Artikel R543-137 bis R543-152-1, Stand 12.08.2016). https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006176999/2016-08-12/#LEGISCTA000024357669 (24.09.2020)

Collet, P. (2017): Recyvalor fait figure d'exemple pour la gestion des stocks de déchets historiques. Actu-Environnement. <https://www.actu-environnement.com/ae/news/recyvalor-exemple-gestion-dechets-stocks-historiques-30115.php4> (12.02.2021)

Continental (1999): Produkt-Ökobilanz eines Pkw-Reifens. Hannover.

COP Copenhagen Resource Institute et. al. (2009): Ökobilanzieller Vergleich zweier Verwertungsalternativen für Altreifen: Stoffliche Verwertung und Mitverbrennung im Zementofen. Kurzfassung. Verfasser Copenhagen Resource Institute, FORCE Technology und Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

CORDIS - Informationsdienst der Gemeinschaft für Forschung und Entwicklung (o.J.): Sustainable Closed Loop System for Recycling of Carpet Materials. <https://cordis.europa.eu/article/id/80438-recycling-carpet-materials/de> (19.08.2020)

Cordis (2020): For the Circular Economy of Tyre Domain: Recycling End of Life Tyres Into Secondary Raw Materials For Tyres And Other Product Applications. <https://cordis.europa.eu/project/id/869625> (19.11.2020)

Cormatex Textile Machinery and Lines: Green Block project. <https://www.cormatex.it/en/who-we-are/green/> (17.06.2020)

CTS Bitumen GmbH (2015): CTS GRM presentation a rubber modified bitumen granulate. https://www.cts-bitumen.de/images/pdf/Was_ist_CTS_GRM.pdf

Danninger R. (Danninger OHG Spezialtransporte, 2020), Auskunft einer telefonischen Befragung.

Date, W. (2013): UKs only nappy recycling facility closes. letsrecycle.com. <https://www.letsrecycle.com/news/latest-news/uks-only-nappy-recycling-facility-closes/> (22.06.2020)

Dækbranchens Miljøfond (o.J.): Information til dæksamlere (dt.: Informationen für Altreifensammler). <https://www.daekbranchens-miljoefond.dk/indsamlere> (24.09.2020)

Dækbranchens Miljøfond (o.J.): Scrap tyre recycling. <https://www.daekbranchens-miljoefond.dk/english> (24.09.2020)

Decathlon (o.J.): second use. <https://second-use.decathlon.de> (26.08.2020)

de Gelderlander (2008): Definitief einde voor Knowaste. <https://www.gelderlander.nl/arnhem/definitief-einde-voor-knowaste~a22bfe62/?referrer=https://www.google.com/> (24.06.2020)

Deilmann, C.; Reichenbach, J.; Krauß, N.; Gruhler, K. (2017): Zukunft Bauen. Materialströme im Hochbau. Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung (BBSR), Bonn. ISBN: 978-3-87994-284-8

Delemare Tangpuori, A.; Harding-Rolls, G.; Urbancic, U; Purita Banegas Zallio, Z; (2020): Verwirren, verzögern, verhindern – das falsche Spiel der Großkonzerne in der globalen Plastikkrise; Changing Markets Foundation

Deloitte (2011): Absorbent Hygiene Products Comparative Life Cycle Assessment. Knowaste Ltd. Summary of Findings. http://www.knowaste.com/wp-content/uploads/2018/02/Deloitte-dcarbon8_Knowaste-LCA_Exec_Summary.pdf (22.06.2020)

DESTATIS (2014–2018): Tourismus in Zahlen (2013–2017). https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Gastgewerbe-Tourismus/_inhalt.html#sprg236172 (14.10.2019)

DESTATIS (2015-2019): Abfallentsorgung - Fachserie 19, Reihe 1 der Jahre 2013–2017. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/_inhalt.html;jsessionid=20AC7E0A06C904364F0DAF7AE129B22C.internet712#sprg238672 (14.10.2019)

DESTATIS (2018): Gesundheit - Grunddaten der Krankenhäuser 2017. Fachserie 12 Reihe 6.1.1. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Publikationen/Downloads-Krankenhaeuser/grunddaten-krankenhaeuser-2120611177004.pdf?__blob=publicationFile (14.10.2019)

DESTATIS (2019): Fortschreibung des Bevölkerungsstandes. GENESIS-Online Datenbank. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (14.10.2019)

DESTATIS (2019a): Anzahl der Einrichtungen und die Anzahl der Betten und Patientenbewegung der Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Vorsorgeeinrichtungen-Rehabilitationseinrichtungen/Tabellen/gd-vorsorge-reha-jahre.html> (14.10.2019)

DESTATIS (2019b): Produzierendes Gewerbe, Fachserie 4, Reihe 3.1, 2018. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Konjunktur/produktion-jahr-2040310187004.pdf?__blob=publicationFile (14.10.2019)

DESTATIS (2019c): Abfallentsorgung - Fachserie 19, Reihe 1, 2017. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallentsorgung-2190100177004.pdf?__blob=publicationFile (14.10.2019)

DESTATIS (2019d): Statistiken der Kinder- und Jugendhilfe. Kinder und tätige Personen in Tageseinrichtungen und in öffentlich geförderter Kindertagespflege am 01.03.2019. Artikelnummer: 5225402197004

DESTATIS (2019e): Pflegebedürftige nach Versorgungsart, Geschlecht und Pflegegrade. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Pflege/Tabellen/pflegebeduerftige-pflegestufe.html> (23.06.2020)

Deutsches Institut für Bautechnik (2019): Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB 2019/1), Ausgabe 15.01.2020, Kapitel 2.2.2

Deutsches Krankenhaus Verzeichnis (o.J.): Glossar zum Deutschen Krankenhaus Verzeichnis. Fallzahl. <https://www.deutsches-krankenhaus-verzeichnis.de/das-dkv/glossar-begriffe> (26.08.2020)

Deutsche Umwelthilfe (2017): Unter den Teppich gekehrt. Das große Entsorgungsproblem der Teppichbodenindustrie in Deutschland. https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Teppich-Recycling/170228_DUH_Studie_Das_gro%C3%9Fe_Entsorgungsproblem_der_dt_Teppichindustrie_DT_FINAL.pdf (26.08.2020)

Deutsches Institut für Bautechnik (2019): Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB 2019/1), Ausgabe 15.01.2020, Kapitel 2.2.2

DFB (2017): Sportplatzbau und -erhaltung. 5. Auflage 2017. Deutscher Fußball-Bund e.V. <https://www.dfb.de/sportstaetten/foerderung-von-sportstaetten/> (24.07.2020)

DFB und DStGB (2019): Gemeinsame Stellungnahme des DFB und des DStGB im Rahmen der Konsultation zum Beschränkungsvorschlag der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) „Mikroplastik“. Deutscher Fußball-Bund e.V., Deutscher Städte- und Gemeindebund e.V. https://www.swfv.de/sites/default/files/2019-10/DFB_DStGB_Stellungnahme_ECHA_17092019_endg.pdf (12.08.2020)

DHB (2020): Antwort auf schriftliche Anfrage vom 10.08.2020. Deutscher Hockey-Bund.

Dierig, C. (2015): Der irre Siegeszug der Boxspring-Betten. Die Welt vom 21.10.2015. <https://www.welt.de/wirtschaft/article147862124/Der-irre-Siegeszug-der-Boxspring-Betten.html> (14.10.2019)

Donkersloot (o.J.): Duurzaamheid. Circulair. <https://www.donkersloot-tapijt.nl/Duurzaamheid/Circulair.html> (06.07.2020)

Döring, P., Glasenapp, S., Mantau, U. (2017): Holzwerkstoffindustrie 2015. Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung. Universität Hamburg. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn058690.pdf (25.08.2020)

Dornbusch, H.-J.; Hannes, L.; Santjer, M.; Böhm, C.; Wüst, S.; Zwisele, B.; Kern, M.; Siepenkothen, H.-J.; Kanthak, M. (2020): Vergleichende Analyse von Siedlungsrestabfällen aus repräsentativen Regionen in Deutschland zur Bestimmung des Anteils an Problemstoffen und verwertbaren Materialien. Abschlussbericht. Umweltbundesamt, Texte 113/2020. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vergleichende-analyse-von-siedlungsrestabfaellen> (26.08.2020)

DOSB (2019): Fragen und Antworten rund um das Thema Sportstätten und Mikroplastik. Deutscher Olympischer Sportbund e.V. [https://cdn.dosb.de/user_upload/Sportentwicklung/Fragen und Antworten rund um das Thema Sportstae-tten und Mikroplastik Stand September 2019.pdf](https://cdn.dosb.de/user_upload/Sportentwicklung/Fragen_und_Antworten_rund_um_das_Thema_Sportstae-tten_und_Mikroplastik_Stand_September_2019.pdf) (27.07.2020)

Dri, M., Canfora, P., Antonopoulos, I. S., Gaudillatm P. (2018): Best Environmental Management Practice for the Waste Management Sector, JRC Science for Policy Report, EUR 29136 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-80361-1, doi:10.2760/50247, JRC111059

DSM-NIAGA (o.J.): A circular world is at your feet. <https://www.dsm-niaga.com/applications/carpet.html> (06.07.2020)

DTB (2019): Entwicklung Tennisplätze beim Deutschen Tennis Bund e.V. Deutscher Tennis Bund e.V. <https://www.dtb-tennis.de/Verband/Ueber-uns/Daten-Fakten> (27.08.2020)

Dufft, K. (2020): Telefongespräch mit Herrn Dufft (Deutscher Olympischer Sportbund e.V.) am 10.08.2020

Dutch Circular Textiles Platform (2017): Roadmap Circulair Textiel: <https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/linkportaal/publicaties/downloads-0/on-the-road-towards/> (27.08.2020)

Eastman (2019): Eastman to recycle discarded carpet into new materials. https://www.eastman.com/Company/News_Center/2019/Pages/Eastman-to-recycle-discarded-carpet-into-new-materials.aspx (21.08.2020)

EBIA- European Bedding Industries' Association (2011): Consumer Surveys. Main Conclusions of the 2011 Survey. <https://www.europeanbedding.eu/facts/consumer-surveys/> (16.10.2020)

ECAP (o.J.): European Clothing Action Plan. <http://www.ecap.eu.com/>

ECHA (2017): ANNEX XV report –An Evaluation of the Possible Health Risks of Recycled Rubber Granules Used as Infill in Synthetic Turf Sports Fields

ECHA (2019): Committee for Risk Assessment (RAC), Committee for Socio-economic Analysis (SEAC): Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Polycyclic-aromatic hydrocarbons (PAH) (S. 28)

ECHA (2020): Restricting the use of intentionally added microplastic particles to consumer or professional use products of any kind.

ECHA (25.03.2021): SCIP. <https://echa.europa.eu/de/scip> (29.03.2021)

Eco-Mobilier (2020): En route pour valoriser 100% des meubles usagés. <https://www.eco-mobilier.fr/wp-content/uploads/plaquette-chiffres-cles-eco-mobilier-2019.pdf> (19.08.2020)

Econyl (o.J.): ECONYL® Regenerated Nylon. No waste. No new resources. Just endless possibilities. <https://www.econyl.com/> (06.07.2020)

Eco TLC (2018): https://www.ecotlc.fr/ressources/Documents_site/EcoTLC_2018-Annual-Report_web.pdf (26.08.2020)

EcoTLC (2020): English translation of the "STANDARD" MEMBERSHIP AGREEMENT. [https://refashion.fr/pro/sites/default/files/fichiers/Contrat TYPE adhe%CC%81sion 2020%20ENG.pdf](https://refashion.fr/pro/sites/default/files/fichiers/Contrat_TYPE_adhe%CC%81sion_2020%20ENG.pdf) (22.12.2020)

ECRA – European Carpet and Rug Association (2021): Leading the carpet industry towards circular economy. A 2030 strategic approach. <https://www.ecra.eu/carpet/CirEco/> (10.02.2021)

EHF (2018): Give & Get. European Hockey Federation. <https://eurohockey.org/wp-content/uploads/2020/03/EHF-Give-and-Get-Hockey-Pitches.pdf> (10.08.2020)

Elander, M.; Tojo, N.; Tekie, H. u. M. Hennlock (2017): Impact assessment of policies promoting fiber-to-fiber recycling of textiles, Mistra Future Fashion Report

Ellen MacArthur Foundation (2017): A new textiles economy: Redesigning fashion's future, <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>

Elysium Nordic (2020): WindSpace Announces Exclusivity Agreement with Environmental Waste International. <https://elysiumnordic.com/news/4?locale=en> (24.09.2020)

Embraced - Establishing a multi-purpose biorefinery for the recycling of the organic content of Absorbent Hygiene Products Waste in circular economy. <https://embraced.eu/> (22.06.2020)

Embraced (2020): Embraced booklet. https://www.embraced.eu/repository/Booklet_Eembraced.pdf (30.07.2020)

EPA (2019): U.S. Environmental Protection Agency / Office of Research and Development: Synthetic Turf Field Recycled Tire Crumb Rubber Research Under the Federal Research Action Plan

EPF - European Panel Federation (2020): The Wood-based Panels Industry. Who we are. https://europanel.org/wp-content/uploads/2020/05/CI026-20_EPF-Leaflet.pdf (21.08.2020)

ETA Danmark (2017): EU ETV Statement of Verification – Re-Match Artificial Turf Recycling. https://ec.europa.eu/environment/ecoap/etv/re-match-artificial-turf-recycling_en (26.08.2020)

ETRMA (2011a): European Tyre and Rubber Manufacturers' Association ETRMA), ETRMA high-PAH Oil Testing Programme Q&A. 03.2011. https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2011/03/20110301_-_ETRMA_Q-A_PAH_Oil_testing_programme.pdf (22.12.2020)

ETRMA (2011b) European Tyre and Rubber Manufacturers' Association ETRMA), Second testing program confirms: REACH compliance tests continue to give failing grades to tyre imports. Pressemitteilung, 10.2011. https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/09/pah-2nd-round_press-release_2011-10-17.pdf (22.12.2020)

ETRMA (2018): Used Tyres/ ELT Management in Europe – Volumes Situation 2016. European Tyre and Rubber Manufacturers' Association (ETRMA). https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/09/20180502-2016-elt-data_for-press-release.pdf (10.02.2021)

ETRMA (2020): End of Life Tyres Management – Europe 2018 Status. European Tyre and Rubber Manufacturers' Association (ETRMA). <https://www.etrma.org/library/europe-91-of-all-end-of-life-tyres-collected-and-treated-in-2018/> (10.02.2021)

EU-Aktionsplan (2020): https://ec.europa.eu/germany/news/20200311-kreislaufwirtschaft_de (06.09.2020)

EuCertPlast (o.J.): European Certification of Plastics Recycling. <https://www.eucertplast.eu/> (23.12.2020)

Eunomia Research & Consulting Ltd (2017): Environmental Impact Study on Artificial Football Turf. FIFA Fédération Internationale de Football Association. <http://football-technology.fifa.com/en/media-tiles/environmental-impact-study-on-artificial-football-turf/> (11.06.2020)

Euratex (2020): ReHubs - A joint initiative for industrial upcycling of textile waste streams & circular materials. <https://euratex.eu/wp-content/uploads/Recycling-Hubs-FIN-LQ.pdf> (27.12.2020)

EU-Recycling (2019): Kommt die Altreifenentsorgung in Deutschland unter die Räder? <https://eu-recycling.com/Archive/24940> (26.08.2020)

Eurobitume (2019): Eurobitume Deutschland Statistik Bitumenverbrauch 2018. Brüssel, 23. August 2019

European Commission (o.J.): Green Best Practice Community. ECOVAL (France).

<https://greenbestpractice.jrc.ec.europa.eu/node/145> (17.06.2020)

European Commission (2020): EU Ecolabel. Facts and figures.

<https://ec.europa.eu/environment/ecolabel/facts-and-figures.html> (12.02.2021)

Europäische Kommission (2013): Verordnung (EU) Nr. 1272/2013 der EU-Kommission vom 6. Dezember 2013 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlament und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe

Europäische Kommission (2017): M/556: DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS DER KOMMISSION vom 1.12.2017 über einen Normungsauftrag an das Europäische Komitee für Normung und das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung in Bezug auf die Einhaltung der Kriterien für den Höchstgehalt polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Gummi- und Kunststoffbestandteilen von Erzeugnissen, die zur Abgabe an die breite Öffentlichkeit in Verkehr gebracht werden und zur Unterstützung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates

Europäische Kommission (2020a): Draft Commission Regulation amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council as regards Polycyclic-aromatic hydrocarbons (PAHs) in granules or mulches used as infill material in synthetic turf pitches or in loose form on playgrounds or in sport applications

Europäische Kommission (2020b): Für länger haltbare und nachhaltigere Produkte: Neuer EU-Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft. https://ec.europa.eu/germany/news/20200311-kreislaufwirtschaft_de (27.12.2020)

Europäisches Parlament (2006): Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006. ANHANG XVII, Nummer 50, Spalte 2

European Tyre and Rubber Manufacturers' Association (ETRMA)(2011a): ETRMA high-PAH Oil Testing Programme Q&A. [https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2011/03/20110301 - ETRMA Q-A PAH Oil testing programme.pdf](https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2011/03/20110301_-_ETRMA_Q-A_PAH_Oil_testing_programme.pdf) (26.08.2020)

European Tyre and Rubber Manufacturers' Association (ETRMA)(2011b): Second testing program confirms: REACH compliance tests continue to give failing grades to tyre imports. Pressemitteilung. https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/09/pah-2nd-round_press-release_2011-10-17.pdf (26.08.2020)

euwid (2020): Marktbericht für Altholz. In: euwid Recycling und Entsorgung, Nr. 32.2020, Jahrgang 30; S. 24-25.

euwid (2020a): Österreichische Forscher entwickeln enzymatischen Windelrecycling-Prozess. In: euwid Recycling und Entsorgung, Nr. 42.2020, Jahrgang 30; S. 30.

euwid (2020b): SRH stellt Sammlung von Altkleidern über Container ein. <https://www.euwid-recycling.de/news/politik/einzelansicht/Artikel/srh-stellt-sammlung-von-altkleidern-ueber-container-ein.html> (27.12.2020)

euwid (2020c): Windelrecycling. Remondis baut Kapazitäten in den Niederlanden nach Testphase aus. Procter & Gamble will bis 2030 Anlagen weltweit in zehn Regionen aufbauen. In: euwid Recycling und Entsorgung, Nr. 37.2020, S. 25. Online verfügbar unter: <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/einzelansicht/Artikel/windelrecycling-remondis-baut-kapazitaeten-in-den-niederlanden-nach-testphase-aus.html> (26.02.2021)

Faller J. Eldan Recycling A/S, Rodenbach. Mitteilung an Herrn Hoyer per Mail am 02.03.2020

Fater SpA: Recycling of used products. <https://fatergroup.com/www/sustainability/recycling-of-used-products> (22.06.2020)

Feraldi, R.; Cashman, S.; Huff, M.; Raahauge, L. (2013): Comparative LCA of treatment options for US scrap tires: material recycling and tire-derived fuel combustion. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2013, 18, S. 613–625, Springer Nature Switzerland AG. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0514-8#article-info> (03.12.2020)

FGSV (2003): Einsatz von Gummi in Bitumen - Offene Fragen. FGSV e. V. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Stellungnahme der Arbeitsgruppe „Asphaltstraßen“. Straße+Autobahn, 2.2003

FIFA (2017): Environmental Impact Study on Artificial Football Turf. https://football-technology.fifa.com/media/1230/artificial_turf_recycling.pdf (26.08.2020)

FIH (2018): Facilities Guidance Notes – Hockey Field Developments FAQ. International Hockey Federation. <https://eurohockey.org/wp-content/uploads/2020/03/Facilities-FAQ.pdf> (10.08.2020)

FKT (o.J.): Zukunftsstrategie: Perspektiven 2035 <https://textil-mode.de/de/forschung/zukunftsstrategie-perspektiven-2035/> (27.12.2020)

Flamme, S.; Hams, S.; Bischoff, J.; Fricke, C. (2020): Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung. Umweltbundesamt, Texte 95/2020. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/evaluierung-der-altholzverordnung-im-hinblick-auf> (26.08.2020)

FOCUS online (2019): Lebensdauer einer Matratze - so lange halten Matratzen. Ausgabe vom 04.02.2019. https://praxistipps.focus.de/lebensdauer-einer-matratze-so-lange-halten-matratzen_97880 (14.10.2019)

Fraunhofer UMSICHT (2019): Kunststoffemissionen aus Kunstrasenplätzen, Einladung zur Multi-Client-Studie

Fröhlingsdorf M. (2019): Forscher ziehen eigene Mikroplastik-Studie in Zweifel. Onlineartikel SPIEGEL Wissenschaft. <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/fraunhofer-institut-relativiert-studie-ueber-mikroplastik-a-1280225.html> (26.08.2020)

FRP (2020): Rapport d'activité 2019 (Jahresbericht 2019). GIE France Recyclage Pneumatiques, Suresnes. <http://www.gie-frp.com/rapports.html> (08.09.2020)

Fühßer, M. (2016): Rahmenbedingungen für eine hochwertige Erfassung- Fachtagung der Gemeinschaft für textile Zukunft. Nachhaltige Nutzung von Alttextilien, Kempinski Bristol, 18.11.2016, Berlin

FZOEU (2020): Fee for the management of waste tyres. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (Umwelt und Energieeffizienzfond), Kroatien. https://www.fzoeu.hr/en/environmental_fees/fees_pursuant_to_the_act_on_sustainable_waste_management/fee_for_the_management_of_waste_tyres/ (07.09.2020)

FZOEU (2017): Popis oporabitelja otpadnih guma (dt.: Liste der Altreifensammler). Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (dt.: Umwelt und Energieeffizienzfond), Kroatien. https://www.fzoeu.hr/docs/popis_sakupljaca_otpadnih_guma_10042017_v3.pdf (07.09.2020)

GAB (2020): GAB zieht Altkleider-Sammelbehälter in den Städten und Gemeinden ab <https://www.gab-umweltservice.de/privatkunden/wertstoffcontainer/> (27.12.2020)

Gärtner, S.; Hienz, G.; Keller, H.; Müller-Lindenlauf, M.: Gesamtökologische Bewertung der Kaskadennutzung von Holz – Umweltauswirkungen stofflicher und energetischer Holznutzungssysteme im Vergleich. IFEU Heidelberg, 2013

Genan A/S (2020a): Produkte. <https://www.genan.de/produkte/> (24.09.2020)

Genan A/S (2020b): Reifenannahmebedingungen für Genan Viborg. <https://www.genan.de/reifenannahme/> (24.09.2020)

Genan GmbH (2017): Granulatgröße. <https://www.genan.de/produkte/granulat/#finegranulate> (14.12.2020)

Genesis (2019): Tabelle 51000-0013: Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Warenverzeichnis (8-Steller). Onlinedatenbank von DESTATIS.

GewAbfV (2017): Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 896), die durch Artikel 2 Absatz 3 des Gesetzes vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2234) geändert worden ist

GFA (Global Fashion Agenda) (o.J.): Our mission and vision. <https://www.globalfashionagenda.com/about-us/our-mission/> (27.12.2020)

GFA (Global Fashion Agenda) (o.J.): Circular Actions. <https://www.globalfashionagenda.com/publications-and-policy/circular-actions/> (27.12.2020)

GFA Lüneburg (o.J.): Annahme von Altkleidern. <https://www.gfa-lueneburg.de/unternehmen/neues/135-annahme-von-alkleidern.html> (22.12.2020)

GftZ (2016): Erfassung, Sortierung und Verwertung von Alttextilien. Orientierungshilfen für die Praxis bei kommunalen Ausschreibungen <https://textile-zukunft.de/wp-content/uploads/2014/10/Orientierungshilfen.pdf> (22.12.2020)

GKV - Gesamtverband Kunststoffverarbeitende Industrie e.V. (o.J.): Überblick Kunststoffverarbeitung. <https://www.gkv.de/de/branchen/ueberblick.html> (28.07.2020)

Global Fashion Agenda (2017): 2020 Commitment. <https://globalfashionagenda.com/commitment/#> (25.08.2020)

Gogolin, D. (2019): Die Performance stimmt: Entwicklung und Umsetzung eines hochverformungsbeständigen Asphaltkonzeptes mit Gummimodifizierung. Asphalt & Bitumen, Nr. 06 (2019): 30–35

Gomes, J; Mota, H; Bordado, J; Cadete, M; Sarmento, G; Ribeiro, A; Baiao, M; Fernandes, J; Pampulin, V; Custodio, M; Veloso, I. (2010): Toxicological Assessment of Coated Versus Uncoated Rubber Granulates Obtained from Used Tires for Use in Sports Facilities. Journal of the Air & Waste Management Association. 60(6):741-6.

government.nl (2020): Policy programme for circular textile 2020-2025. <https://www.government.nl/documents/parliamentary-documents/2020/04/14/policy-programme-for-circular-textile-2020-2025> (22.12.2020)

Green deal (2012): <https://www.greendeals.nl/green-deals/duurzame-inzameling-textiel> (26.08.2020)

Grimmer, G.; Jacob, J.; Naujack, K.-W. (1997): Atmospheric emission of polycyclic aromatic hydrocarbons in sampling areas of the German environmental specimen bank. Method for the precise measurement of gaseous and particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the sub-nanogram range using deuterated internal standards. Chemosphere, 34, 2213-2226.

gr3n sagl (o.J.): gr3n Project. <http://gr3n-recycling.com/> (03.07.2020)

GTÜ (2015): Thomas Caasmann, Gesellschaft für Technische Überwachung (GTÜ). Materialcheck: Was taugen runderneuerte Reifen wirklich? 19.03.2015. <https://www.welt.de/motor/article138565689/Was-taugen-runderneuerte-Reifen-wirklich.html>. (22.12.2020)

Gumilmprex-GRP (2019): GRP - Recycelte Gummiprodukte. <https://gumiimpex.hr/de/recycelte-gummiprodukte/> (07.09.2020)

GUT – Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V. (2019): Übersicht Textile Bodenbeläge und Teppiche/Sperrmüll. Aachen, 22. Mai 2019

GUT – Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V. (o.J.): GUT Lizenz. <https://www.pro-dis.info> (16.10.2020)

Hafner, D. (2020a): Stoffsteckbrief Thermolysekoks. Version 10, 11.09.2020, Pyrum Innovations AG, Dillingen. https://www.pyrum.net/fileadmin/pdf/Datenbla%CC%88tter/O%CC%88I%20und%20Koks/2020-09/Stoffsteckbrief_Thermolysekoks%28V10%29%202000911docx.pdf?v=1600850637 (20.11.2020)

Hafner, D. (2020b): Stoffsteckbrief ThermoTireOil RR. Version 10, 18.09.2020, Pyrum Innovations AG, Dillingen. https://www.pyrum.net/fileadmin/pdf/Datenbla%CC%88tter/O%CC%88I%20und%20Koks/2020-09/Stoffsteckbrief_ThermoTireOil%20RR%20%28DE%29%20V10_%20200918%20docx.pdf?v=1600850637 (20.11.2020)

Hahnenkamp, N. J.; Tuminski, R. J. (2017): Untersuchung zur optimierten stofflichen Verwertung von Sperrmüll - insbesondere Matratzen, Teppiche/Teppichböden und Kunststoffe – aus Haushaltungen unter Berücksichtigung der gemeinsamen Behandlung mit gewerblichen Sperrmüllanteilen. Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt, gefördert unter dem AZ: 31221 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-31221.pdf> (14.10.2019)

Hall, D.; Hall, P. (2015): Methods and systems for carpet recycling. Europäisches Patentamt. Patentnr.: US2016075848

Hamburg (2019): Öffentliche Sportplatzgebäude Hamburg - Untersuchung und Bewertung des baulichen Zustandes. Freie und Hansestadt Hamburg, Fachamt Bezirklicher Sportstättenbau. <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/oeffentliche-sportplatzgeaeude-hamburg-untersuchung-und-bewertung-des-baulichen-zustandes-2019?forceWeb=true> (21.08.2020)

Handelsblatt (2017): Zweitwohnungen boomen „Ich hab' noch einen Koffer in...“. Ausgabe vom 29.05.2017. <https://www.handelsblatt.com/finanzen/immobilien/zweitwohnungen-boomen-ich-hab-noch-einen-koffer-in-/19863086.html> (14.10.2019)

HeidelbergCement AG (2019): Altreifenverwertung bei HeidelbergCement AG. <https://www.heidelbergcement.de/de/altreifenentsorgung> (26.08.2020)

Heiler GmbH & Co. KG (2020): Rückbau und Recycling. <https://www.heiler-sport.de/de/rueckbau-recycling.html> (02.10.2020)

Helping (2017): Enthüllt: Die 10 größten Geheimnisse rund um die Betthygiene der Deutschen. <https://blog.helping.de/betthygiene-der-deutschen/> (26.08.2020)

HDE Handelsverband Deutschland (2020): HDE-Online Monitor 2020 <https://einzelhandel.de/publikationen-hde/12747-online-monitor-2020> (27.12.2020)

HHS (U.S. Dept. of Health and Human Services) (2001): Crumb-Rubber Modified Asphalt Paving: Acute Health Effects and Occupational Exposures, NIOSH Health Hazard Evaluation Report: HETA 41= 2001-0536-2864, 2001

Hilton, M. (2018): Policy Toolkit for Carpet Circularity in EU Member States. Report to Changing Markets. Eunomia Research & Consulting Ltd. https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Teppich-Recycling/181129_Eunomia_EU_Carpet_EPR_Toolkit_Final.pdf (23.12.2020)

H&M (o.J.): Let's close the loop. https://www2.hm.com/de_de/hm-sustainability/lets-change.html/close-the-loop (26.08.2020)

Horvath, A.; Masanet, E. (2012): Residential and Commercial Carpet Case Study. The Potential Impacts of Extended Producer Responsibility (EPR) in California on Global Greenhouse Gas (GHG) Emissions. University of

California. Im Auftrag von: California Department of Resources Recycling and Recovery (CalRecycle). Publication # DRRR-2012-1434

Hoyer S., Lippert K., Pisulla K., Behnke A., Seidel A., Kroll L. (2019): Bisher unveröffentlichte zweijährige Messkampagne der TU Chemnitz. Bundesexzellenzcluster MERGE (EXC 1075), 1 Technische Universität Chemnitz in Kooperation mit Biochemisches Institut für Umweltcarcinogene (2 BIU Grimmer). Forschungsprojekt RubberTyRec. Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme InterSpiN: Internationalisierung von Spitzenclustern, Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken [Aktenzeichen 03INT510BA], Projektmanagement: Projektträger Jülich (PtJ)

Hoyer S.; Kroll L. (2019): Forschungsprojekt RubberTyRec. Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme InterSpiN: Internationalisierung von Spitzenclustern, Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken [Aktenzeichen 03INT510BA], Projektmanagement: Projektträger Jülich (PtJ)

Hoyer S.; Wagner, J.; Steinmetzer, S.; Umweltbundesamt (2020a): Umfrage bei Unternehmen entlang der Entsorgungskette von Altreifen im Rahmen des Vorhabens Evaluation der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft. 01.06.-18.07.2020, unveröffentlicht

Hoyer, S.; Kroll, L.; Sykutera D. (2020b): Technology comparison for the production of fine rubber powder from end of life tyres. In: Procedia Manufacturing, Volume 43, 2020. S. 193-200. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.135>

H&S Anlagentechnik GmbH (2019): Latest development for recycling of PU foam out of end-of-life mattresses into polyol for rigid PU foam application. Unternehmenspräsentation

H&S Anlagentechnik GmbH (2020): Recyclingreaktoren für PU-Weichschaumreststoffe. <https://www.hs-anlagentechnik.de/de/recyclingreaktoren-fuer-pu-weichschaumreststoffe.html> (16.06.2020)

Hug & Grow (2014): Die Geschichte der Stoffwindel. <https://www.hug-and-grow.de/berlin/die-geschichte-der-stoffwindel> (26.08.2020)

Ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung) (1999): Ökologische Bilanzen in der Abfallwirtschaft. Umweltbundesamt: Forschungsbericht UBA-FB 99-014

IHA (Hotelverband Deutschland e.V.) (2016): Das kleine AB(ett)C der Hotellerie – Die Fachartikelsammlung zum Thema „Hotelbett“. http://media.hotellerie.de/media/docs/iha_swissfeel_abettc_web_final_201611021.pdf (14.10.2019)

Imdex A/S (2020a): Genbrugsprocessen (dt.: Der Recyclingprozess). <https://imdex.dk/baeredygtighed> (24.09.2020)

Imdex A/S (2020b): Giv gamle dæk nyt liv (dt.: Geben Sie alten Reifen neues Leben). <https://imdex.dk/daek-indtag> (24.09.2020)

Initiative zertifizierte Altreifenentsorger (ZARE) (2020): Illegale Altreifenentsorgung in Deutschland. <https://zertifizierte-altreifenentsorger.de/illegale-altreifenentsorgung-in-deutschland/> (26.08.2020)

InNaBe (2017): Innovationen für nachhaltige Bekleidung. <http://www.innabe.de/index.php?id=177> (26.08.2020)

INTECUS (div.): eigene Sperrmüllsortieranaysen der letzten zehn Jahre

INTECUS (2016): Vollzugshilfen zur Umsetzung der Marktüberwachung bei den abfallrechtlichen Harmonisierungsrechtsvorschriften für Altfahrzeuge, Elektro- und Elektronikgeräte, Batterien und Akkumulatoren und Verpackungen in Sachsen-Anhalt. Im Auftrag des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. <https://lau.sachsen->

anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Abfallwirtschaft/Abfallrechtliche_Produkteüberwachung/Dateien/Handbuch_MUE_2016-11-24_bh.pdf (22.02.2021)

Interface (o.J.): Unser Programm zur Rücknahme von gebrauchten Teppichfliesen. ReEntry®.
<https://download.architonic.com/pdf/310/1272/interface-re-entry-de.pdf> (06.07.2020)

Johansson, K. (2018): Life cycle assessment of two end-of-life tyre applications: artificial turfs and asphalt rubber. Ragn-Sells Däckåtervinning AB, Uppsala. https://www.ragnsellstyrerecycling.com/globalassets/tyre-company/dokument/lca-konstgrasplaner-gummiasfalt-version-1.4_2018_rs.pdf (16.11.2020)

Jones K. P. (1994): Natural rubber as a green commodity- Part II. Rubber Developments vol 47 no 3/4 1994

Jones K. P. (2000): The Paradoxical Nature of Natural Rubber. KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe 53. Jahrgang, Nr. 12/2000

Kalbe, U., Krüger, O., Wachtendorf, V. und Berger, W. (2012): Umweltverträglichkeit von Kunststoff- und Kunststoffrasenbelägen auf Sportfreianlagen, Schriftenreihe des Bundesinstitutes für Sportwissenschaft 2012/02, Sportverlag Strauß

Kalbe, U., Susset, B. und Bandow, N. (2016): Umweltverträglichkeit von Kunststoffbelägen auf Sportfreianlagen - Modellierung der Stofffreisetzung aus Sportböden auf Kunststoffbasis zur Bewertung der Boden- und Grundwasserverträglichkeit. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft. Bd. 2016/05, Sportverlag Strauß: Hellenthal

Kaminsky, W. (2016): Kurzgutachten. https://www.pyrum.net/fileadmin/pdf/Gutachten_.pdf?v=1501172692 (20.11.2020)

KC aktuell (2016a): Geld sparen mit Recycling. Rezyklateinsatz für WPC und Rezyklieren von WPC. In: KC aktuell. Das Magazin für Kunststoff und Kooperation. Ausgabe 1, März 2016, S. 16. https://www.kunststoff-cluster.at/fileadmin/user_upload/Cluster/KC/_Archiv/KC-Downloads_2016/KC-aktuell_1_2016_Einzelseiten.pdf (23.07.2020)

KC aktuell (2016b): Recycling von Hartkunststoffen. Niedriger Ölpreis beeinflusst Wirtschaftlichkeit. In: KC aktuell. Das Magazin für Kunststoff und Kooperation. Ausgabe 2, Juni 2016, S. 23. https://www.kunststoff-cluster.at/fileadmin/user_upload/Cluster/KC/_Archiv/KC-Downloads_2016/KC-aktuell_2_2016_Einzelseiten.pdf (23.07.2020)

Kietz, E.; Notter, H.; Strecker, S.; Kubala, B. (Final draft: Stand November 2019): Anforderungen an die Erfassung, Sortierung und Verwertung von Alttextilien - Vollzugshilfe und praktische Empfehlungen für Ausschreibungen. Arbeitspapier der Länder Baden-Württemberg (BW), Nordrhein-Westfalen (NW), Sachsen (SN), S. 18-20

Kleiderkreisel (o.J.): <https://www.kleiderkreisel.de/> (26.08.2020)

Klein, T. (2020): A versatile crosslinker and “de-linker” additive for modified bitumen. 7th E&E CONGRESS Eurasphalt & Eurobitume

Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulærøkonomi (2020):
<https://www.regeringen.dk/media/9591/aftaletekst.pdf> (17.12.2020)

Kløverpris, N. H.; Schmidt, A.; Jørgensen Kjær, B.; Vogt, R.; Giegrich, J. (2010): Comparative life cycle assessment of two options for waste tyre treatment: material recycling in asphalt and artificial turf vs. civil engineering application for drainage layers in landfills. Genan Business & Development A/S.

Knowaste Ltd.: Recycling specialists for absorbent hygiene waste. <http://www.knowaste.com/> (19.06.2020)

Knupp, M. (2015): Frankreich: Erweiterte Herstellerverantwortung auch für Textilien, Schuhe und Möbel. In: EU-Recyclingmagazin. <https://eu-recycling.com/Archive/7076> (19.08.2020)

Köhler, A. R.; Watson, D.; Trzepacz, S.; Löw, C.; Liu, R.; Danneck, J. (2020): Research into circular economy perspectives in the management of textile products and textile waste in the European Union, interim report, Joint Research Centre (JRC)

Korolkow, J. (2015): Konsum. Bedarf und Wiederverwendung von Bekleidung und Textilien in Deutschland.

Kraft J., Wellner F. (2017): Entwicklung von gummimodifizierten Bindemitteln und deren Einsatz in Asphaltstraßenbefestigungen im Freistaat Sachsen. Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, Technische Universität Dresden. 5. DRESDNER ASPHALTTAGE, 2017

Kreisverwaltung Mayen-Koblenz (o.J.): Windeltonne. <https://www.kreislaufwirtschaft-myk.de/klwmyk/Beh%C3%A4lter/Windeltonne/> (24.06.2020)

Krieg, M. (2017): Investition in eine neuartige und innovative Anlagentechnologie zur Produktion von Gummimatten aus Altreifenmehl. BMUB Umweltinnovationsprogramm, KfW-Aktenzeichen: NKA3 – 003135. matteco GmbH, Kappelrodeck.

Krisch, J. (2019): Second Hand: H&M übernimmt Sellpy vor Deutschlandstart zu 74 %, <https://excitingcommerce.de/2019/10/10/second-hand-hm-ubernimmt-sellpy-vor-deutschlandstart-zu-74/> (26.08.2020)

Kroll, L.; Hoyer, S.; Klaerner, M. (2018): Production technology of cores for hybrid laminates containing rubber powder from scrap tyres. In: Procedia Manufacturing, Volume 21, 2018, pp. 591–598, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.160> (22.12.2020)

Krömer, S.; Kreipe, E.; Reichenbach, D.; Stark, R. (1999): Produkt-Ökobilanz eines PKW-Reifens. Continental AG, Hannover. http://www.dgengineering.de/download/open/Studie_Continental_Oekobilanz.pdf (04.12.2020)

Kurz Krakassenhandel GmbH (2020): ANKAUFLISTE FÜR GEBRAUCHT-REIFEN UND KARKASSEN. https://kurz-karkassenhandel.de/wp-content/uploads/kurz_ankaufsliste-gebrauchtreifen-und-karkassen_09-2020.pdf (22.12.2020)

Labor Lehmacher (): Sanierung eines Kunstrasenplatzes. Labor Lehmacher | Schneider GmbH & Co. KG, Osnabrück. <https://www.labor-lehmacher.de/de/kunstrasen/sanierung-eines-kunstrasenplatzes.html> (31.07.2020)

Landeshauptstadt München (2020): Sportanlagen München. <https://www.muenchen.de/dienstleistungsfinder/muenchen/10117322/n0/?hits=true&%24sf11=&%24sf6-2=xct%21Kunstrasen&query=&%24sf12=&streetaddress=&%24sf4=&order=name%3Aa> (27.08.2020)

Landesregierung Sachsen-Anhalt (2017a): Antwort der Landesregierung auf eine Kleine Anfrage zur schriftlichen Beantwortung: Illegale Altreifenlager in Sachsen-Anhalt (II). Drucksache 7/1151. 21.03.2017

Landesregierung Sachsen-Anhalt (2017b): Antwort der Landesregierung auf eine Kleine Anfrage zur schriftlichen Beantwortung: Illegale Altreifenlager in Sachsen-Anhalt (III). Drucksache 7/1415. 23.05.2017

Landesregierung Sachsen-Anhalt (2020): Antwort der Landesregierung auf eine Kleine Anfrage zur schriftlichen Beantwortung: Illegale Altreifenlager in Sachsen-Anhalt (IV). Drucksache 7/5925, 24.03.2020.

Landratsamt Kitzingen (o.J.): Die Windeltonne. Ein besonderer Service für Wickelkinder und Inkontinenz-Patienten. <https://www.abfallwelt.de/muelltonnen/muelltonnen/windeltonne/> (24.06.2020)

Leers, A. [2020]: Telefongespräch mit Herrn Leers (Re-Match A/S) am 25.08.2020

Loop Industries, Inc. (o.J.): Revolutionary technology. <https://www.loopindustries.com/en/tech> (03.07.2020)

Ludmann, S.; Vogt, R. (2019): Vorbereitung zur Wiederverwendung – orientierende ökobilanzielle Untersuchung für drei Gebrauchtwagen im Rahmen der Stoffstrom-, Klimagas- und Umweltbilanz für das Jahr

2018 für das Land Berlin. https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/abfall/re-use/download/SKU-Bilanz2018-Bericht_Gebrauchtwaren.pdf (26.08.2020)

Mädchenflohmarkt (o.J.): <https://www.maedchenflohmarkt.de> (26.08.2020)

Madelung M., PVP Triptis GmbH (2020): Mitteilung an Herrn Hoyer per Mail am 03.12.2020

Malaysian Rubber Board (MRB): REFERENCE PRICES FOR PHYSICAL RUBBER (FREE ON BOARD) FOR SMR. <http://www3.lgm.gov.my/mre/YearlyAvg.aspx> (09.03.2020)

Marsili, L. et al. (2014): Release of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and heavy metals from rubber crumb in synthetic turf fields: preliminary hazard assessment for athletes. Journal of Environmental and Analytical Toxicology, 2014, 5:2

Matratzentester (o. J.): Wie lange halten Matratzen? <https://matratzentester.com/wie-lange-halten-matratzen/> (14.10.2019)

Matratzenwissen (2019): Ratgeber: Dekubitusmatratze. <https://www.matratzenwissen.de/matratzenratgeber/ratgeber-dekubitusmatratze/> (14.10.2019)

MDF Recovery Ltd. (o.J.): Recovering Wood Fibre From Waste MDF. <http://www.mdfrecovery.co.uk/> (19.11.2020)

Medizin&Technik (2016): Feinstes Biogas aus Windeln. <https://medizin-und-technik.industrie.de/allgemein/feinstes-biogas-aus-windeln/> (26.08.2020)

Menichini E. et al. (2011): Artificial-turf playing fields: Contents of metals, PAHs, PCBs, PCDDs and PCDFs, inhalation exposure to PAHs and related preliminary risk assessment

Merlin, C. B.; Vogt, R. (2020): Life cycle assessment of waste tyre treatments: Material recycling vs. co-incineration in cement kilns. FORCE Technology, Brøndby, DK. Genan Holding A/S

Meyer, P.; Meyer, P.; Neuhaus, T. (2001): Ökologische Bilanz der Entsorgung von Inkontinenz-System-Abfall aus öffentlichen Einrichtungen. In: Müll und Abfall, Ausgabe 05/2001, S. 296-302.

MGOR (2020): Gospodarenje otpadnim vozilima i otpadnim gumama u 2019. godini -privremeno izvješće (dt.: Entsorgung von Altfahrzeugen und Altreifen im Jahr 2019 - Zwischenbericht). Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (dt.: Ministerium für Wirtschaft und nachhaltige Entwicklung), Kroatien. http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjescja/OTP_Otpadna%20vozila%20i%20otpadne%20gume_preliminarni%20podaci%20za%202019_FINAL.pdf (07.09.2020)

Milieu Centraal: De impact van kleding. <https://www.milieucentraal.nl/bewust-winkelen/love-your-clothes/de-impact-van-kleding/> (26.08.2020)

Mineralölwirtschaftsverband e.V. (2020): Rohölpreisentwicklung jährlich. <https://www.mwv.de/statistiken/rohoelpreise/>

Ministère de la Transition écologique (MTE) (2018) : Pneumatiques usagés (dt.: gebrauchte Reifen). <https://www.ecologie.gouv.fr/pneumatiques-usages> (24.09.2020)

Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz (MUEEF) (2011): Marktüberwachung PAK in Reifen. <https://mueef.rlp.de/de/themen/umweltschutz-umwelt-und-gesundheit/chemikaliensicherheit/stoffliche-marktueberwachung/pak-in-autoreifen/> (26.08.2020)

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM BW)(2010): Ergebnisse der Marktüberwachung 2010 im Bereich Chemikaliensicherheit. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/ergebnisse-der-marktueberwachung-2010-im-bereich-chemikaliensicherheit-1/> (26.08.2020)

Möbelkultur (2008): Sinkende Nutzungsdauer von Möbeln. <https://www.moebelkultur.de/news/sinkende-nutzungsdauer-von-moebeln/> (23.03.2020)

Möbelkultur (2019): Knapp 18 Mrd. Umsatz für die Möbelindustrie. <https://www.moebelkultur.de/news/knapp-18-mrd-umsatz-fuer-die-moebelindustrie/> (26.08.2020)

MRC - Mattress Recycling Council (2019): Why Recycle Your Mattress. <https://byebyemattress.com/why-recycle/> (17.06.2020)

Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB 2019/1), Ausgabe 15.01.2020, Kapitel 2.2.2

Nedap (2017): H&M setzt weltweite Partnerschaft mit Nedap fort. <https://www.nedap-retail.com/de/hm-weltweite-partnerschaft-nedap> (26.08.2020)

Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften (NLBL), Baufachliche Richtlinien Recycling, A-5.3.2 Register für nicht gefährliche Abfälle. https://www.bfr-recycling.de/anhang_5.html (04.02.2020)

Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2017): Chrom (VI) in Leder - ein gesundheitliches Risiko? https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/bedarfsgegenstande/bedarfsgegenstande_mit_korperkontakt/allergen-chrom-vi-in-leder-159541.html#:~:text=%20Chrom%20%28VI%29%20in%20Leder%20%20ein%20gesundheitliches,2017%20wurden%2041%20Proben%20zur%20Untersuchung...%20More%20 (26.08.2020)

Nienhaus, L. (2002): Billy wird weiterverwertet. Spanplatten-Recycling. https://www.deutschlandfunk.de/billy-wird-weiterverwertet.697.de.html?dram:article_id=71709 (10.07.2020)

Nikzad, A. (2000): Teppichbodenrecycling: Aus Alt mach Neu. Sulzer Technical Review, 1/2000. https://www.sulzer.com/-/media/files/products/process-technology/processes-and-applications/technicalarticles/2000_01_20_nikzad_e.ashx?la=de-ch (29.06.2020)

NN 57/2020 (2020): Odluka o izmjeni Odluke o izmjenama naknada u sustavima gospodarenja otpadnim vozilima i otpadnim gumama (dt.: Entscheidung über die Änderung der Entscheidung über die Änderung der Gebühren für Altfahrzeug- und Altreifenmanagementsysteme). VLADA REPUBLIKE HRVATSKE (dt.: Kroatische Regierung). https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_05_57_1150.html (24.09.2020)

NN 94/2013 (2013) Zakon o održivom gospodarenju otpadom (dt.: Gesetz zur nachhaltigen Abfallwirtschaft) (22.07.2013, zuletzt geändert 16.10.2019). Hrvatski sabor (dt.: Kroatisches Parlament). https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_07_94_2123.html (07.09.2020)

NN 113/2016 (2016) Pravilnik o gospodarenju otpadnim gumama (dt.: Altreifenmanagementverordnung) (07.12.2016). Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, MZOE (dt.: Ministerium für Umweltschutz und Energie). https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_12_113_2493.html (07.09.2020)

Obermeier, T.; Lehmann, S. (2020): Prognosen sind äußerst schwierig, vor allem wenn sie die Zukunft betreffen (Mark Twain oder Kurt Tucholsky). Zukünftige Entwicklung der thermischen Verwertung bis 2030 – Replik und Einordnung der NABU – Studie zu diesem Thema. In: Müll und Abfall, Ausgabe 02/2020, S. 65-74. <https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2020.02.06> (26.08.2020)

Odegard, I.; Lindgreen, E.; Broeren, M. (2018): LCA of waste treatment of diaper material. <https://www.cedelft.eu/en/publications/2068/lca-of-waste-treatment-of-diaper-material> (26.08.2020)

Onyshko, J., Hewlett, R. (2018): Toxics in Carpets in the European Union. Anthesis Consulting Group im Auftrag von Stichting Changing Markets. https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/knowledge_-_toxics_in_carpets_eu_review_anthesis_final_study.pdf (20.08.2020)

OTTO (o.J.): Platz schaffen mit Herz. <https://www.otto.de/kleiderspende> (26.08.2020)

Pappcultur (o.J.): Innovative Möbel aus Papierfaser. Prodana GmbH. <https://www.pappcultur.de/> (28.07.2020)

parliament uk (2019): Fixing fashion: clothing consumption and sustainability.

<https://publications.parliament.uk/pa/cm201719/cmselect/cmenvaud/1952/report-summary.html>

(22.12.2020)

Paspek, S.; Bork, J.; Schroeder, A. (2016): Methode for recycling carpet. Europäisches Patentamt. Patentnr.: US2017136658

Pfitzenmaier, M. (2020): Friedhof der Kunstrasenplätze. WELT, 04.06.2020, Axel Springer SE, Berlin.

<https://www.welt.de/wirtschaft/plus208701557/Aerger-um-Entsorgung-Friedhof-der-Kunstrasenplaetze.html>

(15.12.2020)

Königsreuther, P. (2021): Covestro und Recticel schließen den Kreislauf beim PU-Schaumrecycling.

<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/covestro-und-recticel-schliessen-den-kreislauf-beim-pu-schaumrecycling-a-1010718/> (26.03.2021)

Pneuhage (2020): Top 20 der meistverkauften Reifen, siehe <https://www.pneuhage.de/quicklinks-3/top-20-winterreifen-groessen> und <https://www.pneuhage.de/quicklinks-3/top-20-sommerreifen-groessen>

(22.12.2020)

Pohl, M.; Quicker, P. (2018): Evaluation neuer Entwicklungen bei alternativen thermischen

Abfallbehandlungsanlagen mit dem Schwerpunkt Verölungungsverfahren. Texte 77/2018, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Pöppel R., Firma REGUPOL BSW GmbH, Bad Berleburg. Mitteilung an Herrn Hoyer per Mail am 14.01.2020

Pokkyarath, B.; Biddie D.; Hobson J.; Gosh A.; Sorribes J. (2014): Evaluation of the end markets for textile rag and fibre within the UK, WRAP

Polizeipräsidium Recklinghausen (2018): <https://fragdenstaat.de/anfrage/ausschreibung-von-pkw-reifen-2018/>

Policy Hub (o.J.): Policy Hub. <https://www.policyhub.org/> (27.12.2020)

PureCycle (2019): PureCycle transforms waste carpet into Ultra-Pure Recycled Polypropylene, Validating P&G's proven technology at scale. <https://purecycletech.wpengine.com/2019/09/successful-run-of-feedstock-evaluation-unit/> (16.10.2020)

PureCycle (2020): PureCycle Technologies Completes \$250 Million Bond Raise; Begins Construction on Phase II Industrial Line in Ironton, Ohio. <https://www.businesswire.com/news/home/20201008005698/en/PureCycle-Technologies-Completes-250-Million-Bond-Raise-Begins-Construction-on-Phase-II-Industrial-Line-in-Ironton-Ohio> (16.10.2020)

PUReSmart EU-Projekt (2019-2022). <https://www.puresmart.eu/> (16.06.2020)

pwc (2017): Die deutsche Möbelbranche. Struktur, Trends und Herausforderungen.

<https://www.pwc.de/de/pressemitteilungen/2017/PwC-Marktstudie-Moebelbranche-2017.pdf> (26.08.2020)

Pyrolyx (2015): Pyrolyx AG: Breakthrough with additional technology patent.

<https://www.dgap.de/dgap/News/corporate/pyrolyx-breakthrough-with-additional-technology-patent/?newsID=904065> (20.11.2020)

Pyrolyx (2018): Anhang 4D (ASX Listing Rule 4.2A) Konzernzwischenabschluss für das Geschäftshalbjahr zum 30. Juni 2018. https://pyrolyx.com/wp-content/uploads/2019/07/Konzernzwischenabschluss_Geschaftshalbjahr_z.30.6.18.pdf (20.11.2020)

Pyrolyx (2019): Our Company – Our History. <https://pyrolyx.com/our-company/> (19.11.2020)

Pyrolyx (2019a): Pyrolyx-Lagebericht und Anhang für das Halbjahr 30. Juni 2019. https://pyrolyx.com/wp-content/uploads/2019/09/Pyrolyx-Lagebericht_und_Anhang_fu%CC%88r_das_Halbjahr_30_Juni_2019.pdf (19.11.2020)

Pyrolyx (2019b): Continental and Pyrolyx enter five-year agreement for supply of recycled carbon black. <https://pyrolyx.com/continental-and-pyrolyx-enter-five-year-agreement-for-supply-of-recycled-carbon-black/> (19.11.2020)

Pyrolyx (2019c): Patent No. US 10,184,081. United States Patent, 22.01.2019. <https://patentimages.storage.googleapis.com/f7/2b/b7/9378d5c9845c4b/US10184081.pdf> (20.11.2020)

Pyrolyx (2020): Investor Update. https://pyrolyx.com/wp-content/uploads/2020/10/PLX_Investor-Update-German.pdf (19.11.2020)

Pyrum (2020): BASF investiert in Pyrum Innovations. https://www.pyrum.net/ueber-uns/presse/news-aktuell/news-detail/news/basf-investiert-in-pyrum-im-rahmen-des-chemcyclingtm-projekts/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=8454dc0053917dc906ce1b8744fe50bd (19.11.2020)

RAL GgK (2018): Kunststofffrasensysteme in Sportfreianlagen Gütesicherung RAL-GZ 944. RAL Gütegemeinschaft Kunststoffbeläge in Sportfreianlagen e.V. <https://www.ral-ggk.eu/de/> (09.07.2020)

RAMPF EcoSolutions (2019): Hochwertige alternative Polyole für URBANREC-Projekt. <https://www.rampf-group.com/de/aktuelles/newsroom/2019/hochwertige-alternative-polyole-fuer-urbanrec-projekt/> (24.04.2020)

RECALL - Recycling of Complex AHP waste through a first time application of patented treatment process and demonstration of sustainable business model. <http://recall-ecoinnovation.eu> (22.06.2020)

Recyc-Matelas (o.J.): Our revolutionary recycling process. <https://www.recyc-matelas.com/en/recycling-process/> (03.07.2020)

RecyBEM B.V. (2013): Tyre & Environment – Information magazine. <https://www.recybem.nl/en/media-library/publications> (24.09.2020)

RecyBEM B.V. (2018): Inzameling Boerenbanden gestopt. <https://www.recybem.nl/nl/over-recybem/projecten/inzameling-boerenbanden> (24.09.2020)

RecyBEM B.V. (2020): Purpose & Results – Collecting end of life tyres for a cleaner environment. <https://www.recybem.nl/en/about-recybem/purpose-result> (19.09.2020)

RecyBEM B.V. (o.J. a): Overzicht – RecyBEM gecertificeerde inzamelingsbedrijven (dt.: Übersicht - RecyBEM-zertifizierte Sammelunternehmen). <https://www.recybem.nl/nl/inzamelaars> (29.09.2020)

RecyBEM B.V. (o.J. b): Overzicht – RecyBEM gecertificeerde recyclingbedrijven (dt.: Übersicht - RecyBEM-zertifizierte Recyclingunternehmen). <https://www.recybem.nl/nl/recyclers> (29.09.2020)

RecyBEM B.V. (o.J. c): Tyre and Environment Organization (Band en Milieu). <https://www.recybem.nl/en/about-recybem/organization> (24.09.2020)

Recycling Magazin (2017): Recycling von Kunstleder-Abfällen zu Reitplatzmatten. <https://www.recyclingmagazin.de/2017/06/23/recycling-von-kunstleder-abfaellen-zu-reitplatzmatten/> (22.07.2020)

Reeds (o.J.): BS 8901 Sustainable Events Management Case Study. http://reeds-carpets.co.uk/wp-content/uploads/2011/06/case_study.pdf (23.12.2020)

- Regeringskansliet (2020): Textilbranschen föreslås ta över ansvarat för textilavfallet. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2020/12/textilbranschen-foreslas-ta-over-ansvarat-for-textilavfallet/> (27.12.2020)
- Re-Match (o.J.): Recycle, reuse or repurpose. <https://www.re-match.dk/sustainability/> (27.08.2020)
- Re-Match (o.J.): True Recycling. <https://www.re-match.dk/turf-recycling/> (26.08.2020)
- Reschner K. (2019): Recycling von Altreifen und anderen Elastomeren. Überarbeitete Version vom Juni 2019. <http://www.entire-engineering.de/Altreifenrecycling> (26.08.2020)
- RETEX (o.J.): <https://www.dotheretex.eu/> (23.12.2020)
- RetourMatras: Matrasrecycling in 2 minuten. <https://www.retourmatras.nl/matrasrecycling-in-2-minuten/> (17.06.2020)
- ReTyre (2014): "Classification of retreaded truck tyres in order to comply with future environmental performance and safety requirements", EU-Project RE-TYRE ID: 286830, Funded under: FP7-SME Coordinated by: STICHTING KENNISCENTRUM LEIDEN, Netherlands, 2014
- Riedel, H.; Schmoeckel, G.; Marb, C. (2014): Schwermetall- und Chlorgehalte in Altholzsortimenten. In: holztechnologie 55(2014)5, S.31. Hrsg.: Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH (IHD)
- Rigdon GmbH (2020): Karkassenliste Ankauf (Reifenhandel), gültig ab 15.04.2020
- RI.SE (2019): User Guide - Classification and Risk Assessments of Textiles for Material Recycling; funded by Vinnova 2017-2019
- Roos, S.; Sandin, G.; Peters, G.; Spak, B.; Schwarz Bour, L.; Perzon E.; Jönsson, C. (2019): white paper on textile recycling, S. 18 - 28
- Rühl R. (2009): Gesprächskreis Bitumen. Publikation Temperaturabgesenkte Asphalte. 2009
- Rüter, S., Diederichs, S. (2012): Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz. Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2012/1
- RVS ASP (o.J.): Export Occasionreifen. Reifen-Verband der Schweiz. <https://www.swisspneu.ch/entsorgung/export-occasionsreifen> (29.09.2020)
- RVS ASP (2017a): Korrekte Altreifenentsorgung ist Vertrauenssache. Reifen-Verband der Schweiz. https://www.swisspneu.ch/fileadmin/03_Entsorgung/03_Flyer_Altreifen_d.pdf (07.09.2020)
- RVS ASP (2017b): Reifenentsorgung in der Schweiz. Reifen-Verband der Schweiz. <https://www.swisspneu.ch/entsorgung/weitere-informationen> (07.09.2020)
- RVS ASP (o.J.): Liste aller Anbieter. Reifen-Verband der Schweiz. <https://www.swisspneu.ch/entsorgung/rvs-altreifen-entsorger> (29.09.2020)
- Sandin, G.; Roos, S.; Spak, B.; Zamani, B.; Peters, G (2019): Environmental assessment of Swedish clothing consumption (26.08.2020)
- Sadiktsis, I.; Bergvall, C.; Johansson, C.; Westerholm, R. (2012): Automobile Tires. A Potential Source of Highly Carcinogenic Dibenzopyrenes to the Environment. Environ. Sci. Technol. 2012, 46, 3326–3334
- Saiwari, S.; Dierkes, W.; Noordermeer, J.; Blume, A. (2015): Best practice for the devulcanization of sulfur-cured SBR rubber. University of Twente, Enschede. 2015
- Šandrak Nukić, I.; Miličević, I. (2019): Fostering eco-innovation: waste tyre rubber and circular economy in Croatia. Interdisciplinary Description of Complex Systems, Band 17, Seiten 326-344. <http://indecs.eu/index.php?s=x&y=2019&p=326-344> (07.09.2020)

- Santiago Gomes, T.; Rezende Neto, G.; Nioac de Salles, A.C.; Yuan Visconte, L.L.; Vasques Pacheco, E.B.A. (2019): End-of-Life Tire Destination from a Life Cycle Assessment Perspective. In: [Hrsg.]: New Frontiers on Life Cycle Assessment - Theory and Application. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/books/new-frontiers-on-life-cycle-assessment-theory-and-application/end-of-life-tire-destination-from-a-life-cycle-assessment-perspective> (16.11.2020)
- Scandinavian Enviro Systems AB (2019): Enviro's rCB reduces CO₂ emissions by over 79 %, better than earlier estimates. <https://www.envirosystems.se/en/news/enviros-rcb-reduces-co2-emissions-by-over-79-better-than-earlier-estimates/> (23.11.2020)
- Schardt, G.; Weinert, M. (2003): Entwicklung von Lösungen zur recyclinggerechten Herstellung und Verarbeitung von Polstermöbeltextilien als Beitrag zum produktbezogenen Umweltschutz. <https://doi.org/10.2314/GBV:394008170> (26.08.2020)
- Schimmelpfennig, O. (2020): Aussage in der öffentlichen Anhörung zum Sachstand Mikro-plastikproblematik bei Kunstrasenplätzen vom 03.06.2020. Hessischer Landtag, Innenausschuss. <https://hessischer-landtag.de/termine/innenausschuss-anh%C3%B6rung-zur-mikroplastikproblematik-bei-kunstrasenpl%C3%A4tzen> (20.08.2020)
- Schmidt, A.; Watson, D.; Roos, S.; Askham, C.; Brunn Poulsen, P. (2016): Gaining benefits from discarded textiles. LCA of different treatment pathways. TemaNord 2016:537. <http://dx.doi.org/10.6027/TN2016-537>
- Schmidt, S. (2014): in Windeln gewickelt...DIE ZEIT Nr. 53/2014. <https://www.zeit.de/2014/53/windeln-einwegwindel-pampers-baby> (26.08.2020)
- Schmidt, U.; Reinke, D. (1991): Wiederverwertung von Altgummi, Status und Tendenzen in der Gummiindustrie, in: VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik (Hrsg.): Neue Konzepte für die Autoverwertung, VDI-Berichte 934, Düsseldorf, S. 371
- Schmidt, W. (2000): Grenzüberschreitend abgewickelt. Windelrecycler aus Holland machen deutschen Entsorgern Konkurrenz. In: Die Zeit Nr. 08/2000. <https://www.zeit.de/2000/08/200008.windeln.xml/komplettansicht> (24.06.2020)
- Schnurr, R. (o.J.): Test auf Normalverteilung Excel Anderson Darling Test. Excel-Vorlage. <https://www.sixsigmablackbelt.de/test-auf-normalverteilung-excel/> (26.08.2020)
- Schöner Wohnen (o.J.): Recyclingmöbel. <https://www.schoener-wohnen.de/moebel/28347-rtkl-recyclingmoebel> (26.08.2020)
- Schwalbe D. (2019): Leiter Altreifenentsorgung bei Mülsener Rohstoff- und Handelsgesellschaft mbH. Protokoll einer persönlichen Befragung. 10.2019
- Schweizer Parlament (2005): Entsorgung von Altreifen. <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20053191> (07.09.2020)
- Secondly (o.J.): Leader français de l'éco-conception de matelas. <https://www.secondly.fr/> (26.11.2020)
- Seidel E. (1992): Betrieblicher Umweltschutz. Gabler Verlag, Wiesbaden.
- SenUVK (2018): Wohin mit dem alten Kunstrasen? Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Berlin. Newsletter „Grüne Beschaffung“ 17/2018. <https://www.berlin.de/senuvk/service/gesetzestexte/de/beschaffung/newsletter.shtml> (26.08.2020)
- Selbsthilfeverband Inkontinenz e.V. (2015): Inkontinenzslips - Windelslips – Windeln. https://www.selbsthilfeverband-inkontinenz.org/svi_suite/svisuite/windeln.php (23.06.2020)
- Slow, E. (2017): Knowaste appeal for nappy recycling plant dismissed. letsrecycle.com <https://www.letsrecycle.com/news/latest-news/knowaste-appeal-nappy-recycling-plant-dismissed/> (26.08.2020)

SMK (2008): Beschlüsse/Empfehlungen der 32. Sportministerkonferenz am 27./28. November 2008 in Rostock/Warnemünde

Soft landing: meet our people. <https://www.softlanding.com.au/meet-our-people/> (17.06.2020)

Staatsministerium des Innern (2010): Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern: Technische Lieferbedingungen für Gummimodifizierte Bitumen. TL RmB-StB By. Ausgabe 2010

Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu (2015): Kennisgeving van het algemeen verbindend verklaren van de Overeenkomst inzake de afvalbeheersbijdrage voor autobanden. (dt.: Staatssekretär für Infrastruktur und Umwelt (2015): Bekanntmachung über die allgemein verbindliche Vereinbarung zum Abfallbewirtschaftungsbeitrag für Autoreifen). In: Staatscourant Nr. 18635. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2015-18635.pdf> (29.09.2020)

Stadionwelt (o.J.): Tennis-Anlagen: Planungsgrundlagen, Normen und Empfehlungen. https://www.stadionwelt-business.de/index.php?rubrik=planung%20&site=news_view&news_id=12167 (27.08.2020)

Stadt Flörsheim am Main, Bürgerservice: Windelcontainer. <https://www.floersheim-main.de/index.php?object=tx|2983.2&ModID=10&FID=2181.536.1> (26.08.2020)

Stadtrat Düsseldorf (2018): Anfrage Ratsfraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN für die Sitzung des Ausschusses für Umweltschutz am 09.11.2017 / Beantwortung in der Sitzung am 11.01.2018 hier: „Kunstrasenflächen auf Sportplätzen“. <https://www.gruene-duesseldorf.de/kunstrasenflaechen-auf-sportplaetzen/> (26.08.2020)

Stange Design GmbH (o.J.): Ausstellungen und Möbel aus Pappe seit 1985- Made in Berlin <https://www.stange-design.de/> (28.07.2020)

Statista (2016): Umfrage zur Art der verwendeten Matratze in Deutschland 2016. Statista-Umfrage

Statista (2020): Umsatz im Markt für Bekleidung weltweit nach Ländern im Jahr 2019. <https://de.statista.com/prognosen/758975/umsatz-im-markt-fuer-bekleidung-weltweit-nach-laendern> (17.12.2020)

Stiftung Liebenau: Der Windel-Willi. <https://www.stiftung-liebenau.de/ueber-uns/philosophie/windel-willi/?> (26.08.2020)

Stiftung Warentest (2017): Windeln für Erwachsene – nicht alle halten dicht. Online unter: <https://www.test.de/Inkontinenz-Windeln-fuer-Erwachsene-im-Test-5143186-0/> (26.08.2020)

Stiftung Warentest (2019): Matratzentest 2019 - FAQ Matratzen: Antworten auf die wichtigsten Fragen. <https://www.test.de/Matratzen-im-Test-1830877-5380909/#question-19> (14.10.2019)

Strohmeyer, A. (2019): Altholzverordnung vor ihrer Novellierung. Anpassungsbedürftigkeit angesichts neuer Rahmenbedingungen. In: Zeitschrift für das Recht der Abfallwirtschaft, Jahrgang 18, Ausgabe 1 (2019), S. 36-48

Sustainable Global Resources Ltd (2017): ECAP, European Textiles & Workwear Market, Rijkswaterstaat

Swedish chemicals agency (2014): Chemicals in textiles – Risks to human health and the environment. Report from a government assignment. Report 6/14. Stockholm. <https://www.kemi.se/global/rapporter/2014/rapport-6-14-chemicals-in-textiles.pdf> (26.08.2020)

Tarkett (2020): 2019 Corporate Social & Environmental Responsibility Report. <https://www.tarkett.com/en/publications> (06.07.2020)

taz (2017): Vom Bolzplatz in den Ozean. <https://taz.de/Umweltprobleme-durch-Kunstrasen/!5376394/> (27.08.2020)

Terra (2020): Veille sur les technologies de tri optique et de reconnaissance des matières textiles à l'échelle européenne. EcoTLC

Teubler, J.; Bickel, M. (2019): Materialien für Matratzen. Ökologische Auswirkungen der Herstellung und Wiederverwertung. Projektbericht im Auftrag des Fachverbandes Matratzenindustrie e. V. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH. Wuppertal, 2019.

Textile-Network (2019): Jahresprognose weltweite Faserproduktion 2018. <https://textile-network.de/de/Technische-Textilien/Fasern-Garne/Jahresprognose-weltweite-Faserproduktion-2018> (26.08.2020)

Textile Exchange (o.J.): Standards. <https://textileexchange.org/standards/> (28.12.2020)

TFR Group (2020): R & D. What we're working on. <http://www.tfrgroup.co.uk/research-development/> (17.06.2020)

Theilen, U.; Herbert, S.; Weigand, H.; Heynemann, J. (2016): Abschlussbericht zum Vorhaben Entwicklung eines energetischen und stofflichen Verwertungskonzeptes für Inkontinenzabfälle. Kurztitel: InkoCycle. <https://doi.org/10.2314/GBV:871628260> (26.08.2020)

Thomson, P.; Willis, P.; Morley, N. (2012): a review of commercial fibre recycling technologies, WRAP, S. 40

Uitvoeringsplan huishoudelijk afval (o.J.): <https://ovam.be/uitvoeringsplan> (26.08.2020)

Umweltbundesamt (2016): Umweltbundesamt (UBA): Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe. Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar?

Umweltbundesamt (2019a): Projekt Resek: Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität. 2019

Umweltbundesamt (2019b): Bekleidung. <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/haushalt-wohnen/bekleidung#unsere-tipps> (22.02.2021)

Umweltbundesamt (2020): Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen in der Textilindustrie. <https://www.umweltbundesamt.de/per-polyfluorierte-alkylverbindungen-in-der> (26.08.2020)

Umweltbundesamt (2020a): Leitfaden zur umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffung: Textile Bodenbeläge. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-zur-umweltfreundlichen-oeffentlichen-0> (12.10.2020)

UmweltMagazin (2019): Aus Windeln werden Bänke. <https://www.ingenieur.de/fachmedien/umweltmagazin/abfall-und-kreislauf/aus-windeln-werden-baenke/> (24.06.2020)

Umweltprobenbank des Bundes (UPB) (2020): EPA-Liste. <https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/13446> (26.08.2020)

UrbanRec (2018): Wood plastic composites from recycled hard plastics and wood. Executive summary. https://urbanrec-project.eu/project_activities.php?op=2 (10.07.2020)

UrbanRec (2019): D3.2 – Design and manufacturing of foam mattresses with recycled materials coming from bulky waste. Executive summary. https://urbanrec-project.eu/_descarga_web.php?p=472&t=138 (18.08.2020)

UrbanRec (o.J.): D6.2 Guideline. Ecodesign Guideline. (UrbanRec-Projektlaufzeit: 2016-2019). https://urbanrec-project.eu/ficheros/URBANREC_D6.2_Guidelines.pdf (24.07.2020)

VANG (2020): A guide to preventing contamination in the collection of used textile products. <https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/linkportaal/publicaties/downloads/downloads-diverse/guide-to-preventing-contamination-the-collection/>

Van Roeckel, E. (2020): Telefongespräch mit Herrn van Roeckel (GBN Artificial Grass Recycling) am 21.08.2020

VDZ (Verein Deutscher Zementwerke e. V.) (1998-2019): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie (jährlich erscheinend), <https://www.vdz-online.de/> (22.12.2020)

VDZ (2020): Schriftliche Auskunft des Vereins Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ), Herr Stefan Schäfer. 29.10.2020

Verein Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ) (1998–2019): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie (jährlich erscheinend), <https://www.vdz-online.de/>

Verstraete, D. (2019): Presentation and results of the trials of thermoplastic recycling of polyester textile waste streams; Workshop RETEX, 20.11.2019, Mons

Verwaltungsgericht Würzburg, Urteil vom 10.02.2015 – W 4 K 13.2015

VeVA (2020): Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (Stand 01.01.2020). Der Schweizerische Bundesrat. <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20021080/index.html> (29.09.2020)

VinylPlus (o.J.): Mechanical recycling. <https://vinylplus.eu/recycling/recycling-options/mechanical-recycling> (28.07.2020)

VinylPlus (2020): Progress Report 2020. Reporting on 2019 Activities. https://vinylplus.eu/uploads/Progress%20Report%202020/VinylPlus%20Progress%20Report%202020_EN_sp.pdf (28.07.2020)

Vis M.; Mantau, U.; Allen, B. (Eds.) (2016): Study on the optimised cascading use of wood. No 394/PP/ENT/RCH/14/7689. Final report. Brussels 2016. doi: 10.2873/827106

VKU (2019): Matratzen- und Teppichrecycling noch kein Geschäftsmodell. <https://www.vku.de/themen/infrastruktur-und-dienstleistungen/sperrmuell-recycling/> (14.10.2019)

VKU (2020): Betriebsdaten 2018. VKU-Umfrage zur Abfallsammellogistik bei kommunalen Entsorgungsunternehmen. VKU-Verlag GmbH, Berlin. ISBN 978-3-87750-920-3

Wahnbaeck, C.; Groth, H. (2015): Wegwerfware Kleidung - Repräsentative Greenpeace-Umfrage zu Kaufverhalten, Tragedauer und der Entsorgung von Mode, Greenpeace e.V.

Wallau, F. (2001): Kreislaufwirtschaftssystem Altauto. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.

Warschun, M.; Fabel, M.; God, S.; Dittmar, F. (2020): Can circularity save the fashion industry?, A.T. Kearney Korea LLC. <https://www.rli.uk.com/reports/Can%20circularity%20save%20the%20fashion%20industry%5B2%5D.pdf?t=1610550514> (04.03.2021)

Watson, D.; Trzepacz, S.; Lander Svendsen, N.; Wittus Skottfelt, S.; Kiørboe, N.; Elander, M.; Ljungkvist Nordin, H.; (2019): Towards 2025: Separate collection and treatment of textiles in six EU countries. Miljøstyrelsen, Odense, Dänemark. <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2020/jul/towards-2025-separate-collection-and-treatment-of-textiles-in-six-eu-countries/> (04.03.2021)

Watson, D.; Palm, D.; Brix, L.; Amstrup, M.; Syversen, F.; Nielsen, R. (2016): Exports of Nordic Used Textiles - Fate, benefits and impacts. Nordic Council of Ministers. <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1057017&dswid=-2484> (04.03.2021)

Weiner, D. (2020): Telefongespräch mit Hr. Weiner (D & E Entsorgung) am 27.07.2020 und am 09.12.2020

Welt online (2016): So viel geben die Deutschen für eine neue Küche aus. <https://www.welt.de/wirtschaft/article155198585/So-viel-geben-die-Deutschen-fuer-eine-neue-Kueche-aus.html> (26.08.2020)

Welt online (2018): Warum die Deutschen jetzt mit billigen Möbeln leben.

<https://www.welt.de/wirtschaft/article172440322/Warum-die-Deutschen-jetzt-mit-billigen-Moebeln-leben.html> (26.08.2020)

Welt online (2019a): Warum die Deutschen einfach keine neuen Möbel kaufen.

<https://www.welt.de/finanzen/immobilien/article186977510/Warum-die-Deutschen-einfach-keine-neuen-Moebel-kaufen.html> (26.08.2020)

Wermter, B.; Chapparo, A.; Reuter, D. (2017): Wie die Teppich-Industrie versucht, sich ein grünes Mäntelchen umzuhängen. Greenpeace Magazin. <https://www.greenpeace-magazin.de/nachrichten/wie-die-teppich-industrie-versucht-sich-ein-gruenes-maentelchen-umzuhaengen> (29.06.2020)

Wilhelm, J. (2018): Gummimodifizierter Asphalt –Wo stehen wir? (Präsentation).

https://www.asphalt.de/fileadmin/user_upload/DAV-INFO_Gummi_Linstow.pdf (27.08.2020)

Windelmanufaktur (2015): Kannst Du mit Stoffwindeln Geld sparen?

<https://www.windelmanufaktur.com/de/stoffwindeln/kostenvergleich-stoffwindeln-wegwerfwindeln> (26.08.2020)

Winternitz, K.; Heggie, M.; Baird, J. (2019): Extended producer responsibility for waste tyres in the EU: Lessons learnt from three case studies – Belgium, Italy and the Netherlands. In: Waste Management, Band 89, Elsevier B.V., Amsterdam, S. 386-396. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.023> (17.08.2020)

Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V.(wdk) (2013): Altreifenverwertung in Deutschland, Fachgespräch Verwertung von Altreifen Umweltbundesamt. <https://docplayer.org/48523875-Altreifenverwertung-in-deutschland-fachgespraech-verwertung-von-altreifen-umweltbundesamt-berlin-28-juni-2013.html> (26.08.2020)

Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V.(wdk) (2016a): Zu starke Reglementierung bedroht Recycling-Produkte. In: GAK Gummi Fasern Kunststoff, 69. Jahrgang (2016), Nr. 11, S. 726

Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V.(wdk) (2016b): Erzeugnisse aus Reifen-Rezyklat. wdk Position. 08.2016. https://news.wdk.de/file/public/share/public/Presseportal/Positionen/2016-08-22_wdk_Position_PAK_Produnkte.pdf (26.08.2020)

Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V.(wdk) (2017): Stabile Altreifenmenge bei steigendem Fahrzeugbestand zeigt, dass der Stoffkreislauf in Deutschland funktioniert. wdk Pressemitteilung. 2017. <https://www.wdk.de/stoffkreislaufdeutschland> (26.08.2020)

Wissenschaftliche Dienste (2020): Sachstand – ÖPNV-Abgabe für Arbeitgeber.

<https://www.bundestag.de/resource/blob/691726/fdeb153dbbb11045a40090a8e876f222/WD-4-021-20-pdf-data.pdf> (24.02.2021)

Wortmann, F. (2020): Antwort auf schriftliche Anfrage an den Deutscher Tennis Bund e.V. (10.08.2020)

WRAP (2017) Valuing Our Clothes: the cost of UK fashion (Seite 9)

Zalando (o.J.): Wardrobe – Der Kleiderschrank der Zukunft.

<https://corporate.zalando.com/de/magazin/wardrobe-der-kleiderschrank-der-zukunft> (26.08.2020)

Zapfl, Daniel (2018): Warum es fürs Smart Home erst wenige intelligente Möbel gibt. LEAD Innovation Blog. <https://www.lead-innovation.com/blog/intelligente-m%C3%B6bel>. (26.08.2020)

ZAW-SR - Zweckverband Abfallwirtschaft Straubing Stadt und Land (o.J.): Kunststoff ist nicht gleich Kunststoff. <https://www.zaw-sr.de/Hartkunststoffe> (23.07.2020)

Zimmermann, T., Reihlen, A., Jepsen, D. (2019): Annex III: Case Study 2 on Carpets. In: Information Flows on Substances of Concern in Products from Supply Chains to Waste Operators. Final report. Ökopool GmbH In Kooperation mit sofia and RPA, Mai 2020. doi:10.2873/873130

Zinkler, S.; Winter, D.; Ritscher, M. u. A. Arthen (2019): Siedlungsabfallbilanz 2018 des Freistaates Sachsen.
<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/34703/documents/53968> (06.09.2020)

A Zuordnung Güter der Produktionsstatistik zum Warenverzeichnis des Im-/Exporthandels

Güter des Güterverzeichnis / Produktionsstatistik		Waren des Warenverzeichnisses, Im-/Export	
GP09-310011550	Drehstühle, verstellbar, gepolstert, m. Rückenlehne	WA94013000	Drehstühle mit verstellbarer Sitzhöhe
GP09-310011590	Andere Drehstühle mit verstellbarer Sitzhöhe		
GP09-310011705	Gepolsterte Sitzmöbel, m. Gestell a. Metall, f. Büros	WA94017100	Sitzmöbel, mit Gestell aus Metall, gepolstert
GP09-310011709	Andere gepolsterte Sitzmöbel, m. Gestell a. Metall		
GP09-310011903	Schulsitzmöbel (ohne Reihengestühl)	WA94017900	Sitzmöbel, mit Gestell aus Metall
GP09-310011909	Andere Sitzmöbel, mit Gestell aus Metall		
GP09-310012100	In Liegen umwandelbare Sitzmöbel ohne Gartenmöbel	WA94014000	In Liegen umwandelbare Sitzmöbel
GP09-310012300	Sitzmöbel aus Stuhlrohr, Korbweiden, Bambus o.Ä.	WA94015900	Sitzmöbel aus Stuhlrohr, Korbweiden, u. ähnlichen
GP09-310012501	Gepolsterte Sitzmöbel, m. Gestell a. Holz, f. Büros		
GP09-310012503	Polstersessel, mit Gestell aus Holz	WA94016100	Sitzmöbel, mit Gestell aus Holz, gepolstert
GP09-310012509	Andere gepolsterte Sitzmöbel, mit Gestell aus Holz		
GP09-310012905	Nicht gepolsterte Gartenstühle mit Gestell a. Holz	WA94016900	Sitzmöbel, mit Gestell aus Holz
GP09-310012907	Nicht gepolsterte Schulsitzmöbel m. Gestell a. Holz		
GP09-310012909	Andere nicht gepolsterte Sitzmöbel	WA94018000	Sitzmöbel, anderweitig nicht genannt
GP09-310013000	Gartenmöbel a. Kunststoff, andere Sitzmöbel, a.n.g.		
GP09-310111100	Zeichentische aus Metall, für Büros	WA94031051	Metallschreibtische für Büros, Höhe bis 80cm
GP09-310111401	Metallschreibtische, Höhe <=80cm		
GP09-310111403	Andere Metalltische, Höhe <=80cm	WA94031058	Metallmöbel für Büros, <=80cm, a.n.g.
GP09-310111409	Regale und andere Möbel, Höhe <=80cm		
GP09-310111703	Metallschränke, Höhe >80cm	WA94031091	Metallschränke mit Türen oder Rollläden

Güter des Güterverzeichnis / Produktionsstatistik		Waren des Warenverzeichnisses, Im-/Export	
GP09-310111705	Karteischränke, Höhe >80cm	WA94031093	Metallkarteischränke u.a. Metallschränke
GP09-310111709	Andere Metallmöbel für Büros, Höhe >80cm	WA94031098	Metallmöbel für Büros, >80cm, a.n.g.
GP09-310112001	Holzschreibtische, Höhe <=80cm	WA94033011	Holzschreibtische für Büros, Höhe bis 80cm
GP09-310112003	Andere Holztische, Höhe <=80cm		
GP09-310112004	Holzschränke, Regale, Höhe <=80cm	WA94033091	Holzschränke für Büros, Höhe über 80cm
GP09-310112006	Raumteilende Holzmöbelemente f. Büros, Höhe >80cm		
GP09-310112007	Holzschränke und -regale für Büros, Höhe >80cm		
GP09-310112008	And. kombinierbare Holzelem. für Büros, Höhe>80cm	WA94033099	Holzmöbel für Büros, Höhe über 80cm
GP09-310112009	Andere Holzmöbel für Büros, Höhe >80cm	WA94033019	Holzmöbel für Büros, Höhe bis 80cm
GP09-310113000	Ladenmöbel aus Holz	WA94036030	Holzmöbel von der in Läden verwendeten Art
GP09-310210001	Einbauküchenelemente aus Holz	WA94034010	Einbauküchenelemente aus Holz
GP09-310210009	Andere Holzmöbel für Küchen	WA94034090	Holzmöbel von der in der Küche verwendeten Art
GP09-310911003	Bettstellen aus Metall	WA94032020	Betten aus Metall
GP09-310911001	Schulmöbel (ohne Sitzmöbel) aus Metall	WA94032080	Metallmöbel (ohne Sitzmöbel, Betten und Büromöbel)
GP09-310911002	Wohnmöbel aus Metall		
GP09-310911005	Spezialmöbel für Läden, aus Metall		
GP09-310911007	Möbel und Spezialeinrichtungen für Laboratorien		
GP09-310911009	Andere Metallmöbel, a.n.g.		
GP09-310912303	Liegen (auch sog. französische Betten) aus Holz	WA94035000	Holzmöbel von der in Schlafzimmern verwendeten Art
GP09-310912305	Andere Betten aus Holz		
GP09-310912307	Schlafzimmerschränke aus Holz		
GP09-310912309	Andere Schlafzimmermöbel aus Holz		
GP09-310912501	Wohn- und Esszimmertische aus Holz	WA94036010	

Güter des Güterverzeichnis / Produktionsstatistik		Waren des Warenverzeichnisses, Im-/Export	
GP09-310912503	Andere Tische (Kleintische) aus Holz		Holzmöbel, in Ess- und Wohnzimmern verwendet
GP09-310912505	Wohnzimmerschränke, Bücherschränke aus Holz		
GP09-310912506	Schrankwände auch als Raumteiler aus Holz		
GP09-310912509	Andere Ess- und Wohnzimmermöbel aus Holz		
GP09-310913008	Möbel für Laboratorien aus Holz	WA94036090	Andere Holzmöbel
GP09-310913007	Schulmöbel (ohne Sitzmöbel) aus Holz		
GP09-310913001	Badezimmermöbel aus Holz		
GP09-310913003	Gartenmöbel aus Holz		
GP09-310913005	Garderobenmöbel, Schuhschränke, Schuhregale, a. Holz		
GP09-310913009	Andere Holzmöbel, a.n.g.		
GP09-310914303	Badezimmermöbel aus Kunststoff	WA94037000	Kunststoffmöbel (ohne Sitzmöbel)
GP09-310914305	Gartenmöbel aus Kunststoff		
GP09-310914309	Andere Kunststoffmöbel		
GP09-310914500	Möbel aus anderen Stoffen	WA94038900	Möbel aus Stuhlrohr, Korbweide, u.a.
		WA94021000	Dentalstühle, Friseurstühle o. ähnliche Stühle
		WA94029000	Möbel für die Human-, Zahn-, Tiermedizin and.

B Altreifen

B.1 Übersicht der nach EfbV und BRV-Anforderungsprofil zertifizierten Altreifenentsorgungsbetriebe

Bei Initiative zertifizierte Altreifenentsorger (ZARE) handelt es sich um einen Zusammenschluss von Altreifenentsorgern. Voraussetzungen für eine Mitgliedschaft bei der Initiative ZARE ist die Zertifizierung entsprechend der Entsorgungsfachbetriebsverordnung und dem speziellen BRV-Anforderungsprofil sowie die Mitgliedschaft im Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk e.V. (BRV).

Tabelle 136 Übersicht der Reifenentsorgungsbetriebe (nicht erschöpfend)

BRV: Stand 14.10.19 ZARE: Stand 04.11.19			Tätigkeit							Altreifenentsorger**	ZARE Mitglied	BRV Förderer
* Zertifizierte Tätigkeiten gemäß Auskunft des BRV			Einsammeln*	Befördern*	Lagern*	Makeln und Handeln*	Behandeln*	Beseitigen*	Verwerten*			
** nach Entsorgungsfachbetriebs-Verordnung und BRV-Anforderungsprofil "zertifizierte Altreifenentsorger"												
Nr.	Firma	Anschrift										
1	AGWR – Allgemeine Gummiwertstoff und Reifenhandels GmbH	Gewerkschaftsstr. 18-22 54584 Jünkerath	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
2	ALGUM GmbH	Siemensstraße 20 D-63755 Alzenau	Recycling von Stahlcord									
3	AVR Altreifenverwertung und Recycling GmbH	Schlott 24 84106 Volkenschwand			✓		✓		✓	✓		
4	Bender Reifen Recycling GmbH	Rötelstrasse 21 74172 Neckarsulm	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓
5	Containertransporte Wesseler GmbH	Auf dem Platen 1-3 49326 Melle (auch Ostercappeln-Venne, Kroppenstedt)	✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓
6	CS-Gummirecycling	Siemensstraße 3 79331 Teningen										
7	CVS Reifen GmbH	Industriestr. 1 35792 Löhnberg	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓
8	Danninger OHG Spezialtransporte	Straß 4 94081 Fürstentzell	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	
9	Ecocalor GmbH	Kleinbouslar 35 D – 41812 Erkelenz										
10	Estate Umweltservice GmbH (Tochter A.T.U Auto-Teile-Unger GmbH & Co. KG)	Dr.-Kilian-Str. 11 92637 Weiden	gemäß § 56 KrWG i. V. m. EfbV zertifiziert d. TÜV Süd									✓
11	GAL Reifenentsorgungs GmbH	Ausbau Kirschberg 15a 03130 Spremberg	✓	✓	✓					✓		✓
12	GAV Gummiaufbereitungs- und Verwertungsgesellschaft mbH	Mergelweg 1 33161 Hövelhof										

13	Genan GmbH	Gottlieb-Daimler-Straße 34 46282 Dorsten (auch Kammlach, Oranienburg)			✓		✓		✓	✓		✓
14	Gerhard Langner Reifenhandel OHG	Prinz-Anselm-Allee 13 84100 Niederaichbach	✓	✓	✓		✓		✓	✓		
15	Global Reifen GmbH	Poststr. 26 04600 Altenburg										
16	Hartung Speditions-, Handels- und Transport GmbH	Am Kalkwerk 1 06647 Bad Bibra									✓	
17	HeidelbergCement AG Zementwerk Ennigerloh	Zur Anneliese 7 59320 Ennigerloh/Westfalen										✓
18	Helmut Schindlbeck e. K.	Gewerbestr. 17 84061 Ergoldsbach	✓	✓	✓		✓		✓	✓		
19	HRV GmbH	Reddeberweg 10 38855 Wernigerode	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓
20	INTROPA Reifen und Handels GmbH	Aarstr. 2465629 Niederneisen										✓
21	Korthues Reifen & Recycling	Dreischkamp 32 48653 Coesfeld										✓
22	KrW Kreislaufwirtschafts- und Abfallverwertungs-Gesellschaft mbH	Philosophenweg 31-33 47051 Duisburg				✓				✓		✓
23	KURZ Karkassenhandel GmbH	Heinrich-Otto-Str. 19 73240 Wendlingen (auch Landau)	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓
24	Kurz Reifenhandel GmbH & Co. KG	Stahlbastr. 20-22 64560 Riedstadt-Goddellau	✓	✓	✓		✓		✓	✓		
25	MRH – Mülsener Rohstoff- und Handelsgesellschaft mbH	Gartenstraße 49 08132 Mülsen	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓
26	PVP Triptis GmbH	Im Bresselsholze 11 07819 Triptis							✓	✓	✓	✓
27	REG Reifen-Entsorgungsgesellschaft mbH	Postfach 169 30001 Hannover				✓				✓		✓
28	REGUPOL BSW GmbH	Am Hilgenacker 24 57319 Bad Berleburg										✓
29	Reifen Draws GmbH	Bundesstr. 25 89443 Schwenningen	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	
30	Reifen Gruppe Ruhr	Robertstr. 96-100 44809 Bochum	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	
31	REIFEN HÜSKA GmbH	Bahnhofstr. 3 35759 Driedorf-Roth	✓	✓	✓		✓		✓	✓		✓
32	Reifen Külshammer, Inh. Christian Külshammer	Bürgermeister-Banse-Weg 5-7 29331 Lachendorf	✓	✓	✓		✓			✓		
33	Reifen OKA GmbH & Co. KG	Gewerbegebiet an der B 54 65599 Dornburg-Langendernbach	✓	✓	✓		✓			✓	✓	
34	Reifen-Recycling-Arnold	Werner Straße 285 59192 Bergkamen	✓	✓						✓		

35	RRB Reifen und Recyclingbetrieb Brenz GmbH	Am Brenzer Kanal 6 19306 Brenz	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓
36	Schäfer Reifen-Entsorgung-Export e.K.	Daimlerstr. 34 89155 Erbach/Ulm	✓	✓	✓		✓		✓	✓		
37	Skarabäus Containerdienst GmbH	Leipziger Straße 12 04509 Schönwölkau/Badrina	✓	✓	✓					✓		✓
38	SPREELAST GmbH	Ardennering 11 03226 Vetschau										
39	TYREWOLF GmbH	Mengener Straße 47 88630 Pfullendorf										
40	Ulf Claushallmann, Reifen- und Karkassenhandel	Untere Eschstr. 19 49179 Ostercappeln	✓	✓	✓		✓			✓		✓
Außerhalb Deutschlands												
41	Kargro bv	Heeswijk 135 NL-3417 Montfoort	✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓
42	KRAIBURG Austria GmbH & Co. KG	Webersdorf 11 A-5132 Geretsberg / Österreich									✓	
43	Lintire b.v.	Lange Dreef 2 - 4 NL-4131 NH Vianen	✓	✓	✓		✓			✓		

B.2 Umfrage Altreifenerfassung

Evaluation der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft". Förderkennzeichen 3719 34 302 0



Herzlich Willkommen zur Umfrage für Reifenentsorgungs- und -verwertungsunternehmen

Die amtierende Bundesregierung hat sich in ihrem Koalitionsvertrag darauf geeinigt, das Recyclingpotenzial von Altreifen zu evaluieren und verstärkt zu nutzen¹. Vom Umweltbundesamt (UBA) wurde nun ein entsprechendes Forschungsprojekt initiiert². Die Erkenntnisse sollen dazu beitragen, die Ziele des Koalitionsvertrages hinsichtlich einer ressourcenschonenden Kreislaufwirtschaft zu erreichen sowie wertvolle Beiträge zur erfolgreichen Umsetzung des Ressourceneffizienzprogramms ProgRess II im Handlungsfeld „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ausbauen“ zu liefern. Für die Durchführung ist die INTECUS GmbH Dresden, in Zusammenarbeit mit Herrn Stefan Hoyer (Technische Universität Chemnitz), verantwortlich.

Hinsichtlich des Abfallstroms Altreifen verfolgt das Vorhaben das Ziel, die Erfassung und Verwertung zu evaluieren, Ressourcenschonungs- und Umweltentlastungspotenziale durch eine verbesserte Erfassung und Verwertung zu ermitteln und Handlungsansätze für eine Erschließung von Ressourcenschonungspotenzialen aufzuzeigen. Dabei sind unter anderem Handlungsempfehlungen in Form von Maßnahmen und Instrumenten sowie Anpassungen der gesetzlichen Regelungen hinsichtlich einer ressourcenschonenden Kreislaufwirtschaft zu erarbeiten, um die Erfassungs- und Verwertungswege zu verbessern bzw. die jeweiligen Mengen zu steigern. Darüber hinaus ist zu erörtern und darzulegen, ob eine erweiterte Herstellerverantwortung von Altreifen sinnvoll ist und wie diese ggf. aussehen kann. Des Weiteren sind alternative Regelungsmöglichkeiten zu erörtern und darzustellen.

Die vorliegende Umfrage ist eine wesentliche Grundlage dafür, die Struktur und die Problemstellungen der Entsorgungskette von Altreifen in Deutschland zu verstehen und die Verwertungswege von Altreifen im Hinblick auf ökonomische, ökologische und rechtliche Aspekte zu priorisieren und zu fördern.

Das Thema Altreifenrecycling hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen und befindet sich aktuell aus verschiedenen Gründen in einer schwierigen Situation. Dies zeigt sich nicht zuletzt in immer stärker steigenden Entsorgungskosten für Altreifen. **Ich bitte Sie daher um eine rege Beteiligung an dieser Umfrage, um im Interesse der Stärkung des Altreifenrecyclings in Deutschland, und damit nicht zuletzt auch Ihres Unternehmens, die Problemstellungen und Handlungsmöglichkeiten möglichst präzise und umfassend abbilden zu können.**

Bitte beantworten Sie den Fragebogen bis zum **30.06.2020**.

Mit freundlichen Grüßen
Dr.-Ing. Stefan Hoyer

Bei fachlichen Fragen zum Fragebogen wenden Sie sich bitte an Herrn Dr.-Ing. Hoyer (0371/531 37814), bei technischen Fragen den Fragebogen betreffend an Frau Steinmetzer (0351/3182323).

¹Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 19. Legislaturperiode: Ein neuer Aufbruch für Europa. Eine neue Dynamik für Deutschland. Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. S. 140

²Umwelt Bundesamt: „Evaluation der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft“. Förderkennzeichen 3719 34 302 0

Evaluation der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft". Förderkennzeichen 3719 34 302 0



★ **Kontaktformular**

Die Angabe zur Firma ist Pflicht, die übrigen Angaben sind freiwillig.

Name der Firma

Name
Ansprechpartner

Telefonnummer

E-Mailadresse

★ **Stimmen Sie einer Verwendung Ihrer Angaben im Rahmen der Studie des Umweltbundesamtes zu?**

☐ Ja

☐ Nein

Wünschen Sie eine anonymisierte Verwertung Ihrer Angaben?

☐ Ja

☐ Nein

1) Welche Maßnahmen führen Sie mit Altreifen durch?

Betreffendes bitte ankreuzen, Mehrfachnennung möglich

☐ Sammeln

☐ Sortieren

☐ Schreddern

☐ Granulieren

☐ Feinvermahlung

☐ Abrauen/Runderneuerung

☐ Herstellung von Produkten (auch Baustoffe oder Vorprodukte)

☐ Handel mit Karkassen oder Gebrauchtreifen

☐ Herstellung Ersatzbrennstoff, z.B. für Zementwerke

☐ Anderes, z.B. Werkstätten, Reifenhandel

2) Welche Verarbeitungs- bzw. Entsorgungskapazitäten für Altreifen bzw. Sekundärwerkstoffe aus Altreifen (Granulate, Mehle u. dgl.) haben Sie in Ihrem Unternehmen?

	Menge (Angabe in t/a)	Produktform (z. B. Shreds, Granulat)	Bemerkung (z. B. Beseitigung außerhalb DE)
Wiederverwendung			
Recycling/stoffliche Verwertung			
Energetische Verwertung			
Gesamt			

3) Verfügen Sie über eigene Erfahrungen, Daten oder Studien zu folgenden Themen und wären Sie bereit, diese zur Verfügung zu stellen? (auch anonymisiert)

- ☐ Ökobilanzen zur Verwertung von Altreifen, beispielsweise im Hinblick auf die Verbrennung oder die Herstellung von Sekundärprodukten.
Bevorzugt mit einer Abschätzung der CO₂-Einsparungen sowie der Einsparungen von Roh- und Brennstoffen.
- ☐ Energiebedarf zur Zerkleinerung von Altreifen.
Konkret steht die Frage, welcher spezifische Energiebedarf (z. B. kWh/kg) für einen spezifischen Zerkleinerungsschritt notwendig ist (also bspw. um einen Ganzreifen bis zu einem Granulat einer spezifischen Größenverteilung zu zerkleinern, z. B. 1–4 mm). Im Idealfall wäre eine differenzierte Aussage hinsichtlich aller Zerkleinerungsschritte wünschenswert (Grob-, Mittel- und Feinzerkleinerung). Für die Herstellung von Feinmehl aus Granulaten bestehen bereits eigene Studien, die Ihnen von Herrn Hoyer bei Bedarf gerne zur Verfügung gestellt werden.
- ☐ nein

4) Woher beziehen Sie Ihre Altreifen/Sekundärwerkstoffe aus Altreifen?

auch: national/europaweit/international

	Bezugsquelle z.B. Werkstätten	Anlieferung oder Abholung		Anteil am Gesamtaufkommen im Unternehmen	Bemerkung z.B. Kontingentverträge, national
		Anlieferung	Abholung		
1		☐	☐	Hier klicken zum Auswählen	
2		☐	☐	Hier klicken zum Auswählen	
3		☐	☐	Hier klicken zum Auswählen	
4		☐	☐	Hier klicken zum Auswählen	
5		☐	☐	Hier klicken zum Auswählen	
6		☐	☐	Hier klicken zum Auswählen	

5) Wo sind nach Ihrer Kenntnis grundsätzlich die Hauptanfallstellen für Altreifen?

Im Unterschied zu Ihren Bezugsquellen, z. B. in der Pkw-Verwertung

6) Was sind die Hauptabsatzmärkte für Ihre Produkte?

auch: national/europaweit/international

	Anwendung: (z. B. Sportböden, Bauchemie)	Produktart: (z. B. Granulat, 1–4 mm)	Menge:	Bemerkung: (z. B. Lieferung an Sportplatzbau)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

7) Sind Sie Abfallentsorger im Sinne von § 49 KrWG³?

³Entsorger von Abfällen sind Betreiber von Anlagen oder Unternehmen, die Abfälle [...] entsorgen.

- ☐ Ja
☐ Nein

7a) Für Abfallentsorger gelten umfassende Registerpflichten gemäß § 49 Abs. 2 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) in Verbindung mit §§ 24 Abs. 4, 5 Nachweisverordnung (NachwV) für angelieferte und abgegebene (auch behandelte) Abfälle. Abfallentsorger sind in diesen Fällen bei der Form der Registrierung frei.

Folgen Sie hinsichtlich der Bilanzierung und Registrierung den Empfehlungen des BRV⁴ und nutzen Sie deren Mustervordrucke zur Dokumentation?

⁴Zur Bilanzierung der Ein- und Ausgangsmengen sind in den Mustervordrucken Tageseintragungen vorzunehmen. Dies gilt für alle Standorte bzw. Betriebseinheiten und auch für Bewegungen zwischen den Standorten bzw. Betriebseinheiten.

Die Eintragungen sind mit geeigneten Belegen zu hinterlegen, z.B. Lieferschein, Wiegeschein bei Eingangsmengen sowie Wiegeschein, Lieferschein oder äquivalentem Nachweis bei Ausgangsmengen. Die Eingangsmenge ist grundsätzlich mittels Wiegung zu ermitteln. Die Ausgangsmengen sollten bevorzugt ebenfalls durch Wiegung festgestellt werden. Ist dies nicht möglich, sind die entsprechenden Angaben in Stückzahlen mit dem jeweiligen Umrechnungsschlüssel direkt umzurechnen. Die Umrechnungsschlüssel sind im Betriebshandbuch zu dokumentieren.

- ☐ Ja ☐ Nein ☐ Teilweise, nicht immer

7b) In welcher Form bilanzieren und registrieren Sie die Materialströme in Ihrem Unternehmen?

7c) Werden die Daten an eine externe Stelle weitergeleitet bzw. von einer externen Stelle abgefragt?

☐ Ja, an

☐ Nein

8) Sie sind kein Altreifenentsorger und dementsprechend nicht zur Registerführung verpflichtet.

8a) Bilanzieren und dokumentieren Sie von Altreifen bzw. von Sekundärwerkstoffen aus Altreifen (z. B. Granulate oder Mehle) die...

	ja	nein
Ein- und Ausgangsmengen	☐	☐
Bezugsquellen bzw. Abnehmer	☐	☐

8aa) In welcher Form bilanzieren und dokumentieren Sie die Ein- und Ausgangsmengen?

8ab) In welcher Form bilanzieren und dokumentieren Sie die die Bezugsquellen bzw. Abnehmer?

8b) Werden die Daten an eine externe Stelle weitergeleitet bzw. von einer externen Stelle abgefragt?

☐ Ja, an

☐ Nein

8c) Anfallstellen von Altreifen (Werkstätten, Reifenhändler etc.):

Prüfen Sie vor der weiteren Verbringung Ihrer Altreifen (z. B. Abgabe an Reifensammler) den Nachweis der Zulässigkeit des Entsorgungsweges?

z. B. anhand von Genehmigungen von Zementwerken

☐ Ja, anhand von

☐ Teilweise, anhand von

☐ Nein

8d) Altreifensammler, -beförderer oder -händler:

Arbeiten Sie ausschließlich mit Betreibern zusammen, welche nachweislich die branchenspezifischen Anforderungen für die Anerkennung als Altreifenentsorgungsbetrieb des Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk e.V. (BRV) erfüllen?

☐ Ja, ausschließlich

☐ Größtenteils

☐ Nein

9) Gibt es in Ihrem Unternehmen Einschränkungen bei der Annahme von Reifen bzw. bei der Verarbeitung von Sekundärwerkstoffen (Granulate oder Mehle)?

z. B. Reifentyp (Lkw, Pkw, Vollgummi, 2-Rad, etc.), Alter, Herstellungsland, Bauart (Seal- oder Silent-Reifen), Verschmutzung, Korngröße der Altreifengranulate bzw. Mehle, vorhandene Verarbeitungs- bzw. Verwertungskapazität

☐ Ja, folgende:

☐ Nein

9a) Was geschieht mit den nicht angenommenen Reifen/-material bzw. den Reifen, die für eine stoffliche Verwertung nicht geeignet sind (z. B. Seal-Reifen, etc.)?

10) Sortierung der Reifen

10a) Wurden die in Ihrem Unternehmen angelieferten Altreifen bereits vorsortiert („beraubt“)?

☐ Ja, durch

☐ Teilweise, durch

☐ Nein

10b) Sortieren Sie auf Ihrem Gelände selbst?

☐ Ja

☐ Nein

☐ Es erfolgt ggf. zusätzlich eine Sortierung durch externe Firmen oder Händler

10c) Nach welchen Kriterien und in welche Klassen wird sortiert?

☐ Profilreifen zur unveränderten Weiterverwendung im Inland/Ausland

☐ Karkassen zur Runderneuerung im Inland/Ausland

☐ Schrottreifen zur werkstofflichen Verwertung im Inland/Ausland

☐ Schrottreifen zur energetischen Verwertung im Inland/Ausland

☐

☐

☐

☐

10d) Erfolgt ein Austausch spezieller Reifentypen oder -sorten mit anderen Entsorgern?

☐ Ja, mit folgenden:

☐ Nein

10e) In den Zahlen der Gesellschaft für Altgummiverwertungssysteme mbH (GAVS) wird keine Differenzierung der Altreifenmenge in Pkw- und Lkw-Reifen getroffen. Laut Wallau (2001) teilt sich die Menge (gewichtsbezogen) in 62 % Pkw-, 20 % Lkw- bzw. Bus-, 10 % leichte Lkw- und 8 % sonstige Reifen auf⁵. Haben Sie hier Kenntnisse und stimmen Sie dieser Verteilung zu?

⁵Frank Wallau: Kreislaufwirtschaftssystem Altauto: Eine empirische Analyse der Akteure und Märkte der Altautoverwertung in Deutschland. 2001. Seite 277

☐ Ja, ich stimme zu, weil:

☐ Nein, ich stimme nicht zu, weil:

☐ Ich habe keine Kenntnisse

11) Wiederverwendbare Reifen

11a) Unter welchen Voraussetzungen wird ein Reifen in der Praxis als uneingeschränkt wiederverwendbar, also ohne Runderneuerung weiter verwendbar, angesehen?

z. B. Asymmetrie des Abriebs, Restprofiltiefe, besonders relevante Größen oder Bauformen

11b) Wie hoch ist der Anteil uneingeschränkt wiederverwendbarer Reifen unter den bei Ihnen anfallenden bzw. den von Ihnen angenommenen Altreifen einzuschätzen? Bestehen signifikante regionale Unterschiede?

	Anteil uneingeschränkt wiederverwendbarer Reifen	Gibt es regionale Unterschiede?	Gibt es regionale Unterschiede?
		Nein	Ja, folgende:
allgemein	Hier klicken zum Auswählen	☐	
wenn Angabe möglich: beraubte Chargen	Hier klicken zum Auswählen	☐	
wenn Angabe möglich: unberaubte Chargen	Hier klicken zum Auswählen	☐	
wenn Angabe möglich: Lkw	Hier klicken zum Auswählen	☐	
wenn Angabe möglich: Pkw	Hier klicken zum Auswählen	☐	

12) Runderneuerung von Altreifen

12a) Wie hoch ist der Anteil Ihrer Altreifen einzuschätzen, die in ihrer Beschaffenheit grundsätzlich für die Runderneuerung geeignet sind?

Reifen im Allgemeinen

Hier klicken zum Auswählen

wenn Angabe möglich: Pkw-Reifen

Hier klicken zum Auswählen

wenn Angabe möglich: Lkw-Reifen

Hier klicken zum Auswählen

12b) Welche Hürden sehen Sie für eine Ausweitung der Runderneuerung?

nach Möglichkeit Unterscheidung in Pkw und Lkw

12c) Von Experten wird, neben der geringen Akzeptanz, die Haupthürde für eine verstärkte Wiedereinführung der Runderneuerung für Pkw-Reifen in der breiten Spanne von Reifendimensionen und der technisch sehr komplexen Silika-Technologie gesehen. Haben Sie hier Kenntnisse und stimmen Sie dem zu?

☐ Ja, ich stimme zu, weil:

☐ Nein, ich stimme nicht zu, weil:

☐ Ich habe keine Kenntnisse

12d) Nach Schätzungen des BRV und weiterer Experten beträgt der Anteil der Runderneuerung im Pkw-Bereich in Deutschland aktuell unter 1 %. 2001 wurde geschätzt⁶, dass „der Anteil der runderneueren Pkw-Reifen am Ersatzgeschäft in Deutschland auf maximal 25 % gesteigert werden kann.“ Halten Sie diesen Wert aus technischer Sicht, d. h. ungeachtet der aktuell geringen Akzeptanz runderneuerter Pkw-Reifen, heute für umsetzbar?

⁶Frank Wallau: Kreislaufwirtschaftssystem Altauto: Eine empirische Analyse der Akteure und Märkte der Altautoverwertung in Deutschland. 2001. Seite 285.

„Im Idealfall sind 50 % aller Altreifen runderneuerungsfähig. Diese theoretisch maximale Quote wird durch folgende real gegebenen Randbedingungen eingeschränkt: Nicht alle am Markt befindlichen Reifen (Niedrigpreisimporteure) sind runderneuerungsfähig, ein gewisser Anteil der Reifen wird während der Benutzungsphase beschädigt und die runderneueren Pkw-Reifen können nicht ein zweites Mal runderneuert werden. Zudem wird ein erheblicher Marktanteil von Reifen für höhere Geschwindigkeitskategorien eingenommen, runderneuerte Reifen werden aber nur mit einer Höchstgeschwindigkeit von maximal 190 km/h angeboten.“

☐ Ja, weil:

☐ Nein, weil:

☐ Ich habe keine Kenntnisse

12e) Von Experten wird der Anteil der runderneuterten Reifen im Lkw-Bereich in Deutschland auf ca. 30 % geschätzt. Basierend auf den aktuellen Kapazitäten könnte dieser Anteil sofort auf 40 % gesteigert werden. Haben Sie hier Kenntnisse und stimmen Sie dem zu?

☐ Ja, ich stimme zu, weil:

☐ Nein, ich stimme nicht zu, weil:

☐ Ich habe keine Kenntnisse

12f) Haben Sie Empfehlungen, welche Maßnahmen zur Stärkung der technischen Umsetzbarkeit bzw. der Akzeptanz der Runderneuerung ergriffen werden könnten?

☐ Ja, folgende:

☐ Nein

12g) Welchen Einfluss könnte die Einführung einer Geschwindigkeitsbegrenzung auf deutschen Autobahnen haben?

☐ folgenden Einfluss könnte die Einführung haben:

☐ keinen signifikanten Einfluss

12h) Welche anderen Maßnahmen würden die Voraussetzungen für eine möglichst hohe Runderneuerungsquote verbessern?

13) Welchen Anteil der bei Ihnen verarbeiteten Altreifen wird als Ersatzbrennstoff genutzt?

z. B. in Zementwerken

- ☐ bis 5 %
- ☐ bis 10 %
- ☐ bis 15 %
- ☐ bis 20 %
- ☐ bis 25 %
- ☐ bis 30 %
- ☐ bis 35 %
- ☐ bis 40 %
- ☐ bis 45 %
- ☐ bis 50 %
- ☐ bis 55 %
- ☐ bis 60 %
- ☐ bis 65 %
- ☐ bis 70 %
- ☐ bis 75 %
- ☐ bis 80 %
- ☐ bis 85 %
- ☐ bis 90 %
- ☐ bis 95 %
- ☐ bis 100 %
- ☐ keine Angabe möglich

13a) Wie hat sich der Anteil über die letzten Jahre tendenziell entwickelt?

- ☐ steigender Anteil
- ☐ fallender Anteil
- ☐ gleichbleibender Anteil
- ☐

13b) Aktuell berichten einige Entsorgungsbetriebe von einem massiven Rückgang der durch Zementwerke verwerteten Altreifenmengen. Sind Ihnen konkrete Gründe für den Rückgang bekannt? Ist eine Verbesserung bzw. eine Verschärfung der Situation zu erwarten?

14) RFID-Chips in und QR-Codes auf Reifen

In der Reifenbranche sind verstärkt Tendenzen vorhanden, Reifen mit RFID⁷-Chips bzw. QR-Codes auszustatten (Pkw und Lkw). Mit dieser Technologie kann jeder Reifen individuell identifiziert werden. Vom Reifenhersteller können so, über eine Datenbank, beliebig detaillierte Informationen über den Reifen zur Verfügung gestellt werden, die auch nach der Produktion noch erweitert werden könnten.

14a) Erachten Sie eine solche Technologie als sinnvoll, um die Altreifen gezielter sortieren zu können? Eine Sortierung könnte berührungslos und automatisiert erfolgen, z. B. gemäß der Hersteller, nach Dimensionen oder Modell oder hinsichtlich ihres Gehaltes der für die Verwertung zu Sekundärprodukten relevanten Substanzen, z. B. nach Verordnung (EU) Nr. 1272/2013.

⁷Bei RFID-Chips handelt es sich um Transponder (umgangssprachlich auch Funketikett genannt), die im Reifen, meist in der Seitenwand, eingebettet werden. Der Transponder kann von außen berührungslos ausgelesen werden. Die Reichweite beträgt meist unter einem Meter. Der RFID-Chip ermöglicht, jeden einzelnen Reifen mit einer einzigartigen Kennung zu versehen. Durch diese individuelle und einzigartige Identifikationsnummer kann der Reifenhersteller in einer Datenbank beliebig detaillierte Informationen über den Reifen bereitstellen. Diese Informationen könnten auch nach der Produktion des Reifens noch erweitert oder angepasst werden. Michelin hat beispielsweise, in Kooperation mit Volvo, auf der Tire Technology Expo 2020 ein solches vollfunktionales System für Pkw-Reifen vorgestellt. „Ziel von Michelin ist es, bis 2023 einen vernetzten Reifen anzubieten“

☐ Ja, weil:

☐ Teilweise, weil:

☐ Nein, weil:

14b) Wäre eine entsprechende Technologie für Ihr Unternehmen sinnvoll und würden Sie, bei entsprechender Verbreitung von RFID-Chips/QR-Codes in der Reifenbranche, eine Investition in entsprechende Identifikations- und Sortiertechnologie erwägen?

☐ Ja

☐ Teilweise, weil:

☐ Nein, weil:

14c) Durch eine entsprechende Datenbank könnten Reifenhersteller umfangreiche Informationen über den Reifen bereitstellen, auf die Sie über die Identifikationsnummer zugreifen könnten.

Welche Informationen würden Sie für Ihr Unternehmen als relevant ansehen? (z. B. Reifentyp, Baujahr, spezifische Informationen über die chemische Zusammensetzung, wie z. B. der Gehalt polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe - PAK)

Bitte berücksichtigen Sie bei Ihrer Antwort, dass eine vollständige Offenlegung der genauen Werkstoffrezepturen der einzelnen Reifenkomponenten durch den Reifenhersteller sehr unwahrscheinlich ist und dass die Werkstoffrezeptur selbst nur begrenzt Rückschlüsse auf die enthaltenen Substanzen zulässt, welche zum Teil erst durch chemische Reaktionen bei der Vulkanisation entstehen.

14d) Wäre aus Ihrer Sicht eine verstärkte Einbindung der Recyclingbranche in die Konzeption und Standardisierung derartiger Systeme notwendig? Würde sich Ihr Unternehmen daran beteiligen wollen?

☐ Ja, weil:

☐ Nein, weil:

15) In einigen der etablierten Absatzmärkte für Altreifen-Rezyklate wurden Regularien zum Schutz der Umwelt und der Gesundheit erlassen. Ein Beispiel von besonderer Relevanz ist etwa die Verordnung Nr. 1272/2013 der EU-Kommission, welche den Gehalt an PAK in Erzeugnissen präventiv begrenzt. Diese Regularien werden von vielen Reifenrecyclingunternehmen als besonders problematisch angesehen, da auf den reinen Stoffgehalt an PAK statt auf deren tatsächliche Bioverfügbarkeit fokussiert wird. So bezweifelt der Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie, dass derartige Regelungen notwendig sind. Sie seien nicht risikoadäquat, denn wie Versuche zeigten, sind PAK im Gummi weitgehend unbeweglich gebunden und somit keine Gefahr⁸. Daher ist eine sorgfältige Evaluation der realistischen umwelt- und gesundheitsrelevanten Auswirkungen des Einsatzes von Altreifenrezyklaten von zentraler Bedeutung, um ein Gefährdungspotential ausschließen zu können.

Verfügen Sie über eigene Erfahrungen, Daten oder Studien zu folgenden Themen und wären Sie bereit, diese zur Verfügung zu stellen? (auch anonymisiert)

⁸Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie (wdk): Zu starke Reglementierung bedroht Recycling-Produkte. In: GAK Gummi Fasern Kunststoff, 69. Jahrgang (2016), Nr. 11, S. 726

☐ nein

☐ a) Gehalt von Schadstoffen (z.B.: PAK, Nitrosamine, Schwefel- oder Zinkverbindungen), beispielsweise in Form von PAK-Gehaltsmessung, sowie vor allem deren Freisetzung in die Umwelt (z. B. VOC- oder Migrationsmessungen, Austrag von Mikroplastik) sowie

☐ b) der möglichen Wirkung auf betroffene Schutzgüter (Wasser, Boden, Luft). Dies kann sich sowohl auf die Verwendung von Produkten mit Altreifenrezyklat als auch auf Verwertungsverfahren (speziell der stofflichen Verwertung) von Altreifen beziehen.

16) Sehen Sie Handlungsbedarf im Hinblick auf die Gesetzgebung?

16a) Die Initiative ZARE befürwortet die Einführung der Nachweispflicht⁹ für Altreifen (gemäß § 50 KrWG und auf Grundlage von §51 KrWG). Stimmen Sie dem zu?

Die Initiative ZARE (Zertifizierte Altreifen Entsorger) ist eine Arbeitsgemeinschaft im BRV - Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk e.V. Gegenwärtig haben sich 16 zertifizierte Altreifenentsorger und Reifenrecyclingbetriebe bzw. Runderneuerer unter dem Dach der Initiative ZARE zusammengeschlossen, um z.B. verstärkt Öffentlichkeitsarbeit durchzuführen.

⁹Nachweispflicht: Die ordnungsgemäße Entsorgung der Abfälle ist sowohl der zuständigen Behörde gegenüber als auch unter den an der Entsorgung beteiligten Unternehmen gegeneinander nachzuweisen. [§ 50 KrWG]

☐ Ja, ich stimme zu, weil:

☐ Nein, ich stimme nicht zu, weil:

☐ Ich habe keine Kenntnisse

16aa) Für wen sollte die Nachweispflicht gelten?

Mehrfachnennung möglich

- ☐ Erzeuger
- ☐ Einsammler
- ☐ Beförderer
- ☐ Händler
- ☐ Makler
- ☐ Entsorger

16b) Eine Registerpflicht für Altreifen besteht bisher nur für Altreifenentsorger. Befürworten Sie eine Ausweitung der Registerpflicht¹⁰?

¹⁰Registerpflicht: Es ist ein Register für angelieferte und abgegebene (auch behandelte) Abfälle zu führen. [§ 49 KrWG] Das bedeutet, dass die ein- und ausgehenden Altreifenmengen zu dokumentieren, aber nicht notwendigerweise weiter zu melden sind.

☐ Ja, weil:

☐ Nein, weil:

16bb) Für wen sollte die Registerpflicht zusätzlich gelten?

Mehrfachnennung möglich

- ☐ Erzeuger
- ☐ Einsammler
- ☐ Beförderer
- ☐ Händler
- ☐ Makler

16c) Einführung der erweiterten Herstellerverantwortung¹¹. Was spricht für oder gegen eine Einführung?

¹¹Der Hersteller/Importeur ist für die Sammlung und Verwertung verantwortlich und trägt die gesamten Kosten. Dieser Pflicht kann der Hersteller alleine oder durch Vertrag mit einem Rücknahme- und Sammelsystem nachkommen, Beispiel: Frankreich, Italien.

- ☐ Für eine Einführung spricht:

- ☐ Gegen eine Einführung spricht:

16d) Abgabenbasiertes System¹². Was spricht für oder gegen eine Einführung?

¹²Für alle in den Markt eingeführten Reifen wird eine Abgabe erhoben. Die erhobenen Abgaben fließen z. B. in einen Fonds, der von einer zentralen Stelle beaufsichtigt wird, und der die Gelder nach festgelegten Regeln an die beteiligten Unternehmen der Entsorgungskette verteilt. Beispiel: Dänemark, Kroatien.

- ☐ Für eine Einführung spricht:

- ☐ Gegen eine Einführung spricht:

16e) Stärkere Verantwortung der Reifenhersteller in Bezug auf Recyclingfähigkeit. Sind Sie der Meinung, dass die Recyclingbranche generell stärker in die Entwicklung von neuen Reifentypen und -technologien eingebunden werden sollte?

Beispielweise in Bezug auf die problematische Verwertung von Seal- oder Silent-Reifen.

- ☐ Ja, weil:

- ☐ Nein, weil:

- ☐ Ich habe keine Kenntnisse

16f) Sind die bestehenden Regularien und Rechtsvorschriften für Sie hinreichend eindeutig, verständlich und nachvollziehbar? Verfügen Sie über Informationen oder Erfahrungen in Bezug auf die Auslegung der geltenden Regularien oder Normen seitens der Behörden? Beispielsweise die Interpretation des DiBt hinsichtlich dem Einsatz von Altreifenrezyklat in Bauprodukten im Hinblick auf die Forderungen der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB)?

☐ Ja:

☐ Nein:

16g) Haben Sie darüber hinausgehende Vorschläge oder konkrete Vorschläge zur Ausgestaltung der Punkte a) bis f)?

17) Aktuelle Situation

17a) Wie schätzen Sie Ihre aktuelle und zukünftige Situation ein?

☐ positiv, weil

☐ negativ, weil

☐

☐

17b) Wie bewerten Sie Ihre rechtliche und ökonomische Sicherheit in Bezug auf die zunehmende Komplexität der Anforderungen im Hinblick auf den Umwelt- und Gesundheitsschutz?

Beispielsweise ermöglicht es die REACH-Verordnung „privaten Verbrauchern Informationen über besonders besorgniserregende Stoffe in Erzeugnissen einzufordern. Solch eine Anfrage kann mit einem Musterbrief an den Hersteller oder Händler von Erzeugnissen gerichtet werden. Verbrauchern und Verbraucherinnen müssen diese Informationen auf Anfrage durch den Handel, den Importeur oder den Hersteller mitgeteilt werden. Dieses Recht gilt unabhängig von einem möglichen Kauf. Eine Antwort muss innerhalb von 45 Tagen erfolgen.“ [Webseite des Umweltbundesamtes: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/chemikalien-reach/kandidatenliste>]

17c) Welche anderen Maßnahmen erachten Sie für eine Stärkung und Ausweitung des werkstofflichen Recyclings in Deutschland als sinnvoll?

Evaluation der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft“. Förderkennzeichen 3719 34 302 0



Vielen Dank!

Haben Sie vielen Dank für Ihre Mithilfe.

Sollten Sie weitere Fragen haben, steht Ihnen Herr Dr.-Ing. Hoyer unter der Telefonnummer: 0371/531 37814 für ein Gespräch gerne zur Verfügung oder beantwortet Ihre Fragen per Mail unter Stefan.Hoyer@mb.tu-chemnitz.de

Haben Sie noch Anmerkungen?

Haben Sie Interesse an der Mitwirkung an Forschungs- und Entwicklungsprojekten zur Stärkung des werkstofflichen Recyclings von Altreifen?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

Möchten Sie über die Veröffentlichung der Studie informiert werden?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

Ihnen wird nach Veröffentlichung der Studie ein Link an Ihre angegebene Mailadresse geschickt.

B.3 Teilnehmer der Umfrage Reifenrecycling (Hoyer et al. 2020a)

Sofern die Firmen eine anonymisierte Nutzung ihrer Angaben wünschten, wurde der Firmenname neutral als „Firma“ gefolgt von einer Nummer angegeben.

Anhand des Tätigkeitsprofils der Firmen erfolgte eine Zuordnung zu einer von sechs Gruppen (grauer Balken in Tabelle 137). Die Zuordnung erfolgte im Hinblick auf den Tätigkeitsschwerpunkt des Unternehmens. Es schließt daher nicht aus, dass ein Unternehmen auch Tätigkeiten einer anderen Gruppe durchführt. Die Auswertung der Antworten erfolgt getrennt in diese Gruppen, um die Aussagen besser einordnen und die Interessenslage des jeweiligen Unternehmens besser berücksichtigen zu können.

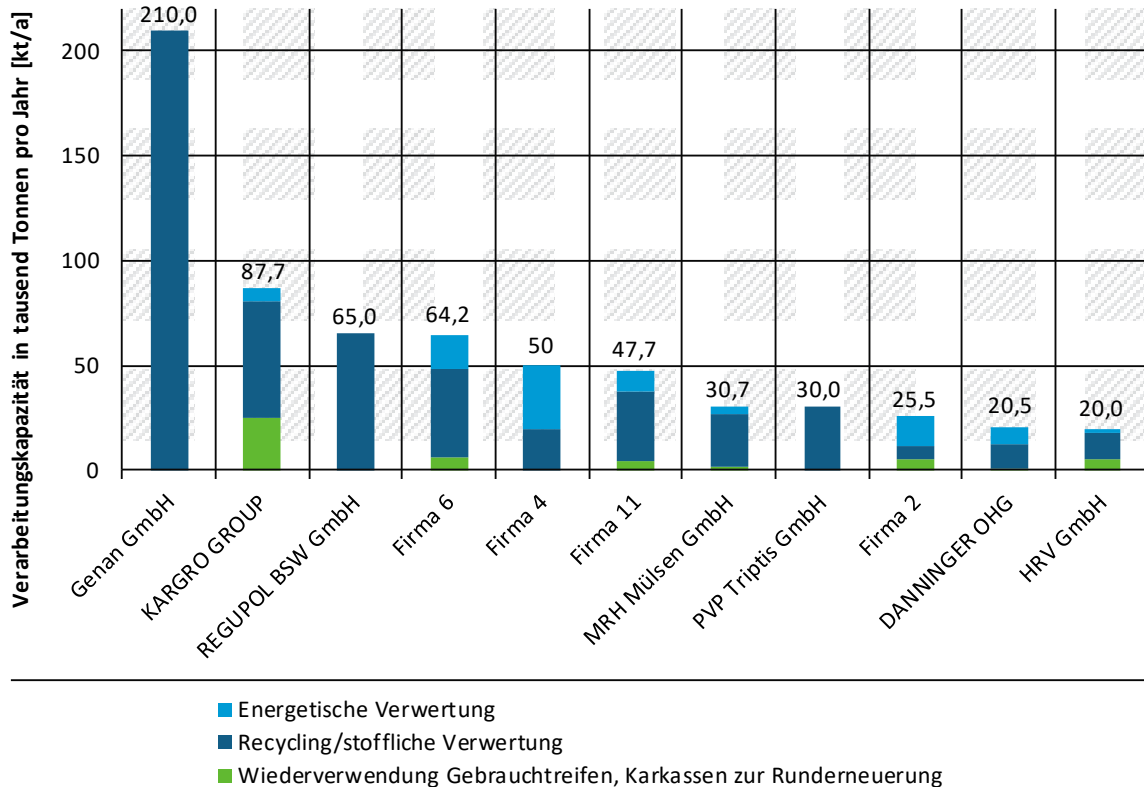
Tabelle 137 Übersicht der Umfrageteilnehmer sowie deren Tätigkeitsprofil

Firma	Abfallentsorger gemäß § 49 KrWG?	Sammeln	Sortieren	Schreddern	Granulieren	Feinvermahlung	Abrauen/Runderneuerung	Herstellung Produkte	Handel Karkassen/Gebrauchtreifen	Herstellung Ersatzbrennstoff	Anderes (Werkstätten, Reifenhandel)	Tätigkeitsschwerpunkt
Reifenhandel, -service												
Firma 5			✓				✓					Reifen- und Kfz-Service
Altreifenhandel												
Ulf Claushallmann	✓	✓	✓						✓			Reifen und Karkassenhandel
Runderneuerung												
Reifen Hinghaus GmbH							✓					Runderneuerung, Pkw, Lkw
Firma 16								✓	✓		✓	Auto-Service, Runderneuerung
Firma 17		✓	✓				✓	✓	✓		✓	Reifenhandel, -service, Rundern.
Entsorger (Zerkleinerung und/oder Verwertung)												
Reine Produktion Sekundärprodukte (Formteile, Bauprodukte)												
Firma 1								✓				
Firma 10								✓				
REGUPOL BSW								✓				
Reine Zerkleinerung (Shreds, Granulate, Mehle, Einstreugranulate)												
Firma 2	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓	Altreifenentsorgung, Shreds
DANNINGER OHG	✓	✓	✓	✓					✓	✓		Altreifenentsorgung, Shreds
Firma 4		✓	✓	✓			✓			✓	✓	Altreifenentsorgung, Pyrolyse
Firma 6	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓		Altreifenents., Granulate, Pulver
Genan GmbH	✓			✓	✓	✓						Altreifenents., Granulate, Pulver
HRV GmbH	✓	✓	✓	✓					✓	✓		Altreifenentsorgung, Shreds
KARGRO GROUP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		Rundern., Granulate, Pulver
Firma 11	✓	✓	✓	✓		✓			✓			Altreifenentsorgung, Shreds
Zerkleinerung und Verwertung zu Sekundärprodukten												
MRH Mülsen GmbH	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		Granulate, Pulver, Produkte, ausschließlich Verarbeitung von Lkw-Stahlgürtelreifen
PVP Triptis GmbH	✓			✓	✓	✓		✓				Granulate, Pulver, Produkte, ausschließl. Verarbeitung Pkw-Reifen

Abbildung 38 Verarbeitungs- bzw. Entsorgungskapazitäten

Verarbeitungs- bzw. Entsorgungskapazitäten für Altreifen bzw. Sekundärwerkstoffe

Jahreskapazitäten der Unternehmen zur Verwertung von Altreifen



*Die jeweilige Datenbeschriftung bezieht sich auf die Gesamtkapazität

Quelle: Hoyer et al. (2020a)

Quelle: eigene Darstellung (Hoyer)

Die Angaben zur energetischen Verwertung müssen dahingehend verstanden werden, dass die Unternehmen Erzeugnisse herstellen, die der energetischen Verwertung zugeführt werden, beispielsweise Shreds. Die Unternehmen führen selbst keine energetische Verwertung durch.

B.4 Sortier-/Qualitätskriterien von Altreifen der Firma Kurz Karkassenhandel

Die Firma Kurz Karkassenhandel (2020) nennt einige sortierkriterien für Lkw- und Pkw-Altreifen:

Tabelle 138 Sortier-/Qualitätskriterien von Altreifen

„Qual.“ steht für Qualitätsstufe

Qual.	Lkw	Pkw	Lkw
Q1	Einwandfreie Original-Karkasse Mindestprofil 10 mm Fehlerfrei ohne Verletzungen Alter: maximal 10 Jahre	Mindestprofil 5,5 mm Gleichmäßig abgefahren Fehlerfrei, montagefähig Überwiegend westeuro-päische Fabrikate Alter: maximal 8 Jahre	Original-Karkasse Gleichmäßiges Profil ≥ 10 mm Fehlerfrei Alter: maximal 10 Jahre
Q2	Original-Karkasse Mindestprofil 7 mm Fehlerfrei ohne Verletzungen Alter: maximal 10 Jahre	Mindestprofil 4 mm Gleichmäßig abgefahren Fehlerfrei Überwiegend westeuropäische Fabrikate Alter: maximal 8 Jahre	Original-Karkasse Gleichmäßiges Profil ≥ 7 mm Fehlerfrei ohne Verletzungen Alter: maximal 10 Jahre
Q3	Westeuropäische Fabrikate Fehlerfrei ohne Verletzungen Original-Karkasse Alter: maximal 6 Jahre	Mindestprofil 2,5 mm Fehlerfrei Rundernert mit gutem Profil Q1 und Q2 mit kleineren Fehlern	Original-Karkasse Fehlerfrei ohne Verletzungen Alter: maximal 10 Jahre
Q4	Alle Fabrikate, die nicht Q3 sind Q3 mit kleinen Fehlern oder nachgeschnitten Fehlerfrei ohne Verletzungen Original-Karkasse Alter: maximal 6 Jahre		Original-Karkasse Westeuropäische Fabrikate kleine Fehler oder nachgeschnitten Fehlerfrei ohne Verletzungen Alter: maximal 6 Jahre
Q5	einmal Runderneuert / Westeuropäische Fabrikate Original-Karkasse alle Fabrikate Ein Nagelloch/ein Pflaster Alter: maximal 6 Jahre		

B.5 Internationale Literaturwerte zum Gewicht von Altreifen sowie dem prozentualen Anteil des Abriebs am Reifengewicht

Tabelle 139 Literaturwerte zum Gewicht von Altreifen sowie dem prozentualen Anteil des Abriebs (Gewichtsdifferenz Neureifen zu Altreifen)

Quelle	Reifentyp / Bemerkung	Neureifen kg/Stück	Altreifen kg/Stück	Abrieb
Pkw (inkl. Kleintransporter)				
Badila 2013	Metropole (Winnipeg)		9,96	
	Umland, ländlich		9,72	
	Gesamt		9,92	
RMA 2020	Neu 25, Alt 20 lbs.	11,3	9,1	20 %
KEMI 2003				17 %
EAN 1999				10-20 %
Sundt et al. 2014				12,50 %
Milani et al. 2004				15 %
Yamashita, Yamanaka 2013	leichter Reifen			1.780 cm³/Reifen
	normaler Reifen			2.880 cm³/Reifen
PLT (Pkw und Lkw)				
Badila 2013	Metropole (Winnipeg)		10,52	
	Umland, ländlich		10,44	
	Gesamt		10,51	
Badila 2013	Gesamt	11,98	10,86	1,12 kg (9,35 %) *
	*(bei 3,65 Resprofiltiefe), d. h. ca. 1,55 kg (13 %) bei 1,6 mm Restprofil			
Lkw				
Badila 2013	Metropole (Winnipeg)		18,32	
	Umland, ländlich		17,21	
	Gesamt (ca. 10 % Anteil Pkw)		18,03	
Lkw				
AMG 2020a		47,6-50		16,5 % (AMG 2020b)
RMA 2020		54,4	45,4	17 %
Michelin 2019	* durchschnittliches Gewicht einer abgerauten Karkasse, die Karkasse macht etwa 70 % der Gesamtmasse eines Reifens aus		45 kg *	
Yamashita, Yamanaka 2013	Truck/BUS			5.484 cm³/Reifen
	Trailer			5.973 cm³/Reifen
Motorroad				
Yamashita, Yamanaka 2013				1.136 cm³/Reifen

Michelin (2019): Technische Broschüre Michelin Nutzfahrzeugreifen. 05/2019.

<https://lkw.michelin.de/content/download/8882/199248/Technische%20Brosch%C3%BCre%20Lkw%20DA-CH-min.pdf>

AMG (2020a): o. V. (Ask Media Group, LLC, reference.com), How Much Does a Tire Weigh??

<https://www.reference.com/world-view/much-tire-weigh-9028c0baef829509>

AMG (2020b): o. V. (Ask Media Group, LLC, reference.com), How Much Does a Car Tire Weigh?

<https://www.reference.com/world-view/much-car-tire-weigh-e606568e99861003?qo=contentSimilarQuestions>

Badila (2013): Cornelia Andreea Badila, Scrap Tire Weight and Characteristics Study Passenger Light Truck

(PLT). 2013, <http://www.tirestewardshipmb.ca/wp-content/uploads/Scrap-Tire-Weight-and-Characteristics-Study-October-2013-1.pdf>

RMA (2020): Rubber Manufacturers Association, Scrap Tire Characteristics.

<http://www.energyjustice.net/files/tires/files/scrapchn.html>

KEMI (2003): Swedish Chemicals Agency (KEMI). HA Oils in Automotive Tyres—Prospects for a National Ban;

Swedish National Chemicals Inspectorate: Solna, Sweden, 2003.

EAN (1999): Environment Agency News. Tyres in the environment: Executive summary. *Sci. Total Environ.* 1999, 234,243–245.

Sundt et al. (2014): Sundt, P.; Schulze, P.-E.; Syversen, F. Sources of Microplastics-Pollution to the Marine

Environment; Mepex Consult AS: Asker, Norway, 2014; p. 108

Milani et al. (2004): Milani, M.; Pucillo, F.P.; Ballerini, M.; Camatini, M.; Gualtieri, M.; Martino, S. First evidence of tyre debris characterization at the nanoscale by focused ion beam. *Mater. Charact.* 2004, 52, 283–288.

[CrossRef]

Yamashita, Yamanaka (2013): Yamashita, M.; Yamanaka, S. Dust resulting from tire wear and the risk of health

hazards. *J. Environ. Prot.* 2013, 4, 509–515. [CrossRef]

B.6 Überblick über Normen mit Relevanz in Bezug auf Produkte mit Einsatz von Altreifengummigranulat bzw. Altreifengummipulver (nicht erschöpfend)

Verwertung	
(EG) Nr. 1907/2006	Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH)
(EG) Nr. 2018/1513	Änderung des Anhangs XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006
(EU) Nr. 1272/2013	zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006
AfPS GS 2019:01 PAK	Ausschuss für Produktsicherheit (AfPS), GS-Spezifikation: Prüfung und Bewertung von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bei der Zuerkennung des GS-Zeichens
ASTM F3188-16	Standard Specification for Extractable Hazardous Metals in Synthetic Turf Infill Materials
CEN/TR 17519	Surfaces for sports areas - Synthetic turf sports facilities - Guidance on how to minimize infill dispersion into the environment
DIN 18035-7:2014-10	Sportplätze - Teil 7: Kunststoffrasensysteme (Migration)
DIN EN 14041:2008-05	Elastische, textile und Laminat-Bodenbeläge
DIN EN 14041:2018-05	Elastische, textile, Laminat- und modulare mehrschichtige Bodenbeläge Bisher nicht im Amtsblatt der EU veröffentlicht. Es kann daher noch keine CE-Kennzeichnung auf Grundlage dieser Norm erfolgen.
DIN EN 1816:2010	Elastische Bodenbeläge - Spezifikation für homogene und heterogene ebene Elastomer-Bodenbeläge mit Schaumstoffbeschichtung
DIN EN 1817:2010	Elastische Bodenbeläge – Spezifikation für homogene und heterogene ebene Elastomer-Bodenbeläge
DIN EN 71-3:2019-08	Sicherheit von Spielzeug - Teil 3: Migration bestimmter Elemente
MVV TB 2019/1	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen
Materialcharakterisierung	
ASTM D5603 - 19a	Standard Classification for Rubber Compounding Materials—Recycled Vulcanizate Rubber
DIN CEN/TS 17189:2018-08; DIN SPEC 78003	Materialien aus Altreifen (ELTs) - Bestimmung der tatsächlichen Dichte von Granulaten - Methode auf der Grundlage von Wasser-Pyknometrie

DIN CEN/TS 17307:2019-07 DIN SPEC 3759:2019-07	Material aus Altreifen - Granulat und Mehle - Identifizierung von Elastomeren: Gaschromatographie und massenspektrometrische Detektion von Pyrolyseprodukten in Lösung
DIN CEN/TS 17308:2019-06 DIN SPEC 3758:2019-06	Aus Altreifen gewonnene Materialien - Stahldrähte - Bestimmung der nicht-metallischen Bestandteile
DIN EN 14243-1:2019-05	Materialien aus Altreifen - Teil 1: Allgemeine Definitionen in Zusammenhang mit den Verfahren zur Bestimmung der Abmessungen und Verunreinigungen
DIN EN 14243-2:2019-05	Materialien aus Altreifen - Teil 2: Granulate und Gummimehle - Verfahren zur Bestimmung der Korngrößenverteilung und Verunreinigungen, einschließlich Gehalt an freiem Stahl und freiem Textil
DIN EN 14243-3:2019-05	Materialien aus Altreifen - Teil 3: Reifenschnitzel, Abschnitte und Chips - Verfahren zur Bestimmung der Abmessungen einschließlich vorstehender Filamente
DIN EN 15415-2,3:2012-06	Feste Sekundärbrennstoffe - Bestimmung der Partikelgrößenverteilung

Probennahme

DIN CEN/TS 16916:2016-08 DIN SPEC 2212:2016-08	Materialien aus Altreifen - Bestimmung der spezifischen Anforderungen für die Probenahme und Bestimmung des Feuchtegehaltes aus dem Ofen-Trockenverfahren
DIN CEN/TS 17188:2018-08 DIN SPEC 78002	Materialien aus Altreifen (ELTs) - Probeentnahme für in Big Bags gelagerte Granulate und Mehle

Sortierung / Qualität

CEN/TS 17045:2020	Materialien aus Altreifen - Qualitätskriterien für die Auswahl von ganzen Reifen für Verwertung und Recycling-Prozess

B.7 Details zur Versuchsdurchführung der PAK-Gehaltsbestimmung

B.7.1 Probenahme

Lkw-Ganzreifen: Für die monatlichen Proben entnimmt die MRH Mülsener Rohstoff- und Handelsgesellschaft mbH (MRH) über einen Zeitraum von zwei Wochen Proben (Produktionsmenge ca. 100 t). An mehreren Tagen werden zwei- bis dreimal je 50-100 Gramm der aktuellen Produktion entnommen. Insgesamt wird eine 2-3 kg schwere Monatsprobe erstellt. Von der so gewonnenen Monatsprobe wird mit Hilfe eines Probenteilers eine Probe von etwa 300 Gramm getrennt.

Lkw-Laufläche: Das Material wird durch kryogene Vermahlung von Raumehl aus der Runderneuerung von Lkw-Reifen hergestellt. Die Vermahlung dieses Materials erfolgt bei MRH Mülsen nur bei Bedarf und in Losgrößen von ca. 22 t. Durch diese chargenweise Verarbeitung wird die Kontamination mit Material aus der Ganzreifenverwertung minimiert, kann aber nicht genau quantifiziert werden. Die Probenahme erfolgt analog zur Entnahme von Lkw-Ganzreifen. Weiterhin wurde für die 3-fach Bestimmung der Probe in 2019 Raumehl verwendet, wie es direkt bei der Runderneuerung anfällt.

Pkw-Ganzreifen: PVP Triptis entnimmt alle 3 Stunden eine Probe aus der laufenden Produktion, kurz bevor das Material in Säcke verpackt wird. Das täglich gesammelte Material wird dann mit Hilfe eines Riffler-Teilers in Tagesproben von etwa 150-300 Gramm reduziert. Die Tagesproben werden dann zu Wochenproben und diese schließlich zu Monatsproben zusammengefasst, wobei die Probe intensiv gemischt und ihre Menge an jeder Vereinigung mittels eines Riffler-Teilers reduziert wird.

B.7.2 Messintervall und -häufigkeit

Die Messungen erfolgten im Zeitraum von Juli 2017 bis Juli 2019 gemäß Tabelle 140. Die Anzahl der jeweils durchgeführten Mehrfachbestimmung einer Materialprobe wurde in den jeweiligen Feldern eingetragen. Die Proben wurden zunächst über einen gewissen Zeitraum gesammelt und in vier diskreten Messreihen (jeweils gelb und grau gekennzeichnet) am BIU Grimmer analysiert.

Für Pkw-Reifen erfolgte in den Monaten Juli bis September 2017 zunächst jeweils eine Einzelmessung von Wochenmischproben (siehe Tabelle 140, Woche). Für die Lkw- (08.2017–07.2018) und Pkw-Ganzreifen (10.2017–07.2018) erfolgte im ersten Jahr jeweils eine Doppelbestimmung der Monatsmischproben und im folgenden Jahr jeweils nur noch eine Einzelmessung. Für Lkw-Lauflächen erfolgte jeweils eine Einzelmessung im ersten Jahr, wobei kryogen vermahlenes Mehl kleiner 400 µm verwendet wurde. Im Juni 2009 wurde eine Dreifachmessung einer einzelnen Probe durchgeführt, wobei unbehandeltes Raumehl als Probenform gewählt wurde.

Die Unterschiede zwischen den Monats- und Wochenmischproben bei Pkw-Ganzreifen waren statistisch nicht signifikant, weshalb hier hinsichtlich der Ergebnisauswertung nicht differenziert wird. Signifikante jahreszeitliche Schwankungen, etwa im Hinblick auf Sommer- und Winterperiode, waren nicht zu erkennen. Die Unterschiede zwischen kryogen vermahlenem Mehl (< 400 µm) und Raumehl bei den Lkw-Lauflächen waren statistisch signifikant und wurden entsprechend separat ausgewertet.

Tabelle 140 Messfrequenz und -häufigkeit der PAK-Messungen

Anzahl der (Mehrfach-)Bestimmung) der jeweiligen Monatsmischprobe, farbliche Differenzierung der diskreten Messreihen

Jahr Monat	2017												2018												2019							Σ
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Lkw-Ganzreifen		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	36
Lkw-Laufläche	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1											3 ¹⁾								13 (+3)
Pkw-Ganzreifen	2	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	41
Woche ²⁾	30	31	32	33	34	35	36	37	38																							

- 1) In Abgrenzung zu den vorherigen Messungen mit Feinmehl erfolgte hier eine Dreifachbestimmung einer Probe unzerkleinertem Raumels
 2) Es erfolgte bei den Pkw-Reifen zunächst jeweils eine Einzelmessung von Wochenmischproben, deren Zuordnung hier getroffen wird

B.8 Details zur Versuchsdurchführung der PAK-Migration

B.8.1 Herstellung des Migrationsextraktes

Die Prüfkörper aus Gummigranulat (30 x 30 x 2 mm) wurden an der TU-Chemnitz hergestellt und entsprechen einer Oberfläche von 0,204 dm². Der Prüfkörper wird auf einer Analysenwaage ausgewogen und zusammen mit 20 ml 20 %-igem (aq.) Ethanol (frisch angesetzt) in ein 100 ml Duran Schraubglas (mit Ethanol gespült) gegeben.

Zur PAH-Migration wird das Schraubglas in einem Schüttelwasserbad bei 40 °C und 120 Umdrehungen pro Minute für 24h bewegt. Anschließend wird es auf Raumtemperatur abgekühlt, die Gummiprobe entnommen und diese mit 5 ml 20 %-igem (aq.) Ethanol abgespült. Bei Vorversuchen hatte sich gezeigt, dass sich bei einigen Prüfkörpern einzelne Partikel aus der Oberfläche des Gummiprüfkörpers ablösen können. In diesem Fall wurden die Partikel durch Filtration abgetrennt.

B.8.2 PAK-Analyse des Migrationsextraktes

Die am BIU verwendete Methode zur Bestimmung des PAK-Profiles in den Migrationsextrakten folgt der SOP PAH-0397 und stellt eine GC-MS-Methode nach dem Prinzip der Stabilisotopenverdünnungsanalyse dar, bei der routinemäßig deuterierte PAK-Verbindungen als interne Standards eingesetzt werden. Die publizierte Methode zur PAH-Bestimmung im sub-ppb Bereich wurde im Rahmen der Etablierung der Umweltprobenbank des Umweltbundesamtes entwickelt (Grimmer et al. 1997) und für eine Reihe von Matrices validiert.

Die abgetrennte ethanolische Migrationslösung wird im Scheidetrichter 2 x mit je 50 ml Cyclohexan ausgeschüttelt. Als isotopenmarkierte interne Standards wurde eine Mischung aus 10 deuterierten PAH hinzugefügt (1 ml PAH-STD-1118 (Verdünnung 1:250) in Toluol). Die vereinigten Cyclohexanphasen wurden mit 100 ml Wasser gewaschen.

Die weitere Probenvorbereitung umfasst eine Flüssig-Flüssig-Verteilung mit Mischungen aus DMF/H₂O/Cyclohexan gefolgt von einer Kieselgel-SPE mit Cyclohexan zur weiteren PAK-Anreicherung. Da die zu bestimmenden PAH-Gehalte sehr gering sind, muss die aufgearbeitete Probe auf ein sehr kleines Volumen eingengt werden (< 10 µL). Schließlich wird ein Aliquot der resultierenden konzentrierten PAK-Lösung für die GC-MS(SIM-Modus)-Analyse verwendet (Agilent Tech. mit Chem Station Software; Agilent 6890 N Instrument ausgestattet mit einem 5973 MSD und einer automatischen Probengeber-Injektor-Einspritzung der Serie 7683). In Verbindung mit einem etablierten Temperaturprogramm wird eine kommerzielle zur PAH-Bestimmung geeignete GC-Kapillare eingesetzt, wobei auf die Trennungen von Triphenylen und Chrysen sowie den 3 isomeren Benzofluoranthenen geachtet werden muss. Zur Qualitätssicherung wurden regelmäßig Kalibrierungen der analytischen Instrumente mit Referenzmaterialien und Leerwertanalysen der Labore durchgeführt. Die Migrationsergebnisse für die einzelnen PAH wurden auf die Fläche bezogen und nach Umrechnung in µg/dm² berichtet.

B.8.3 Bestimmungsgrenze (LOQ) für Migrationsanalysen

Bei der Migrationsanalytik wird die absolute Menge der migrierten PAH pro Prüfkörperoberfläche (hier $30 \times 30 \times 2 \text{ mm} = 20,4 \text{ cm}^2$, Volumen = $1,8 \text{ cm}^3$) bestimmt. Ausgehend von den Standard-Bestimmungsgrenzen (DIN 32645, Kalibriergeradenmethode) wird so verfahren, dass die Bestimmungsgrenze (LOQ, limit of quantitation) für eine Standardprobe (Konzentrationsangabe) auf die absolute Menge an PAH umgerechnet wird.

Beispiel: der LOQ für Benzo[a]pyren, ausgehend von einem Probengewicht von 10 g, beträgt 42 ng/kg . Dies entspricht $0,420 \text{ ng BaP}$ absolut in der Probe. Für die Migrationsproben wird demnach eine LOQ für Benzo[a]pyren von $0,42 \text{ ng/Probe}$ ($= 1,04 \text{ ng}/0,204 \text{ dm}^2$) angesetzt. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in der Dimension ng/dm^2 , so dass die Bestimmungsgrenze von $0,42 \text{ ng}/0,204 \text{ dm}^2$ ($0,204 \text{ dm}^2$ ist hier Probengröße) durch Multiplikation mit dem Faktor $1/0,204 = 4,902$ auf den Wert für die Bezugsgröße von 1 dm^2 umgerechnet wird. Der LOQ für Benzo[a]pyren in der durchgeführten Messung beträgt somit $2,059 \text{ ng/dm}^2$.

Dieses Vorgehen wird auf allen anderen Analyten angewendet, es ergeben sich folgende Bestimmungsgrenzen:

Tabelle 141 Übersicht der Bestimmungsgrenzen für PAK-Spezies

PAK-Spezies	Standard-Bestimmungsgrenze nach DIN 32645	Bestimmungsgrenzen der Migrationsversuche für die Bezugsgröße von 1 dm^2
	ng/kg	ng/dm ²
Acenaphthen	137	52,353
Acenaphthylen	279	52,353
Anthanthren	19	52,353
Anthracen	5	13,677
Benzo[a]anthracen	29	6,716
Benzo[a]pyren	42	1,422
Benzo[b]fluoranthen	6	0,784
Benzo[b]naphtho[2,1-d]thiophen	16	0,245
Benzo[c]phenanthren	15	0,441
Benzo[e]pyren	24	1,324
Benzo[ghi]fluoranthen	33	1,324
Benzo[ghi]perylene	19	0,784
Benzo[j]fluoranthen	6	1,618
Benzo[k]fluoranthen	6	0,735
Chrysen	16	1,422
Coronen	19	1,618
Cyclopenta[cd]pyren	33	0,784
Dibenzo[a,h]anthracen	11	0,784
Fluoranthen	9	0,784
Fluoren	29	0,294
Indeno[1,2,3-cd]pyren	27	0,294
Naphthalin	1068	0,294
Perylen	24	1,176
Phenanthren	16	2,059
Pyren	27	1,176

Triphenylen	16	1,324

B.9 PAK-Gehaltsmessungen und Berechnung der relativen Migrationsraten

B.9.1 PAK-Gehalt der Proben für die Migrationsuntersuchungen (Hoyer et al. 2019)

Um die Menge an migrierten PAK in ein Verhältnis zu den in den Proben enthaltenen Mengen an PAK zu setzen, erfolgte eine PAK-Gehaltsbestimmung ausgewählter Proben gemäß Tabelle 85 mittels Grimmer-Methode (s.Tabelle 77). Die Materialproben wurden dazu auf eine Größe von 0,5–2 mm vorzerkleinert.

Tabelle 142 PAK-Gehalt der Materialproben, ermittelt durch die Grimmer-Methode

Erläuterungen zu der Ergebnisauswertung und Darstellung siehe Tabelle 82.

PAK Spezies	Probe „GM2“						Probe „PUR2“					
	Messung Nr.			Mittelwert	Stand.-abw.	absol. Fehler	Messung Nr.			Mittelwert	Stand.-abw.	absol. Fehler
	1	2	3				1	2	3			
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	$\bar{x}$	s	e	mg/kg	mg/kg	mg/kg	$\bar{x}$	s	e
Acenaphthen	0,073	0,050	0,072	0,065	0,013	0,032	0,072	0,062	0,067	0,067	0,005	0,012
Acenaphthylen	0,671	0,729	0,753	0,718	0,042	0,105	0,679	0,700	0,675	0,685	0,013	0,033
Anthanthren	0,517	0,587	0,611	0,572	0,049	0,121	0,578	0,566	0,539	0,561	0,020	0,050
Anthracen *	0,118	0,128	0,122	0,123	0,005	0,013	0,144	0,145	0,127	0,139	0,010	0,025
Benzo[a]anthracen	0,104	0,102	0,107	0,104	0,003	0,006	0,100	0,096	0,097	0,098	0,002	0,005
Benzo[a]pyren	0,517	0,532	0,535	0,528	0,010	0,024	0,493	0,496	0,504	0,498	0,006	0,014
Benzo[b]fluoranthren	0,174	0,173	0,177	0,175	0,002	0,005	0,176	0,166	0,163	0,168	0,007	0,017
Benzo[b]naphtha [2,1-d]thiophen	0,066	0,066	0,067	0,066	0,001	0,001	0,070	0,068	0,065	0,068	0,003	0,006
Benzo[c]phenanthren	0,058	0,046	0,054	0,053	0,006	0,015	0,055	0,053	0,056	0,055	0,002	0,004
Benzo[e]pyren	0,643	0,650	0,660	0,651	0,009	0,021	0,637	0,615	0,607	0,620	0,016	0,039
Benzo[ghi]fluoranthren	1,065	1,044	1,046	1,052	0,012	0,029	1,056	1,017	1,051	1,041	0,021	0,053
Benzo[ghi]perylen	3,305	3,461	3,43	3,399	0,083	0,205	3,292	3,286	3,402	3,327	0,065	0,162
Benzo[j]fluoranthren	0,045	0,052	0,061	0,053	0,008	0,020	0,058	0,053	0,046	0,052	0,006	0,015
Benzo[k]fluoranthren	0,055	0,056	0,052	0,054	0,002	0,005	0,057	0,051	0,049	0,052	0,004	0,010
Chrysen	0,166	0,179	0,183	0,176	0,009	0,022	0,156	0,153	0,152	0,154	0,002	0,005
Coronen	3,267	3,477	3,513	3,419	0,133	0,330	3,135	3,225	3,383	3,248	0,126	0,312
Cyclopenta[cd]pyren	0,707	0,764	0,837	0,769	0,065	0,162	0,959	0,946	0,919	0,941	0,020	0,051
Dibenzo[a,h]anthracen	0,018	0,019	0,019	0,019	0,001	0,001	0,021	0,01	0,012	0,014	0,006	0,015
Fluoranthren *	2,907	2,979	3,000	2,962	0,049	0,121	2,909	2,873	2,880	2,887	0,019	0,047
Fluoren	0,105	0,106	0,097	0,103	0,005	0,012	0,116	0,110	0,089	0,105	0,014	0,035
Indeno[1,2,3-cd]pyren	0,581	0,618	0,610	0,603	0,019	0,048	0,569	0,551	0,551	0,557	0,010	0,026
Naphthalin	1,124	0,939	0,920	0,994	0,113	0,280	0,857	0,792	0,867	0,839	0,041	0,101
Perylen	0,076	0,08	0,085	0,080	0,005	0,011	0,077	0,069	0,07	0,072	0,004	0,011
Phenanthren *	1,771	1,831	1,868	1,823	0,049	0,122	1,777	1,771	1,739	1,762	0,020	0,051
Pyren *	9,788	10,050	10,244	10,027	0,229	0,569	9,596	9,858	9,921	9,792	0,172	0,428
Triphenylen	0,131	0,122	0,119	0,124	0,006	0,016	0,100	0,104	0,104	0,103	0,002	0,006
* Σ 4 PAK AfPS GS	15,43	15,87	16,16	15,82	0,36	0,91	15,29	15,52	15,50	15,44	0,12	0,31

Σ 8 PAK EU 1272/2013	1,722	1,763	1,794	1,760	0,036	0,090	1,698	1,64	1,63	1,656	0,037	0,091
Σ 15 PAK AfPS GS	21,32	21,77	21,99	21,69	0,34	0,85	20,84	20,92	21,12	20,96	0,14	0,35
Σ 16 EPA PAK	21,48	21,95	22,19	21,87	0,36	0,90	21,01	21,12	21,30	21,14	0,14	0,35
Σ aller 26 PAK	28,05	28,84	29,24	28,71	0,61	1,50	27,74	27,84	28,14	27,90	0,21	0,51

B.9.2 Berechnung der relativen Migrationsraten der einzelnen PAK-Spezies

Im Folgenden wird das Vorgehen zur Bestimmung der relativen Migration w_m der einzelnen PAK-Spezies, berechnet durch die Normalisierung der absolut migrierten PAK-Massen (Tabelle 85) auf ihren jeweiligen, analytisch bestimmten Gesamtgehalt (Tabelle 142) in den Proben, beschrieben:

Probenabmessungen	30 x 30 x 2 mm	[mm]	
Volumen der Probe	$V_X = 1,8 \text{ cm}^3$	[cm ³]	
Fläche der Probe	$A_X = 0,204 \text{ dm}^2$	[dm ²]	
Dichte der Probe	ρ_X	[g/cm ³]	s. Tabelle 84
Gewichtsanteil Altreifenreklat im Material	w_{RP}	[%]	
Mittelwert des spezifischen PAK-Gehaltes der Probe „X“ für die PAK-Spezies „Y“	$\bar{\omega}_p_{X,Y}$	[mg/kg]	s. Tabelle 142
Spezifischer PAK-Gehalt im Eluat der Migrationsprobe „X“ für die PAK-Spezies „Y“	$\omega_e_{X,Y}$	[µg/kg]	
Gehalt der PAK-Spezies „Y“ in der Probe „X“	$m_p_{X,Y} = V_X * \rho_X * w_{RP} * \bar{\omega}_p_{X,Y}$	[µg]	(3.5)
Aus der Probe „X“ ausgelaugte Masse der PAK-Spezies „Y“	$m_e_{X,Y} = V_X * \rho_X * \omega_e_{X,Y}$	[µg]	(3.6)
Relative Migrationsrate der PAK-Spezies „Y“ aus der Probe „X“	$w_m_{X,Y} = m_e_{X,Y} / m_p_{X,Y}$	[%]	(3.7)

Tabelle 143 Ergebnisse der Migrationsversuche für die Probe GM 2 (Hoyer et al. 2019)

PAK-Spezies	$\omega_e_{GM2,Y}$			$\bar{\omega}_e_{GM2,Y}$	$\bar{m}_e_{GM2,Y}$	$\bar{\omega}_p_{GM2,Y}$	$\bar{m}_p_{GM2,Y}$	$\bar{w}_m_{GM2,Y}$
	µg/dm ²	µg/dm ²	µg/dm ²	µg/dm ²	µg	mg/kg	µg	%
Naphthalin	0,140	0,165	0,134	0,146	0,0299	0,994	2,452	1,22 %
Acenaphthylen	0,059	0,058	0,035	0,051	0,0103	0,718	1,770	0,58 %
Acenaphthen	0,008	0,008	0,008	0,008	0,0016	0,065	0,160	1,02 %
Fluoren	0,010	0,010	0,011	0,010	0,0021	0,103	0,253	0,83 %
Phenanthren	0,056	0,058	0,053	0,056	0,0114	1,823	4,496	0,25 %
Anthracen	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0004	0,123	0,302	0,13 %
Fluoranthren	0,024	0,025	0,015	0,021	0,0044	2,962	7,304	0,06 %
Pyren	0,067	0,069	0,042	0,059	0,0121	10,027	24,727	0,05 %
Summe	0,366	0,395	0,300	0,354	0,0721	11,027	27,193	0,27 %

Tabelle 144 Ergebnisse der Migrationsversuche für die Probe PUR 2 (Hoyer et al. 2019)

PAK-Spezies	$\omega_{e\text{ PUR2,Y}}$			$\bar{\omega}_{e\text{ PUR2,Y}}$	$m_{e\text{ PUR2,Y}}$	$\bar{\omega}_{p\text{ PUR2,Y}}$	$m_{p\text{ PUR2,Y}}$	$w_{m\text{ PUR2,Y}}$
	$\mu\text{g}/\text{dm}^2$	$\mu\text{g}/\text{dm}^2$	$\mu\text{g}/\text{dm}^2$	$\mu\text{g}/\text{dm}^2$	μg	mg/kg	μg	%
Naphthalin	0,184	0,076	0,119	0,126	0,0258	0,839	2,083	1,24 %
Acenaphthylen	0,038	0,026	0,024	0,029	0,0060	0,685	1,701	0,35 %
Acenaphthen	0,009	0,013	0,010	0,011	0,0022	0,067	0,166	1,31 %
Fluoren	0,011	0,019	0,013	0,014	0,0029	0,105	0,261	1,12 %
Phenanthren	0,049	0,076	0,055	0,060	0,0122	1,762	4,378	0,28 %
Anthracen	0,001	0,002	0,002	0,002	0,0003	0,139	0,344	0,10 %
Fluoranthren	0,021	0,012	0,012	0,015	0,0031	2,887	7,172	0,04 %
Pyren	0,066	0,034	0,039	0,046	0,0095	9,792	24,323	0,04 %
Summe	0,379	0,258	0,274	0,304	0,0619	10,792	26,807	0,23 %

B.10 Detaillierte Darstellung des einfachen Datenbankabgleichs der TD-GCMS-Untersuchungen des Dampfraums über Altreifenmehl bei 140 und 180 °C

Material: Lkw-Ganzreifen, 200-400 µm, kryogen vermahlen

B.10.1 Temperatur 140 °C

Verbindung	CAS-Nr.	gesch. Anteil in %
Methyl Isobutyl Ketone	108101	12,6
p-Xylene	106423	6,77
Furan, 2-methyl-	534225	4,45
Cyclohexanone	108941	2,39
Ethanol	64175	1,98
Acetone	67641	1,75
1-Propene, 2-methyl-	115117	1,4
Oxalic acid, diallyl ester	EPA-309229	1,05
Benzothiazole	95169	0,477
Toluene	108883	0,382
Cyclohexene	110838	0,306
Acetic acid ethenyl ester	108054	0,261
Benzene	71432	0,255
1,4-Cyclohexanedione bis(ethylene ketal)	183971	0,236
Hexanal	66251	0,226
2-Butanone	78933	0,214
Carbon disulfide	75150	0,159
Benzaldehyde, 4-methyl-	104870	0,135
3-Cyclohexene-1-carboxaldehyde	100505	0,125
Thiophene, 3-methyl-	616444	0,122
Butanal, 3-methyl-	590863	0,119
1-Pentene, 2,4,4-trimethyl-	107391	0,114
cis-3-Methyl-2-n-propylthiophane	118068761	0,114

Pentanal	110623	0,104
2-Pentanol, 4-methyl-	108112	0,102
Ethanone, 1-(1-cyclohexen-1-yl)-	932661	0,0933
Hydrogen cyanide	74908	0,0856
Butanal, 2-methyl-	96173	0,085
Isobutylene epoxide	558305	0,069
Propane, 2-isothiocyanato-2-methyl-	590421	0,0607
5-Hepten-2-one, 6-methyl-	110930	0,0591
N-t-Butylpyrrole	24764407	0,0524
2-Methoxy-1-oxaspiro[4.4]nonane	66528936	0,0522
Styrene	100425	0,0514
Benzyl alcohol, à-(1-(dimethylamino)ethyl)-	17605719	0,0493
Octanal	124130	0,0476
Acetic acid ethenyl ester	108054	0,0469
2-Propynenitrile, 3-fluoro-	32038838	0,0464
2(3H)-Furanone, 5-ethenyldihydro-5-methyl-	1073116	0,0431
Cycloheptane, bromo-	2404355	0,0416
1-Bromo-2,2-dimethyl-3-carboxylic acid methyl ester	EPA-222044	0,0416
2,3-Pentanedione	600146	0,0413
1,3-Cyclopentadiene, 1-methyl-	96399	0,0382
Acetic acid, methyl ester	79209	0,038
Benzaldehyde	100527	0,0368
Furan, 2-pentyl-	3777693	0,0345
Ethanone, 1-(4-methylphenyl)-	122009	0,0341
2-Ethylhexanal	EPA-411447	0,0333
2-Butenal, 2-ethyl-	19780257	0,033
2-Ethyl-1-hexanol	EPA-411448	0,0329
Bicyclo[3.1.1]heptan-endo-6-ol, syn-7-bromo-	EPA-142778	0,0312
2-Pentanone	107879	0,0306

Methyl Alcohol	67561	0,0305
1H-Pyrrole, 3-methyl-	616433	0,0296
Benzenamine, 4-butoxy-	4344552	0,0273
Propanoic acid, 2,2-dimethyl-	75989	0,0268
Furan, 2-methoxy-	25414226	0,0251
Cyclopentene, 3,3'-oxybis-	15131552	0,0244
2,3-Diphenylmaleic anhydride	4808484	0,0232
Sulfur dioxide	7446095	0,0224
2-Furanmethanol, 5-ethenyltetrahydro-à,5-dimethyl-	104188138	0,0211
7-Octen-2-one	3664606	0,0208
1',2',2',6',6'-Pentamethyl[1,4']bipiperidinyI	EPA-306761	0,0207
Thiophene, 3-methyl-	616444	0,0203
1,3-Diazacyclooctane-2-thione	5269852	0,0197
Carbonyl sulfide	463581	0,0191
3-Heptanone, 2,4-dimethyl-	18641719	0,019
2-Butanone, 3,3-dimethyl-	75978	0,0187
(2R,5R)-2-Methyl-5-(prop-1-en-2-yl)-2-vinyltetrahydrofuran	54750708	0,0179
Cyclohexanol	108930	0,0168
Phthalic anhydride	85449	0,0162
Benzoic acid	65850	0,0153
Neophytadiene	504961	0,0153
à-Methylstyrene	98839	0,0148
[1,1':3',1''-Terphenyl]-2'-ol	2432113	0,0144
1H-Indene, 1-methylene-	2471843	0,013
2,2-Dimethyl-3-heptanone	19078978	0,0128
1,4 Benzodioxan-6-amine	22013338	0,0125
2,3-Dimethyl-1-hexene	16746864	0,0124
Ethyl 2,4-dioxovalerate	615792	0,012
2-Hexanone, 5-methyl-	110123	0,0119

Cyclohexane, isothiocyanato-	1122823	0,0115
Nitric oxide	10102439	0,0106
Methanone, 2-benzofuranylphenyl-	6272408	0,0104
Nonanal	124196	0,0103
Decanal	112312	0,00967
1,4-Naphthalenedione, 2-phenyl-	2348778	0,00894
Phenol	108952	0,00831
Anthrone	90448	0,00787
2,7-Imino-3,6-methanonaphthalene, decahydro-	EPA-191041	0,00768
9,10-Anthracenedione	84651	0,00718
Cyclohexanethiol	1569693	0,00711
n-Caproic acid vinyl ester	3050699	0,00698
1-Azabicyclo[3.1.0]hexane	285767	0,00675
Octatriene, 1,3-trans-5-trans-	33580040	0,00663
Flavone	525826	0,00647
6-Methyl-3,5-heptadiene-2-one	1604280	0,00625
Xanthone	90471	0,0062
Phenol, 3,5-dimethyl-	108689	0,00607
Carbon monoxide	630080	0,00601
2-Chloroethanol	107073	0,0058
Cyclobutaneacetonitrile, 1-methyl-2-(1-methylethenyl)-	55760151	0,00554
Cyclopentene	142290	0,00544
Butanoic acid, 2-methyl-, 2-methyl-2-propenyl ester	83783908	0,00521
Isophthalaldehyde	626197	0,00509
2-Pentene, 2,4,4-trimethyl-	107404	0,00487
1-Adamantanol	768956	0,00486
1-Pentene, 4,4-dimethyl-1,3-diphenyl-1-(trimethylsilyloxy)-	EPA-162323	0,00472
Diethylmalonic acid, monochloride, tetrahydrofurfuryl ester	EPA-370650	0,00466
Decanoic acid, methyl ester	110429	0,00466

Oxalic acid, diallyl ester	EPA-309229	0,00455
2-Acetyl-5-methylfuran	1193799	0,00424
m-Terphenyl	92068	0,00418
10-Methylnonadecane	56862625	0,00415
1-Cyclopropanecarbonitrile, 1-amino	196311656	0,00403
N,N,2,2-Tetramethyl-1,3-propanediamine	53369714	0,00403
trans-Arbusculone	56469364	0,00403
Spiro[4.4]nonane, 1-methylene-	19144060	0,00388
Benzene, n-butyl-	104518	0,00361
Propanoic acid, 3-chloro-, 4-formylphenyl ester	EPA-142415	0,00358
Acetic acid, oxo((1-phenylethyl)amino)-, hydrazide	93958	0,00352
2,4,4-Trimethyl-1-pentanol, trifluoroacetate	EPA-365195	0,00346
2,5-Furandicarboxaldehyde	823825	0,00341
Thiophene, 2-ethyl-	872559	0,00322
1-Adamantanol	768956	0,00306
2,4-Dihydroxybenzaldehyde, 2TMS derivative	33617388	0,00305
Thiophene, 2-ethyl-	872559	0,003
Phenindione	83125	0,00295
11-Tricosene	52078565	0,00275
1-Formylanthraquinone	91323921	0,00274
o-Toluic acid, 4-cyanophenyl ester	EPA-307458	0,0027
2,5-Hexanedione	110134	0,00263
Butane, 1-chloro-2-methyl-	616137	0,00261
Thiophene, 2-pentyl-	4861589	0,00246
3-Pentanone, 2,2,4,4-tetramethyl-	815247	0,00228
1-Penten-3-ol, 3-methyl-	918854	0,00222
Benzenamine, 4-butoxy-	4344552	0,00221
Hexane, 2,4,4-trimethyl-	16747301	0,00221
Propanedinitrile, cyclohexyl(2-methylcyclohexyl)-	74764559	0,00211

2-Methylthiolane, S,S-dioxide	1003469	0,00203
2-Acetyl-5-methylthiophene	13679748	0,002
2-Benzylidene-coumaran-3-one	EPA-403527	0,00193
2-Ethyl-4-methyltetrahydro-1,3,4-thiadiazine	EPA-255782	0,00187
Xanthone	90471	0,00187
Dimethylamino(dimethyl)difluorophosphorane	EPA-306155	0,00177
2-Piperidinemethanol	3433372	0,00173
4-Picolylamine, N,N-dinonyl-	EPA-310373	0,00173
4-tert-Octylphenol, TMS derivative	78721876	0,00172
Quinoline, 2-(2-pyridinyl)-	7491863	0,00145
Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-	540976	0,00144
Benzene, 1-ethynyl-4-methyl-	766972	0,00142
Anthra[1,9-cd]pyrazol-6(2H)-one	129566	0,0014
p-Terphenyl	92944	0,00129
Furan, 2-ethyl-5-methyl-	1703522	0,00126
Dicyclohexyldisulphide	2550405	0,00124
1,1'-Bicyclobutyl	7051527	0,00121
2-Pyrazoline, 1-isobutyl-3-methyl-	26964534	0,00119
3-Heptene, 2,2,4,6,6-pentamethyl-	123488	0,00116
Cyclopentane, 1,2,3-trimethyl-, (1à,2à,3á)-	15890401	0,00111
Furan, 2,5-diphenyl-	955839	0,000975
Tetracyclo[3.3.1.0.1(3,9)]decan-10-one	16492061	0,000884
2,6-Dihydroxyacetophenone, 2TMS derivative	EPA-352813	0,000771
Anthra[1,9-cd]pyrazol-6(2H)-one	129566	0,000717
3-Chloro-2-fluorobenzoic acid, 4-nitrophenyl ester	EPA-357734	0,000697
2,4-Dihydroxybenzaldehyde, 2TMS derivative	33617388	0,000649
Borane, diethyl(decyloxy)-	EPA-152343	0,000498
p-(1H-1,2,4-Triazol-1-yl) phenol	68337155	0,000437
4-Imidazolacetic acid, butyl ester	99133898	0,000431

6-Octen-2-one	35194311	0,000423
Phthalic acid, di(2,3-dimethylphenyl) ester	EPA-357092	0,000269
Propiolonitrile	1070719	0,000245
3-Formyl-4,5-dimethyl-pyrrole	EPA-145897	0,000083

B.10.2 Temperatur 180 °C

Verbindung	CAS-Nr.	gesch. Anteil in %
p-Xylene	106423	4,98
Furan, 2-methyl-	534225	3,5
3-Dimethylamino-2,2-dimethylpropionaldehyde	15451146	2,51
2-Butanone	78933	2,4
2-Butanone	78933	1,98
Toluene	108883	1,98
Methyl Isobutyl Ketone	108101	1,73
2-Butene, (E)-	624646	1,59
Ethylidenecyclobutane	1528218	1,55
o-Allylhydroxylamine	6542547	1,22
1-Propene, 2-methyl-	115117	1,09
2-Pentanone	107879	0,913
Benzene	71432	0,87
2-Butenal, 2-methyl-, (E)-	497030	0,858
2-Nonen-4-one	32064725	0,852
Cyclobutane, (1-methylethylidene)-	1528229	0,821
Benzene	71432	0,755
2-Butanone	78933	0,694
Cyclohexanone	108941	0,654
n-Propyl chloride	540545	0,482
2-Butenal, 2-methyl-	1115113	0,448

Cyclobutane, (1-methylethylidene)-	1528229	0,392
Vinyl crotonate	14861064	0,366
Acetic acid	64197	0,359
Cyclopentene, 3-methyl-	1120623	0,326
(2R,5S)-2-Methyl-5-(prop-1-en-2-yl)-2-vinyltetrahydrofuran	54750695	0,284
1,3-Cyclopentadiene, 1-methyl-	96399	0,273
Oxalic acid, diallyl ester	EPA-309229	0,271
Furan, 2-ethyl-5-methyl-	1703522	0,248
Furan	110009	0,239
3-Pentanone, 2-methyl-	565695	0,236
2-Pentenal, 2-methyl-	623369	0,235
Propanoic acid, anhydride	123626	0,228
Acrylic acid, 2-(methylenecyclopropyl)ethyl ester	EPA-157211	0,21
1-Pentene, 2,4,4-trimethyl-	107391	0,207
1,3-Butadiene, 2,3-dimethyl-	513815	0,191
2-Propenoic acid, ethenyl ester	2177186	0,188
Cycloheptane, bromo-	2404355	0,187
Ethanone, 1-(2-methylphenyl)-	577162	0,184
Furan, 2-ethyl-	3208160	0,179
Butanal, 2-methyl-	96173	0,172
Cyclopentanone, 2-methyl-	1120725	0,172
Ethanone, 1-(2-methyl-1-cyclopenten-1-yl)-	3168909	0,161
2-Oxabicyclo[2.2.1]heptane, 1,3,3,7-tetramethyl-, (1R,4S,7S)-(+)-	15404576	0,161
Thiophene, 3-methyl-	616444	0,156
2,3-Diphenylmaleic anhydride	4808484	0,155
Bicyclo[3.1.0]hexane, 1,5-dimethyl-	EPA-142175	0,151
Acetic acid, methyl ester	79209	0,145
Furan, 2,5-dimethyl-	625865	0,14
5-Hepten-2-one, 6-methyl-	110930	0,133

Acetic acid, methyl ester	79209	0,132
1-Pentyne, 4-methyl-	7154758	0,124
3-Hexanone, 4-methyl-	17042169	0,122
Furan, 2-ethyl-5-methyl-	1703522	0,119
2-Hexanol	626937	0,117
Octane	111659	0,117
3-Pentanone	96220	0,115
Furan, 2-ethyl-5-methyl-	1703522	0,111
Thiophene, 3-methyl-	616444	0,107
Bicyclo[4.1.0]hept-2-ene	2566576	0,107
2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	1120736	0,106
2-Nonen-4-one	32064725	0,104
Ethanol	64175	0,102
Furan, 2,3,5-trimethyl-	10504048	0,1
2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	1120736	0,0983
7-Oxabicyclo[2.2.1]hept-5-en-2-one	95530782	0,084
1,3-Cyclohexanediol, 5-methyl-2-nitro-, monoacetate (ester), [1s-(1à,2á,3à,5à)]-	114454852	0,079
2-Acetyl-5-methylfuran	1193799	0,0771
1-Butene, 2,3-dimethyl-	563780	0,077
1,3-Cyclohexadiene, 5,6-dimethyl-	5715275	0,074
2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene, E,E-	460015	0,0722
2-(5-Methyl-furan-2-yl)-propionaldehyde	EPA-193723	0,0707
Benzaldehyde, 3-methyl-	620235	0,0699
Ethyl Acetate	141786	0,0667
Disulfide, dimethyl	624920	0,0633
4(1H)-Pyridone	108963	0,0625
Benzothiazole	95169	0,0625
Heptane, 2,4-dimethyl-	2213232	0,0611

Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	611143	0,0611
2-Hexanone	591786	0,061
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethenyl)-	1124205	0,0607
Hex-2-yn-4-one, 2-methyl-	52066338	0,06
Carbon disulfide	75150	0,0598
Cyclohexanebutanal, 2-methyl-3-oxo-, cis-	92485933	0,0592
3-(2-Propenyl)cyclopentene	14564977	0,055
1,3,5-Cyclohexanetriamine	EPA-197092	0,0542
Benzaldehyde	100527	0,0521
Sulfurous acid, 2-ethylhexyl isobutyl ester	EPA-309187	0,051
2-Cyclohexen-1-one	930687	0,0508
Cycloheptane, bromo-	2404355	0,0503
2-Acetyl-5-methylfuran	1193799	0,05
1,3-Cyclohexanediol, 4,6-dimethyl-2-nitro-, monoacetate (ester), [1S-(1à,2á,3à,4á,6á)]-	114454874	0,0498
Pentanal, 2-methyl-	123159	0,0482
R-(-)-Cyclohexylethylamine	5913133	0,0472
Benzene, (1-methylethyl)-	98828	0,0442
2-Hexanone	591786	0,0438
Pentane, 2,2,4,4-tetramethyl-	1070877	0,0434
(2R,5R)-2-Methyl-5-(prop-1-en-2-yl)-2-vinyltetrahydrofuran	54750708	0,0433
1-Propanol	71238	0,0431
6-Methyl-3,5-heptadiene-2-one	1604280	0,0426
Cyclohexanone, 2-methyl-	583608	0,0424
2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-	1193186	0,042
Cyclohexane, 1-bromo-4-methyl-	6294402	0,0396
1-Methyltricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane	4601858	0,0395
Nonane, 3-methylene-	51655642	0,0388
Butane, 1-methoxy-3-methyl-	626915	0,0385

Phenol, 3-methyl-5-(1-methylethyl)-, methylcarbamate	2631370	0,0384
2-Cyclohexen-1-one, 3,5-dimethyl-	1123097	0,0375
Bicyclo[2.1.0]pentane, 1,4-dimethyl-	17065188	0,0356
2-Pentene, 2,4,4-trimethyl-	107404	0,0347
1-Hepten-6-one, 2-methyl-	10408158	0,0344
2-Cyclohexen-1-one, 3,5-dimethyl-	1123097	0,0343
1-Methyltricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane	4601858	0,0342
2-Pentanone, 3-methyl-	565617	0,0339
Ethylbenzene	100414	0,0328
Cyclopentanone, 3-methyl-	1757422	0,0327
Propanoic acid	79094	0,0326
Pyridine	110861	0,0326
2-Thiopheneacetic acid, 3-methylbutyl ester	EPA-278955	0,0324
Bicyclo[2.2.1]heptane, 2-(1-buten-3-yl)-	55170906	0,0312
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	556672	0,0301
Lilac aldehyde B	53447453	0,0294
2-Pentene, 4,4-dimethyl-, (E)-	690084	0,0292
3-Heptanone, 2,4-dimethyl-	18641719	0,029
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	95636	0,0273
4,6-Octadiyn-3-one, 2-methyl-	29743337	0,0259
2,2-Dimethylindene, 2,3-dihydro-	20836117	0,0258
1,3,5-Cycloheptatriene, 3,7,7-trimethyl-	3479898	0,0253
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	620020	0,0248
2-Hexen-1-ol, (Z)-	928949	0,0246
1,3-Butadiene, 1-(methylthio)-	10574977	0,0242
2-Azabicyclo[3.3.0]octane, 3-(hydroxydiphenylmethyl)-, cis-	EPA-164321	0,024
Methanone, 2-benzofuranylphenyl-	6272408	0,0237
Propane, 1-acetoxy-2-isocyano-	109862240	0,0233
3-Heptanone, 4-methyl-	6137117	0,023

Propanoic acid	79094	0,0229
Xanthone	90471	0,0229
Ethanone, 1-(3-methylphenyl)-	585740	0,0225
Cyclohexanone, 3-methyl-	591242	0,0222
Tetrahydrofuran	109999	0,022
Benzene, 1-methyl-4-propyl-	1074551	0,0215
Cyclooctane, methyl-	1502381	0,0212
9,10-Anthracenedione	84651	0,0211
1,3-Benzenediol, monobenzoate	136367	0,0209
Sulfur dioxide	7446095	0,0207
Hexane, 2-bromo-	3377864	0,0207
2-Acetyl-5-methylfuran	1193799	0,0202
2-Heptanone, 6-methyl-	928687	0,0202
1,2-Benzenedicarboxylic acid	88993	0,0201
Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-5-methylene-	497325	0,0199
2-Pentene, 2,4,4-trimethyl-	107404	0,0196
Styrene	100425	0,0192
2,3-Dimethyl-1-hexene	16746864	0,0186
2-Propen-1-one, 1,3-diphenyl-, (E)-	614471	0,0184
1-(3-Nitropropyl)-4-methyl-4-vinylazetidin-2-one	111197387	0,0183
Cyclopentene, 1,2,3-trimethyl-	473916	0,0182
Benzene, 1-methoxy-4-methyl-	104938	0,0181
6-Methyl-5-octen-2-one	24199460	0,0181
Benzoic acid	65850	0,0181
Methyl ethyl disulfide	20333395	0,0178
1,1-Dimethyl-1-silacyclo-3-pentene	16054129	0,0175
Cyclohexanol	108930	0,0172
Furan, 2-butyltetrahydro-	1004291	0,0163
Cyclohexene,3-(2-propenyl)-	15232958	0,0162

Benzofuran, 4,7-dimethyl-	28715266	0,0157
Phenol, 2,3,6-trimethyl-	2416946	0,0151
2H-Pyran-2,6(3H)-dione, dihydro-4,4-dimethyl-	4160821	0,015
1-Nonadecene	18435455	0,0146
1,4-Pentandiol	626959	0,0142
Hexane, 3,4-bis(1,1-dimethylethyl)-2,2,5,5-tetramethyl-	62850219	0,014
1-cyclobutylcyclobutene	58372375	0,0138
Vinyl crotonate	14861064	0,0135
Ethanone, 1-(2-thienyl)-	88153	0,0133
3,5-Dimethylbenzoic acid hydrazide	42596612	0,0132
3,5-Dimethyl-2-octanone	19781147	0,0131
3-Heptene, 2-methyl-, (E)-	692966	0,0126
1,2-Benzenediol, O-(2-furoyl)-O'-(pentafluoropropionyl)-	EPA-329747	0,0125
9-Thiabicyclo[6.1.0]nonane	286635	0,0124
3-Methylcyclohexylamine,c&t	6850357	0,0123
2-Pentene, 2,4,4-trimethyl-	107404	0,0123
2-Thiophenecarboxylic acid, 4-nitrophenyl ester	EPA-308067	0,0122
Cyclopentane, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	53771883	0,0121
Bicyclo[3.2.0]heptan-2-one, 6-hydroxy-5-methyl-6-vinyl-	1005276663	0,0119
2-Butyn-1-al diethyl acetal	2806975	0,0118
Cyclobutanone, 2,3,3,4-tetramethyl-	53907623	0,0115
Cyclohexanone, 2,6-dimethyl-	2816571	0,0115
2-Cyclohexen-1-one, 4,4-dimethyl-	1073138	0,0112
3,5-Dimethyl-2-furyl methyl ketone	22940869	0,0109
Ethanone, 1-(2-methyl-2-cyclopenten-1-yl)-	1767846	0,0106
Cyclohexane, bromo-	108850	0,0102
Ethanone, 1-(1-cyclohexen-1-yl)-	932661	0,00988
2-Undecen-4-ol	22381868	0,00985
Ethanone, 1-(2-thienyl)-	88153	0,0098

Oxirane, 2-(chloromethyl)-2-(1-propenyl)-, (E)-	121505348	0,00965
Benzyl mandelate	890982	0,00931
Dimethylamine, N-(diisopropylphosphino)methyl-	62474286	0,00924
4-Octen-3-one	14129487	0,00924
2-Pentanone, 5-(2-methylenecyclohexyl)-, stereoisomer	22629283	0,00924
4-Hydroxy-9-fluorenone	1986001	0,00922
Propanoic acid, 2-methyl-, hexyl ester	2349077	0,0092
1,2-dihydro-8-hydroxylinalool	EPA-131835	0,0091
Neophytadiene	504961	0,0091
Cyclopentene, 1,2,3-trimethyl-	473916	0,00906
Ethane, 1,1-difluoro-	75376	0,00896
4-Hexen-1-ol, (4E)-, acetate	EPA-352719	0,00896
à-Methylstyrene	98839	0,00895
4-(1,2-Dimethyl-cyclopent-2-enyl)-butan-2-one	75698065	0,00887
1-Butyne, 3,3-dimethyl-	917920	0,00882
Benzene, 1-methyl-4-(1-methylpropyl)-	1595160	0,00879
2-Methyl-4-octenal	30390580	0,00868
Benzene, 2-ethenyl-1,3,5-trimethyl-	769255	0,00849
Naphthalene, 1,2-dihydro-4-methyl-	4373131	0,00843
1H-Benzimidazole, 2-ethyl-	1848846	0,0084
Benzene, propyl-	103651	0,0083
trans-1,4,6-Trimethyl-3,7,9-trioxabicyclo(4,2,0)nonane	62759595	0,00829
Dichlorine heptoxide	12015531	0,00779
1H-Imidazole-4-ethanamine, 1-methyl-	501757	0,00771
1-Propanone, 1-(2-furanyl)-	3194158	0,00769
4-Fluorobenzylamine, N-decyl-N-methyl-	EPA-310481	0,00765
Cyclohexene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	13828314	0,00761
trans-Arbusculone	56469364	0,00748
Ethanone, 1-(4-ethylphenyl)-	937304	0,00748

Cyclopentanol, 2-methyl-, acetate, trans-	40991944	0,0074
4-Hexen-1-ol, (4E)-, acetate	EPA-352719	0,00738
Phenol, 3-amino-	591275	0,00738
Butanoic acid, 3-hexenyl ester, (Z)-	16491364	0,00736
Nonane, 2-methyl-	871830	0,00733
1-Adamantanol	768956	0,00729
Spiro[4.5]decane, 6-methylene-	19144015	0,00721
Pentanoic acid, 2-methyl-, anhydride	63169619	0,00714
Thiophene, 3-(1,1-dimethylethyl)-	1689798	0,00708
Benzene, (1-methylethyl)-	98828	0,00706
Hexahydropyrrolizin-3-one	126424837	0,00702
5-Methyl-2-furylmethyl benzoate	18801779	0,00697
Benzofuran, 2-methyl-	4265252	0,00689
Glyoxal, 4-methylphenyl-	1075474	0,00688
3,4-Dihydroxybenzyl alcohol, tris(trimethylsilyl)-	68595799	0,00678
Methyl Alcohol	67561	0,00668
1H-Indole, octahydro-	4375148	0,0066
Diethyl disulfide	110816	0,00652
2-Amino-1,3-propanediol	534032	0,00642
3,4-Diacetylfurazan	6102983	0,0064
2,4-Heptadiene, 2,4-dimethyl-	74421059	0,00638
p-Xylene	106423	0,00629
4H-1,3-Dioxin-4-one, 2-(1,1-dimethylethyl)-6-methyl-, (R)-	107289203	0,00628
Benzene, (1,2-dimethyl-1-propenyl)-	769573	0,00627
2-Pentenoic acid, 5-phenyl-, (E)-	55320962	0,00621
2,2-Dimethyl-3-octanone	5340647	0,00616
2-Azidomethyl-1,3,3-trimethyl-cyclohexene	90073442	0,00612
Heptane, 2,3,5-trimethyl-	20278857	0,00612
Fumaric acid, isobutyl propargyl ester	EPA-330527	0,00604

6-Methyl-1,5-diazabicyclo[3.1.0]hexane	100463001	0,00598
6-Methyl-2-heptyne	51065646	0,00594
Cyclopentene, 3-propyl-	34067759	0,00585
Octanal	124130	0,0058
3-Butynoic acid	2345519	0,00579
N-(2-Propynyl)-2-methylpiperidine	77975770	0,00575
Ketone, 2,2-dimethylcyclohexyl methyl	17983265	0,00572
Z-4-Dodecenol	40642373	0,00553
Hexanal, 2-ethyl-	123057	0,00548
Octane, 2,4,6-trimethyl-	62016379	0,00526
Diphenic anhydride	6050131	0,00519
Benzene, 1-ethynyl-4-methyl-	766972	0,00517
2-Pentenoic acid, 4-oxo-, methyl ester, (E)-	2833241	0,00511
Ethanone, 1-(1,4-dimethyl-3-cyclohexen-1-yl)-	43219687	0,00504
Cycloprop[a]indene, 1,1a,6,6a-tetrahydro-	15677153	0,00496
2,4-Dimethyl-1,5-diazabicyclo[3.1.0]hexane (cis)	100463012	0,00477
Cyclobutaneacetonitrile, 1-methyl-2-(1-methylethenyl)-	55760151	0,00474
Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2,3-trimethyl-, endo-	20536407	0,00474
Piperazine, 1,4-dimethyl-	106581	0,00467
Bicyclo[3.3.1]non-2-en-9-ol, syn-	19877782	0,00459
2,2,2-Trifluoroethyl methanesulfonate	25236640	0,00457
9H-Fluoren-9-one	486259	0,00457
Nitrogen	7727379	0,00439
Ethaneperoxoic acid, 1-cyano-1,4-diphenylpentyl ester	58422778	0,00436
N-Dimethylaminomethyl-tert.-butyl-isopropylphosphine	83718541	0,00434
Benzene, pentyl-	538681	0,00431
Ethanone, 1-(4-methylphenyl)-	122009	0,00425
1(3H)-Isobenzofuranone, 3a,4,5,7a-tetrahydro-4-hydroxy-3a,7a-dimethyl-, (3aà,4á,7aà)-(ñ)-	54346064	0,00422

2-Furoic acid, 4-nitrophenyl ester	EPA-307998	0,00419
1-Propanesulfonyl chloride	10147361	0,00414
1,3-Cyclohexadiene, 5,6-dimethyl-	5715275	0,00409
o-Cymene	527844	0,00409
Ethanone, 1-bicyclo[2.2.1]hept-2-yl-, exo-	824599	0,00403
Ethanone, 1-(2-furanyl)-	1192627	0,00401
Benzoic acid, 4-fluoro-, 2-oxo-2-phenylethyl ester	55153225	0,004
3-Hexyne, 2-methyl-	36566800	0,00397
2-Acetyl-5-methylfuran	1193799	0,00392
Cyclohexyl methylphosphonofluoridate	329997	0,00373
Benzyl alcohol, à-(1-(dimethylamino)ethyl)-	17605719	0,00372
Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541026	0,00372
3-Hydroxy-2-methylbenzaldehyde	90111152	0,0037
Thiophene, 2-ethyl-	872559	0,00357
1H-Indene, 1,3-dimethyl-	2177482	0,00357
Ethyl 3-methylbut-3-enyl carbonate	EPA-373780	0,00355
Furan, 2-hexyl-	3777706	0,00353
3,5-Nonadien-7-yn-2-ol, (E,E)-	43142434	0,00352
Phenylmaleic anhydride	36122357	0,0035
Citronellyl valerate	7540536	0,00348
1-Hexadecanol	36653824	0,00336
2-Acetyl-5-methylthiophene	13679748	0,0033
1H-Indene, 2,3-dihydro-1,1-dimethyl-	4912929	0,00326
Cyclohexene, 2-ethenyl-1,3,3-trimethyl-	5293903	0,00321
Trimethylphosphine sulfide	2404559	0,00315
Benzene, 1-ethyl-2,4-dimethyl-	874419	0,00315
Pyridine-3-carboxylic acid, 1-[(bicyclo[4.1.0]heptane-7-carbonyl)amino]-6-oxo-1,6-dihydro-, methyl e	EPA-310279	0,0031
2-Methyl-6-methylene-octa-1,7-dien-3-ol	22459105	0,00305

Phenanthrene-9-carboxaldehyde	4707715	0,00299
Phenol, 2,3,5-trimethyl-	697825	0,00288
Propanedinitrile, dicyclohexyl-	74764286	0,00277
Benzoic acid, 4-methyl-, 2-hydroxy-2-phenylpropyl ester	EPA-160372	0,00272
4-tert-Octylphenol, TMS derivative	78721876	0,00266
1H-Indene, 1,1-dimethyl-	18636550	0,00257
Propanoic acid, 3-cyano-, methyl ester	4107624	0,00252
Isoflavone	574129	0,00252
trans-2-(1-Hydroxycyclohexyl)-furan	115754875	0,00246
Heptyl methyl ethylphosphonate	169662355	0,00244
Benzene, (1,2-dimethylpropyl)-	4481305	0,00237
Pyrazine-2-carboxylic acid, 2-(2,5-dimethylphenyl)-2-oxoethyl ester	296883960	0,00232
1H-Indene, 2,3,4,7-tetrahydro-	7603374	0,0023
Hydrazine, (phenylmethyl)-	555964	0,00223
2,2,4,4,5,5,7,7-Octamethyloctane	5171857	0,00219
1,7-Diazabicyclo[2.2.0]heptane	279425	0,00216
2,2-Dimethylindene, 2,3-dihydro-	20836117	0,002
3-Acetyl-2,5-dimethyl furan	10599709	0,00199
1-(4-Methylhexahydrocyclopenta[b]furan-2-yl)-propan-1-one	EPA-186823	0,00197
Phosphinoic acid(methyl), cyclobutyl-, methyl ester	EPA-197494	0,0019
Undecane, 6-methyl-	17302339	0,00177
Benzene, 4-ethenyl-1,2-dimethyl-	27831136	0,00177
2-Pyrazoline, 5-ethyl-1,4-dimethyl-	14339232	0,00176
Succinic acid, dec-2-yl pentafluorophenyl ester	EPA-390354	0,00175
Pentanoic acid, 4-oxo-, phenylmethyl ester	6939759	0,00167
N-(4-Aminobut-2-enyl)pyrrole	EPA-288850	0,00163
Disulfide, ethyl 1-methylpropyl	54166539	0,00157
2-Fluorobenzoic acid, 4-nitrophenyl ester	EPA-307691	0,00157
Trimethylaluminum	75241	0,00153

Benzene, (2-methyl-1-butenyl)-	56253646	0,00145
cis-1,3,3-trimethylbicyclo[3.1.0]hexane-1-carboxaldehyde	EPA-365942	0,00139
1,3-Benzenediol, monobenzoate	136367	0,00127
Resorcinol	108463	0,00125
Furan, 2,5-diphenyl-	955839	0,0012
1,3-Cyclobutanediol, 2,2,4,4-tetramethyl-	3010966	0,00117
Benzene, 1,2,3,5-tetramethyl-	527537	0,00114
Carbonic acid, phenyl undec-10-enyl ester	EPA-314575	0,00111
1-Azabicyclo[3.1.0]hexane	285767	0,00108
Heptyl methyl ethylphosphonate	169662355	0,00108
Propane, 1-acetoxy-2-isocyano-	109862240	0,00107
Anthra[1,9-cd]pyrazol-6(2H)-one	129566	0,00105
Benzophenone	119619	0,00101
9-Cyclohexylbicyclo(3.3.1)nonan-9-ol	21915402	0,000833
1H-Purine-6-carbonitrile	2036137	0,000728
Adipic acid, isohexyl 5-methoxy-3-methylpentyl ester	EPA-324313	0,000603
N,N,O-Triacetylhydroxylamine	17720637	0,000564
Cobaltocene, 1,1'-diphenyl-	93083444	0,000553
Benzene, 1,3-bis(1,1-dimethylethyl)-	1014604	0,000546
1,2-Benzenediol, O-(2-furoyl)-O'-(pentafluoropropionyl)-	EPA-329747	0,000541
Disulfide, bis(1,1,3,3-tetramethylbutyl)	29956998	0,000528
m-Cresol, TBDMS derivative	62790754	0,000495
Phosphorus pentafluoride	7647190	0,000472
Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 5,6-bis(chloromethyl)-	5992563	0,000417
Naphthalene, 1-phenoxy-	3402764	0,000388
3-Iodopropanesulfonic acid, methyl ester	EPA-159894	0,000157
Leucinocaine	92239	0,000079
4H-1,2,4-Triazol-4-amine	584134	0,000067
N-(1,1-Dimethyl-2-propynyl)-N,N-dimethylamine	19788240	0,000039

C Alttextilien

C.1 Fragebogen Alttextilien und Sperrmüll

★ **Pflichtfrage 1: Wie wird bei Ihnen Sperrmüll erfasst?**

Gebührenfrei bedeutet hier, dass für die Leistung bis zu einer bestimmten Menge, beispielsweise 2 m³, keine zusätzlichen Gebühren erhoben werden, da dies bereits über die Grundgebühr gedeckt ist.

- ☐ gebührenfreie Abholung an bestimmten Tagen im Jahr bis zu einer Menge von
- ☐ gebührenfreie Abholung an Wunschterminen/zugeteilten Terminen bis zu einer Menge von
- ☐ gebührenpflichtige Abholung an bestimmten Tagen
- ☐ gebührenpflichtige Abholung an Wunschterminen/zugeteilten Terminen
- ☐ gebührenfreie Abgabe am Wertstoffhof bis zu einer Menge von
- ☐ gebührenpflichtige Abgabe am Wertstoffhof
- ☐
- ☐

★ **Pflichtfrage 2: Wird die Sammlung von Sperrmüll selbst durchgeführt oder durch einen beauftragten Dritten?**

- ☐ Die Sammlung wird selbst durchgeführt
- ☐ Die Sammlung erfolgt durch beauftragte Dritte
- ☐

★ **Pflichtfrage 3: Wird eine Tandemabfuhr durchgeführt?**

Tandemabfuhr beschreibt eine Sperrmüllsammlung, bei der bereits bei der Abholung des Sperrmülls einzelne Bestandteile abgetrennt werden. Beispiel hierfür sind Holz oder wiederverwendbare Möbel. In der Regel erfolgt die Tandemabfuhr mit mehreren Fahrzeugen.

- ☐ ja
- ☐ nein

3a: Was wird bei der Tandemabfuhr abgetrennt?

- ☐ Holz
- ☐ Metall
- ☐ Kunststoffe
- ☐ Textilien
- ☐ Teppiche
- ☐ wiederverwendbare Möbel
- ☐ sonstige wiederverwendbare Gegenstände, z.B. Spielzeug
- ☐ Elektroaltgeräte
- ☐
- ☐

3b: Bitte geben Sie an, welche Menge über die Tandemabfuhr insgesamt gesammelt werden und schätzen Sie, welchen prozentualen Anteil die abgetrennten Abfälle der Tandemabfuhr am gesamten Sperrmüllaufkommen haben.

Hier sind Schätzungen möglich

Menge, die mit Tandemabfuhr eingesammelt wird		t/a
Holz		%
Metall		%
Kunststoffe		%
Textilien		%
Teppiche		%
wiederverwendbare Möbel		%
sonstige wiederverwendbare Gegenstände		%
Elektroaltgeräte		%
sonstiges		%
sonstiges		%

★ **Pflichtfrage 4: Führen Sie aktuell (mindestens seit 2018) eine Getrennterfassung von Alttextilien durch?**

- ☐ ja
- ☐ nein
- ☐ nein, aber in Planung
- ☐ aktuell nicht, aber in der Vergangenheit

★ **Pflichtfrage 4a: Getrennterfassung von Alttextilien**

- ☐ Die Sammlung wird selbst durchgeführt
- ☐ Die Sammlung wird von beauftragten Dritten durchgeführt
- ☐

★ **Bitte geben Sie an, wie viel Tonnen Alttextilien in 2018 durch eigene Sammlung gesammelt wurden**

liegen Ihnen keine Zahlen vor, bitte "keine Angabe möglich" eintragen

★ **Bitte geben Sie an, wie viel Tonnen Alttextilien in 2018 durch beauftragte Dritte gesammelt wurden**

liegen Ihnen keine Zahlen vor, bitte "keine Angabe möglich" eintragen

Pflichtfrage 5: Welche Sammelsysteme haben Sie oder beauftragte Dritte für Alttextilien eingesetzt?

Bitte geben Sie für die einzelnen Sammelsysteme an, welchen prozentualen Anteil diese bei der Sammlung von Alttextilien haben.

Beim Einsatz von Depotcontainern, Unterflursystemen und/oder Recyclinghöfen geben Sie bitte die Anzahl an, mithilfe derer Alttextilien gesammelt werden. Ist Ihnen die Anzahl unbekannt, tragen Sie bitte "unbekannt" ein.

Depotcontainer, bitte Anzahl angeben		%
Unterflursysteme, bitte Anzahl angeben		%
Recyclinghöfe, bitte Anzahl angeben		%
Straßensammlungen		%
Abfallsammelbehälter, bitte Größe angeben		%
Sonstige		%
keine Angabe möglich/unbekannt		

Pflichtfrage 6: Welche Mengenstromnachweise fordern Sie an, um den Verbleib der Sammelmenge von Alttextilien zu prüfen? Wie oft werden diese Nachweise angefordert?

	jährlich	im Rahmen des Ausschreibungsverfahrens (sofern zutreffend)	nach Bedarf	nie
Zertifikate von Sortierunternehmen (EfB-Zertifikat, TÜV Rheinland oder ähnliches)	☐	☐	☐	☐
Mengenbilanz und Aufstellung des Verbleibs der Mengen nach der Sortierung	☐	☐	☐	☐
Nachweis der Verwertung oder Beseitigung der Rest- und Störstoffe	☐	☐	☐	☐
Vereinbarung zur Übernahme der Alttextilien durch Sortierunternehmen (bei Leistungserbringung durch beauftragte Dritte)	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐

Pflichtfrage 7: Wo verbleibt die Sammelware zur Sortierung?

Bitte geben Sie für die jeweiligen Regionen den prozentualen Anteil der Sammelware an, welche zur Sortierung verbleibt.

	prozentualer Anteil	keine Angabe möglich/unbekannt
in Deutschland	%	☐
in EU-Staaten	%	☐
in OECD-Staaten	%	☐
Außerhalb EU- und OECD-Staaten	%	☐
	%	☐

Pflichtfrage 8: Was sind die Entsorgungswege der Alttextilien und welchen Anteil haben sie?

Bitte geben Sie für die einzelnen Entsorgungswege den prozentualen Anteil an.

	prozentualer Anteil	keine Angabe möglich/unbekannt
Vorbereitung zur Wiederverwendung (Second-Hand-Waren):	%	☐
stoffliche Verwertung (Putzlappen):	%	☐
stoffliche Verwertung (Reißware)	%	☐
energetische Verwertung	%	☐
Beseitigung	%	☐
Fremd- und Störstoffe insgesamt	%	☐
	%	☐

★ **Pflichtfrage 9: Welche Abnehmerstaaten oder -regionen gibt es für die Second-Hand-Waren?**

Mehrfachantworten möglich

- ☐ Afrika
- ☐ Asien
- ☐ Deutschland
- ☐ Lateinamerika
- ☐ Osteuropa
- ☐ Westeuropa
- ☐
- ☐
- ☐
- ☐ keine Angabe möglich/unbekannt

Pflichtfrage 10: Wo werden die nicht mehr wiederverwendbaren Alttextilien verwertet bzw. beseitigt?

Bitte geben Sie für die relevanten Entsorgungswege den prozentualen Anteil der einzelnen Regionen an.

	Deutschland	alle anderen EU-Staaten	außerhalb der EU-Staaten	unbekannt	keine Angabe möglich
stoffliche Verwertung (Putzlappen)	%	%	%	%	☐
Stoffliche Verwertung (Reißware)	%	%	%	%	☐
energetische Verwertung	%	%	%	%	☐
Beseitigung	%	%	%	%	☐

Optionale Fragen und Ergänzungsmöglichkeit

(optional)Frage 11: Sind Ihnen aktuell (Bezugsjahr 2018) Verfahren gegen illegal aufgestellte Sammelbehälter bekannt?

☐ Ja ☐ Nein

Frage 11a: Anzahl der Verfahren und der betroffenen Standplätze im Bezugsjahr 2018

Bitte kreuzen Sie an, ob die aktuellen Verfahren gegen illegal aufgestellte Sammelbehälter eine Gemeinde bzw. Stadt, einen Landkreis oder eine Region betreffen. Nennen Sie, falls bekannt, die Anzahl der Verfahren und der illegal aufgestellten Sammelbehälter.

	Gemeinde/Stadt	Landkreis	Region	Anzahl Verfahren	Anzahl Standplätze
Gebiet 1	☐	☐	☐		
Gebiet 2	☐	☐	☐		
Gebiet 3	☐	☐	☐		
Gebiet 4	☐	☐	☐		
Gebiet 5	☐	☐	☐		

(optional)Frage 12: Wie hat sich die Qualität der Sammelware aus Ihrer Sicht im Vergleich zu den letzten 5 Jahren verändert?

- ☐ keine Qualitätsveränderung der Sammelware
- ☐ Qualität der Sammelware hat sich verbessert
- ☐ Qualität der Sammelware hat sich verschlechtert

(optional)Frage 13: Welche Veränderungen erwarten Sie aufgrund der Umsetzung der EU Abfallrahmenrichtlinie, wonach ab 2025 Alttextilien getrennt erfasst werden müssen?

- ☐ Sammelmengen steigen in Deutschland weiter an
- ☐ Sammelmengen bleiben in Deutschland konstant
- ☐ Sammelmengen steigen in der EU weiter an
- ☐ Sammelmengen bleiben in der EU konstant
- ☐ Die Qualität der Sammelware bleibt konstant
- ☐ Die Qualität der Sammelware verbessert sich
- ☐ Die Qualität der Sammelware verschlechtert sich
- ☐ Die Qualität der Sammelware verschlechtert sich signifikant

(optional).Ergänzende Anmerkungen/Hinweise zu dieser Online-Abfrage :

Hier können Sie weitere Kommentare einfügen

C.2 Fragebogen Alttextilien (Behörden)

★ **Pflichtfrage 1: Bitte tragen Sie das Bezugsjahr für die Mengenangaben ein:**

In den folgenden Fragen werden Sie nach den Sammelmengen und Sammelsystemen in Ihrem Zuständigkeitsbereich gefragt. Wählen Sie bitte das aktuellste Jahr aus, für das Ihnen Daten vorliegen.

- ☐ 2018
- ☐ 2017
- ☐ 2016
- ☐ keine Daten für diese Jahre vorhanden

★ **Frage 1a: Für welches Bezugsjahr können Sie Daten angeben?**

Bezugsjahr

★ **Pflichtfrage 2: Wie hoch ist in Ihrem Zuständigkeitsbereich die Sammelmenge von Alttextilien (in Tonnen) und wer ist Träger der Sammlung?**

- ☐ Gewerblich
- ☐ Gemeinnützig
- ☐ Handel im Rahmen freiwillige Rücknahme nach § 26 KrWG
- ☐
- ☐ keine Angaben möglich/unbekannt

Pflichtfrage 3: Welche Sammelsysteme gibt es in Ihrem Zuständigkeitsbereich für Alttextilien und wie hoch ist der prozentuale Anteil?

Bitte geben Sie für die einzelnen Sammelsysteme an, welchen prozentualen Anteil diese bei der Sammlung von Alttextilien haben.

	prozentualer Anteil	keine Angabe möglich/unbekannt
Depotcontainer	%	☐
Unterflursysteme	%	☐
Recyclinghöfe	%	☐
Straßensammlungen	%	☐
Abfallsammelbehälter, bitte Größe angeben	%	☐
Sammlungen im stationären Handel (Indoor)	%	☐
Sonstige	%	☐

Pflichtfrage 4: Welche Mengenstromnachweise für den Verbleib der Sammelmenge von Alttextilien fordern Sie an, um die gesetzlichen Anforderungen im Rahmen eines Anzeigeverfahrens nach § 18 KrWG zu prüfen? Wie oft werden diese Nachweise angefordert?

	jährlich	im Rahmen des Anzeige- verfahrens (sofern zutreffend)	nach Bedarf	nie
Zertifikate von Sortierunternehmen (EfB-Zertifikat, TÜV Rheinland oder ähnliches)	☐	☐	☐	☐
Mengenbilanz und Aufstellung zum Verbleib der Mengen nach der Sortierung	☐	☐	☐	☐
Nachweis der Verwertung oder Beseitigung der Rest- und Störstoffe	☐	☐	☐	☐
Vereinbarung zur Übernahme der Alttextilien durch Sortierunternehmen	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐

Pflichtfrage 5: Wo verbleibt die gesamte Sammelware aus Ihrem Zuständigkeitsbereich zur Sortierung?

Bitte geben Sie für die jeweiligen Regionen den prozentualen Anteil der gesamten Sammelware Ihres Zuständigkeitsgebiets an, welche zur Sortierung verbleibt.

	prozentualer Anteil	keine Angabe möglich/unbekannt
in Deutschland	%	☐
in EU-Staaten	%	☐
in OECD-Staaten	%	☐
Außerhalb EU- und OECD-Staaten	%	☐
	%	☐

Pflichtfrage 6: Welches sind die Entsorgungswege der gesamten Alttextilien und deren Anteil?

Bitte geben Sie für die einzelnen Entsorgungswege den prozentualen Anteil Ihres Zuständigkeitsgebiets an.

	prozentualer Anteil	keine Angabe möglich/unbekannt
Vorbereitung zur Wiederverwendung (Second-Hand-Waren):	%	☐
stoffliche Verwertung (Putzlappen):	%	☐
stoffliche Verwertung (Reißware)	%	☐
energetische Verwertung	%	☐
Beseitigung	%	☐
Fremd- und Störstoffe insgesamt	%	☐
	%	☐

Pflichtfrage 7: Welche Abnehmerstaaten oder -regionen gibt es für die gesamten Second-Hand-Waren Ihres Zuständigkeitsgebiets?

Mehrfachantworten möglich

☐ Afrika

☐ Asien

☐ Deutschland

☐ Lateinamerika

☐ Osteuropa

☐ Westeuropa

☐ keine Angabe möglich/unbekannt

☐

☐

☐

Pflichtfrage 8: Wo werden die nicht mehr wiederverwendbaren Alttextilien Ihres Zuständigkeitsgebiets verwertet bzw. beseitigt?

Bitte geben Sie für die relevanten Entsorgungswege den prozentualen Anteil der einzelnen Regionen an.

	Deutschland	alle anderen EU-Staaten	außerhalb der EU-Staaten	unbekannt	
stoffliche Verwertung (Putzlappen)					%
Stoffliche Verwertung (Reißware)					%
energetische Verwertung					%
Beseitigung					%
					%

Optionale Fragen und Ergänzungsmöglichkeit

(optional)Frage 9: Welche Veränderungen erwarten Sie aufgrund der Umsetzung der EU Abfallrahmenrichtlinie, wonach ab 2025 Alttextilien getrennt erfasst werden müssen?

- ☐ Sammelmengen steigen in Deutschland weiter an
- ☐ Sammelmengen bleiben in Deutschland konstant
- ☐ Sammelmengen steigen in der EU weiter an
- ☐ Sammelmengen bleiben in der EU konstant
- ☐ Die Qualität der Sammelware bleibt konstant
- ☐ Die Qualität der Sammelware verbessert sich
- ☐ Die Qualität der Sammelware verschlechtert sich
- ☐ Die Qualität der Sammelware verschlechtert sich signifikant

(optional).Ergänzende Anmerkungen/Hinweise zu dieser Online-Abfrage :

Hier können Sie weitere Kommentare einfügen

C.3 Befragung Alttextilien (zuständige Behörden für grenzüberschreitende Abfallverbringung)

An die zuständigen Landesbehörden für grenzüberschreitende Abfallverbringung

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir wurden vom Umweltbundesamt mit der Studie zum ReFoPlan-Vorhaben „Evaluierung der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft (FKZ 3719 34 302 0) beauftragt. Unter Bezugnahme auf das beigefügte begleitende Schreiben des Umweltbundesamtes bitten wir Sie um Unterstützung bei nachfolgendem Sachverhalt:

Ausgangslage

Die Studie „Konsum, Bedarf und Wiederverwendung von Bekleidung und Textilien in Deutschland“ im Auftrag des bvse - Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. - aus dem Jahr 2015 beziffert den Export von unsortierten Alttextilien auf ca. 40 % der gesammelten Menge. Davon verbleibt der Großteil der Sammelware innerhalb von Europa. Die günstigeren wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in den Exportländern im Vergleich zu Deutschland lassen erwarten, dass der Exportanteil in den letzten Jahren weiter gestiegen ist. Insofern ist von Alttextilexporten in der Größenordnung von mindestens 400.000 Tonnen pro Jahr auszugehen.

Umfrage

Im Rahmen der Studie möchten wir auch gerne evaluieren, wie der Export von Alttextilien im Rahmen der Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben zur Abfallverbringung (VVA – Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2006 über die Verbringung von Abfällen, ABl. EU L 190, S. 1) gehandhabt wird.

Unter dem Basel-Code B3030 „Textilabfälle“ fallen auch sog. Altwaren, worunter die Original-Sammelware an Alttextilien subsumiert wird. In der Praxis werden im Rahmen einer Alttextilsammlung neben der Bekleidung auch Schuhe, Accessoires wie Mützen, Hüte, Handtaschen sowie Haushaltstextilien wie Bettwäsche oder Bettwaren erfasst, die allerdings nicht explizit unter dem Basel-Code B3030 aufgeführt sind.

Vor diesem Hintergrund bitten wir Sie um Mitteilung, ob es aus Ihrer Sicht Probleme hinsichtlich der spezifischen Zusammensetzung der Alttextilien in Bezug auf die Einordnung des Abfalls unter dem Basel-Code B3030 gibt.

Wenn ja, bitten wir Sie um eine kurze Erläuterung Ihrer Vollzugspraxis.

Haben Sie vielen Dank für die Beantwortung unserer Fragen. Wir freuen uns auf Ihre Rückmeldung bis spätestens zum 20. März 2020.

Für etwaige Fragen stehen wir gerne zur Verfügung.

C.4 Expertenbefragung zur Sammlung, Sortierung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und zum Recycling von Alttextilien – Alttextilmarkt

Expertenbefragung zur Sammlung, Sortierung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und zum Recycling von Alttextilien

Name:

Organisation:

Vorbemerkung:

Organisatorisches

Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Sofern die Befragung im Rahmen eines Interviews erfolgt, werden Ihnen die erstellten Notizen zur Verfügung gestellt; wir bitten Sie, diese dann für die Aufnahme in den Bericht freizugeben.

Begriff Alttextilien im Rahmen dieser Befragung

Textilien sind neue oder gebrauchte Bekleidungs- und Haustextilien (Gardinen, Tischware, Decken etc.) einschließlich Schuhe und Accessoires aus Haushaltungen, die nach der Gebrauchsphase zu Alttextilien geworden sind.

Arbeitsbekleidung und technische Textilien, aber auch Teppiche fallen somit nicht unter diesem Begriff und werden in dieser Befragung nicht behandelt.

1. Sammlung von Alttextilien

In Deutschland gibt es bereits flächendeckend Erfassungssysteme für Alttextilien, in denen verschiedene Akteure wie private und/oder gemeinnützige Organisationen, aber auch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger sowie vereinzelt der Handel Sammelstrukturen aufgebaut haben.

Die EU-Abfallrahmenrichtlinie sieht ab 2025 eine Getrennterfassungspflicht für Textilien vor. In Bezug auf die Weiterentwicklung der Alttextilerfassung bitten wir um Beantwortung nachfolgender Fragen:

1.1 Wer sollte aus Ihrer Sicht die Möglichkeit haben Alttextilien einzusammeln?

1.2 Bedarf es weiterer Sammelstellen, um den Konsumenten die Abgabe zu erleichtern?

1.3 Welche Rolle spielt zukünftig der Textileinzelhandel bei der Einsammlung von Alttextilien?

1.4 Bedarf es aus Ihrer Sicht Sammelquoten auf Alttextilien, um die Getrennterfassung zu fördern?

1.5 Welche (weiteren) Maßnahmen sind sinnvoll, um

a) die Sammelmenge

b) die Qualität

der eingesammelten Alttextilien zu erhöhen?

1.6 Welche Sammelsysteme sind geeignet, die Qualität der Alttextilien für eine hochwertige Nutzung sicher zu stellen?

2. Sortierung (Vorbereitung zur Wiederverwendung) und Vermarktung von Second-Hand Waren

Laut bvse Studie Konsum, Bedarf und Wiederverwendung von Alttextilien in Deutschland (2015) werden ca. 54% der Alttextilien in der ursprünglichen Form wiederverwendet. Davon verbleiben ca. 44% innerhalb der EU (inkl. ehem. Sowjetstaaten), ca. 28% werden nach Afrika sowie weitere 24% außerhalb der EU exportiert (wie Indien, Südamerika, Naher und Mittlerer Osten). Lediglich 4% der Waren verbleiben in Deutschland.

- 2.1 Wie kann aus Ihrer Sicht die Wiederverwendung von Alttextilien insbesondere in Deutschland gesteigert werden?
- 2.2 Wie schätzen Sie mittelfristig die bestehenden Second-Hand Märkte ein in Bezug auf die EU-weit ansteigenden Alttextilmengen infolge der Getrennterfassungspflicht ab 2025?
- 2.3 Gibt es Faktoren, die eine Wiederverwendung hemmen?
- 2.4 Welche Maßnahmen sind notwendig, um die Wiederverwendung von Alttextilien zu fördern?

3. Herkömmliche Recyclingverfahren von Alttextilien

Nicht mehr trag- und marktfähige Alttextilien werden heute meist zu Putzlappen geschnitten bzw. in der Reißspinnindustrie zu Isolier- oder Dämmmaterial verarbeitet.

- 3.1 Wie bewerten Sie die allgemeine Nachfrage an Alttextilien (Menge, Preis) für ein Recycling insbesondere vor dem Hintergrund der EU-weit ansteigenden Alttextilmengen infolge der Getrennterfassungspflicht ab 2025?
- 3.2 Welche Maßnahmen sind aus Ihrer Sicht notwendig, um bestehende Recyclingverfahren zu fördern?
- 3.3 Bedarf es aus Ihrer Sicht Verwertungsquoten für Alttextilien? Wenn ja, wie sollen diese berechnet werden (bezogen auf die Erfassungsmenge oder bezogen auf die in Verkehr gebrachte Menge)?

4. Innovative Recyclingverfahren / Neue Anwendungsgebiete für recycelte Alttextilien

- 4.1 Welche anderen Verwertungsverfahren kennen Sie (bitte nennen Sie das Verfahren, Name des/r Unternehmens/Organisation, Kontakt)? Wie ist der Stand der Technik des jeweiligen Verfahrens?
- 4.2 Welche Maßnahmen sind notwendig, um neue Technologien zu fördern?
- 4.3 Welche Maßnahmen sind notwendig, um Pilotanlagen zu einem industriellen Maßstab aufzubauen?
- 4.4 Welche Rolle spielen das Design4Recycling und Transparenz der Produktionskette für ein hochwertiges Recycling?
- 4.5 Welche anderen Maßnahmen unterstützen ein hochwertiges Recycling?

5. Rahmenbedingungen

- 5.1 Welche technischen, ökonomischen und regulatorischen Herausforderungen gibt es für das Recycling von Alttextilien?
- 5.2 Welche Aktivitäten auf politischer Ebene und innerhalb der Industrie sind notwendig, um die Wiederverwendung zu stärken und ein hochwertiges Recycling zu ermöglichen?

C.5 Expertenbefragung zur Sammlung, Sortierung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und zum Recycling von Alttextilien – Mengenstrom

Expertenbefragung zur Sammlung, Sortierung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und zum Recycling von Alttextilien

Name:

Organisation:

Vorbemerkung:

Organisatorisches

Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Sofern die Befragung im Rahmen eines Interviews erfolgt, werden Ihnen die erstellten Notizen zur Verfügung gestellt; wir bitten Sie, diese dann für die Aufnahme in den Bericht freizugeben.

Begriff Alttextilien im Rahmen dieser Befragung

Textilien sind neue oder gebrauchte Bekleidungs- und Haustextilien (Gardinen, Tischware, Decken etc.) einschließlich Schuhe und Accessoires aus Haushaltungen, die nach der Gebrauchsphase zu Alttextilien geworden sind.

Arbeitsbekleidung und technische Textilien, aber auch Teppiche fallen somit nicht unter diesem Begriff und werden in dieser Befragung nicht behandelt.

1. Sammlung von Alttextilien

1.1 Sammelsysteme

1.1.1 Laut bvse Studie Konsum, Bedarf und Wiederverwendung von Alttextilien in Deutschland (2015) sind die Sammelsysteme wie folgt aufgeteilt:

- Containersammlungen (88%)
- Straßensammlungen (9%)
- Sonstige Sammlungen (3%)

Frage:

Hat sich aus Ihrer Erfahrung die Aufteilung verändert? Wenn ja, welchen Anteil der unterschiedlichen Systeme machen die Erfassungsstruktur in Deutschland heute aus?

1.1.2 Das Papier der Länder BW, NRW und SN (mit Entwurfsstand November 2019) hinsichtlich der Anforderungen an die Erfassung, Sortierung und Verwertung von Alttextilien stellt die Sonderstellung der Alttextilien im Abfallbereich heraus, die eine sorgfältige Handhabung innerhalb der einzelnen Schritte der Entsorgungskette bedürfen.

Um die Qualität der einzelnen Sammelsysteme zu bewerten, bitte wir Sie um Ihre folgende Einschätzung.

Frage 1:

Anmerkung: Die nachfolgende Frage befasst sich ausschließlich damit, ob das Sammelsystem vom Verbraucher akzeptiert ist bzw. aufgrund der Nutzungsmöglichkeit (Bekanntheitsgrad, Erreichbarkeit etc.) geeignet ist, sämtliche beim Verbraucher anfallenden Alttextilien zu erfassen.

Wie hoch ist das jeweilige Sammelpotential der nachfolgend aufgeführten Sammelsysteme (für sich alleine betrachtet)?

	Recyclinghof (Bringsystem)	Shops/Kleiderkammer (Bringsystem)	Strassen (Körbchen) sammlung (Hohsystem)	Depotcontainer (manuelle Sammlung im Bringsystem)	Depotcontainer für Hakenliftsysteme (Bringsystem)	Behälter für Presenüßfahrzeuge (Hohsystem)	Online-Sammlung
Sammelpotential							

Bitte tragen Sie für jedes System einen %- tualen Wert ein

Beispiel: sehr hohes Sammelpotential = 95% / geringfügiges Sammelpotential 5%

Frage 2:

Anmerkung: Die nachfolgende Frage befasst sich mit der Qualität der eingesammelten Alttextilien je Sammelsystem. Hierbei soll angegeben werden, wie die prozentuale Aufteilung der Zusammensetzung von Alttextilien zur Wiederverwendung, zur Verwertung oder sonstigen Verwertung und Beseitigung ist sowie der Anteil der Fremd- und Störstoffe.

Wie ist die prozentuale Zusammensetzung der eingesammelten Alttextilien je Sammelsystem?

Bitte nennen Sie für jedes Sammelsystem Ihre Erfahrungswerte. Haben Sie bislang keine Kenntnisse zu einem Sammelsystem gewonnen, bitten wir Sie um Ihre Einschätzung mit dem Hinweis, dass es sich um eine Einschätzung handelt.

	Recyclinghof (Bringsystem)	Shops/Kleiderkammer (Bringsystem)	Strassen (Körbchen) sammlung (Hohsystem)	Depotcontainer (manuelle Sammlung im Bringsystem)	Depotcontainer für Hakenliftsysteme (Bringsystem)	Behälter für Presenüßfahrzeuge (Hohsystem)	Online-Sammlung
1. Anteil Alttextilien (Summe aus 1.1+1.2+1.3)							
1.1 Anteil Wiederverwendung							
1.2 Anteil Verwertung							
1.3. Anteil sonstige Verwertung und/oder Beseitigung							
2. Anteil Fremd- und Störstoffe							
Summe (aus 1 und 2)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

1.2 Illegale Sammlungen

Frage 1: Sind Ihnen Verfahren gegen illegal aufgestellte Sammelbehälter bekannt? Bitte geben Sie die Anzahl der Verfahren sowie die Anzahl der betroffenen Standplätze an (sofern bekannt).

Anzahl Verfahren:

Anzahl Standplätze:

Frage 2: Wie schätzen Sie die zukünftig allgemeine Situation zu illegalen Sammlungen ein?

2. Sortierung von Alttextilien

Frage 1: Wo verbleibt die Sammelware zur Sortierung und welchen Anteil haben sie?

- ☐ In Deutschland: _____%
- ☐ In EU-Staaten: _____%
- ☐ In OECD-Staaten: _____%
- ☐ Außerhalb EU- und OECD-Staaten: _____%

Frage 2: Was sind die Entsorgungswege der Alttextilien und welchen Anteil haben sie?

- ☐ Vorbereitung zur Wiederverwendung (Second-Hand-Waren): _____%
- ☐ stoffliche Verwertung (Putzlappen): _____%
- ☐ stoffliche Verwertung (Reißware): _____%
- ☐ energetische Verwertung: _____%
- ☐ Beseitigung: _____%
- ☐ Fremd- und Störstoffe insgesamt: _____%

Frage 3: Wo werden die nicht mehr wiederverwendbaren Alttextilien verwertet bzw. beseitigt und welchen Anteil haben sie?

☐ stoffliche Verwertung (Putzlappen):

- ☐ Deutschland: _____%
- ☐ alle anderen EU- Staaten: _____%
- ☐ außerhalb der EU-Staaten: _____%

☐ stoffliche Verwertung (Reißware):

- ☐ Deutschland: _____%
- ☐ alle anderen EU- Staaten: _____%
- ☐ außerhalb der EU-Staaten: _____%

☐ energetische Verwertung:

- ☐ Deutschland: _____%
- ☐ alle anderen EU- Staaten: _____%
- ☐ außerhalb der EU-Staaten: _____%

☐ Beseitigung:

- ☐ Deutschland: _____%
- ☐ alle anderen EU- Staaten: _____%
- ☐ außerhalb der EU-Staaten: _____%

Sammelsysteme quantitativ

Wie hoch ist das jeweilige Sammelpotential der nachfolgend aufgeführten Sammelsysteme (für sich alleine betrachtet)?

	Recyclinghof (Bringsystem)	Shops/Kleiderkammer (Bringsystem)	Strassen (Körbchen) sammlung (Holsystem)	Depotcontainer (manuelle Sammlung im Bringsystem)	Depotcontainer für Hakenliftsysteme (Bringsystem)	Behälter für Pressmüllfahrzeuge (Holsystem)	Online-Sammlung
Sammelpotential							

Bitte tragen Sie für jedes System eine quantitative Aussage gemäß Abstufungsmuster ein

Abstufungen
sehr gering
gering
mittelmäßig
hoch
sehr hoch

Sammelsysteme qualitativ

Wie ist die Zusammensetzung der eingesammelten Alttextilien je Sammelsystem?

Bitte tragen Sie für jedes System und Kategorie eine quantitative Aussage gemäß Abstufungsmuster ein

	Recyclinghof (Bringsystem)	Shops/Kleiderkammer (Bringsystem)	Strassen (Körbchen) sammlung (Holsystem)	Depotcontainer (manuelle Sammlung im Bringsystem)	Depotcontainer für Hakenliftsysteme (Bringsystem)	Behälter für Pressmüllfahrzeuge (Holsystem)	Online-Sammlung
1.1 Anteil Wiederverwendung							
1.2. Anteil Verwertung							
1.3. Anteil sonstige Verwertung und/oder Beseitigung							
2. Anteil Fremd- und Störstoffe							

C.6 Fragenbogen Alttextilien Ländervergleich

Questions related to collection, sorting, reuse and recycling of used textiles in various EU countries

Name:

Organisation:

1. Definition of used textiles

1.1 Which textiles or types of products are subsumed (or expressly not) under the term of used textiles? Are there any clear definitions or norms?

1.2 Are there any legal requirements or definitions of terms? (E.g. concerning household textiles, textiles purchased by government or purchased for use by private companies)

2. Classification of used textiles

2.1 Are there clear rules regarding the question of when textiles become waste and when they continue to be a product?

2.2 How are these regulations practiced, interpreted and enforced by the legislator?

2.3 Are there end-of-life criteria for this waste stream? How are they implemented in practice?

2.3 Are there plans to adjust/change these rules/definitions?

3. Organisation of collection of used textiles

3.1 Who collects used textiles? What is the share of textiles collected by municipal waste management authorities, charities, private actors and others?

3.2 Must be the collection of the various players notified or requires even a permit?

3.3 Which collection systems exist and what is the share of each (depot containers, street collection, recycling yards, indoor etc.)

3.4 Which collection system is suitable to obtain the quality of the used textiles for high-quality use?

3.5 Is there a cooperation between the various actors? Are there any relevant examples?

3.6 What is the role of public authorities in used textile collection?

3.7 What is the total quantity of used textiles collected per year? What is the collection rate?

3.8 Are there legal frameworks that retailers can also take back used textiles?

3.9 Are there special regulations for transport of used textiles (also abroad)?

4. Sorting, re-use and recycling of used textiles

4.1 Is there a domestic sorting and recycling structure for used textiles? How high do you estimate the domestic sorting and recycling capacities (divided into sorting facilities, production of cleaning rags and fiberization companies)?

4.2 What is the share of the collective quantity that is sorted domestically?

4.3 Related to used textiles sorted abroad (the difference between total quantity under no. 3.7 and quantity under no. 4.2), where are the main sorting countries?

4.3 What is the share of re-use / recycling for cleaning rags, teared textiles and disposal (divided according to disposal methods such as energy recovery, incineration or landfill)

4.4 Are there other (new) recycling technologies for used textiles (if yes, please mention company name, contact, and process)? What is the state of the art of the respective process?

5. Data / Reporting

5.1 Are there reporting requirements for aggregate quantities of collected used textiles and / or information on the further handling (for re-use and recycling)?

5.2 How is this requirement implemented and who is responsible?

5.3 Has the reporting system proven itself in practice or are there significant weaknesses or data gaps?

6. Legal Framework

6.1 Is there a national strategy for the collection of textiles waste with regard to collection, re-use and recycling targets, systems etc.?

6.2 Is the government currently dealing with the question how it will meet the EU requirements on separate collection of used textiles as from 2025? Does it assume that the requirement are already met?

6.3 Does the government intend to introduce extended producer responsibility for textiles?

7. Outlook

7.1 What challenges do you see according to the introduction of mandatory separate collection of used textiles? What overall developments can be expected in the next 5-10 years?

- in terms of the quantity and quality of collected used textiles
- with regard to the collection system to be adapted if necessary
- regarding sorting for re-use and recycling
- with regard to the used textile market as a whole

7.2 What are the technical, economic and regulatory challenges for re-use and recycling of used textiles?

7.3 What activities at the political level and within the industry are necessary to enable high-quality recycling?