

TEXTE

119/2026

Teilbericht

Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG 2023/2024

von:

Elisa Brade, Svenja Dorn, Matthias Fabian
Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 119/2026

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

Forschungskennzahl 3722 34 309 0

Teilbericht

Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG 2023/2024

Teilbericht 4 des ReFoPlan-Vorhabens „Ermittlung der
Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen
im Sinne des § 21 VerpackG für den Zeitraum 2021 bis
2024, Empfehlungen zur Fortentwicklung des
Mindeststandards zur Ermittlung der Recyclingfähigkeit
und Entwicklung von Guidelines für umweltfreundliche
Verpackungsgestaltung“

von

Elisa Brade, Svenja Dorn, Matthias Fabian
Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

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

Durchführung der Studie:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

Abschlussdatum:

August 2025

Redaktion:

Fachgebiet III 1.6 Kunststoffe und Verpackungen
Matthias Fabian, Janka Steinert

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8597>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Juli 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren. Sie danken Dr. Mirko Rennert für die Durchführung sowie Mitwirkung bei der Dokumentation und rechnerischen Auswertung der diesjährigen Befragung. Die Studie basiert in weiten Teilen strukturell und textlich auf den Vorgängerstudien UBA-TEXTE 125/2022, UBA-TEXTE 120/2023 und UBA-Texte 121/2024. Die Methodik der Studie stützt sich auf UBA-TEXTE 11/2021 von Dehoust et al. (2021).

Kurzbeschreibung: Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG 2023/2024

Um die negativen Umweltauswirkungen von Verpackungsabfällen zu reduzieren und ein hochwertiges Recycling zu stärken, verpflichtet das Verpackungsgesetz (VerpackG) in § 21 die dualen Systeme, finanzielle Anreize zu schaffen, um hochgradig recyclingfähige Verpackungen zu fördern. Die Ermittlung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen muss sich nach VerpackG an der aktuellen Praxis der Sortierung und Verwertung orientieren, d. h. an den bestehenden Möglichkeiten und Grenzen der Sortier- und Verwertungsinfrastruktur.

Die dargelegte Praxis der SuV ist nicht gleichbedeutend mit dem Kriterium „recycled at scale“ („in großem Maßstab recycelte Verpackungsabfälle“) aus Art. 3 Abs. 39 i.V.m. Art. 6 Abs. 2 lit. b, Abs. 5 lit. a Verordnung (EU) 2025/40 (EU-Verpackungsverordnung, PPWR). Es handelt sich vielmehr um eine separat zu betrachtende Kennzahl, die vor dem Hintergrund der zuvor dargelegten Regelungen des VerpackG ermittelt wird. Im Hinblick auf Art. 6 Abs. 4 lit. a PPWR ist sie zugleich höchst relevant, da sie u. a. aufzeigt, welche Sortiervverfahren etabliert sind und sich in einem operativen Umfeld bewährt haben sowie welche Recyclingtechnologien nicht nur in der Theorie vorhanden, sondern tatsächlich am Markt in relevantem Umfang verfügbar und derzeit wirtschaftlich abbildbar sind.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die für die Jahre 2023 und 2024 ermittelte Praxis der Sortierung und Verwertung deutscher Verpackungsabfälle, die typischerweise bei privaten Endverbrauchern als Abfall anfallen und über die Altglas-, Altpapier- und Leichtverpackungssammlung erfasst werden (systembeteiligungspflichtige Verpackungen). Die Praxis wurde auf Basis von Erhebungen bestimmt. Sortierer und Verwerter deutscher Verpackungsabfälle wurden nach aktueller Prozesstechnik und spezifischen Problemen bei der Sortierung und Verwertung und einer Einschätzung dazu befragt. Dabei wurde das Recycling von Behälterglas, Altpapier sowie Leichtstoffverpackungen betrachtet. UBA-TEXTE 11/2021 von Dehoust et al. diente als Grundlage für die verwendete Methode zur Ermittlung der Praxis.

Der vorliegende Teilbericht 2023/24 basiert in weiten Teilen auf den Teilberichten 2020/21, 2021/22 sowie 2022/23 (Grummt, 2022; Grummt und Fabian, 2023; Dorn (geb. Grummt) und Fabian 2024). Er identifiziert und beschreibt Änderungen in der Prozesstechnik und den Mengenströmen gegenüber den vergangenen Jahren sowie innovative technische Potenziale beim Recycling. Des Weiteren wird der Stand der Technik der Anlagen innerhalb der ermittelten Praxis eingestuft.

Die Ergebnisse aus der Studie dienen als wissenschaftliche Grundlage für die Fortentwicklung des „Mindeststandards zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG“. Insbesondere werden quantitative Aussagen über die Verfügbarkeit bestehender Sortier- und Verwertungsstrukturen (Anhang 1 des Mindeststandards i.d.F. der Version 2024 bzw. Anhang 3.3 im Konsultationsentwurf 2025) getroffen sowie Änderungsvorschläge für dessen Anhänge 2 und 3 (i.d.F. der Version 2024) bzw. nunmehr Anhang 2 (im Konsultationsentwurf 2025) gegeben. Der Bericht ordnet zudem die von den Sortierern und Verwertern angegebenen Probleme bei der Trennung, Sortierung und Verwertung ein.

Abstract: Determination of the practice of sorting and recovery in accordance with section 21 German Packaging act in the years 2023/2024

To reduce the negative environmental impact of packaging waste and to strengthen high-quality recycling, section 21 of the German Packaging Act (VerpackG) obliges the dual systems to create financial incentives to promote well-recyclable packaging. According to the VerpackG, the determination of the recyclability of packaging must be based on the current practice of sorting and recovery, i.e. on the existing possibilities and limits of the sorting and recovery infrastructure.

The determined practice of sorting and recovery is not synonymous with the criterion "recycled at scale" according to article 3 para. 39 in conjunction with article 6 para. 2 lit. b and article 6 para. 5 lit. a of Regulation (EU) 2025/40 (PPWR). Rather, it is a separate metric to be considered, which is determined according to the previously outlined regulations of the German Packaging Act (VerpackG). With regard to article 6 para. 4 lit. a PPWR, it is also highly relevant, as it demonstrates, among other things, which sorting processes are established and have proven themselves in an operational environment, as well as which recycling technologies are not only theoretically possible but are actually available on the market to a relevant extent and currently economically feasible. This report provides an overview of the sorting and recovery practice of German packaging waste typically generated as waste by private end consumers determined for the years 2023 and 2024 and collected via waste glass, waste paper and lightweight packaging collections (packaging subject to system participation). The practice was determined on the basis of surveys. Sorters and recyclers of German packaging waste were asked about current process technology and specific problems in sorting and recovery and an assessment of these. The recycling of container glass, waste paper and lightweight packaging was considered. The method developed in UBA-TEXTE 11/2021 by Dehoust et al. was used to determine the practice. This third sub-report is largely based on the sub-reports 2020/21, 2021/22 and 2022/23 (Grummt, 2022; Grummt und Fabian, 2023; Dorn (born Grummt) and Fabian 2024). It identifies and describes changes in process technology and volume flows compared to previous years as well as innovative technical potentials in recycling. Furthermore, state of the art plants within the identified practice are classified.

The results from the study serve as a scientific base for a further development of the "Minimum Standard for determining the recyclability of packaging subject to system participation pursuant to section 21 (3) VerpackG". In this context, the findings allow quantitative statements on the availability of existing sorting and recovery structures (Annex 1 of the Minimum Standard as in the edition of 2024) and proposals for amendments to its Annexes 2 and 3 (as in the edition 2024) respectively now Annex 2 (as in the draft for consultation 2025) are provided. This report also classifies the problems in separation, sorting and recovery indicated by sorters and recyclers.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	14
Glossar.....	17
Zusammenfassung	19
Summary (English)	30
1 Einleitung.....	40
2 Methode & Begriffserläuterungen zur Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung.....	42
2.1 Kurzbeschreibung der Methode	42
2.2 Berechnung der Anwendungsgrade.....	46
2.3 Definition eines hochwertigen werkstofflichen Recyclings.....	52
2.4 Quantitative Darstellung der Rezyklatanwendungen	54
2.5 Praxis der SuV und Mindeststandard nach § 21 Abs. 3 VerpackG	55
2.6 Qualitätssicherung des Berichts und der zugrundeliegenden Daten	58
3 Ergebnisse der Erhebung und Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung	62
3.1 LVP-Sortierung	62
3.1.1 Rücklauf der Erhebung.....	62
3.1.2 Pfadbeschreibung	62
3.1.3 Ermittlung der Praxis der LVP-Sortierung	68
3.1.4 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale bei Trennung und Sortierung	73
3.2 Verwertung von Kunststofffolien	78
3.2.1 Rücklauf der Erhebung.....	78
3.2.2 Pfadbeschreibung	79
3.2.3 Ermittlung der Praxis der SuV für Kunststofffolien	82
3.2.4 Rezyklatanwendungen.....	82
3.2.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling	83
3.3 Verwertung von PP und PE	86
3.3.1 Rücklauf der Erhebung.....	86
3.3.2 Pfadbeschreibung	87
3.3.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PP und PE.....	90
3.3.4 Rezyklatwendungen	93
3.3.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling	94
3.4 Verwertung von PS.....	97

3.4.1	Rücklauf der Erhebung.....	97
3.4.2	Pfadbeschreibung	98
3.4.3	Ermittlung der Praxis der SuV für PS	99
3.4.4	Rezyklatanwendungen	100
3.4.5	Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling	100
3.5	Verwertung von PO- und PP-flex.....	102
3.5.1	Rücklauf der Erhebung.....	102
3.5.2	Pfadbeschreibung	102
3.5.3	Ermittlung der Praxis der SuV für PP-flex und kleinformative PE-flex	104
3.5.4	Rezyklatanwendungen	106
3.5.5	Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling	107
3.6	Verwertung von PET	109
3.6.1	Rücklauf der Erhebung.....	109
3.6.2	Pfadbeschreibung	110
3.6.3	Ermittlung der Praxis der SuV für PET	113
3.6.4	Rezyklatanwendungen	114
3.6.5	Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling	115
3.6.6	Störstoffkomponenten im Rejekt.....	118
3.7	Aufbereitung und Verwertung von Eisenmetallen und Eisenmetallverbunden.....	119
3.7.1	Rücklauf der Erhebung.....	119
3.7.2	Pfadbeschreibung	120
3.7.3	Ermittlung der Praxis der SuV für Eisenmetallverpackungen und -verbunde.....	122
3.7.4	Rezyklatanwendungen	123
3.7.5	Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling	123
3.8	Aufbereitung und Verwertung von Aluminium, Aluminiumverbunden und aluminiumfolienhaltigen Verpackungen.....	125
3.8.1	Rücklauf der Erhebung.....	125
3.8.2	Pfadbeschreibung	126
3.8.3	Ermittlung der Praxis der SuV für Aluminiumverpackungen, -verbunde und aluminiumfolienhaltige Verpackungen	130
3.8.4	Rezyklatanwendungen	131
3.8.5	Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling	132
3.9	Verwertung von FKN (inkl. PolyAl).....	134
3.9.1	Rücklauf der Erhebung.....	134
3.9.2	Pfadbeschreibung	135

3.9.3	Ermittlung der Praxis der SuV für FKN	137
3.9.4	Rezyklatanwendungen	138
3.9.5	Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling	139
3.9.6	Störstoffkomponenten im Rejekt.....	140
3.10	Verwertung von PPK aus LVP.....	141
3.10.1	Rücklauf der Erhebung.....	141
3.10.2	Pfadbeschreibung	142
3.10.3	Ermittlung der Praxis der SuV für PPK aus LVP	143
3.10.4	Rezyklatanwendungen.....	145
3.10.5	Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling	145
3.10.6	Störstoffkomponenten im Rejekt.....	146
3.11	Verwertung von PPK aus dem Blauen System	147
3.11.1	Rücklauf der Erhebung.....	147
3.11.2	Pfadbeschreibung	148
3.11.3	Ermittlung der Praxis der SuV für PPK aus dem Blauen System.....	150
3.11.4	Rezyklatanwendungen.....	152
3.11.5	Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling	152
3.11.6	Störstoffkomponenten im Rejekt.....	155
3.12	Aufbereitung von Behälterglas	156
3.12.1	Rücklauf der Erhebung.....	156
3.12.2	Pfadbeschreibung	156
3.12.3	Ermittlung der Praxis der SuV für Behälterglas	160
3.12.4	Rezyklatanwendungen.....	161
3.12.5	Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale bei der Aufbereitung.....	161
4	Empfehlungen zur Berücksichtigung der Praxis der SuV im Mindeststandard gemäß § 21	
	Abs. 3 VerpackG	168
4.1	Vorhandensein von Sortier- und Verwertungsinfrastruktur	168
4.2	Sortier- und Trennbarkeit sowie Recyclingunverträglichkeiten	173
4.3	Zusammenfassung der Praxis im Kunststoffrecycling	173
4.4	Zusammenfassung Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen	176
5	Quellenverzeichnis	178
Anhänge		
A	Erhebungsbögen.....	185
B	Auswertung der Erhebungsbögen und des Fragenkatalogs	245

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen systembeteiligungs- pflichtiger Verpackungen (Bezugsjahre 2022/2023)	29
Figure 2: Recyclate applications of the reference plants for packaging subject to system participation (reference years 2022/2023)	39
Abbildung 3: Baumdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung des Anwendungsgrades der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$	47
Abbildung 4: Definitionen der drei Anwendungsgrade $P(A_S)$, $P(A_V)$ und $P(A_{SuV})$	47
Abbildung 5: Baumdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung des Anwendungsgrades der Verwertung $P(A_V)$ für Glas	51
Abbildung 6: Prozesse der hochwertigen werkstofflichen Verwertung (Referenzanlagen) nach Definition des Mindeststandards	53
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Praxis der LVP-Sortierung	65
Abbildung 8: Praxis der Sortierung für 2020 bis 2024 – Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten der Feinkornabsiebung und Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$	68
Abbildung 9: Praxis der Sortierung für 2020 bis 2024 – Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten formstabiler Kunststoffverpackungen und Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$	70
Abbildung 10: Praxis der Sortierung für 2020 bis 2024 – Zweigwahrscheinlich- keiten der Sortierprozessvarianten flexibler Kunststoffverpackungen und Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$	71
Abbildung 11: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Kunststofffolien	81
Abbildung 12: Praxis der SuV für Kunststofffolien (Bezugsjahre 2023/2024)	82
Abbildung 14: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von formstabilen PP- und PE-Verpackungen	90
Abbildung 15: Praxis der SuV für formstabile PP-Verpackungen (Bezugsjahre 2023/2024)	91
Abbildung 16: Praxis der SuV für formstabile PE-Verpackungen (Bezugsjahre 2023/2024)	92
Abbildung 17: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von formstabilen PP-Verpackungen	93
Abbildung 18: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von formstabilen PE-Verpackungen	94
Abbildung 19: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von formstabilen PS-Verpackungen (ohne EPS)	99
Abbildung 20: Praxis der SuV für formstabile PS-Verpackungen ohne EPS (Bezugsjahre 2023/2024)	100
Abbildung 21: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von flexiblen PO-Verpackungen	104
Abbildung 22: Praxis der SuV für flexible PP-Verpackungen (Bezugsjahre 2023/2024)	105

Abbildung 23: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von flexiblen PO-Verpackungen	106
Abbildung 24: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PET-Verpackungen (i. d. R. PET-Flaschen)	112
Abbildung 25: Praxis der SuV für PET-Flaschen, transparent; exemplarischer $P(A_{SuV})$ der PET-Fraktionen 325 und 328-(0-3) mit minimalen Anteilen an transparenten PET-Flaschen gemäß Spezifikation und Angabe der Spannweite für $P(A_{SuV})$ für PET Flaschen, transparent (Bezugsjahre 2023/2024)	113
Abbildung 26: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von PET-Flaschen (ohne Pfand)	115
Abbildung 27: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Eisenmetallverpackungen und -verbunden	121
Abbildung 28: Praxis der SuV für 2023/2024 für Verpackungen aus Eisenmetallverpackungen und -verbunden	122
Abbildung 29: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von Eisenmetallverpackungen und -verbunden	123
Abbildung 30: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Aluminiumverpackungen, -verbunden und aluminiumfolienhaltigen Verpackungen	129
Abbildung 31: Praxis der SuV für 2023/2024 für Verpackungen aus Aluminium, -verbunden und aluminiumfolienhaltigen Verpackungen	131
Abbildung 32: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von Aluminiumverpackungen, -verbunden und aluminiumfolienhaltigen Verpackungen	132
Abbildung 33: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von FKN	136
Abbildung 34: Praxis der SuV für 2023/2024 für den Papierfaseranteil von FKN	138
Abbildung 35: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von FKN (Papierfaseranteil)	139
Abbildung 36: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PPK aus LVP	143
Abbildung 37: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von PPK aus LVP	145
Abbildung 38: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PPK aus dem Blauen System	149
Abbildung 39: Praxis der SuV für 2023/2024 für PPK-Verpackungen aus dem Blauen System	150
Abbildung 40: Boxplot der Stofflösezeiten der Papierfabriken (Blaues System) unabhängig vom System für die Stofflösung	151
Abbildung 41: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von PPK aus dem Blauen System	152

Abbildung 42: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Aufbereitung von Behälterglas	159
Abbildung 43: Praxis der SuV für 2023/2024 für Behälterglas.....	161
Abbildung 44: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen systembeteiligungspflichtiger Verpackungen (Bezugsjahre 2023/2024)	177

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anwendungsgrade der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$ von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen und Empfehlungen für die Einstufung im Mindeststandard 2025	22
Table 2: Application degrees of sorting and recovery $P(A_{SuV})$ of packaging subject to system participation and recommendations for categorisation in the Minimum Standard 2025	33
Tabelle 3: Weitere Anwendungsgrade der Sortierung $P(A_S)$ für 2019 bis 2024.....	73
Tabelle 4: Problematische Verpackungsmerkmale der LVP-Sortieranlagen (Anzahl: 33) aus Anhang 2 des Mindeststandards bei der Trennung und Sortierung	74
Tabelle 5: Problematische Verpackungsmerkmale der LVP-Sortieranlagen (Anzahl: 33) bei der Trennung und Sortierung.....	76
Tabelle 6: Einschätzung der Referenzanlagen von Kunststofffolien (Anzahl: 20) zu problematischen Verpackungsmerkmalen	84
Tabelle 7: Einschätzung der Referenzanlagen von formstabilen PP-Verpackungen (Anzahl: 16) zu problematischen Verpackungsmerkmalen	95
Tabelle 8: Einschätzung der Referenzanlagen von formstabilen PE-Verpackungen (Anzahl: 12) zu problematischen Verpackungsmerkmalen	96
Tabelle 9: Einschätzung der Referenzanlagen von formstabilen PS-Verpackungen (Anzahl: 2) zu problematischen Verpackungsmerkmalen	101
Tabelle 10: Einschätzung der Referenzanlagen von PO-/PP-flex (Anzahl: 7) zu problematischen Verpackungsmerkmalen.....	107
Tabelle 11: Einschätzung der Referenzanlagen von PET-Verpackungen (Anzahl: 6) zu problematischen Verpackungsmerkmalen	116
Tabelle 12: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der Referenzanlagen von PET-Verpackungen (Anzahl: 6).....	118
Tabelle 13: Einschätzung der Referenzanlagen von Eisenmetallverpackungen und -verbunden (Anzahl: 22) zu problematischen Verpackungsmerkmalen.....	124
Tabelle 14: Einschätzung der Referenzanlagen von Aluminiumverpackungen, -verbunden und aluminiumfolienhaltigen Verpackungen (Anzahl: 11) zu problematischen Verpackungsmerkmalen.....	133
Tabelle 15: Einschätzung der Referenzanlagen von FKN (Anzahl: 5) zu problematischen Verpackungsmerkmalen.....	140

Tabelle 16: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der Referenzanlagen von FKN (Anzahl: 7).....	141
Tabelle 17: Einschätzung der Referenzanlagen von PPK aus LVP (Anzahl: 5) zu problematischen Verpackungsmerkmalen	146
Tabelle 18: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der Referenzanlagen von PPK aus LVP (Anzahl: 5).....	147
Tabelle 19: Einschätzung der Referenzanlagen von PPK aus dem Blauen System (Anzahl: 47) zu problematischen Verpackungsmerkmalen	153
Tabelle 20: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der Referenzanlagen von PPK aus dem Blauen System (Anzahl: 65).....	155
Tabelle 21: Einschätzung der Referenzanlagen von Behälterglas (Anzahl: 18) zu problematischen Verpackungsmerkmalen hinsichtlich Sortierbarkeit..	162
Tabelle 22: Einschätzung der Referenzanlagen von Behälterglas (Anzahl: 18) zu problematischen Verpackungsmerkmalen hinsichtlich Recyclingunverträglichkeit	162
Tabelle 23: Anwendungsgrade der Sortierung und Verwertung P(ASuV) von systembeteiligungs-pflichtigen Verpackungen und Empfehlungen für die Einstufung im Mindeststandard 2025	169
Tabelle 24: Aktuelle Praxis im Kunststoffrecycling aus den Ergebnissen der Erhebungsbögen.....	174

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
Abs.	Absatz
Alu	Aluminium
BVT	beste verfügbare Technik, engl. best available techniques
EBS	Ersatzbrennstoff
EK III	Expertenkreis III
engl.	Englisch
EPS	Expandiertes Polystyrol
et al.	und andere, lat. et alii
EU	Europäische Union
EuPIA	Europäischer Druckfarbenverband, engl. European Printing Ink Association
EVA	Ethylen-Vinylacetat-Copolymer
EVOH	Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer
Fe	Eisen
FKN	Flüssigkeitskarton, engl. liquid packaging board
FSK	Formstabile Kunststoffe
GVM	Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH
HDPE	High-Density Polyethylene
I	Integrierte Aufbereitung
i. d. F.	in der Fassung
i. d. R.	in der Regel
i. H. v.	in Höhe von
i. S. d.	im Sinne des/der
IK	Industrievereinigung Kunststoffverpackungen
inkl.	inklusive
KA-Sortierung	Kunststoffartensortierung
KI, AI	Künstliche Intelligenz, engl. artificial intelligence
KOM	Europäische Kommission, engl. European Commission
KSP, CSP	Keramik, Steine und Porzellan, engl. ceramics, stones and porcelain
LDPE	Low-Density Polyethylene
LED	Leuchtdiode, engl. light-emitting diode
LVP, LWP	Leichtstoffverpackungen, engl. lightweight packaging

Abkürzung	Erläuterung
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung
mind.	mindestens
MKS	Mischkunststoffe
MPO	Gemischte Polyolefine
MSN	Mengenstromnachweis, engl. volume flow record
NC	Cellulosenitrat (umgangssprachlich: Nitrocellulose)
NE	Nichteisen
NIR	Nah-Infrarot
o. ä.	oder ähnlich
P(A)	Wahrscheinlichkeit (engl. probability) eines Ereignisses A
PA	Polyamid
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PC	Polycarbonat
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PET-A	Amorphes PET
PET-C	Kristallines PET
PET-G	Glycol-modifiziertes PET
PE-X	Vernetztes Polyethylen
PLA	Polymilchsäure, engl. Polylactid Acid
PMMA	Polymethylmethacrylat (Acrylglas)
PO	Polyolefin (z. B. Polyethylen, Polypropylen)
PO-flex	Flexible, gemischte Polyolefine
PolyAl	Kunststoff- und Aluminiumanteile bei Flüssigkeitskartons
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PPK, PPC	Papier, Pappe, Kartonagen, engl. paper, paper board and cardboard packaging
PPWR	Verordnung (EU) 2025/40 des Europäischen Parlaments und des Rates über Verpackungen und Verpackungsabfälle, zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und der Richtlinie (EU) 2019/904 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 94/62/EG (ABl. L 2025/40 v. 22.01.2025, S. 1), engl. Packaging and Packaging Waste Regulation
PS	Polystyrol
PU	Polyurethan

Abkürzung	Erläuterung
PVC	Polyvinylchlorid
PVDC	Polyvinylidenchlorid
S	Sortierung
SSP	Solid State Polymerisation
SuV, SaR	Sortierung und Verwertung, engl. sorting and recovery
UBA	Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
URRC	United Resource Recovery Corporation
UV	Ultraviolett
V	Verwertung
v. a.	Vor allem
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VerpackG	Verpackungsgesetz
VIS	Sichtbar, engl. visible
XPS	Extrudiertes Polystyrol
ZSVR	Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister

Glossar

Begriff	Bedeutung
(duales) System	Privatrechtlich organisierte juristische Person oder Personengesellschaft, welche die haushaltsnahe Sammlung und Entsorgung von gebrauchten systembeteiligungspflichtigen Verpackungen organisiert (vgl. § 3 Abs. 16 VerpackG).
(Sortier-)Fraktion	Gruppe von Stoffen, Merkmale sind definiert in Produktspezifikationen.
Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$	Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung in einer LVP-Sortieranlage auf eine spezifische Sortiertechnik trifft. Annahme: Alle LVP-Sortieranlagen erhalten als Eingangsmaterial die gleiche Verteilung an Verpackungen.
Anwendungsgrad der Verwertung $P(A_V)$	Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung zugeführt wird (die Sortierung wird hierbei ausgeklammert). Diese Wahrscheinlichkeit ergibt sich aus den Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen.
Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$	Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung sowohl auf eine spezifische Sortiertechnik als auch auf einen hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfad trifft.
Blaues System	Monoerfassung von PPK über die haushaltsnahe Sammlung.
Expertenkreis III (EK III)	Fachgremium, welches die Zentrale Stelle Verpackungsregister zum Mindeststandard berät.
Letztempfängeranlage	Anlage, in der ein Produkt mit festgelegten und reproduzierbaren Produkteigenschaften (beispielsweise nach DIN ISO 1042 Teil 1 bis 4) hergestellt wird. Dieses Produkt kann ohne weitere abfallspezifische Behandlungsschritte in einem Produktionsprozess verwendet werden. Die Einstufung als Letztempfängeranlage erfolgt nach der „Prüfleitlinien Mengenstromnachweis Systeme“ (ZSVR, 2020).
Mengenstromnachweis (MSN)	„Überprüfbarer Nachweis der Erfüllung der Sammlungs- und Verwertungsanforderungen gemäß § 14 Absatz 1 Satz 1 [VerpackG], § 16, der gemäß § 17 Absatz 2 durch einen registrierten Sachverständigen im Sinne von §§ 3 Absatz 15, 27 Absatz 1 bescheinigt wird. Der MSN enthält die Dokumentation über die

Begriff	Bedeutung
	<i>Verwertung der durch die flächendeckende Sammlung nach § 14 Absatz 1 Satz 1 erfassten restentleerten Verpackungen in Form von jeweils aggregierten Daten zu den an dem System beteiligten Mengen und zu den erfassten und der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem jeweiligen Verwertungsverfahren zugeführten Mengen. Der MSN enthält außerdem die Berechnung der „Verwertungsquote“. „Bezugsjahr“ des MSN ist jeweils das vorangegangene Kalenderjahr.“ (ZSVR, 2020)</i>
Recyclingfähigkeit	Eignung einer Verpackung, Neuware in werkstofftypischen Anwendungen zu substituieren, nachdem ein hochwertiger werkstofflicher Recyclingprozess durchlaufen wurde (ZSVR, 2024).
Referenzanlage	Anlage, in der eine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet.
Rezyklat	Produkt (Stoff oder Gemisch) aus Abfällen, welches geeignet ist, Neuware in werkstofftypischen Anwendungen zu substituieren (ZSVR, 2024).
Sortierpfad	Abfolge von Prozessen bei der Sortierung.
Systembeteiligungspflichtige Verpackung	Verkaufs- und/oder eine Umverpackung, welche nach Gebrauch typischerweise beim privaten Endverbraucher als Abfall anfällt (vgl. § 3 Abs. 8 VerpackG).
Verbundverpackung	Kombination aus mindestens zwei unterschiedlichen Materialarten, die nicht von Hand trennbar sind (vgl. § 3 Abs. 5 VerpackG). Im Sinne dieses Berichtes werden nur solche Verpackungen als Verbundverpackung bezeichnet, bei denen die Hauptkomponente einen Massenanteil von 95 % nicht überschreitet (95/5-Regelung, angelehnt an § 16 Abs. 3 Satz 4 VerpackG).
Verwertungspfad	Abfolge von Prozessen in der Verwertung.

Zusammenfassung

Das Verpackungsgesetz (VerpackG) verpflichtet die dualen Systeme in § 21, finanzielle Anreize im Rahmen der Beteiligungsentgelte zu schaffen, um hochgradig recyclingfähige Verpackungen zu fördern. Damit sollen negative Umweltauswirkungen von Verpackungsabfällen reduziert und eine hochwertige werkstoffliche Verwertung gefördert werden. Die Ermittlung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen muss sich nach VerpackG an der aktuellen Praxis der Sortierung und Verwertung systembeteiligungspflichtiger Verpackungen orientieren.

Auch die EU-Verpackungsverordnung (Packaging and Packaging Waste Regulation – PPWR) sieht vor, Unternehmen einen finanziellen Anreiz zum Einsatz hochgradig recyclingfähiger Verpackungen zu geben (Eco Fee Modulation). Bis 2030 sollen alle Verpackungen recyclingfähig sein, mit Ausnahme einzelner Verpackungen. Eine industrielle Recyclingfähigkeit im großen Maßstab („recycled at scale“) aller Verpackungen ist ab 2035 vorgesehen. Ab 2030 dürfen Verpackungen mit einer Recyclingfähigkeit unter 70 % nicht mehr in Verkehr gebracht werden (Art. 6 PPWR).

Begriffserläuterung „Praxis der Sortierung und Verwertung“

Die „Praxis der Sortierung und Verwertung“ (Praxis der SuV) beschreibt die Sortier- und Verwertungsinfrastruktur, auf die deutsche Verpackungsabfälle bei ordnungsgemäßer Entsorgung treffen. Dies schließt sowohl Anlagen in Deutschland als auch im Ausland ein, die nachweislich mit Mengen der deutschen dualen Systeme beliefert werden. Die Praxis der SuV umfasst sowohl Anlagen auf dem Stand der Technik als auch solche, die diesem nicht entsprechen, sofern sie einen realen Marktverwertungsweg im industriellen Maßstab darstellen. Es werden keine Anlagen erfasst, die sich noch im Testbetrieb befinden oder theoretische Sortier- und Verwertungsprozesse, die in der Praxis noch nicht eingesetzt sind (Probetrieb). Eine regelmäßige Erfassung der Praxis der SuV ist erforderlich, um relevante Veränderungen zu identifizieren (Dehoust et al., 2021).

Die Ergebnisse dieses Berichts dienen als wissenschaftliche Grundlage für die Weiterentwicklung des „Mindeststandards zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG“ (ZSVR, 2024). Der Mindeststandard muss unter Berücksichtigung der einzelnen Verwertungswege und Materialarten von der ZSVR (Zentrale Stelle Verpackungsregister) im Einvernehmen mit dem Umweltbundesamt (UBA) jährlich aktualisiert und fortgeschrieben werden (vgl. § 21 Abs. 3 VerpackG). Die im Mindeststandard enthaltenen Kriterien müssen wettbewerbsneutral, objektiv begründbar und fachlich fundiert sein. Grund dafür ist, dass die Angaben im Mindeststandard die Marktchancen von Unternehmen verändern könnten. Fachliche Änderungen im Mindeststandard sollen sich auf die bestehenden Sortier- und Verwertungsinfrastrukturen stützen, die derzeit im industriellen Maßstab bestehen. Die Kriterien sind entscheidend für die Festlegung der finanziellen Anreize durch die dualen Systeme über Beteiligungsentgelte (Dehoust et al., 2021).

Die in diesem Bericht dargelegte Praxis der SuV ist nicht gleichbedeutend mit dem Kriterium „recycled at scale“ („in großem Maßstab recycelt“) aus Art. 3 Abs. 39 i.V.m. Art. 6 Abs. 2 lit. b, Abs. 5 lit. a Verordnung (EU) 2025/40 (PPWR). Es handelt sich vielmehr um eine separat zu betrachtende Kennzahl, die vor dem Hintergrund der zuvor dargelegten Regelungen des VerpackG ermittelt wird. Im Hinblick auf Art. 6 Abs. 4 lit. a PPWR ist sie zugleich höchst relevant, da sie u.a. aufzeigt welche Sortierverfahren etabliert sind und sich in einem operativen Umfeld bewährt haben sowie welche Recyclingtechnologien nicht nur in der Theorie vorhanden,

sondern tatsächlich am Markt in relevantem Umfang verfügbar und wirtschaftlich abbildbar sind.

Methode zur Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung

Dieser Bericht basiert weitestgehend textlich und formal auf den Teilberichten „Praxis der Sortierung und Verwertung 2020/2021“ (Grummt, 2022; im Folgenden als „Teilbericht 2020/21“ bezeichnet), „Praxis der Sortierung und Verwertung 2021/2022“ (Grummt und Fabian, 2023; im Folgenden als „Teilbericht 2021/22“ bezeichnet) und „Praxis der Sortierung und Verwertung 2022/23 (Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024, im Folgenden als „Teilbericht 2022/23“ bezeichnet). Der Text wurde größtenteils übernommen und aktualisiert. Die Informationen aus den letzten Erhebungen wurden aktualisiert und ergänzt.

Dieser Bericht gibt einen Überblick über die ermittelte Praxis der SuV deutscher systembeteiligungspflichtiger Verpackungsabfälle. Er bildet die Stoffströme von Verpackungsabfall in den Bezugsjahren 2023/2024 auf die verschiedenen Sortier- und Verwertungspfade mengenbezogen ab. Die Methode zur Ermittlung der Praxis der SuV basiert auf der von Dehoust et al. (UBA-TEXTE 11/2021) entwickelten Methode, die bereits für das Bezugsjahr 2019 angewendet wurde (Dehoust et al., 2021). Für diesen Bericht wurde die Methode wiederholt genutzt. Die grundlegenden Arbeitsschritte zur Durchführung der Methode sind unverändert. Die Methode ermöglicht die Bemessung der materialgruppenspezifischen Sortier- und Verwertungstechnologien mit einem Kennwert und wahrt gleichzeitig Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse der Anlagen. Dabei ist für jede mit Systemmengen belieferte Anlage eine stoffstromspezifische Klassifizierung in Prozessvarianten erforderlich.

Für diesen Bericht wurden Sortierer und Verwerter deutscher systembeteiligungspflichtiger Verpackungsabfälle mittels Erhebungsbögen befragt. Der erste Teil des Erhebungsbogens konstituiert eine quantitative Studie. Dabei wurden die Anlagenbetreiber beispielsweise nach der aktuellen Prozesstechnik und Rezyklatanwendung befragt. Der zweite Teil stellt eine qualitative Erfassung dar, bei der die Sortierer und Verwerter eine subjektive Einschätzung zu spezifischen Problemen geben konnten. Die Erhebung betrachtet das Recycling von Behälterglas, Papier, Pappe, Kartonagen (PPK) aus dem Blauen System sowie Leichtstoffverpackungen (LVP) aus dem Gelben System (i. d. R. gelber Sack, gelbe Tonne).

In diesem Bericht werden drei verschiedene Kennwerte als Bemessungskriterien definiert: Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$, Anwendungsgrad der Verwertung $P(A_V)$ und Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$. Aus den erhobenen Daten zur Sortierung ergibt sich der Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$, welcher die Wahrscheinlichkeit angibt, dass eine Verpackung nach korrekter Entsorgung in einer LVP-Sortieranlage auf eine spezifische Sortiertechnik trifft, welche die Verpackung in eine Fraktion sortiert und für eine werkstoffliche Verwertung bereitgestellt. Dabei wird die Annahme getroffen, dass alle Verpackungen in der LVP-Sammelmenge gesamt homogen verteilt sind. Analog gibt der Anwendungsgrad der Verwertung $P(A_V)$ die Wahrscheinlichkeit an, dass eine Verpackung einer Anlage für hochwertige werkstoffliche Verwertung zugeführt wird (die Sortierung wird dabei ausgeklammert). Daraus resultiert der kombinierte Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$, welcher die Wahrscheinlichkeit repräsentiert, mit der eine Verpackung nach korrekter Entsorgung sowohl auf eine spezifische Sortiertechnik trifft, als auch auf einen hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfad.

Bereits in den vorhergehenden Teilberichten wurden die Bezeichnungen der Kennwerte neu definiert und an die Wahrscheinlichkeitslehre angelehnt. Des Weiteren wurden die Letztempfängeranlagen befragt, zu welchen Anteilen die Rezyklate in welchen Anwendungen eingesetzt werden. Zudem wurden die Verwerter von Kunststoff- und Aluminiumanteilen aus

Flüssigkeitskartons (FKN) befragt, während die Aufbereiter und -verwerter von Metallverpackungen ebenfalls mit einbezogen wurden. Die Qualitätssicherung des Berichts und der zugrundeliegenden Daten werden dargelegt.

Für die Berechnung der Kennwerte wurden die Zuführungsmengen aus dem Mengenstromnachweis (MSN) für das Bezugsjahr 2023 genutzt. Es wurden dafür die Zuführungsmengen an die Verwertungsanlagen, welche von der ZSVR übermittelt wurden, verwendet.

Die Repräsentativität der Erhebung ist bis auf die Aufbereiter und Verwerter von Eisenmetallverpackungen und -verbunden für alle befragten Anlagen gegeben. Das Ergebnis wurde als repräsentativ gewertet, wenn auf Basis des aktuellen Datenstands der Mengenanteil der Verwerter mindestens 80 % an der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023 betrug¹.

Ergebnisse und Empfehlungen für den Mindeststandard – Verfügbarkeit von Sortier- und Verwertungsinfrastrukturen

Der bisherige Anhang 1 des Mindeststandards bildet mittels der Kenntnis über die Praxis der SuV die Verfügbarkeit von Sortier- und Verwertungsstrukturen für systembeteiligungspflichtige Verpackungen ab. Die quantitative Studie dieses Berichts erlaubt die Einstufung von Verpackungsabfällen in verschiedene Spalten der Tabelle im Anhang 1 des Mindeststandards. Durch definierte Schwellenwerte wurde dort die Zuführung zu Sortier- und Verwertungskapazitäten beziffert. Gemäß Mindeststandard 2024 (ZSVR, 2024) kann für Spalte 3A eine Zuführung zu einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung vorausgesetzt ($P(A_{SuV}) \geq 80 \%$), für Spalte 3B nur begrenzt vorausgesetzt ($P(A_{SuV}) > 20 \%$ und $< 80 \%$) und für Spalte 3C nur im Einzelfall/marginal vorausgesetzt werden ($P(A_{SuV}) \leq 20 \%$). Für Fraktionsnummern in Spalte 3C ist ein individueller Einzelnachweis zwingend erforderlich. Für Spalte 3B wird ein Einzelnachweis lediglich empfohlen (ZSVR, 2024).

Mit der Ausgabe für 2025 wird die Systematik des Mindeststandards grundlegend geändert. Hierbei werden die Verpackungskategorien in den Vordergrund gerückt, jeweils nach dem vorherrschenden Material des Hauptverpackungsbetandteils geordnet. Dies dient auch zur Annäherung an die Europäische Verpackungsordnung (PPWR).

Die bisherige Einteilung in die Spalten 3A bis 3C, die noch in der Ausgabe 2024 enthalten war, wird durch ein neues Format ersetzt. Im Anhang 3.3 des Konsultationsentwurfs 2025 werden die bisherigen Spalten 3B und 3C weiterhin dargestellt und unter den Bezeichnungen „Einzelnachweis empfohlen“ bzw. „Einzelnachweis erforderlich“ geführt. Die Spalte 3A wird nicht mehr explizit aufgeführt. Verpackungskategorien, die in Anhang 3.3 nicht gelistet sind, sind gemäß der früheren Spalte 3A eingestuft. Die Grenzwerte bleiben unverändert. Um die Vergleichbarkeit mit den Vorjahren sicherzustellen, wird in diesem Teilbericht weiterhin die bisherige Beschreibung (ehemaliger Anhang 1, Spalte 3A-C) verwendet.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Einstufungen in Anhang 1 des Mindeststandards 2024 unverändert im Mindeststandard 2025 fortgeführt werden können. Dem liegt u.a. zugrunde, dass die von LVP-Sortieranlagen gebildeten Fraktionen unverändert geblieben sind. Tabelle 1 zeigt die ermittelten Anwendungsgrade für den Mindeststandard 2025.

¹ Im Teilbericht 2020/21 war die Erhöhung dieser Grenze vorgesehen, daher wurde sie im Teilbericht 2021/22 von 50 % auf 70 % und im Teilbericht 2022/23 von 70 % auf 80 % angehoben und für den Teilbericht 2023/24 in dieser Höhe beibehalten.

Tabelle 1: Anwendungsgrade der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$ von systembeteiligungs-pflichtigen Verpackungen und Empfehlungen für die Einstufung im Mindeststandard 2025

Verpackungen und beinhaltende Fraktionen	$P(A_{SuV})$ in % ²	Einstufung im Mindeststandard 2025 analog ehem. Spalte 3A-C
Behälterglas 100, 101, 102, 103, 104, 105	100	3A (=)
Weißblechverpackungen, Weißblechverbunde 410, 412	100	3A (=)
Aluminiumverpackungen, Aluminiumverbunde, aluminiumfolienhaltige Verpackungen 420	100	3A (=)
PPK-Verpackungen aus dem Blauen System	99	3A (=)
FKN 510, 512	95	3A (=)
PolyAl (aus FKN-Recycling)	23– 36	3B (=)
PPK aus LVP 550 ³	52 - 57	3B (=)
PP, formstabile und halbstarre Verpackungen ≤ 5 Liter 324-0, 324-1, (323-0), (351-X)	89	3A (=)
PE, formstabile und halbstarre Verpackungen ≤ 5 Liter 329-X, (323-0), (351-X)	92	3A (=)
Kunststoffhohlkörper > 5 Liter (aus PE oder PP) 322, (324-X), (329-X), (323), (351-X)	91	3A (=)
Kunststofffolien 310, 310-1	82	3A (=)
PET-Flaschen, transparent aus PET-A (ohne Pfand) 325, (328-0), (328-1), (328-2), (328-3) ⁴	79	3A (=), siehe Erläuterung im Text
PS, formstabile und halbstarre Verpackungen 331, (351-X)	62	3B (=)
PP, flexible Verpackungen 324-2, 323-2, (323)	27	3B (=)
PE, flexible kleinformatige Verpackungen 323-2, (323), (310-X)	50	3B (=)
EPS 340	0	3C (=)
Sonstige formstabile PET-Verpackungen aus PET-A 328-5, 328-6, (328-0), (328-1), (328-2), (328-3) ⁵	13 – 62	3C (=), siehe Erläuterung im Text
Verpackungen aus anderen, zuvor nicht genannten Kunststoffen z. B. XPS, PC, PVC, PA, PLA, Duroplaste, Elastomere, kompostierbare Kunststoffe; PET flexibel; Steingut, Keramik, Holz, Kork, Textilien	0	(keine Sortier- und hochwertige werkstoffliche Recyclinginfrastruktur über LVP- Sammlung vorhanden)

Quelle: aktuelle Erhebung, auf method. Grundlage von Dehoust et al. (2021); Erläuterung der Symbole in der 3. Spalte gegenüber den Angaben des Mindeststandards 2024: ↓ : Verschlechterung; ↑ : Verbesserung; = : keine Änderung

² Alle Angaben zum Anwendungsgrad in dieser Studie sind gerundet auf ganze Prozent. Rechnerisch lassen sich Nachkommastellen angeben, diese sind aufgrund der methodischen Genauigkeit jedoch nicht aussagekräftig.

³ Die Spannweite resultiert daraus, dass manche Sortieranlagen die Fraktion 550 teilweise für eine energetische Verwertung bereitgestellt haben, ohne den Anteil im Rahmen der Befragung konkret zu benennen.

⁴ Unter und Obergrenze (Worst Case und Best Case) entspricht dem Minimum und Maximum aller Kombinationen an sonstigen formstabilen PET Verpackungen in den Fraktionen gemäß Spezifikationen; ohne Pfand.

⁵ Unter und Obergrenze (Worst Case und Best Case) entspricht dem Minimum und Maximum aller Kombinationen an sonstigen formstabilen PET Verpackungen in den Fraktionen gemäß Spezifikationen.

Für Behälterglas⁶ und Verpackungen aus Weißblech und Weißblechverbunden sowie aus Aluminium, Aluminiumverbunden und aluminiumfolienhaltige Verpackungen beträgt der Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV}) = 100 \%$ (entspricht bisheriger Spalte 3A).

Für PPK aus dem Blauen System ist $P(A_{SuV}) = 99 \%$ und für FKN = 95 %. Dies entspricht ebenso der bisherigen Spalte 3A. Für die Kunststoff- und Aluminiumanteile (PolyAl) von FKN findet ebenfalls eine hochwertige werkstoffliche Verwertung im industriellen Maßstab für deutsche Systemmengen statt. Eine deutsche Anlage dafür ist 2021 in Betrieb gegangen (EUWID, 2021). Eine zweite Anlage in Deutschland hat 2024 den Betrieb aufgenommen (EUWID, 2024) und plante noch in 2024 den Betrieb im industriellen Maßstab auszubauen. Diese Anlage wird aus methodischen Gründen erstmalig im Rahmen der zukünftigen Erhebung 2024/ 2025 einbezogen werden können. Geringe Mengen PolyAl aus systembeteiligungspflichtigen FKN werden auch im Ausland hochwertig werkstofflich verwertet. Aus den Berechnungen ergibt sich für PolyAl eine Spannweite von 23 % - 36 % (entspricht bisheriger Spalte 3B). Damit kann eine Sortier- und hochwertige Recyclinginfrastruktur weiterhin begrenzt vorausgesetzt werden.

Für PPK aus LVP beträgt der Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$ 52% bis 57 % (entspricht bisheriger Spalte 3B). Auch hier kann eine Sortier- und hochwertige Recyclinginfrastruktur weiterhin begrenzt vorausgesetzt werden.

PPK aus LVP weist gemäß Anlagenbetreibern einen hohen Verschmutzungsgrad durch z. B. Lebensmittelanhaftungen und vermehrt Anteile an Kunststoffen auf, welche ein Recycling erschweren und die Faserausbeute in der Papierfabrik reduzieren können. Recycler gaben zudem an, dass PPK aus LVP oftmals bessere Papierqualitäten zur Qualitätssteigerung beigemischt werden (sogenannte „Rezeptur“). Die Entsorgung über das gelbe System führe zudem dazu, dass die Fraktion einen hohen Wassergehalt aufweise. Aufgrund der genannten Probleme sind die Ballen nur eine begrenzte Zeit lagerbar. Problematisch kann auch die Aufbereitung des Prozesswassers sein, denn diese muss so ausgestattet sein, dass die organischen Anteile der Fraktion PPK aus LVP ausreichend abgereinigt werden können. Zudem unterliegen Papierfabriken, die Lebensmittelverpackungen produzieren, gemäß der 36. Empfehlung des Bundesinstituts für Risikobewertung strengen Anforderungen, wenn die „Sorten 5.01, 5.02, 5.03 (DIN EN 643) aus selektiv erfassten gemischten Verpackungsabfällen“ verwendet werden (BfR, 2025). Das bedeutet, dass die Recyclinganwendungen von PPK aus LVP nicht ohne Weiteres für den Lebensmittelbereich nutzbar sind. Eine Studie der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung (GVM) geht davon aus, dass sich der Verbrauch von faserbasierten Verbundverpackungen bis 2030 gegenüber 2020 mehr als verdoppeln werde (GVM, 2024). An dieser Stelle sei erwähnt, dass auch die Umweltministerkonferenz über die starke Zunahme der faserbasierten Verbunde besorgt ist. Sie sieht für diese Verpackungen Handlungsbedarf und fordert umfassende Maßnahmen zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit und der Produzentenverantwortung (Lang, 2024).

Im Mindeststandard 2024 muss für faserbasierte Verbundverpackungen und PPK-Verpackungen mit nicht-trockenen Füllgütern (außer FKN) ein Einzelnachweis geführt werden (ZSVR, 2024). Die Zugabe von z. B. Nassfestmitteln oder Beschichtungen (insbesondere beidseitig) zur Gewährleistung des Produktschutzes kann die Zerfaserung der Verpackungen und damit das Recycling behindern (Gürlich et al., 2022). Papierfabriken gaben an, dass sich restentleerte faserbasierte Verbundverpackungen für trockene Füllgüter (z. B. Beutel für Mehl

⁶ Bei Behälterglas wird nur $P(AV)$ erfasst, da für Verpackungen aus diesen Materialien keine separate Sortierung vorgeschaltet ist.

und Zucker) in der Regel besser recyceln lassen. Diese werden häufig durch Verbraucher*innen nicht als Verbundverpackung erkannt und intuitiv in der blauen Tonne entsorgt.

Der Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{\text{SuV}})$ beträgt für formstabile und halbstarre Kunststoffverpackungen aus PP 89 % und aus PE (z. B. Flaschen, Schalen, Becher) 92 %. Die Berechnungen weisen auf einen Verbleib der genannten Verpackungen in Spalte 3A hin, da für diese Verpackungen ein hochwertiger werkstofflicher Verwertungspfad gegeben ist. Dies gilt auch für Kunststoffhohlkörper > 5 Liter (aus PE und PP, $P(A_{\text{SuV}})$ 91 %).

$P(A_{\text{SuV}})$ für Kunststofffolien beträgt 82 %. Die Verfasser*innen empfehlen Kunststofffolien weiterhin analog Spalte 3A zu handhaben. Für die flexiblen Kunststoffverpackungen aus PP lässt sich $P(A_{\text{SuV}})$ auf 27 % beziffern (Spalte 3B). Dabei wurde die Monofraktion PP-flex (324-2) einbezogen. $P(A_{\text{SuV}})$ für kleinformatige flexible PE-Verpackungen beträgt ca. 50% (entspricht bisheriger Spalte 3B).

$P(A_{\text{SuV}})$ für formstabile und halbstarre Verpackungen aus PS beträgt ca. 62 %. PS ist damit weiterhin analog Spalte 3B zuzuordnen.

Für transparente PET-Flaschen (ohne pfandpflichtige Verpackungen) wurde eine Spannweite zwischen Unter- und Obergrenze (Worst Case und Best Case) der Verpackungsanteile in den PET-Fraktionen 325 und 328-(0-3) bestimmt. Aufgrund des minimalen Unterschieds kann $P(A_{\text{SuV}})$ gerundet mit 79 % angegeben werden. Die Verfasser*innen empfehlen, transparente PET-Flaschen im Mindeststandard 2025 weiterhin entsprechend Spalte 3A aufzulisten. Angesichts des Anwendungsgrades unmittelbar am Grenzwert, aber innerhalb der statistischen Unsicherheit der verwendeten Methode, sollte bei der nächsten Erhebung überprüft werden, ob eine Umstufung in Spalte 3B angezeigt ist. Eine solche sollte gleichwohl nur erfolgen, wenn dies sicher herleitbar ist und auf einer tatsächlichen Verschlechterung der Praxis der Sortierung und Verwertung beruht; allein aufgrund statistischer Ungenauigkeiten sollte keine Herabstufung erfolgen.

Für sonstige formstabile PET-Verpackungen wurde ebenfalls aufgrund methodischer Notwendigkeiten eine sehr große Spannweite $P(A_{\text{SuV}})$ von 13 % – 62 % bestimmt. Der Worst Case und Best Case entspricht dem Minimum und Maximum aller Kombinationen an sonstigen PET-Verpackungsanteilen in den folgenden Fraktionen: 328-(0-6⁷). Ein Anwendungsgrad von 13 % ergibt sich nur, wenn sonstige formstabile PET-Verpackungen ausschließlich über die Fraktionen 328-5 und 328-6 („PET-Schalen“) hochwertig werkstofflich verwertet werden könnten. Aufgrund der folgenden Einschränkungen empfehlen die Verfasser*innen, sonstige formstabile PET-Verpackungen weiterhin entsprechend der ehemaligen Spalte 3C zu behandeln:

- Der Best Case von 62 % ist nur erreichbar in einer speziellen Kombination von Anteilen an sonstigen PET-Verpackungen in den PET-Fraktionen 328-(0-6). Alle anderen Kombinationen liegen unterhalb dieser Prozentzahl.
- Die Obergrenze der genannten Spannweite setzt voraus, dass sowohl Mono- als auch Multilayer-Schalen einberechnet werden. Die Einbeziehung von Multilayer-Schalen ist unplausibel, denn einige PET-Recycler notierten, Multilayer-PET-Schalen vorab auszusortieren. Es liegen aber keine konkreten Mengenanteile vor, um die Auswirkungen konkret zu benennen.

⁷ Die Fraktion 328-6 wurde im MSN 2021 gebucht, weshalb sie erstmalig im Anhang 1 des Mindeststandard 2023 aufgenommen wurde. Im MSN 2023 wurde sie nicht gebucht, dennoch wird sie weiterhin im vorliegenden Bericht aufgeführt, da sie ebenso wie Fraktion 328-5 die Monofraktion „PET-Schalen“ spezifiziert und in zukünftigen MSN wieder gebucht werden könnte.

- Durch Hinweise aus der Praxis ist bekannt, dass nicht alle LVP-Sortieranlagen, die angaben, die PET-Schalen-Fractionen 328-5 und 328-6 zu sortieren, dies ganzjährig durchgängig tun. Eine entsprechende Änderung im Jahresverlauf wird von der Systematik dieser Studie nicht erfasst, so dass die ermittelten Anwendungsgrade der Sortierung die Praxis tendenziell überschätzen.

Diese, in dieser Studie nicht genau quantifizierbaren Faktoren führen nach der Einschätzung der Verfasser*innen dazu, dass der tatsächliche Anwendungsgrad deutlich unter dem für die Einstufung im Mindeststandard 2025 relevanten Grenzwert von 20 % liegen wird (entspricht ehemaliger Spalte 3C). Dies erscheint auch angemessen angesichts der Tatsache, dass

- die Marktmenge an PET-Schalen und daraus resultierend die in der LVP-Sammlung anzutreffende Menge sich nach Einschätzung von Stakeholdern in einer Größenordnung von 120 bis 150 kt⁸ bewegt, allerdings ausweislich des MSN 2023 lediglich eine Menge der PET-Schalen-Sortierfraktionen (328-5, 328-6) von weniger als 10 kt Anlagen zugeführt wurde, die eine hochwertige werkstoffliche Verwertung durchführen.

Es gibt derzeit Bestrebungen, die Kapazitäten für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling von systembeteiligungspflichtigen PET-Schalen im Ausland auszubauen (EUWID Verpackung, 2024). Die Verfasser*innen empfehlen, die aktuellen Entwicklungen in diesem Bereich weiterhin zu beobachten.

Für Verpackungen aus EPS besteht kein hochwertiger werkstofflicher Verwertungspfad, wenn sie über die LVP-Sammlung (gelber Sack, gelbe Tonne) erfasst werden. $P(A_S)$ für EPS beträgt 0 % und somit ist auch $P(A_{SuV})$ 0 %. Damit sollte EPS weiterhin entsprechend der bisherigen Spalte 3C eingeordnet werden. EPS wird aktuell nicht über die LVP-Sortierung im industriellen Maßstab sortiert und verwertet. Es landet im Sortierrest und wird anschließend energetisch verwertet. Für EPS, welches separat und sortenrein über z. B. Wertstoffhöfe oder industrielle und gewerbliche Sammlungen gesammelt wird, besteht ein Recyclingpfad (Lindner et al., 2019). In einem Pilotprojekt wurde nachgewiesen, dass die Sortierung von EPS-Verpackungen als Monofraktion über die LVP-Sammlung sowie ein hochwertiges Recycling zu neuen EPS-Verpackungen möglich sei. Bislang galt die Aussortierung von EPS in LVP-Sortieranlagen aufgrund des geringen Gewichts und Verschmutzungsgrades als nicht wirtschaftlich (EUWID Verpackung, 2022; Lindner et al., 2019).

Für Verpackungen aus XPS besteht ebenso kein hochwertiger werkstofflicher Verwertungspfad über die LVP-Sammlung. Sie sind deshalb ebenfalls nicht recyclingfähig. Für Verpackungen aus anderen, zuvor nicht genannten Kunststoffen wie z. B. PC, PVC, PA, PLA, Duroplaste, Elastomere und kompostierbare Kunststoffe, Naturmaterialien wie Holz oder Kork, Textilien (natürliche und synthetische Textilfasern) sowie Steingut aus Keramik oder Porzellan (Ton, Stein) bestehen derzeit keine hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfade über die LVP-Sammlung. Dies gilt auch für PET-Folien (PET flexibel), die in der LVP-Sammlung entsorgt werden. Für diese Verpackungen könnten sich zukünftig Änderungen ergeben, wenn entsprechende Sortier- und Recyclinginfrastruktur aufgebaut werden würde. Im Konsultationsverfahren für den Mindeststandard 2025 wurde die Liste der Beispiele, für die bislang keine Infrastruktur über die LVP-Sammlung besteht, erweitert. Als Beispiele aufgeführt werden nun weitere, in Anhang II Tabelle 1 PPWR genannte Verpackungskategorien wie Textilien angeführt (ZSVR, 2025).

⁸ Von einem „Aufkommen von PET-Schalen im LVP-Sammelgemisch [i.H.v.] jährlich ca. 120.000 t“ gehen Dehoust et al. (2021) aus. Die aktuelle Marktmenge schätzen Stakeholder mit bis zu 150 kt ein.

Ergebnisse und Empfehlungen für den Mindeststandard – Stand der Technik

Aufgrund hoher Standardisierung existieren generell nur wenige Pfadverzweigungen bei der Verwertung der eben genannten Verpackungen mit hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfaden. Der Bericht zeigt auch Änderungen in der Prozesstechnik auf und verweist auf innovative technische Potenziale beim Recycling.

Zu nennen ist hierbei insbesondere der Einsatz von Nah-Infrarot (NIR)-Technik in Glasaufbereitungsanlagen als neuer Trend in der Glasaufbereitung. Diese Technik erlaubt die Identifizierung und Abscheidung von Kunststoffkomponenten und stellt den Stand der Technik dar. Ein Glasaufbereiter gab an, dass diese Technik besonders hilfreich für die Identifizierung von transparenten Ausgusseinsätzen aus Kunststoff sei. Diese können aufgrund der Transparenz nicht mittels Durchlichttechnik im KSP-Trenner (KSP steht für Keramik, Steine und Porzellan) abgetrennt werden. Ebenso werden an Glasscherben anhaftende Etiketten detektiert, sodass das Etikett in einer Nachstufe durch mechanische Etikettenentfernung von der Glasscherbe abgerieben werden kann. Die Technik ermöglicht ebenso die Detektion und den Auswurf kunststoffhaltiger Fehlwürfe, wie Glas aus PMMA (Acrylglas) und Polycarbonat. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Glas-Verpackung auf eine Glasaufbereitungsanlage trifft, die einen NIR-Trenner besitzt, beträgt nach aktueller Erhebung ca. 15 %. Dieser Wert hat sich gegenüber dem Teilbericht 2020/21 etwa verfünffacht. Aufbereiter trafen die Aussage, dass NIR-Trenner in der Glasaufbereitungstechnik in den folgenden Jahren an Bedeutung gewinnen würden.

Im Hinblick auf die Unterschiede bei der LVP-Sortierung wurde im Vergleich zu 2019 eine Zunahme der Feinkornabsiebung bei ≤ 20 mm um rund 14 Prozentpunkte festgestellt. Damit bestätigt sich eine Verschiebung zu feineren Maschinenweiten, die sich im Teilbericht 2022/2023 abzeichnete. Diese Variante wird weiterhin als Stand der Technik eingestuft (Gespräch mit Hr. Dr. Christiani am 14.02.2024). Die Feinkornabsiebung erfolgt bei dieser Variante i. d. R. über ein Schwingsieb mit Langlochmasche. Bei dieser Variante sind auch kleine Verpackungen sortierfähig und es besteht die Chance auf eine hochwertige werkstoffliche Verwertung.

Ein weiteres Ergebnis der Befragung der LVP-Sortierer (ohne Verwertung) ist, dass gegenüber den vergangenen Jahren in der aktuellen Auswertung ein stetiger Anstieg vom $P(A_5)$ der Fraktion PO-flex ersichtlich ist. Gegenüber 2019 beträgt der Anstieg von $P(A_5)$ ca. 20 Prozentpunkte. Eine mögliche Ursache liegt darin, dass sich die Fraktion erst als Alternative zur Fraktion Mischkunststoffe etablieren musste. Zudem wird die Fraktion PP-flex als Monofraktion zunehmend für ein Recycling bereitgestellt. $P(A_5)$ für PP-flex beträgt hierbei ca. 15 % für 2024. Weiterhin besitzen, wie in den vergangenen Jahren, nur wenige LVP-Sortieranlagen die Prozesstechnik, um schwarze (rußbasiert gefärbte) Kunststoffe als Monofraktion separieren zu können und für ein Recycling bereitzustellen. Diese Entwicklungen sollten weiterhin beobachtet werden.

Moderne Sortiertechnologien wie künstliche Intelligenz (KI)-gestützte Objekterkennung in Kombination mit NIR-Technik oder Sortierrobotern können eine Alternative zur händischen Sortierung darstellen. Beispielsweise können sie für das Aussortieren von Silikonkartuschen aus der PE-Fraktion eingesetzt werden (Knappe et al., 2021; Kuchta et al., 2023). Aus öffentlichen Quellen ist bekannt, dass Sortierroboter und KI-gestützte Objekterkennung bereits in einigen LVP-Sortieranlagen im Einsatz sind (Friedl, 2022; Interzero, o. J.; PreZero, 2022; Thissen, 2022). Mögliche weitere Anwendungsfelder dieser Technologien stellen die Separierung von Lebensmittel- und Nicht-Lebensmittelverpackungen oder die Ausschleusung bestimmter unerwünschter Objekte oder Verpackungen dar. Sie können zudem der Trennung bestimmter Verpackungsformen oder Mono- und Multilayern dienen (Kuchta et al., 2023).

Der Waschprozess im Kunststoffrecycling kann eine Entfernung von Klebstoffresten, Anhaftungen und Etiketten ermöglichen. Bei den PET-Recyclern ist eine Heißwäsche generelle Praxis. Bei den anderen befragten Kunststoffrecyclinganlagen wurde die Wäsche überwiegend als Kaltwäsche ausgeführt. Mittlerweile gibt es jedoch auch andere Kunststoff-Recycler (PE- und PP-Recycler), die das Mahlgut heiß waschen. Für PE-Recycler wurde dazu erstmalig eine Mengenangabe im Teilbereich 2022/2023 gemacht: Ca. 16 % der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen treffen auf Recyclinganlagen, die eine Heißwäsche einsetzen. Eine Heißwäsche wird zur intensiveren Reinigung der Mahlgutoberfläche von z. B. Fetten und Etiketten und zur Geruchsminderung durchgeführt. Um eine bessere Reinigungsleistung zu erzielen, wird dabei das Waschwasser auf eine bestimmte Temperatur erhitzt und ggf. werden Detergenzien zugegeben. Eine Heißwäsche kann die Qualität der Rezyklate verbessern und das Einsatzspektrum erweitern (Knappe et al., 2021). Die Waschtemperatur beim Kunststoffrecycling sollte in kommenden Erhebungen weiterhin abgefragt und beobachtet werden.

Einige PE- und PP-Recyclinganlagen vermerkten, eine Mahlgut-Nachsortierung nach Farbe oder Material durchzuführen. Eine Mahlgut-Nachsortierung nach Farbe ermöglicht eine Separation von hellem Mahlgut und den anschließenden Einsatz in dafür passenden Anwendungen (Knappe et al., 2021). Für PE kann dazu eine Aussage zur Menge getroffen werden: ca. 24 % der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen treffen auf Recyclinganlagen, die eine Mahlgut-Nachsortierung (nach Farbe oder Material) einsetzen.

Sowohl die Heißwäsche als auch die Mahlgut-Nachsortierung stellen bei PP- und PE-Recyclern den Stand der Technik dar (Gespräch mit Hr. Dr. Christiani am 14.02.2024). Zudem ist aus der Erhebung bekannt, dass mit geringer Mengenrelevanz eine Dekontamination als Verfahren für PP und PE im Einsatz ist. Dabei können schwer flüchtige, hochmolekulare Stoffe im Regranulat entfernt werden. Dies ermöglicht ebenfalls eine Reduktion von Gerüchen (Szombathy, 2021). Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen kann dazu keine Mengenangabe gemacht werden.

Prozesstechniken, wie Delaminierung, Deinking und lösemittelbasierte Verfahren für Kunststoffverpackungen sind nach Ergebnissen der aktuellen Erhebung noch nicht im industriellen Maßstab für deutsche Systemmengen im Einsatz.

Im Bereich Recycling von Aluminiumverpackungen stellen moderne Sensortechniken, wie z. B. Röntgentechnologien (Röntgenfluoreszenzspektroskopie – XRF oder Röntgentransmissionsanalyse – XRT) oder die Lasertechnologie LIBS (Laserinduzierte Plasmaspektroskopie, engl. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy,) den Stand der Technik dar. Mittels LIBS können Verpackungen nach Legierungsgruppen sortiert werden. Über Röntgentechnologien können z. B. Buntmetalle wie Kupfer oder Zink aus der Aluminiumfraktion separiert werden (Raatz et al., 2022). Ca. 55 %, das bedeutet mehr als die Hälfte der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen der Aluminiumfraktion (420) treffen auf Aufbereitungs- oder Verwertungsanlagen, die sensorgestützte Sortierungstechniken (XRF und/oder LIBS) einsetzen. Im Teilbericht 2022/2023 wurden diese Sortiertechniken erstmals mengenmäßig eingeordnet. Dass diese Techniken im Einsatz sind, ist auch aus verschiedenen öffentlichen Quellen bekannt (Miroslavljevic, 2021; PreZero Pyral, o. J.; Reissner, 2021; Seifert, 2019).

Ergebnisse und Empfehlungen für den Mindeststandard – Problematische Verpackungsmerkmale bei der Sortierung und Verwertung

Die Erhebung für den vorliegenden Bericht bot den Sortierern und Verwertern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Komponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Prozess verursachen können. Im vorherigen Bericht erfolgte

eine Anpassung der Bewertungsstufen für die Abfrage und Einschätzungen der Sortierer und Verwerter zu den Recyclingunverträglichkeiten und problematischen Verpackungsmerkmalen gegenüber den vorherigen Erhebungen. Es wird beispielsweise unterschieden zwischen Verpackungsmerkmalen, die abgetrennt werden können, aber einen Wertstoffverlust hervorrufen sowie welchen, die die Rezyklatqualität geringfügig oder drastisch verschlechtern können. Als Erkenntnis aus der Befragung ist festzustellen, dass die Sortierer und Verwerter überwiegend die im bisherigen Anhang 2 und Anhang 3 des Mindeststandards angegebenen Verpackungsmerkmale und Recyclingunverträglichkeiten bestätigten. Die Sortierer und Verwerter hatten zusätzlich die Möglichkeit, weitere Angaben zu kritischen Verpackungen und Komponenten zu machen, die bei der Trennung, Sortierung und Verwertung zu Problemen führen können. Der vorliegende Bericht gibt Empfehlungen zu den weiteren Angaben und deren Relevanz für den Mindeststandard.

Rezyklatanwendungen

Der vorliegende Bericht stellt die Rezyklatanwendung der Letzttempfängeranlagen wiederholt mengenbasiert dar. Die Datenbasis wurde dahingehend verbessert, dass die Anlagen für den Teilbericht 2022/2023 befragt wurden, zu welchem Anteil die Rezyklate in welchen Anwendungen eingesetzt werden. Die Rezyklatanwendungen geben einen Hinweis auf die Hochwertigkeit der Verwertung i. S. d. Mindeststandards. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt. Die dort aufgeführten Rezyklatanwendungen sind i. S. d. Mindeststandards als Referenzprozesse (hochwertig werkstoffliche Verwertung) einzuordnen, da Neumaterial in werkstofftypischen Anwendungen ersetzt wird. Der Einsatz kann sowohl in originären Anwendungen (Ursprungsanwendungen), als auch in Sekundäranwendungen erfolgen.

Keine Referenzprozesse stellen beispielsweise der Einsatz von Papierfasern in Dämmstoffprodukten oder im Straßenbau dar. Weiterhin werden Kunststoffverwertungsanlagen, die Intrusionsprodukte als Rezyklatanwendung nannten, welche Holz, Beton oder Naturstein ersetzen (z. B. Palisaden, Zäune, Parkbänke etc.), als nicht hochwertig werkstofflich i. S. d. Mindeststandards angesehen.

Fazit

Mit den bereits vorhandenen Prozesstechniken in den Sortier- und Recyclinganlagen für deutsche Verpackungsabfälle kann bereits ein hochwertiges werkstoffliches Recycling gelingen. Die technischen Möglichkeiten sind jedoch noch nicht in vollem Umfang ausgeschöpft. Teilweise existiert eine Diskrepanz zwischen Stand der Technik und der aktuellen Praxis. Der vorliegende Bericht identifiziert neuere technische Ansätze, wie z. B. NIR-Technik in Glasaufbereitungsanlagen. Diese können eine verbesserte Recyclingfähigkeit von Verpackungen i. S. d. Mindeststandards ermöglichen.

Der Bericht diskutiert zudem die von den Sortierern und Verwertern angegebenen Probleme und spricht Empfehlungen zur Berücksichtigung der Praxis der Sortierung und Verwertung im Mindeststandard aus (Kapitel 3 und Kapitel 4).

Abbildung 1: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen systembeteiligungspflichtiger Verpackungen (Bezugsjahre 2022/2023)⁹

LDPE / Folien	Spritzguss, Extrusionsfolien/Thermoforms, Blasfolien, Extrusionsanwendungen
PP, PE, PO- und PP-flex	Spritzguss oder Schleuderguss , Extrusionsfolien/Thermoforms, Blasformen
PS	Spritzguss
PET-Flaschen (ohne Pfand)	PET-Folien, PET-Preforms, Polyesterfasern, Umreifungsbänder
Sonstige formstabile PET-Verpackungen	PET-Folien
Weißblech	Stahlprodukte , Gussanwendungen in Gießereien, Automobilindustrie, Verpackungen
Aluminium	Aluminiumgusslegierungen und -knetlegierungen, Verpackungen (z. B. Dosen), Automobilindustrie, Gießereihilfsmittel, Desoxidationsmittel
FKN	Wellpappenrohapiere , Hygienepapiere, Karton und Pappe (PolyAl: Spritzguss)
PPK aus LVP	Wellpappenrohapiere , Karton und Pappe
PPK (Blaues System)	Wellpappenrohapiere , Karton und Pappe, Hygienepapiere, sonstige Papiere
Behälterglas	Behälterglas

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), Umweltbundesamt (mit Korrektur eines redaktionellen Versehens: Angabe „oder Schleuderguss“ bei PP, PE, PO- und PP-flex ergänzt)

⁹ Fett formatierte Anwendungen kennzeichnen die dominanteste Anwendung. Wenn die dominanteste Anwendung aufgrund mangelnder Datenbasis unklar war, wurde keine der Anwendungen fett formatiert.

Summary

Section 21 of the German Packaging Act (VerpackG) obliges the so-called dual systems (producer responsibility organisations) to create financial incentives within the framework of participation fees in order to promote highly recyclable packaging. This aims to reduce the negative environmental impacts of packaging waste and promote high-quality mechanical recycling. According to VerpackG, the determination of the recyclability of packaging must be based on the current practice of sorting and recovery of packaging that is subject to system participation.

The EU Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR) also requires financial rewards for highly recyclable packaging (eco-modulation of fees). By 2030, all packaging should be recyclable, except for certain packaging types. Industrial-scale recyclability ("recycled at scale") for all packaging is expected by 2035. From 2030, packaging with recyclability below 70 % will not be allowed on the market (Art. 6 PPWR).

Explanation of the term "Practice of Sorting and Recovery"

The "practice of sorting and recovery" (practice of SaR) describes the sorting and recovery infrastructure that German packaging waste encounters given its proper disposal. This includes plants in Germany and abroad that are verifiably supplied with quantities from the German dual systems. The practice of SaR includes both state-of-the-art plants as well as those that do not correspond to the state of the art, as long as they represent a real market recycling pathway on an industrial scale. Plants that are still in test operation mode or theoretical sorting and recovery processes not yet used in practice (trial operation) are not included. Regular recording of the practice of SaR is necessary to identify relevant changes (Dehoust et al., 2021).

The results of this report serve as a scientific basis for the further development of the "Minimum Standard for determining the recyclability of packaging subject to system participation pursuant to Section 21 (3) VerpackG" (German Packaging Act) (ZSVR, 2024). The Minimum Standard must be updated and further developed annually by the Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister (Foundation Central Agency Packaging Register – ZSVR) in agreement with the Umweltbundesamt (German Environment Agency – UBA), taking into account the individual recovery routes and material types (cf. Section 21 para. 3 VerpackG). The criteria contained in the Minimum Standard must be competitively neutral, objectively justifiable and technically sound. This is due to the fact that the information in the Minimum Standard could change the market opportunities of companies. Technical changes in the Minimum Standard should be based on the sorting and recovery infrastructures currently existing at industrial scale. The dual systems need to know the criteria in order to be able to determine the financial incentives to be set by means of the participation fees (Dehoust et al., 2021).

The determined practice of sorting and recovery is not synonymous with the criterion "recycled at scale" according to Article 3 para. 39 in conjunction with Article 6 para. 2 lit. b and Article 6 para. 5 lit. a of Regulation (EU) 2025/40 (PPWR). Rather, it is a separate metric to be considered, which is determined due to the previously outlined regulations of the German Packaging Act (VerpackG). With regard to Article 6 para. 4 lit. a PPWR, it is also highly relevant, as it demonstrates, among other things, which sorting processes are established and have proven themselves in an operational environment, as well as which recycling technologies are not only theoretically possible but are actually available on the market to a relevant extent and economically feasible.

Method for Determining the Practice of Sorting and Recovery

This report is largely based on the text and format of the sub-reports "Praxis der Sortierung und Verwertung 2020/2021" (Grummt, 2022; hereafter referred to as "sub-report 2020/21"),

"Praxis der Sortierung und Verwertung 2021/2022" (Grummt and Fabian, 2023; hereafter referred to as "sub-report 2021/22") and "Praxis der Sortierung und Verwertung 2022/23" (Dorn (born Grummt) and Fabian, 2024; hereafter referred to as "sub-report 2022/23"). The text has been largely adopted and updated. Furthermore, information from the latest surveys has been updated and supplemented.

This report provides an overview of the determined practice of SaR of German packaging waste subject to system participation. It quantitatively maps the material flows of packaging waste to various sorting and recovery paths for the reference years 2023/2024. For this purpose, Dehoust et al. developed a method for determining the practice of SaR in the report UBA-TEXTE 11/2021 and applied it to the reference year 2019 (Dehoust et al., 2021). The report at hand, adapts this method. The fundamental steps for implementing the method remain unchanged. The method enables the measurement of material group-specific sorting and recovery technologies with a characteristic value. At the same time, this method preserves legally protected operational and business secrets of the plants. Each plant supplied with system quantities requires a material stream-specific classification into process variants.

For this report, sorters and recyclers of German packaging waste subject to system participation were surveyed using questionnaires. The first part of the survey constitutes a quantitative study. Here, plant operators were asked, for example, about current process technology and recycle applications. The second part is a qualitative survey in which sorters and recyclers were able to give a subjective assessment of specific problems. The survey considers the recycling of container glass, paper, paper board and cardboard packaging (PPC) from the blue system (separate collection of paper, in Germany usually in blue bins or large containers) as well as lightweight packaging (LWP) from the yellow system (usually yellow bag, yellow garbage bin).

This report defines three different characteristic values as determination criteria: application degree of sorting $P(A_S)$, application degree of recovery $P(A_V)$, and application degree of sorting and recovery $P(A_{SuV})$. From the data collected from the sorting centres, the application degree of sorting $P(A_S)$ is obtained. It represents the probability that a packaging, after proper disposal, encounters a specific sorting technique at a sorting centre for LWP, that sorts the packaging into a fraction enabling mechanical recovery. The assumption is made that all packaging is homogeneously distributed in the LWP collection volume. Similarly, the application degree of recovery $P(A_V)$ indicates the probability that a packaging is supplied to a plant for high-quality mechanical recovery (sorting is excluded here). Combined, this results in the application degree of sorting and recovery $P(A_{SuV})$, which represents the probability of a packaging, after proper disposal, encountering both a specific sorting technique and a high-quality mechanical recycling path.

Already in former sub-reports, the designations of the characteristic values were redefined and aligned with probability theory. Additionally, the recovery plants were surveyed to determine the proportions of recyclates used in different applications. Moreover, the recyclers of plastic and aluminium components from liquid packaging board (FKN) were surveyed, while the processors and recyclers of metal packaging were also included. This report also details the quality assurance of the report and the underlying data.

For calculating the characteristic values, the input quantities to the recycling facilities, which were provided by the ZSVR, were used for this purpose.

The representativeness of the survey is given for all surveyed plants except for the processors and recyclers of ferrous metal packaging. The result was considered representative if, based on

current data, the proportion of recyclers was at least 80 % of the total quantity sent for recovery from the volume flow record 2023¹⁰.

Results and Recommendations for the Minimum Standard – Availability of Sorting and Recycling Infrastructures

The former Annex 1 of the Minimum Standard maps the availability of sorting and recycling infrastructures for packaging subject to system participation by means of the knowledge of the practice of the SaR. The quantitative study of this report allows the classification of packaging waste into different columns of the table in Annex 1 of the Minimum Standard. Defined threshold values were used there to quantify the supply to sorting and recycling capacities. According to Minimum Standard 2024 (ZSVR, 2024), for column 3A, an input to high-quality material recycling can be assumed ($P(A_{\text{SuV}}) \geq 80 \%$), for column 3B it can only be assumed to a limited extent ($P(A_{\text{SuV}}) > 20 \%$ and $< 80 \%$), and for column 3C it can only be assumed marginally/in individual cases ($P(A_{\text{SuV}}) \leq 20 \%$). For fraction numbers in column 3C, individual evidence is mandatory. For column 3B, individual evidence is only recommended (ZSVR, 2024).

The 2025 edition will see a fundamental change to the structure of the minimum standard. Hereby, the focus will shift to packaging categories, organised according to the predominant material of the main packaging component. This also serves a closer alignment of the minimum standard with the European Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR).

The previous classification into columns 3A to 3C, which was still included in the 2024 edition, will be replaced by a new format. In annex 3.3 of the 2025 consultation draft, the previous columns 3B and 3C are still shown and listed under the headings 'Individual verification recommended' and 'Individual verification required'. Column 3A is no longer explicitly listed. Packaging categories not listed in Annex 3.3 are automatically subject to the provisions of the former column 3A. The limit values of the former columns 3A-C remain unchanged. To ensure comparability with previous years, this interim report continues to use the previous description (former Annex 1, columns 3A-C).

In summary, it can be stated that the classifications in Annex 1 of the Minimum Standard 2024 can be continued unchanged in the Minimum Standard 2025. One of the reasons for this is that the fractions produced by LWP sorting plants have remained unchanged. Table 2 shows the determined application degrees the Minimum Standard 2025.

¹⁰ An increase in this limit was planned in the 2020/21 sub-report, so it was raised from 50 % to 70 % in the sub-report 2021/22 and from 70 % to 80 % in the sub-report 2022/23 and kept at this level for the sub-report 2023/24.

Table 2: Application degrees of sorting and recovery P(ASuV) of packaging subject to system participation and recommendations for categorisation in the Minimum Standard 2025

Packaging and containing fractions	P(ASuV) in % ¹¹	Classification in M.S. 2025 analogous to prev. column 3A-C
Container glass 100, 101, 102, 103, 104, 105	100	3A (=)
Tinplate packaging, tinplate composites 410, 412	100	3A (=)
Aluminium packaging, aluminium composites, aluminium foil-containing packaging 420	100	3A (=)
PPC packaging from the blue system	99	3A (=)
FKN (liquid packaging board) 510, 512	95	3A (=)
PolyAl (from FKN recycling)	23 – 36	3B (=)
PPC from LWP 550 ¹²	52 – 57	3B (=)
PP, dimensionally stable and semi-rigid packaging ≤ 5 litres 324-0, 324-1, (323-0), (351-X)	89	3A (=)
PE, dimensionally stable and semi-rigid packaging ≤ 5 litres 329-X, (323-0), (351-X)	92	3A (=)
Hollow plastic containers > 5 litres (made of PE or PP) 322, (324-X), (329-X), (323), (351-X)	91	3A (=)
Plastic films 310, 310-1	82	3A (=)
PET bottles, transparent from PET-A (without deposit) 325, (328-0), (328-1), (328-2), (328-3) ¹³	79	3A (=) Explanation of the assignment in the text
PS, dimensionally stable and semi-rigid packaging 331, (351-X)	62	3B (=)
PP, flexible packaging 324-2, 323-2, (323)	27	3B (=)
PE, flexible small-format packaging 323-2, (323), (310-X)	50	3B (=)
EPS 340	0	3C (=)
Other dimensionally stable PET packaging made of PET-A 328-5, 328-6, (328-0), (328-1), (328-2), (328-3) ¹⁴	13 – 62	3C (=) Explanation of the assignment in the text
Packaging made from other plastics not mentioned above, e.g. XPS, PC, PVC, PA, PLA, thermosets, elastomers, compostable plastics; PET-flexibles; stoneware, ceramics, wood, cork, textiles	0	(No sorting and high-quality material recycling infrastructure available via LWP collection)

Source: current survey, on the methodological basis of Dehoust et al. (2021); explanation of the symbols in the 3rd column compared to the information in Annex 1 of the Minimum Standard 2024: ↓ : decline; ↑ : improvement; = : no change

¹¹ Rounded to full percent. More specific numbers are available but lack scientific meaning as the method used does not allow for more specific results.

¹² The range is a result of some sorting plants having used fraction 550 partly for an energy recovery, without having mentioned the exact share in the survey.

¹³ Lower and upper limits (worst case and best case) correspond to the minimum and maximum of all combinations of other dimensionally stable PET packaging in the fractions according to specifications; without deposit.

¹⁴ The lower and upper limits (worst case and best case) correspond to the minimum and maximum of all combinations of other dimensionally stable PET packaging in the fractions according to specifications.

For container glass¹⁵ and packaging made of tinplate and tinplate composites as well as aluminium, aluminium composites, and aluminium foil-containing packaging, the application degree of sorting and recovery $P(A_{SuV})$ is 100 % (corresponding to former column 3A).

For PPC from the blue system, $P(A_{SuV})$ is 99 % and for FKN = 95 %. This also corresponds to former column 3A. High-quality material recycling for the plastic and aluminium components (PolyAl) of FKN is also being conducted on an industrial scale for German system quantities. A German plant for this purpose went into operation in 2021 (EUWID, 2021). A second German plant started operations in 2024 and planned to expand to an industrial scale within the same year. This plant can be taken into account for methodological reasons for the first time in the upcoming survey 2024/25. Small quantities of PolyAl from FKN subject to system participation are also recycled in high-quality material processes abroad. The calculations result in a range for PolyAl between 23 % - 36 % (corresponding to former column 3B). Thus, sorting and high-quality recycling infrastructure can be assumed to a limited extent.

For PPC from LWP, $P(A_{SuV})$ is between 52% and 57% (corresponding to the previous column 3B). Sorting and high-quality recycling infrastructure can still be assumed to a limited extent.

According to plant operators, PPC from LWP has a high contamination level due to, for example, food residues and increased plastic content, which can hinder recycling and reduce fibre yield in the paper mill. Recyclers also noted that PPC from LWP is often mixed with better paper qualities to improve quality (so-called "recipe"). Disposal via the yellow system also leads to the fraction having a high water content. Due to the mentioned problems, the bales are only storable for a limited time. The treatment of the process water can also be problematic, as it must be equipped to sufficiently clean the organic components of the fraction PPC from LWP.

Furthermore, paper mills that produce food packaging have to fulfil strict conditions according to the 36th recommendation of the German Federal Institute for Risk Assessment if "Sorts 5.01, 5.02, 5.03 (DIN EN 643) from selectively collected mixed packaging waste " are used (BfR, 2025). This means that the recycling applications of PPC from LWP are not usable for the food sector without increased effort. A study by the Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung (GVM) assumes that the consumption of fibre-based composite packaging will more than double by 2030 compared to 2020 (GVM, 2024). It should be noted here that the Conference of Environment Ministers is also concerned about the sharp increase in fibre-based composites. They see a need for action for these packages and demand comprehensive measures to improve recyclability and producer responsibility (Lang, 2024).

In the Minimum Standard 2024, an individual evidence is to be provided for fibre-based composite packaging and PPC packaging with non-dry products (except FKN) (ZSVR, 2024). The addition of, for example, wet strength agents or coatings (especially on both sides) to ensure product protection can hinder the disintegration of the packages and thus the recycling (Gürlich et al., 2022). Paper mills stated that emptied fibre-based composite packages for dry contents (e.g., bags for flour and sugar) can generally be easier recycled. These are often not recognized by consumers as composite packaging and are intuitively disposed of in the blue garbage bin.

The application degree of sorting and recovery $P(A_{SuV})$ for rigid and semi-rigid plastic packaging made of PP is 89 % and of PE (e.g., bottles, trays, cups) 92 %. The calculations indicate that the mentioned packages remain in column 3A, as there is a high-quality material recycling pathway for these packaging. This also applies to plastic hollow bodies > 5 liters (of PE and PP, $P(A_{SuV})$ 91 %).

¹⁵ Only $P(A_V)$ is recorded for container glass, as there is no upstream sorting for packaging made from these materials.

$P(A_{\text{SuV}})$ for plastic films is 82 %. The authors recommend that plastic films remain in column 3A. For flexible plastic packaging made of PP, $P(A_{\text{SuV}})$ can be quantified at around 27 % (column 3B). The mono-fraction PP-flex (324-2) was included. $P(A_{\text{SuV}})$ for small-format flexible PE packaging is approximately 50 % (corresponds to former column 3B).

$P(A_{\text{SuV}})$ for rigid and semi-rigid packaging made of PS is around 62 %. Thus, PS should continue to be assigned along the lines of the former column 3B.

For transparent PET bottles (excluding deposit containers) a range between the lower and upper limits (worst case and best case) of packaging shares in the PET fractions 325 and 328-(0-3) was determined. Given to the minimal difference, $P(A_{\text{SuV}})$ can be rounded to 79%. The authors recommend that transparent PET bottles continue to be listed corresponding to column 3A in the upcoming Minimum Standard 2025. In light of $P(A_{\text{SuV}})$ close to the limit value, but inside the statistic uncertainty of the chosen method, the authors deem it necessary to access in the next survey, if PET bottles should be listed according to former column 3B. Such a changed listing should only be pursued, if it is caused by a real deterioration of the practice of sorting and recovery; it should not happen only due to statistical uncertainties.

For other rigid PET packaging, a range of $P(A_{\text{SuV}})$ from 13 – 62 % was determined due to methodologic necessities. The worst case and best case correspond to the minimum and maximum of all combinations of other PET packaging shares in the following fractions: 328-(0-6)¹⁶. An application degree of 13 % only results if other rigid PET packaging could only be recycled in high-quality material processes through fractions 328-5 and 328-6 ("PET trays"). Due to the following restrictions, the authors recommend that other rigid PET packaging continues to be listed according to the former column 3C:

- ▶ The best case of 62 % is only achievable in a specific combination of shares of other PET packaging in the PET fractions 328-(0-6). All other combinations are below this percentage.
- ▶ The upper limit of the above-mentioned range assumes that both mono- and multi-layer trays are included. The inclusion of multi-layer trays is implausible, as some PET recyclers indicated that they pre-sort multi-layer PET trays. However, there are no specific figures available to quantify the impact.
- ▶ Evidence from the industry sector indicates that not all LWP sorting plants which reported sorting PET tray fractions 328-5 and 328-6 do so consistently throughout the year. The methodology of this study does not account for such variations over the course of the year, meaning that the determined sorting application rates tend to overestimate actual practice.

In the authors' assessment, these factors – which cannot be precisely quantified in this study – mean that the actual application rate will be significantly below the 20% threshold relevant for classification under the 2025 minimum standard (corresponding to the former column 3C). This also appears appropriate given that

- ▶ the market volume of PET trays and, consequently, the volume found in the LWP collection is estimated by stakeholders to be in the range of 120 to 150 kt¹⁷, although, according to the volume flow record 2023, only a quantity of the PET tray sorting fractions (328-5, 328-6) of less than 10 kt was supplied to facilities carrying out high-quality material recycling.

¹⁶ Fraction 328-6 was booked in the 2021 MSN, which is why it was included for the first time in Annex 1 of the Minimum Standard 2023. It was not included in the MSN 2023, but is still listed in this report because, like fraction 328-5, it specifies the mono fraction 'PET trays' and could be included again in future MSN.

¹⁷ The volume of PET trays in the LWP collection was estimated at around 120,000 t by Dehoust et al. (2021). Stakeholders are currently estimating the market volume at around 150,000 t.

Efforts are currently underway to expand capacities for high-quality material recycling of system-relevant PET trays abroad (EUWID Packaging, 2024). The authors recommend continuing to monitor current developments in this area.

For EPS packaging, there is no high-quality material recycling pathway if it is collected through the LWP collection (yellow bag, yellow garbage bin). $P(A_S)$ for EPS is 0 %, and thus $P(A_{SuV})$ is also 0 %. Therefore, EPS should thus continue to be classified according to former column 3C. EPS is currently not sorted and recycled on an industrial scale via LWP sorting centres. It ends up in the sorting residue and is subsequently energetically recovered. There is only a recycling path for EPS, which is collected separately and unmixed via municipal collection points and industrial and commercial collections (Lindner et al., 2019). A pilot project demonstrated that sorting EPS packaging as a mono fraction through LWP collection and high-quality recycling into new EPS packaging would be possible. Until recently, sorting EPS in LWP sorting centres was considered uneconomical due to its low weight and degree of contamination (EUWID Packaging, 2022; Lindner et al., 2019).

For XPS packaging, there is also no high-quality material recycling pathway via the LWP collection. They are therefore not recyclable. For packaging made from other, previously unmentioned plastics such as PC, PVC, PA, PLA, thermosets, elastomers, and compostable plastics, as well as stoneware, ceramics and natural materials like wood or cork, textiles (natural and synthetic fibres) there are currently no high-quality material recycling pathways via the LWP collection. This also applies to PET-flexibles (PET-films), that are disposed of in the LWP collection. For these packaging, future changes could occur if the corresponding sorting and recycling infrastructure were to be developed. In the consultation version for the Minimum Standard 2025, the list of examples for which no infrastructure currently exists via the LWP collection was expanded. Examples listed now include further materials of Annex II table 1 PPWR (ZSVR, 2025).

Results and Recommendations for the Minimum Standard – State of the Art

Due to high standardization, there are generally only a few path branches in the recovery of the aforementioned packaging with high-quality material recycling paths. The report also highlights changes in process technology and refers to innovative technical potentials in recycling.

A notable trend in glass processing is the use of Near-Infrared (NIR) technology. This technology allows for the identification and separation of plastic components and represents the state of the art. One glass processor mentioned that this technology is particularly helpful for identifying transparent plastic pour spouts, which cannot be separated using transmitted light technology in the CSP separator (CSP stands for ceramics, stones, and porcelain). Furthermore, labels adhered to glass shards are also detected, allowing for subsequent mechanical label removal. The technology also enables the detection and ejection of plastic-containing foreign objects, such as PMMA (acrylic glass) and polycarbonate. According to the current survey, the probability that glass packaging encounters a glass processing plant with an NIR separator is about 15 %. This value has increased about five times compared to the sub-report 2020/21. Glass recyclers made the statement that NIR separators will gain importance in glass processing technology in the years ahead.

With regard to the differences in LWP sorting, an increase in fine grain screening at ≤ 20 mm by 14 percentage points was observed compared to 2019. This clearly shows a shift towards finer machine widths, as became apparent in the sub-report 2022/2023. This variant is still considered as state of the art (conversation with Dr. Christiani on February 14, 2024). In this variant, fine-grain sieving typically uses a vibrating screen with a long-hole mesh, allowing for the sorting of small packaging and providing a chance for high-quality mechanical recycling.

Another result of the survey of the LWP sorters (excluding recycling) is a steady increase in the $P(A_S)$ of the PO-flex fraction compared to previous years. Compared to 2019, $P(A_S)$ has increased by about 20 percentage points. One possible reason is that this fraction had to establish itself as an alternative to the mixed plastics fraction. Additionally, the PP-flex fraction is increasingly provided as a mono fraction for recycling, with a $P(A_S)$ for PP-flex around 15 % for 2024. As in previous years, only a few LWP sorting centres possess the process technology to separate and prepare black (soot-based colouring) plastics as a mono fraction for recycling. These developments should continue to be monitored.

Modern sorting technologies such as artificial intelligence (AI)-based object recognition combined with NIR technology or sorting robots can serve as an alternative to manual sorting. For example, they can be used to sort silicone cartridges from the PE fraction (Knappe et al., 2021; Kuchta et al., 2023). It is known from public sources that sorting robots and AI-based object recognition are already in use in some LWP sorting centres (Friedl, 2022; Interzero, n.d.; PreZero, 2022; Thissen, 2022). Potential further applications of these technologies include separating food and non-food packaging or ejecting specific unwanted objects or packaging. They can also serve to separate certain packaging shapes or mono- and multilayers (Kuchta et al., 2023).

The washing process in plastic recycling enables the removal of adhesive residues, attachments, and labels. For PET recyclers, hot washing is still the general practice. At other plastic recycling plants surveyed, washing was predominantly carried out with cold water. However, there are by now other plastic recyclers (PE and PP recyclers) that use hot washing. For PE recyclers a quantity was given for the first time in sub-report 2022/23: about 16 % of the total input to recovery plants is processed in plants using hot washing. Hot washing is performed for intensive cleaning of the regrind surface from substances such as fats and labels and for odour reduction. To achieve better cleaning performance, the wash water is heated to a specific temperature and detergents may be added. Hot washing can improve the quality of the recyclates and expand their range of applications (Knappe et al., 2021). The washing temperature in plastic recycling should continue to be queried and monitored in upcoming surveys.

Some PE and PP recycling plants indicated that they perform regrind post-sorting by colour or material. Colour post-sorting enables the separation of light regrind for use in suitable applications (Knappe et al., 2021). For PE this can be quantified: about 24 % of the total input to recycling plants is processed in plants performing regrind post-sorting (by colour or material).

Both hot washing and regrind post-sorting represent the state of the art for PP and PE recyclers (conversation with Dr. Christiani on February 14, 2024). It is also known from the survey that, with minor volume relevance, decontamination is used as a process for PP and PE. This allows for the removal of non-volatile, high-molecular-weight substances in the regranulate, enabling odour reduction (Szombathy, 2021). No quantity indication can be made for competitive reasons.

Process techniques such as delamination, deinking, and solvent-based methods for plastic packaging are not yet in use on an industrial scale for German system volumes, according to current survey results.

In the area of aluminium packaging recycling, modern sensor technologies such as X-ray technologies (X-ray fluorescence spectroscopy – XRF or X-ray transmission analysis – XRT) or laser technology LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) represent the state of the art. With LIBS, packaging can be sorted by alloy groups. X-ray technologies can separate non-ferrous metals such as copper or zinc from the aluminium fraction (Raatz et al., 2022). About 55 %, meaning more than half of the total input to aluminium recycling plants, is processed in plants

using sensor-based sorting technologies (XRF and/or LIBS). This is the first time these sorting technologies have been quantified in the sub-report 2022/23. Their usage is also known from various public sources (Mirosavljevic, 2021; PreZero Pyral, n.d.; Reissner, 2021; Seifert, 2019).

Results and Recommendations for the Minimum Standard – Problematic Packaging Features in Sorting and Recovery

The survey for this sub-report offered sorters and recyclers the opportunity to assess the relevance of problematic packaging and components that can cause specific issues in the process. In the previous sub-report, there was an adjustment to the evaluation levels for querying and assessing sorters' and recyclers' views on recycling incompatibilities and problematic packaging features compared to previous surveys. For instance, it distinguishes between packaging features that can be separated but cause a loss of material value, and those that can slightly or drastically degrade the quality of recyclates. The survey revealed that sorters and recyclers mostly confirmed the packaging features and recycling incompatibilities listed in Annex 2 and Annex 3 of the Minimum Standard. They also had the opportunity to identify additional critical packaging and components that could cause problems during separation, sorting, and recycling. This sub-report provides recommendations on these additional mentions and their relevance to the Minimum Standard.

Recyclate Applications

The sub-report again presents the applications of recyclates from recycling plants based on quantity. The data basis was improved by asking plants for the sub-report 2022/23 to specify the proportion of recyclates used in different applications. The recyclate applications indicate the quality of recycling in the sense of the Minimum Standard. The results are shown in Figure 2. The listed recyclate applications are considered reference processes (high-quality mechanical recycling) as they replace virgin material in typical applications in the context of the Minimum Standard. The use can be both in original applications (primary applications) and in secondary applications.

Non-reference processes include, for example, the use of paper fibres in insulation products or road construction. Similarly, plastic recycling plants that mention intrusions products (e.g., palisades, fences, park benches) that replace wood, concrete, or natural stone as recyclate applications are not considered high-quality mechanical recycling in the context of the Minimum Standard.

Conclusion

Existing process technologies in sorting and recycling plants for German packaging waste already achieve high-quality mechanical recycling. However, the technical possibilities have not yet been fully exploited. In some cases, the state of the art differs from the current practice. This sub-report identifies newer technical approaches, such as NIR technology in glass processing plants, which can improve the recyclability of packaging in terms of the Minimum Standard.

The sub-report also discusses the problems reported by sorters and recyclers and makes recommendations for considering the practice of sorting and recovery in the Minimum Standard (Chapters 3 and 4).

Figure 2: Recyclate applications of the reference plants for packaging subject to system participation (reference years 2022/2023)¹⁸

LDPE / Foils	Injection moulding, extrusion films/thermoforms, blown films, extrusion applications
PP, PE, PO- und PP-flex	Injection moulding or centrifugal moulding , extrusion films/thermoforms, blow moulding
PS	Injection moulding
PET bottles (without deposit)	PET films, PET preforms, polyester fibres, strapping tapes
Other dimensionally stable PET packaging	PET films
Tinplate	Steel products , casting applications in foundries, automotive industry, packaging
Aluminium	Aluminium casting alloys and wrought alloys, packaging (e.g. cans), automotive industry, foundry additives, deoxidising agents
FKN (liquid packaging board)	Corrugated base paper , tissue paper, cardboard and paperboard (PolyAl: injection moulding)
PPC from LWP	Corrugated base paper , cardboard and paperboard
PPC (blue system)	Corrugated base paper , cardboard and paperboard, tissue paper, other papers
Behälterglas	Container glass

Source: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), German Environment Agency (editorial error is fixed: “or centrifugal moulding” for PP, PE, PO- and PP-flex is added)

¹⁸ Applications formatted in bold indicate the most dominant application. If the most dominant application was unclear due to a lack of data, none of the applications were formatted in bold.

1 Einleitung

Die Verordnung (EU) 2025/40 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Dezember 2024 über Verpackungen und Verpackungsabfälle, zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und der Richtlinie (EU) 2019/904 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 94/62/EG (Abl. L 40 v. 22.01.2025, S. 1; im Folgenden: EU-Verpackungsverordnung, PPWR) gilt ab dem 12.08.2026. Sie löst die Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle ab. Die PPWR hat das Ziel, eine EU-weite Harmonisierung der Vorschriften für Verpackungen und Verpackungsabfälle zu schaffen. Sie zielt im Artikel 6 darauf ab, dass alle in Verkehr gebrachten Verpackungen bis 2030 recyclingfähig sein sollen. Eine industrielle Recyclingfähigkeit im großen Maßstab („recycled at scale“) ist für alle Verpackungen ab 2035 vorgesehen. Die Kriterien zur Bewertung einer recyclingorientierten Verpackungsgestaltung und die Bewertungsmethode für die Recyclingfähigkeit im großen Maßstab werden in delegierten Rechtsakten und Durchführungsrechtsakten festgelegt werden. Zudem sollen Beteiligungsentgelte anhand der Recyclingfähigkeit der Verpackungen bemessen werden (Eco Fee Modulation). Ab 1. Januar 2030 dürfen Verpackungen nicht mehr in Verkehr gebracht werden, wenn sie eine Recyclingfähigkeit unter 70 % besitzen (Art. 6 PPWR).

Auf nationaler Ebene verpflichtet das Verpackungsgesetz (VerpackG) bereits seit 2019 die dualen Systeme gemäß § 21, ein recyclinggerechtes Verpackungsdesign über finanzielle Anreize zu fördern. Ziel ist es, ein hochwertiges Recycling zu stärken, um negative Umweltauswirkungen von Verpackungsabfällen sowie den Einsatz von Rohstoffen zu reduzieren. Nicht hochgradig recyclingfähige Verpackungen sollen prinzipiell mit höheren Beteiligungsentgelten als gut recyclingfähige Verpackungen belegt werden. Zur Ermittlung der Recyclingfähigkeit muss die Praxis der Sortierung und Verwertung (§ 21 Abs. 1 Nr. 1 VerpackG) berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass sich die dualen Systeme zur Bemessung der Beteiligungsentgelte auf Basis der Recyclingfähigkeit von Verpackungen an den tatsächlichen Möglichkeiten und Grenzen der eingesetzten Sortier- und Verwertungsanlagen für Verpackungsabfälle orientieren müssen.

Die vorliegende Studie gibt einen Überblick der ermittelten Praxis der Sortierung und Verwertung (SuV) von Verpackungsabfällen aus der Sammlung der deutschen dualen Systeme in den Jahren 2023 und 2024. Der vorliegende vierte Teilbericht 2023/24 baut auf dem Teilbericht 2022/23 UBA-TEXTE 121/2024 (Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024) auf. Sortierer und Verwerter deutscher Verpackungsabfälle aus der Sammlung der Systeme wurden nach aktueller Prozesstechnik und konkreten Problemen bei der Trennung, Sortierung und Verwertung befragt. Über eine mengenbasierte Berechnung eines spezifischen Kennwerts kann eine Aussage über das Vorhandensein einer Sortier- und Verwertungsinfrastruktur für diese Abfälle getroffen werden.

Gemäß VerpackG veröffentlicht die Zentrale Stelle Verpackungsregister (ZSVR) im Einvernehmen mit dem Umweltbundesamt (UBA) jährlich bis zum 1. September einen „Mindeststandard zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG“. Die vorliegenden Studienergebnisse sollen als wissenschaftliche Grundlage für diesen Mindeststandard (insbesondere die bisherigen Anhänge 1, 2 und 3) dienen.

Teilbericht 2020/21, Teilbericht 2021/22, Teilbericht 2022/23 und der vorliegende Teilbericht 2023/24 stellen eine Fortführung und Aktualisierung des Berichts UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021) dar. Zunächst wird die von Dehoust et al. verwendete Methode zusammengefasst und deren Weiterentwicklung erläutert. Darauf folgend werden die Berechnung des Kennwerts „Anwendungsgrad“ sowie der Begriff der „hochwertigen werkstofflichen Verwertung“ erklärt. Anschließend wird die quantitative Darstellung der

Rezyklatanwendungen beschrieben. Außerdem werden die Qualitätssicherung des Berichts und der zugrundeliegenden Daten dargelegt. Darauf aufbauend werden die aktuell bestehenden Sortier- und Verwertungspfade auf Basis der Erhebung veranschaulicht und die dazugehörigen Sortier- und Verwertungsprozessvarianten mengenmäßig dargestellt. Die von den Akteuren der Entsorgungsbranche genannten Probleme werden aufgelistet und diskutiert. Änderungen in der Prozesstechnik gegenüber den bisherigen Bezugsjahren sowie innovative technische Potenziale beim Recycling werden beschrieben. Der Bericht endet mit einer Empfehlung zur Berücksichtigung der Praxis der SuV für den Mindeststandard.

2 Methode und Begriffserläuterungen zur Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung

2.1 Kurzbeschreibung der Methode

Die Praxis der Sortierung und Verwertung (Praxis der SuV) soll die Mengenströme im jeweiligen Bezugsjahr auf die verschiedenen Sortier- und Verwertungspfade mengenbezogen charakterisieren. Das bedeutet, dass die Sortier- und Verwertungspfade erfasst werden und jedem Pfad eine Menge zugeordnet wird. Dehoust et al. haben dafür im Bericht UBA-TEXTE 11/2021 eine Methode zur Ermittlung der Praxis der SuV entwickelt und erstmals für das Bezugsjahr 2019 angewendet (Dehoust et al., 2021). Für den vorliegenden Bericht wurde wiederholt mit dieser Methode gearbeitet.

Die generellen Arbeitsschritte zur Durchführung der Methode sind unverändert. Die Methode wurde u. a. in den Teilberichten 2020/21, 2021/22, 2022/23 sowie im vorliegenden Teilbericht 2023/24 wie folgt weiterentwickelt:

- ▶ Bereits im Teilbericht 2020/21 wurden die Kennwerte neu bezeichnet und die Symbolik an die Wahrscheinlichkeitslehre angelehnt.
- ▶ In den Teilberichten 2020/21 und 2021/22 wurde jeweils ein dedizierter Kennwert in Form einer Spannweite für transparente PET-Flaschen und sonstige formstabile PET-Verpackungen eingeführt.
- ▶ Im Teilbericht 2022/23 wurden die von den Letztempfängeranlagen angegebenen Rezyklatanwendungen erstmals quantitativ erfasst. In den vorherigen Teilberichten sollten die Verwerter nur angeben, in welche Rezyklatanwendungen das Rezyklat fließt, ohne den Anteil zu nennen.
- ▶ Die Aufbereiter und Verwerter von Aluminium- und Eisenmetallverpackungen wurden im Teilbericht 2022/23 zum zweiten Mal befragt.
- ▶ Angesichts des stetigen Ausbaus der Infrastruktur zur Verwertung der Kunststoff- und Aluminiumanteile (PolyAl) von Flüssigkeitskartons (FKN) in Europa, wurden die entsprechenden Verwerter für den Teilbericht 2022/23 nach Mengen und Rezyklatanwendungen befragt. Erstmals wurden auch die PolyAl-Anteile im Output der Papierfabriken erfasst, die die Papierfasern von FKN recyceln. Dies ermöglicht eine Abschätzung der verfügbaren PolyAl-Mengen aus systembeteiligungspflichtigen FKN.
- ▶ Im Teilbericht 2021/22 wurden die PPK-Sortieranlagen erstmals befragt. Im Teilbericht 2023/24 wurde auf eine erneute Befragung verzichtet und es wird auf die Ergebnisse in Teilbericht 2021/22 verwiesen.
- ▶ Die LVP-Sortieranlagen wurden im Teilbericht 2022/23 und nunmehr erneut für den Teilbericht 2023/24 befragt, in welchem Umfang die Fraktion PPK aus LVP (550) einem Recycling zugeführt wird. Diese Angaben wurden in die Berechnungen integriert und nicht nur deskriptiv dargestellt.
- ▶ Im Teilbericht 2022/23 wurden die Bewertungsstufen für die Abfrage und Einschätzungen der Sortierer und Verwerter zu den Recyclingunverträglichkeiten und problematischen Verpackungsmerkmalen angepasst. Es wird nun beispielsweise unterschieden zwischen Verpackungsmerkmalen, die abgetrennt werden können, aber einen Wertstoffverlust

hervorrufen sowie welchen, die die Rezyklatqualität geringfügig oder drastisch verschlechtern können.

Die Ermittlung der Praxis der SuV im vorliegenden Bericht basiert auf einer für die Bezugsjahre 2023 und 2024 durchgeführten Erhebung. Verwendet werden die jeweils aktuellen prognostizierten Gesamt-Verarbeitungsmengen der LVP-Sortieranlagen in Tonnen pro Jahr (Bezugszeitraum 2024) sowie die Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen aus dem Mengenstromnachweis (MSN) für das Bezugsjahr 2023. Wenn keine Rückmeldung in der aktuellen Erhebung erfolgte, wurden entweder (1) Antworten von LVP-Sortieranlagen und Letztempfängeranlagen aus vorherigen Teilberichten wiederverwendet und/oder (2) Inhalte aus Letztempfängerzertifikaten übernommen. Die Daten aus den verschiedenen Quellen werden zur Vereinfachung im Folgenden als „**aktueller Datenbestand**“ bezeichnet“.

Eine umfassende Erläuterung der Methode kann im zuvor genannten Bericht von Dehoust et al. nachgelesen werden. Der Bericht von Dehoust et al. umfasst weiterhin zahlreiche Definitionen und juristische Begriffserklärungen zur Praxis der SuV (Dehoust et al., 2021, Kapitel 2). Für umfangreiche Begriffserklärungen wird daher an dieser Stelle darauf verwiesen.

Dehoust et al. definieren die Praxis der SuV folgendermaßen:

„Die Praxis der Sortierung und Verwertung gem. § 21 Abs. 1 VerpackG ist als Grundlage für die Ermittlung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen deskriptiv zu ermitteln. Sie beschreibt alle am Markt in Deutschland vorhanden und tatsächlich mit Mengen belieferten Sortier- und Verwertungsanlagen. Dies schließt Anlagen im Probebetrieb, die einen tatsächlichen Verwertungsweg am Markt eröffnen, sowie Anlagen im Ausland, die nachweislich Mengen der Systeme aus Deutschland verarbeiten, ein. Erfasst werden sowohl Anlagen, die dem Stand der Technik entsprechen als auch solche, die diesem Stand nicht entsprechen. Nicht mit eingeschlossen sind Anlagen im Labor- und Technikumsmaßstab, Pilotanlagen und Anlagen im Testbetrieb, die keinen Verwertungsweg am Markt eröffnen.“ (Dehoust et al., 2021, S. 78)

Die Ermittlung der Praxis der SuV im vorliegenden Bericht basiert auf einer für die Bezugsjahre 2022 und 2023 durchgeführten Erhebung. Auf eine erneute vollumfängliche Erhebung wurde verzichtet, um der aktuellen schwierigen wirtschaftlichen Lage vieler Stakeholder Rechnung zu tragen und bürokratische Belastungen zu reduzieren. Das Vorgehen ähnelt insoweit der schlanken Aktualisierung, die bereits zuvor im Teilbericht 2021/22 erfolgte. Für den vorliegenden Teilbericht wurden Antworten von Letztempfängeranlagen aus dem Teilbericht 2022/2023 (Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024) wiederverwendet. Um die Ergebnisse aus diesem Teilbericht wiederzuverwenden, wurden für die aktuelle Befragung Inhalte aus dem bereits aktualisierten „Mindeststandard zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG“ in der Fassung des 31.08.2023 (ZSVR, 2023) übernommen. Das letztgenannte Dokument wird im Folgenden mit dem jeweiligen Erscheinungsjahr gekennzeichnet vereinfacht als „Mindeststandard“ bezeichnet. Für den Teilbericht 2022/2023 wurden die überarbeiteten Erhebungsbögen an Akteure der Entsorgungsbranche versendet, deren Anlagen im Jahr 2022 mit Mengen der dualen Systeme aus Deutschland beliefert wurden. Dazu gehören die folgenden Anlagen:

- ▶ Sortieranlagen von LVP (Leichtstoffverpackungen),
- ▶ Letztempfängeranlagen von LVP:
 - Kunststoffverpackungen aus Folie, PET (Polyethylenterephthalat), PS (Polystyrol) sowie formstabilen und flexiblen Verpackungen aus PE (Polyethylen) und PP (Polypropylen),

- FKN,
 - PPK aus LVP (Papier, Pappe, Kartonagen aus der LVP-Sortierung),
 - Aufbereitungs- und Verwertungsanlagen für Weißblechverpackungen,
 - Aufbereitungs- und Verwertungsanlagen für Aluminiumverpackungen,
- Letztempfängeranlagen von PPK aus dem Blauen System,
 - Letztempfängeranlagen (Aufbereitungsanlagen) von Behälterglas,
 - Verwerter von Kunststoff- und Aluminiumanteilen (PolyAl) von FKN.

Im vorliegenden Teilbericht 4 wurden die Erhebungsergebnisse und Angaben der Letztempfängeranlagen aus dem Teilbericht 2022/2023 wiederverwendet. Neue Letztempfängeranlagen sowie Letztempfängeranlagen, die bisher keinen Erhebungsbogen zurücksendeten, wurden bei der aktuellen Erhebung kontaktiert bzw. erneut kontaktiert. Weiterhin wurden folgende Anlagen für den Teilbericht 2023/2024 befragt:

- Sortieranlagen von LVP mit ausgewählten Fragen.

Die Adressdaten und Letztempfängerzertifikate wurden durch die Zentrale Stelle Verpackungsregister (ZSVR) zur Verfügung gestellt. Die Adressdaten entstammten den MSN 2023 sowie den Stammdaten der Software wme.fact.¹⁹ Die überarbeiteten Erhebungsbögen sowie der Fragenkatalog (nur LVP-Sortieranlagen) wurden per E-Mail versendet und sind im Anhang A (A.1 bis A.14) dargestellt. Sie wurden nur geringfügig (insbesondere redaktionell) zur vorangegangenen Befragung des Teilberichts 2022/2023 angepasst, um vergleichbare Ergebnisse sowie eine gemeinsame Auswertung zu gewährleisten. Um die Rücklaufquote zu erhöhen, wurden an einige Anlagen Erinnerungsschreiben nach Ablauf der Frist versendet und es erfolgten telefonische Kontaktaufnahmen.

Da es sich bei den PolyAl-Verwertern nicht um Letztempfängeranlagen handelt, liegen der ZSVR zu diesen Anlagen keine Zuführungsmengen vor. Als Ausgangslage für die Auswahl der PolyAl-Verwerter im Teilbericht 2022/23 dienten die „PolyAl Recyclers“ auf der Website von EXTR:ACT²⁰. Nach Absprache mit EXTR:ACT wurden an vier PolyAl-Verwerter im Ausland die im Anhang A.15 dokumentierten Fragen per E-Mail gestellt. Aus öffentlichen Quellen ist bekannt, dass aktuell zwei PolyAl-Verwerter in Deutschland in Betrieb sind (FKN, 2024). Von einem PolyAl-Verwerter lag UBA ein Zertifikat vor, welches auszugsweise zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des Berichts auch öffentlich online einsehbar ist (Christiani, 2023). Der andere PolyAl-Verwerter wurde in Absprache mit dem Anlagenbetreiber in den vorliegenden Bericht noch nicht einbezogen. Dies sollte für zukünftige Ermittlungen der Praxis der SuV wiederholt geprüft werden. Für den vorliegenden Teilbericht wurde auf die Befragungsergebnisse des Teilberichts 2022/23 zurückgegriffen.

Die finalen Rücklaufquoten und abgedeckten Mengenanteile der Befragung sind im Kapitel 3 unter den jeweiligen Abschnitten dargelegt. Das Ergebnis wurde als repräsentativ gewertet,

¹⁹ <https://www.wme-fact.de/>.

²⁰ <https://www.extr-act.eu/our-recyclers/> (nicht mehr abrufbar, Stand 10/2025). Der Nachfolgeverband stellt nunmehr eine Landkarte zur Verfügung, vgl. <https://fbcaglobal.com/our-focus-areas/circularity>.

wenn auf Basis des aktuellen Datenstands der Mengenanteil der Verwerter mindestens 80 % an der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023 betrug²¹.

Die Sortierer und Verwerter wurden in den Erhebungsbögen nach aktuellen Prozesstechniken und spezifischen Problemen bei der Trennung, Sortierung und Verwertung befragt. Die detaillierte Auswertung der Erhebungsbögen ist Anhang B (B.1 bis B.13) zu entnehmen. Diese Anhänge können aufgrund von enthaltenen Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen nicht veröffentlicht werden.

Folgende grundsätzliche Arbeitsschritte sind notwendig, um die Praxis der SuV für das jeweilige Bezugsjahr zu ermitteln und darzustellen. Zusätzlich ist angegeben, welche Arbeitsschritte für die aktuelle Befragung nur bedingt stattfanden:

- ▶ Aktualisierung und Überarbeitung der Erhebungsbögen (Anpassungen der Fraktionsnummern, Recyclingunverträglichkeiten, Prozesstechniken etc.). Hinweis: Dies erfolgte für Teilbericht 2023/2024 für Fragebögen aus dem Teilbericht 2022/2023 nur redaktionell, um Ergebnisse der Teilberichte gemeinsam verwenden zu können.
- ▶ Versendung der überarbeiteten Erhebungsbögen an die jeweiligen Sortierer und Verwerter bzw. Aufbereiter. Die PolyAl-Verwerter wurden separat befragt. Hinweis: An die LVP-Sortierer, die bei der Erhebung im letzten Bezugszeitraum teilnahmen und einen Erhebungsbogen ausgefüllt haben, wurden lediglich ausgewählte Fragen versendet, kein vollständiger Erhebungsbogen (Anhang A.1.2). Verwerter, für die ein ausgefüllter Erhebungsbogen aus der vorigen Befragung vorlag, wurden aufgrund des geringen Zeitabstandes nicht erneut befragt. Aus dem gleichen Grund wurden PolyAl-Verwerter ebenfalls nicht befragt. Im Vorjahr nicht belieferte Verwerter wurden nur dann mit dem Fragebogen kontaktiert, sofern größere Mengen in die Anlagen geliefert wurden. So wurden z.B. Anlagen nicht angeschrieben die lediglich mit 20 t Belieferungsmenge im Mengenstromnachweis geführt sind. Auch diese Verschlinkung des Verfahrens erfolgte zur Vermeidung bürokratischer Belastungen und ist angesichts der geringen Belieferungsmengen ohne signifikante Auswirkung auf das Gesamtergebnis.
- ▶ Auswertung der Angaben in den Erhebungsbögen und Berechnung der Anwendungsgrade. Eine detaillierte Beschreibung dazu ist im Abschnitt 2.2 enthalten.
- ▶ Erstellung von Fließdiagrammen zur Abbildung der Sortier- und Verwertungsprozessvarianten, Pfadbeschreibungen.
- ▶ Erstellung von Plots für die quantitative Visualisierung der Rezyklatanwendungen.
- ▶ Erstellung von Balkendiagrammen zur Verdeutlichung der Anwendungsgrade und der Einschätzung zur Variante „Stand der Technik“ („beste verfügbare Technik“, engl. „best available techniques“ – BVT). Diese Einschätzung erfolgt, um die Sortier- und Verwertungsprozesse zu identifizieren, die zwar noch in der Praxis verfügbar sind, aber historisch gewachsene Prozesse darstellen, die bereits in anderen Anlagen durch fortschrittlichere Prozesse ersetzt wurden. Für eine umfassende Begriffserklärung zum „Stand der Technik“ wird an dieser Stelle auf den Bericht von Dehoust et al. (2021) verwiesen. Die Zuordnung der Prozessvarianten zum Stand der Technik basiert im vorliegenden Bericht auf der Einschätzung von Fachexpert*innen des UBA und eines externen Experten (Gespräche mit Dr. Christiani am 14.02.2024 und 09.05.2025). Im

²¹ Im Teilbericht 2020/21 war die Erhöhung dieser Grenze vorgesehen, daher wurde sie im Teilbericht 2021/22 von 50 % auf 70 % und im Teilbericht 2022/23 von 70 % auf 80 % angehoben.

vorliegenden Bericht sind die Balkenabschnitte, die als Stand der Technik-Prozessvarianten eingestuft wurden, grün (hell- oder dunkelgrün) gekennzeichnet. Prozessvarianten, die nicht als „Stand der Technik“ eingestuft wurden, werden als „sonstige betriebliche Praxis“ gekennzeichnet. Ausgenommen sind hierbei Prozessvarianten von Anlagen, die nicht den Referenzprozessen entsprechen. Diese sind in Balkenabschnitten grau dargestellt (weitere Erläuterungen dazu in den folgenden zwei Abschnitten 2.2 und 2.3).

- Zusammenstellung und ggf. Bewertung der Einschätzungen der Sortierer und Verwerter zu den Recyclingunverträglichkeiten und problematischen Verpackungsmerkmalen.

2.2 Berechnung der Anwendungsgrade

Als Kennwert der Praxis der SuV wurde der mengenbezogene **Anwendungsgrad** verwendet, welcher durch Dehoust et al. folgendermaßen definiert wird:

„Zentrale Kenngröße bildet der massebezogene Anwendungsgrad eines Recyclingpfades bezogen auf die gesamte Sammelmenge (LVP, PPK oder Glas). Hiermit wird am ehesten die Wahrscheinlichkeit abgebildet, mit der eine bestimmte Verpackung, soweit sie vom Endverbraucher in die getrennte Erfassung gegeben wird, einer bestimmten Verwertungsart unter jeweiligen Prozessbedingungen zuzuordnen ist. Der jeweilige Weg durch die Verwertungskaskade wird als Pfad tituliert. Beziffert werden nur die Pfade, die zu Rezyklat führen, mit denen der korrespondierende Primärwerkstoff substituiert wird.“ (Dehoust et al., 2021, S. 97)

Weiterhin ist zu berücksichtigen:

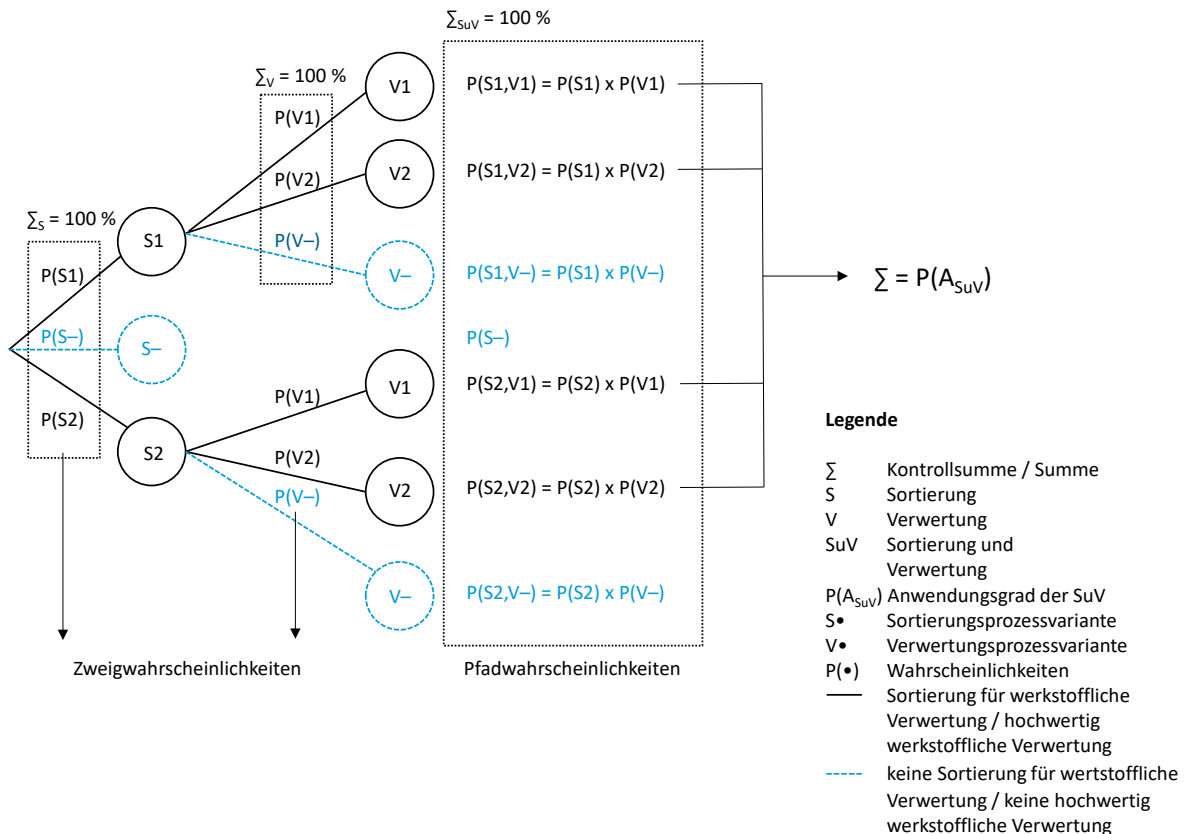
„Um Fehlinterpretationen des (aus Mengenstromdaten entwickelten) Anwendungsgrades vorzubeugen, sei nochmals betont, dass dieser keine eigenständige Bilanzierungsgröße bezüglich der Recyclingfähigkeit einer Verpackung bzw. einer Verpackungsgruppe darstellt. Er bildet lediglich das Vorhandensein und die Verteilung von Verwertungsstrukturen (Referenzprozessen) ab, die eine Verpackung in der Praxis durchlaufen muss, um teilweise oder vollständig zum Rezyklat zu werden. Ein Anwendungsgrad von 100 % sagt also nichts darüber aus, ob und in welchem Umfang eine zuzuordnende Verpackung am Ende des Recyclingpfades zum Rezyklat (im Sinne eines materialidentischen Neuwaresubstituts) wird, sondern lediglich, dass für diese Verpackung zu 100 % entsprechende Referenzprozesse in der Praxis ausgebildet sind.“ (Dehoust et al., 2021, S. 96)

Da der Anwendungsgrad eine Wahrscheinlichkeit ausdrückt, ähnelt die Berechnung des Anwendungsgrades der Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten mehrstufiger Zufallsexperimente. Die Rechenregeln für den Anwendungsgrad entsprechen dabei den Pfadregeln eines Baumdiagramms:

1. Die Wahrscheinlichkeit eines Pfades berechnet sich aus dem Produkt der dazugehörigen Zweigwahrscheinlichkeiten (Produktregel);
2. Die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses berechnet sich aus der Summe der dazugehörigen Pfadwahrscheinlichkeiten (Summenregel);
3. Alle Zweige, die von einem Knoten abgehen, tragen Wahrscheinlichkeiten, deren Summe gleich 1 bzw. 100 % ist (Schneider, 2015).

Abbildung 3 stellt beispielhaft ein Baumdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung des Anwendungsgrades der Sortierung und Verwertung $P(A_{\text{SuV}})$ dar. Die Symbolik für die Anwendungsgrade ist an die Wahrscheinlichkeitslehre angelehnt. Das Prädikat P steht dabei für die Wahrscheinlichkeit (engl. probability), dass ein Ereignis eintritt. A ist das Ereignis, für das die Wahrscheinlichkeit berechnet wird. Das Subskript gibt an, ob das Ereignis die Sortierung (S), die Verwertung (V) oder sowohl Sortierung und Verwertung (SuV) betrifft.

Abbildung 3: Baumdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung des Anwendungsgrades der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$



Quelle: Grummt (2022)

In Abbildung 4 sind die Definitionen der drei verschiedenen Anwendungsgrade $P(A_S)$, $P(A_V)$ und $P(A_{SuV})$ vorab definiert.

Abbildung 4: Definitionen der drei Anwendungsgrade $P(A_S)$, $P(A_V)$ und $P(A_{SuV})$

$P(A_S)$ = Anwendungsgrad der Sortierung

Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung nach korrekter Entsorgung in einer LVP-Sortieranlage auf eine spezifische Sortiertechnik trifft.
Annahme: Alle LVP-Sortieranlagen erhalten als Eingangsmaterial die gleiche Verteilung an Verpackungen.

$P(A_V)$ = Anwendungsgrad der Verwertung

Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung einer Anlage zur hochwertigen werkstofflichen Verwertung zugeführt wird (die Sortierung wird dabei ausgeklammert).

$P(A_{SuV})$ = Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung

Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung nach korrekter Entsorgung auf einen hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfad trifft.
Voraussetzung dafür ist die Bildung einer Sortierfraktion und entsprechende Sortiertechnik.

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf Basis von Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Um die Anwendungsgrade zu ermitteln, werden, basierend auf Ausführungen im Bericht von Dehoust et al. 2021, die folgenden Arbeitsschritte a), b) und c) anhand Abbildung 3 erläutert.

a) Berechnung des Anwendungsgrades der Sortierung $P(A_s)$

1. Betrachtung aller LVP-Sortieranlagen, welche im Bezugsjahr mit Mengen der dualen Systeme beliefert wurden.
2. Klassifizierung von Sortierprozessvarianten $S\bullet$ (in Abbildung 3: S1 und S2) für jede hochwertig verwertbare Fraktion je Bezugsjahr.
3. Summation der einzelnen Verarbeitungsmengen der LVP-Sortieranlagen für die Sortierprozessvarianten $S\bullet$ (in Abbildung 3: S1 und S2).
4. Bildung des Quotienten aus der in 3. berechneten Summe und der LVP-Gesamt-Verarbeitungsmenge im Bezugsjahr. Das Ergebnis entspricht den Zweigwahrscheinlichkeiten $P(S\bullet)$ der Sortierprozessvarianten $S\bullet$. In Abbildung 3: $P(S1)$ gibt beispielsweise die Wahrscheinlichkeit an, dass eine Verpackung auf die Sortierprozessvariante S1 trifft und für eine werkstoffliche Verwertung bereitgestellt wird.
5. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten $P(S\bullet)$ der Zweige, bei denen eine Verpackung für eine werkstoffliche Verwertung sortiert und bereitgestellt wird, entspricht dem Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_s)$. Dieser gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der eine Verpackung in einer LVP-Sortieranlage auf eine spezifische Sortiertechnik trifft, mittels der die Verpackung einer Fraktion zugeordnet und für eine werkstoffliche Verwertung bereitgestellt wird. In Abbildung 3 entspricht dies der Summe aus $P(S1)$ und $P(S2)$, ohne $P(S-)$.
6. Die Wahrscheinlichkeit $P(S-)$ der Sortierprozessvariante $S-$ zeigt in Abbildung 3 die Wahrscheinlichkeit an, mit der eine Verpackung nicht sortiert und für eine werkstoffliche Verwertung bereitgestellt wird.
7. Die Wahrscheinlichkeiten aller Sortierungsprozessvarianten $P(S\bullet)$ ergeben in Summe immer 100 %. Hier: $P(S1) + P(S2) + P(S-)$. Diese Summe wird als Kontrollsumme der Sortierung $\sum_s$ bezeichnet und ist beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt.

b) Berechnung des Anwendungsgrades der Verwertung $P(A_v)$

1. Nur Betrachtung von Letztempfängeranlagen.
2. Klassifizierung in Letztempfängeranlagen mit Endprodukten, welche durch hochwertige werkstoffliche Verwertung hergestellt wurden (im Folgenden auch als Referenzanlagen bezeichnet) und in Anlagen ohne hochwertige werkstoffliche Verwertung.
3. Klassifizierung der Anlagen mit hochwertiger werkstofflicher Verwertung in Verwertungsprozessvarianten $V\bullet$.
4. Summation der einzelnen Verarbeitungsmengen der Verwertungsanlagen für die Verwertungsprozessvarianten $V\bullet$ der jeweiligen Fraktion(en).
5. Bildung des Quotienten aus der in 4. berechneten Summe und der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen der jeweiligen Fraktion(en) im Bezugsjahr. Das Ergebnis entspricht den Zweigwahrscheinlichkeiten $P(V\bullet)$ der Verwertungsprozessvarianten $V\bullet$. In Abbildung 3: $P(V1)$ gibt beispielsweise die Wahrscheinlichkeit an, dass eine Verpackung mit der Verwertungsprozessvariante V1 einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung zugeführt wird bzw. in einer Referenzanlage verwertet wird.
6. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten $P(V\bullet)$ der Zweige mit hochwertiger werkstofflicher Verwertung entspricht dem Anwendungsgrad der Verwertung $P(A_v)$. Dieser entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung einer Anlage für die hochwertige werkstoffliche Verwertung zugeführt wird bzw. einer Referenzanlage zugeführt wird. Die Sortierung wird

bei dieser Kennzahl nicht einberechnet bzw. wird extra betrachtet. In Abbildung 3 entspricht dies der Summe aus $P(V1)$ und $P(V2)$, ohne $P(V-)$.

7. Die Wahrscheinlichkeit $P(V-)$ der Verwertungsprozessvariante $V-$ zeigt die Wahrscheinlichkeit an, dass eine Verpackung keiner Anlage zur hochwertigen werkstofflichen Verwertung zugeführt wird bzw. keiner Referenzanlage zugeführt wird.
8. Die Wahrscheinlichkeiten aller Verwertungsprozessvarianten $P(V\bullet)$ ergeben in Summe immer 100 %. Hier: $P(V1) + P(V2) + P(V-)$. Diese Summe wird als Kontrollsumme der Verwertung $\sum_V$ bezeichnet und ist beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt.

c) Berechnung des Anwendungsgrades der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$

1. Multiplikation der einzelnen Zweigwahrscheinlichkeiten entlang der Pfade der Sortier- und Verwertungsprozessvarianten. In Abbildung 3: Aus der Multiplikation der Zweigwahrscheinlichkeiten $P(S1)$ und $P(V1)$ ergibt sich die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1,V1)$. Die Berechnung der anderen Pfade ist in Abbildung 3.
2. Die Summation der einzelnen Pfadwahrscheinlichkeiten ergibt den finalen Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$. Dieser beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung sowohl auf eine spezifische Sortiertechnik als auch auf einen hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfad trifft. Nicht einberechnet werden dabei die Pfade mit den Zweigwahrscheinlichkeiten $P(S-)$ und $P(V-)$. Der Grund dafür ist, dass nur hochwertige werkstoffliche Verwertung für den Mindeststandard relevant ist.
3. Die Pfadwahrscheinlichkeiten ergeben in Summe immer 100 %. Diese Summe wird als Kontrollsumme der Sortierung und Verwertung $\sum_{SuV}$ bezeichnet. Die Summation ist beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt.

Alle eben genannten Arbeitsschritte unter a), b) und c) gelten für die Auswertung der Erhebungsbögen der LVP-Sortierer in Kombination mit den Verwertern der LVP-Fraktionen. Für die Einzelbetrachtung der LVP-Sortierer sind nur die Arbeitsschritte unter a) nötig, da die anschließende Verwertung nicht betrachtet wird. Um $P(A_S)$ zu berechnen, wird die folgende Voraussetzung angenommen: Alle LVP-Sortieranlagen erhalten als Eingangsmaterial die gleiche Verteilung an Verpackungen.

Datenherkunft der Mengen

Für die Berechnung von $P(A_V)$ wurden die anlagen- und fraktionsbezogenen Zuführungsmengen aus den MSN 2023 verwendet. Es wurden hierbei wie im vorangegangenen Erhebungszeitraum die Mengen der ZSVR ohne Berücksichtigung von Abzügen aufgrund Nachsortierung in den Letztempfängeranlagen und ohne Abzüge durch Systeme, Mengenstromprüfer und ZSVR verwendet (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025). Für die LVP-Sortierung wurden die prognostizierten Gesamt-Verarbeitungsmengen in Tonnen pro Jahr aus der aktuellen Befragung der LVP-Sortierer genutzt (Bezugszeitraum 2024). Wenn keine Rückmeldung in der aktuellen Erhebung erfolgte, wurden die Mengen der LVP-Sortieranlagen aus vorherigen Teilberichten wiederverwendet (siehe 2.1).

An dieser Stelle sei erwähnt, dass in den Erhebungsbögen die aktuelle Prozesstechnik zum Zeitpunkt der Befragung abgefragt wurde:

- Erhebung Teilbericht 2020/21: Ende 2021 und Anfang 2022
- Erhebung Teilbericht 2021/22: Ende 2022 und Anfang 2023
- Erhebung Teilbericht 2022/23: Ende 2023 und Anfang 2024

► Erhebung Teilbericht 2023/24: Ende 2024 und Anfang 2025

Aufgrund der Zeiträume für signifikante Änderungen der Infrastruktur erachten wir diese Unschärfe als hinnehmbar.

PET-Verpackungen (ohne Pfand)

Für PET-Verpackungen wurde die Methode in den vorherigen Teilberichten weiterentwickelt. Für ein besseres Verständnis im vorliegenden Bericht wird die Methode im Folgenden nochmals erläutert. Transparente PET-Flaschen und sonstige formstabile PET-Verpackungen werden gemäß Spezifikationen in bestimmten Verhältnissen in verschiedene Fraktionen 325, 328-(0-6) einsortiert²².

Für PET-Flaschen wird in der Fraktion 325 („PET-Flaschen, transparent“) von 100 % transparenten PET-Flaschen ausgegangen. Für 328-0 liegt keine Angabe hinsichtlich des Anteils an PET-Flaschen vor, weshalb auch hier von 100 % ausgegangen wird. Für die drei Misch-PET-Fraktionen 328-1, -2, -3, -wird jeweils die Ober- und Untergrenze für transparente PET-Flaschen betrachtet. Für jede der drei Fraktionen gibt es dementsprechend zwei Extremwerte. Die Produktmenge aller Extremwerte enthält $2^3 = 8$ Kombinationen. Die Fraktionen 328-5 und 328-6²³ („PET-Schalen“) werden für die Spannweite der PET-Flaschen nicht miteinbezogen, da die beiden Fraktionen nicht auf PET-Flaschen abzielen. Für alle Kombinationen lässt sich nun $P(A_V)$ bestimmen. Schließlich werden aus den resultierenden Werten der Minimal- und Maximal-Wert (Worst Case und Best Case) bestimmt, welche die Spannweite darstellen. Anschließend kann $P(A_V)$ mit $P(A_S)$ der jeweiligen PET-Fraktionen multipliziert werden, um die Spannweite für $P(A_{SuV})$ zu bestimmen.

Für die sonstigen formstabilen Verpackungen wird analog verfahren, wobei dort die Fraktionen 328-5 und 328-6 („PET-Schalen“) einberechnet werden, jedoch nicht die Fraktion 325 („PET-Flaschen, transparent“). Die Berechnung setzt voraus, dass keine der Verpackungen vor dem Recycling aussortiert werden. Dies ist aber bei manchen PET-Recyclern insbesondere der Fall

²² In den im Folgenden genannten Spezifikationen 325, 328-(0-6) soll es sich immer um gebrauchte restentleerte, systemverträgliche PET-Verpackungen mit einem Volumen ≤ 5 Liter handeln:

325: PET-Flaschen, transparent; mind. 98 Masse-% transparente PET-Flaschen (z. B. Getränke-, Waschmittel- und Haushaltsreinigerflaschen) inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw.; < 2 Masse-% opake PET-Artikel, andere PET-Artikel und sonstige Kunststoff-Artikel (Der Grüne Punkt, 2024a);

328-0: PET; mind. 95 % gemischte PET-Verpackungen (z. B. Obstschalen, Kosmetikverpackungen, Getränke- und Waschmittelflaschen sowie Flaschen von Haushaltsreinigern) inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw. (Der Grüne Punkt, 2004);

328-1: Misch-PET 90/10; mind. 90 Masse-% transparente PET-Flaschen (z. B. Spülmittel- oder Getränkeflaschen) und max. 10 Masse-% sonstige formstabile PET-Artikel (z. B. Becher, Schalen) klar, bunt, opak inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw. (Der Grüne Punkt, 2024b);

328-2: Misch-PET 70/30; mind. 70 Masse-% transparente PET-Flaschen (z. B. Spülmittel- oder Getränkeflaschen) und max. 30 Masse-% sonstige formstabile PET-Artikel (z. B. Becher, Schalen) klar, bunt, opak inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw. (Der Grüne Punkt, 2024c);

328-3: Misch-PET 50/50; mind. 50 Masse-% transparente PET-Flaschen (z. B. Spülmittel- oder Getränkeflaschen) und max. 50 Masse-% sonstige formstabile PET-Verpackungen (z. B. Becher, Schalen) klar, bunt, opak inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw. (Der Grüne Punkt, 2014);

328-5: PET-Schalen; mind. 75 Masse-% PET-Schalen (z. B. für Wurstaufschnitt, Obst oder Gemüse) und max. 20 Masse-% PET-Flaschen transparent, bunt /farblos inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw. (Der Grüne Punkt, 2024d);

328-6: PET-Schalen; mind. 90 Masse-% PET-Schalen (z. B. für Fleisch, Obst, Gemüse oder Salat) und max. 5 Masse-% transparente PET-Flaschen inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw. (Der Grüne Punkt, 2019).

²³ Die Fraktion 328-6 wurde im MSN 2021 gebucht, weshalb sie erstmalig im Anhang 1 des Mindeststandard 2023 aufgenommen wurde. Im MSN 2023 wurde sie nicht gebucht, dennoch wird sie weiterhin im vorliegenden Bericht aufgeführt, da sie ebenso wie Fraktion 328-5 die Monofraktion „PET-Schalen“ spezifiziert und in zukünftigen MSN wieder gebucht werden könnte.

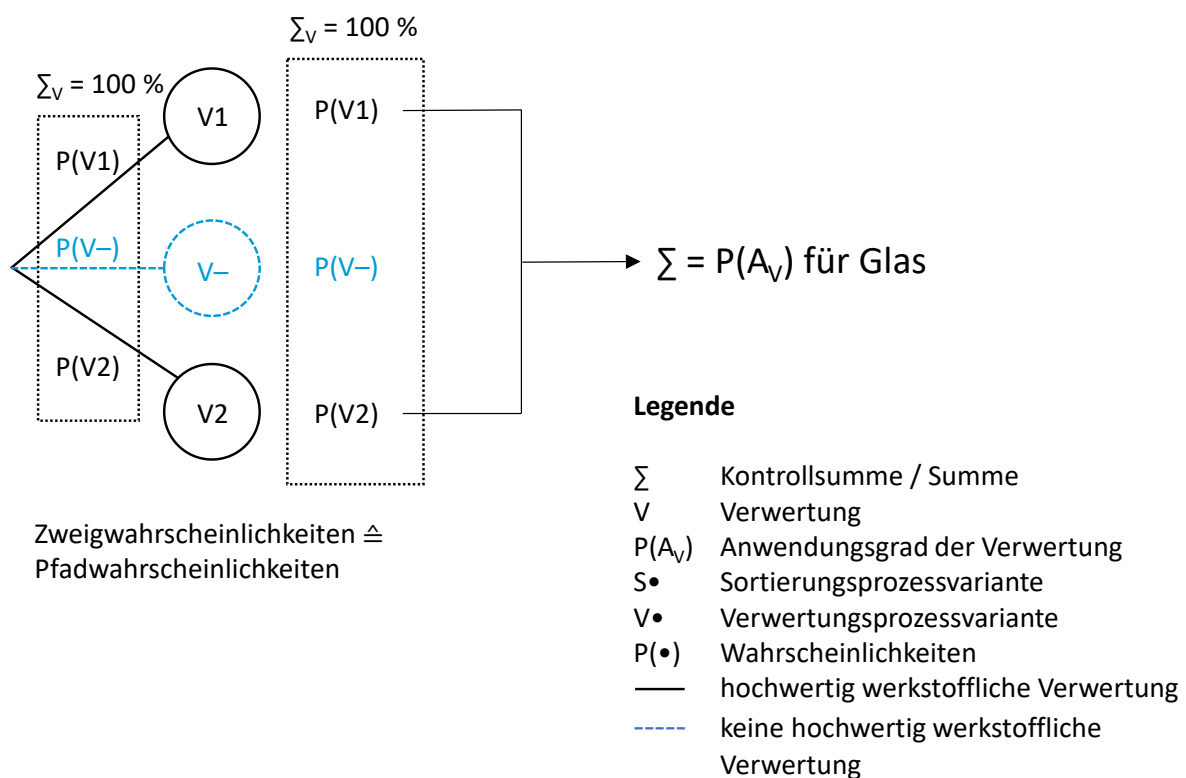
für Multilayer-PET-Schalen (siehe dazu auch Tabelle 12 im Abschnitt 3.6). Die Methode der Studie führt daher tendenziell zu einer Überschätzung des Anwendungsgrades.

Glasaufbereiter und Papierfabriken für PPK aus dem Blauen System

Glasaufbereiter stellen einen Sonderfall dar. Für diese Anlagen entspricht die Berechnung und Mengenverteilung auf die einzelnen Verwertungsprozessvarianten $V\bullet$ bereits den vollständigen Pfaden, da keine LVP-Sortierung vorgeschaltet ist. Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Berechnung von $P(A_V)$ für Glas. Die Bildung der Pfadwahrscheinlichkeiten erfolgt in diesem Fall nur einstufig (Zweige entsprechen Pfaden). Die Zweigwahrscheinlichkeiten werden für Glas im folgenden Text als Pfadwahrscheinlichkeiten bezeichnet, weil sie in diesem Fall das Gleiche bezeichnen.

Bei PPK-Verpackungen kann vor der Verwertung in Papierfabriken eine PPK-Sortieranlage vorgelagert sein. Die PPK-Sortieranlagen wurden für den vorliegenden Bericht nicht befragt. Für PPK wurde ein Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$ von 100 % aus Teilbericht 2021/22 (Grummt und Fabian, 2023) angenommen. Für den finalen $P(A_{SuV})$ für PPK wurden der $P(A_S)$ von 100 % mit dem $P(A_V)$ der Papierfabriken für PPK aus dem Blauen System multipliziert.

Abbildung 5: Baumdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung des Anwendungsgrades der Verwertung $P(A_V)$ für Glas



Quelle: Grummt (2022), aktualisiert durch Grummt und Fabian (2023)

Sonderfall PolyAl-Verwertung

Der Anwendungsgrad der Verwertung $P(A_{V-PolyAl})$ für PolyAl aus der FKN-Verwertung wurde separat anhand der folgenden Daten berechnet:

- Gesamte Zuführungsmenge FKN (510, 512) an die Papierfabriken aus dem MSN 2023,
- Antwort der Papierfabriken für FKN auf die in den Erhebungsbögen zum Teilbericht 2022/2023 gestellte Frage: „Wie hoch ist der durchschnittliche (rohfeuchte) Grobrejektanteil

der Stofflösung (Alu-PE- bzw. PE-Folie und Hartkunststoff), also der „PolyAl“-Anteil (ggf. als Spannweite angeben)?“,

- PolyAl-Inputmengen der befragten Referenzanlagen für PolyAl aus systembeteiligungspflichtigen FKN.

Aus den ersten beiden Datenquellen lässt sich der ungefähre PolyAl-Anteil (Output der Papierfabriken) aus systembeteiligungspflichtigen FKN berechnen. Die aktuelle Erhebung zeigt hierbei eine Spannweite aufgrund unterschiedlicher Angaben der Papierfabriken. Anhand der PolyAl-Inputmengen der Referenzanlagen für PolyAl konnte anschließend ermittelt werden, inwieweit diese Recycler die Outputmengen der Papierfabriken hochwertig werkstofflich verwerten können.

Der ermittelte Wert $P(A_{V-PolyAl})$ für PolyAl wurde darauffolgend mit $P(A_S)$ für FKN (510, 512) aus den Daten der LVP-Sortieranlagen sowie mit $P(A_V)$ für die Faseranteile der Papierfabriken multipliziert, um den finalen Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung „ $P(A_{SuV-PolyAl})$ “ für PolyAl zu berechnen.

2.3 Definition eines hochwertigen werkstofflichen Recyclings

Im Mindeststandard in der Fassung vom 29.08.2024 wird der Begriff „Recyclingfähigkeit“ folgendermaßen definiert:

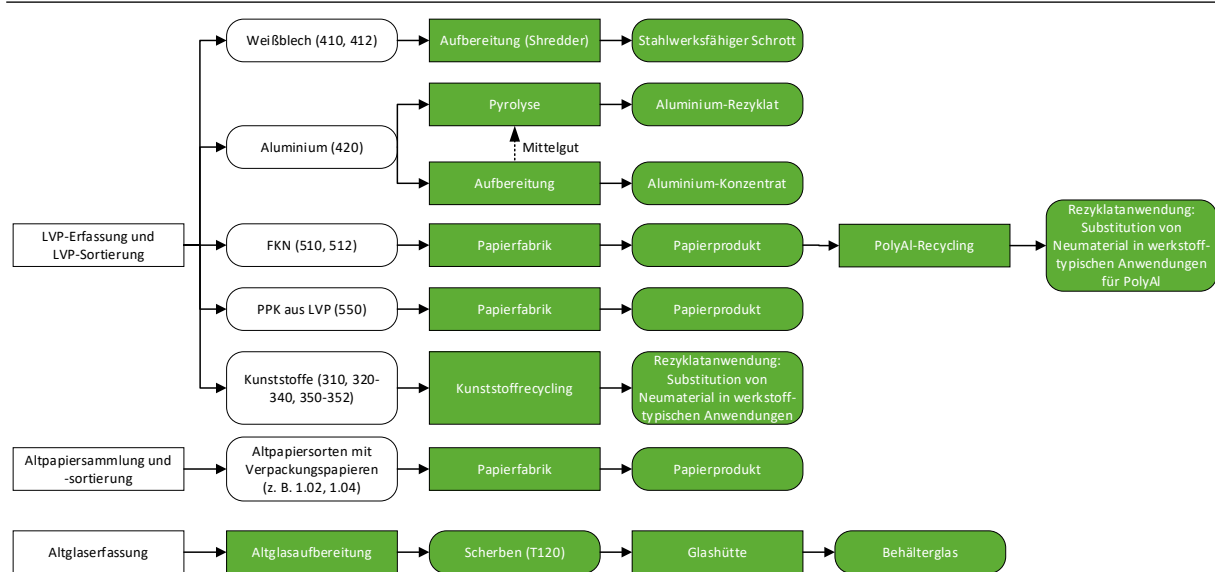
„Recyclingfähigkeit in diesem Dokument bezieht sich im Unterschied zum Recyclingbegriff des KrWG immer auf ein hochwertiges und werkstoffliches Recycling. Diese Recyclingfähigkeit ist die grundsätzliche und graduelle Eignung einer Verpackung, nach Durchlaufen industriell verfügbarer Rückgewinnungsprozesse Neuware in werkstofftypischen Anwendungen zu substituieren.“ (ZSVR, 2024, S. 10)

Zudem wurde der Begriff „Hochwertiges Recycling“ separat im Mindeststandard 2024 definiert. Dies dient dem besseren Verständnis des Begriffs:

„Hochwertiges Recycling im Sinne des Mindeststandards ist eine Prozessabfolge, an deren Ende eine Rezyklatqualität zur Substitution von materialidentischem Primärrohstoff produziert wird. Es liegt unabhängig davon vor, ob es sich um originäre oder sekundäre Rezyklatanwendungen handelt. Unberücksichtigt bleiben Verfahren, bei denen Verpackungsabfälle nur in einem solchen Umfang aufbereitet werden, wie es zur Einbindung in Fremdmaterialprodukten oder für solche Produkte erforderlich ist, die nicht typischerweise aus materialidentischem Neumaterial hergestellt werden.“ (ZSVR, 2024, S. 10)

Der vorliegende Teilbericht 2023/24 bezieht sich bei der Definition der Referenzanlagen mit hochwertigem werkstofflichem Recycling auf die eben benannten Definitionen des Mindeststandards 2024. Dabei ist die Möglichkeit des Austausches von Neuware durch Rezyklate in werkstoffspezifischen Anwendungen das entscheidende Kriterium (ZSVR, 2024). Die Definitionen entsprechen inhaltsgleich jenen, die dem Teilbericht 2022/23 zugrunde liegen. Die Referenzanlagen und -prozesse der Rezyklate werden in Abbildung 6 zusammengefasst.

Abbildung 6: Prozesse der hochwertigen werkstofflichen Verwertung (Referenzanlagen) nach Definition des Mindeststandards



Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Grün gekennzeichnet sind dabei Verwertungsprozesse und -produkte, die in nachfolgenden Betrachtungen als hochwertige werkstoffliche Verwertung berücksichtigt werden. In vielen Fällen werden die Rezyklatanwendungen nicht direkt in der Letztempfängeranlage hergestellt, sondern in späteren Prozessschritten. Wenn kein ausgefüllter Erhebungsbogen einer Letztempfängeranlage vorlag und stattdessen Letztempfängerzertifikate als Datenbasis dienten, wurden in Absprache mit einem Experten auch Anlagen, die gewaschenes Mahlgut sowie Regranulat herstellen, als Referenzanlagen einbezogen. Laut dem Experten werden diese Endprodukte i. d. R. in hochwertigen Anwendungen i. S. d. Mindeststandards eingesetzt (Gespräch mit Hr. Dr. Christiani am 14.02.2024).

Zur Klarstellung wurden im Mindeststandard 2023 zusätzlich Beispiele für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling aufgelistet und in der Ausgabe 2024 fortgeführt. Genannt werden Beispiele für Verpackungsanwendungen (z. B. Einsatz von PP-Reganulaten für die Herstellung von Farbeimern oder Pflanztöpfen von Beetpflanzen, Glasverpackungen in Behälterglas) als auch sekundäre Rezyklatanwendungen (Verpackungsstahlschrotte in der Baustahlproduktion oder der Einsatz von PP-Reganulaten für die Herstellung von Putzeimern oder Ablagekörben). Der Einsatz von Cellulosefasern im Straßenbau, als auch Holz-, Beton- und Natursteinersatzprodukte aus trockenmechanisch aufbereiteten Kunststoffen sind als Beispiele für nicht hochwertiges werkstoffliches Recycling aufgeführt (ZSVR, 2024). Weitere Beispiele für nicht hochwertige Anwendungen i. S. d. Mindeststandards sind der Einsatz von Papierfasern aus faserbasierten Verpackungen in Faserplatten- und Dämmstoffprodukten oder in der Bauchemie.

Änderung der Definitionen im Konsultationsentwurf des Mindeststandards 2025

Angesichts der PPWR wurde die Definition der Recyclingfähigkeit im Konsultationsentwurf des Mindeststandards 2025 neu gefasst:

„Diese Recyclingfähigkeit ist die grundsätzliche und graduelle Eignung einer Verpackung, nach Durchlaufen industriell verfügbarer Rückgewinnungsprozesse (getrennte Sammlung, Sortierung in getrennte Abfallströme und Recycling) Sekundärrohstoffe hervorzubringen, deren Qualität im Vergleich zu den Ausgangsstoffen ausreicht, um die materialidentischen Primärrohstoffe in werkstofftypischen Anwendungen⁶ zu ersetzen.“ (ZSVR 2025, S. 14)

Zugehörige Fußnote 6:

„Dies umfasst originäre oder sekundäre Rezyklatanwendungen. Beispiele für originäre Anwendungen (meint Verpackungsanwendungen des gleichen Typs) sind der Einsatz von Glasscherben aus der Altglasaufbereitung für die Produktion von Behälterglas oder der Einsatz von PP-Regranulaten für die Produktion von Farbeimern oder Pflanztöpfen für Beetpflanzen. Beispiele für sekundäre Anwendungen sind der Einsatz von Verpackungstahlschrotten für die Baustahlproduktion oder der Einsatz von PP-Regranulaten für die Herstellung von Putzeimern oder Ablagekörben.

Unberücksichtigt bleiben Verfahren, bei denen Verpackungsabfälle nur in einem solchen Umfang aufbereitet werden, wie es zur Einbindung in Fremdmaterialprodukten oder für solche Produkte erforderlich ist, die nicht typischerweise aus materialidentischem Neumaterial hergestellt werden. Bezüglich Fremdmaterialprodukten ist ein Beispiel für Anwendungen mit geringen Rezyklatanforderungen der Einsatz von Zellulosefasern als Füllstoff im Straßenbau. Bezüglich Produkten, die nicht typischerweise aus materialidentischem Neumaterial hergestellt werden, sind Beispiele insbesondere Holz-, Beton- und Natursteinersatzprodukte, wie Palisaden, aus trockenmechanisch aufbereiteten Kunststoffen.“ (ZSVR 2025, S. 14)

Hintergrund der Anpassungen im Mindeststandard ist das Erfordernis, die Definition sprachlich an die PPWR anzunähern, wobei der Inhalt im Wesentlichen unverändert erhalten bleiben konnte.

Die Definition von hochwertigem Recycling wurde im Konsultationsentwurf des Mindeststandards 2025 gestrichen, da der Begriff in Art. 3 Abs. 41 PPWR nun legaldefiniert ist, aber nicht mehr die unmittelbare Referenz darstellt, an der die Recyclingfähigkeit zu messen ist.

Bei europarechtskonformer Auslegung des Begriffs des „hochwertigen Recycling“ in § 21 VerpackG unter Berücksichtigung der ab dem 12.08.2026 geltenden PPWR sind daher als Referenzszenario der Recyclingfähigkeit solche Rückgewinnungsprozesse gemeint, die Sekundärrohstoffe hervorbringen, deren Qualität im Vergleich zu den Ausgangsstoffen ausreicht, um die materialidentischen Primärrohstoffe in werkstofftypischen Anwendungen zu ersetzen. Der Referenzpunkt ist identisch mit jenem der Vorjahre und entspricht auch Art. 3 Abs. 38 i.V.m. Art. 6 Abs. 2 lit. a, Abs. 4 lit. a Nr. i PPWR. Danach deckt sich das, was das VerpackG unter hochwertigem Recycling versteht, mit dem Referenzszenario für die Recyclingfähigkeit laut PPWR.

Eine Änderung ist zugleich erfolgt: Während die bisherige Definition im Mindeststandard das Referenzszenario auf bestimmte werkstoffliche Recyclingverfahren beschränkte, umfasst die veränderte Definition auch Recyclingverfahren, die nicht unter die Definition der werkstofflichen Verwertung i.S.d. § 3 Abs. 19 VerpackG fallen, sofern sie die zuvor dargelegten Anforderungen der PPWR an das Referenzszenario erfüllen. Dies kann z.B. für chemische Recyclingverfahren zukünftig relevant werden, indes spielen aktuell entsprechende Verfahren in der Praxis noch keine Rolle.

2.4 Quantitative Darstellung der Rezyklatanwendungen

In der letzten und aktuellen Erhebung wurden die Letztempfängeranlagen quantitativ zu ihren Rezyklatanwendungen befragt. Einige Anlagen gaben mehrere Rezyklatanwendungen ohne quantitative Angaben an, was eine eindeutige Zuordnung der Zuführungsmenge zu den einzelnen Rezyklatanwendungen erschwert. Dies führt dazu, dass es nicht immer eindeutig ist, welche die mengenrelevanteste Rezyklatanwendung ist.

Um dies zu veranschaulichen, wurde eine Methode entwickelt, die Rezyklatanwendungen in Balkendiagrammen basierend auf Minima und Maxima darstellt. Jede Zeile in den jeweiligen Diagrammen in Kapitel 3 repräsentiert eine Rezyklatanwendung, während die Abszissenachse den Anteil an der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen zeigt. Wenn eine Anlage nur eine Rezyklatanwendung oder mehrere mit quantitativen Anteilen angab, können die Mengen eindeutig zugeordnet werden. Wenn Anlagen mehr als eine Rezyklatanwendung ankreuzten, ergibt sich eine Spannweite:

- Das Minimum umfasst die Anlagen, bei denen die Rezyklatanwendungen eindeutig zugeordnet werden können.
- Das Maximum umfasst alle Anlagen, die eine bestimmte Rezyklatanwendung angaben. Dabei wird die Annahme getroffen, dass die Anlagen ausschließlich diese Rezyklatanwendung herstellen (theoretisches Maximum).

2.5 Praxis der SuV und Mindeststandard nach § 21 Abs. 3 VerpackG

Nach § 21 Abs. 3 VerpackG muss der Mindeststandard jährlich von der ZSVR im Einvernehmen mit dem UBA bis zum 1. September veröffentlicht werden. Für die Fortentwicklung des Mindeststandards sind laut § 21 Abs. 3 VerpackG die „einzelnen Verwertungswege und jeweilige Materialart“ von Verpackungen zu berücksichtigen. UBA und ZSVR müssen die Praxis der SuV kennen, um als zuständige Behörden den Mindeststandard anzupassen und weiterzuentwickeln. Den dualen Systeme sollte die Praxis der SuV ebenso bekannt sein, um die Beteiligungsentgelte für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen festzulegen (Dehoust et al., 2021). Für die Bemessung der Recyclingfähigkeit einer Verpackung ist gemäß des Mindeststandards der für ein Recycling verfügbare Wertstoffgehalt einer Verpackung heranzuziehen (ZSVR, 2024). Die Ermittlung des Wertstoffgehalts erfolgt nach den folgenden drei Kriterien:

1. *„Eine Sortier- und Verwertungsinfrastruktur für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling für diese Verpackung muss vorhanden sein.“*
2. *Die Verpackung muss bezüglich des hochwertig zu verwertenden Anteils sortierbar sein, die Verpackungskomponenten müssen, soweit für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling erforderlich, trennbar sein.*
3. *Keine der Verpackungskomponenten bzw. im Verpackungsmaterial enthaltenen Stoffe dürfen Recyclingunverträglichkeiten darstellen, die den Verwertungserfolg in der Praxis verhindern könnten.“ (ZSVR, 2024)*

Das 1. Kriterium bezieht sich auf die Verfügbarkeit einer Sortier- und Verwertungsinfrastruktur, die zu einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung führt. Die fundierte Prüfung dieses Kriteriums bedingt die regelmäßige Ermittlung der Praxis der SuV. Gemäß Dehoust et al. (2021) muss nicht jeder Einzelfall, wie bspw. Sortier- und Verwertungspfade mit geringer Mengenrelevanz, dargestellt werden. Das Vorhandensein einer Sortier- und Verwertungsinfrastruktur wird im Anhang 1 des Mindeststandards über Spalte 3 erfasst (ZSVR, 2024). Anhang 1 beinhaltet dafür spezifische Abgrenzungskriterien:

- Eine Eintragung in Spalte 3A bedeutet, dass für entsprechende Verpackungen eine Zuführung zu einem hochwertigen werkstofflichen Recycling vorausgesetzt werden kann. Das Abgrenzungskriterium für $P(A_{SuV})$ liegt für Spalte 3A bei $\geq 80\%$ (ZSVR, 2024).
- Bei Eintragung in Spalte 3B kann eine Zuführung zu einem hochwertigen werkstofflichen Recycling nur begrenzt vorausgesetzt werden. Ein hochwertiges werkstoffliches Recycling für die dort aufgeführten Verpackungen ist möglich, aber nicht alle Verpackungsabfälle treffen auf entsprechende Sortier- und Verwertungstechnik. Das Abgrenzungskriterium für

$P(A_{\text{SuV}})$ liegt für Spalte 3B bei $20 \% < P(A_{\text{SuV}}) < 80 \%$. Es wird empfohlen, für Verpackungen in Spalte 3B im Anhang 1 einen Einzelnachweis zu erbringen (ZSVR, 2024).

- Für Spalte 3C kann eine Zuführung zu einem hochwertigen werkstofflichen Recycling nur im Einzelfall/marginal vorausgesetzt werden. Das Abgrenzungskriterium für $P(A_{\text{SuV}})$ liegt für Spalte 3C bei $\leq 20 \%$. Für Verpackungen, die Fraktionsnummern in dieser Spalte zuzuordnen sind, ist ein Einzelnachweis unerlässlich, um die Recyclingfähigkeit zu ermitteln (ZSVR, 2024).

Das 2. Kriterium des Mindeststandards umfasst Verpackungsmerkmale, die eine erfolgreiche Identifizierung und anschließende Sortierung einer Verpackung in die vorgesehene Sortierfraktion verhindern können. Das 2. Kriterium kann sich quantitativ auf die Bemessung der Recyclingfähigkeit auswirken. Bei Vorliegen der dort aufgeführten Merkmale besteht ebenso die Möglichkeit eines Einzelnachweises (ZSVR, 2024).

Das 3. Kriterium bezieht sich auf die Recyclingunverträglichkeiten, die eine hochwertige werkstoffliche Verwertung beeinträchtigen können. Anhang 3 des Mindeststandards beinhaltet nicht alle Stoffe, Materialien oder Verpackungsbestandteile, die in der Verwertung problematisch sein können. ZSVR und UBA haben hierbei die relevantesten Recyclingunverträglichkeiten ausgewählt. Diese können bereits in geringen Konzentrationen das Recycling erheblich beeinträchtigen. (Noch) nicht mengenrelevante Probleme oder Probleme, die lediglich in Materialverlust resultieren und kein „K.O.-Kriterium“ darstellen, können als weniger kritisch eingestuft werden und deshalb nicht im Mindeststandard Anhang 3 enthalten sein.

Bei allen drei genannten Kriterien spielt die Mengenrelevanz eine tragende Rolle. Kriterien mit erheblicher Mengenrelevanz in den derzeitigen Sortier- und Verwertungsinfrastrukturen können im Mindeststandard abgebildet sein, wohingegen weniger relevante Aspekte möglicherweise nicht aufgenommen werden. Dazu beraten die Expert*innen des Expertenkreises III (EK III) jährlich die ZSVR und UBA und geben entsprechende Empfehlungen zur Fortentwicklung des Mindeststandards ab.

Änderungen im Konsultationsentwurf des Mindeststandards 2025

Aufgrund seiner neuen Struktur enthält der Konsultationsentwurf des Mindeststandards 2025 auch hinsichtlich der drei zentralen Kriterien leichte Anpassungen. Die Kriterien sind fortan wie folgt als vier Punkte benannt:

„Bei der Ermittlung des für ein Recycling verfügbaren Wertstoffgehaltes sind mindestens die vier nachfolgenden Anforderungen unter Anwendung von Anhang 2 zu prüfen und zu berücksichtigen:

1. *Keine der Verpackungsbestandteile bzw. im Verpackungsmaterial enthaltenen Stoffe dürfen **Unverträglichkeiten** darstellen, die den Recyclerfolg in der Praxis verhindern könnten.*
2. *Die Verpackung bzw. ein separater Verpackungsbestandteil muss bezüglich des Wertstoffanteils **sortierbar sein**.*
3. *Die Verpackungsmaterialien müssen, soweit für ein Recycling, das Sekundärrohstoffe hervorbringt, deren Qualität im Vergleich zu den Ausgangsstoffen ausreicht, um die materialidentischen Primärrohstoffe in werkstofftypischen Anwendungen zu ersetzen, erforderlich, nach dem Aufschluss **trennbar sein**.*

4. Eine **Recyclinginfrastruktur** für ein Recycling, das Sekundärrohstoffe hervorbringt, deren Qualität im Vergleich zu den Ausgangsstoffen ausreicht, um die materialidentischen Primär-rohstoffe in werkstofftypischen Anwendungen zu ersetzen, für diese Verpackung bzw. den separaten Verpackungsbestandteil muss vorhanden sein.“ (ZSVR 2025, S. 9)

Die Änderungen betreffen zunächst die Reihenfolge der Kriteriennennung, um der Reihenfolge der Kriterien in Anhang 2 des Konsultationsentwurfes zu entsprechen und damit die Anwenderfreundlichkeit zu erhöhen. Die Änderung der Reihenfolge ist rein redaktioneller Natur ohne Auswirkungen auf die inhaltliche Bedeutung.

Zudem wurden sprachliche Anpassungen vorgenommen, um die verwendeten Begrifflichkeiten soweit möglich an die PPWR anzunähern. So wird z.B. nicht mehr von „Verpackungskomponenten“ gesprochen, sondern von „Verpackungsbestandteilen“ (vgl. z. B. Art. 3 Abs. 43, 44 PPWR). Andere Anpassungen erfolgten, um neu gefasste Definitionen und das Referenzszenario aufzugreifen. Nicht zuletzt erfolgten sprachliche Klarstellungen zur besseren Verständlichkeit. So wurde z. B. der Begriff „Verwertungserfolg“ durch „Recyclingerfolg“ ersetzt. Die Anpassungen sind allesamt redaktioneller Natur und führen zu keiner Änderung des Inhalts der Kriterien. Dies gilt auch für den nun verwendeten Begriff der „Recyclinginfrastruktur“, der die bislang genannte „Sortier- und Verwertungsinfrastruktur“ inhaltsgleich beschreibt.

Die auffälligste Änderung der Kriterien ist die Teilung des bisherigen Kriteriums 2 zur Sortier- und Trennbarkeit in zwei einzelne Kriterien. Auch damit ist keine inhaltliche Veränderung verbunden. Die Aufteilung dient vielmehr der besseren Verständlichkeit und greift häufige Rückfragen zum Verständnis der bisherigen Formulierung auf.

Deutlich grundsätzlichere Veränderungen enthält der Konsultationsentwurf des Mindeststandard 2025 in den Anhängen, die vollständig umgestellt wurden. Die bisherige, in Anhang 1 enthaltene Aufteilung der Spalten 3 A – C ist im Konsultationsentwurf in dieser Form nicht mehr enthalten. Sofern die Praxis der SuV zu einem Eintrag in die bisherigen Spalten 3 B und 3 C geführt hätte, finden sich die entsprechenden Einträge nun in Anhang 3.3 wieder. Sofern bislang ein Eintrag in Spalte 3 A erfolgt ist, fließt dies nunmehr in Anhang 2 ein, ohne als Regelfall dort jeweils explizit genannt zu werden. Die Änderungen sind der neuen Struktur des Mindeststandards geschuldet, um diesen für Unternehmen anwenderfreundlicher zu machen.

Verhältnis zwischen Praxis der SuV aus § 21 VerpackG und den Kriterien für recyclinggerechte Verpackungsgestaltung aus Art. 6 PPWR

Die in diesem Bericht dargelegte Praxis der SuV entspricht **nicht** dem Kriterium „recycled at scale“ („in großem Maßstab recycelte Verpackungsabfälle“) aus Art. 3 Abs. 39 i.V.m. Art. 6 Abs. 2 lit. b, Abs. 5 lit. a PPWR. Es handelt sich vielmehr um eine separat zu betrachtende Kennzahl, die vor dem Hintergrund der zuvor dargelegten Regelungen des VerpackG ermittelt wird und dem Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit gemäß § 21 VerpackG zugrunde zu legen ist.

Auch im Hinblick auf die ab 12.8.2026 geltenden Regelungen der PPWR ist die ermittelte Praxis der SuV von entscheidender Relevanz. Art. 6 Abs. 4 lit. a legt fest, dass die von der Kommission zukünftig in einem delegierten Rechtsakt festzulegenden Kriterien für die recyclinggerechte Gestaltung u. a. folgende Aspekte zu berücksichtigen haben:

- Eignung, Verpackungsabfälle in verschiedene Materialströme für das Recycling zu trennen und sie zu sortieren und zu recyceln;
- Etablierte Sammel- und Sortierv Verfahren, die sich in einem operativen Umfeld bewährt haben;

- Verfügbare Recyclingtechnologien, deren wirtschaftliche Leistung und Umweltverträglichkeit, einschließlich u. a. der Qualität des Outputs;
- Besorgniserregende Stoffe, die das Recycling von Materialien in der Verpackung, in der sie vorhanden sind, beeinträchtigen.

Die ermittelte Praxis der SuV liefert für diese Aspekte wertvolle Informationen und Einsichten. Insbesondere zeigt sie auf, welche Sortiervverfahren etabliert sind und sich in einem operativen Umfeld bewährt haben. Sie zeigt Recyclingtechnologien, die nicht nur in der Theorie vorhanden, sondern tatsächlich am Markt in relevantem Umfang verfügbar, wirtschaftlich abbildbar sind und genutzt werden. Nicht zuletzt liefert der Bericht Hinweise darüber, welche Stoffe und Materialkombinationen das Recycling von Materialien erheblich beeinträchtigen oder gar verhindern können beziehungsweise Schäden an der eingesetzten Sortier- und Recyclingtechnologie verursachen können.

2.6 Qualitätssicherung des Berichts und der zugrundeliegenden Daten

Für die Untersuchungen im vorliegenden Bericht wurden verschiedene Maßnahmen zur Qualitätssicherung ergriffen. Diese umfassen die systematische Sammlung und Auswertung von Daten, die Anwendung statistischer Methoden sowie die regelmäßige Überprüfung der Vorgehensweise und Ergebnisse.

Datenquellen

Die Daten für diesen Bericht stammen im Wesentlichen aus den Mengenstromnachweisen (MSN) der dualen Systeme, Letztempfängerzertifikaten, den durchgeführten Befragungen von Sortier- und Verwertungsanlagen sowie wissenschaftlichen Literaturrecherchen. Aus den MSN der Systeme wurden eine Liste sämtlicher, im Bezugszeitraum beliefelter Verwertungsanlagen (bzw. Aufbereitungsanlagen v.a. für Behälterglas) sowie die Zuführungsmengen zu den jeweiligen Anlagen entnommen. Die MSN der dualen Systeme wurden mehrfach geprüft. Zunächst stellen die Systeme die Daten zusammen (§ 17 Abs. 1 Satz 1 VerpackG). Anschließend werden die MSN von unabhängigen Sachverständigen geprüft und bestätigt (§ 17 Abs. 2 Satz 1 VerpackG). Zuletzt prüft die ZSVR die Dokumente (§ 26 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 VerpackG). Dieses mehrstufige Kontrollregime ist grundsätzlich gut geeignet, die Datenqualität abzusichern und ist als vorbildlich anzusehen.

Die Teilnehmer der Befragung wurden sorgfältig ausgewählt: Es erfolgte in der letzten in Kombination mit dieser Befragung (siehe Abschnitt 2.1) eine Vollerhebung bei allen Anlagen, die mit Verpackungsabfällen aus der Sammlung der deutschen dualen Systeme beliefert wurden. Die Erhebungsbögen wurden im Zuge der letzten Erhebungen getestet und iterativ angepasst, um Verständlichkeit und Relevanz der Fragen sicherzustellen. Zudem wurden Expertenfeedbacks eingeholt, um die Validität der Fragen und Antwortvorschläge zu überprüfen. Den Befragten wurde Vertraulichkeit zugesichert, um ehrliche und genaue Antworten zu fördern.

Die Antworten in den Erhebungsbögen wurden von den befragten Sortierern und Verwertern selbst eingetragen. Sie wirkten dabei auf freiwilliger Basis mit, um Grundlagendaten dafür zu generieren, dass systembeteiligungspflichtige Verpackungen möglichst hochwertig recyclingfähig gestaltet werden können. Die Anlagen unterstützen damit mittelbar eine Verpackungsgestaltung, die ihr Inputmaterial zukünftig verbessert. Bereits aufgrund dieses Wirkzusammenhangs kann nach Einschätzung der Verfasser*innen davon ausgegangen werden, dass die in den Erhebungsbögen gemachten Angaben grundsätzlich zutreffend und belastbar sind. Eine detailliertere Überprüfung ist jedoch aufgrund des Wettbewerbs zwischen den Anlagen und der betroffenen Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse nicht möglich.

Die Qualität der dieser Studie zugrundeliegenden Rohdaten wird vor diesem Hintergrund von den Verfasser*innen grundsätzlich als sehr gut und mit geringen Unsicherheiten behaftet bewertet.

Einschränkungen der Präzision der in dieser Studie gewonnenen Aussagen ergeben sich v.a. aus drei Aspekten:

- ▶ Um die methodische Konsistenz zu den Vorjahren zu gewährleisten, nutzt diese Studie weiterhin die Zuführungsmengen zu den belieferten Verwertungsanlagen (Input Verwertungsanlage). Diese Mengen entsprechen nicht zwingend eins zu eins der quotenrelevanten Verwertungszuführungsmenge nach allen erforderlichen Prüfungen; solche Mengenangaben lagen zum benötigten Zeitpunkt bislang nicht in einer aufbereiteten Form vor. Gegebenenfalls in der Letztempfängeranlage erfolgende Nachsortierungen mit Ausschleusung von z.B. Nicht-Zielmaterialien bleiben daher unberücksichtigt. Auch werden Mengenabzüge aufgrund von Korrekturen durch Systeme, Mengenstromprüfer (Sachverständige) sowie ZSVR ausgeblendet. Die ermittelte Praxis der Sortierung und Verwertung wird daher tendenziell zu positiv eingestuft. Dies betrifft Materialarten und Verpackungskategorien in unterschiedlichem Umfang. Da Veränderungen in der Methode durch die Nutzung nunmehr auswertbar vorliegender quotenrelevanter Verwertungszuführungsmengen (nach sämtlichen Prüfungen durch Systeme, Sachverständige und ZSVR) eventuell Folgeanpassungen in den Grenzwertsetzungen des Mindeststandards erfordern würden, wird in dieser Studie zu Gunsten der Vergleichbarkeit mit den Vorjahren davon abgesehen. Dies erfolgt auch in dem Wissen, dass durch die zwischenzeitlich beschlossene PPWR die Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung in absehbarer Zeit entfallen kann.
- ▶ Die Studie stellt in ihrer Betrachtung auf den Zeitraum 2023/24 ab. Die Angaben zur LVP-Sortierung beziehen sich auf das Jahr 2024, jene der Verwerter jedoch auf 2023. Für die Auswertung wird daraus ein Betrachtungszeitraum (hier: 2023/24) gebildet. Diese Unschärfe nehmen die Verfasser*innen in Kauf, um die eingesetzte Technik möglichst aktuell wiedergeben zu können; die Daten für Verwerter sind aufgrund der Quellenlage bislang nur für das Bezugsjahr 2023 verfügbar. Die Unschärfe erachten wir allerdings als gering, da bei Betrachtung der vergangenen Jahre sprunghafte Technikentwicklungen in relevantem Umfang selten waren. Insofern überwiegt das Interesse, für die LVP-Sortierung möglichst aktuelle Daten einbeziehen zu können, um Entwicklungen frühzeitig feststellen zu können. Nur wenn diese aufgezeigt werden, kann der Mindeststandard darauf reagieren und für die Gestaltung der Verpackungen eine aktuelle Orientierung bieten. Da auch für die LVP-Sortierung Daten der Vorjahre aus den früheren Teilberichten vorliegen, könnten bei drastischen Veränderungen, die eine Anpassung dieses Ansatzes erfordern, im Bedarfsfall auch Daten aus dem Vorjahr (hier: 2023) herangezogen werden. Dies war bislang jedoch nicht angezeigt.
- ▶ Die Studie wurde im aktuellen Berichtszeitraum in einem effizienten Verfahren aktualisiert (vgl. Abschnitt 2.1). Dieses reduziert die bürokratischen Belastung für die betroffenen Sortier- und Verwertungsanlagen und trägt damit u.a. der aktuellen wirtschaftlichen Lage der Branche Rechnung. Diese auf wesentliche Kernpunkte beschränkte Aktualisierung nimmt gleichwohl in Kauf, dass zwischenzeitlich bei Verwertungsanlagen technische Änderungen erfolgt sein könnten, die aufgrund des Erhebungskonzeptes noch nicht erfasst worden sind. Dem stehen der reduzierte Aufwand für die Branche und ein erfahrungsgemäß im Vergleich zur umfangreichen Befragung erhöhter Rücklauf gegenüber. Ein solcher höherer Rücklauf ist für die Aussagekraft der in den Fokus genommenen Kernthemen

zuträglich. Potenzielle Nachteile durch die pausierte flächendeckende Befragung der Verwertungsanlagen wurden durch eine begleitende Literaturlauswertung abgemildert, die in der Branche relevante Publikationen wie z.B. „EUWID Verpackungen“ hinsichtlich neuer Trends und Technikanwendungen sichtete. Dadurch kann weitgehend ausgeschlossen werden, dass signifikante technische Fortschritte unerkannt geblieben sind.

Vor dem Hintergrund der dargelegten Abwägungen bewerten die Verfasser*innen den gewählten methodischen Ansatz als zielführend. Die methodisch bedingte, leicht verringerte Präzision der verwendeten Datenquellen ist angesichts der mit der gewählten, pragmatischen und effizienten Methode verbundenen Vorteile hinnehmbar und durch begleitende Vorsorgemaßnahmen begrenzt.

Datenauswertung

Die Methode der Datenauswertung wurde von Dehoust et al. (2021) erarbeitet und wird von den Verfasser*innen für diese Studie in angepasster Form fortgeführt. Die Methode wird regelmäßig aktualisiert und die Analysen dokumentiert. Sie wurde von verschiedenen Akteuren genutzt und für geeignet bewertet. Die Methode ist veröffentlicht und kann damit auch von Dritten geprüft werden; grundsätzliche Kritik daran ist den Verfasser*innen weder aus der Branche, noch der wissenschaftlichen Community bekannt.

Vor der Analyse werden die Daten auf Vollständigkeit und Konsistenz überprüft. Seitens des UBA erfolgt gleichwohl eine Plausibilisierung durch den Abgleich einer Stichprobe mit Daten, die durch die MSN der dualen Systeme im Vollzug und aus Letztempfängerzertifikaten vorliegen. Soweit sich daraus oder bereits bei Sichtung der Antworten in den Erhebungsbögen Unklarheiten ergaben, wurden diese mit der jeweiligen Anlage erörtert und aufgeklärt. Um zu überprüfen, ob die Rohdaten fehlerfrei in das Kalkulationstool zur Ermittlung der Anwendungsgrade übertragen wurden, fand durch an der Übertragung nicht beteiligte Mitarbeitende des UBA eine stichprobenhafte Überprüfung nach dem Vier-Augen-Prinzip statt.

Bei der Auswertung der Daten wird zudem betrachtet, ob die Datenlage ausreicht, um repräsentative Ergebnisse zu generieren; die Schwelle dafür wurde bewusst hoch angesetzt, um der grundsätzlichen Bedeutung dieser Studie für den Mindeststandard Rechnung zu tragen. Ob repräsentative Ergebnisse vorliegen, ist jeweils bei den einzelnen Betrachtungsgegenständen im Kapitel 3 angegeben. Dadurch soll vermieden werden, dass bei zu geringem Rücklauf die aktuelle Praxis nicht mehr angemessen widerspiegelt wird, sondern Verzerrungen dadurch auftreten, welche Anlagen die Erhebungsbögen ausfüllten und welche nicht.

Berichtsinhalte

Die Datenauswertung im Bericht wurde durch Literaturrecherchen komplettiert. Dazu erfolgte eine systematische Suche in wissenschaftlichen Datenbanken und Fachzeitschriften, um aktuelle und relevante Literatur zu identifizieren. Bei auftretenden Fragen oder (vermeintlichen) Widersprüchen in den Befragungsergebnissen wurden diese reflektiert und gegebenenfalls weitere Informationen eingeholt.

Zu ausgewählten Fragestellungen erfolgte ergänzend ein Austausch mit externen Fachexpert*innen, um unabhängige Bewertung der Qualität und Relevanz der dargestellten Ergebnisse zu erhalten. Dies diente dazu, um von den Verfasser*innen vorgenommene Bewertungen (z. B. zum Stand der Technik) durch fachkundige Dritte abzusichern. Zu wettbewerbsrechtlichen Aspekten erfolgten ebenfalls Beratungen mit ausgewiesenen Fachexpert*innen. Dabei ging es insbesondere um die Grenzen der Darstellung im Bericht zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen sowie zum Schutz wirtschaftlicher Vorteile

beim Einsatz besonders innovativer Sortier- und Verwertungstechniken. Infolgedessen sind beispielsweise einige Ergebnisse lediglich in Form einer Spannweite dargestellt.

Der vollständige Berichtsentwurf wurde von mehreren einschlägigen Fachexpert*innen des UBA in mehreren Iterationen überprüft, die an der Erarbeitung nicht beteiligt waren. Diese prüften jeweils die thematisch einschlägigen Berichtsteile (z. B. zur Altglasaufbereitung). Hinweise aus diesem Kreis wurden aufgenommen und offene Fragen aufgeklärt bzw. als solche im Bericht vermerkt. Des Weiteren wurde im Bericht auf Vollständigkeit, Verständlichkeit und Kohärenz der Darstellungen geachtet.

Fazit

Die dargestellten Ausführungen zur Qualitätssicherung stellen nach Einschätzung der Verfasser*innen hinreichend sicher, dass die Ergebnisse auf einer verlässlichen Datenbasis beruhen, wissenschaftlich belastbar und abgesichert sind und damit wesentliche Erkenntnisse für die Praxis liefern. Soweit für den Mindeststandard signifikante Unsicherheiten verbleiben, wird darauf in den folgenden Kapiteln jeweils hingewiesen und durch geeignete Maßnahmen möglichst entgegengewirkt (z. B. durch Angabe von Spannbreiten).

3 Ergebnisse der Erhebung und Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung

3.1 LVP-Sortierung

3.1.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textbox zeigt, dass die Repräsentativität der Erhebung zu den LVP-Sortieranlagen gegeben ist (> 80 % abgedeckter Mengenanteil an der Sammelmenge gesamt):

Erhebungsbogen LVP-Sortierung

- ▶ Rücklaufquote 2024 (ohne ältere Daten) im Inland: nach Anlagenanzahl: 83 % (33/40) und nach abgedecktem Mengenanteil an der Sammelmenge gesamt: 87 %
- ▶ Rücklaufquote (aktueller Datenbestand) im Inland: nach Anlagenanzahl: 95 % (38/40) und nach abgedecktem Mengenanteil an der Sammelmenge gesamt: 100 %*
- ▶ Sammelmenge gesamt der LVP-Sortierer (aktueller Datenbestand): 2,65Mio. t.* (gerundet auf 1.000 t/a); *Sammelmenge der Anlagen, für die keine Daten vorliegen, ist hier nicht umfasst
- ▶ Im Vergleich: LVP-Erfassungsmenge 2023 laut MSN (unbereinigt): ca. 2,84 Mio. t. (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; gerundet auf 1.000 t/a)

An insgesamt 30 LVP-Sortieranlagen (Leichtstoffverpackungen – LVP) mit Standort in Deutschland wurden die Erhebungsbögen mit ausgewählten Fragen und an zehn Sortieranlagen die Vollumfragegesendet. Eine Anlage ist aufgrund eines Brandes im Betrachtungszeitraum stillgelegt gewesen. Für die fehlenden Rückläufer wurden die Angaben und prognostizierten Gesamt-Verarbeitungsmengen pro Jahr aus den letzten Erhebungen angenommen („aktueller Datenbestand“). Das Ergebnis ist mit Verwendung des aktuellen Datenbestands als repräsentativ zu bewerten (> 80 %) und spiegelt eine Totalerfassung aller relevanten LVP-Sortieranlagen wider. Inkludiert sind sowohl Anlagen, die Werkstoffkonzentrat als abgereinigtes Sammelgemisch zur Verfügung stellen (Anlagen zur Störstoffentfrachtung) als auch Anlagen mit integrierter Aufbereitung.

Die durch alle LVP-Sortierer angegebene gesamte Verarbeitungsmenge (Sammelmenge gesamt) liegt in 2024 bei ca. 2,65 Mio. t In den vorherigen Teilberichten wurden ähnliche Sammelmengen gesamt ermittelt: ca. 2,78 Mio. t für 2020, ca. 2,87 Mio. t für 2021 und ca. 2,78 Mio. t für 2022 und 2,84 Mio t für 2023 (Grummt, 2022; Grummt und Fabian, 2023, Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024).

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.1.2 Pfadbeschreibung

In LVP-Sortieranlagen werden gesammelte LVP aus haushaltsnaher Wertstoffeffassung (i. d. R. gelber Sack, gelbe Tonne) sortiert, materialspezifischen Gruppen zugeordnet und für den anschließenden Verwertungsprozess vorbereitet. In einigen LVP-Sortieranlagen werden zusätzlich stoffgleiche Nichtverpackungen sortiert (Knappe et al., 2021; Wünsch, 2021). Die Zuordnung einer Verpackung in eine materialspezifische Gruppe (Fraktion) ist von

verschiedenen Faktoren abhängig. Beispiele für Einflussfaktoren sind neben dem Verpackungsmaterial (ggf. Kombination mehrerer Materialien) die Verpackungsgestaltung, die Sortiertechnik sowie der Zustand, mit dem die Verpackung in die getrennte Erfassung gegeben wird.

Das Sammelgemisch LVP besteht grundsätzlich aus Metall-, Kunststoff- und Verbundverpackungen sowie sonstigen Materialien, z. B. Holz, Naturmaterialien, Textilien etc. (Dehoust et al., 2021; Knappe et al., 2021). Unterschieden werden dabei hauptsächlich die folgenden Fraktionen: Kunststofffolien (überwiegend Low Density Polyethylen – LDPE), PE (Polyethylen), PP (Polypropylen), PS (Polystyrol), PET (Polyethylenterephthalat), MPO (Gemischte Polyolefine), PO-flex, PP-flex sowie PPK aus LVP (Papier, Pappe, Kartonagen und faserbasierte Verbunde), Flüssigkeitskartons (FKN), Eisenhaltige (Fe-) Metalle wie Weißblech, Nichteisenhaltige (NE-) Metalle wie Aluminium und Mischkunststoffe. Die Anforderungen (z. B. die Reinheit und erlaubte Störstoffe) an die Fraktionen sind in verschiedenen Produktspezifikationen der dualen Systeme ausgeführt. Einige Produktspezifikationen sind auf der Website des Dualen Systems Deutschland öffentlich abrufbar.²⁴

Gemäß Knappe et al. sei „die Sortierung der wichtigste Schritt bei der Aufbereitung von Kunststoffabfällen“ (Knappe et al., 2021, S. 109). LVP-Sortieranlagen lassen sich wie bereits im Bericht von Dehoust et al. (2021) in vier verschiedene Kategorien einteilen:

- Anlagen mit Kunststoffartensortierung (KA-Sortierung), bei denen formstabile Kunststoffverpackungen, wie beispielsweise Flaschen, Schalen oder Dosen nach Polymerart (PP, PE, PET, ggf. PS) getrennt werden;
- Anlagen ohne KA-Sortierung. Diese Anlagen haben in den meisten Fällen geringere Durchsätze als Anlagen mit KA-Sortierung;
- Anlagen mit einer Sortierung auf formstabile Kunststoffe (FSK);
- Anlagen mit integrierter Aufbereitung, bei denen die Sortierung, Aufbereitung und Verwertung in einer gemeinsamen Anlage stattfindet (Dehoust et al., 2021). Die Erhebung zeigt, dass es nur wenige operativ tätige Anlagen gibt, die mit integrierter Aufbereitung arbeiten. In Bezug auf die Mengenrelevanz spielt die integrierte Aufbereitung nur eine untergeordnete Rolle.

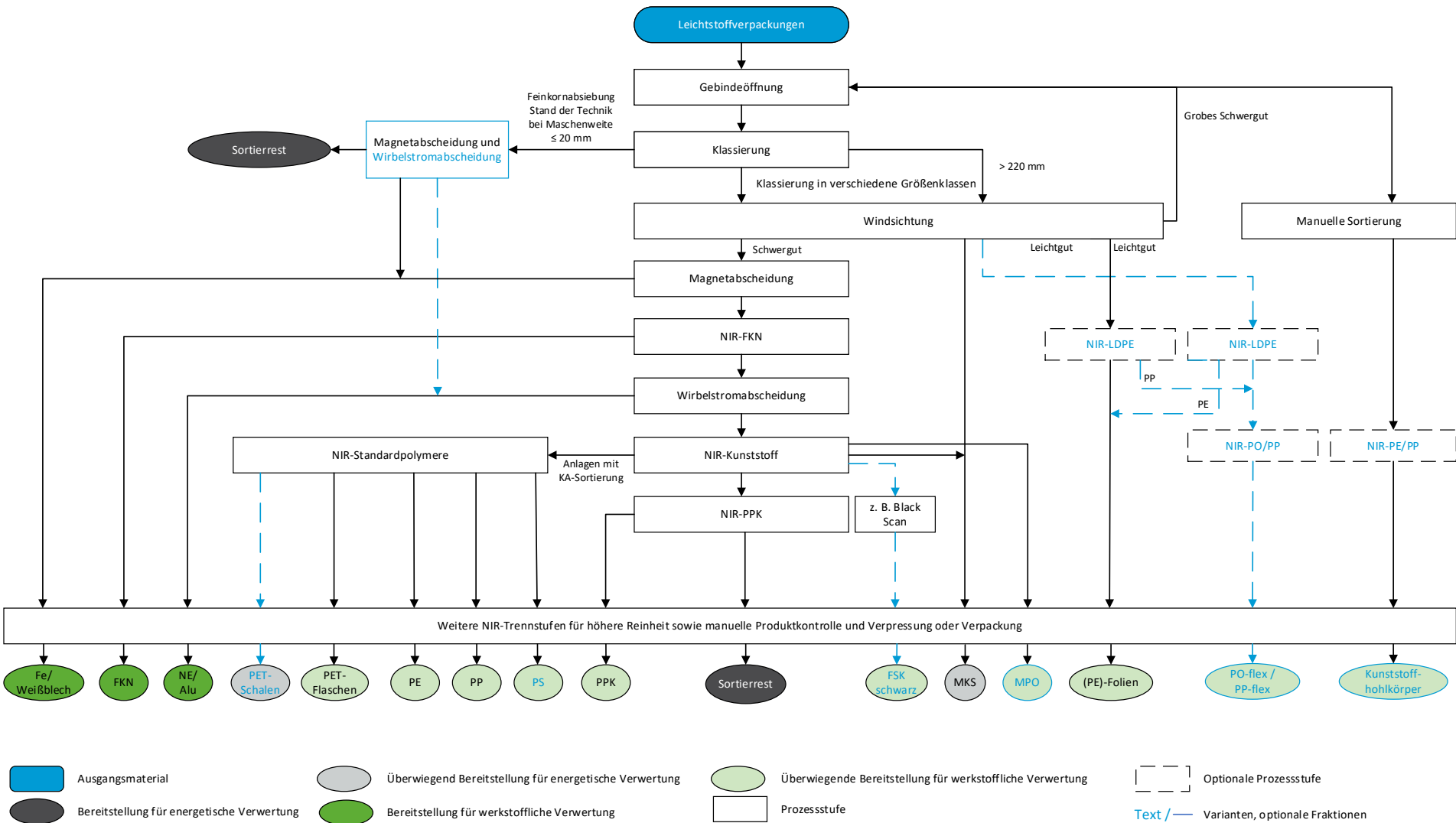
Zusätzlich kann noch die Kategorie der Anlagen zur Störstoffentfrachtung genannt werden, bei denen Störstoffe aus der LVP-Sammlung abgetrennt werden und ein Werkstoffkonzentrat bereitgestellt wird. Dieses Werkstoffkonzentrat wird anschließend in nachgeschalteten Sortieranlagen über KA-Sortierung weitersortiert. Diese Anlagen sind deshalb im Folgenden unter der Kategorie KA-Sortierung inkludiert. In Bezug auf die Mengenrelevanz spielen die Anlagen zur Störstoffentfrachtung nur eine untergeordnete Rolle. In der Studie von Kuchta et al., (2023) sind diese Anlagen als Wertstoffkonzentrationsanlagen bezeichnet und mittels Fließdiagramm veranschaulicht.

Abbildung 7 stellt die übliche Reihenfolge der Prozesse sowie die Fraktionen bei der LVP-Sortierung dar. Im Folgenden werden die einzelnen Sortierschritte erläutert. Die Angaben basieren auf den Aussagen der LVP-Sortierer in den Erhebungsbögen und in den ausgefüllten Fragenkatalogen. Als Grundlage der Erläuterung und der Reihenfolge der Prozesse dienten die VDI-Richtlinie 2095 (2019) (Fachbereich Umweltschutztechnik, 2019), UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021), der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP in der Version

²⁴ <https://www.gruener-punkt.de/de/download.html>.

5.1 und 6.1 (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022, 2025), der Bericht UBA-TEXTE 92/2021 (Knappe et al., 2021), der Endbericht von Kuchta et al. (Kuchta et al., 2023) sowie die Teilberichte 2020/21, 2021/22 und 2022/23 (Grummt, 2022; Grummt und Fabian, 2023; Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024).

Abbildung 7: Schematische Darstellung der Praxis der LVP-Sortierung



Quelle: eigene aktualisierte Darstellung, Umweltbundesamt, nach Grummt (2022), auf Grundlage von Dehoust et al. (2021) und Christiani (2024)

- ▶ Im ersten Schritt werden die Müllbeutel- und -säcke (beispielsweise auch Gelber Sack) in der Gebindeöffnung mechanisch aufgeschlossen. Damit werden die Verpackungsabfälle freigelegt.
- ▶ Anschließend läuft das Sammelgemisch über Siebmaschinen, bei denen die Verpackungen in verschiedene Größenklassen aufgetrennt werden. Dieser Prozess wird als Siebklassierung bezeichnet. Die Trennung nach der Größe dient einer effizienteren Sortierung der Fraktionen und erfolgt i. d. R. mit Trommelsieben. Die Feinkornabsiebung in den LVP-Sortieranlagen kann zusätzlich über Schwingsiebe durchgeführt werden. Stand der Technik ist dabei aktuell eine Maschenweite von ≤ 20 mm (Gespräch mit Hr. Dr. Christiani am 14.02.2024). Bei Anlagen mit einer feineren Maschenweite sind nicht-metallische kleinstückige Verpackungen sortierfähig. Verschmutzungen, wie Glassplitter oder Steine, die den Sortierprozess erschweren können, werden ausgesiebt. Für die Feinkornabsiebung bei 20 mm ist dafür weiterhin die Kombination aus Trommelsieb und Schwingsieb mit Langlochmasche von ca. 20 mm x 40 mm (Gespräch mit Hr. Dr. Christiani am 14.02.2024) im Einsatz. Im Gegensatz dazu werden bei Anlagen mit einer gröberen Maschenweite kleinstückige nicht-metallische Verpackungen dem Wertstoffstrom entzogen. Das abgesiebte Material wird in fast allen Anlagen noch einer Magnetabscheidung unterzogen. Bei etwa der Hälfte der Anlagen durchläuft das abgesiebte Material zusätzlich eine Wirbelstromabscheidung. In wenigen Anlagen wird das abgesiebte Material zusätzlich zur Magnet- und Wirbelstromabscheidung noch Trennaggregaten mit Nah-Infrarot (NIR)-Spektroskopie-Sensoren (im Folgenden als „NIR-Trenner“ bezeichnet) zugeführt. Der übrige Sortierrest wird ausgeschleust und energetisch verwertet.
- ▶ Kunststofffolien (überwiegend aus LDPE) werden entweder konventionell über Windsichtung als Leichtgut oder in einigen Anlagen zusätzlich über NIR-Trenner aussortiert. Zur Unterstützung der Abtrennung von Folien sind auch ballistische Separatoren im Einsatz, in denen Schwer- und Leichtfraktion voneinander getrennt werden können. Die Verpackungen können nach den Kriterien 2D und 3D bzw. schwer-rollend und flach-leicht voneinander separiert werden (Bilitewski und Härdtle, 2013, S. 500). Sehr vereinzelt sind auch noch alternative Verfahren im Einsatz. Eine frühzeitige Separation von Folien beugt Verstopfungen im Prozess vor und verbessert die Reinheit und Ausbeute der Folien (Knappe et al., 2021). Über Windsichtung erfolgt der Siebschnitt üblicherweise bei großformatigen Folien > 220 mm (ca. $>$ DIN A4). NIR-Trenner ermöglichen es, Kunststofffolien auch in kleineren Formaten (ca. $<$ DIN A4) auszusortieren. Für Blasfolienanwendungen müssen die PP-Anteile in den Folienfraktionen so weit wie möglich reduziert werden bzw. die Fraktion eine besonders große Reinheit an LDPE aufweisen (Schmitz, 2019). Da NIR-Trenner eine Materialdetektion ermöglichen, können dabei z. B. PP-, HDPE- (High Density Polyethylen) sowie Verbundfolien aussortiert werden. In einigen Anlagen wird darüber hinaus die Fraktion PO (Polyolefin)-flex (323-2) über NIR-Trenner sortiert. Diese Fraktion bildet eine Mischung aus verschiedenen hauptsächlich flexiblen PO-Kunststoffverpackungen (z. B. PP-Folien, PO-basierte Verbundfolien). Werden PP-Folien über NIR-Trenner aus der LDPE-Folien-Fraktion aussortiert, können sie der PO-flex-Fraktion oder der PP-flex-Fraktion (324-2) zugeführt werden. Im umgekehrten Fall können auch LDPE-Folien aus der PO-flex-Fraktion der LDPE-Folien-Fraktion zugeordnet werden (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022). Die aktuelle Befragung der LVP-Sortieranlagen zeigt, dass zunehmend Anlagen auch PP-Folien und flexible PP-Verpackungen als Monofraktion mittels NIR-Trenner aussortieren (PP-flex). In einzelnen Anlagen werden Folien noch manuell abgetrennt.

- ▶ Im Anschluss daran wird das Sammelgemisch einer Magnetabscheidung unterzogen, bei der ferromagnetische Verpackungen mit Fe-Metall-Bestandteilen separiert werden. Dazu gehören beispielsweise Kronkorken, Weißblechdosen und Kombidosen. Dies erfolgt üblicherweise mittels Überbandmagneten (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022).
- ▶ FKN werden in LVP-Sortieranlagen über NIR-Trenner aussortiert. Dieser Schritt erfolgt vor der Wirbelstromabscheidung, da FKN sonst in die NE-Metall-Fraktion sortiert würden. Sehr vereinzelt gaben Anlagen an, die FKN-Fraktion manuell auszusortieren.
- ▶ NE-Metalle werden über Wirbelstromabscheidung aufgrund ihrer elektrischen Leitfähigkeit und des induzierten Magnetfelds aussortiert. Dazu gehören im Wesentlichen Aluminiumverpackungen (z. B. Dosen, Schalen, Tuben aus Aluminium) sowie Verbundverpackungen mit einer Barrierschicht aus Aluminiumfolie (ausgenommen sind Metallisierungen).
- ▶ Die Separierung der formstabilen Kunststoffverpackungen erfolgt in den LVP-Sortieranlagen üblicherweise mittels NIR-Trennern, wobei sich die Anzahl der NIR-Trenner zwischen den Anlagen unterscheidet. Wenn mehr Sortierfraktionen gebildet werden sollen und weniger manuelle Sortierung erfolgen soll, empfiehlt sich der Einsatz einer höheren Anzahl von NIR-Trennern (Fischer, 2021). Die Vereinzelung der Verpackungen spielt eine große Rolle bei der Erkennung über NIR-Trenner, da nur das Obermaterial identifiziert wird. Bei Verpackungen aus verschiedenen Materialien (z. B. Kunststoffbecher mit einer Pappbänderole) besteht ein Problem der Trennbarkeit, welches zur Folge hat, dass Materialien in falschen Fraktionen landen können (Knappe et al., 2021).
- ▶ Faserbasierte Verpackungen werden in der Regel als Fraktion 550 (PPK aus LVP) über NIR-Trenner separiert. Nur sehr vereinzelt wird die Fraktion 550 manuell sortiert.
- ▶ Nach einer manuellen Produktkontrolle und einer Verpackung bzw. Verpressung in Ballen und durch Bindedrähte werden die Fraktionen für ein Recycling bereitgestellt. Sortierreste werden i. d. R. energetisch verwertet. Bei Vorhandensein von Trenneinheiten und umfangreicher sensorgestützter Sortierung in modernen LVP-Sortieranlagen wird die manuelle Sortierung auf das Mindeste beschränkt.

Abschließend ist festzuhalten, dass immer noch ähnliche Unterschiede wie bereits in den vorherigen Teilberichten zwischen den LVP-Sortieranlagen bestehen. Wirbelstrom- und Magnetabscheidung sowie NIR-Trenner sind die aktuelle Praxis. Die Anlagen unterscheiden sich weiterhin in der Maschenweite der Feinkornabsiebung, in der Sortiermethode (manuell oder automatisiert) sowie in den bereits genannten Fraktionen.

Künstliche Intelligenz (KI)-gestützte Objekterkennung in Kombination mit NIR-Trennern oder Sortierrobotern können eine Alternative zur händischen Sortierung darstellen. Beispielsweise können sie für das Aussortieren von Silikonkartuschen aus der PE-Fraktion eingesetzt werden (Knappe et al., 2021; Kuchta et al., 2023). Aus öffentlichen Quellen ist bekannt, dass Sortierroboter und KI-gestützte Objekterkennung bereits in LVP-Sortieranlagen im Einsatz sind (Friedl, 2022; Interzero, o. J.; PreZero, 2022; Thissen, 2022). Ein weiteres mögliches Anwendungsfeld dieser Technologien stellt die Separierung von Lebensmittel- und Nicht-Lebensmittelverpackungen dar oder die Ausschleusung bestimmter unerwünschter Objekte oder Verpackungen. Sie können zudem der Trennung bestimmter Verpackungsformen oder Mono- und Multilayern dienen (Kuchta et al., 2023).

Aus einer öffentlichen Quelle ist bekannt, dass derzeit in zumindest einer LVP-Sortieranlage auch Kunststoff-Fraktionen nach Farbe sortiert werden (PreZero, 2022). Die Anlage war im Bezugszeitraum nicht aktiv (Lang, 2022). Zudem ist öffentlich bekannt, dass die Farb- und ggf. auch Materialsortierung von Kunststoff-Fraktionen auch in Nachsortierungsanlagen zwischen LVP-Sortieranlage und Letztempfängeranlage stattfinden kann (Lang, 2023).

Grundsätzlich lässt sich die Aussage treffen, dass der Einbau zusätzlicher Sortiertechnik mit erhöhtem Platzbedarf in den LVP-Sortieranlagen verbunden ist. Neue Aggregate sowie Förderbänder und Lagerfläche für zusätzliche Fraktionen sind notwendig und werden oftmals als Argument gegen eine Aufrüstung genannt (Kuchta et al., 2023).

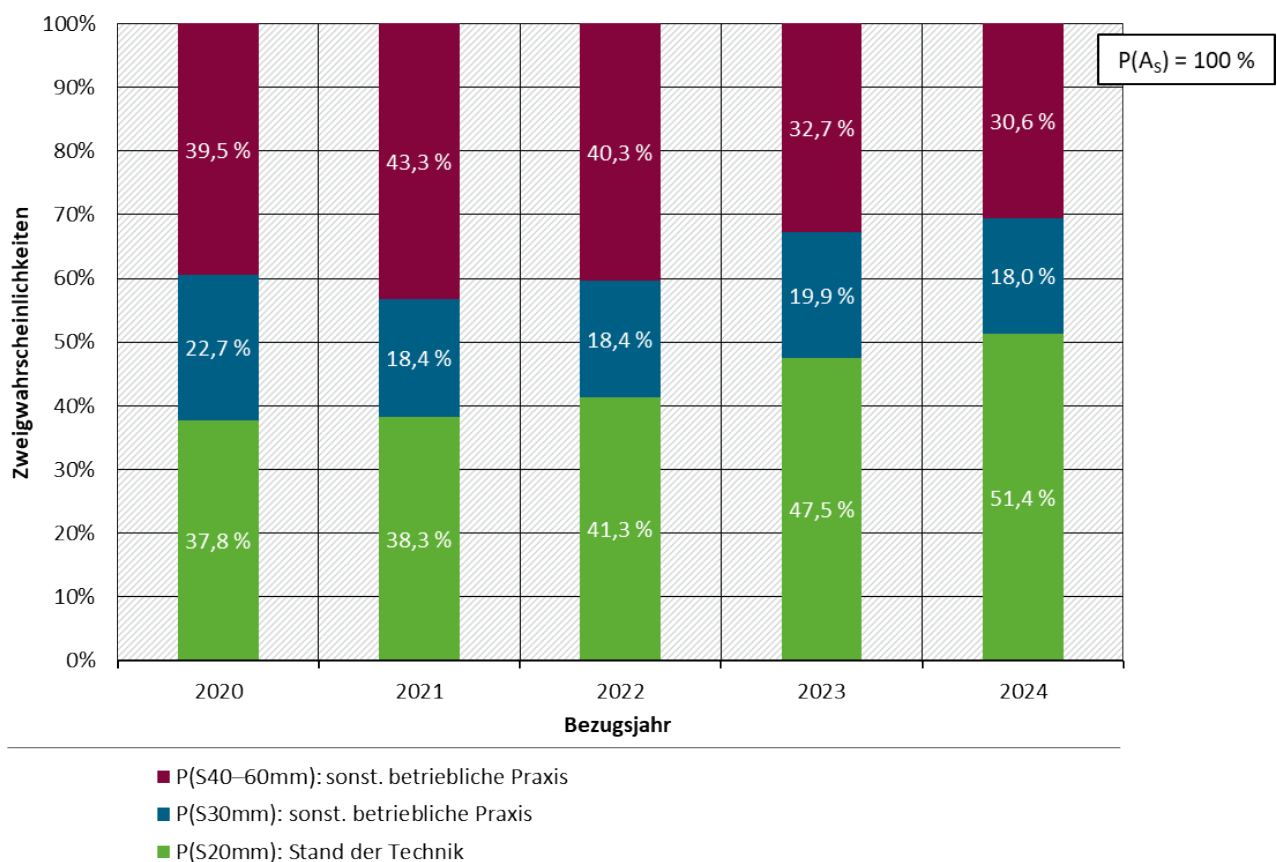
3.1.3 Ermittlung der Praxis der LVP-Sortierung

Im folgenden Abschnitt werden Erkenntnisse zur ermittelten Praxis der LVP-Sortierung erläutert und die Mengenrelevanz der Unterschiede zwischen den Anlagen verdeutlicht.

Maschenweite der Feinkornabsiebung

Nicht-metallische kleinstückige Verpackungen werden je nach Maschenweite der Feinkornabsiebung abgesiebt oder verbleiben im weiteren Prozess. In Abbildung 8 sind die Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten der Feinkornabsiebung dargestellt. $P(A_S)$ beträgt 100 %, da alle LVP-Sortieranlagen eine Feinkornabsiebung durchführen.

Abbildung 8: Praxis der Sortierung für 2020 bis 2024 – Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten der Feinkornabsiebung und Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021), Werte für 2020, 2021, 2022 und 2023 aus Grummt (2022), Grummt und Fabian (2023), Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024)

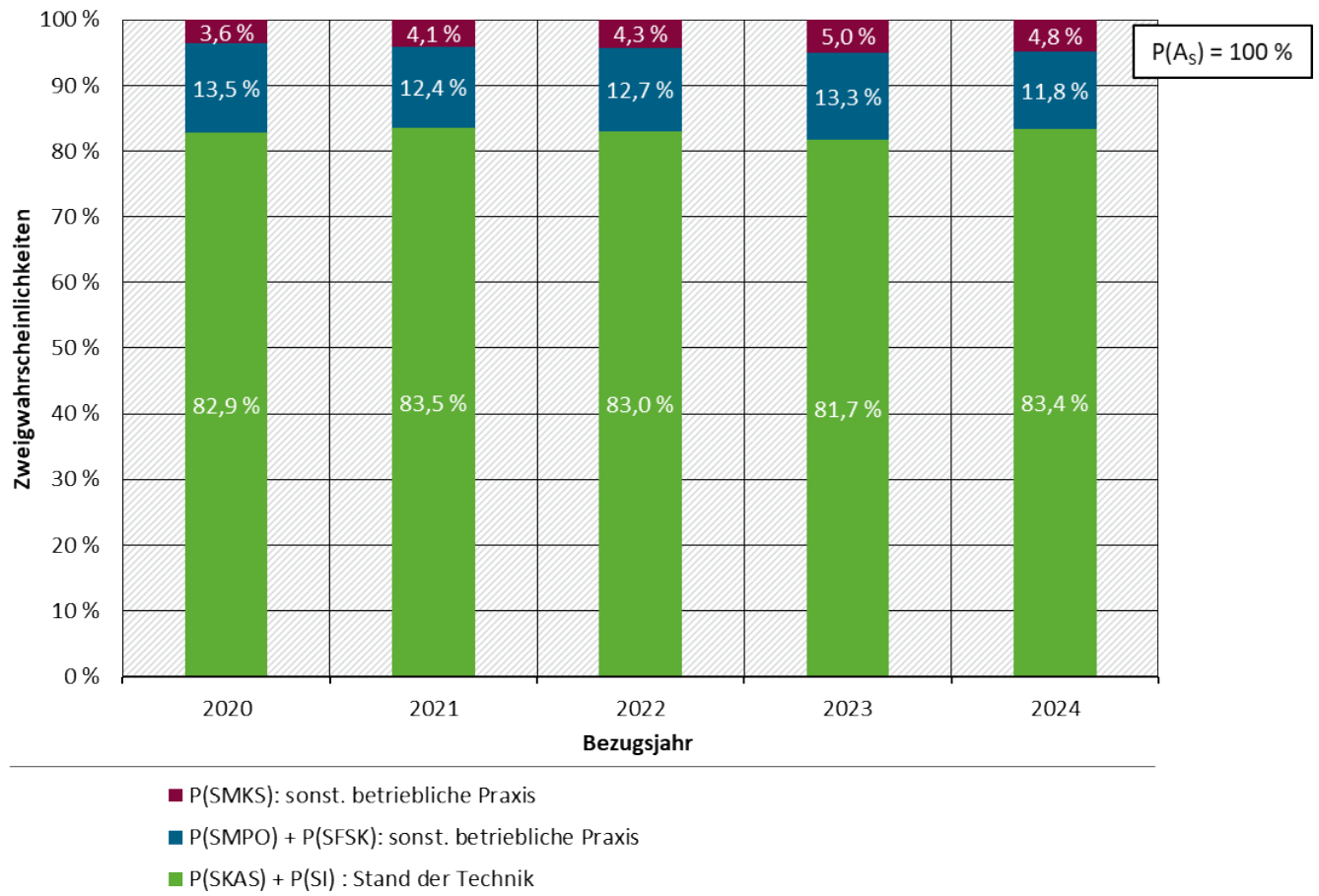
Die Variante bei einer Maschenweite von ≤ 20 mm wird dabei als Stand der Technik angesehen (Gespräch mit Hr. Dr. Christiani am 14.02.2024), da bei dieser Variante das Schwingsieb mit Langlochmasche zum Einsatz kommt. Die Feinkornabsiebung für S20mm erfolgte im Jahr 2024 bei ca. 51 % der LVP-Sammelmenge gesamt. Gegenüber 2020 ist die Zweigwahrscheinlichkeit $P(S20)$ um ca. 14 Prozentpunkte angestiegen. Damit zeigt sich nunmehr klar eine Verschiebung zu feineren Maschinenweiten. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung über eine LVP-Sortieranlage mit Maschenweiten von 30 mm (S30) oder 40 mm – 60 mm (S40–60) i. d. R. über Trommelsiebe geführt wird, lag in 2024 bei ca. 49 % und hat damit gegenüber 2020 um ca. 14 Prozentpunkte abgenommen.

In den bisherigen Befragungen wurde festgestellt, dass auch moderne Anlagen gröbere Maschenweiten verwenden. Ein LVP-Sortierer gab als Nachteil der feineren Maschenweiten an, dass die kleinstückigen Verpackungen zu Fehlausträgen bei den NIR-Trennern führen. Der maschinelle Sortierprozess erleide durch die kleinstückigen Verpackungen Störungen. Ein anderer LVP-Sortierer nannte als Vorteil der größeren Maschenweiten, dass die Hauptlinien von Störstoffen wie Knopfzellen, Batterien und kleinteiligen organischen Bestandteilen „entfrachtet“ würden. Dadurch erhöhe sich die Ausbringung und die Qualität in den Fraktionen. Der Nachteil der größeren Maschenweiten ist jedoch, dass kleinere Verpackungen dem Wertstoffstrom entzogen werden. In der aktuellen Erhebung wurde festgestellt, dass einzelne Anlagen von größeren auf feinere Maschenweiten umgestellt haben. Die Feinkornabsiebung sollte in zukünftigen Erhebungsbögen weiterhin abgefragt werden, um deren Entwicklung und Trend weiter zu beobachten und einzustufen.

Sortierung formstabiler Kunststoffverpackungen

Abbildung 9 stellt die Verteilung auf die Sortierkonzepte der formstabilen Kunststoffverpackungen für 2020 – 2024 dar. Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen werden an dieser Stelle mehrere Zweigwahrscheinlichkeiten zusammengefasst. Etwas über 80 % der LVP-Sammelmenge gesamt wurde in den letzten fünf Jahren über KA-Sortierung oder integrierte Aufbereitung erfasst (ohne Aussage zur Bildung einer PS-Fraktion 331), der Wert ist relativ konstant geblieben. Diese Sortierprozessvarianten werden als SKAS und SI bezeichnet. Eine vollständige KA-Sortierung mit Betrachtung der PS-Fraktion 331 wurde für ungefähr 50 % der LVP-Sammelmenen gesamt in 2020 – 2024 eingesetzt. Die weiteren Sortierkonzepte wurden bereits im Abschnitt 3.1.2 beschrieben: MPO-Sortierung (SMPO) und FSK-Sortierung (SFSK). In Summe betragen die Pfadwahrscheinlichkeiten für die eben genannten zwei Sortierkonzepte für 2020 – 2024 ca. 12 %. Nur für ca. 5 % der LVP-Sammelmenge gesamt wurden in 2020 – 2024 formstabile Kunststoffe als Mischkunststoffe erfasst (SMKS). $P(A_S)$ beträgt für alle fünf Jahre 100 %, da alle befragten LVP-Sortieranlagen formstabile Kunststoffverpackungen mit einer der genannten Varianten aussortieren.

Abbildung 9: Praxis der Sortierung für 2020 bis 2024 – Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten formstabiler Kunststoffverpackungen und Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_s)$



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021), Werte für 2020, 2021, 2022, 2023 aus Grummt (2022), Grummt und Fabian (2023) und Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024)

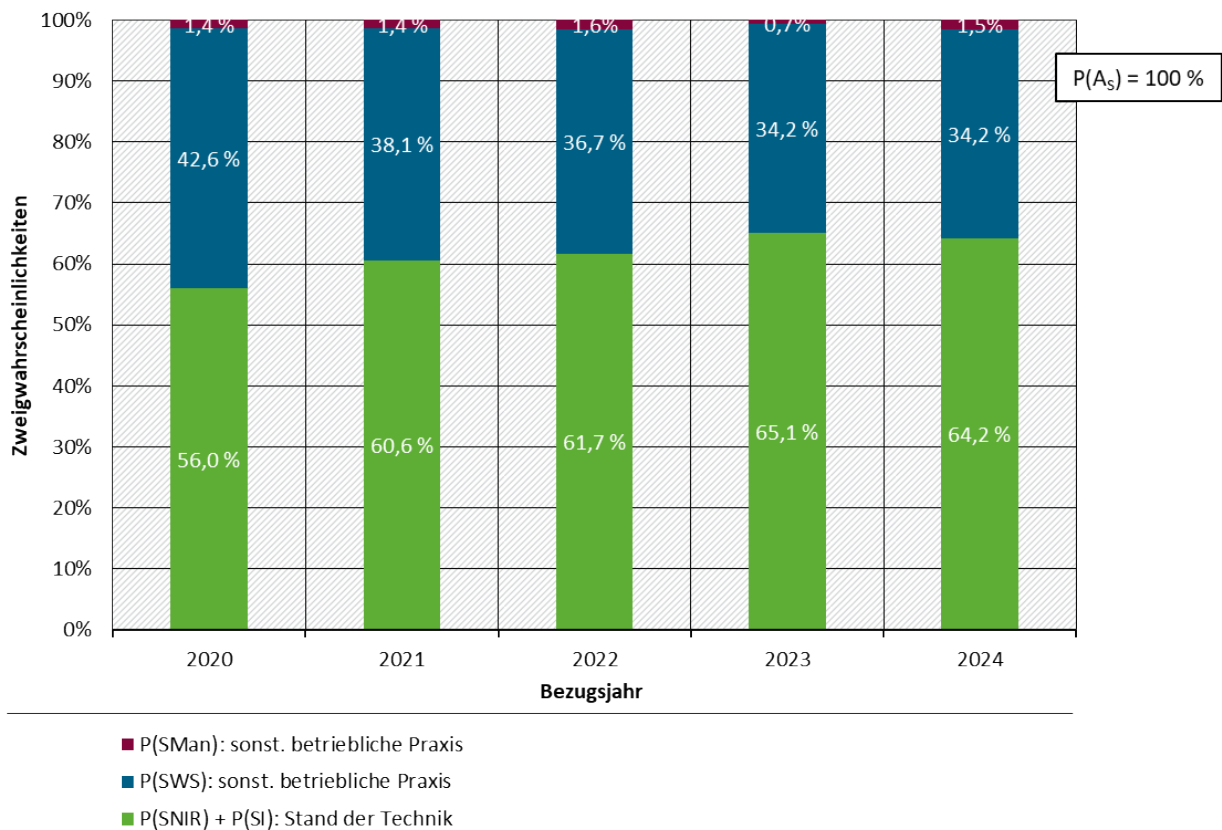
Sortierung flexibler Kunststoffverpackungen

Abbildung 10 zeigt die Unterschiede in der Anlagentechnik bei flexiblen Kunststoffverpackungen für 2020 – 2024. Bei ca. 43 % (2020), 38 % (2021), 37 % (2022), 35 % (2023) und 34 % (2024) der LVP-Sammelmenge gesamt wurden Folien konventionell über Anlagen mit Windsichtung (SWS) separiert. In 2020 wurden ca. 56 %, in 2021 ca. 61 %, in 2022 ca. 62 %, in 2023 ca. 64 % und in 2024 ca. 64 % der LVP-Sammelmenge gesamt zusätzlich über NIR-Trenner (SNIR) oder integrierte Aufbereitung (SI) separiert. Die Zweigwahrscheinlichkeiten $P(SNIR) + P(SI)$ haben demnach von 2020 gegenüber 2024 um etwa 8 Prozentpunkte zugenommen, wodurch sich ein positiver Trend abzeichnet. Vorteile von NIR-Trennern sind zum einen die Materialidentifizierung auf LDPE-Folien und zum anderen die damit verbundene Format-Unabhängigkeit. Etwa bei 37 % der LVP-Sammelmenge gesamt der befragten Anlagen mit sensorbasierter Foliensortierung mittels NIR-Trenner wurden auch kleinformatige LDPE-Folien (< DIN A4) sortiert (inkl. integrierte Aufbereitung). Etwa bei 53 % der LVP-Sammelmenge gesamt der befragten Anlagen erfolgt die sensorbasierter Foliensortierung mittels NIR-Trenner inkl. mittlere Formate aus Siebschnitt +140 mm o. ä. oder inkl. kleinformatiger Folien (inkl. integrierte Aufbereitung). Einige der Anlagen gaben an, zusätzlich zu den Folienfraktionen 310/310-1 die Fraktion PO-flex (323-2) zu sortieren. Somit ist die Bildung einer LDPE-Monofraktion und andererseits die Sortierung kleinformatiger Folien aus PE oder PP in die Fraktion PO-flex (323-2) möglich. In 2024 gab es zudem einige

LVP-Sortieranlagen, die flexible PP-Verpackungen und PP-Folien als Monofraktion PP-flex sortierten und für ein Recycling bereitstellten.

Die bereits genannten Vorteile der NIR-Trenner sind auch der Grund, warum der Pfad P(SNIR) + P(SI) als Stand der Technik-Pfad eingestuft wird. Zusätzlich zu den genannten Sortierverfahren werden auch ballistische Separatoren eingesetzt, um Leicht- und Schwerfraktion zu trennen. Wenige Anlagen gaben an, dass Folien ausschließlich manuell aussortiert werden (SMan). P(SMan) liegt für 2024 bei 1,5 % und ist demnach vernachlässigbar. P(A_S) beträgt für alle fünf Jahre 100 %, da die befragten LVP-Sortieranlagen flexible Kunststoffverpackungen mit einer der genannten Varianten aussortierten.

Abbildung 10: Praxis der Sortierung für 2020 bis 2024 – Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten flexibler Kunststoffverpackungen und Anwendungsgrad der Sortierung P(A_S)



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021), Werte für 2020, 2021, 2022 und 2023 aus Grummt (2022), Grummt und Fabian (2023), Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024)

Weitere Anwendungsgrade der Sortierung P(A_S)

In Tabelle 3 sind die Angaben zum P(A_S) für die Bezugsjahre 2019 bis 2024 gegenübergestellt. Die Sortierung der Fraktion Kunststoffhohlkörper > 5 Liter (322), welche entweder manuell oder über NIR aussortiert werden, hat in 2024 gegenüber 2019 um ca. 9 Prozentpunkte abgenommen. Gegenüber 2019 ist in der aktuellen Auswertung für 2024 ein deutlicher Anstieg für P(A_S) der Fraktion PO-flex (323-2) von ca. 20 Prozentpunkten ersichtlich. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Fraktion relativ neu ist und sich weiterhin als Alternative zur Fraktion Mischkunststoffe etablieren muss. Die Fraktion PP-flex als Monofraktion wird zunehmend für ein Recycling bereitgestellt. P(A_S) für PP-flex beträgt hierbei ca. 15 % für 2024. Aus

wettbewerbsrechtlichen Gründen kann die Zweigwahrscheinlichkeit mengenmäßig nicht als Klarwert angegeben werden.

Die Sortierung schwarzer Kunststoffe (351-5) als Monofraktion erfolgt weiterhin nur durch wenige Anlagen. Ruß in Verpackungen führt dazu, dass das von den Sensoren der NIR-Trenner ausgesendete Licht absorbiert wird (Knappe et al., 2021; Nüßler, 2016). Eine materialspezifische Zuordnung in Kunststoffarten kann daher bei rußbasiert gefärbten Verpackungen üblicherweise nicht gewährleistet werden. Nur wenige LVP-Sortieranlagen verfügen über spezielle Technologien, z. B. erweiterte Infrarot-Techniken (Friedl, 2022), die es ermöglichen, schwarz eingefärbte Kunststoffe als separate Fraktion auszusortieren. Dabei wird zwischen Technologien unterschieden, die lediglich schwarze Objekte identifizieren und solchen, die auch die Kunststoffart erkennen können (Kuchta et al., 2023). Laut Knappe et al. (2021) enthält die schwarze Fraktion i. d. R. verschiedene Kunststoffarten sowie auch andere schwarze Objekte. Es gibt jedoch mittlerweile schwarze Farbstoffe, die eine NIR-Detektion ermöglichen (Gürlich et al., 2022; Kuchta et al., 2023).

PS wurde in den letzten Jahren in den LVP-Sortieranlagen über verschiedene Fraktionen aussortiert (331, 351-X oder über integrierte Aufbereitung). $P(A_S)$ von PS lag in 2024 bei 62 % und damit weiterhin bei etwa zwei Dritteln der Sammelmenge gesamt. Verglichen mit den Vorjahren lässt sich vermuten, dass keine zusätzlichen Kapazitäten für PS-Verpackungen in den LVP-Sortieranlagen aufgebaut wurden.

$P(A_S)$ der Fraktion EPS (340) lag in den letzten sechs Jahren bei 0 %. EPS wird aktuell nicht über die LVP-Sortierung im industriellen Maßstab sortiert und verwertet. Es landet im Sortierrest und wird anschließend energetisch verwertet. Aus öffentlichen Quellen und aus einer früheren Erhebung ist ein Pilotprojekt für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling für EPS bekannt, welches zukünftig einen Betrieb im industriellen Maßstab anstrebt (EUWID Verpackung, 2022). Dies sollte weiterhin beobachtet werden.

Die Fraktionen Weißblech, Aluminium und FKN werden in den meisten LVP-Sortieranlagen sortiert und weisen infolgedessen hohe $P(A_S)$ auf. Für PPK aus LVP beträgt $P(A_S)$ in 2024 ca. 78 % – 85%²⁵.

Die Fraktion 328-5 „PET-Schalen“ wird nur von wenigen LVP-Sortieranlagen sortiert und einer werkstofflichen Verwertung zugeführt. Der $P(A_S)$ der Fraktion ist in 2024 gegenüber dem Vorjahr leicht angestiegen.

Insbesondere die Entwicklung der Sortierung von PS, PO-flex, PP-flex, PET-Schalen und der schwarzen Kunststoffe sollte über die kommenden Jahre weiterhin beobachtet werden.

Verpackungen aus beispielsweise flexiblem PET, XPS, PC, PVC, PA, PLA, kompostierbaren Kunststoffen, Duroplasten, Elastomeren, Textilien (natürliche und synthetische Fasern), Keramik, Porzellan, Steingut, Holz, Kork und anderen zuvor nicht genannten Kunststoffen werden in 2024 weiterhin nicht in LVP-Sortieranlagen sortiert und für eine werkstoffliche Verwertung bereitgestellt. Es besteht demnach auch kein hochwertiger werkstofflicher Recyclingpfad.

²⁵ Einige LVP-Sortieranlagen gaben an, diese Fraktion teilweise einer werkstofflichen und teilweise einer energetischen Verwertung zuzuführen. Wenn die LVP-Sortieranlagen dazu quantitative Aussagen trafen, wurde mit diesen Werten gerechnet. Teilweise machten LVP-Sortieranlagen jedoch keine Angaben zu den Anteilen. In solchen Fällen ergibt sich eine Spannweite. Für die untere Grenze der Spannweite wurden diese Anlagen nicht berücksichtigt (Worst Case). Bei der Obergrenze der Spannweite wurde die konservative Annahme getroffen, dass die Fraktion zu 50 % einer werkstofflichen Verwertung zugeführt wird (Best Case).

Tabelle 3: Weitere Anwendungsgrade der Sortierung P(A_S) für 2019 bis 2024

Sortierfraktion und -verfahren	P(A _S) für 2019 in %	P(A _S) für 2020 in %	P(A _S) für 2021 in %	P(A _S) für 2022 in %	P(A _S) für 2023 in %	P(A _S) für 2024 in %
Kunststoffhohlkörper > 5 Liter (322) über NIR oder manuell	51,2	50,7	48,3	46,9	42,0	42
PO-flex (323-2) über NIR	17,0	28,7	30,5	33,6	35,4	37
PP-flex als Monofraktion (324-1/2) über NIR	-	-	-	> 10	> 10 und < 15	> 10 und < 15
PS (331 inkl. 351-X und integrierte Aufbereitung)	68,4	64,2	65,3	66,9	62,4	62
EPS (340) über NIR	0	0	0	0	0	0
Schwarze Kunststoffe (351-5) über BlackScan	19,0	10,4	14,6	12,8	< 10	> 5 und < 10
Weißblech (410/412) über Magnetabscheidung	100	100	100	100	100	100
Aluminium (420) über Wirbelstromabscheidung	100	100	100	100	100	100
FKN (510, 512) über NIR oder manuell	NIR: 100 Manuell: 0	NIR: 99,8 Manuell: 0,2	NIR: 99,8 Manuell: 0,2	NIR: 99,8 Manuell: 0,2	95,8	95
PPK aus LVP (550) über NIR oder manuell	NIR: 97,1 Manuell: 2,9	NIR: 96,1 Manuell: 0,2	NIR: 95,5 Manuell: 0,2	NIR: 95,5 Manuell: 0,2	70,5 – 77,4 ^{26,25}	78 – 85 ²⁸
PET-Schalen (328-5) über NIR	11,6	17,1	16,1	< 10	18,2	19

Quelle: Aktuelle Erhebung (gerundet auf ganze %) sowie Werte für 2019 von Dehoust et al. (2021), Werte für 2020, 2021, 2022, 2023 aus Grummt (2022), Grummt und Fabian (2023) und Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024)

3.1.4 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale bei der Trennung und Sortierung

Die folgenden Tabellen zu den aufgelisteten problematischen Verpackungsmerkmalen basieren auf den Daten und Erkenntnissen des Teilberichts 2022/23 sowie aus den aktuellen Ergebnissen der Umfrage mit ausgewählten Fragen.

Die letzte Erhebung bot den LVP-Sortierern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungsmerkmale bei der Trennung, Identifizierung und Sortierung zu geben. Als Basis dafür dienten die im Anhang 2 des Mindeststandards 2023 aufgeführten

²⁶ Einige LVP-Sortieranlagen gaben an, diese Fraktion teilweise einer werkstofflichen und teilweise einer energetischen Verwertung zuzuführen. Wenn die LVP-Sortieranlagen dazu quantitative Aussagen trafen, wurde mit diesen Werten gerechnet. Teilweise machten LVP-Sortieranlagen jedoch keine Angaben zu den Anteilen. In solchen Fällen ergibt sich eine Spannweite. Für die untere Grenze der Spannweite wurden diese Anlagen nicht berücksichtigt (Worst Case). Bei der Obergrenze der Spannweite wurde die konservative Annahme getroffen, dass die Fraktion zu 50 % einer werkstofflichen Verwertung zugeführt wird (Best Case).

„Verpackungsmerkmale, die eine Prüfung der Identifizierbarkeit einschließlich zielgerichteter Abtrennbarkeit in der sensorgestützten Sortierung durch Messung erfordern“ (ZSVR, 2023). Zusätzlich abgefragt wurden „Sleeves mit Lichtschutz (schwarz oder Metallisierung)“, da dies im Teilbericht 2021/22 von LVP-Sortieranlagen als Problem angegeben wurde. Die Ergebnisse des Teilberichts 2023/24 sind mit den Ergänzungen aus der aktuellen Erhebung in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Problematische Verpackungsmerkmale der LVP-Sortieranlagen (Anzahl: 33) aus Anhang 2 des Mindeststandards bei der Trennung und Sortierung²⁷

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht / kann ich nicht sicher sagen	Merkmal verursacht Störungen im Sortierprozess (z.B. Ausfallzeit, Verstopfung oder Beschädigung der Anlage)	Merkmal verschlechtert Trenn-/Sortierbarkeit		Kein Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch		
Kunststoffverpackungen:						
Großflächige Etikettierung (> 50 % der projizierten Fläche) mit Fremdmaterial	5	0	15	10	2	1
Fullsleeve-Etikettierung	6	0	6	18	2	1
Multilayer-Aufbau (außer PE-/PP-EVOH)	11	0	7	11	3	1
Metallisierung (außer innwändig/in der Mittelschicht metallisiert)	13	0	14	4	0	2
Farbgebung unter Verwendung rußbasierter Pigmente (auch bei Verwendung in innenliegenden Layern)	17	0	3	11	1	1
Unterschiedliche Kunststoffarten auf Vorder- und Rückseiten	13	0	7	10	1	2
Großflächig (> 50 % der Oberfläche) aufgebrachte Metallpigmente (Lackierung, Beschichtung oder Prägung)	11	0	3	17	1	1

²⁷ Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht / kann ich nicht sicher sagen	Merkmal verursacht Störungen im Sortierprozess (z.B. Ausfallzeit, Verstopfung oder Beschädigung der Anlage)	Merkmal verschlechtert Trenn-/Sortierbarkeit		Kein Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch		
Netze	6	16	1	8	0	2
Sleeves mit Lichtschutz (schwarz oder Metallisierung)	13	0	1	17	1	1
Faserbasierte Verbundverpackungen und PPK-Verpackungen:						
Vollflächig lackierte Oberfläche	13	0	0	18	1	1
Kunststoffbeschichtete Oberfläche	12	0	10	8	2	1
Großflächig (> 50 % der projizierten Fläche aufgetragene Metallpigmente (Lackierung, Bedruckung, Beschichtung oder Prägung)	14	0	6	10	1	2
Schwarz durchgefärbt unter Verwendung rußbasierter Pigmente	8	0	3	18	2	2
> 50 % vollflächig schwarz bedruckt (inkl. Fondfarbe) unter Verwendung rußbasierter Pigmente	11	0	9	9	2	2
FKN:						
Vom Standardaufbau (nicht nassfest ausgerüsteter Karton, PE ± Alu) abweichende Ausführung	15	0	8	2	3	5

Quelle: Tabelle basierend auf der aktuellen Erhebung und Erkenntnissen des Teilberichts 2022/23 (Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024)), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021), Inhalte der Abfrage in Anlehnung an Anhang 2 des Mindeststandards 2023 (ZSVR, 2023)

Im Ergebnis war festzustellen, dass viele der Angaben aus dem Anhang 2 des Mindeststandards 2024 von den LVP-Sortierern bestätigt wurden. Wir empfehlen daher alle bisherigen Angaben im Anhang 2 des kommenden Mindeststandards weiterhin aufzulisten. Bei

der aktuellen Befragung der LVP-Sortierer bestand wiederholt die Möglichkeit, eigeninitiativ in ein Freitextfeld kritische Verpackungen anzugeben, die eine Sortierung oder Trennung erschweren können. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5: Problematische Verpackungsmerkmale der LVP-Sortieranlagen (Anzahl: 33) bei der Trennung und Sortierung^{28,29}

Problematische Verpackungsmerkmale	Merkmal verursacht Störungen im Sortierprozess (z.B. Ausfallzeit, Verstopfung oder Beschädigung der Anlage) (A)	Merkmal verschlechtert Trenn-/Sortierbarkeit		Kombinierte Antworten	Keine Angabe zur Einschätzung
		geringfügig (B)	drastisch (C)		
<i>Lithium-Ionen-Akkus; Elektronik(alt)geräte mit Lithium-Ionen-Akkus (Brandgefahr)</i>	4		5	5 x A/C	
<i>Ballongasflaschen, z. B. für Helium (erhebliches Gesundheits- und Brandrisiko; werden von Magnetabscheidern nicht sicher abgetrennt und können NIR-Trenner beschädigen)</i>	1	5		1 x A/C 1 x A/B	1
<i>Funktionsverpackungen mit Greenwashing-Claims, z. B. Kühlverpackung für den Lebensmittelversand, verpackt in eine PE-Folie mit recyceltem PET-Vlies gefüllt; landet im Sortierrest, wenn PE-Folie nicht vorab durch Verbraucher*in abgetrennt</i>				1 x A/C	
<i>Funktionsverpackungen mit Greenwashing-Claims, z.B. Kühlverpackung für Lebensmittelversand, verpackt in einen Kunststoffbeutel mit Papierstaub gefüllt; Gesundheitsrisiko durch Staubbelastung, wenn Beschädigung im Sortiervorgang erfolgt</i>				1 x A/C	
<i>Netze für z. B. Obst, Gemüse, Bäume, etc. (steigender Anteil im Verpackungsbereich, beschädigen die Maschinen)</i>	1			1 x A/C	
<i>Lichterketten (bleiben wie Netze in den Maschinen hängen)</i>				1 x A/C	
<i>Agrarfolien</i>				1 x A/C	
<i>Stoffgleiche Nichtverpackungen aus Gewerbe (sind nicht zulässig, aber immer enthalten und führen zu Verstopfung)</i>				1 x A/C	
<i>PET-Schalen (fehlende Verwertung)</i>					3
<i>PET opak (fehlende Verwertung)</i>					2

²⁸ Problematische Verpackungsmerkmale, die von verschiedenen Anlagenbetreibern genannt wurden, aber sich einer gemeinsamen Problematik zuordnen lassen, wurden zusammengefasst.

²⁹ Abbildung der Buchstaben zu den kombinierten Antworten befinden sich hinter den Spaltenüberschriften.

Problematische Verpackungsmerkmale	Merkmal verursacht Störungen im Sortierprozess (z.B. Ausfallzeit, Verstopfung oder Beschädigung der Anlage) (A)	Merkmal verschlechtert Trenn-/Sortierbarkeit		Kombinierte Antworten	Keine Angabe zur Einschätzung
		geringfügig (B)	drastisch (C)		
Papier/Kunststoff-Verbunde; faserbasierte Verbundverpackungen				2 x A/C	9 ³⁰
Mehrkomponenten-Verpackungen, z. B. Pralinenschachteln, Zigarettenpackungen			1		
Multi-Layer-Verpackungen (keine Verwertungsmöglichkeit, egal ob flexibel oder formstabil)					1
Flasche PP mit Sleeve (z.B. OPS) (teilweise keine Aussortierung möglich)					1
PS mit Dichte <1,00 g/cm ³ , (Gefahr der Kontamination der Fraktionen PE-HD und PP)					1
Systemfremde Kunststoffe (technische Kunststoffe)					1

Quelle: Tabelle basierend auf der aktuellen Erhebung und den Erkenntnissen des Teilberichts 2022/23 (Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024)), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Die genannten Aspekte lassen sich in drei Kategorien einordnen:

- Punkte, die im Expertenkreis III (EK III) eingebracht wurden oder werden könnten:
 - Folgende Angaben machten LVP-Sortierer zur Fraktion PPK aus LVP: Die Fasern gelangen ins Kunststoffregranulat und/oder der Kunststoff in das Fasermaterial. Beides sei unerwünscht und führe zu Verlusten. Das Gewicht pro Verpackungseinheit verdoppele bis verdreifache sich. Die Materialien seien häufig durchnässt und verklebt. Die Sortierbarkeit sei schlechter als bei beispielsweise PP- oder PE-Verpackungen. Das Material lasse sich häufig nicht trennscharf erkennen, da z. B. die äußere Kontur nach der Erfassung nicht erhalten bleibe und es somit auch keinen Anhalt für die NIR-Trenner gebe. Damit sei die Unterscheidung zwischen PPK- und faserbasierten Verbundverpackungen schwierig. Die Ausbeuten der Verpackungen in den Papierfabriken seien schlecht, viele dieser Verpackungen würden in den Spuckstoffen der Papierfabriken landen (da keine Zerfaserung möglich sei). Die Problematik der Fraktion PPK aus LVP und die zunehmende Substitution von Kunststoffverpackungen zu faserbasierten Lösungen ist bereits Diskussionsthema im EK III. Eine Studie der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung (GVM) geht davon aus, dass sich der Verbrauch von faserbasierten Verbundverpackungen bis 2030 gegenüber 2020 mehr

³⁰ Es erfolgte eine Benennung als problematisches Verpackungsmerkmal, ohne eine nähere Einschätzung vorzunehmen.

als verdoppeln werde (GVM, 2024). An dieser Stelle sei erwähnt, dass auch die Umweltministerkonferenz über die starke Zunahme der faserbasierten Verbunde besorgt sei. Sie sieht für diese Verpackungen Handlungsbedarf und fordert umfassende Maßnahmen zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit und der Produzentenverantwortung (Lang, 2024).

- Die Problematik der Gasdruckflaschen wurde bereits in den vorherigen Teilberichten 2020/21 und 2022/23 diskutiert und in den EK III eingebracht. Es handelt sich um Verkaufsverpackungen, die keine Fehlwürfe darstellen und Schäden in den LVP-Sortieranlagen verursachen können. Im November 2021 empfahl der Beirat „Erfassung, Sortierung und Verwertung“ bei der ZSVR eine Pfandlösung für dickwandige Gasdruckflaschen und -kartuschen mit Gasen aller Art ab 200 ml. Der Beirat forderte einen Pflichtpfand im VerpackG. Ein freiwilliger Pfand auf Mehrweg-CO₂-Kartuschen werde bereits gehandhabt (ZSVR, 2021). Im Hinblick auf Lachgas-Druckbehälter könnte sich die Problematik zukünftig weitgehend deutlich abschwächen, wenn ein von der Bundesregierung geplantes Verbot der Abgabe von Kartuschen mit einer Füllmenge von mehr als 8 g verabschiedet werden sollte (Bundesgesundheitsministerium, 2025).
 - Die in der Tabelle aufgeführten zwei Kühlverpackungen für den Lebensmittelversand haben es in den letzten EK III-Saisons aus Zeitgründen nicht auf die Agenda geschafft. Es wird empfohlen, diese in der kommenden EK III-Saison zu prüfen und diskutieren.
- Aspekte, welche für den Mindeststandard keine Relevanz haben bzw. kein Handlungsbedarf gesehen wird, z. B.
- Lithium-Ionen-Akkus oder Lichterketten, da sie i. d. R. keine Bestandteile von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen, sondern einen Fehlwurf darstellen. Die Problematik muss an anderer Stelle gelöst werden, da der Mindeststandard lediglich eine Grundlage zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen darstellt.
- Verpackungsmerkmale, die bereits im Mindeststandard enthalten sind, z. B.
- „Netze“ im Anhang 2 des Mindeststandards 2024 (ZSVR, 2024).
 - PET-Schalen sind bisher im Anhang 1 des Mindeststandard 2024 in Spalte 3C eingeordnet, da die Infrastruktur für ein hochwertiges Recycling bisher nur marginal/nur im Einzelfall gegeben ist. Im vorliegenden Bericht wird dafür weiterhin keine andere Einstufung empfohlen. Es gibt aktuell Bestrebungen, das hochwertige werkstoffliche Recycling von systembeteiligungspflichtigen PET-Schalen auszubauen, weshalb die Entwicklung auch bei der LVP-Sortierung weiter beobachtet werden sollte.
 - Opake PET-Flaschen sind bereits über Anhang 1 Spalte 5 „Verpackungen/ Materialien außerhalb der Spezifikation“ im Mindeststandard 2024 (ZSVR, 2024) bei PET-Flaschen, transparent ausgeschlossen.

3.2 Verwertung von Kunststofffolien

3.2.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textbox zeigt, dass die Repräsentativität der Erhebung zu den Kunststofffolien-Verwertern gegeben ist (> 80 % abgedeckter Mengenanteil an der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen):

Erhebungsbogen Kunststofffolien-Verwerter

- ▶ Rücklaufquote (gemäß aktuellem Datenbestand)³¹: im In- und Ausland: 73 % (38/52); im Inland: 73 % (22/30)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: ca. 238.000 t; entspricht 100 % der Gesamtmenge aller Folienverwerter i. H. v. ca. 238.000 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen und die Fraktionen 310-0 und 310-1. Die Fraktionen 323-2 (PO-flex) und 324-2 (PP-flex) sind an dieser Stelle nicht mit betrachtet und werden im Abschnitt 3.5 separat berücksichtigt.

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.2.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 11 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Kunststofffolien. Als Grundlage der Erläuterung und der Reihenfolge der Prozesse dienten die beiden Befragungen, die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021) sowie der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP in der Version 5.1 und 6.1 (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022, 2025).

Die Fraktion Kunststofffolien (310-0, 310-1) wird in den LVP-Sortieranlagen über Klassierung und Windsichtung (S1) abgetrennt und für die Verwertungsanlagen als Großballen bereitgestellt. Die Größe der Folien beträgt dabei üblicherweise ca. > DIN A4. Mittels NIR-Trenner (S2) werden von vielen Anlagen auch kleinformatige Folien (ca. < DIN A4) sortiert.

Als Inputmaterial werden in der Recyclinganlage aus Gründen der Produktqualität von einigen Anlagen Systemmengen ausländischer Herkunft, Gewerbefolien oder Produktionsabfälle mitverarbeitet.

Nach der Abtrennung des Bindedrahtes werden die Kunststofffolien zu Mahlgut zerkleinert. In der trockenmechanischen Aufbereitung über Windsichtung und Metallabscheider werden lose Verunreinigungen abgetrennt (z. B. Papier, Fe-, NE-Metalle). In einigen Verwertungsanlagen wird das zerkleinerte Mahlgut ebenfalls über einen NIR-Trenner geführt, bei dem PP-Folien und Störstoffe abgetrennt werden (V2). Diese Vorsortierung wird durchgeführt, da der PP-Anteil die Qualität von LDPE-Folien negativ beeinflussen kann. Einzelne Anlagen gaben an, PP-Folien manuell auszusortieren. V1 umfasst Verwertungsanlagen, die keine NIR-Vorsortierung durchführen. V- umfasst alle Verwertungsanlagen von Kunststofffolien, die keine Referenzanlagen darstellen.

Der Waschprozess verfolgt das Ziel, Klebstoffreste, Papier und Etiketten und andere Störstoffe zu entfernen. Die Wäsche wird bei den befragten Referenzanlagen hauptsächlich als Kaltwäsche ausgeführt. Heißwäsche³² spielt bei der Reinigung des Mahlgutes in Bezug auf die

³¹ Im aktuellen Bezugszeitraum ist eine Vielzahl an Anlagen mit zum Teil sehr geringen Zuführungsmengen hinzugekommen, die im vorherigen Bezugszeitraum nicht beliefert wurden. Für viele dieser Anlagen liegen gemäß aktuellem Datenbestand keine auswertbaren Angaben vor, so dass die Rücklaufquote deutlich niedriger als in vergangenen Erhebungen liegt. Da diese Anlagen eine sehr geringe Mengenrelevanz haben, wirkt sich dies auf die Repräsentativität der Ergebnisse nur marginal oder nicht aus. Im konkreten Fall sind die Mengen so gering, dass sie durch die Rundung auf 1.000 t im folgenden Anstrich unsichtbar werden.

³² Nach Austausch mit einem Experten wurde als Kriterium für die Heißwäsche eine Temperatur von ≥ 70 °C definiert (Gespräch mit Hr. Dr. Christiani am 14.02.2024).

Mengenrelevanz eine untergeordnete Rolle. Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen kann die Zweigwahrscheinlichkeit für Heißwäsche an dieser Stelle mengenmäßig nicht als Klarwert dargestellt werden. Bei Verfahren mit Heißwäsche werden Detergenzien eingesetzt. Bei Verfahren mit Kaltwäsche werden üblicherweise keine Detergenzien hinzugegeben.

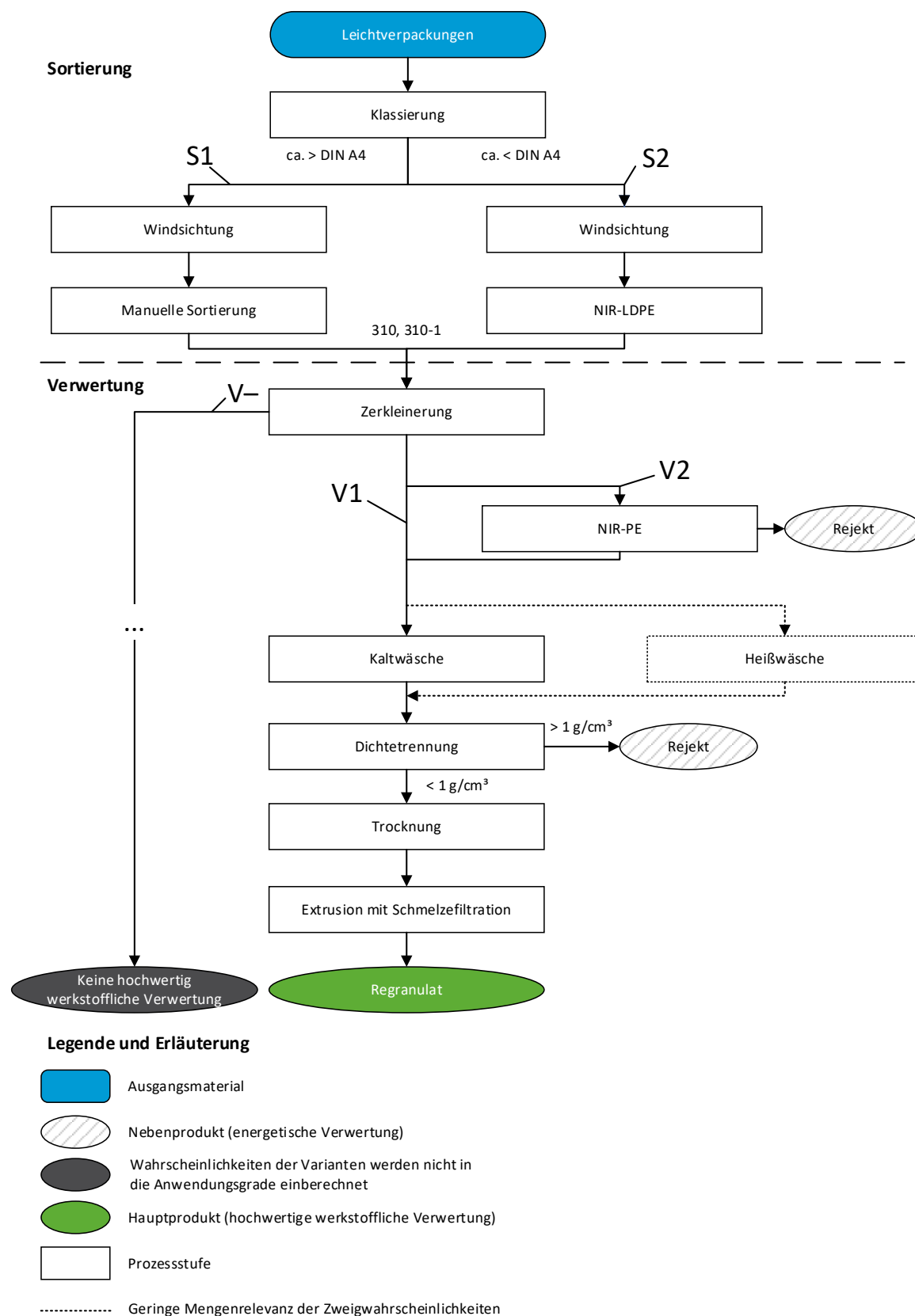
Die Dichtentrennung wird über Verfahren wie z. B. Hydrozyklone bei einer Dichte von 1 g/cm^3 durchgeführt³³. Das Sinkgut wird als Rejekt abgetrennt. Dazu gehören beispielsweise Verpackungskomponenten aus PS, PET oder PVC (Tschachtli et al., 2019). Das Schwimmgut wird anschließend getrocknet (mechanisch/thermisch).

Mittels Extrusion mit Schmelzefiltration wird das Mahlgut zu Regranulaten umgeschmolzen und als Verkaufseinheit bereitgestellt. Im Umschmelzprozess sind insbesondere die Bestandteile (z. B. Additive oder Blends) im Mahlgut problematisch, die sich im Schmelzprozess zersetzen und eine geringere Schmelztemperatur gegenüber der Verarbeitungstemperatur (LDPE: ca. 105 °C – 118 °C) besitzen (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022). Diese Bestandteile können eine Veränderung der Eigenschaften des finalen Rezyklats bedingen. Bestandteile mit höheren Schmelztemperaturen können als Rückstand über Schmelzefiltration separiert werden. Nachteilig ist dabei der Aufwand für die Reinigung des Filtersiebes sowie der Ausbeuteverlust (Tschachtli et al., 2019).

Weitere Prozessschritte wurden von den befragten Anlagen nicht angegeben. In keiner der befragten Anlagen wurden lösemittelbasierte Verfahren im industriellen Maßstab für systembeteiligungspflichtige Verpackungen angewendet. Zwischenzeitliche Planungen für eine Anlage, die Post-Consumer Kunststoffabfälle mittels lösemittelbasierter Verfahren im industriellen Maßstab recycelt (Brunn, 2024) scheinen sich mit der derzeit beabsichtigten Schließung des Standortes (MDR Sachsen-Anhalt, 2025) vorerst nicht zu konkretisieren. Auch für ein vom Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) entwickeltes lösemittelbasiertes Recyclingverfahren werden derzeit noch Partner gesucht (Fraunhofer IVV, 2025).

³³ Eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Technologien zur Dichtentrennung (Schwimm-Sink-Becken, Hydrozyklon, Zentrifuge) kann in UBA-Texte 92/2021 nachgelesen werden (Knappe et al., 2021).

Abbildung 11: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Kunststofffolien

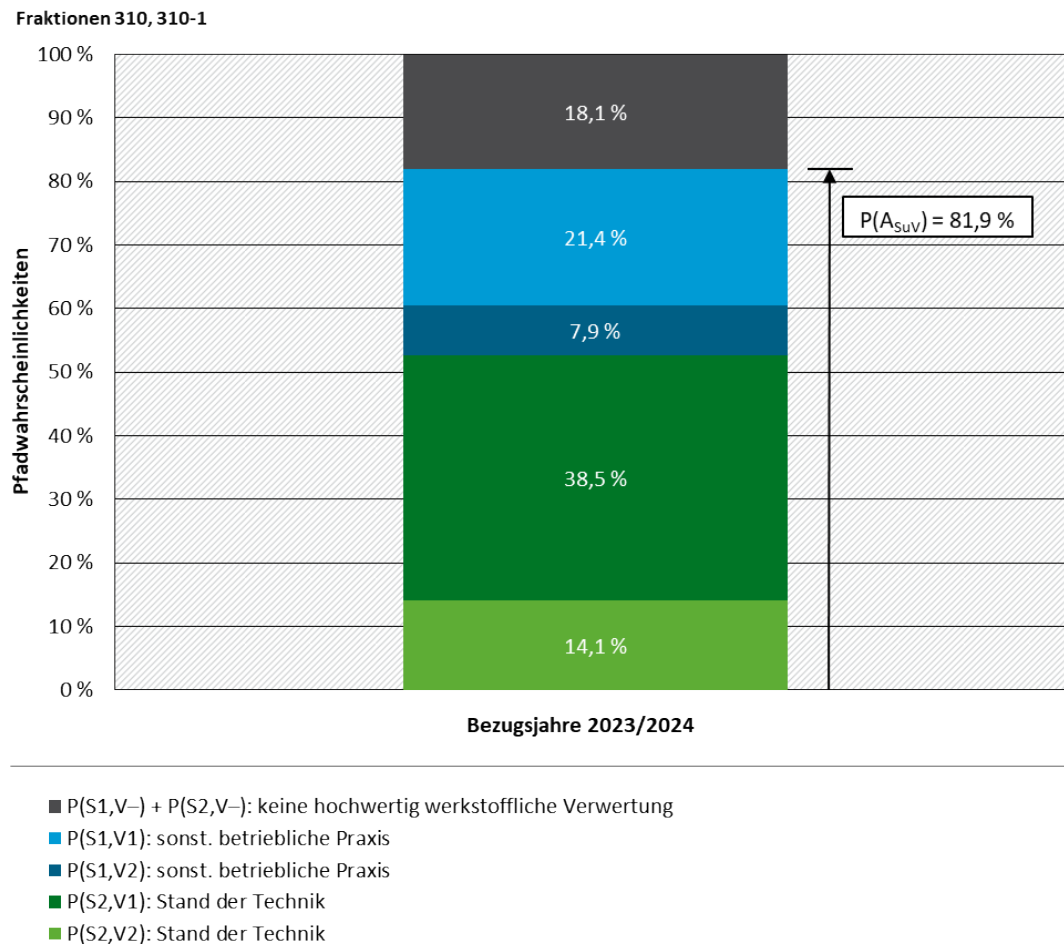


Quelle: Grummt (2022), aktualisiert durch Grummt und Fabian (2023), Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.2.3 Ermittlung der Praxis der SuV für Kunststofffolien

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer für 2024, als auch aus den Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023, kann $P(A_{SuV})$ für Kunststofffolien berechnet werden. $P(A_{SuV})$ beträgt in Summe rund 82 %. Die Verteilung der Mengen auf die in Abbildung 11 dargestellten Pfade ist in Abbildung 12 abgebildet.

Abbildung 12: Praxis der SuV für Kunststofffolien (Bezugsjahre 2023/2024)



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

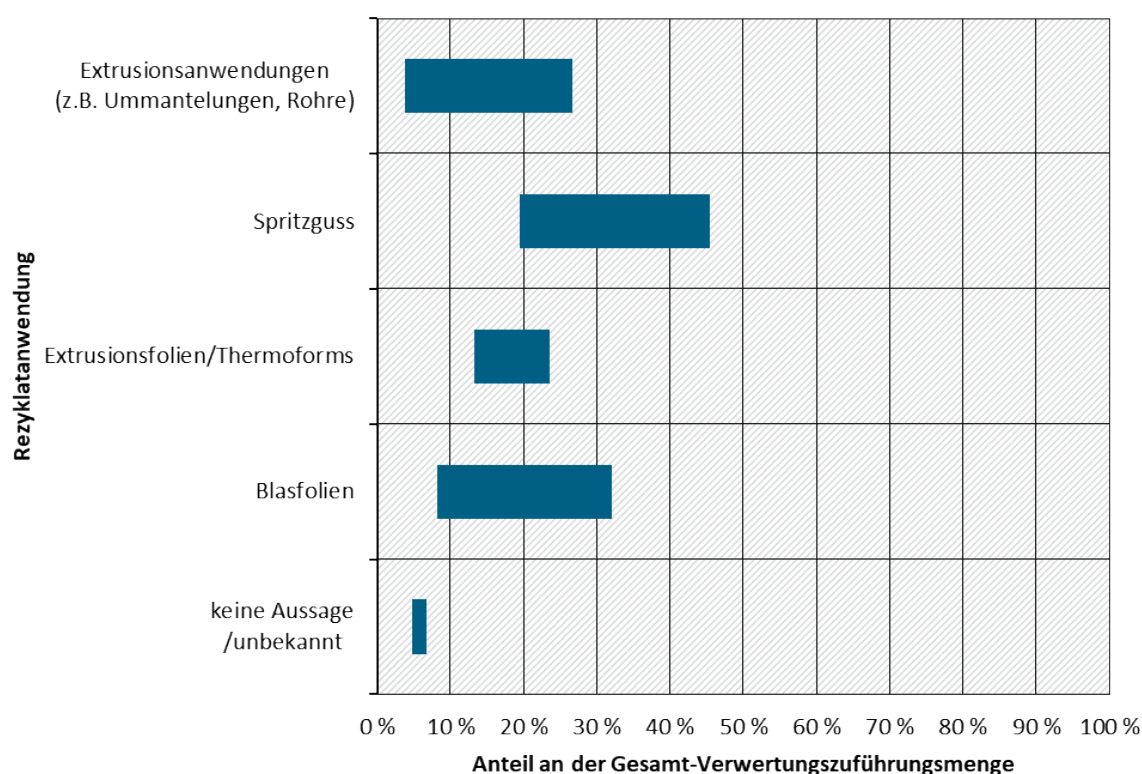
Die Pfadwahrscheinlichkeiten mit Sortierprozessvariante S2 ($P(S2, V1)$ und $P(S2, V2)$) werden weiterhin als Stand der Technik eingestuft. Bei diesen Pfadwahrscheinlichkeiten werden Folien bereits in der LVP-Sortieranlage über einen NIR-Trenner geführt und anschließend einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung zugeführt. Dabei werden überwiegend auch kleinformatige Folien einbezogen. $P(S2, V1)$ beträgt 38,5 % und $P(S2, V2)$ 14,1%. Die Wahrscheinlichkeiten mit S1 (Foliensortierung in der LVP-Sortieranlage nur über Windsichtung) wurden als sonstige betriebliche Praxis ermittelt. Dazu gehören $P(S1, V1)$ mit 21,4 % sowie $P(S1, V2)$ mit 7,9 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Varianten mit V-), beträgt 18,1 %.

3.2.4 Rezyklatanwendungen

Abbildung 13 zeigt die von den Recyclern von Kunststofffolien angegebenen Verarbeitungsverfahren der Rezyklate (im Folgenden vereinfacht als

„Rezyklatanwendung(en)“ bezeichnet). Von den Recyclern mit Referenzanlagen wurden überwiegend Spritzguss-, Extrusionsfolien/Thermoforms-, aber auch Blasfolienanwendungen angegeben. Durch die Überschneidung der Balken gestaltet sich die Abgrenzung der in Abbildung 11 dargestellten Anwendungen als schwierig. Eine quantitative Abfrage der Mengenverteilung auf die jeweiligen Anwendungen ist zwar erfolgt, wurde jedoch nicht von allen Anlagenbetreibern mitgeteilt. Einige der Anlagen, die Blasfolienanwendungen angaben, führen eine NIR-Vorsortierung auf PP-Folien durch. Produktbeispiele für flexible Spritzgussanwendungen aus LDPE sind Mörtelimer oder Bauwannen, Schrumpfhäuben und Müllbeutel für Blasfolienanwendungen und Rohre oder Ummantelungen für Extrusionsanwendungen (Christiani, 2024).

Abbildung 13: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von Kunststofffolien³⁴



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

3.2.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling

Die vorangegangene Erhebung bot den Recyclern von Kunststofffolien die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Komponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Recyclingprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 6 nochmals dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2023 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2023). Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungsmerkmalen gemacht werden. Diese konnten ebenso hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

³⁴ Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen wurde die Spannweite geringfügig manipuliert.

Tabelle 6: Einschätzung der Referenzanlagen von Kunststofffolien (Anzahl: 20) zu problematischen Verpackungsmerkmalen³⁵

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung, mangelnde Siegel-fähigkeit)		
Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Celluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt	0	0	5	9	5	1
Klebstoffkaschierte PA-Schichten	2	0	4	11	2	1
PA-Schichten in PE-PA-Coex-Folien	4	1	3	10	2	0
PE-X-Komponenten	5	1	4	8	2	0
PVDC-Schichten	5	0	3	9	2	1
Sonstige Nicht-PE-Polymerschichten (außer Haftvermittler, Klebstoffe, PP, EVA, EVOH)	4	0	1	9	6	0
Nicht-Polymer-Schichten (außer SiOx/AlOx /Metallisierung)	4	1	0	8	7	0
Nitrocellulose-basierte Druckfarben	4	0	4	8	3	1
PVC-basierte Druckfarben	4	0	2	10	3	1
PU-basierte Druckfarben	4	0	3	9	3	1
Reste von Etikettenklebstoffen	4	0	6	6	4	0
Weitere Angaben:						
<i>Biokunststoffe</i>				1		

³⁵ Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung, mangelnde Siegel-fähigkeit)		
Organische Farben (beeinflussen die Regranulat-Qualität)				3		
Zunahme des PP-Folienanteils				1		
Sand oder Matsch (zerstören die Maschinen)	1			1		
Gummi (kann nicht separiert werden)				1		

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 des Mindeststandards überwiegend von den Recyclern bestätigt werden. Einige der Angaben wurden von etwa der Hälfte der Anlagenbetreiber mit „Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität drastisch“ eingestuft. Wir empfehlen, alle im Anhang 3 des Mindeststandards aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten und die zusätzlich abgefragten Punkte im EK III zu diskutieren, soweit dies nicht zwischenzeitlich erfolgt ist. Im Folgenden wird auf ausgewählte Angaben vertieft eingegangen:

- Druckfarben können die finale Qualität des Rezyklats negativ beeinflussen und eine Eintragsquelle für verschiedene Substanzen sein. Im Mindeststandard 2024 (ZSVR, 2023), 2024 (ZSVR, 2024) sowie im Konsultationsentwurf für den Mindeststandard 2025 (ZSVR, 2025) wurden nitrocellulose-basierte Druckfarben (Cellulosenitrat, umgangssprachlich als Nitrocellulose (NC) bezeichnet) im Zwischenlagendruck bei den Recyclingunverträglichkeiten für PE-flex aufgenommen. NC-basierte Druckfarben werden laut EuPIA (Europäischer Druckfarbenverband, European Printing Ink Association) als Bindemittel-Polymer in Druckfarben für flexible Verpackungen verwendet und können die Rezyklatqualität mindern (EuPIA, 2021). Die Initiative PrintCYC (Kaeding-Koppers, 2023) untersuchte Verpackungsfolien, welche mit NC-basierter Druckfarbe bedruckt wurden. Die Rezyklate wiesen keine zufriedenstellenden Qualitäten durch Farbveränderungen, unangenehmen Geruch und atemwegsreizende Ausgasungen auf (Kaeding-Koppers, 2023). Laut Kaeding-Koppers (2023) können thermostabile Bindemittel PU (Polyurethan) eine Alternative zu NC als Bindemittel in Druckfarben für das Recycling darstellen. Die Studienlage für den Einfluss weiterer Bindemittel (wie PVC-basierte Druckfarben) und Druckfarbenbestandteile sollte vom EK III regelmäßig geprüft werden.
- Für Verpackungen aus biologisch abbaubaren und kompostierbaren Kunststoffen gibt es weder eine Sortierfraktion, noch einen hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfad.

Diese Verpackungen gelten gemäß Mindeststandard 2024 als nicht recyclingfähig (ZSVR, 2024).

- ▶ Gummi ist ein Elastomer, stellt i. d. R. einen Fehlwurf dar und wird deshalb nicht vom Mindeststandard adressiert. Silikonkomponenten (die ebenso den Elastomeren zuzuordnen sind), sind bereits als Recyclingunverträglichkeit bei den Folien eingestuft (ZSVR, 2024). Zudem sind „Kartuschen für Dichtmassen“ im Anhang 1 als Verpackung außerhalb der Spezifikation aufgeführt (ZSVR, 2024). Gummi und Silikone sind potentielle Geruchsverursacher, da sie bei der Extrusion verbrennen und zu erheblichen Qualitätsproblemen führen können (Kitzberger, 2017). Es besteht vorerst kein Handlungsbedarf für den Mindeststandard.
- ▶ Laut eines Anlagenbetreibers sei der Anteil der PP-Folien als kritisch anzusehen, da die NIR-Trennung von PP- und PE-Folien nicht funktioniere. Die Vorsortierung der Folienströme helfe nicht, um den PP-Anteil abzutrennen. Zudem gebe es laut Anlagenbetreiber keine ausreichend vorhandene Recyclingsituation für PP-Folien. Aus der aktuellen Erhebung ist bekannt, dass mittlerweile eine Sortier- und hochwertige Recyclinginfrastruktur für PP-Folien begrenzt vorhanden ist. Dennoch könnte dieser Punkt vom EK III geprüft werden.

3.3 Verwertung von PP und PE

3.3.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textboxen zeigen, dass die Repräsentativität der Erhebungen zu den PP- und PE-Verwertern gegeben ist (> 80 % abgedeckter Mengenanteil an der gesamten Zuführungsmenge):

Erhebungsbogen PP-Verwerter

- ▶ Rücklaufquote (gemäß aktuellem Datenbestand)³⁶: im In- und Ausland: 68 % (38/56); im Inland: 74 % (28/38)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: ca. 187.000 t; entspricht 90 % der Gesamtmenge aller PP-Verwerter i. H. v. ca. 208.000 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

³⁶ Im aktuellen Bezugszeitraum ist eine Vielzahl an Anlagen mit zum Teil sehr geringen Zuführungsmengen hinzugekommen, die im vorherigen Bezugszeitraum nicht beliefert wurden. Für viele dieser Anlagen liegen gemäß aktuellem Datenbestand keine auswertbaren Angaben vor, so dass die Rücklaufquote deutlich niedriger als in vergangenen Erhebungen liegt. Da diese Anlagen eine sehr geringe Mengenrelevanz haben, wirkt sich dies auf die Repräsentativität der Ergebnisse nur marginal oder nicht aus.

Erhebungsbogen PE-Verwerter

- ▶ Rücklaufquote (gemäß aktuellem Datenbestand)³⁷: im In- und Ausland: 68 % (27/40); im Inland: 63 % (15/24)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: ca. 101.000 t; entspricht 95 % der Gesamtmenge aller PE-Verwerter i. H. v. ca. 107.000 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

Teilweise verarbeiten Anlagen sowohl PP als auch PE. Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen und für PP die Fraktionen 324-X (PP), 351-X (formstabile Kunststoffe) und 323-0 (MPO) sowie für PE die Fraktionen 329-0 (PE), 351-X (formstabile Kunststoffe) und 323-0 (MPO). Die Fraktion 323-2 (PO-flex) ist an dieser Stelle nicht mit einbezogen und wird erst im Abschnitt 3.5 betrachtet. Die Fraktion 322 (Kunststoff-Hohlkörper > 5 Liter) wird im Abschnitt 3.3.3 separat berücksichtigt.

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.3.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 13 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von formstabilen Verpackungen aus PP und PE. Als Grundlage der Erläuterung und der Reihenfolge der Prozesse dienten die beiden Befragungen, die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021) sowie der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP in der Version 5.1 und 6.1 (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022, 2025).

In manchen Anlagen werden aus Gründen der Produktqualität Systemmengen ausländischer Herkunft, gewerbliche Abfallmengen oder auch Produktionsabfälle mitverarbeitet.

S1 (≤ 20 mm) und S2 (30 mm – 60 mm) kennzeichnen die zwei verschiedenen Sortierprozessvarianten und unterscheiden sich in der Maschenweite bei der Feinkornabsiebung in der LVP-Sortieranlage. S– umfasst die Anlagen, die PP und PE nicht aussortieren und für ein Recycling bereitstellen.

PP- und PE-Verpackungen werden über unterschiedliche Fraktionen in den LVP-Sortieranlagen über NIR-Trenner abgetrennt und für die Verwertungsanlagen als Großballen bereitgestellt. Die Verwertungsprozessvarianten V1 und V2 beschreiben Referenzanlagen. V– umfasst alle Verwertungsanlagen von PP und PE, die keine Referenzanlagen darstellen.

Zunächst wird der Bindedraht abgetrennt. Aus der Erhebung geht hervor, dass für Verpackungen aus PP und PE in einzelnen Anlagen eine Vorsortierung nach Farbe oder Material auf Artekebene stattfinden kann. Dies ist auch aus öffentlichen Quellen bekannt (Steinert, 2023).

Anschließend werden die Verpackungen zu Mahlgut zerkleinert. In der trockenmechanischen Aufbereitung über Windsichtung und Metallabscheider können lose Verunreinigungen abgetrennt werden (z. B. Papier, Fe-, NE-Metalle). Erstmalig abgefragt wurde die

³⁷ Im aktuellen Bezugszeitraum ist eine Vielzahl an Anlagen mit zum Teil sehr geringen Zuführungsmengen hinzugekommen, die im vorherigen Bezugszeitraum nicht beliefert wurden. Für viele dieser Anlagen liegen gemäß aktuellem Datenbestand keine auswertbaren Angaben vor, so dass die Rücklaufquote deutlich niedriger als in vergangenen Erhebungen liegt. Da diese Anlagen eine sehr geringe Mengenrelevanz haben, wirkt sich dies auf die Repräsentativität der Ergebnisse nur marginal oder nicht aus.

Prozesstechnik der Windsichtung auf Mahlgutebene zur Separierung von Etikettenanteilen und Folien. Diese wird von einigen Anlagen durchgeführt.

Der Waschprozess verfolgt das Ziel, Klebstoffreste, Anhaftungen und Etiketten zu entfernen. Die Wäsche wird bei den meisten befragten Referenzanlagen als Kaltwäsche ausgeführt (V1). Wenige Anlagen gaben an, das Mahlgut heiß zu waschen (V2). Eine Heißwäsche³⁸ ermöglicht eine intensivere Reinigung der Mahlgutoberfläche (von z. B. Produktanhaftungen von Lebensmitteln und Kosmetik, Fetten, Etiketten, Klebstoffen) sowie eine Minderung der Gerüche. Um eine bessere Reinigungsleistung zu erzielen, wird das Waschwasser dabei auf eine bestimmte Temperatur erhitzt. Durch das Heißwaschen des Mahlguts kann die Qualität der Rezyklate verbessert und das Einsatzspektrum erweitert werden (Knappe et al., 2021). Die Mehrheit der PP- und PE-Recycler gab an, dass die Wäsche ohne Zugabe von Natronlauge oder Detergenzien erfolgt. Da die Heißwäsche eine wichtige Prozessoperation zur Entfernung von Etikettenklebstoffen und Gerüchen darstellt, wird diese Variante in der Pfadbeschreibung dargestellt. Mengenmäßig kann diese Variante für PP-Recycler jedoch aus wettbewerbsrechtlichen Gründen nicht als Klarwert abgebildet werden. Für PE-Recycler ist dies nun erneut möglich: Ca. 16 % der Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen treffen auf Anlagen, die eine Heißwäsche einsetzen.

Die Dichtentrennung wird als Schwimm-Sink-Trennung über Verfahren wie Schwimm-Sink-Becken bei einer Dichte von 1 g/cm^3 durchgeführt³⁹. Das Sinkgut wird als Rejekt ausgeschleust. Dazu gehören beispielsweise Verpackungskomponenten aus PS, PET oder PVC (Tschachtli et al., 2019), aber auch Holz und Glas (Knappe et al., 2021). Zudem werden auch Kunststoffe abgetrennt, bei denen die Dichte durch Additive auf über 1 g/cm^3 erhöht wurde. PP und PE können aufgrund der geringen Dichteunterschiede in diesem Verfahren nicht voneinander getrennt werden (Tschachtli et al., 2019). Das Schwimmgut wird anschließend getrocknet (mechanisch/thermisch).

Einige Anlagen gaben an, eine Mahlgut-Nachsortierung nach Farbe oder Material durchzuführen. Eine farbliche Mahlgut-Nachsortierung ermöglicht eine Separation von hellem Mahlgut und den anschließenden Einsatz in dafür passenden Anwendungen. Die ursprüngliche Farbe des Mahlgutes lässt sich nicht entfernen, sodass eine Farbänderung nur durch eine Überfärbung möglich ist (Knappe et al., 2021). Anlagen mit Mahlgut-Nachsortierung wurden nicht als weitere Verwertungsvariante eingestuft, weil dies für die Zwecke des Mindeststandards nicht von Belang ist. Möglicherweise kann dieses Verfahren als Verwertungsvariante in zukünftigen Auswertungen mit angegeben werden, sofern es für Zwecke des Mindeststandards eine Relevanz erlangt. Für PE kann eine Aussage zur Menge getroffen werden: ca. 24 % der Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen treffen auf Referenzanlagen, die eine Mahlgut-Nachsortierung (nach Farbe oder Material) einsetzen.

Mittels Extrusion mit Schmelzefiltration wird das Mahlgut zu Regranulaten umgeschmolzen und als Verkaufseinheit bereitgestellt. Im Umschmelzprozess sind insbesondere die Bestandteile (z. B. Additive oder Blends) im Mahlgut problematisch, die sich im Schmelzprozess zersetzen und eine geringere Schmelztemperatur gegenüber der Verarbeitungstemperatur (PP: ca. 200 °C – 270 °C und HDPE: ca. 160 °C – 220 °C) besitzen (Tschachtli et al., 2019). Diese Bestandteile können die Eigenschaften des finalen Rezyklats verändern. Bestandteile mit höheren Schmelztemperaturen können als Rückstand über

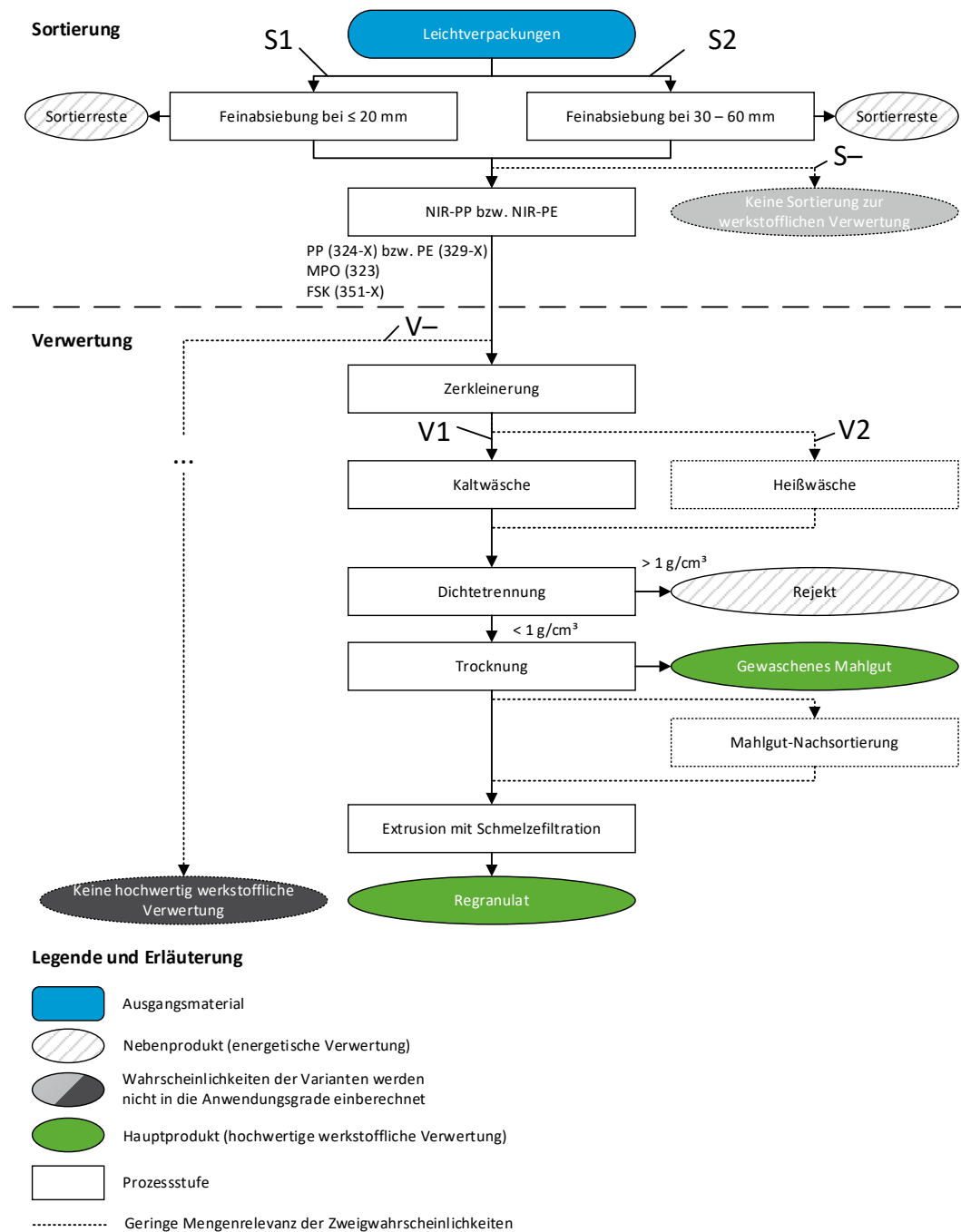
³⁸ Nach Austausch mit einem Experten wurde als Kriterium für die Heißwäsche eine Temperatur von $\geq 70 \text{ °C}$ definiert (Gespräch mit Hr. Dr. Christiani am 27.03.2023).

³⁹ Eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Technologien zur Dichtentrennung (Schwimm-Sink-Becken, Hydrozyklon, Zentrifuge) kann in UBA-Texte 92/2021 nachgelesen werden (Knappe et al., 2021).

Schmelzefiltration separiert werden. Nachteilig ist dabei der Aufwand für die Reinigung des Filtersiebes sowie der Ausbeuteverlust (Tschachtli et al., 2019).

Sowohl die Heißwäsche als auch die Mahlgut-Nachsortierung stellen bei PP- und PE-Recyclern den Stand der Technik dar (Gespräch mit Hr. Dr. Christiani am 14.02.2024). Zudem ist aus der Erhebung bekannt, dass mit geringer Mengenrelevanz Dekontamination über Vakuumextraktion und Desodorierung als Verfahren für PP und PE im Einsatz sind. Über diese Verfahren können schwer flüchtige, hochmolekulare Migrationsstoffe im Rezyklat entfernt und/oder Gerüche gemindert werden (EREMA Engineering Recycling, 2024b; Szombathy, 2021). Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen kann dazu keine Mengenangabe gemacht werden. Weitere Prozessschritte wurden von den befragten Anlagen nicht angegeben. In keiner der befragten Anlagen wurden lösemittelbasierte Verfahren im industriellen Maßstab angewendet.

Abbildung 13: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von formstabilen PP- und PE-Verpackungen

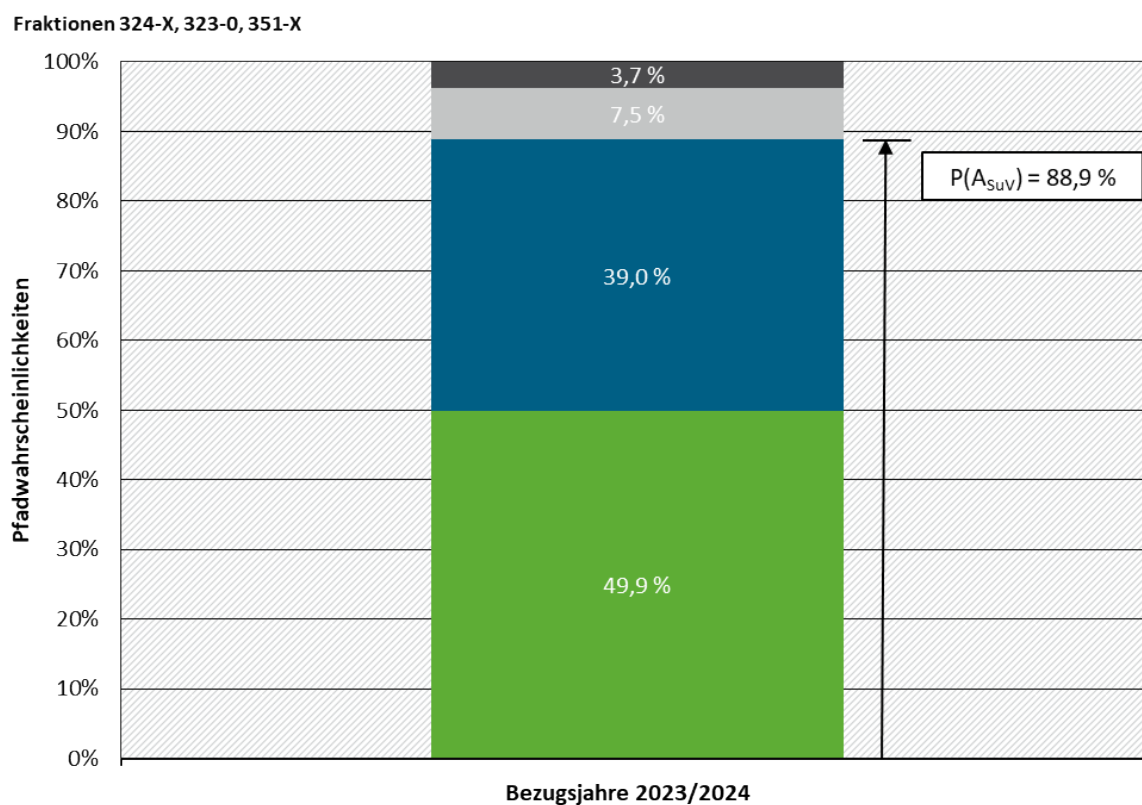


Quelle: Grummt (2022), aktualisiert durch Grummt und Fabian (2023), Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.3.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PP und PE

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer für 2024, als auch aus den Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023, kann $P(A_{SuV})$ für PP und PE berechnet werden. $P(A_{SuV})$ beträgt für PP 89 % und für PE in Summe 92 %. Die Verteilung der Mengen auf die in Abbildung 13 dargestellten Pfade ist in Abbildung 14 für PP und in Abbildung 15 für PE abgebildet.

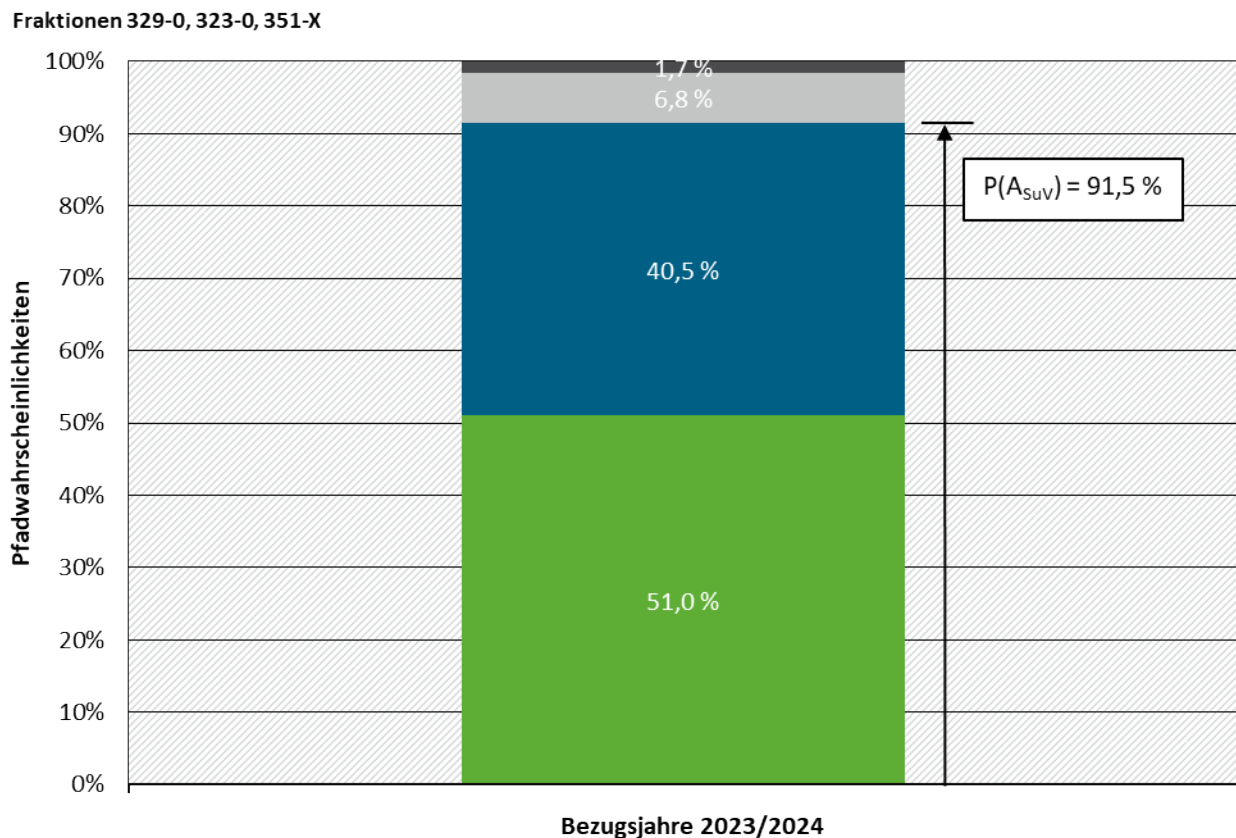
Abbildung 14: Praxis der SuV für formstabile PP-Verpackungen (Bezugsjahre 2023/2024)



- $P(S1,V-) + P(S2,V-)$: keine hochwertig werkstoffliche Verwertung
- $P(S-)$: keine Sortierung zur werkstofflichen Verwertung
- $P(S2,V1/V2)$: sonst. betriebliche Praxis
- $P(S1,V1/V2)$: Stand der Technik

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021); Abweichung von 100% rundungsbedingt.

Abbildung 15: Praxis der SuV für formstabile PE-Verpackungen (Bezugsjahre 2023/2024)



- P(S1,V-) + P(S2,V-): keine hochwertig werkstoffliche Verwertung
- P(S-): keine Sortierung zur werkstofflichen Verwertung
- P(S2,V1/V2): sonst. betriebliche Praxis
- P(S1,V1/V2): Stand der Technik

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

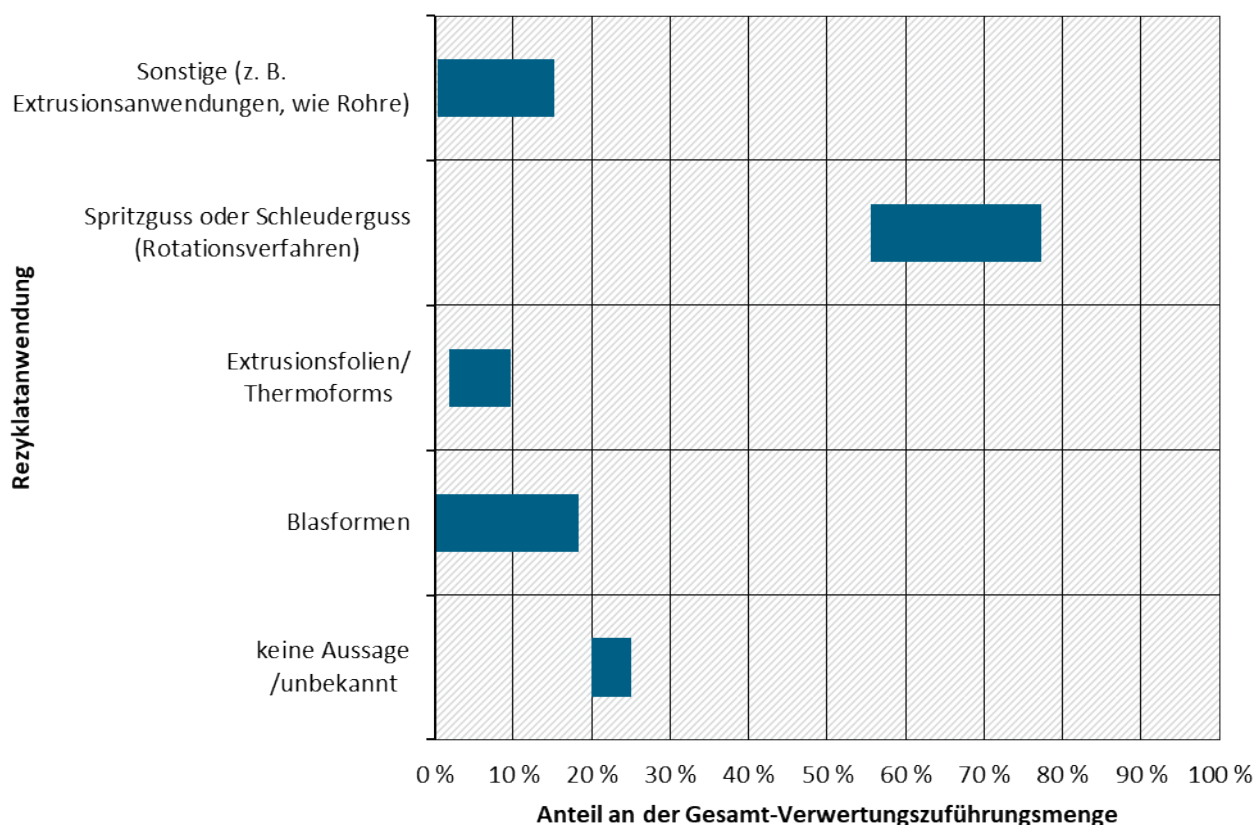
Die Pfadwahrscheinlichkeit P(S1,V1/V2) mit 49,9 % bei PP und mit 51,0% bei PE wird als Stand der Technik eingestuft. Bei dieser Variante findet eine Feinkornabsiebung bei ≤ 20 mm sowie eine anschließende Zuführung zu einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung statt. Die Wäsche des Mahlguts wird überwiegend als Kaltwäsche ausgeführt. Als sonstige betriebliche Praxis wurde P(S2,V1/V2) mit 39,0 % bei PP und 40,5 % bei PE ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeit umfasst eine Feinkornabsiebung bei 30 mm – 60 mm sowie eine Zuführung zu einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung. Die Wahrscheinlichkeiten, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Varianten mit S- und V-) betragen insgesamt 11,2 % bei PP und 8,5 % bei PE.

$P(A_{SuV})$ für Kunststoff-Hohlkörper > 5 Liter aus PP oder PE beträgt 91%. Dieser wurde separat bestimmt, da die Hohlkörper (Eimer und Kanister > 5 Liter) im Mindeststandard einzeln aufgeführt sind. Einbezogen werden hierbei die Fraktionen 322 (Kunststoffhohlkörper), 324-X (PP), 329-0 (PE), 351-X (formstabile Kunststoffe) und 323-0 (MPO).

3.3.4 Rezyklatwendungen

Von den PP- und PE-Recyclern wurden überwiegend Spritzgussanwendungen als Rezyklatanwendung genannt (Abbildung 16 für PP und Abbildung 17 für PE). Rezyklate gehen aber auch in geringeren Mengen in Blasformanwendungen, Extrusionsfolien/Thermoforms oder Extrusionsanwendungen. Produktbeispiele für Spritzgussanwendungen sind Farbeimer und Mülltonnen, Pflanztöpfe und Aufbewahrungsboxen (Christiani, 2024).

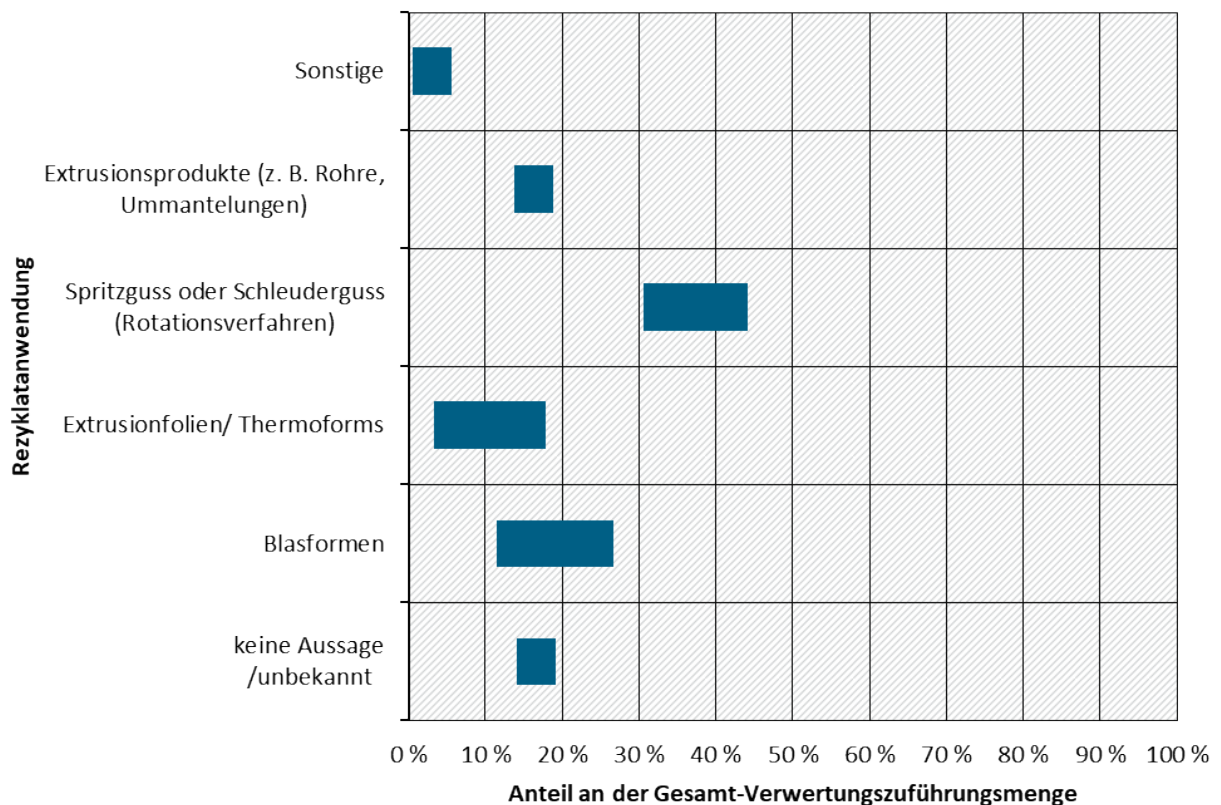
Abbildung 16: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von formstabilen PP-Verpackungen⁴⁰



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

⁴⁰ Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen wurde die Spannweite geringfügig manipuliert.

Abbildung 17: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von formstabilen PE-Verpackungen⁴¹



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

3.3.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling

Die Erhebungen boten den PP- und PE-Recyclern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungsmerkmale zu geben, welche spezifische Probleme im Recyclingprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 7 (PP) und Tabelle 8 (PE) dargestellt; da bei der neuen Erhebung keine weiteren Rückmeldungen erfolgten, sind die Ergebnisse aus Teilbericht 2022/23 erneut dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2023 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2023). Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungsmerkmalen gemacht werden. Diese konnten ebenso hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

⁴¹ Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen wurde die Spannweite geringfügig manipuliert.

Tabelle 7: Einschätzung der Referenzanlagen von formstabilen PP-Verpackungen (Anzahl: 16) zu problematischen Verpackungsmerkmalen⁴²

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)		
Silikonkomponenten	4	3	3	4	2	0
Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere	3	2	4	2	5	0
Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Celluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt	3	1	3	4	4	1
PA-Schichten	5	2	2	4	2	1
PVDC-Schichten	6	1	1	4	3	1
Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³	4	3	1	3	3	2
PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³	4	2	1	4	5	0
Nitrocellulose-basierte Druckfarben	6	1	3	3	3	0
PVC-basierte Druckfarben	6	1	3	3	3	0
PU-basierte Druckfarben	6	1	3	3	3	0
Reste von Etikettenklebstoffen	5	1	4	2	4	0

Weitere Angaben:

Multi-Layer-Verpackung				1		
Kunststoff-Papierverbunde (Verluste)						1

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

⁴² Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

Tabelle 8: Einschätzung der Referenzanlagen von formstabilen PE-Verpackungen (Anzahl: 12) zu problematischen Verpackungsmerkmalen⁴³

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)		
Silikonkomponenten	4	1	1	3	3	0
Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere	3	1	4	1	2	1
Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Celluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt	2	1	2	2	4	1
PA-Schichten	5	1	0	4	1	1
PE-X-Komponenten	5	1	0	4	1	1
PVDC-Schichten	5	2	0	3	1	1
Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³	2	2	2	3	3	0
PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³	2	2	2	2	4	0
Nitrocellulose-basierte Druckfarben	4	1	1	3	3	0
PVC-basierte Druckfarben	5	1	1	3	2	0
PU-basierte Druckfarben	5	1	1	3	2	0
Reste von Etikettenklebstoffen	3	2	2	2	3	0
Weitere Angaben:						
<i>Aluminium</i>				1		
<i>Sehr feiner Sand</i>		1				
<i>Kunststoff-Papierverbunde</i>				1		

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

⁴³ Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 des Mindeststandards (Ausgabe 2023) von einigen Referenzanlagen bestätigt werden. Die Verfasser*innen empfehlen, alle im Anhang 3 des Mindeststandards aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten. Im Folgenden wird auf eine ausgewählte Angabe vertieft eingegangen:

Jeweils ein PP- und PE-Recycler machte die Angabe, dass Kunststoff-Papierverbunde die Rezyklatqualität drastisch verschlechtern. Lässt sich das Papier nicht vom Kunststoff trennen, können verbleibende Papierfasern Qualitätsprobleme im Recyclingprozess verursachen. Ursache dafür ist, dass die Papierfasern Feuchtigkeit und organische Stoffe (z. B. Fette) aufnehmen können. Die Feuchtigkeit verdampft im Verwertungsprozess und die organischen Stoffe verbrennen während der Extrusion. Durch die Verbrennung können Gerüche entstehen. Diese können sich auf den Kunststoff übertragen. Rezyklate mit Geruchsproblemen erschweren den Einsatz in hochwertigen Anwendungen. Die Gerüche können durch Entgasungs- und Filtrationstechniken vermindert werden (Kitzberger, 2017; Knappe et al., 2021). Eine weitere Lösung gegen die Gerüche stellt Desodorierung oder Vakuumextraktion dar, die aber nur in einzelnen Anlagen eingesetzt wird. Papierfaserhaltige Etiketten sind bereits im Anhang 3 über das Kriterium „Geklebte cellulosehaltige Etiketten, die sich unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen“ abgedeckt (ZSVR, 2024). Der vorgesehene Sortier- und Verwertungspfad für faserbasierte Verbundpackungen in LVP-Sortieranlagen ist die Zuführung zur Fraktion PPK aus LVP. Sollten faserbasierte Verbundverpackungen bei Kunststoff-Recyclern landen, ist dies als ein Problem der Identifizierbarkeit in der sensorgestützten Sortierung einzustufen (Anhang 2 des Mindeststandards (Ausgabe 2024)). „Lackierte Oberfläche (außer klare Schutzlacke bis zu einer Lackstärke von ≤ 5 Mikrometer)“ sowie „kunststoffbeschichtete Oberfläche“ sind bereits im Anhang 2 des Mindeststandards (Ausgabe 2024) aufgelistet (ZSVR, 2024). Es besteht demnach vorerst kein Handlungsbedarf für den Mindeststandard. Die Problematik sollte jedoch weiterhin beobachtet werden.

3.4 Verwertung von PS

3.4.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textbox zeigt, dass die Repräsentativität der Erhebung zu den PS-Verwertern gegeben ist (> 80 % abgedeckter Mengenanteil an der gesamten Zuführungsmenge):

Erhebungsbogen PS-Verwerter

- ▶ Rücklaufquote (gemäß aktuellem Datenbestand)⁴⁴: im In- und Ausland: 20 % (2/10); im Inland: 17 % (1/6)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: ca. 23.700 t; entspricht 92 % der Gesamtmenge aller PS-Verwerter i. H. v. ca. 25.600 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 100 t/a)

Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen und die Fraktionen 331 (PS) und 351-X (formstabile Kunststoffe).

⁴⁴ Im aktuellen Bezugszeitraum ist eine Vielzahl an Anlagen mit zum Teil sehr geringen Zuführungsmengen hinzugekommen, die im vorherigen Bezugszeitraum nicht beliefert wurden. Für viele dieser Anlagen liegen gemäß aktuellem Datenbestand keine auswertbaren Angaben vor, so dass die Rücklaufquote deutlich niedriger als in vergangenen Erhebungen liegt. Da diese Anlagen eine sehr geringe Mengenrelevanz haben, wirkt sich dies auf die Repräsentativität der Ergebnisse nur marginal oder nicht aus.

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.4.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 18 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von formstabilen und nicht geschäumten PS-Verpackungen. Als Grundlage der Erläuterung und der Reihenfolge der Prozesse dienen die beiden Befragungen, die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021) sowie der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP in der Version 5.1 und 6.1 (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022, 2025).

S1 (≤ 20 mm) und S2 (30 mm – 60 mm) kennzeichnen die zwei verschiedenen Sortierprozessvarianten und unterscheiden sich in der Maschenweite bei der Feinkornabsiebung in der LVP-Sortieranlage. S– umfasst die Anlagen, die kein PS aussortieren und für ein Recycling bereitstellen. Die PS-Verpackungen werden für die genannten Fraktionen in den LVP-Sortieranlagen über NIR-Trenner abgetrennt und für die Verwertungsanlagen als Großballen bereitgestellt. Bei den befragten Verwertungsanlagen mit aktuellem Datenstand handelt es sich um Referenzanlagen (V1), damit beträgt $P(V1) \approx 100$ %.

Nach der Abtrennung des Bindedrahtes werden die Verpackungen zu Mahlgut zerkleinert. In der trockenmechanischen Aufbereitung über Windsichtung und Metallabscheider können lose Verunreinigungen abgetrennt werden (z. B. Papier, Fe-, NE-Metalle).

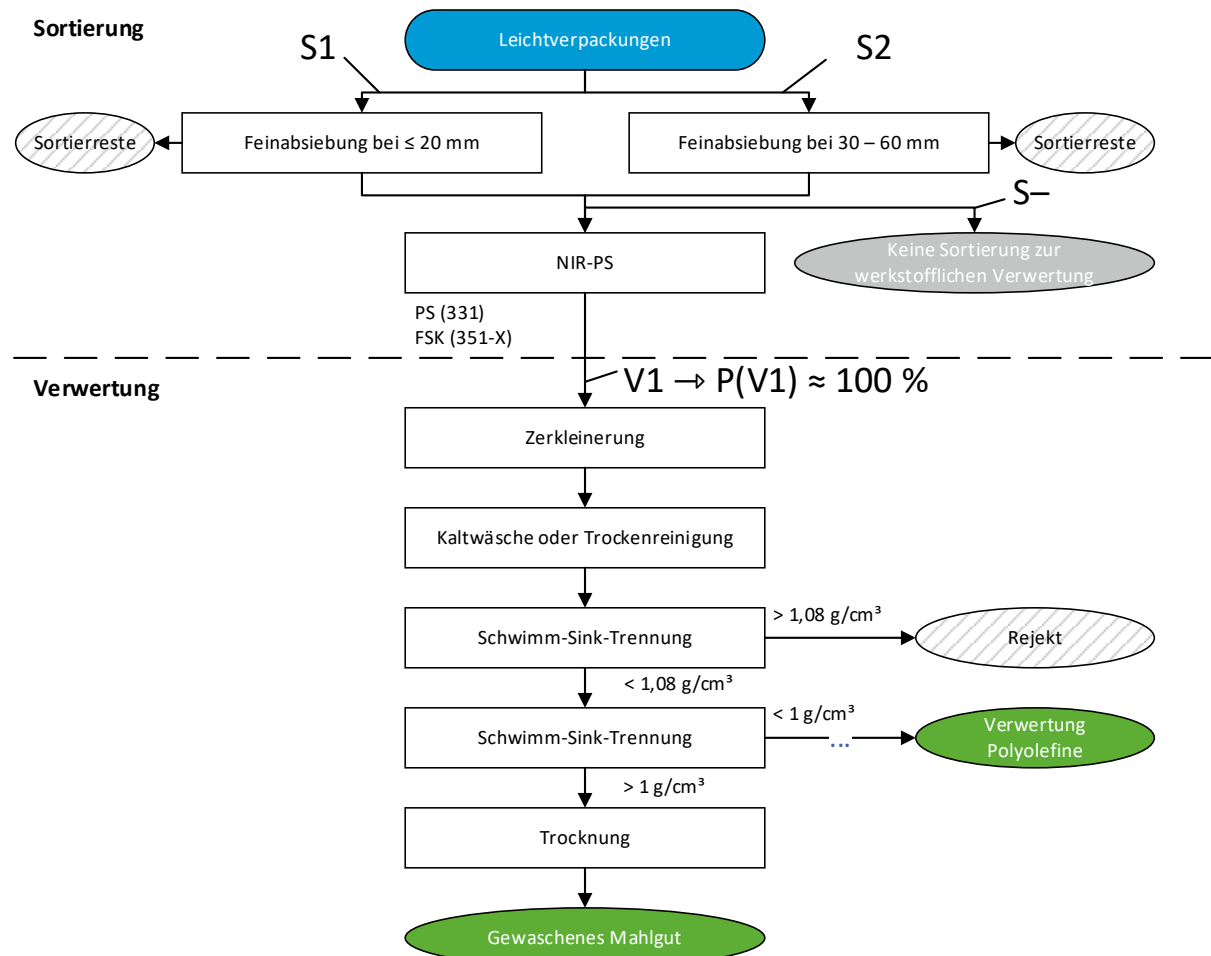
Der Waschprozess verfolgt das Ziel, Klebstoffreste, Anhaftungen und Etiketten zu entfernen. Die Wäsche wird bei den befragten Referenzanlagen als Kaltwäsche ausgeführt. Die PS-Recycler gaben an, dass die Wäsche ohne Zugabe von Natronlauge oder Detergenzien erfolgt.

Die Dichtentrennung erfolgt zweistufig als Schwimm-Sink-Trennung über Verfahren wie Schwimm-Sink-Becken bei den Dichten $1,08 \text{ g/cm}^3$ (sogenannte „Salzstufe“ (Dehoust, et al. 2021)) und 1 g/cm^3 ⁴⁵. In den befragten Anlagen wird PS mit den Kunststoffen PE und PP zusammen verarbeitet. PS wird als Schwimmgut bei $1,08 \text{ g/cm}^3$ und als Sinkgut bei 1 g/cm^3 separiert. Bei der ersten Trennstufe wird das Sinkgut bei $1,08 \text{ g/cm}^3$ (z. B. PVC oder Metalle) als Rejekt ausgeschleust. Die zweite Trennstufe bei 1 g/cm^3 dient zur Trennung von PE/PP (Schwimmgut) und PS (Sinkgut). Nach den beiden Trennstufen wird PS getrocknet (mechanisch/thermisch). Das Schwimmgut bei 1 g/cm^3 wird zu PO-Rezyklat weiterverarbeitet.

Weitere Prozessschritte wurden von den befragten Anlagen nicht angegeben. In keiner der befragten Anlagen kommen lösemittelbasierte Verfahren oder Heißwäsche im industriellen Maßstab zur Anwendung.

⁴⁵ Eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Technologien zur Dichtentrennung (Schwimm-Sink-Becken, Hydrozyklon, Zentrifuge) kann in UBA-Texte 92/2021 nachgelesen werden (Knappe et al., 2021).

Abbildung 18: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von formstabilen PS-Verpackungen (ohne EPS)



Legende und Erläuterung

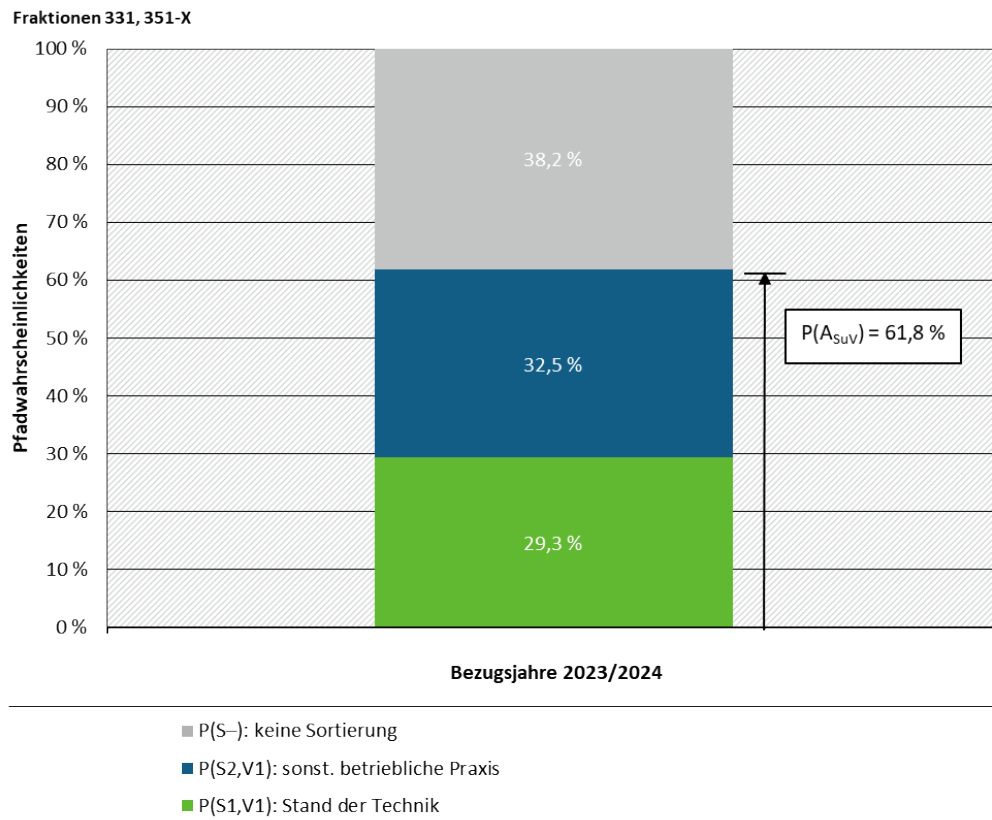
- Ausgangsmaterial
- Nebenprodukt (energetische Verwertung)
- Wahrscheinlichkeiten der Varianten werden nicht in die Anwendungsgrade einberechnet
- Hauptprodukt (hochwertige werkstoffliche Verwertung)
- Prozessstufe

Quelle: Grummt (2022), aktualisiert durch Grummt und Fabian (2023), Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.4.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PS

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer für 2024, als auch aus den Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023, kann $P(A_{SuV})$ für PS-Verpackungen berechnet werden. $P(A_{SuV})$ beträgt in Summe rund 62 %. Die Verteilung der Mengen auf die in Abbildung 18 dargestellten Pfade ist in Abbildung 19 abgebildet.

Abbildung 19: Praxis der SuV für formstabile PS-Verpackungen ohne EPS (Bezugsjahre 2023/2024)



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1,V1)$ wird mit 29,3 % als Stand der Technik eingestuft. Bei dieser Variante erfolgt die Feinkornabsiebung in der LVP-Sortieranlage bei ≤ 20 mm und anschließend findet eine hochwertig werkstoffliche Verwertung statt. Die Wäsche des Mahlguts wird dabei als Kaltwäsche ausgeführt. Als sonstige betriebliche Praxis wurde $P(S2,V1)$ mit 32,5 % ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeit umfasst eine Feinkornabsiebung bei 30 mm – 60 mm sowie eine hochwertige werkstoffliche Verwertung. $P(S-)$ beträgt 38,2 % und umfasst die Wahrscheinlichkeit, dass keine Sortierung stattfindet.

3.4.4 Rezyklatanwendungen

Bei den Referenzanlagen von PS-Verpackungen wurden fast ausschließlich Spritzgussanwendungen als Rezyklatanwendung angegeben. Produktbeispiele für Spritzgussanwendungen stellen Wickelspulen, Ablagekörbe für das Büro oder Klappboxen dar (Christiani, 2024).

3.4.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling

Die Erhebung bot den PS-Recyclern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungsmerkmale zu geben, welche spezifische Probleme im Recyclingprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 9 dargestellt; da keine neuen Rückmeldungen vorliegen, werden die Ergebnisse von Teilbericht 2022/23 erneut dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2023 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2023). Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen

Verpackungsmerkmalen gemacht werden. Diese konnten ebenso hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 9: Einschätzung der Referenzanlagen von formstabilen PS-Verpackungen (Anzahl: 2) zu problematischen Verpackungsmerkmalen⁴⁶

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)		
Fremdstoffe oder Multilayer der Dichteklasse 1,0-1,08 g/cm ³	0	0	1	1	0	0
Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Celluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt	0	0	0	2	0	0
Nitrocellulose-basierte Druckfarben	0	0	0	2	0	0
PVC-basierte Druckfarben	0	0	0	2	0	0
Reste von Etikettenklebstoffen	0	0	0	2	0	0

Weitere Angaben:

PS geschäumt (XPS, verschlechtert die Qualität von PE und PP, Verluste bei PS)				1		
--	--	--	--	---	--	--

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 des Mindeststandards überwiegend von den Recyclern bestätigt werden. Die Verfasser*innen schlagen vor, alle im Anhang 3 des Mindeststandards aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten.

Geschäumtes PS wurde seitens eines Recyclers als Merkmal eingestuft, das die Rezyklatqualität drastisch verschlechtert. EPS und XPS sind bereits als Verpackung außerhalb der Spezifikation im Anhang 1 des Mindeststandards 2024 bei den PS-Verpackungen aufgelistet (ZSVR, 2024). Es besteht demnach für den Mindeststandard kein Handlungsbedarf.

⁴⁶ Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

3.5 Verwertung von PO- und PP-flex

3.5.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textbox zeigt, dass die Repräsentativität der Erhebungen zu den Verwertern von PO- und PP-flex gegeben ist (> 80 % abgedeckter Mengenanteil an der gesamten Zuführungsmenge):

Erhebungsbogen Verwerter von PO- und PP-Flex

- ▶ Rücklaufquote (gemäß aktuellem Datenbestand)⁴⁷: im In- und Ausland: 52 % (22/42); im Inland: 52 % (16/31)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: ca. 117.000 t; entspricht 94 % der Gesamtmenge aller PO- und PP-flex-Verwerter i. H. v. ca. 124.000 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen und die Fraktionen 323-2 (PO-flex), 324-2 (PP-flex) und 323-0 (MPO). Die Fraktionen 310-0 und 310-1 wurden unter Abschnitt 3.2 betrachtet.

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.5.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 20 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von flexiblen PO-Verpackungen. Als Grundlage der Erläuterung und der Reihenfolge der Prozesse dienten die beiden Befragungen, die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021) sowie der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP in der Version 5.1 und 6.1 (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022, 2025).

In wenigen Anlagen werden aus Gründen der Produktqualität gewerbliche Abfälle, Produktionsabfälle oder auch Systemmengen ausländischer Herkunft mitverarbeitet.

S1 (≤ 20 mm) und S2 (30 mm – 60 mm) kennzeichnen die zwei verschiedenen Sortierprozessvarianten und unterscheiden sich in der Maschenweite bei der Feinkornabsiebung in der LVP-Sortieranlage. S– umfasst die Anlagen, die keine der genannten Fraktionen aussortieren und für ein Recycling bereitstellen. Die Verpackungen werden in den LVP-Sortieranlagen über NIR-Trenner abgetrennt und für die Verwertungsanlagen als Großballen bereitgestellt. Die Verwertungsprozessvarianten V1 und V2 beschreiben die Referenzanlagen. V– umfasst alle Verwertungsanlagen, die keine Referenzanlagen darstellen.

Nach der Abtrennung des Bindedrahtes werden die Verpackungen zu Mahlgut zerkleinert. In der trockenmechanischen Aufbereitung über Windsichtung und Metallabscheider können lose Verunreinigungen abgetrennt werden (z. B. Papier, FE-, NE-Metalle).

⁴⁷ Im aktuellen Bezugszeitraum ist eine Vielzahl an Anlagen mit zum Teil sehr geringen Zuführungsmengen hinzugekommen, die im vorherigen Bezugszeitraum nicht beliefert wurden. Für viele dieser Anlagen liegen gemäß aktuellem Datenbestand keine auswertbaren Angaben vor, so dass die Rücklaufquote deutlich niedriger als in vergangenen Erhebungen liegt. Da diese Anlagen eine sehr geringe Mengenrelevanz haben, wirkt sich dies auf die Repräsentativität der Ergebnisse nur marginal oder nicht aus.

Der Waschprozess verfolgt das Ziel Klebstoffreste, Anhaftungen und Etiketten zu entfernen. Die Wäsche wird bei den befragten Referenzanlagen als Kaltwäsche ausgeführt (V1).

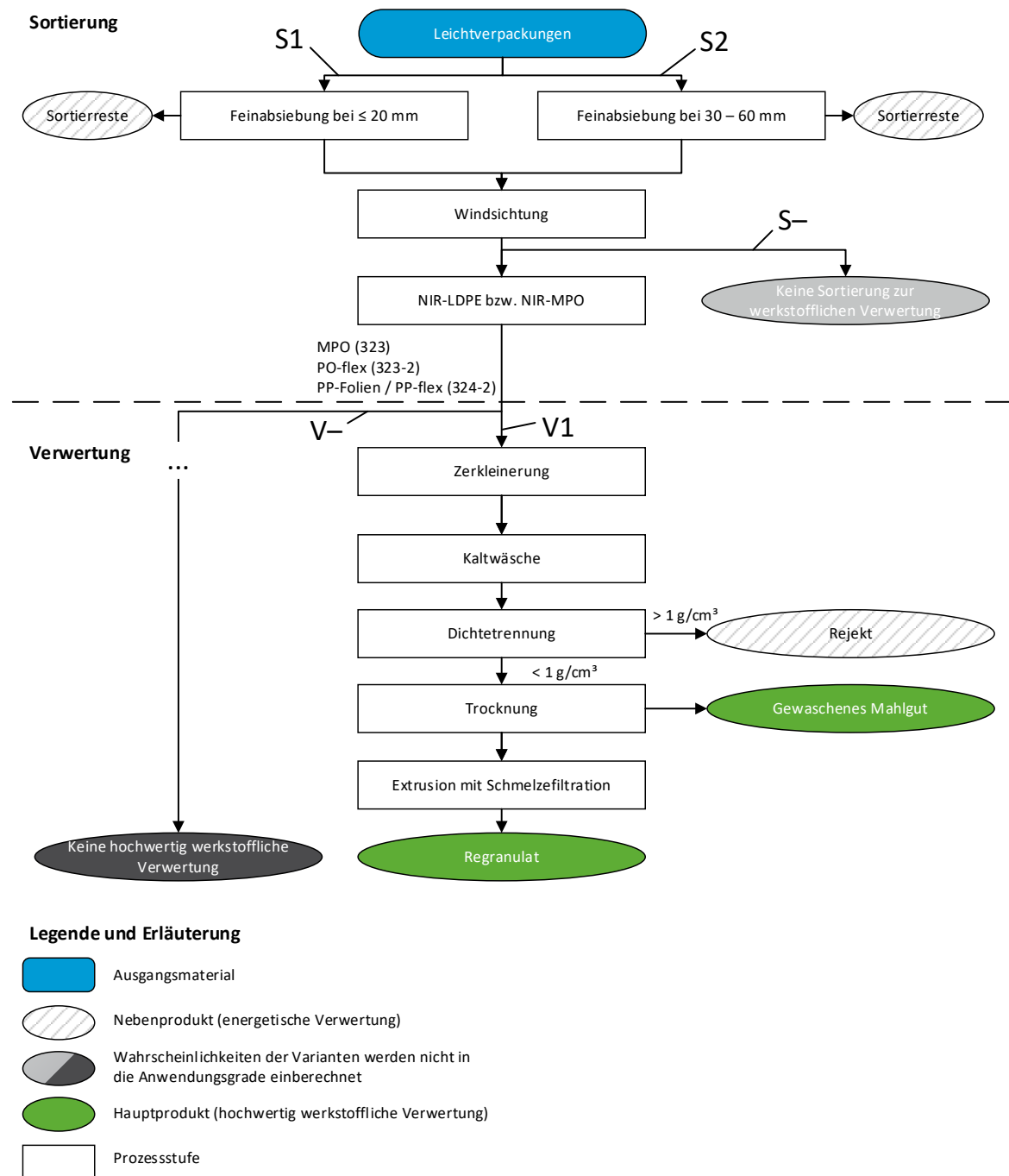
Die Dichtentrennung wird über Verfahren wie Schwimm-Sink-Becken bei einer Dichte von 1 g/cm³ durchgeführt⁴⁸. Das Sinkgut wird als Rejekt abgetrennt. Dazu gehören beispielsweise Verpackungskomponenten aus PS, PET oder PVC (Tschachtli et al., 2019). Das Schwimmgut wird anschließend getrocknet (mechanisch/thermisch).

Mittels Extrusion mit Schmelzefiltration wird das Mahlgut zu Regranulaten umgeschmolzen und als Verkaufseinheit bereitgestellt. Im Umschmelzprozess sind insbesondere die Bestandteile (z. B. Additive oder Blends) im Mahlgut problematisch, die sich im Schmelzprozess zersetzen und eine geringere Schmelztemperatur gegenüber der Verarbeitungstemperatur (> 200 °C) besitzen (Tschachtli et al., 2019). Diese Bestandteile können die Eigenschaften des finalen Rezyklats verändern. Bei höheren Temperaturen schmelzende Bestandteile können als Rückstand über Schmelzefiltration separiert werden. Nachteilig ist dabei der Aufwand für die Reinigung des Filtersiebes sowie der Ausbeuteverlust (Tschachtli et al., 2019).

Die Vorsortierung auf Artekelebene über NIR, Mahlgut-Nachsortierung über NIR und Vakuumextraktion wurden zwar in der Erhebung genannt, haben aber keine Mengenrelevanz. Weitere Prozessschritte wurden von den befragten Anlagen nicht angegeben. In keiner der befragten Anlagen werden lösemittelbasierte Verfahren im industriellen Maßstab angewendet.

⁴⁸ Eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Technologien zur Dichtentrennung (Schwimm-Sink-Becken, Hydrozyklon, Zentrifuge) kann in UBA-Texte 92/2021 nachgelesen werden (Knappe et al., 2021).

Abbildung 20: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von flexiblen PO-Verpackungen



Quelle: Grummt (2022), aktualisiert durch Grummt und Fabian (2023), Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al. (2021)

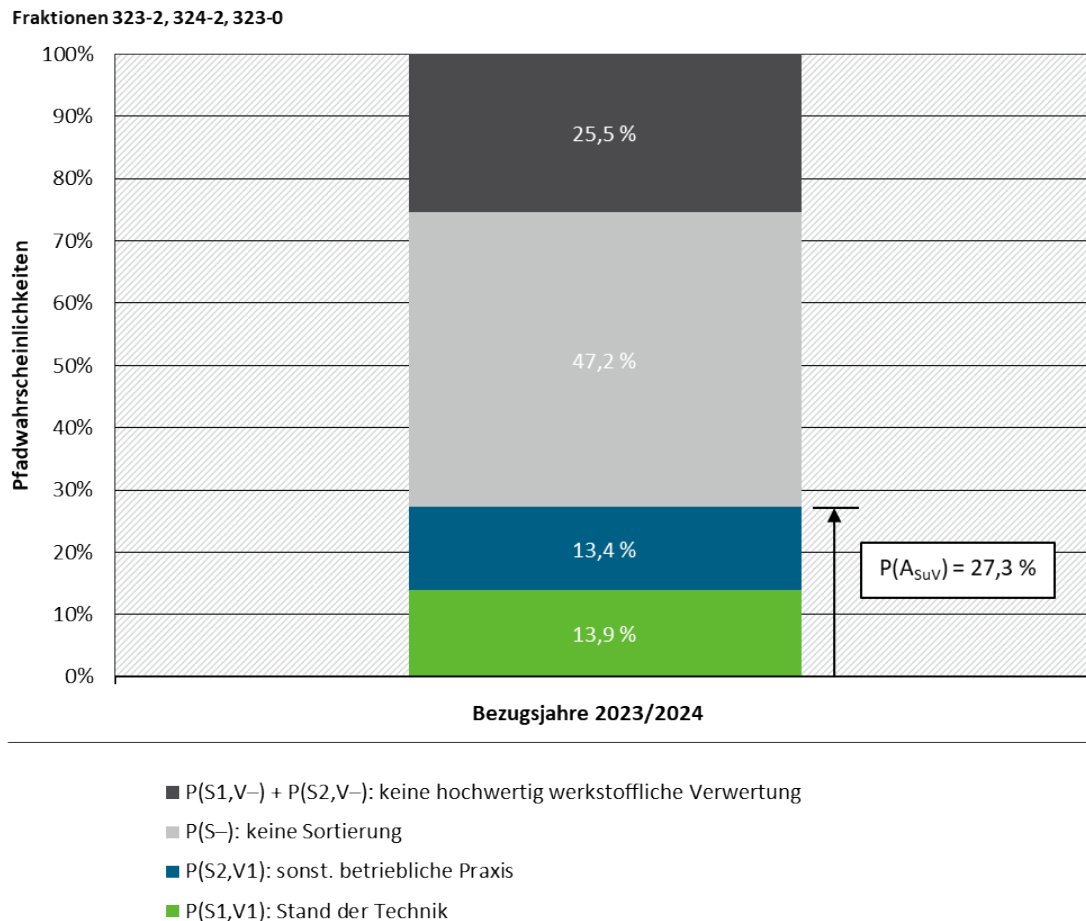
3.5.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PP-flex und kleinformative PE-flex

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer für 2024, als auch aus den Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023, kann $P(A_{SuV})$ für PP-flex und kleinformative PE-flex berechnet werden.

PP-flex

$P(A_{SuV})$ für PP-flex beträgt für die Bezugsjahre 2023/24 in Summe rund 27 % (ohne Einbezug der Folien-Fraktionen 310/310-1). Die Verteilung der Mengen auf die in Abbildung 20 dargestellten Pfade ist in Abbildung 21 abgebildet.

Abbildung 21: Praxis der SuV für flexible PP-Verpackungen (Bezugsjahre 2023/2024) ⁴⁹



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1, V1)$ wird mit 13,9 % als Stand der Technik eingestuft. Bei dieser Variante findet eine Feinkornabsiebung bei ≤ 20 mm sowie eine anschließende Zuführung zu einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung statt. Die Wäsche des Mahlguts wird dabei i. d. R. als Kaltwäsche ausgeführt. Als sonstige betriebliche Praxis wurde $P(S2, V1)$ mit 13,4 % ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeit umfasst eine Feinkornabsiebung bei 30 mm – 60 mm sowie eine hochwertige werkstoffliche Verwertung. Die Wahrscheinlichkeiten, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Varianten mit S- und V-) betragen insgesamt 72,7 %.

PE-flex (kleinformatig)

Bei der Berechnung von $P(A_{SuV})$ für kleinformatige PE-flex, werden zusätzlich zu den Fraktionen MPO (323-0) und PO-flex (323-2) die Folienfraktionen (310/310-1) mit einbezogen. Grund dafür ist, dass kleinformatige flexible PE-Verpackungen teilweise auch in

⁴⁹ Die Folienfraktionen 310-0 und 310-1 wurden hierbei nicht mit einbezogen.

die 310/310-1 sortiert werden. Die Fraktion PP-flex (324-2) wird hierbei nicht einberechnet, da der Fokus auf PE liegt. Bei der Sortierung wurden dabei nur die Sortieranlagen einbezogen, die angaben, auch kleinformige Folien in die Fraktion 310/310-1 zu sortieren und für ein Recycling bereitzustellen. $P(A_S)$ für kleinformige PE-flex beträgt 69,9 % und $P(A_V)$ ist 71,4 % (Fraktionen 310/310-1, 323-0, 323-2), weshalb sich in Folge der Multiplikation ein $P(A_{SuV})$ von ca. 50 % für kleinformige PE-flex ergibt.

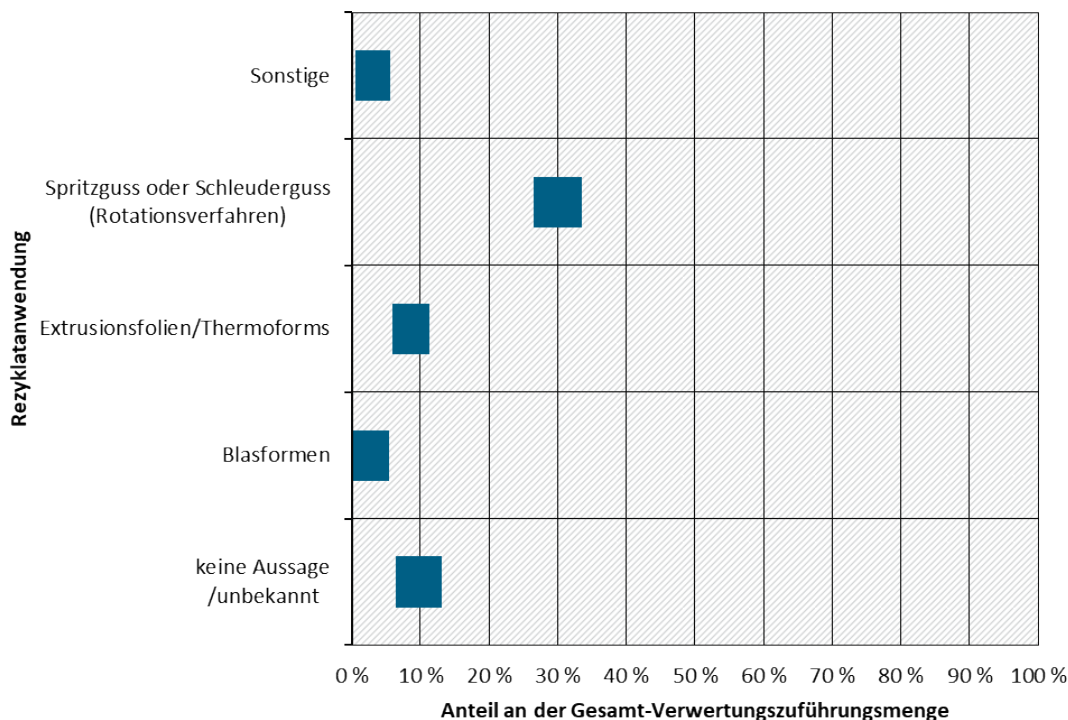
Detailauswertung für einzelne Sortierfraktionen

Zu Informationszwecken wird noch eine Detailauswertung für die einzelnen Sortierfraktionen abgebildet, die für die zuvor genannten Anwendungsgrade für PE-flex (kleinformig) beziehungsweise PP-flex gebündelt ausgewertet werden. Würden die Fraktionen 323-0 (MPO), 323-2 (PO-flex) sowie 324-2 (PP-flex) einzeln betrachtet, wäre $P(A_{SuV})$ für 323-0 = 16,4 %, $P(A_{SuV})$ für 323-2 = 7,6 % und $P(A_{SuV})$ für PP-flex zwischen 10 % und 15 % (aus wettbewerbsrechtlichen Gründen kann kein Klarwert angegeben werden). Dies zeigt, dass die Fraktionen einzeln betrachtet, in Spalte 3C im Anhang 1 des Mindeststandards eingestuft würden.

3.5.4 Rezyklatanwendungen

Abbildung 22 zeigt die von den Recyclern flexibler PO-Verpackungen angegebenen Rezyklatanwendungen. Von den Referenzanlagen wurden überwiegend Spritzgussanwendungen angegeben. Einige Referenzanlagen nannten auch Extrusionsfolien/Thermoforms sowie Blasformen. Produktbeispiele für Spritzgussanwendungen sind Eimer oder Wannen (Christiani, 2024).

Abbildung 22: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von flexiblen PO-Verpackungen⁵⁰



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

⁵⁰ Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen wurde die Spannweite geringfügig manipuliert. Die Folienfraktionen 310 und 310-1 wurden hier nicht mit einbezogen.

3.5.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling

Die Erhebungen boten den Recyclern von PO-/PP-flex die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungsmerkmale zu geben, welche spezifische Probleme im Recyclingprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 10 dargestellt; da keine neuen Rückmeldungen eingingen, werden die Ergebnisse aus Teilbericht 2022/23 erneut dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2023 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2023). Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungsmerkmalen gemacht werden. Diese konnten ebenso hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 10: Einschätzung der Referenzanlagen von PO-/PP-flex (Anzahl: 7) zu problematischen Verpackungsmerkmalen⁵¹

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)		
Silikonkomponenten	1	0	3	1	2	0
Geschäumte nicht thermoplastische Elastomere mit der Dichte < 1 g/cm ³	1	0	4	1	1	0
Geschäumte nicht polyolefinische Komponenten	1	0	3	1	2	0
Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Celluloseanteil unter Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt	1	0	1	2	3	0
PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³	1	0	1	3	2	0
Klebstoffkaschierte PA-Schichten	3	0	1	2	1	0

⁵¹ Bei Mehrfachantworten wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung der Problematik berücksichtigt.

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)		
PA-Schichten in PE-PA-Coex-Folien	3	0	1	2	1	0
PE-X-Komponenten	3	0	1	2	1	0
PVDC-Schichten	3	0	0	2	2	0
Sonstige Nicht-PE-Polymer-Schichten (außer Haftvermittler, Klebstoffe, PP, EVA und EVOH)	1	1	0	3	2	0
Nicht-Polymer-Schichten (außer SiO _x /AlO _x /Metallisierung)	1	0	2	1	3	0
Nitrocellulose-basierte Druckfarben	2	0	2	1	2	0
PVC-basierte Druckfarben	3	0	2	1	1	0
PU-basierte Druckfarben	3	0	2	1	1	0
Reste von Etikettenklebstoffen	2	0	3	0	2	0

Weitere Angaben:

<i>Multi-Layer Verpackungen</i>				1		
<i>OPS- und PVC-Sleeves</i>				1		
<i>Organische Farben</i>				1		

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 des Mindeststandards von einigen Recyclern bestätigt werden, von einigen nicht. Diese Entwicklung sollte weiter beobachtet werden. Die Verfasser*innen schlagen vor, alle im Anhang 3 des Mindeststandards aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten. Im Folgenden wird auf ausgewählte Angaben vertieft eingegangen:

- Die Auswirkung möglicher Druckfarben auf die Rezyklatqualität wurde bereits im Abschnitt 3.2.5 bei den Kunststofffolien erörtert, weshalb an dieser Stelle darauf verwiesen wird. Im

Konsultationsentwurf des Mindeststandards 2025 (ZSVR, 2025) sind für PP-flex als Referenzanwendungen für Unverträglichkeiten „Spritzgussprodukte oder Thermoforms“ aufgeführt, wohingegen für PE-flex „Blasfolien- und Spritzgussprodukte“ aufgeführt werden. Für Blasfolienanwendungen sind die Anforderungen an die Rezyklate höher, weshalb auch die Recyclingunverträglichkeiten für PE-flex strenger sind. Die NC-bezogenen Unverträglichkeiten wurden im Konsultationsentwurf des Mindeststandards 2025 auch auf kleinformatige PE-Folien ausgeweitet (ZSVR, 2025). Wir empfehlen, die Aufnahme von Bestandteilen in der Druckfarbe, welche das Recycling negativ beeinflussen können, im EK III weiterhin auch für PP-Folien zu prüfen.

- Die Sortierbarkeit von Verpackungen und damit die Identifizierbarkeit der Hauptkomponente der Verpackung kann durch Sleeves eingeschränkt werden. Deshalb ist im Anhang 2 des Mindeststandard 2024 das Verpackungsmerkmal „Fullsleeve-Etikettierung“ enthalten (ZSVR, 2024). Es besteht demnach zunächst kein Handlungsbedarf für den Mindeststandard. Zudem betragen die Dichten von PS und PVC $> 1 \text{ g/cm}^3$ (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022; Knappe et al., 2021), weshalb sich diese in der Dichtentrennung im Sinkgut in der Recyclinganlage befinden sollten und damit gut von den PO trennen lassen.

3.6 Verwertung von PET

3.6.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textbox zeigt, dass die Repräsentativität der Erhebungen zu den PET-Verwertern, aufgesplittet nach den Fraktionen PET-Flaschen und Misch-PET sowie PET-Schalen, knapp gegeben ist ($> 80 \%$ abgedeckter Mengenanteil an der jeweiligen gesamten Zuführungsmenge):

Erhebungsbogen PET-Verwerter

- Rücklaufquote (gemäß aktuellem Datenbestand)⁵²: im In- und Ausland: 56 % (22/39); im Inland: 32 % (6/19)
- Nur PET-Flaschen, transparent (Fraktion 325) und Misch-PET-(Fraktionen 328-(0-3)): Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: ca. 17.700 t; entspricht ca. 80 % der Gesamtmenge aller Verwerter der Fraktionen 325 und 328-(0-3) i. H. v. ca. 22.200 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 100 t/a)
- Nur Fraktionen PET-Schalen (328-5, -6): Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: ca. 11.700 t; entspricht ca. 79 % der Gesamtmenge aller Verwerter der Fraktionen 328-5 und -6: i. H. v. 14.900 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 100 t/a)

Anlagen, die ausschließlich bepfandete PET-Flaschen verwerten, wurden für die Erhebung nicht betrachtet. Der Grund dafür ist, dass diese PET-Flaschen über ein Pfandrücknahmesystem separat erfasst werden. Die folgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf die Sammlung der dualen Systeme.

⁵² Im aktuellen Bezugszeitraum ist eine Vielzahl an Anlagen mit zum Teil sehr geringen Zuführungsmengen hinzugekommen, die im vorherigen Bezugszeitraum nicht beliefert wurden. Für viele dieser Anlagen liegen gemäß aktuellem Datenbestand keine auswertbaren Angaben vor, so dass die Rücklaufquote deutlich niedriger als in vergangenen Erhebungen liegt. Da diese Anlagen eine sehr geringe Mengenrelevanz haben, wirkt sich dies auf die Repräsentativität der Ergebnisse nur begrenzt aus.

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.6.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 23 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PET-Verpackungen. Als Grundlage der Erläuterung und der Reihenfolge der Prozesse dienten die beiden Befragungen, die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021) sowie der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP in der Version 5.1 und 6.1 (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022, 2025).

Bei PET bestehen besonders hohe Anforderungen an den Verwertungsprozess, da PET zu einem großen Anteil wieder im Verpackungsbereich eingesetzt wird (Kauertz und Detzel, 2017). Die Fraktionen „PET-Flaschen, transparent“ (325) und „Misch-PET“ (328-(0-3)) sowie vereinzelt auch „PET-Schalen“ (328-5 und -6) werden in den LVP-Sortieranlagen über NIR-Trenner abgetrennt und den Recyclern bereitgestellt.

S1 (≤ 20 mm) und S2 (30 mm – 60 mm) kennzeichnen die zwei verschiedenen Sortierprozessvarianten und unterscheiden sich in der Maschenweite bei der Feinkornabsiebung in der LVP-Sortieranlage. S– umfasst die Anlagen, die die genannten PET-Fraktionen nicht aussortieren und für ein Recycling bereitstellen.

Nach der Öffnung der Ballen und der Abtrennung des Bindedrahtes werden in einer Vorsortierung in einigen Anlagen Störstoffkomponenten mittels NIR-Trenner auf Artekelebene aussortiert. Die Wahl der Prozesstechniken hängt insbesondere vom Endprodukt ab. Die meisten PET-Recycler gaben an, PET-Multilayer-Schalen sowie opake PET-Schalen vorab mittels NIR-VIS (VIS – sichtbar, engl. visible) und teilweise auch zusätzlich manuell auszusortieren (siehe dazu Abschnitt 3.6.6). Dabei kann auch zusätzlich eine Farbsortierung auf Artekelebene stattfinden. In einigen Anlagen werden zusätzlich aus Gründen der Produktqualität Mengen aus dem Pfandsystem mitverarbeitet.

Anschließend werden die Verpackungen zu Mahlgut zerkleinert und gewaschen. Der Waschprozess wird mehrstufig vor und nach der Dichtentrennung ausgeführt. Mindestens eine der Wäschen wird bei allen Anlagen als Heißwäsche bei Temperaturen zwischen 70 °C und 85 °C und unter Zugabe von Natronlauge ausgeführt. In einigen Anlagen werden zusätzlich Detergenzien beigelegt. Durch den Waschprozess werden Fette, Klebstoff-, Papieretiketten-, Lebensmittlrückstände und Schmutzpartikel entfernt (Knappe et al., 2021; Tschachtli et al., 2019).

Mittels einer Dichtentrennung (z. B. über Schwimm-Sink-Trennung⁵³) bei 1 g/cm³ werden polyolefinische (PO) Kunststoffe als Schwimmgut abgetrennt. Separiert werden beispielsweise Verschlüsse und Ringe aus PE oder Etiketten aus PE- und PP-Folien. Das abgetrennte Schwimmgut aus PO stellt ein Nebenprodukt dar, welches als PO-Mahlgut hochwertig werkstofflich verwertet werden kann. Das Sinkgut PET-Mahlgut (auch als Flakes bezeichnet) durchläuft anschließend die zweite Waschstufe. Anschließend folgt die Trocknung (mechanisch/thermisch).

Um Störstoffe im Endprodukt zu reduzieren, durchlaufen die Flakes eine mehrstufige Nachsortierung. Dazu gehören Windsichtung, Farb- und Materialsortierung sowie Metallabscheidung. Dabei werden Folienreste, Fremdkunststoffe und Metalle abgetrennt sowie

⁵³ Eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Technologien zur Dichtentrennung (Schwimm-Sink-Becken, Hydrozyklon, Zentrifuge) kann in UBA-Texte 92/2021 nachgelesen werden (Knappe et al., 2021).

bunte von klaren Flakes separiert (Knappe et al., 2021). Bei allen befragten Anlagen wurde gewaschenes Mahlgut (Flakes) als Endprodukt angegeben (V1).

Wenige Anlagen machten zusätzlich die Angabe, dass auch direkt in der Verwertungsanlage PET-Regranulat hergestellt wird (V2). Diese PET-Recycler führen eine Extrusion mit Schmelzefiltration durch. Bei der Extrusion werden die sortierten Flakes bei hohen Temperaturen in einem Extruder aufgeschmolzen und granuliert. Im Umschmelzprozess sind insbesondere die Bestandteile (z. B. Additive oder Blends) im Mahlgut problematisch, die sich im Schmelzprozess zersetzen und eine geringere Schmelztemperatur gegenüber der Verarbeitungstemperatur (ca. 260 °C – 300 °C) besitzen (Tschachtli et al., 2019). Diese Bestandteile können die Eigenschaften des finalen Rezyklats verändern. Bei höheren Temperaturen schmelzende Bestandteile können als Rückstand über Schmelzefiltration separiert werden. Nachteilig ist dabei der Aufwand für die Reinigung des Filtersiebes sowie der Ausbeuteverlust (Tschachtli et al., 2019). Bei Vermarktung von Mahlgut können Recyclingunverträglichkeiten, wie PA-Additivierung oder Klebstoffreste erst nachträglich im Umschmelzprozess aufgrund von Zersetzung sichtbar werden (Bünemann et al., 2016, Christiani und Beckamp, 2020; Institut cyclos-HTP GmbH, 2022). PA-Copolymere können das Endprodukt gelblich verfärben (Knappe et al., 2021).

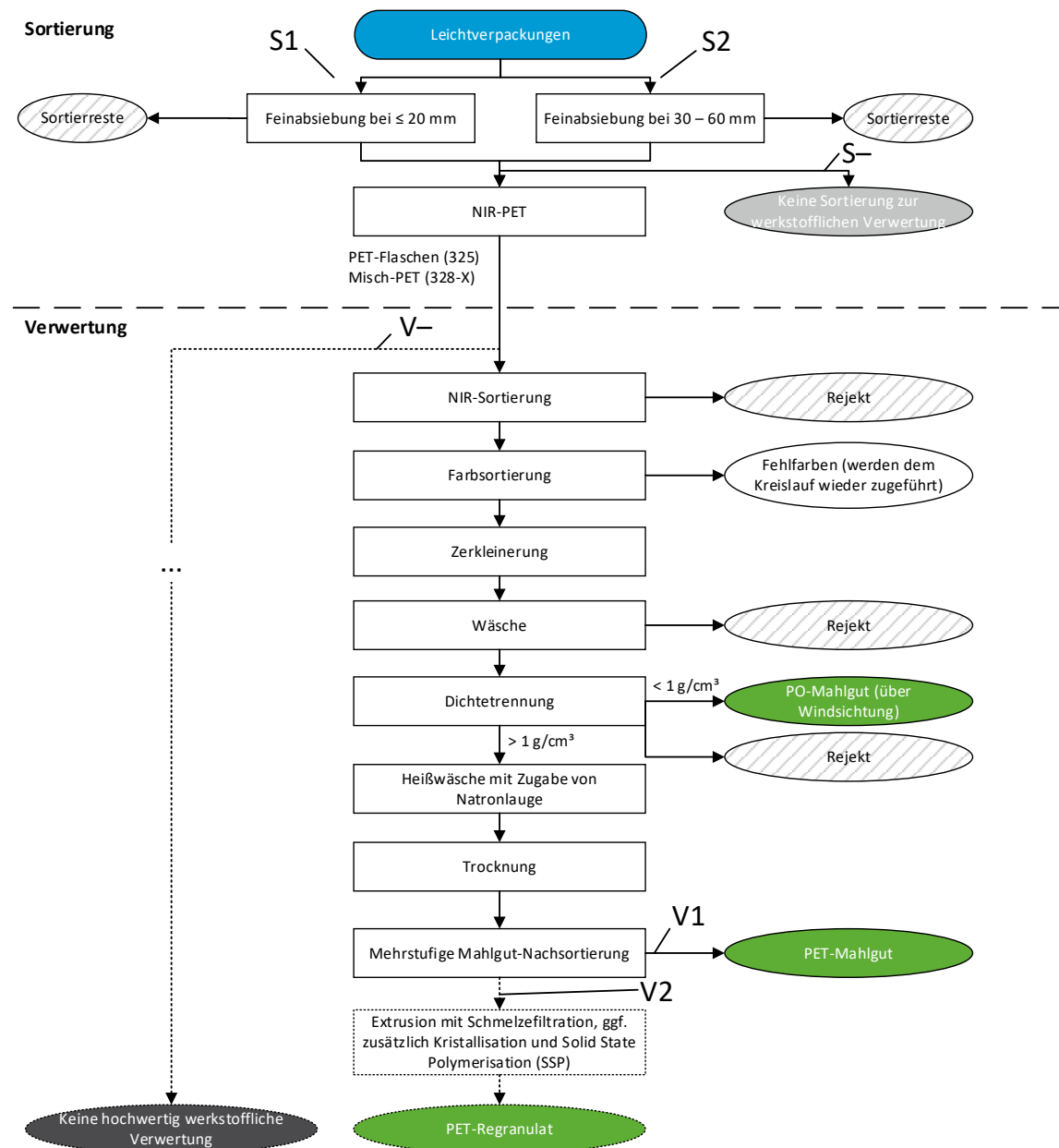
Nur vereinzelte Anlagen dokumentierten, dass eine SSP (Solid State Polymerisation) direkt im Prozess integriert ist. Im SSP-Prozess werden die PET-Flakes bei hohen Temperaturen mehrere Stunden einem Unterdruck ausgesetzt. Dabei verflüchtigen sich unerwünschte Stoffe und eine definierte Viskosität wird erreicht. Die PET-Moleküle werden polykondensiert sowie kristallisiert. Mit diesem Prozess kann ein Regranulat hergestellt werden, welches einen vergleichbaren Polymerisations- und Kristallisationsgrad wie Neuware aufweist (Kauertz und Detzel, 2017; Knappe et al., 2021). Die Wahrscheinlichkeiten von V1 und V2 müssen aus wettbewerbsrechtlichen Gründen zusammengefasst werden.

Zudem ist aus der Erhebung bekannt, dass Dekontamination über Vakuumextraktion als Verfahren für PET-Verpackungen im Einsatz ist. Über dieses Verfahren können schwer flüchtige, hochmolekulare Stoffe im Rezyklat entfernt werden. Dies ermöglicht auch eine Reduktion von Gerüchen (EREMA Engineering Recycling, 2024a, 2024b.; Szombathy, 2021).

Weitere Prozessschritte wurden von den befragten Anlagen nicht angegeben. In keiner der befragten Anlagen wurden lösemittelbasierte Verfahren oder das Verwertungsverfahren der United Resource Recovery Corporation URRC (Veolia, o. J.) als Wasch- und Oberflächenbehandlung im industriellen Maßstab angewendet. Generell ist festzustellen, dass Verfahrensprozesse, die bei anderen Kunststofffraktionen nicht standardmäßig eingesetzt werden, in der PET-Verwertung zum Standard gehören (z. B. Heißwäsche, farbliche und stoffliche Mahlgut-Nachsortierung).

Bei Betrachtung der Recyclingfähigkeit von PET-Schalen kann zwischen Monolayer- und Multilayer-PET-Schalen unterschieden werden, da sich das Design der Schalen voneinander unterscheidet. Monolayer-PET-Schalen bestehen aus reinem PET und werden beispielsweise für Gemüse und Obst verwendet. Bei Multilayer-PET-Schalen werden zusätzlich als Siegel- oder Barrierschicht andere Polymere, wie z. B. PE oder PA eingesetzt. Ein PET-Recycler gab an, dass PE das Endprodukt milchig und PA das Endprodukt gelblich verfärben könne. Laut Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e. V. (IK) werden Multilayer-PET-Schalen überwiegend für Produkte wie Käse oder Wurst verwendet. Der Marktanteil für Monolayer-PET-Schalen beträgt gemäß IK 40 % und für Multilayer-PET-Schalen 60 % (IK e.V., 2021).

Abbildung 23: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PET-Verpackungen (i. d. R. PET-Flaschen)



Legende und Erläuterung

- Ausgangsmaterial
- Nebenprodukt (energetische Verwertung)
- Sonstige Nebenprodukte
- Wahrscheinlichkeiten der Varianten werden nicht in die Anwendungsgrade einberechnet
- Hauptprodukt (hochwertige werkstoffliche Verwertung)
- Prozessstufe
- Geringe Mengenrelevanz der Zweigwahrscheinlichkeiten

Quelle: Grummt (2022), aktualisiert durch Grummt und Fabian (2023), Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al. (2021)

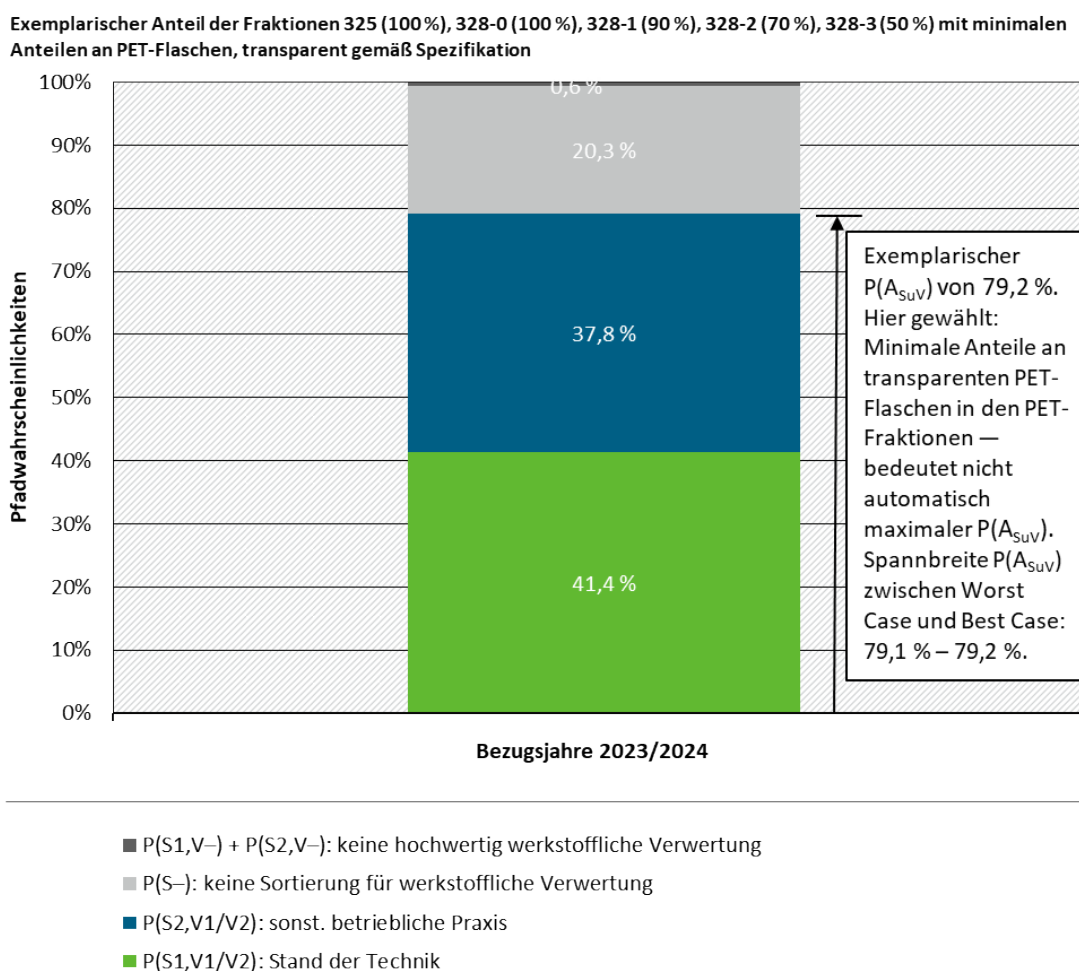
3.6.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PET

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer für 2024, als auch aus den Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023, kann $P(A_{SuV})$ bestimmt werden.

PET-Flaschen, transparent

Für transparente PET-Flaschen sowie sonstige formstabile PET-Verpackungen wurde eine Spannweite zwischen Worst Case und Best Case der Anteile in den PET-Fractionen bestimmt. Die Methode ist im Abschnitt 2.2 erläutert. Aufgrund des minimalen Unterschieds kann $P(A_{SuV})$ für transparente PET-Flaschen (ohne pfandpflichtige Verpackungen) gerundet mit 79 % angegeben werden.

Abbildung 24: Praxis der SuV für PET-Flaschen, transparent; exemplarischer $P(A_{SuV})$ der PET-Fractionen 325 und 328-(0-3) mit minimalen Anteilen an transparenten PET-Flaschen gemäß Spezifikation und Angabe der Spannweite für $P(A_{SuV})$ für PET Flaschen, transparent (Bezugsjahre 2023/2024)



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

In Abbildung 24 wurden für $P(A_{SuV})$ beispielhaft die Mindest-Anteile an transparenten PET-Flaschen gemäß der folgenden Spezifikationen in der Verwertung einberechnet: 325 (100 %), 328-0 (100 %), 328-1 (90 %), 328-2 (70 %), 325-3 (50 %). $P(A_{SuV})$ beträgt in diesem Beispiel 79,2 %. Die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1,V1/V2)$ mit ca. 41,4 % wird als Stand der Technik

eingestuft. Bei diesen Varianten werden auch kleine Verpackungen sortiert (Feinkornabsiebung bei ≤ 20 mm) und anschließend hochwertig werkstofflich verwertet. Als sonstige betriebliche Praxis wurde P(S2,V1/V2) mit ca. 37,8 % ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeit umfasst eine Feinkornabsiebung bei 30 mm – 60 mm sowie eine hochwertige werkstoffliche Verwertung. Die Wahrscheinlichkeiten, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Varianten mit V–), betragen insgesamt etwa 20,9 %.

In Kapitel 4 wird auf dieser Basis eine Empfehlung für die Einstufung transparenter PET-Flaschen im Mindeststandard ausgesprochen.

Sonstige formstabile PET-Verpackungen (aus PET-A)

Wie zuvor für die PET-Flaschen beschrieben, wurde auch für die sonstigen formstabilen PET-Verpackungen eine Spannweite bestimmt. Diese beträgt rund 13 % - 62 %. Die Methode dazu ist detailliert im Abschnitt 2.2 erläutert. Ein Anwendungsgrad von 13,1 % ergibt sich, wenn sonstige formstabile PET-Verpackungen ausschließlich über die Fraktionen 328-5 und 328-6 („PET-Schalen“) hochwertig werkstofflich verwertet werden. Die darüber liegenden Werte innerhalb der Spannweite kämen zustande, wenn auch sonstige formstabile PET-Verpackungen in den anderen Misch-PET-Fraktionen hochwertig werkstofflich verwertet würden. PET-Recycler gaben die Auskunft, dass transparente Mono-PET-Schalen oftmals mit transparenten PET-Flaschen gemeinsam recycelt werden können. Kein PET-Recycler sortiert PET-Monolayer-Schalen vorab aus (siehe Abschnitt 3.6.6).

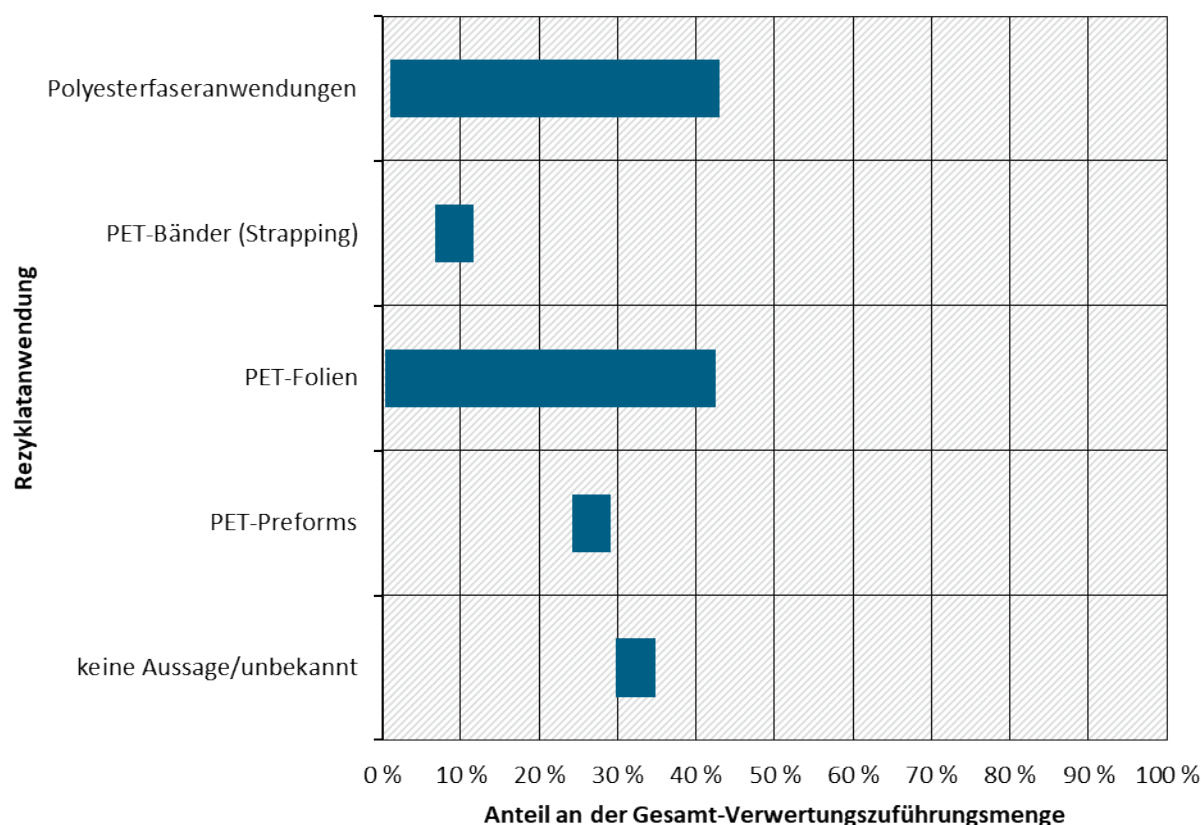
In Kapitel 4 wird auf dieser Basis eine Empfehlung für die Einstufung sonstiger formstabiler PET-Verpackungen im Mindeststandard ausgesprochen.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass den Verfasser*innen Bestrebungen bekannt sind, bereits aufgebaute Anlagenkapazitäten v.a. im Ausland für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling der PET-Schalenfraktion aus deutschen Systemmengen zu nutzen.

3.6.4 Rezyklatanwendungen

Abbildung 25 zeigt die von den Recyclern von **PET-Flaschen** angegebenen Rezyklatanwendungen. Von den Referenzanlagen wurden PET-Folien, PET-Preforms, Polyesterfaseranwendungen (für z. B. technische Anwendungen) sowie PET-Umreifungsbänder (sogenanntes „Strapping“) angegeben.

Abbildung 25: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von PET-Flaschen (ohne Pfand)⁵⁴



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Bei den Recyclern von **PET-Schalen** mit Referenzanlagen wurden hauptsächlich PET-Folien als Referenzanwendung angegeben. Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen kann kein Plot dazu veröffentlicht werden.

3.6.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling

Die Erhebungen boten den PET-Recyclern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungsmerkmale zu geben, welche spezifische Probleme im Recyclingprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/23 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2023 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2023). Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungsmerkmalen gemacht werden. Diese konnten ebenso hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

⁵⁴ Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen wurde die Spannweite geringfügig manipuliert.

Tabelle 11: Einschätzung der Referenzanlagen von PET-Verpackungen (Anzahl: 6) zu problematischen Verpackungsmerkmalen⁵⁵

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Vergilbung, Bildung organischer Abbauprodukte)		
PET-G-Komponenten	0	1	2	3	0	0
POM-Komponenten	2	3	0	0	1	0
PVC-Komponenten	0	2	2	1	1	0
EVOH-Schichten	1	1	1	2	1	0
PA-Monolayer-Schichten für transparente PET-Flaschen, farblos und „light-blue“	1	0	2	2	1	0
PVC-Etiketten/Sleeves	0	1	1	3	1	0
PS-Etiketten/Sleeves	2	0	1	2	1	0
PET-G-Etiketten/Sleeves	1	0	2	3	0	0
Sonstige Etiketten/Sleeves/bedruckte Oberfolien mit Dichte > 1g/cm ³ (inkl. Druck und Lackierung)	1	1	0	4	0	0
Sonstige blended barriers	2	2	0	2	0	0
PA-Additivierung für transparente PET-Flaschen, farblos und „light-blue“	2	0	0	4	0	0
Nicht ablösbare (abwaschbare) Klebstoffapplikationen (in Wasser oder alkalisch bei 80 °C)	1	0	0	5	0	0
Nicht magnetische Metalle	0	0	2	0	4	0
Elastomer-Komponenten der Dichte > 1 g/cm ³	2	0	0	3	1	0

⁵⁵ Bei Mehrfachantworten wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung der Problematik berücksichtigt.

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Vergilbung, Bildung organischer Abbauprodukte)		
Direktdruck (abgesehen von Produktionscode und MHD)	1	2	0	2	1	0
Silikonkomponenten	2	0	0	3	1	0
Weitere Angaben:						
Multilayer PET-PE oder PET-PP ("Haziness")				1		
Verbundfolien				2		
Fremdverunreinigungen (nicht sortierbare Kunststoffe (schwarz), Metalle, Glas, Steine)				1		
Opak/weiß				2		
Schwarze Verpackungen (werden nicht erkannt im NIR)				2		

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Es ist festzustellen, dass einige Angaben im Anhang 3 des Mindeststandards (Ausgabe 2023) von Recyclern bestätigt werden. „Nicht magnetische Metalle“ und „POM-Komponenten“ wurden von keinem Recycler als Auslöser für eine drastische Verschlechterung des Rezyklats angesehen. „Nicht magnetische Metalle“ wurden zugleich von 4 der 6 PET-Recycler als unproblematisch angesehen. Die Verfasser*innen schlagen vor, zu prüfen, ob dieser Aspekt weiterhin im Anhang 3 enthalten sein soll. Es wird empfohlen, alle anderen im Anhang 3 des Mindeststandards 2023 aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten. Im Folgenden wird auf ausgewählte Angaben vertieft eingegangen:

- Zwei PET-Recycler führten opake PET-Verpackungen als zusätzliche Angabe an und wiesen darauf hin, dass diese die Rezyklatqualität drastisch verschlechtern. Opake PET-Verpackungen stellen für einige PET-Recycler einen Störstoff im Recyclingprozess dar (siehe Abschnitt 3.6.6). Im Anhang 1 Spalte 5 des Mindeststandards 2024 (ZSVR, 2024) sind „opake PET-Flaschen und andere PET-Artikel“ bereits außerhalb der Spezifikation für PET-Flaschen (klar oder bunt) aufgelistet. Ob opake PET-Verpackungen aussortiert werden oder nicht, hängt mit der gewünschten Rezyklatqualität und der beabsichtigten Rezyklatanwendung zusammen. Gegenwärtig wird für den Mindeststandard kein Handlungsbedarf gesehen. Dennoch sollte die Entwicklung auch im Hinblick auf die Pfandausweitung weiter beobachtet werden.

- Verbundfolien wurden von zwei PET-Recyclern als problematisch eingestuft. Da die PET-Fraktionen auf formstabile Kunststoffe abzielen, sind Verbundfolien in diesen Fraktionen unerwünscht. Es gibt gegenwärtig keinen hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfad für diese Art von Verpackungen, was sich bereits im Mindeststandard widerspiegelt (ZSVR, 2024). Deshalb wird für den Mindeststandard keine Handlungsempfehlung ausgesprochen.

3.6.6
 Störstoffkomponenten im Rejekt

Die PET-Recycler wurden befragt, welche Fraktionen dem Rejekt bei der Vorsortierung zu Beginn des Verwertungsprozesses zugeführt werden. In Tabelle 12 sind die Ergebnisse dieser Einschätzung dargestellt; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/2023 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben.

Als Technik wird von den PET-Recyclern bis auf wenige Ausnahmen NIR-VIS angegeben. Teilweise wird zusätzlich eine manuelle Vorsortierung ausgeführt. 5 der 6 PET-Recycler gaben an, PET-Multilayer-Schalen als Störstoff auszusortieren. Des Weiteren sortieren 4 der 6 PET-Recycler opake PET-Schalen aus. 2 der 5 PET-Recycler dokumentierten die Aussortierung opaker PET-Flaschen, Flaschen mit Full-Sleeve, PET-Dosen sowie PET-Tiegel. 1 von 6 PET-Recyclern gab an, Nicht-Getränkeflaschen oder Flaschen mit PA-Barriere auszusortieren. PET-Monolayer-Schalen, Flaschen mit Funktionsverschlüssen sowie Flaschen mit Teil-Sleeve werden hingegen von keinem antwortenden PET-Recycler gemäß der Befragung ausgeschleust.

„Opake PET-Flaschen und andere PET-Artikel“ sind im Anhang 1 des Mindeststandard 2024 für PET-Flaschen, transparent außerhalb der Spezifikation in Spalte 5 aufgeführt (ZSVR, 2024). Ob diese zukünftig weiterhin als Störstoff gehandhabt werden sollen, sollte in der nächsten Erhebung überprüft werden.

PET-Recycler äußerten, dass transparente PET-Monolayer-Schalen zum Teil gemeinsam mit transparenten PET-Flaschen recycelt werden können. Dabei wurden verschiedene Angaben gemacht, zu welchem Anteil PET-Schalen mit PET-Flaschen recycelt werden: 0 %, 5 %, 30 %, 100 %. Als Gründe für die Aussortierung gaben die PET-Recycler an, dass die Additivierung in PET-Schalen nur bedingt für die beabsichtigte Rezyklatanwendung geeignet sei und dass bei Multilayer-Schalen eine Schicht aus Nicht-PET zu Problemen im Prozess führen könne. Zu den PET-Schalen kann demnach keine allgemeingültige Aussage getroffen werden, da die PET-Recycler dies verschieden handhaben. Multilayer-Schalen sowie PET-Dosen und PET-Tiegel werden laut zwei PET-Recyclern aussortiert, da diese teilweise aus PET-G (Glycol modifiziertes PET) bestünden.

Tabelle 12: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der Referenzanlagen von PET-Verpackungen (Anzahl: 6)

Störstoffkomponente	Anzahl
PET-Monolayer-Schalen	0
PET-Multilayer-Schalen	5
Opake PET-Schalen	4
PET-Dosen und PET-Tiegel	2

Störstoffkomponente	Anzahl
Flaschen mit Funktionsverschlüssen	0
Opake PET-Flaschen	2
Nicht-Getränkeflaschen	1
Flaschen mit PA-Barriere (wie Saftflaschen)	1
Flaschen mit Teil-Sleeve	0
Flaschen mit Full-Sleeve	2
Weitere Angaben:	
Verpackungsbänder, Folien, Nicht-PET, Metalle, Textilien, Holz	2
Fremdkunststoffe, organische Störstoffe	1

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.7 Aufbereitung und Verwertung von Eisenmetallen und Eisenmetallverbunden

3.7.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textbox zeigt, dass die Repräsentativität der Erhebungen zu den Aufbereitern und Verwertern von Eisenmetallen, **nicht** gegeben ist (nicht > 80 % abgedeckter Mengenanteil an der Gesamtzuführungsmenge der Aufbereiter und Verwerter):

Erhebungsbogen Aufbereiter und Verwerter von Eisenmetallen
► Rücklaufquote „Aufbereitungsanlagen“ und „Verwertungsanlagen“ (gemäß aktuellem Datenbestand): im In- und Ausland: 44 % (20/45); im Inland: 48 % (20/42) ► Gesamtzuführungsmenge der Aufbereiter und Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: ca. 177.700 t; entspricht 67 % der Gesamtmenge aller Eisenmetallaufbereiter und -verwerter i. H. v. ca. 266.600 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 100 t/a)

Berücksichtigt wurden Anlagen, welche unter den Kontoklassen „Aufbereitungsanlage“ und „Verwertungsanlage“ (Bezugsjahr 2023) eingestuft wurden.⁵⁶ Dabei wurden nur die Fraktionen 410 und 412 (Weißblech) einbezogen. Laut den Prüfleitlinien Mengenstromnachweis Systeme können Aufbereitungsanlagen für Weißblechverpackungen Letztempfänger sein:

„Mechanische Aufbereitungsanlagen von Weißblech und Weißblechverbunden können als Letztempfänger eingestuft werden, wenn die Anlage geeignet ist, dass spezifische Material zu verarbeiten und das erzeugte Produkt ohne weitere abfallspezifische

⁵⁶ Die Klassifizierung von Anlagen in Kontoklassen wird gemäß der ZSVR von Sachverständigen im Rahmen der Erstellung von Anlagenzertifikaten vorgenommen und anschließend von Beteiligten im Softwareprogramm wme.fact erfasst. Die Systembetreiber liefern der ZSVR jährlich im Rahmen der MSN Unterlagen, die die Einstufungen der Kontoklassen beinhalten.

Behandlungsschritte in einem Produktionsprozess (z.B. Stahlwerk oder Gießerei) eingesetzt werden kann (z.B. über Schredder, Querstromzerspaner oder Paketierung); dies ist im Prüfbericht zu dokumentieren.“ (ZSVR, 2020)

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.7.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 26 die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Verpackungen aus Weißblech und Weißblechverbunden. Zu Letzteren gehören beispielsweise Kronkorken, Metallclips mit Papier oder Kunststoff oder Nockendrehverschlüsse (Schüler und Wilhelm, 2023).

Als Grundlage der Erläuterung und der Reihenfolge der Prozesse dienten die beiden Befragungen, die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021) und der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP in der Version 5.1 und 6.1 (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022, 2025). Laut Dehoust et al. wird die Weißblechfraktion „generell einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung zugeführt“ (Dehoust et al., 2021, S. 156). Die Unterschiede liegen in den unterschiedlichen Ausführungen der Feinkornabsiebung in den LVP-Sortieranlagen.

In LVP-Sortieranlagen werden ferromagnetische Eisenmetalle über Magnetabscheidung abgetrennt und als Fraktion bereitgestellt. Hierbei werden auch Verbundverpackungen mit Eisenmetallen aussortiert, z. B. auch Kombidosen mit Weißblechboden (Dehoust et al., 2021). Es werden drei verschiedene Sortierprozessvarianten unterschieden. Anlagen, die den Sortierrest noch einer Magnetabscheidung unterziehen, werden der Sortierprozessvariante S1 zugeordnet. Zudem gibt es Anlagen, die bei einer Maschenweite von ≤ 20 mm absieben (S2) sowie Anlagen, die den Trennschnitt bei 30 mm – 60 mm durchführen (S3) und den Sortierrest keiner Magnetabscheidung unterziehen.

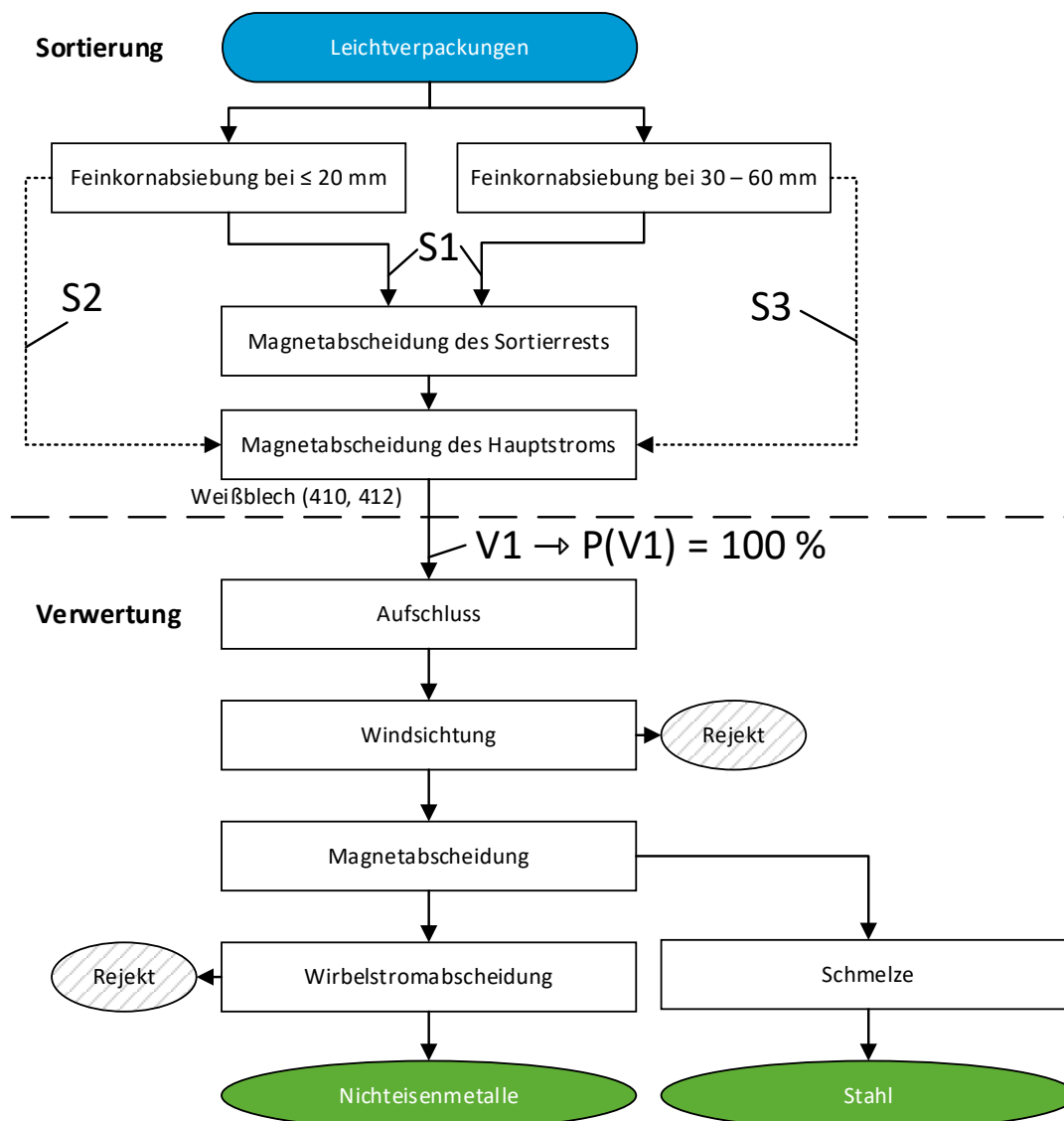
Als Inputmaterial gaben die Weißblechaufbereiter und -verwerter hauptsächlich die Fraktion 410/412 sowie Weißblech aus der Glasaufbereitung an. Weiterhin wurde Eisen aus der Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlung (MBA) als Inputmaterial angegeben. Einige Anlagenbetreiber dokumentierten, dass zu Beginn des Prozesses Gasdruckflaschen manuell aussortiert werden. Das Restgas wird manuell rausgelassen, da es im Prozess stören könne. Aktuelle Praxis sind die anschließenden Prozesse Mechanischer Aufschluss, Windsichtung, Magnetabscheidung und Wirbelstromabscheidung. Der mechanische Aufschluss durch Zerkleinerer ermöglicht eine Separation von NE-Metallen (insbesondere Aluminium) sowie Etiketten, Kunststoffen und Verschmutzungen. Dieser Prozess wird auch als „Shreddern“ bezeichnet. Über Windsichtung können lose Etiketten abgetrennt werden. Eine Magnetabscheidung ermöglicht die Separation der Eisenmetalle und eine Wirbelstromabscheidung sorgt für die Abtrennung der NE-Metalle.

Eine Entzinnung scheint weiterhin keine generelle Praxis darzustellen. Dieses Ergebnis stimmt mit einer Studie des Ökoinstituts e.V. (Bulach et al., 2022, S. 47) sowie einem Paper von Sauter et al. (Sauter et al., 2021) überein. Zinn ist im Stahlwerksprozess metallurgisch unerwünscht, weshalb eine Trennung zwischen zinnhaltigem Schrott (i. d. R. Weißblech) von anderen Stahlschrotten von Vorteil ist. Durch den Entzinnungsprozess könnte das Zinn zurückgewonnen werden.

Als Endprodukte der Anlagen wurden chargierfähiger Stahlschrott und Nichteisenmetallkonzentrate angegeben.

Eine sensorgestützte Sortierung für Weiblechverpackungen ist zwar im Einsatz, hat aber keine Mengenrelevanz.

Abbildung 26: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Eisenmetallverpackungen und -verbunden



Legende und Erläuterung

- Ausgangsmaterial
- Nebenprodukt (energetische Verwertung)
- Hauptprodukt (hochwertige werkstoffliche Verwertung)
- Prozessstufe
- Geringe Mengenrelevanz der Zweigwahrscheinlichkeiten

Quelle: Grummt (2022), aktualisiert durch Grummt und Fabian (2023), Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al. (2021)

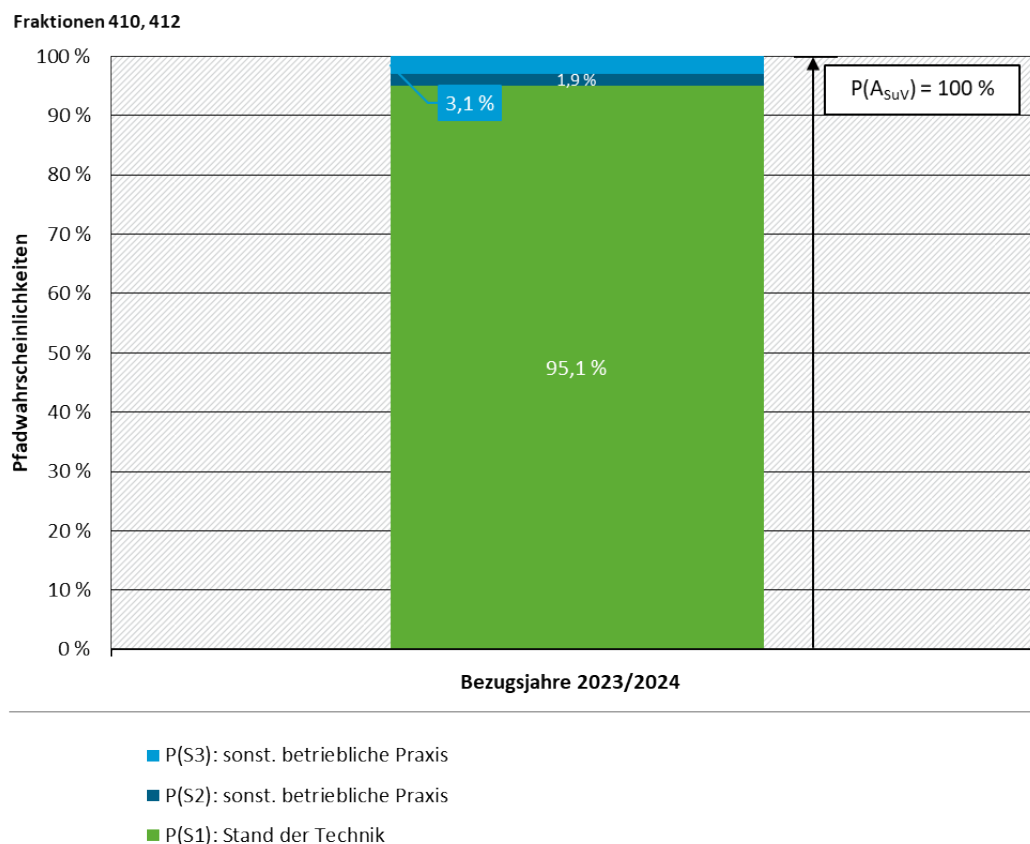
3.7.3 Ermittlung der Praxis der SuV für Eisenmetallverpackungen und -verbunde

Aus den Verarbeitungsmengen für der LVP-Sortierer für 2024 kann $P(A_S)$ für Verpackungen aus Eisenmetallen berechnet werden. Aus den Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023 der Eisenmetallaufbereiter und -verwerter kann $P(A_V)$ berechnet werden. Da alle LVP-Sortieranlagen Weißblechfraktionen sortieren und für ein Recycling bereitstellen, beträgt $P(A_S) = 100 \%$. Nach Definition des Mindeststandards 2024 werden alle Anlagen als Referenzanlagen eingestuft, demnach beträgt $P(A_V)$ ebenso 100% . Somit ergibt sich $P(A_{SuV}) = 100 \%$. Die Verteilung der Mengen ist in Abbildung 27 dargestellt.

Es kann zwischen drei verschiedenen Pfadwahrscheinlichkeiten unterschieden werden $P(S1,V1)$, $P(S2,V1)$ und $P(S3,V1)$. Die Zuführung zu Verwertungsanlagen für Verpackungen aus Eisenmetallen wird insbesondere von den Bedingungen in der LVP-Sortierung bestimmt. Hierbei liegt der Unterschied im Umgang mit dem Materialstrom aus der Feinkornabsiebung.

$P(S1)$ beträgt im Jahr 2024 ca. 95% und beschreibt die Wahrscheinlichkeit für Variante S1, bei der die Verpackung über eine Feinkornabsiebung läuft und der Sortierrest anschließend einer Magnetabscheidung unterzogen wird. Die Verfasser*innen definieren wie Dehoust et. al (2021) die Variante S1 als Stand der Technik, da diese Variante unabhängig vom Verpackungsformat ist. Die Variante S2, bei der eine Feinkornabsiebung bei $\leq 20 \text{ mm}$ stattfindet, der Sortierrest aber keine Magnetabscheidung durchläuft, ist ca. 2% . Bei Variante S3 ($P(S3)$ ist ca. 3%) findet eine Feinkornabsiebung bei $30 \text{ mm} - 60 \text{ mm}$ statt und der Sortierrest durchläuft keine Magnetabscheidung.

Abbildung 27: Praxis der SuV für 2023/2024 für Verpackungen aus Eisenmetallverpackungen und -verbunden



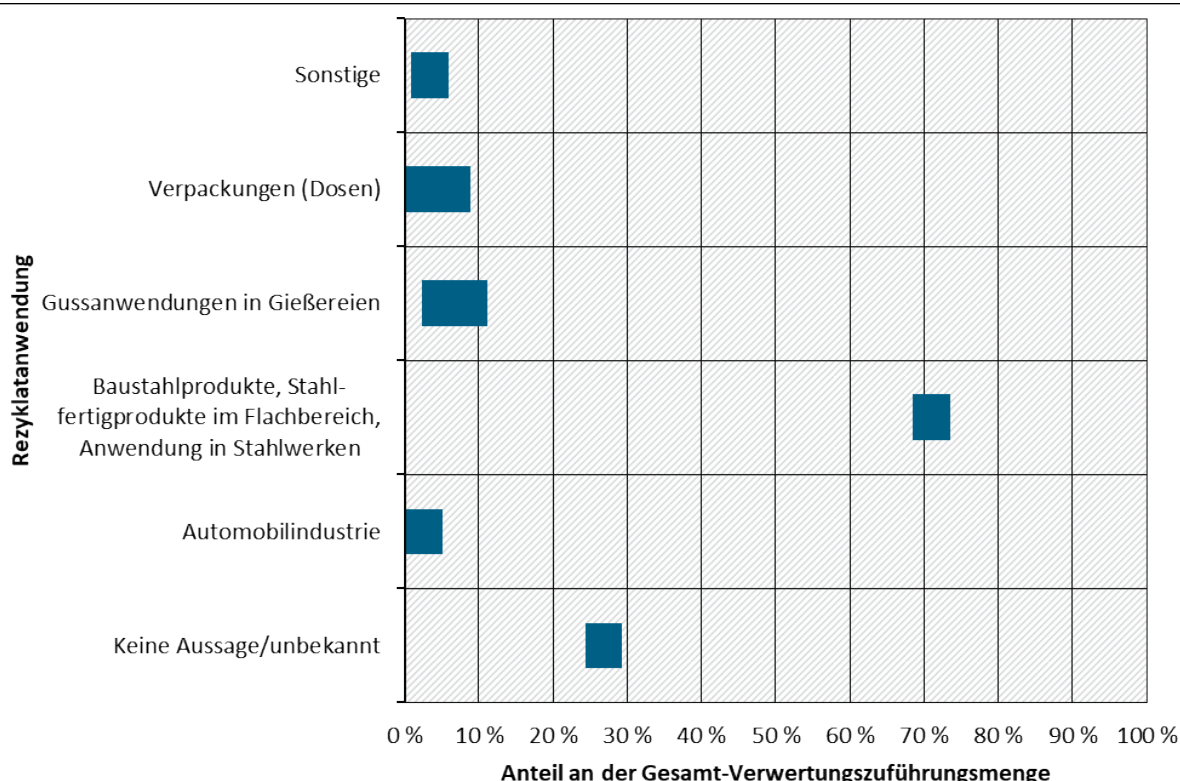
Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.7.4 Rezyklatanwendungen

Abbildung 29 zeigt die von den Eisenmetallaufbereitern und -recyclern angegebenen Rezyklatanwendungen. Angegeben wurden vorrangig Stahlprodukte (ca. 70 %). Eisenmetallverpackungen finden in geringen Mengen auch Anwendung in Verpackungen, Gussanwendungen in Gießereien und in der Automobilindustrie.

Alle genannten Rezyklatanwendungen werden nach dem Austausch mit einem externen Experten (Gespräche mit Hr. Dr. Christiani am 22.03.2023 und 14.02.2024) i. S. d. Mindeststandards 2024 als hochwertig werkstofflich eingestuft.

Abbildung 28: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von Eisenmetallverpackungen und -verbunden⁵⁷



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

3.7.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling

Die Erhebungen boten den Eisenmetallaufbereitern und -recyclern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungsmerkmale zu geben, welche spezifische Probleme im Recyclingprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 13 dargestellt; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/23 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben. Als Basis dafür dienten die Angaben in der Negativliste des geleakten Entwurfs der EU-Verpackungsverordnung (KOM, 2022b; Riebling, 2022, S. 25), eine Design-for-Recycling-Guideline (Gürlich et al., 2022) sowie der Austausch mit einem Experten im UBA. Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen

⁵⁷ Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen wurde die Spannweite geringfügig manipuliert.

Verpackungsmerkmalen gemacht werden. Diese konnten ebenso hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 13: Einschätzung der Referenzanlagen von Eisenmetallverpackungen und -verbunden (Anzahl: 22) zu problematischen Verpackungsmerkmalen⁵⁸

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch		
Komponenten aus anderen Stahllegierungen als üblich	8	0	4	0	9	1
Dickwandige Gasdruckflaschen oder -kartuschen	5	2	3	3	5	4
Konstruktionsbedingter Restinhalt	7	1	6	3	4	1
Verbundverpackungen	6	1	2	1	11	1
Komponenten aus PVC	8	3	4	0	6	1

Weitere Angaben:

<i>Chipsdosen (hoher Papieranteil)</i>			2			
<i>Verbindung Weißblech (magnetisch) mit Zinnbeschichtung (Zinn führt im Schmelzprozess bzw. bei der Stahlherstellung zu immensen Qualitätsverlusten)</i>				2		
<i>Verbundwerkstoff (Kunststoff-Alubeschichtung; Aufschluss sehr aufwendig)</i>		1				

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024)

Es ist festzustellen, dass die Angaben überwiegend von den Referenzanlagen als „Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen“ oder „Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst“ eingestuft

⁵⁸ Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

wurden. Nur maximal 3 der 22 Anlagenbetreiber stuften die genannten Aspekte als problematisch für Rezyklatqualität oder Wertstoffverlust ein. Im Folgenden wird auf ausgewählte Angaben vertieft eingegangen:

- Aus der Erhebung geht hervor, dass einige Anlagenbetreiber dickwandige Gasdruckflaschen mit hohem Aufwand manuell herausortieren und über Öffnung der Ventile restentleeren. Grund dafür ist, dass diese laut Anlagenbetreibern zu Verpuffungen im Zerkleinerungsprozess führen und die Brandgefahr erhöht sei. Ein Anlagenbetreiber gab an, generell keine Gasbehälter anzunehmen. Zum Problem „Konstruktionsbedingter Restinhalt“ machte ein Anlagenbetreiber die Angabe, dass generell alle explosiven und brennbaren Restinhalte kritisch seien. Ein anderer Betreiber gab an, dass Farbreste und Gasinhalte ein Problem darstellen. Der Mindeststandard kann keinen Einfluss auf die Restentleerung durch die Verbraucher*innen nehmen. Im Mindeststandard 2024 ist der Umgang mit konstruktionsbedingten Füllgutresten konkretisiert (ZSVR, 2024). Grundsätzlich ist die Problematik v. a. nicht restentleerter Gasdruckbehälter aus Stahl in der Entsorgung bekannt (ZSVR, 2021; Bundesregierung, 2025), kann aber im Mindeststandard nicht weiter adressiert werden. Es besteht demnach vorerst kein weiterer Handlungsbedarf für den Mindeststandard.
- Ein Anlagenbetreiber gab an, dass sich Chipsdosen aufgrund des Faseranteils mit Wasser vollsaugen würden und einen hohen Gewichtsanteil hätten. Nach der Einschätzung der Verfasser*innen stellt dies keine Recyclingunverträglichkeit i. S. d. Mindeststandards dar.
- Die Verfasser*innen empfehlen, das zusätzlich genannte Verpackungsmerkmal der Zinnbeschichtung bei Weißblechverpackungen im EK III zu prüfen. Eine Entzinnung scheint laut der aktuellen Befragung keine generelle Praxis darzustellen. Bei der vorletzten Erhebung (Grummt und Fabian, 2023) gab ein Anlagenbetreiber an, dass eine Entzinnung bei starker Verunreinigung, wie z. B. Lackierungen oder Beschichtungen schwierig sei. Der Zinngehalt sei gemäß des Anlagenbetreibers generell gering (ca. 0,2 %).

3.8 Aufbereitung und Verwertung von Aluminium, Aluminiumverbunden und aluminiumfolienhaltigen Verpackungen

3.8.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textbox zeigt, dass die Repräsentativität der Erhebungen zu den Aufbereitern und Verwertern von Aluminium, gegeben ist (> 80 % abgedeckter Mengenanteil an der Gesamtzuführungsmenge der Aufbereiter und Verwerter):

Erhebungsbogen Aufbereiter und Verwerter von Aluminium

- Rücklaufquote „Aufbereitungsanlagen“ und „Verwertungsanlagen“ (gemäß aktuellem Datenbestand): im In- und Ausland: 65 % (13/20); im Inland: 67 % (12/18)
- Gesamtzuführungsmenge der Aufbereiter und Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: ca. 70.600 t; entspricht 92 % der Gesamtmenge aller Aluminiumaufbereiter und -verwerter i. H. v. ca. 77.100 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 100 t/a)

Berücksichtigt wurden Anlagen, welche unter den Kontoklassen „Aufbereitungsanlage“ und „Verwertungsanlage“ (Bezugsjahr 2023) eingestuft wurden⁵⁹. Dabei wurde nur die Fraktion 420 (Aluminium) einbezogen. Laut den Prüfleitlinien Mengestromnachweise sind Pyrolyseanlagen grundsätzlich als Letzttempfänger zu klassifizieren (ZSVR, 2020). Gemäß Dehoust et. al (2021) sind mechanische Aufbereiter mit geringem Aufschluss mit Folgeempfängerstatus einzustufen und nicht als Letzttempfänger (Dehoust et al., 2021).

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.8.2 Pfadbeschreibung

Im Verpackungsbereich zählt zu den NE-Metallen hauptsächlich Aluminium. Abbildung 29 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Verpackungen aus Aluminium sowie von Aluminiumverbunden und aluminiumfolienhaltigen Verbunden. Als Grundlage der Erläuterung und der Reihenfolge der Prozesse dienten die beiden Befragungen, die Publikationen UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021), „Aluminiumrecycling“ (Krone, 2000, Kapitel 6) und der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP in der Version 5.1 und 6.1 (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022, 2025).

Die Unterschiede bei den LVP-Sortieranlagen liegen in den unterschiedlichen Ausführungen der Feinkornabsiebung. In der Aluminiumfraktion können sowohl Dosen (Getränke- und Aerosoldosen), Schalen, Tuben, Kaffeekapseln und Verschlüsse aus Aluminium, Aluminiumverbunden sowie aluminiumfolienhaltige Verbundverpackungen enthalten sein (Dehoust et al., 2021; Institut cyclos-HTP GmbH, 2025; Reissner, 2021). Als Inputmaterial gaben die Aluminiumaufbereiter und -verwerter hauptsächlich die Fraktion 420 sowie die Aluminiumfraktion aus der Glasaufbereitung an. Weiterhin wurden Aluminium aus MBA und Produktionsabfälle als Inputmaterial angegeben.

Ausnahmen sind gemäß des Mindeststandards 2024 Becher mit Aluminiumplatinen sowie metallisierte Verpackungen (ZSVR, 2024), z. B. Beutel für Chips. Verpackungen mit Metallisierung seien gemäß Dehoust et al. „keine aluminiumhaltigen Verpackungen i. S. d. prozesstechnischen Abgrenzung“ (Dehoust et al., 2021, S. 158).

Bei der Verwertung von Aluminiumverpackungen gibt es insbesondere zwei kritische Punkte zu beachten: (1) die für den Korrosionsschutz zuständige durchsichtige Oxidschicht auf Aluminiumoberflächen führt im Schmelzverfahren zu Metallverlust und (2) die Kombination aus organischen Restinhalten und geringen Materialdicken führen in der Schmelze zur Oxidation des Aluminiums und damit wiederum zu Metallverlust (Dehoust et al., 2021; Martens und Goldmann, 2016).

In LVP-Sortieranlagen wird Aluminium über Wirbelstromabscheidung aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit abgetrennt und als Fraktion in Ballen bereitgestellt. Hierbei werden auch Verbundverpackungen mit Aluminium aussortiert. Unterschiede liegen insbesondere in der Feinkornabsiebung. Es werden drei verschiedene Sortierprozessvarianten unterschieden. Es gibt LVP-Sortieranlagen, die Aluminiumverpackungen/-Verbunde bei einer Maschenweite von ≤ 20 mm absieben (S2) sowie Anlagen, die bei 30 mm – 60 mm absieben (S3). Bei diesen beiden Varianten wird der Sortierrest keiner Wirbelstromabscheidung unterzogen. Anlagen,

⁵⁹ Die Klassifizierung von Anlagen in Kontoklassen wird gemäß der ZSVR von Sachverständigen im Rahmen der Erstellung von Anlagenzertifikaten vorgenommen und anschließend von Beteiligten im Softwareprogramm wme.fact erfasst. Die Systembetreiber liefern der ZSVR jährlich im Rahmen der MSN Unterlagen, die die Einstufungen der Kontoklassen beinhalten (E-Mail ZSVR an UBA am 15.01.2025).

die auch den Sortierrest noch einer Wirbelstromabscheidung unterziehen werden der Sortierprozessvariante S1 zugeordnet.

Es existieren zwei verschiedene Verwertungsprozessvarianten (Bulach et al., 2022; Dehoust et al., 2021; Krone, 2000):

- ▶ Direkte Pyrolyse (V1): Die Aluminiumfraktion wird heute mehrheitlich pyrolytisch aufbereitet. In den Pyrolyseanlagen wird die Aluminium-Fraktion zunächst mechanisch aufbereitet. Eine Kompaktierung (Verpressung) sorgt für eine Minimierung von Abbrandverlusten. Das Material wird in einen Shredder zerkleinert und einer Magnetabscheidung, Wirbelstromabscheidung und Windsichtung unterzogen. In der anschließenden Pyrolyse werden die organischen Anhaftungen, wie z. B. Lacke, Etiketten, Beschichtungen oder Lebensmittelreste verschwelt und in Pyrolysegas und Pyrolysekoks umgewandelt (GDA, 2017). Die Pyrolyse findet bei 450 °C – 500 °C (GDA, 2017) statt und wird unter Ausschluss von Sauerstoff durchgeführt. Das Pyrolysegas kann thermisch verbrannt werden und als Energiequelle verwendet werden (Bulach et al., 2022). In einer Nachsortierung werden NE-Metalle separiert. Das Endprodukt sind Aluminium-Konzentrate, die in einer Schmelze umgeschmolzen und anschließend als Aluminium-Rezyklat bereitgestellt werden können (Dehoust et al., 2021; Martens und Goldmann, 2016).
- ▶ Mechanische Aufbereitung (V2): Mechanische Verfahren stellen eine alternative Verwertungsoption dar. Der Prozess beginnt mit einem mechanischen Aufschluss durch Zerkleinerer. Es erfolgt eine Auftrennung in drei verschiedene Ströme: ein Aluminiumkonzentrat, ein Strom aus Aluminiumverbunden („Mittelgut“) sowie ein Rejekt, das als Ersatzbrennstoff (EBS) in ein Zementwerk gegeben werden kann. Das Mittelgut kann gemäß Dehoust et al. (2021) anschließend an Pyrolyseanlagen geliefert und dort umgeschmolzen werden. Es kann aber auch ein mechanischer Feinaufschluss durchgeführt werden, in dem Aluminium aus Schichtverbunden herausgelöst werden kann (Dehoust et al., 2021).

Nur vereinzelt gaben Anlagen an, eine Vorsortierung auf grobe Metallteile durchzuführen, welche Maschinen beschädigen könnten.

Als Endprodukte der Anlagen wurden Aluminium-Granulat, Aluminium-Gries, geschreddertes Aluminium, Eisenschrott und Nichteisen-Metallkonzentrate angegeben.

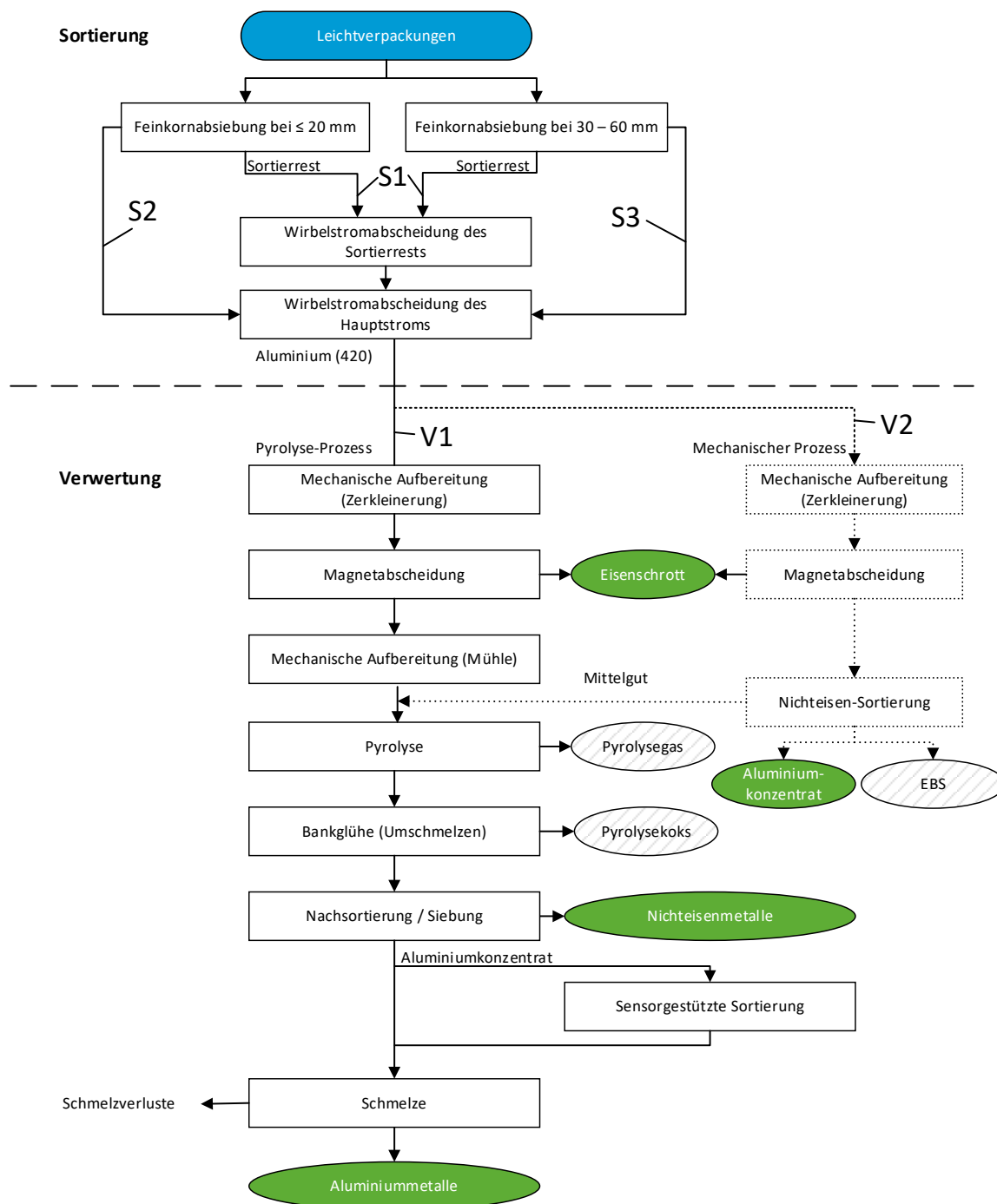
Moderne Sensortechniken, wie z. B. Röntgentechnologien (Röntgenfluoreszenzspektroskopie – XRF oder Röntgentransmissionsanalyse – XRT) oder die Lasertechnologie LIBS (Laserinduzierte Plasmaspektroskopie, engl. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy,) können Metalle anhand der verschiedenen Legierungselemente unterscheiden. Mittels LIBS können Verpackungen nach Legierungsgruppen sortiert werden (z. B. 1xxx oder 3xxx). Über Röntgentechnologien können z. B. Buntmetalle wie Kupfer oder Zink aus der Aluminiumfraktion separiert werden (Raatz et al., 2022). Aus den Erhebungen ist bekannt, dass LIBS und XRF bereits für Aluminiumverpackungen im Einsatz sind. Dies ist auch aus verschiedenen öffentlichen Quellen bekannt (Mirosavljevic, 2021; PreZero Pyral, o. J.; Reissner, 2021; Seifert, 2019). Im vorliegenden Bericht werden diese Sortiertechniken mengenmäßig eingeordnet (siehe 3.8.3).

Im Austausch mit einem Experten wurden XRF und LIBS als Stand der Technik eingestuft (Gespräch mit Hr. Dr. Christiani am 14.02.2024). Für eine detaillierte Beschreibung der Verfahrensweise sowie der Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden zur Metallanalytik

XRF, XRT und LIBS wird an dieser Stelle auf UBA-TEXTE 81/2022 verwiesen (Raatz et al., 2022).

FKN mit Aluminiumanteil werden i. d. R. von den LVP-Sortieranlagen nicht in die Aluminiumfraktion, sondern über NIR-Trenner in die FKN-Fraktion sortiert und als Monofraktion bereitgestellt. Die Verwertung der FKN-Fraktion ist in Abschnitt 3.9 erläutert.

Abbildung 29: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Aluminiumverpackungen, -verbunden und aluminiumfolienhaltigen Verpackungen



Legende und Erläuterung

- Ausgangsmaterial
- Nebenprodukt (energetische Verwertung)
- Hauptprodukt (hochwertige werkstoffliche Verwertung)
- Prozessstufe

Quelle: Grummt (2022), aktualisiert durch Grummt und Fabian (2023), Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al. (2021), Tschachtli et al (2019) und Bulach et al. (2022)

3.8.3 Ermittlung der Praxis der SuV für Aluminiumverpackungen, -verbunde und aluminiumfolienhaltige Verpackungen

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer für 2024 kann $P(A_S)$ für Verpackungen aus Aluminium berechnet werden. Da alle LVP-Sortieranlagen die Aluminiumfraktion sortieren und für ein Recycling bereitstellen, beträgt $P(A_S) = 100\%$. Aus den Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023 der Aluminiumaufbereiter und -verwerter kann $P(A_V)$ berechnet werden. Nach Definition des Mindeststandards 2024 werden alle Anlagen als Referenzanlagen eingestuft, demnach beträgt $P(A_V)$ 100 %. Aus einer Multiplikation von $P(A_S)$ mit $P(A_V)$ ergibt sich $P(A_{SuV}) = 100\%$. Die Verteilung der Mengen ist in Abbildung 30 dargestellt.

Es kann zwischen sechs verschiedenen Pfadwahrscheinlichkeiten unterschieden werden, diese sind $P(S1,V1)$, $P(S1,V2)$, $P(S2,V1)$, $P(S2,V2)$, $P(S3,V1)$ und $P(S3,V2)$.

Bei der Variante S1 wird zusätzlich der Sortierrest einer Wirbelstromabscheidung unterzogen. Bei Variante S2 findet eine Feinkornabsiebung bei ≤ 20 mm statt und der Sortierrest durchläuft keine Wirbelstromabscheidung. Bei Variante S3 findet eine Feinkornabsiebung bei 30 mm – 60 mm statt und der Sortierrest durchläuft ebenso keine Wirbelstromabscheidung (Dehoust et al., 2021).

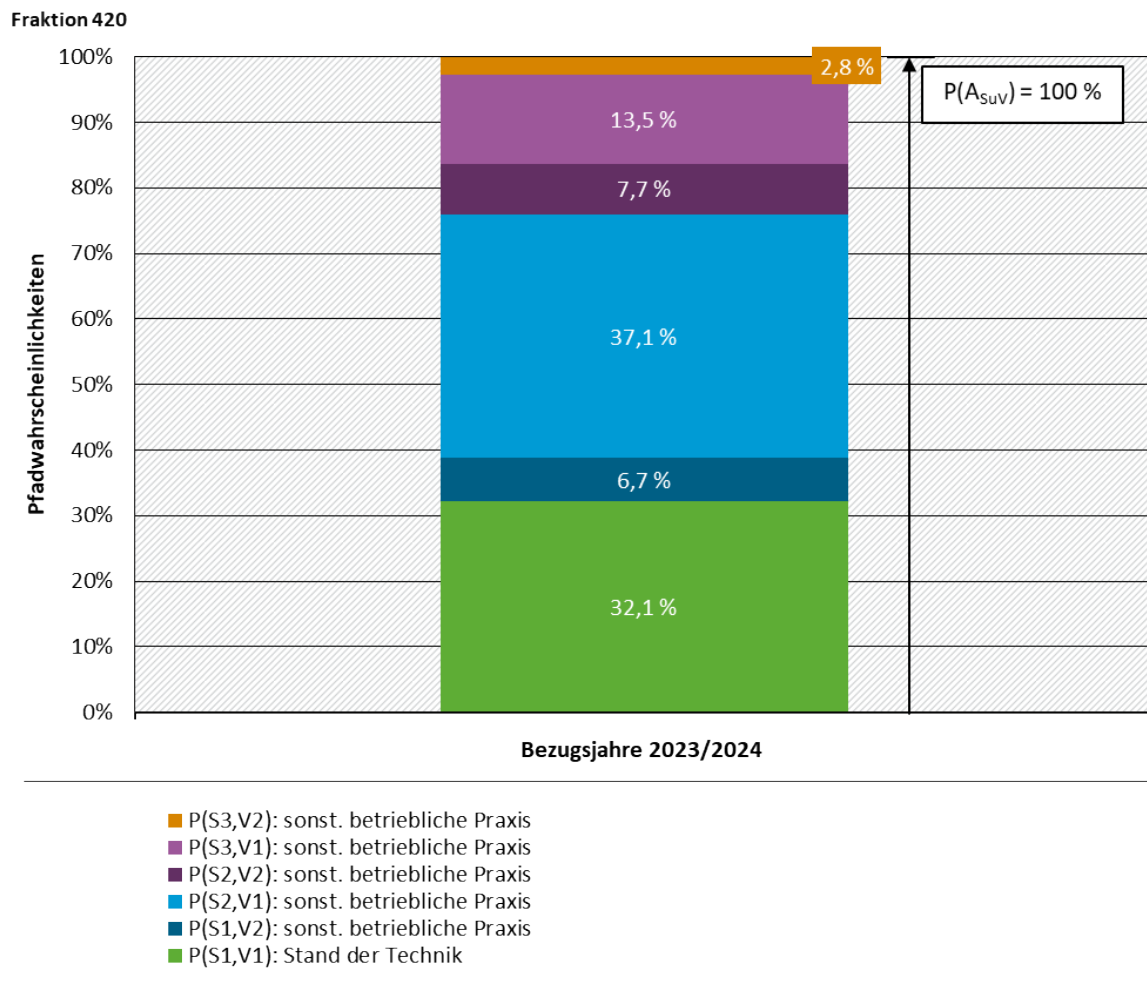
Alle Wahrscheinlichkeiten mit V1 umfassen die Verwertungsprozessvarianten, bei der die Aluminiumverpackungen direkt einer Pyrolyse zugeführt werden. Die Wahrscheinlichkeiten mit V2 umfassen die Verwertungsprozessvarianten, bei denen die Aluminiumfraktion in einer Aufbereitungsanlage mechanisch aufbereitet wird.

Im MSN 2023 wurden bezogen auf den aktuellen Datenbestand rund 83 % ($P(V1)$) der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen der Fraktion 420 über Verwertungsanlagen zugeführt. Der Wert stimmt ungefähr mit der Aussagen der Literatur für 2020 überein (Bulach et al., 2022; Mayer et al., 2022). Basierend auf den aktuellen Datenbestand wurden rund 17 % der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen der Fraktion 420 Aufbereitungsanlagen zugeführt.

Die Verfasser*innen deklarieren die Wahrscheinlichkeit $P(S1,V1)$ mit 32,1 % als Stand der Technik, da bei dieser Varianten sowohl der Sortierrest als auch der Hauptverpackungsstrom einer Wirbelstromabscheidung unterzogen wird und im Verwertungsprozess eine Pyrolyse stattfindet.

Ca. 55%, das bedeutet mehr als Hälfte der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen der Fraktion 420 treffen auf Aufbereitungs- oder Verwertungsanlagen, die sensorgestützte Sortierungstechniken (XRF und/oder LIBS) einsetzen. Werden nur Verwertungsanlagen einbezogen, sind es ca. 60 %. Aufgrund wettbewerbsrechtlicher Gründe können keine Klarwerte angegeben werden.

Abbildung 30: Praxis der SuV für 2023/2024 für Verpackungen aus Aluminium, -verbunden und aluminiumfolienhaltigen Verpackungen



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.8.4 Rezyklatanwendungen

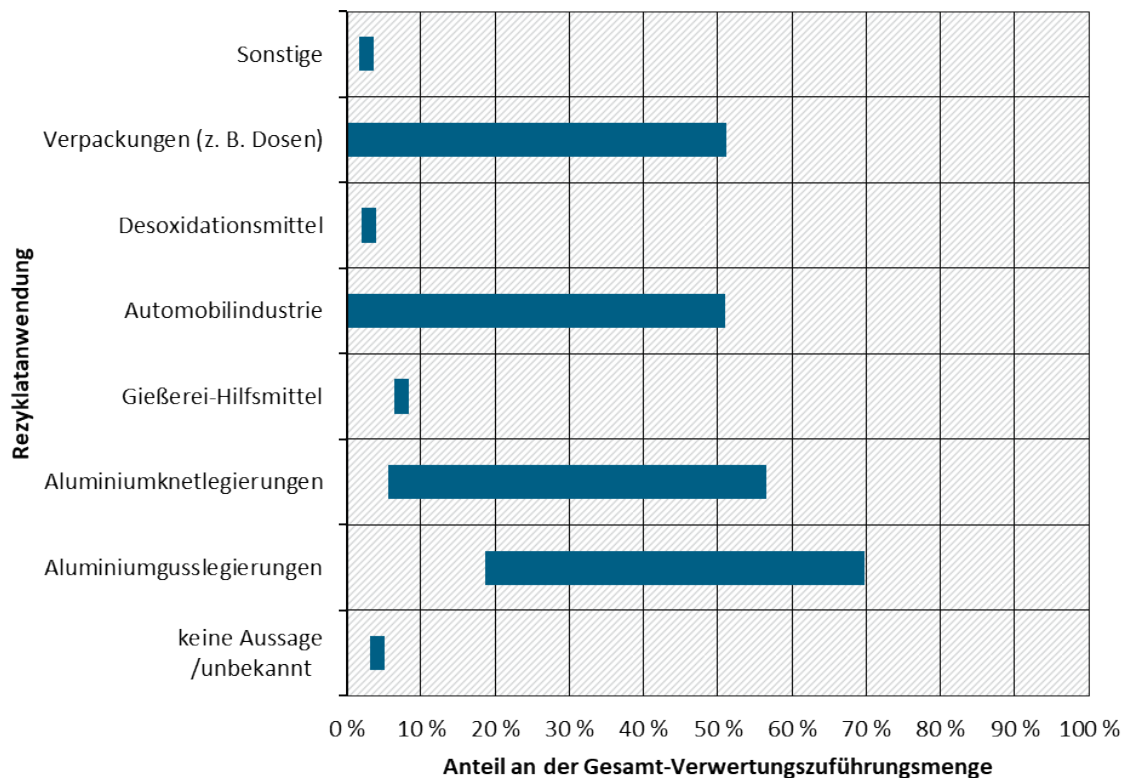
Abbildung 31 zeigt die von den Aluminiumaufbereitern und -recyclern angegebenen Rezyklatanwendungen. Die Balken im Plot sind besonders lang, wenn Anlagen mit großer Mengenrelevanz keine quantitative Aussage zu den jeweiligen Anwendungen tätigten. Angegeben wurden sowohl Aluminiumgusslegierungen und -knetlegierungen sowie Verpackungen (z. B. Dosen) und der Einsatz in der Automobilindustrie. Der Einsatz als Desoxidationsmittel und Gießereihilfsmittel wurde ebenso angegeben, spielt mengenmäßig aber nur eine untergeordnete Rolle.

Gusslegierungen sind Aluminiumlegierungen, die insbesondere für die Herstellung von Formgussteilen entwickelt wurden. Sie zeichnen sich durch ihre guten Gießeigenschaften aus und enthalten hauptsächlich Silizium, Magnesium und Kupfer als Hauptlegierungselemente. Knetlegierungen sind Legierungen, die für die weitere Verarbeitung durch plastische Umformung wie Walzen, Schmieden oder Pressen bestimmt sind. Diese Legierungen enthalten in erster Linie Mangan, Silizium, Magnesium, Zink und Kupfer als Hauptlegierungselemente (Krone, 2000). Aluminiumverpackungen können aus verschiedenen Legierungstypen hergestellt werden. Getränkedosen besitzen beispielsweise typischerweise den Knetlegierungstyp 3004, wobei der Öffnungsclip i. d. R. aus der Legierung 5182 besteht.

Aluminiumtuben besitzen i. d. R. einen Legierungstyp aus der 1000-Serie. Werden die Legierungstypen im Recyclingprozess voneinander getrennt, kann dies die Qualität des Rezyklats verbessern (Gürlich et al., 2022; Krone, 2000; Raatz et al., 2022).

Alle genannten Rezyklatanwendungen werden nach dem Austausch mit einem externen Experten (Gespräche mit Hr. Dr. Christiani am 22.03.2023 und 14.02.2024) als hochwertig werkstofflich i. S. d. Mindeststandards eingestuft.

Abbildung 31: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von Aluminiumverpackungen, -verbunden und aluminiumfolienhaltigen Verpackungen⁶⁰



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

3.8.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling

Die vorherige Erhebung bot den Aluminiumpaßbereitern und -recyclern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungsmerkmale zu geben, welche spezifische Probleme im Recyclingprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 14 dargestellt; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/23 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben. Als Basis dafür dienten die Angaben in der Negativliste des geleakten Entwurfs der EU-Verpackungsverordnung (KOM, 2022b; Riebling, 2022, S. 25), eine Design-for-Recycling-Guideline (Gürlich et al., 2022) sowie der Austausch mit einem Experten im UBA. Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungsmerkmalen gemacht werden. Diese konnten ebenso hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

⁶⁰ Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen wurde die Spannweite geringfügig manipuliert.

Tabelle 14: Einschätzung der Referenzanlagen von Aluminiumverpackungen, -verbunden und aluminiumfolienhaltigen Verpackungen (Anzahl: 11) zu problematischen Verpackungsmerkmalen⁶¹

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch		
Komponenten aus anderen Aluminiumlegierungen als üblich	4	0	0	0	6	1
Druckfarben	4	0	1	0	5	1
Komponenten aus PVC (z. B. aus Blisterverpackungen)	3	2	3	0	2	1
Aerosoldosen mit kohlenwasserstoffbasierten Treibmittel oder anderen Restinhalten	5	0	0	1	5	0
Dickwandige Gasdruckflaschen oder -kartuschen	3	0	0	1	7	0
Sonstige Verpackungen mit konstruktionsbedingtem Restinhalt	5	0	1	0	3	2
Verbundverpackungen	3	1	1	0	5	1

Weitere Angaben:

<i>Lithium-Ionen-Akkus (extreme Brandgefahr bei Zerkleinerung)</i>				1		
<i>Gasdruckflaschen (ggf. Verpuffungen in der Anlage)</i>						1
<i>Restinhalt von Hohlkörpern (ggf. Verpuffungen in der Anlage)</i>						1

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024)

⁶¹ Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

Es ist festzustellen, dass viele der Angaben überwiegend von den Referenzanlagen als unproblematisch eingestuft wurden. Im Folgenden wird auf ausgewählte Angaben vertieft eingegangen:

- ▶ Zum Aspekt „Aerosoldosen“ schrieb ein Anlagenbetreiber, dass nicht vollständig entleerte Dosen beim Zerkleinern zu Verpuffungen führen könnten. Ein anderer Anlagenbetreiber gab dies für Gasdruckflaschen an. Weiterhin wurde die Angabe gemacht, dass dickwandige Gasdruckflaschen und -kartuschen die Anlage beschädigen können. Insbesondere die Kohlenwasserstoff-basierten Treibmittel können eine Brandgefahr im Recyclingprozess darstellen, zudem seien leicht entflammbare Flüssigkeiten kritisch (Gürlich et al., 2022). Der Mindeststandard kann keinen Einfluss auf die Restentleerung durch die Verbraucher*innen nehmen. Grundsätzlich ist die Problematik v. a. nicht restentleerter Gasdruckbehälter in der Entsorgung bekannt (ZSVR, 2021; Bundesregierung, 2025), kann aber im Mindeststandard nicht weiter adressiert werden. Es besteht demnach vorerst kein weiterer Handlungsbedarf für den Mindeststandard.
- ▶ Zum Aspekt „Komponenten aus PVC“ gab ein Anlagenbetreiber an, dass diese nur in geringen Mengen in der Aluminiumfraktion vorhanden seien. Aufgrund der geringen Mengenrelevanz würden diese Verpackungen keine Recyclingunverträglichkeit darstellen. PVC würde nach mündlicher Aussage eines Recyclers insbesondere bei Blisterverpackungen für Medikamente als Formfolie eingesetzt werden, wobei Aluminium als Deckfolie Anwendung findet.
- ▶ Zum Aspekt „Druckfarben“ gaben zwei Anlagenbetreiber an, dass diese bei der Pyrolyse verschwelen würden und damit unproblematisch seien.
- ▶ Die zusätzliche Angabe „Lithium-Ionen-Akkus“ nehmen auf einen Fehlwurf Bezug. Da Fehlwürfe nicht im Mindeststandard behandelt werden können, besteht im Mindeststandard diesbezüglich vorerst kein Handlungsbedarf.

3.9 Verwertung von FKN (inkl. PolyAl)

3.9.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textbox zeigt, dass die Repräsentativität der beiden Erhebungen zu den FKN-Verwertern (Papierfabriken) gegeben ist (> 80 % abgedeckter Mengenanteil an der gesamten Zuführungsmenge):

Erhebungsbogen FKN-Verwerter

- ▶ Rücklaufquote (gemäß aktuellem Datenbestand)⁶²: im In- und Ausland: 57 % (13/23); im Inland: 57 % (8/14)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: ca. 125.400 t; entspricht 98 % der Gesamtmenge aller FKN-Verwerter i. H. v. ca. 128.000 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 100 t/a)

⁶² Im aktuellen Bezugszeitraum sind einige Anlagen mit zum Teil sehr geringen Zuführungsmengen hinzugekommen, die im vorherigen Bezugszeitraum nicht beliefert wurden. Für viele dieser Anlagen liegen gemäß aktuellem Datenbestand keine auswertbaren Angaben vor, so dass die Rücklaufquote deutlich niedriger als in vergangenen Erhebungen liegt. Da diese Anlagen eine sehr geringe Mengenrelevanz haben, wirkt sich dies auf die Repräsentativität der Ergebnisse nur marginal oder nicht aus.

Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen und die Fraktionen 510 („Flüssigkeitskartons“) und 512 („Flüssigkeitskartons/Getränkekartons“).

Für den vorherigen Bericht wurden zusätzlich die Verwerter der Kunststoff- und Aluminiumanteile von FKN (PolyAl) befragt. Von sechs europäischen PolyAl-Verwertern gab es fünf Rückmeldungen, wobei die deutschen PolyAl-Verwerter mündlich befragt wurden. Von einem der deutschen PolyAl-Verwerter lag auch ein Zertifikat mit Nachweis der hochwertigen werkstofflichen Verwertung des PolyAl vor. Diese Erkenntnisse werden erneut verwendet.

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.9.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 32 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von FKN. Als Grundlage der Erläuterung und der Reihenfolge der Prozesse dienten die aktuelle Befragung, die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021) sowie der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP in der Version 5.1 und 6.1 (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022, 2025).

FKN wird in LVP-Sortieranlagen üblicherweise über NIR-Trenner abgetrennt und für die Verwertungsanlagen als Großballen bereitgestellt.

Der erste Schritt bei den FKN-Verwertern ist die Zerkleinerung der Verpackungen in 3-4 Teilstücke in einem Shredder. Durch die Schnittkanten werden die Papierfasern für das Wasser zugänglich (Martens und Goldmann, 2016). Anschließend wird das Papier befeuchtet, um die Fasern herauszulösen sowie die Wasserstoffbrückenbindungen aufzubrechen, sodass daraus eine pumpfähige Suspension resultiert (Blechsmidt, 2011). Dieser Prozess wird auch als Desintegrieren, Auflösen oder Zerfasern bezeichnet. Für FKN sind dafür überwiegend Auflösetrommeln im Einsatz, um die enthaltenen Kunststoff- und Aluminiumfolien nicht zu stark zu zerkleinern. Dies erleichtert deren spätere Abtrennung. Mit der primären Desintegration wird auch noch eine andere Funktion erfüllt: Unerwünschte papierfremde Bestandteile, wie beispielsweise Kunststofffolien, Textilien, Drähte und Kleberückstände werden abgelöst. In diesem Schritt werden auch die Kunststoffanteile (Deckel, LDPE-Folie und andere Kunststoffkomponenten) und Aluminiumfolie ausgetragen.

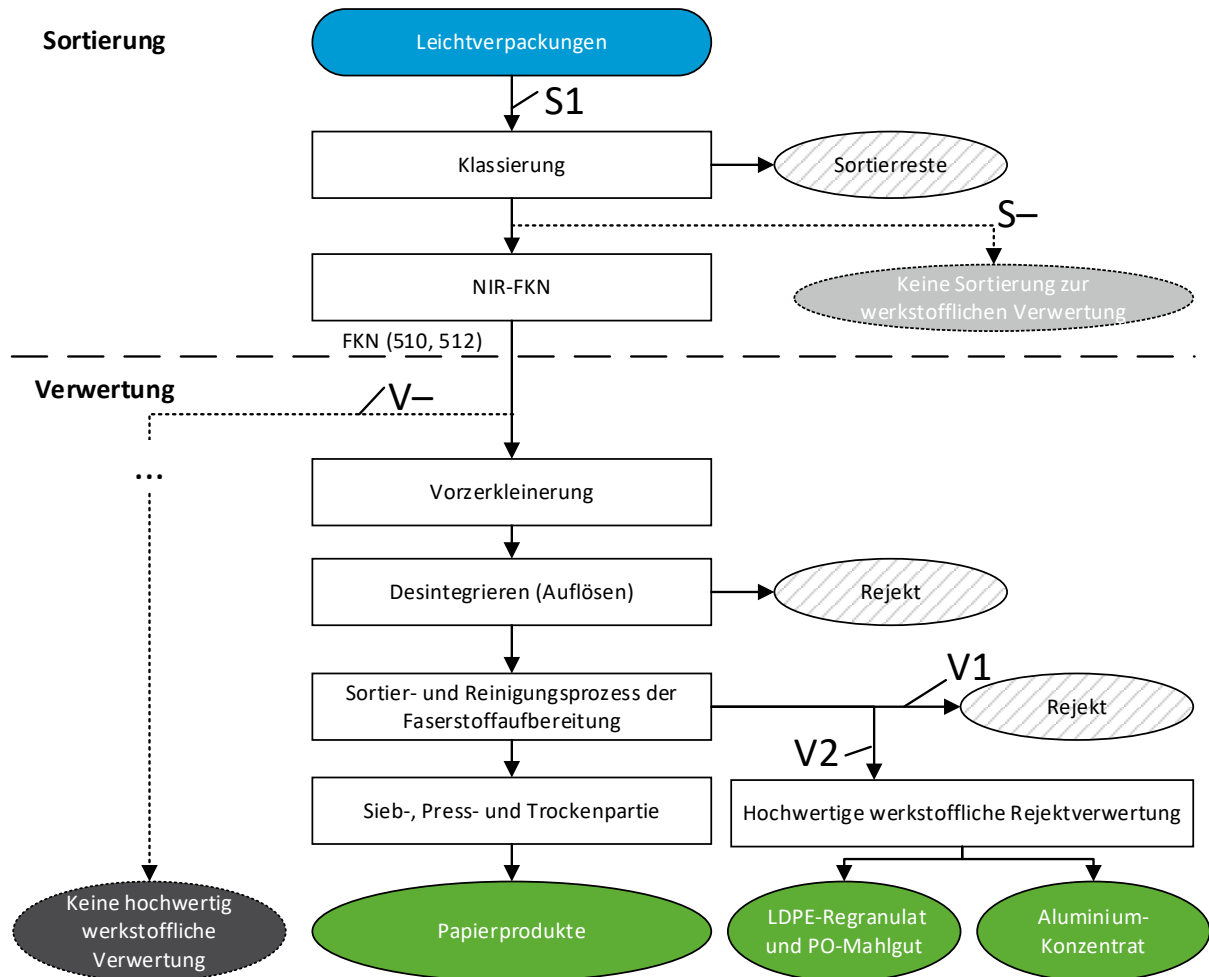
In mehreren Aufbereitungsstufen (Reinigung und Sortierung) des Faserstoffs werden weitere Kunststoff- und Aluminiumanteile als Rejekt ausgeschleust. Anschließend folgt die Sieb-, Press- und Trockenpartie der Papiermaschine auf der das finale Papierprodukt (z. B. Wellpappenroh papier) hergestellt wird.

Das Rejekt kann anschließend in einem Zementwerk beigemischt bzw. energetisch verwertet werden (V1) oder werkstofflich verwertet werden. Die Verwertungsvariante, bei der eine hochwertige werkstoffliche Rejektverwertung stattfindet, wurde als Pfad (V2) abgebildet. Bei dieser Variante werden das durch die Rejektaufbereitung gewonnene LDPE-Regranulat, das PO-Mahlgut sowie das Aluminium hochwertig werkstofflich verwertet.

Die erste deutsche Anlage für das PolyAl-Recycling ist im Jahr 2021 in Betrieb gegangen (EUWID, 2021). Für eine detaillierte Beschreibung des Recyclingprozesses wird auf die Website der Palurec (Palurec GmbH, o. J.) verwiesen. Aus öffentlichen Quellen ist bekannt, dass bereits Kapazitäten für ein weiteres Recyclingverfahren für FKN-Rejekte in Deutschland aufgebaut wurden. Die Anlage der Saperatec ist im Mai 2024 in Betrieb gegangen. Die FKN-Rejekte werden dort mit einer speziellen Trennflüssigkeit auf Tensid-Basis voneinander

getrennt und recycelt (Storck, 2024). Da die Anlage erst nach dem Bezugszeitraum des MSN 2023 den Betrieb aufnahm und im Sommer 2025 Medienberichten zufolge Insolvenz anmeldete (Lang, 2025), wird sie in diesem Teilbericht nicht einbezogen.

Abbildung 32: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von FKN



Legende und Erläuterung

- Ausgangsmaterial
- Nebenprodukt (energetische Verwertung)
- Wahrscheinlichkeiten der Varianten werden nicht in die Anwendungsgrade einberechnet
- Hauptprodukt (hochwertige werkstoffliche Verwertung)
- Prozessstufe
- Geringe Mengenrelevanz der Zweigwahrscheinlichkeiten

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Aus der Befragung der PolyAl-Verwerter im Ausland geht hervor, dass auch dort geringe Mengen PolyAl der von den deutschen Systemen gesammelten FKN einem hochwertigen werkstofflichen Recycling zugeführt werden.

Es wird empfohlen, den Aufbau der Kapazitäten für PolyAl weiterhin zu beobachten.

3.9.3 Ermittlung der Praxis der SuV für FKN

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer für 2024, als auch aus den Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023, kann $P(A_{SuV})$ für FKN berechnet werden. Die $P(A_{SuV})$ für die Bezugsjahre 2023/2024 für FKN beträgt rund 95 %. Die Verteilung auf die Pfade ist in Abbildung 33 für FKN dargestellt.

Die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1,V2)$ mit 61,9 % wird als Stand der Technik eingestuft. Bei dieser Variante wird FKN über NIR sortiert und anschließend mit hochwertiger Rejektverwertung hochwertig werkstofflich verwertet. Die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1,V1)$ beträgt 32,8 % und kann als sonstige betriebliche Praxis angesehen werden. Bei dieser Variante findet keine hochwertige werkstoffliche Rejektverwertung statt. Die Wahrscheinlichkeit, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Varianten mit S- und V-) beträgt insgesamt 5,2 %.

Einige Anlagen verwerten zur Verbesserung der Produktqualität weitere Inputqualitäten aus anderer Herkunft gemeinsam mit den Systemmengen, beispielsweise Systemmengen aus dem Ausland oder Produktionsabfälle (z. B. Stanz- und Schnittabfälle).

Weiterhin wurden für die vorherige Erhebung die Papierfabriken nach der Stofflösezeit befragt. Die Zeit für die Desintegration der Fasern hängt maßgeblich von den eingesetzten Verpackungen, der Qualität der Verpackungen sowie dem verwendeten System (Pulper oder Auflösetrommel) ab. Die Erhebung zeigte, dass i. d. R. Auflösetrommeln für FKN eingesetzt werden. Die Stofflösezeiten liegen zwischen 20 Minuten und 40 Minuten. Als Temperaturen bei der Stofflösung wurden Werte zwischen 35 °C und 60 °C genannt. Für FKN kann zusätzlich eine Dispergierung mit Hygienisierung stattfinden (Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024).

PolyAl-Verwertung

$P(A_{SuV-PolyAl})$ für PolyAl aus der FKN-Verwertung wurde separat berechnet. Grund dafür ist, dass zunehmend auch die Kunststoff- und Aluminiumanteile von FKN in separaten Anlagen hochwertig werkstofflich recycelt werden. Eine Erläuterung zur Datenbasis und Berechnung ist in Abschnitt 2.2 beschrieben. Aus den Antworten der Papierfabriken bei der vorherigen Befragung auf die Frage „Wie hoch ist der durchschnittliche (rohfeuchte) Grobrejektanteil der Stofflösung (Alu-PE- bzw. PE-Folie und Hartkunststoff), also der „PolyAl“-Anteil (ggf. als Spannweite angeben)?“ ergab sich die Spannweite 30 % bis 40 % (Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024). Der PolyAl-Anteil als Output der Papierfabriken beträgt demnach 38.400 t/a bis 51.200 t/a (gerundet auf 100 t/a)⁶³. Auf der Website des Fachverbands Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel e.V. werden 20 % – 25 % Kunststoffanteil und 0 % – 5 % Aluminiumanteil für FKN angegeben (FKN, o. J.). Die Ergebnisse der Befragung zum PolyAl-Anteil im Output der Papierfabriken können als plausibel angesehen werden, da in den PolyAl-Ballen zusätzlich noch restfeuchte Restfasern inkludiert sind.

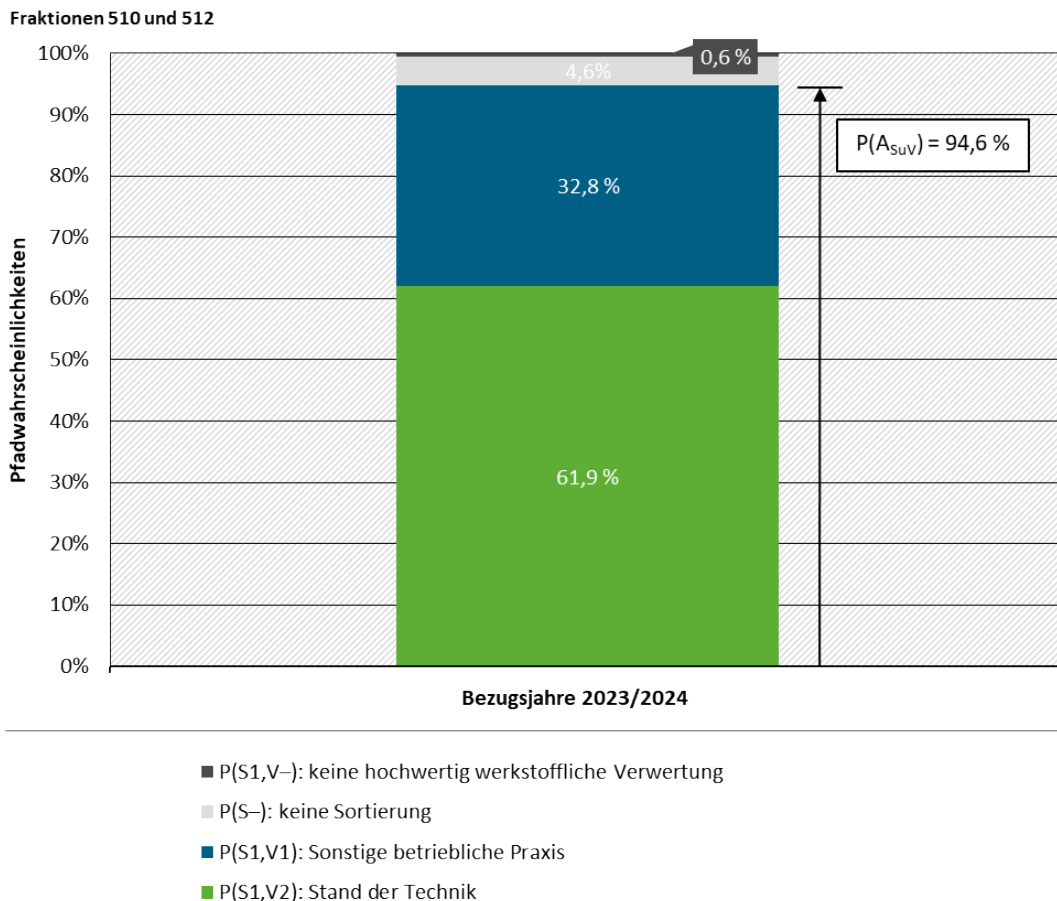
Des Weiteren ergab sich eine Spannweite aus der Angabe der Referenzanlagen für PolyAl zu den PolyAl-Inputmengen, da eine Referenzanlage ihren Durchsatz gegenüber dem

⁶³ Die gesamte Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen für die Fraktion FKN (510, 512) beträgt ca. 128.000 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 100 t/a).

vorliegenden Zertifikat verbessern konnte⁶⁴. Es wurde demnach mit zwei Spannweiten gerechnet. Die jeweiligen Inputmengen der Referenzanlagen für PolyAl können aus wettbewerbsrechtlichen Gründen nicht aufgeführt werden.

$P(A_{V-PolyAl})$ für PolyAl wurde anschließend mit $P(A_S)$ für FKN (510, 512) aus den Ergebnissen der LVP-Sortierung sowie mit $P(A_V)$ für die Faseranteile der Papierfabriken multipliziert. Es ergibt sich die Spannweite $P(A_{SuV-PolyAl})$ 23 – 36 %.

Abbildung 33: Praxis der SuV für 2023/2024 für den Papierfaseranteil von FKN



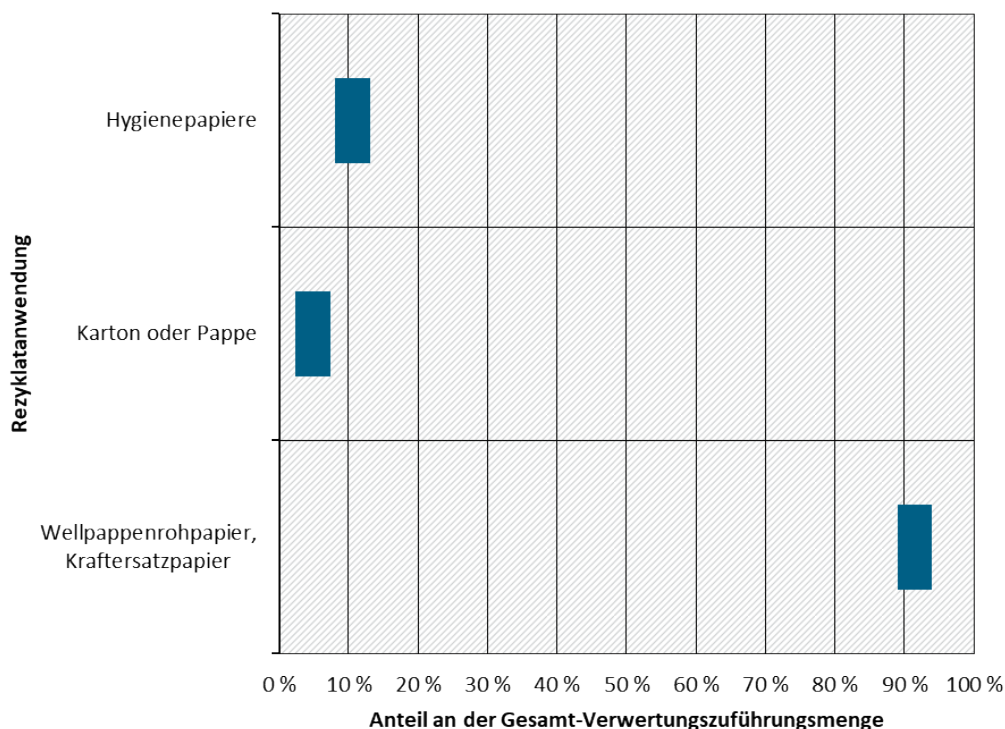
Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.9.4 Rezyklatanwendungen

Die Referenzanlagen für das hochwertig werkstoffliche Recycling der Papierfasern gaben bezogen auf die Gesamtmenge überwiegend Wellpappenrohapiere als Rezyklatanwendung an. Mit geringerer Mengenrelevanz werden auch Hygienepapiere und Karton oder Pappe hergestellt. In Abbildung 34 ist die Verteilung der Rezyklatanwendungen bezogen auf die gesamte Zuführungsmenge dargestellt.

⁶⁴ Als Minimum für diesen Anlagenbetreiber wurde die Menge aus dem Zertifikat entnommen und als Maximum die Menge mit dem erhöhten Durchsatz.

Abbildung 34: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von FKN (Papierfaseranteil)⁶⁵



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Aus der Befragung der PolyAl-Recycler ergaben sich als dominante Referenzanwendung der Kunststoffrezyklate Spritzgussanwendungen (Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024). Aus einer öffentlichen Quelle ist bekannt, dass für die Kunststoffanteile zukünftig noch Folienverpackungen als Referenzanwendungen in Frage kommen könnten (saperatec GmbH, o. J.). In Deutschland werden die Aluminiumanteile von den Kunststoffanteilen getrennt (Palurec GmbH, o. J.). Aus der Befragung von Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024) geht hervor, dass dies in den Anlagen im Ausland nicht immer so gehandhabt wird und das Aluminium somit in die Kunststoff-Rezyklatanwendung gelangen kann.

3.9.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling

Die vorherige Erhebung bot den FKN-Recyclern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungsmerkmale zu geben, welche spezifische Probleme im Recyclingprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind Tabelle 15 dargestellt; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/2023 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2023 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2023). Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungsmerkmalen gemacht werden. Diese konnten ebenso hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

⁶⁵ Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen wurde die Spannweite geringfügig manipuliert.

Tabelle 15: Einschätzung der Referenzanlagen von FKN (Anzahl: 5) zu problematischen Verpackungsmerkmalen⁶⁶

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch		
Nicht wasserlösliche oder nicht redispersierende Klebstoffapplikationen	0	1	1	1	0	2
Polymere thermoplastische Dispersionsbeschichtungen	0	1	0	2	0	2
Weitere Angaben:						
<i>Steigende Kunststoffapplikationen am Getränkekarton (erhöht Fasergehalt im Rejekt im Bereich der Verklebung)</i>		1				
<i>Schlechte Sortierqualität (Hohe Kosten und technischer Mehraufwand in nachgelagerten Prozessen)</i>		1				
<i>Batterien, Akkus (Brandgefahr)</i>		1				

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 des Mindeststandards von keiner der Referenzanlagen als unproblematisch angesehen werden. Die Verfasser*innen schlagen vor, die bisherigen Recyclingunverträglichkeiten weiterhin beizubehalten.

Die weiteren Angaben sind nicht von Relevanz für den Mindeststandard und könnten an anderer Stelle adressiert werden.

3.9.6 Störstoffkomponenten im Rejekt

Die FKN-Recycler mit Referenzanlagen wurden befragt, welche Störstoffkomponenten dem Rejekt zugeführt werden. In Tabelle 16 sind die Ergebnisse dieser Einschätzung dargestellt; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/23 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben. Der Großteil der Anlagen (5

⁶⁶ Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

von 7) gaben dabei feinkörnige, mineralische Verunreinigungen wie Sand, Steine oder Glassplitter sowie Kunststoffpartikel an. Makrostickies und Stippen (Faserbündel mit hohem Zerfaserungswiderstand) wurden von 4, Streichfarben von 3, Füllstoffe von 2 und Kurzfasern von 1 Referenzanlage(n) angegeben.

Gelingt es nicht, die Störstoffe in das Rejekt auszutragen, können sie zu Bahnabrissen in der Papiermaschine oder Qualitätsproblemen im Endprodukt führen. Je mehr Störstoffe vorhanden sind, desto geringer ist die Faserausbeute und desto höhere Entsorgungskosten können für die Recycler entstehen.

Tabelle 16: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der Referenzanlagen von FKN (Anzahl: 7)

Störstoffkomponente	Anzahl
Feinkörnige mineralische Verunreinigungen (Sand, Steine, Glassplitter)	5
Kunststoffpartikel	5
Makrostickies	4
Stippen	4
Kurzfasern	1
Füllstoffe	2
Streichfarben	3
Weitere Angaben:	
Binding Agents	1
Aluminium	2

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.10 Verwertung von PPK aus LVP

3.10.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textbox zeigt, dass die Repräsentativität der Erhebungen zu den PPK aus LVP-Verwertern gegeben ist (> 80 % abgedeckter Mengenanteil an der gesamten Zuführungsmenge):

Erhebungsbogen PPK aus LVP-Verwerter

- ▶ Rücklaufquote (gemäß aktuellem Datenbestand)⁶⁷: im In- und Ausland: 34 % (17/50); im Inland: 30 % (14/46)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: ca. 83.200 t; entspricht 80 % der Gesamtmenge aller PPK-Verwerter i. H. v. ca. 103.600 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 100 t/a)

Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen und die Fraktion 550 (PPK aus LVP).

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.10.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 35 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PPK aus LVP. Einbezogen wird die Fraktion 550. Als Grundlage der Erläuterung und der Reihenfolge der Prozesse dienten die beiden Befragungen, die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021) sowie der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP in der Version 5.1 und 6.1 (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022, 2025).

PPK aus LVP wird in LVP-Sortieranlagen üblicherweise über NIR-Trenner abgetrennt und für die Verwertungsanlagen als Großballen bereitgestellt.

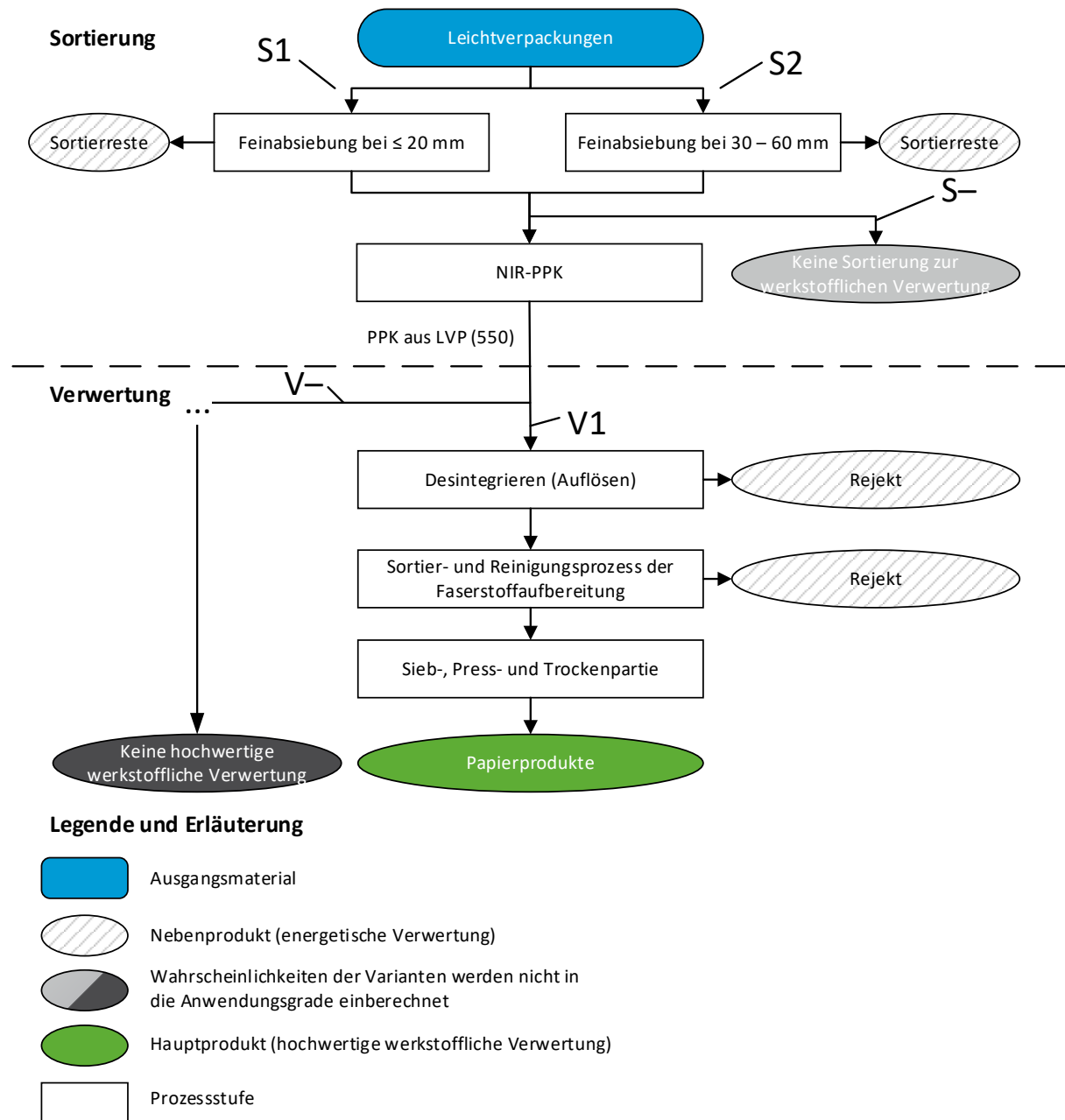
S1 (≤ 20 mm) und S2 (30 mm – 60 mm) kennzeichnen die zwei verschiedenen Sortierprozessvarianten und unterscheiden sich in der Maschenweite bei der Feinkornabsiebung in den LVP-Sortieranlagen. S– umfasst die Anlagen, die die genannte Fraktion nicht aussortieren und nicht für ein Recycling bereitstellen.

Der erste Schritt bei den Papierfabriken für PPK aus LVP ist es, das Papier zu durchfeuchten, damit sich die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Fasern auflösen und die Einzelfasern freibeweglich werden, so dass daraus eine pumpfähige Suspension resultiert (Blechsmidt, 2011). Dieser Prozess wird auch als Desintegrieren/Suspendieren, Auflösen oder Zerfasern bezeichnet. Grundsätzlich sind zwei verschiedene Systeme zur primären Desintegration im Einsatz: Pulper (Trogauflöser) sowie Auflösetrommeln. Aus der vorherigen Erhebung ergibt sich, dass es sich überwiegend um Pulper handelt (Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024). Laut Blechsmidt (2011) sind die Scherkräfte (Zerreißkräfte) in einem Pulper mit geringer Stoffdichte erheblich größer als in einer Auflösetrommel. Nassfeste Papiere lassen sich in Pulpern leichter auflösen. Mit der primären Desintegration wird auch noch eine andere Funktion erfüllt: Unerwünschte papierfremde Bestandteile, wie beispielsweise Kunststofffolien, Textilien, Drähte und Kleberückstände werden abgelöst. Folien sollten bei der Desintegration wenig zerkleinert werden, damit sie besser abgetrennt werden können. Des Weiteren werden grobe Schwerteile in diesem Prozess abgeschieden.

⁶⁷ Im aktuellen Bezugszeitraum ist eine Vielzahl an Anlagen mit zum Teil sehr geringen Zuführungsmengen hinzugekommen, die im vorherigen Bezugszeitraum nicht beliefert wurden. Für viele dieser Anlagen liegen gemäß aktuellem Datenbestand keine auswertbaren Angaben vor, so dass die Rücklaufquote deutlich niedriger als in vergangenen Erhebungen liegt. Da diese Anlagen eine sehr geringe Mengenrelevanz haben, wirkt sich dies auf die Repräsentativität der Ergebnisse nur begrenzt aus.

Nach mehreren Aufbereitungsstufen (Reinigung und Sortierung) des Faserstoffs folgt die Sieb-, Press- und Trockenpartie der Papiermaschine, in der das finale Papierprodukt hergestellt wird.

Abbildung 35: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PPK aus LVP



Quelle: Grummt (2022), aktualisiert durch Grummt und Fabian (2023), Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.10.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PPK aus LVP

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer für 2024, als auch aus den Zuführungsmengen der Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023, kann $P(A_{SuV})$ für PPK aus LVP berechnet werden. Wie bereits im vorherigen Bericht wurden LVP-Sortieranlagen für den vorliegenden Bericht erneut befragt, zu welchem Anteil die Fraktion PPK aus LVP einem

Recycling zugeführt wird. Die quantitativen Angaben dazu wurden in $P(A_S)$ einberechnet. Wenn eine LVP-Sortieranlage angab, die Fraktion 550 teilweise einem Recycling zuzuführen, aber keine Anteile dazu angab, wurde ein Worst- und Best-Case-Szenario angenommen (Worst-Case: 0 % und Best-Case: 50 %). Die 50 % des Best Case resultieren dabei aus der konservativen Best-Case-Annahme, dass etwa die Hälfte der Fraktion 550 bei der Angabe „teilweise“ in ein Recycling geht. $P(A_S)$ für PPK aus LVP wird infolgedessen als Spannweite angegeben. $P(A_{SuV})$ beträgt unter Berücksichtigung dieser Annahmen für die Bezugsjahre 2023/2024 52 % – 57 %.

Die Verfasser*innen definieren für PPK aus LVP die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1,V1)$ als Stand der Technik. Bei dieser Variante werden auch kleine Verpackungen sortiert (Feinkornabsiebung bei ≤ 20 mm) und anschließend hochwertig werkstofflich verwertet. Als sonstige betriebliche Praxis wurde $P(S2,V1)$ ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeit umfasst eine Feinkornabsiebung bei 30 mm – 60 mm sowie eine hochwertige werkstoffliche Verwertung. Die Wahrscheinlichkeiten, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet, sind die Varianten mit V– und S–. Prozentuale Angaben zu den einzelnen Pfadwahrscheinlichkeiten sowie eine Abbildung dazu werden von den Verfasser*innen aufgrund der Spannweiten im aktuellen Berichtszeitraum für nicht sinnvoll erachtet.

Bei den meisten Anlagen werden zur Verbesserung der Produktqualität weitere Inputqualitäten aus anderer Herkunft gemeinsam mit den Systemmengen verarbeitet, beispielsweise Systemmengen aus dem Ausland, Produktionsabfälle (z. B. Stanz- und Schnittabfälle) oder gewerbliche Abfallmengen.

PPK aus LVP-Recycler teilten bei den bisherigen Erhebungen mit, dass die Fraktion einen hohen Verschmutzungsgrad (u. a. durch Lebensmittelanhaftungen und andere Inhalte der gemischten Sammlung), einen hohen Wassergehalt sowie viele Störstoffe besitze. Die eben genannten Fraktionsinhalte führen zu einem erschwerten Recycling und einer verringerten Faserausbeute. Die Lagerdauer der Ballen sei nur begrenzt. Die Aufbereitung des Prozesswassers muss so ausgestattet sein, dass die organischen Anteile der Fraktion PPK aus LVP ausreichend abgereinigt werden können. Zudem unterliegen Papierfabriken, die Primär- oder auch Sekundärverpackungen für Lebensmittel produzieren, gemäß der 36. Empfehlung des Bundesinstituts für Risikobewertung strengen Anforderungen, wenn die „Sorten 5.01, 5.02, 5.03 (DIN EN 643) aus selektiv erfassten gemischten Verpackungsabfällen“ verwendet werden (BfR, 2025).

Wie bereits im Abschnitt 3.1.4 erwähnt, fordert die Umweltministerkonferenz für faserbasierte Verbundverpackungen weitreichende Maßnahmen zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit und der Produzentenverantwortung (Lang, 2024).

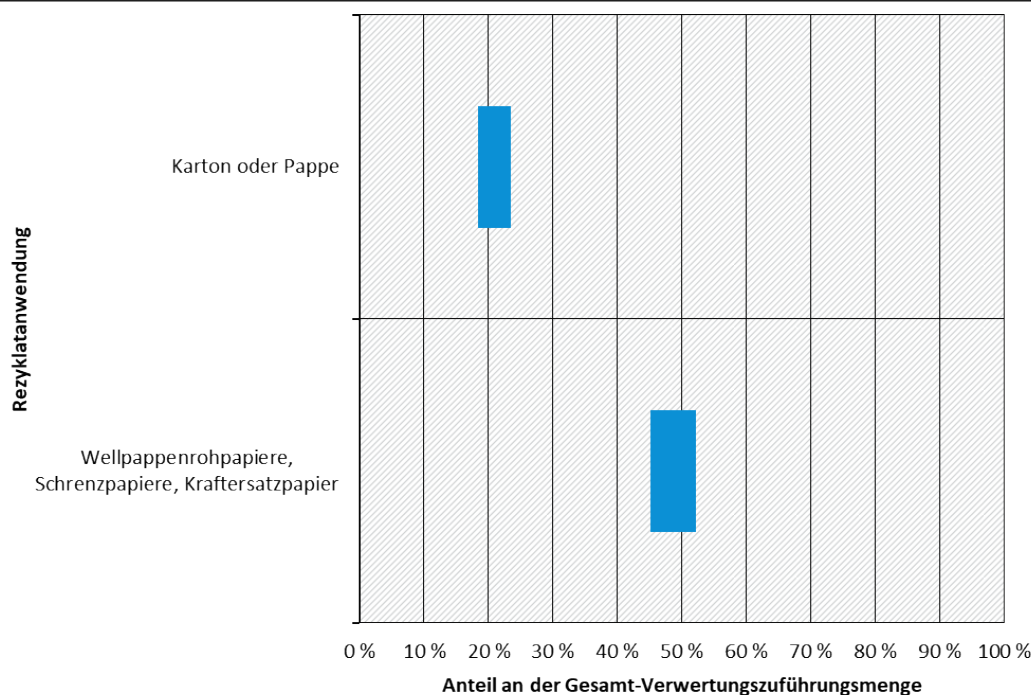
Weiterhin wurden für die vorige Erhebung die Verwerter nach der Stofflösezeit befragt. Die Zeit für die Desintegration der Fasern hängt maßgeblich von den eingesetzten Verpackungen, der Qualität der Verpackungen sowie dem verwendeten System (Pulper oder Auflösetrommel) ab. Aus der Befragung geht hervor, dass i. d. R. für PPK aus LVP ein Pulper verwendet wird. Die Stofflösezeiten liegen zwischen 5 Minuten und 20 Minuten. Als Temperaturen bei der Stofflösung wurden für PPK aus LVP Werte zwischen 34 °C und 53 °C genannt (Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024).

Die Verfasser*innen empfehlen, die Entwicklung der Praxis der SuV von PPK aus LVP zukünftig weiterhin eng zu beobachten. Dies erscheint insbesondere deshalb angebracht, da die relevante Quotenvorgabe für sonstige Verbundverpackungen aus § 16 Abs. 2 Satz 1 Nr. 6 VerpackG im Bezugszeitraum 2023 um 13,9 Prozentpunkte massiv unterschritten wurde (ZSVR, 2024b).

3.10.4 Rezyklatanwendungen

In Abbildung 36 ist die Verteilung der Rezyklatanwendungen bezogen auf die gesamte Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen dargestellt. Die Referenzanlagen gaben als Endprodukte Wellpappenrohapiere als dominanteste Rezyklatanwendung in beiden Szenarien sowie Karton oder Pappe an.

Abbildung 36: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von PPK aus LVP⁶⁸



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

3.10.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling

Die beiden Erhebungen boten den PPK aus LVP-Recyclern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungskomponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Recyclingprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 17 dargestellt; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/2023 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben. Als Basis dafür diente die im Anhang 3 des Mindeststandards 2023 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2023). Weitere potentielle Probleme wurden zusätzlich abgefragt. Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungsmerkmalen gemacht werden. Diese konnten ebenso hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

⁶⁸ Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen wurde die Spannweite geringfügig manipuliert.

Tabelle 17: Einschätzung der Referenzanlagen von PPK aus LVP (Anzahl: 5) zu problematischen Verpackungsmerkmalen⁶⁹

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch		
Nicht wasserlösliche oder nicht redispergierende Klebstoffapplikationen	1	0	1	2	1	0
Polymere thermoplastische Dispersionsbeschichtungen	0	0	1	3	1	0
Schwarz durchgefärbt faserbasierte Verpackungen	1	0	1	1	1	1
Nassfestmittel	0	0	1	2	1	1
Wachsbeschichtete Verpackungen	1	0	0	3	0	1
Druckfarben (z. B. UV-Lack)	1	0	0	1	2	1
Metallisierte Papiere	1	2	0	0	1	1
Beidseitige Beschichtung	0	1	0	1	2	1
Thermopapiere	2	0	1	1	0	1

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 des Mindeststandards von einigen Referenzanlagen weiterhin als unproblematisch angesehen werden. Ein PPK aus LVP-Recycler merkte an, dass insbesondere wachsbeschichtete Verpackungen problematisch seien. Das Wachs verbleibe im Wasserkreislauf und führe zu Stickies in der Papierbahn. Die Verfasser*innen schlagen vor, die bisherigen Recyclingunverträglichkeiten weiterhin beizubehalten und im EK III zu erörtern, wie die Differenz zwischen Experteneinschätzungen und Einschätzungen von Praxisakteuren zu erklären ist.

3.10.6 Störstoffkomponenten im Rejekt

Die PPK aus LVP-Recycler mit Referenzanlagen wurden befragt, welche Störstoffkomponenten dem Rejekt zugeführt werden. In Tabelle 18 sind die Ergebnisse dieser Einschätzung dargestellt; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/2023 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben. Alle Recycler gaben dabei feinkörnige, mineralische Verunreinigungen wie Sand, Steine oder Glassplitter sowie Kunststoffpartikel als Störstoff an. Makrostickies, Streichfarben und Stippen wurden

⁶⁹ Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

jeweils von 2 der 5 Referenzanlagen angegeben. Kurzfasern sowie Füllstoffe wurden von keiner Referenzanlagen angekreuzt.

Gelingt es nicht, die Störstoffe in das Rejekt auszutragen, können sie zu Bahnabrissen in der Papiermaschine oder Qualitätsproblemen im Endprodukt führen. Je mehr Störstoffe vorhanden sind, desto geringer ist die Faserausbeute und desto höhere Entsorgungskosten bestehen für die Recycler.

Tabelle 18: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der Referenzanlagen von PPK aus LVP (Anzahl: 5)

Störstoffkomponente	Anzahl
Feinkörnige mineralische Verunreinigungen (Sand, Steine, Glassplitter)	5
Kunststoffpartikel	5
Makrostickies	2
Stippen	2
Kurzfasern	0
Füllstoffe	0
Streichfarben	2

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.11 Verwertung von PPK aus dem Blauen System

3.11.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textbox zeigt, dass die Repräsentativität der beiden Erhebungen zu den PPK-Verwertern gegeben ist (> 80 % abgedeckter Mengenanteil an der gesamten Zuführungsmenge):

Erhebungsbogen PPK-Verwerter
► Rücklaufquote (gemäß aktuellem Datenbestand)⁷⁰: im In- und Ausland: 46 % (66/145); im Inland: 40 % (38/96) ► Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023: 1.335.000 t; entspricht ca. 89 % der Gesamtmenge aller PPK-Verwerter i. H. v. 1.491.000 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen. Es kann zwischen verschiedenen Eingangsmaterialien bei Papierfabriken unterschieden werden: grafische Papiere (Druck- und Schreibpapiere), Verpackungspapiere und Spezialpapiere (Blebschmidt,

⁷⁰ Im aktuellen Bezugszeitraum ist eine Vielzahl an Anlagen mit zum Teil sehr geringen Zuführungsmengen hinzugekommen, die im vorherigen Bezugszeitraum nicht beliefert wurden. Für viele dieser Anlagen liegen gemäß aktuellem Datenbestand keine auswertbaren Angaben vor, so dass die Rücklaufquote deutlich niedriger als in vergangenen Erhebungen liegt. Da diese Anlagen eine sehr geringe Mengenrelevanz haben, wirkt sich dies auf die Repräsentativität der Ergebnisse nur marginal oder nicht aus.

2011). In der Regel werden grafische Papiere und Verpackungspapiere getrennt voneinander verwertet. Für die Erhebung wurden nur die PPK-Verwerter einbezogen, welche auch Verpackungspapiere als Eingangsmaterial verwenden.

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.11.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 37 zeigt die Pfadbeschreibung für die Verwertung von vorsortiertem PPK aus dem Blauen System. Als Grundlage der Erläuterung und der Reihenfolge der Prozesse dienten die beiden Befragungen, die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021) sowie der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP in der Version 5.1 und 6.1 (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022, 2025).

Das gesammelte Altpapier kann in Sortieranlagen in verschiedene Altpapierfraktionen sortiert werden (S1). Mehr Details dazu können im Teilbericht 2021/22 eingesehen werden, für den die PPK-Sortieranlagen befragt wurden. Anschließend wird das vorsortierte Altpapier an Papierfabriken geliefert.

V1 umfasst PPK-Verwerter mit Referenzanlagen, in denen hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet und V– beschreibt PPK-Verwerter ohne Referenzanlagen.

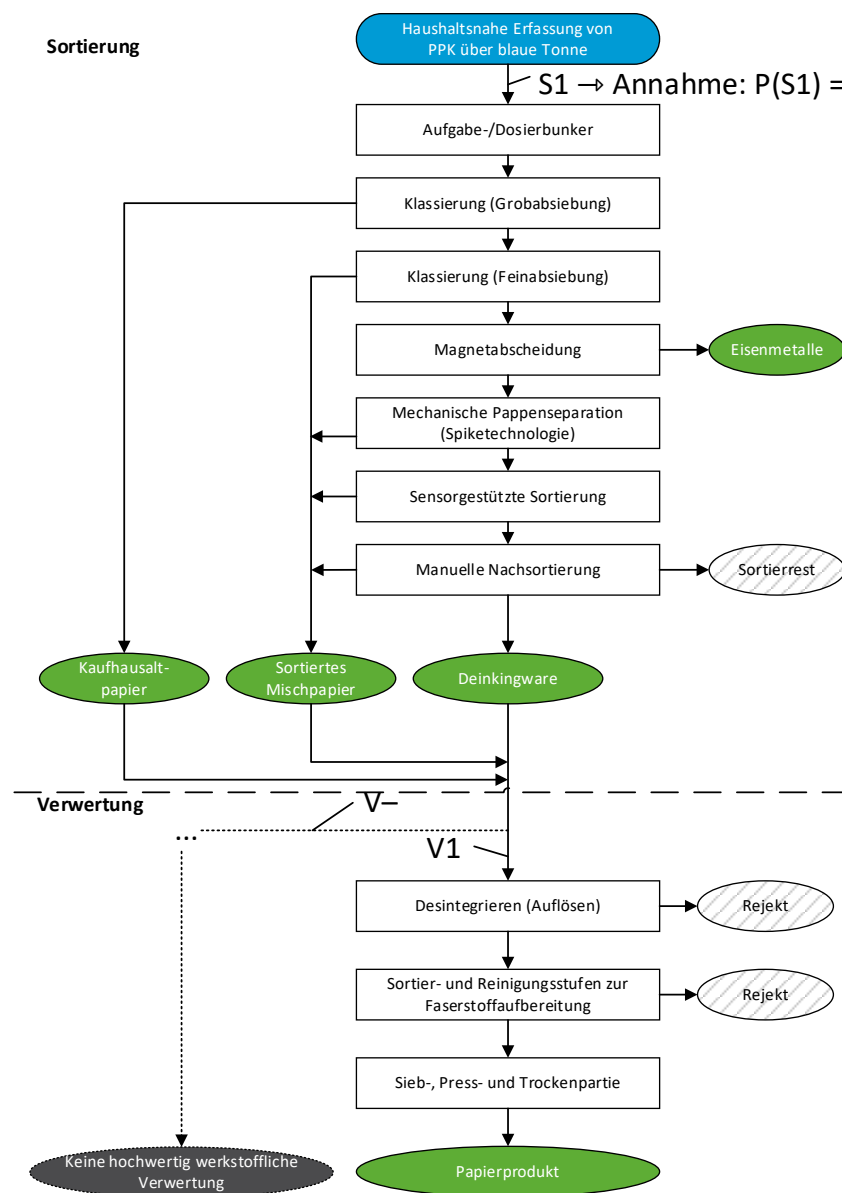
Der erste Schritt bei einem PPK-Verwerter ist es, das Papier zu durchfeuchten, damit sich die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Fasern auflösen und die Einzelfasern freibeweglich werden, woraus eine pumpfähige Suspension resultiert. Dieser Prozess wird auch als Desintegrieren/Suspensieren, Auflösen oder Zerfasern bezeichnet. Grundsätzlich sind zwei verschiedene Systeme zur primären Desintegration im Einsatz: Pulper (Trogauflöser) sowie Auflösetrommeln. Es werden sowohl kontinuierlich, als auch diskontinuierlich arbeitende Pulper verwendet. Vertikal arbeitende Trommelsysteme arbeiten immer kontinuierlich (Blebschmidt, 2011). Laut Blebschmidt sind die Scherkräfte (Zerreißkräfte) in einem Pulper mit geringer Stoffdichte erheblich größer als in einer Auflösetrommel. Dies führt dazu, dass papierfremde Bestandteile, z. B. CDs oder Kunststofffolien in einem Pulper stärker zerkleinert werden und später schwerer abtrennbar sind. Nassfeste Papiere lassen sich in Pulpern leichter auflösen. Diese These bestätigten zwei Papierfabriken, welche Auflösetrommeln verwendeten.

Mit der primären Desintegration wird auch noch eine andere Funktion erfüllt: Unerwünschte papierfremde Bestandteile, wie beispielsweise Kunststofffolien, Textilien, Drähte und Kleberückstände werden abgelöst. Folien sollten bei der Desintegration wenig zerkleinert werden, damit sie besser abgetrennt werden können. Des Weiteren werden grobe Schwerteile in diesem Prozess abgeschieden. In einigen Papierfabriken wird nur bis zu einem bestimmten Stippengehalt desintegriert und die Desintegration in einer anderen Maschine fortgeführt. Dieser Schritt hat wirtschaftliche Gründe und wird als sekundäre Desintegration bezeichnet. Insbesondere aus nassfesten und geleimten Papieren können in diesem Schritt noch Fasern herausgelöst werden (Blebschmidt, 2011).

Nach mehreren Aufbereitungsstufen (Reinigung und Sortierung) des Faserstoffs folgt die Sieb-, Press- und Trockenpartie der Papiermaschine, in der das Papierprodukt hergestellt wird.

Die PPK-Verwerter wurden für die vorige Erhebung erstmalig befragt, ob die Metallanteile einem Recycling zugeführt werden. Etwa 49 % der Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen trifft auf PPK-Verwerter, die angaben, die Metallteile einem Recycling zuzuführen.

Abbildung 37: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PPK aus dem Blauen System



Legende und Erläuterung

- Ausgangsmaterial
- Nebenprodukt (energetische Verwertung)
- Wahrscheinlichkeiten der Varianten werden nicht in die Anwendungsgrade einberechnet
- Hauptprodukt (hochwertige werkstoffliche Verwertung)
- Prozessstufe
- Geringe Mengenrelevanz der Zweigwahrscheinlichkeiten

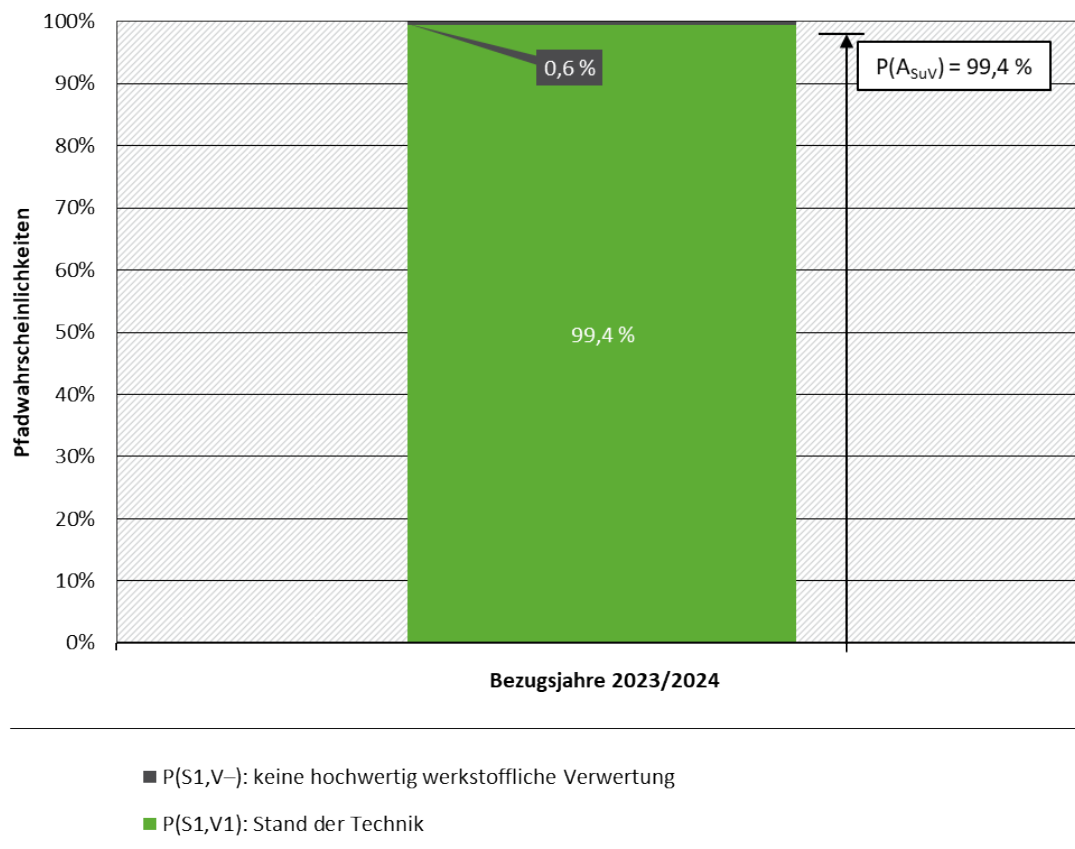
Quelle: Grummt (2022), aktualisiert durch Grummt und Fabian (2023), Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al. (2021) und Institut cyclos-HTP (2022)

3.11.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PPK aus dem Blauen System

Für PPK wird ein $P(A_S)$ von 100 % aus Teilbericht 2021/22 angenommen (Grummt und Fabian, 2023). Aus den Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen gemäß MSN 2023 kann $P(A_V)$ für PPK-Verpackungen berechnet werden. $P(A_V)$ bzw. $P(A_{SuV})$ beträgt für die Bezugsjahre 2023/24 in Summe rund 99 %. Die Verteilung der Mengen auf die in Abbildung 37 dargestellten Pfade ist in Abbildung 38 abgebildet. $P(S1,V1)$ wird als Stand der Technik eingestuft, da keine weitere Unterteilung vorgenommen wurde.

Die Wahrscheinlichkeit, dass keine hochwertig werkstoffliche Verwertung stattfindet (Variante mit V-) beträgt 0,6 %.

Abbildung 38: Praxis der SuV für 2023/2024 für PPK-Verpackungen aus dem Blauen System



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Bei den meisten Papierfabriken werden zur Verbesserung der Produktqualität weitere Inputqualitäten aus anderer Herkunft gemeinsam mit den Systemmengen verarbeitet, beispielsweise Systemmengen aus dem Ausland, Produktionsabfälle (z. B. Stanz- und Schnittabfälle), graphische Altpapiere, Primärrohstoffe oder gewerbliche Abfallmengen.

Die Papierfabriken hatten in der vorigen Befragung die Möglichkeit das verwendete System zur Desintegration der Papierfasern zu benennen. Es sind sowohl Pulper als auch Auflösetrommeln im Einsatz. Von den Papierfabriken wurden Stofflösezeiten zwischen 2 Minuten und 60 Minuten angegeben. 49 % der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen wurde Papierfabriken zugeführt, die Stofflösezeiten < 20 Minuten und 30 % solchen Papierfabriken, die ≥ 20 Minuten angaben. Die restlichen 18 % umfassen

Papierfabriken, die keine Angaben machten. Abbildung 39 zeigt einen Boxplot mit der Verteilung der Stofflösezeiten in den Papierfabriken (Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024).

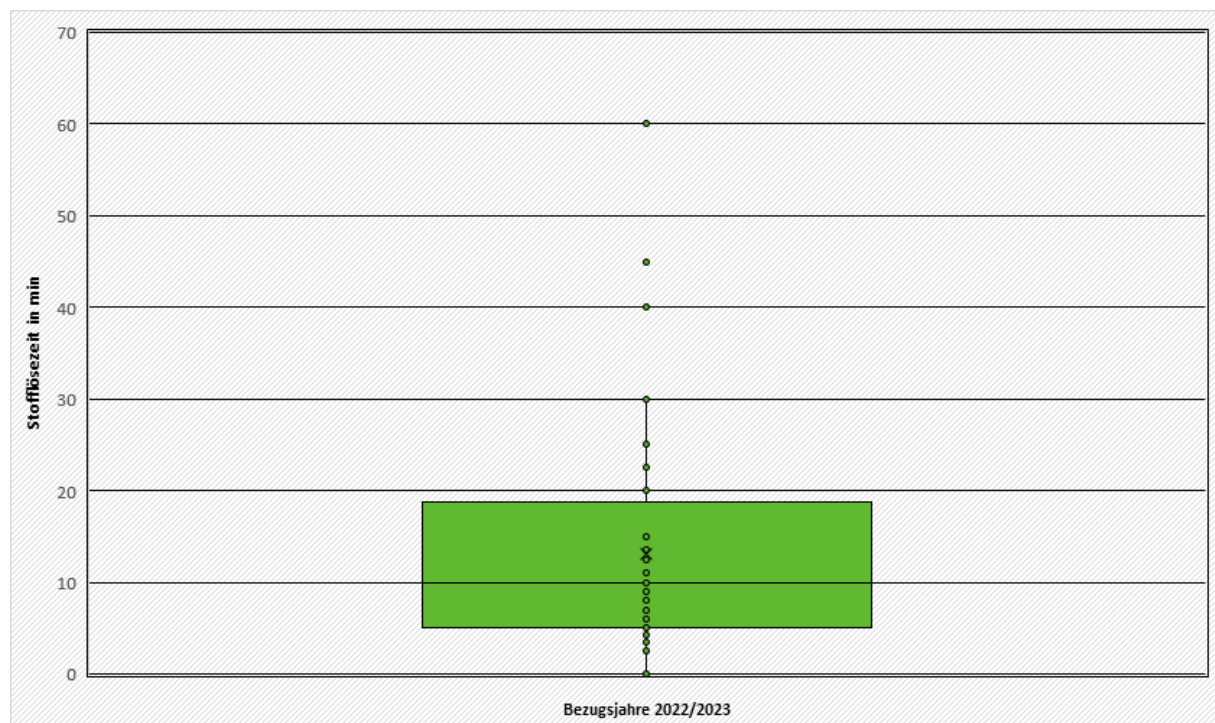
Die Zeit für die Desintegration der Fasern hängt maßgeblich von den eingesetzten Altpapiersorten, der Qualität dieser Sorten sowie dem verwendeten System (Pulper oder Auflösetrommel mit niedrigen, mittleren oder hohen Stoffdichten) ab. Blechschmidt gibt die folgenden Auflösezeiten an:

- Auflösetrommeln: 20 Minuten – 40 Minuten,
- diskontinuierliche Pulper: 15 Minuten – 30 Minuten,
- kontinuierliche Pulper 5 Minuten – 40 Minuten (Blechschmidt, 2011).

Für Pulper wurden von den Papierfabriken Stofflösezeiten zwischen 2 Minuten und 20 Minuten und für Auflösetrommeln zwischen 20 und 40 Minuten angegeben (Dorn (geb. Grummt) und Fabian, 2024). Die Angaben decken sich ungefähr mit den Zahlen von Blechschmidt (2011).

Laut mehreren Referenzanlagen für PPK werden üblicherweise längere Stofflösezeiten für Auflösetrommeln benötigt als für Pulper. Dies spiegelt sich auch in den Angaben in den Erhebungsbögen der Befragung für den Teilbericht 2022/23 wider. An dieser Stelle wird aus eben genannten Gründen auf eine detaillierte Auseinandersetzung mit den Vor- und Nachteilen dieser Verfahren verzichtet. Grundsätzlich lässt sich die Aussage treffen, dass die Zerkleinerung in Auflösetrommeln schonender als in Pulpern stattfindet (Blechschmidt, 2011).

Abbildung 39: Boxplot der Stofflösezeiten der Papierfabriken (Blaues System) unabhängig vom System für die Stofflösung

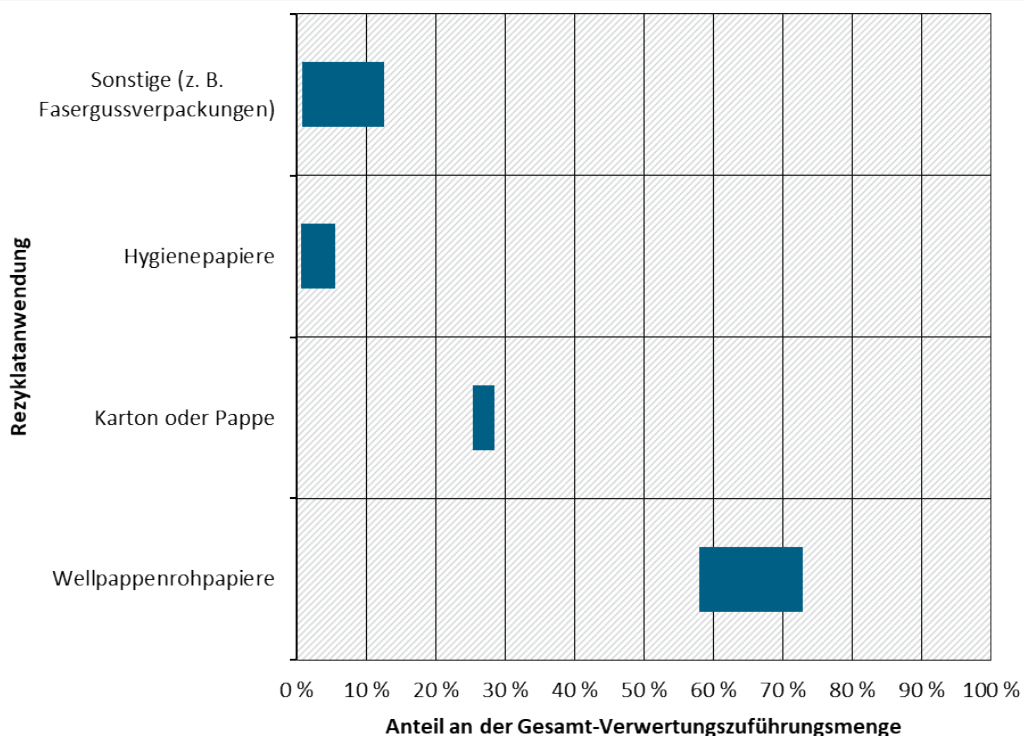


Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024)

3.11.4 Rezyklatanwendungen

In Abbildung 40 ist die Verteilung der Rezyklatanwendungen bezogen auf die gesamte Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen dargestellt. Die Referenzanlagen gaben überwiegend Wellpappenrohapiere als Rezyklatanwendung an (ca. zwischen 55 % und 75 %). Ca. 25 % bis 30 % der gesamten Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen gehen in die Rezyklatanwendungen Karton oder Pappe. Dazu gehören beispielsweise Faltschachtelkarton, Hülsenwickelkarton, Vollpappe, Graupappe oder Wickelpappe. Unter 10 % gehen in Hygienepapiere (z. B. Toilettenpapier). Unter 20 % werden zu Faserformverpackungen oder anderen Papieren verarbeitet (z. B. Schrenzpapiere, Etikettenpapiere, Versandtaschen, Geschenkpapier).

Abbildung 40: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen (Bezugsjahr 2023) von PPK aus dem Blauen System⁷¹



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

3.11.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale im Recycling

Die Erhebungen boten den PPK-Recyclern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungskomponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Recyclingprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 19 dargestellt; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/23 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben. Als Basis dafür diente die im Anhang 3 des Mindeststandards 2023 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2023). Weitere potentielle Probleme wurden zusätzlich abgefragt, beispielsweise PPK-Verpackungen mit Nassfestmittel, für die unter Abschnitt 4.2 ein Einzelnachweis notwendig ist. Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu

⁷¹ Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen wurde die Spannweite geringfügig manipuliert.

problematischen Verpackungsmerkmalen gemacht werden. Diese konnten ebenso hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 19: Einschätzung der Referenzanlagen von PPK aus dem Blauen System (Anzahl: 47) zu problematischen Verpackungsmerkmalen⁷²

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch		
Nicht wasserlösliche oder nicht redispersierende Klebstoffapplikationen	2	12	10	19	3	1
Polymere thermoplastische Dispersionsbeschichtungen	2	6	5	28	4	2
Schwarz durchgefärbt faserbaseirte Verpackungen	0	1	9	22	13	2
Nassfestmittel	0	21	7	16	1	2
Wachsbeschichtete Verpackungen	0	7	6	29	3	2
Druckfarben (z. B. UV-Lack)	3	2	12	14	13	3
Metallisierte Papiere	2	15	5	19	4	2
Beidseitige Beschichtung	5	18	3	17	3	1
Thermopapiere	2	2	13	20	8	2

Weitere Angaben:

Nicht aufgeschlossene Faserstoffe (z. B. Gras)				1		
Wasserlösliche Materialien			1			
Biologie im Papier (Restanhaftungen, Lebensmittel)				1		
Einsatz von Flexodruck-Papieren (keine Abtrennung möglich, verschlechtert Qualität besserer Sorten nachhaltig)				1		

⁷² Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch		
Kunststofffenster/ Sichtfenster (Discounter-Bäckertüten)		1				
Ungehörigkeiten (med. Abfälle, Chemikalien, Batterien...)		1				
Batterien und Akkus im Altpapier (Brandgefahr)						1
Magnetische Bestandteile (technischer Aufwand)			2			
Verbundverpackungen (führen zur Ablehnung der Lieferung)		1				
(Zu) dünne Folienkaschierung aufgrund der gesetzlichen Vorgaben von Verbundmaterial (< 5 % andere Materialien); Folie wird zerstört und kann dann nicht zuverlässig aussortiert werden (dickere Folie ist besser sortierbar)				1		
Druckfarben (z. B. Digitaldruck, da nicht abtrennbar)			1	1		
Wasserlösliche Klebstoffe (Latex)				1		
Größerer metallischer Unrat in Ballen				1		
Kraftpapiere / nicht auflösende Papiere				1		

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 des Mindeststandards von einigen Referenzanlagen als problematisch für die Rezyklatqualität angesehen werden. Die

Verfasser*innen empfehlen, alle im Anhang 3 des Mindeststandards aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten. Im Folgenden werden angegebene Verpackungsmerkmale diskutiert:

- Für Fehlwürfe, wie z. B. Batterien, Akkus, Chemikalien besteht kein Handlungsbedarf im Mindeststandard, da diese keine Verpackungen darstellen.
- Die Verpackungsmerkmale magnetischer Bestandteile und Glasfasern könnten vom EK III geprüft werden.
- Grundsätzlich reduzieren alle Kunststoffanteile die Faserausbeute der PPK-Verpackungen und werden energetisch verwertet, wenn sie im Rejekt landen. Die verschiedenen Ausprägungen der Verpackungen sollten weiterhin vom EK III geprüft werden, um ggf. zukünftig die Liste der Unverträglichkeiten für PPK-Verpackungen zu erweitern.

3.11.6 Störstoffkomponenten im Rejekt

Die PPK-Recycler mit Referenzanlagen wurden befragt, welche Störstoffkomponenten dem Rejekt zugeführt werden. In Tabelle 20 sind die Ergebnisse dieser Einschätzung dargestellt; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/23 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben. Alle Referenzanlagen gaben dabei feinkörnige, mineralische Verunreinigungen wie Sand, Steine oder Glassplitter sowie Kunststoffpartikel als Störstoff an. Makrostickies wurden von 59 und Stippen von 46 der 65 Recycler genannt. Streichfarben, Füllstoffe, und Kurzfasern wurden jeweils von unter 20 der 65 Recycler angegeben.

Gelingt es nicht, die Störstoffe in das Rejekt auszutragen, können sie zu Bahnabrissen in der Papiermaschine oder Qualitätsproblemen im Endprodukt führen. Je mehr Störstoffe vorhanden sind, desto geringer ist die Faserausbeute und desto höhere Entsorgungskosten bestehen für die Recycler.

Tabelle 20: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der Referenzanlagen von PPK aus dem Blauen System (Anzahl: 65)

Störstoffkomponente	Anzahl
Feinkörnige mineralische Verunreinigungen (Sand, Steine, Glassplitter)	65
Kunststoffpartikel	65
Makrostickies	59
Stippen	46
Kurzfasern	13
Füllstoffe	18
Streichfarben	18
Weitere Angaben:	
Metalle	15
Textilien, Holz	3

Störstoffkomponente	Anzahl
Steine, Folie	1
Verbundstoffe, z. B. FKN, Säcke aus Kraftpapier	1
Sonstige Störstoffe/Müll	1
Druckpartikel über Flotation	1

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.12 Aufbereitung von Behälterglas

3.12.1 Rücklauf der Erhebung

Folgende Textbox zeigt, dass die Repräsentativität der Erhebungen der Glasaufbereiter gegeben ist (> 80 % abgedeckter Mengenanteil an der gesamten Zuführungsmenge):

Erhebungsbogen Glasaufbereiter
▶ Rücklaufquote (gemäß aktuellem Datenbestand): im In- und Ausland: 95 % (20/21); im Inland: 95 % (20/21) ▶ Gesamtzuführungsmenge der Aufbereiter, die Erhebungsbögen zurücksendeten (gemäß aktuellem Datenbestand) aus MSN 2023 ca. 1.922.800 t; entspricht ca. 99,9 % der Gesamtmenge aller Glasaufbereiter i. H. v. ca. 1.925.300 t (Datenübermittlung ZSVR an UBA am 15.01.2025; Mengen gerundet auf 100 t/a)

Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen (hier: Glasaufbereitungsanlagen) und die Fraktionen 100 (Mischglas), 101 (Weißglas), 102 (Grünglas), 103 (Braunglas), 104 (Buntglas) und 105 (Glas aus LVP), wobei Glas aus LVP eine geringfügige Mengenrelevanz besitzt.

Die Angaben der einzelnen Anlagen werden zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und aus wettbewerbsrechtlichen Gründen vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

3.12.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 41 zeigt die Pfadbeschreibung für die Aufbereitung von Behälterglas. Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bilden die beiden Befragungen, das Kapitel „Glasrecycling“ im Buch „Praxishandbuch der Kreislauf- und Rohstoffwirtschaft“ (Heinen und Bildstein, 2022, S. 297 ff.), die VDI-Richtlinie 2095 (Fachbereich Umweltschutztechnik, 2019) sowie die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021). Im Folgenden werden die relevanten Verfahrensschritte im Hinblick auf die Verpackungsgestaltung der Behältergläser dargestellt und der Unterschied in den Pfaden erläutert.

Glas kann zu 100 % hochwertig recycelt werden. Glasverpackungen können unendlich oft eingeschmolzen werden und zu neuen Glasverpackungen verarbeitet werden. Voraussetzung dafür ist eine nach Farben sortierte und möglichst störstofffreie Glaserfassung (Heinen und Bildstein, 2022). Die Glasverpackungen werden anschließend zu Glasaufbereitungsanlagen transportiert und dort nach Farben getrennt gelagert. Nach einer manuellen Vorsortierung zur

Separation von Fehlwürfen und groben Störstoffen (z. B. Kunststoffbeutel, -flaschen, grobe Keramik oder Porzellanteile) folgt die Zerkleinerung der Grobkornfraktion. Diese findet bei den meisten Aufbereitern mittels eines Walzenbrechers statt. Nur wenige Anlagen verwenden dafür andere Verfahren (z. B. Hammermühle). Mehrere Glasaufbereiter sagten aus, dass Walzenbrecher materialschonender als Hammermühlen arbeiten, sodass der Feinkornanteil (i. d. R. < 5 mm – 6 mm) geringgehalten werden kann. Durch die Zerkleinerung wird den Sortiergeräten eine konstante Korngröße zur Verfügung gestellt. Des Weiteren kann der Druckluftstrom entsprechend der Korngröße angepasst werden (Institut cyclos-HTP GmbH, 2022). Der Walzenbrecher ermöglicht zudem die Entfernung der Verschlüsse von Glasverpackungen, wie Flaschen (Heinen und Bildstein, 2022).

Anschließend werden die üblicherweise farblich getrennten Scherben in verschiedene Korngrößenbereiche über großtechnische Siebanlagen klassiert. Gemäß zwei Anlagenbetreibern sind die Korngrößenfraktionen anlagenspezifisch und nicht einheitlich definiert. In der VDI-Richtlinie 2095 wird das Material in die Korngrößenfraktionen < 15 mm, 15 mm – 60 mm und > 60 mm klassiert, wobei die Fraktion < 15 mm noch einmal in die Fraktionen < 3 mm und 3 mm – 15 mm unterteilt wird (Fachbereich Umweltschutztechnik, 2019). Gemäß Heinen und Bildstein erfolgt die Klassierung in eine Grob-, Mittel- und Feinfraktion mittels eines Stangensiebs (Heinen und Bildstein, 2022).

Eine Magnet- und Wirbelstromabscheidung sorgt für die Abtrennung ferromagnetischer (Fe-Metalle) und leitfähiger Verpackungskomponenten (NE-Metalle) aus dem Glasstrom. Abgetrennte Metallkomponenten sind dabei überwiegend Deckel und Verschlüsse, wie Kronkorken. Abgetrennt wird dabei auch Drahtglas. Aufbereiter äußerten, dass diese beiden Techniken üblicherweise mehrfach in den Anlagen verbaut sind. Die abgetrennten Metallfraktionen werden der Metallverwertung zugeführt.

Mit dem Einsatz von mechanischen Etikettenentfernern (auch als Schwertwäsche, Trockenwäsche oder Label Remover bezeichnet) wird die Separierung anhaftender Papier- und Kunststoffetiketten und Verunreinigungen, wie bspw. Beschichtungen oder Staub ermöglicht. Ein Etikettenentferner besteht aus spiralförmig angeordneten verschleißfesten Förderpaddeln. Die Verwendung von Lösungsmittel oder Wasser ist dabei nicht notwendig. Die Paddel ermöglichen einen schonenden Abrieb der Glasscherben untereinander (Fachbereich Umweltschutztechnik, 2019; Pramer und Huber, 2014). Aufbereiter mit Etikettenentferner sagten aus, dass die Polierung in nachfolgenden Sortierprozessen zu weniger Glasverlust und zu verbesserter Detektierung führt.

Die Etikettenentfernung wird möglichst schonend durchgeführt, um hohe Feinkornverluste zu verhindern. Aus den Befragungen der Glasaufbereiter ergeben sich die folgenden Sortierprozessvarianten V1 und V2, die sich hinsichtlich der Etikettenentfernung unterscheiden:

- V1: Kein Einsatz eines mechanischen Etikettenentfernens oder Trommeltrockners. Lose Etiketten werden lediglich mittels Düsen abgesaugt. Üblicherweise findet keine Trocknung der Scherben statt (nasse Aufbereitung).
- V2: Einsatz eines mechanischen Etikettenentfernens oder eines Trommeltrockners. Ein Trommeltrockner kombiniert Trocknung und mechanische Etikettenentfernung in einem Schritt. Durch den Abrieb der Etiketten untereinander werden anhaftende Etiketten abgetrennt (Pramer und Huber 2014). Der Gesamtstrom der Scherben durchläuft bei dem Großteil der Aufbereitungsanlagen mit Etikettenentferner eine Trocknung (üblicherweise Fließbettrockner). Aufbereiter bemerkten, dass die Trocknung eine konstante

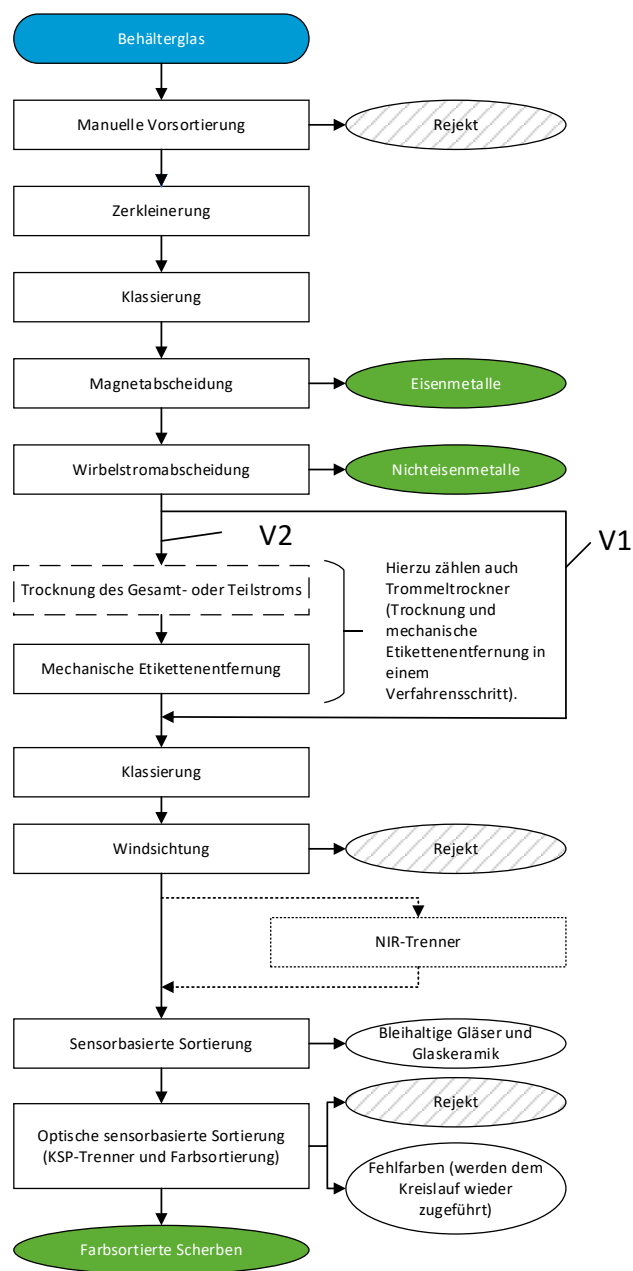
Feuchtigkeit der Scherben für den nachfolgenden Prozess sowie die Sortierfähigkeit des Feinkorns durch weniger Anhaftung am Grobkorn gewährleistet. Die Etiketten würden spröde und lassen sich somit besser entfernen. Anlagen, bei denen ein Etikettenentferner im Einsatz ist, aber zuvor keine Trocknung oder eine Teilstromtrocknung des Feinkorns stattfindet, wurden funktional identisch V2 zugeordnet.

Organik, wie z. B. Kunststoffe, PPK sowie Lebensmittelreste verbrennen meist in der Glasschmelze, jedoch können sie auch Verfärbungen hervorrufen (Hamidović, 1997; Martens und Goldmann, 2016). Leichte und lose flächige Organik, wie Kunststofffolien oder Papier werden daher in den befragten Anlagen über eine Windsichtung (z. B. über Absaugrinnen oder Zick-Zack-Sichter) abgesaugt bzw. abgetrennt.

NIR-Trenner sind Standard in der Identifizierung und Sortierung von Kunststoffverpackungen. In der Glasaufbereitung stellen sie eine neue sensorbasierte Technologie und den Stand der Technik dar (Gespräch mit Hr. Dr. Christiani am 14.02.2024). Ein Anlagenaufbereiter gab an, dass diese Technik besonders vielversprechend für die Identifizierung von transparenten Ausgussseinsätzen aus Kunststoff genutzt werden kann. Diese können aufgrund der Transparenz nicht mittels Durchlichttechnik im KSP-Trenner (KSP steht für Keramik, Steine und Porzellan) ausgeschleust werden. Des Weiteren können an Glasscherben haftende Kunststoffetiketten mittels NIR-Spektroskopie erkannt und in einer Nachstufe von der Glasscherbe abgerieben werden. Kunststoffhaltige Fehlwürfe, wie Acryl- oder Polycarbonatglas können ebenso mittels NIR-Technik detektiert werden. Nur ein Teil der Anlagen verwenden NIR-Trenner in der Glasaufbereitung, weshalb diese Art von Sortiertechnik noch keine generelle Praxis darstellt. Betreiber von Aufbereitungsanlagen gaben an, dass NIR-Trenner in den folgenden Jahren an Bedeutung gewinnen werden. Es sei geplant, diese Technik in mehreren Anlagen einzubauen.

Durch optische sensorbasierte Sortiertechnik werden KSP im KSP-Trenner mittels einer Kamera nach dem Durchlichtprinzip erkannt und über einen Druckluftstoß entfernt. KSP besitzt einen deutlich höheren Schmelzpunkt als Glas, kann in der Glaswanne nicht vollständig aufgeschmolzen werden und Einschlüsse in den Fertigprodukten in der Glashütte hervorrufen (Hahn, 2020; Heinen und Bildstein, 2022; Martens und Goldmann, 2016). In diesem Schritt werden zudem weitere nicht lichtdurchlässige Komponenten, Scherben oder Partikel über Luftdüsen aussortiert. Dazu zählen beispielsweise Holz, Kork, Metalle, Verschlüsse aus Kunststoff oder lackierte, beschichtete sowie etikettenbehaftete Scherben ohne Transluzenz. Im gleichen Prozessschritt findet eine Farbsortierung statt, welche ebenfalls über Kameras mit Durchlichttechnik realisiert wird. Blaue oder rote Glasscherben werden dem Grünglas-Strom zugeführt, da dieser die meisten Fremdfarben aufnehmen kann. Fremdfarbige Glasscherben sowie Metalloxide können Verfärbungen in der Glasschmelze auslösen (Heinen und Bildstein, 2022; Martens und Goldmann, 2016). Die Recyclingfähigkeit von Behälterglas wird damit insbesondere über die dekorativen Verpackungsbestandteile (u. a. Farbgebung, Beschichtung, Lackierung und Etikettierung) bestimmt. Mittels herkömmlichen KSP-Trennern werden in der Regel auch dicke und dunkle Gläser mit geringen Transmissionswerten (z. B. Schwarzglas) fälschlicherweise aussortiert. Es existieren mittlerweile verbesserte KSP-Trenner mit Sensoren, die eine Unterscheidung zwischen KSP und dunklen Scherben ermöglichen (KRS Recycling Systems GmbH, o.J.; REDWAVE, 2022). Die Glasaufbereitungsanlagen wurden jedoch nicht nach dieser Technik befragt, weshalb nicht bekannt ist, ob diese in der Praxis eingesetzt wird.

Abbildung 41: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Aufbereitung von Behälterglas



Legende und Erläuterung

- Ausgangsmaterial
- Nebenprodukt (energetische Verwertung)
- Sonstige Nebenprodukte
- Hauptprodukt (hochwertige werkstoffliches Recycling)
- Prozessstufe
- Optionale Prozessstufe
- Geringe Mengenrelevanz der Zweigwahrscheinlichkeiten

Quelle: Grummt (2022), aktualisiert durch Grummt und Fabian (2023), Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Über sensorbasierte Sortiertechniken können hitzebeständige Glaskeramiken und bleihaltige Scherben (Bleiglas, besonders Bleikristallglas) aussortiert werden. Diese besitzen ebenso einen höheren Schmelzpunkt und können zu Glaseinschlüssen im Endprodukt führen. Es sind verschiedene Verfahren im Einsatz, beispielsweise UV (Ultraviolett)- oder Röntgenfluoreszenzbasierte Detektionstechnologien (Heinen und Bildstein, 2022). Mit diesen Techniken können einzelne chemische Elemente detektiert werden (REDWAVE, 2024). Ein Anlagenbauer gab an, dass die Erkennung von hitzebeständigen Glaskeramiken und bleihaltigen Gläsern auf den Elementen Zirkonium, Titan sowie Blei beruht. Fast alle Glasaufbereiter vermerkten, Scherben dieser Art mit vorhandener Sortiertechnik auszusortieren. Glasaufbereiter teilten jedoch mit, dass die genannten sensorbasierten Sortiertechniken erst ab einer bestimmten Korngröße funktionieren (z. B. ab 6 mm). Martens und Goldmann stützen diese These und geben als Grund dafür an, dass bei kleineren Korngrößen die geringe Detektionszeit pro Scherbe sowie das Ausblasen durch Druckluft nicht mehr optimal funktioniere (Martens und Goldmann, 2016). Bleiglas, sonstige bleihaltige Gläser und Glaskeramiken werden im Mindeststandard in Spalte 5 im Anhang 1 des Mindeststandards i.d.F. der Ausgabe 2024 als Materialien außerhalb der Spezifikation aufgeführt. Die Verfasser*innen empfehlen, die Gläser in Spalte 5 zu belassen. Der Text in Spalte 5 ist T120 entnommen (BV Glas et al., 2014). Auf bleihaltige Kristallglasverpackungen wird in Abschnitt 3.12.4 eingegangen.

Das Standardblatt T120 legt Qualitätskriterien für Recyclingglas fest. Heinen und Bildstein geben jedoch an, dass Glasrecycler und Hersteller auch teilweise höhere Anforderungen festlegen (Heinen und Bildstein, 2022).

Mit den bisher verwendeten Techniken in den Glasaufbereitungsanlagen erfolgt keine Ausschleusung von Borosilikatglas. Borosilikatglas ist im Anhang 3 des Mindeststandards 2024 als Recyclingunverträglichkeit genannt (ZSVR, 2024). Einsatzgebiete sind beispielsweise Auflaufgeschirr, Teekannen, Vorratsbehälter für z. B. Gewürze oder Müsli, Laborgläser oder Tee- und Grablichter. Drei verschiedene Anlagenbauer teilten auf Nachfrage bei der vorletzten Erhebung mit, dass Borosilikatglas mit den bisherigen Techniken in Glasaufbereitungsanlagen nicht detektiert werden könne. Der Grund dafür sei die geringe Ordnungszahl von Bor im Periodensystem (5). Diese ermögliche bei Fluoreszenztechniken nur ein schwaches Signal. Das detektierte Spektrum sei umso deutlicher, je größer die Ordnungszahl des Elements ist. Die geringen Analysezeiten (wenige Millisekunden pro Scherbe) in den Anlagen sowie der Sauerstoff (Element 8) erschwere eine Detektion. Gemäß eines Anlagenbauers komme Borosilikatglas bisher nur in sehr geringen Mengen im Sammelglas vor. Da es keine großen Schäden, wie beispielsweise Glaskeramik, verursache, sei eine Investition mit einer zusätzlichen Stufe zur Separation von Borosilikatglas bisher nicht zu rechtfertigen.

Die aufbereiteten farbsortierten Glasscherben werden anschließend in Glaswannen der Glashütten aufgeschmolzen.

3.12.3 Ermittlung der Praxis der SuV für Behälterglas

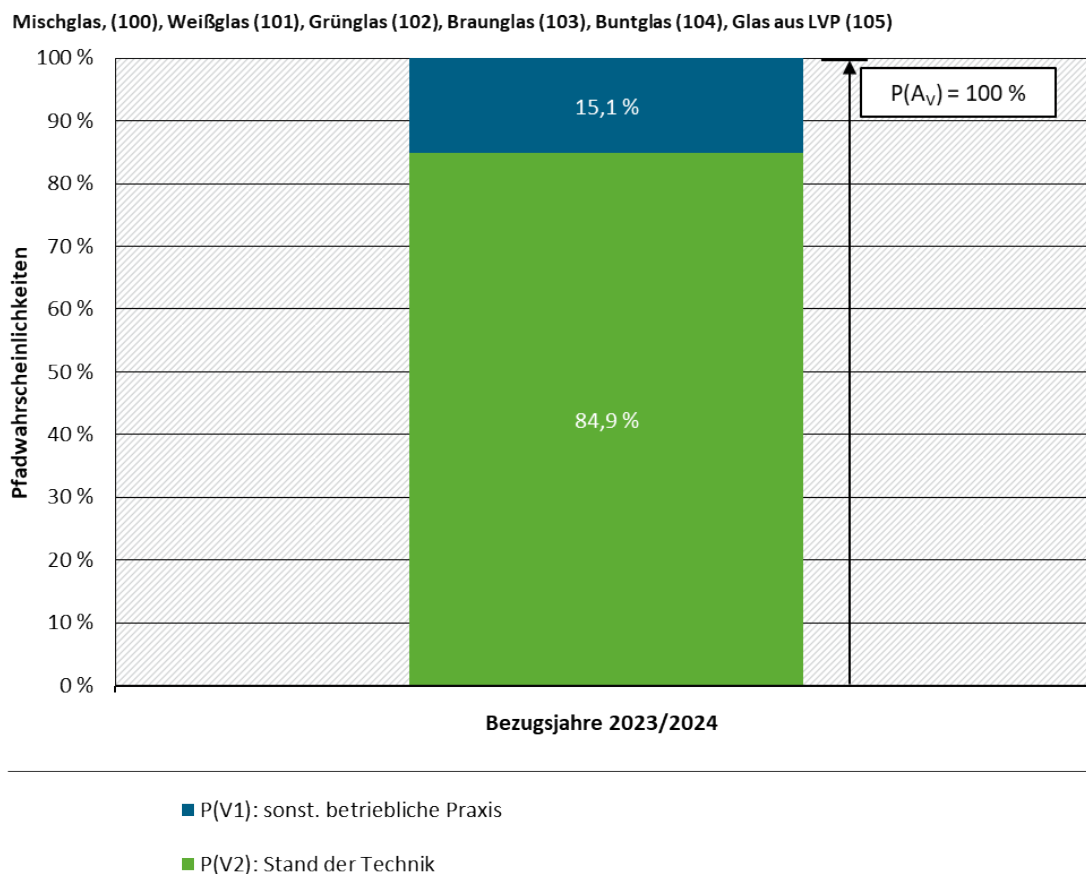
Aus den Zuführungsmengen zu Verwertungsanlagen aus dem MSN 2023 kann $P(A_{SuV})$ für Behälterglas berechnet werden. Dieser beträgt für das Bezugsjahr 2023/2024 in Summe 100 %. Die Verteilung auf die Pfade ist in Abbildung 42 dargestellt.

Alle Glasaufbereiter gaben Endprodukte an, bei denen die Verwertungsanlage als Referenzanlage eingestuft werden kann. Als Endprodukte zählen dazu Glasscherben nach der Leitlinie T120 (BV Glas et al., 2014; Dehoust et al., 2021) sowie Behälterglas als

Rezyklatanwendung. Die Variante V1, bei der die Anlage keinen mechanischen Etikettenentferner besitzt, wird als sonstige betriebliche Praxis eingestuft, ($P(V1)$ beträgt 15,1 %). Die Verfasser*innen definieren V2 (Einsatz eines Etikettenentferners) als Stand der Technik. $P(V2)$ beträgt 84,9 %.

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung auf eine Anlage trifft, die einen NIR-Trenner besitzt, beträgt ca. 15 % (inkl. eines in 2024 installierten NIR-Trenners in einer Anlage). Dieser Wert ist in den letzten Jahren angestiegen und hat sich gegenüber dem Teilbericht 2020/21 etwa verfünffacht.

Abbildung 42: Praxis der SuV für 2023/2024 für Behälterglas



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al. (2021)

3.12.4 Rezyklatanwendungen

Alle Glasaufbereiter gaben als Rezyklatanwendung Behälterglas an. Einige Anlagen gaben zusätzlich an, dass das Feinkorn, welches nicht für die Hohlglasindustrie eingesetzt werden kann, als Glasschaum oder -wolle Anwendung findet.

3.12.5 Einschätzung problematischer Verpackungsmerkmale bei der Aufbereitung

Die Erhebungen boten den Glasaufbereitern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungsmerkmale zu geben, welche spezifische Probleme im Aufbereitungsprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 21 und Tabelle 22 dargestellt; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/2023 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben. Als Basis dafür dienten die im Abschnitt 4.2, Anhang 2 und Anhang 3 des

Mindeststandards 2023 aufgeführten problematischen Verpackungsmerkmale und Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2023). Weitere potentielle Probleme wurden zusätzlich abgefragt (z. B. applizierte LEDs an Flaschenböden). Des Weiteren konnten von den antwortenden Glasaufbereitern zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungsmerkmalen gemacht werden. Diese konnten ebenso hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 21: Einschätzung der Referenzanlagen von Behälterglas (Anzahl: 18) zu problematischen Verpackungsmerkmalen hinsichtlich Sortierbarkeit⁷³

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal verschlechtert Sortierbarkeit		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
		geringfügig	drastisch		
Glasverpackungen ohne Transparenz/Transluzenz, z. B. lackierte Gläser	0	1	16	1	0
Wasserfeste Kunststoffhaftetiketten	0	3	13	2	0
Korbflaschen	1	3	13	1	0

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Tabelle 22: Einschätzung der Referenzanlagen von Behälterglas (Anzahl: 18) zu problematischen Verpackungsmerkmalen hinsichtlich Recyclingunverträglichkeit⁷⁴

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Einschlüsse im Behälterglas, Spezifikationsprobleme)		
Blei aus Kristallglasverpackungen	0	7	0	11	0	0
Borosilikatglas	3	0	0	14	0	1

⁷³ Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

⁷⁴ Bei Mehrfachantworten einer Anlage wurde nur die Antwort mit der kritischeren Bewertung berücksichtigt.

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Einschlüsse im Behälterglas, Spezifikationsprobleme)		
Glasverpackungen mit Keramikkomponenten	0	12	1	4	1	0
Glasverpackungen mit Metallnetzen	0	10	5	2	1	0
Bügelverschlüsse mit ausschließlich nicht-ferromagnetischen Metallanteilen	0	2	4	11	1	0
Verklebte Fullsleeves	0	3	1	13	1	0
Applizierte LEDs an Flaschenböden	3	4	0	10	1	0
Ausguss-Einsätze aus Kunststoff	0	2	14	0	2	0
Weitere Angaben:						
<i>LEDs/ Li-Ionen-Knopfzellen Und RFID-Tags (Elektronische Elemente und Elektroschrott führen zu Brandgefahr)</i>				9		
<i>Steingut-Flaschen (landen im Abfall)</i>		4				
<i>Einwegkeramikmühlen mit Keramikeinsätzen</i>				1		
<i>Anroll-Alufolie an Sekt und Weinflaschen</i>		3				
<i>Schwarzes, dickes Glas optisch vor Geräten nicht erkennbar</i>				1		
<i>„Krankenhausglas“, welches mit Blut/ Spritzen/ Nadeln/ Krankenhausbesteck verunreinigt ist (Gesundheitsgefahren und Verletzung von Mitarbeitenden)</i>				9		

Problematische Verpackungsmerkmale	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Keine Angabe zur Einschätzung
			geringfügig	drastisch (z.B. Einschlüsse im Behälterglas, Spezifikationsprobleme)		
<i>Alles mit Akku (Brandrisiko)</i>						1
<i>Schlecht ablösbare Etiketten aller Art</i>		3				
<i>Dünnere Flaschen führen zu immer mehr Feinkorn (Sortierung schwierig; Anteil Feinkorn hüttenseitig an Grenze oder drüber hinaus)</i>			1			
<i>Stark eingefärbtes Glas („Schwarzglas“), metallisierte und UV-Beschichtungen und wasserfeste Labels aus Metallen und Textilien (mit Glasfärbefritten/-konzentraten dunkel/schwarz gefärbtes Glas)</i>				9		
<i>Gummistopfen aus Infusionsflaschen</i>		3				

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024), auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021)

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 2 und 3 des Mindeststandards 2023 überwiegend von den Glasaufbereitern bestätigt werden, wobei Keramikkomponenten, Metallnetze und Ausgusseinsätze aus Kunststoff weniger kritisch eingestuft wurden als die anderen Verpackungsmerkmale. Die Verfasser*innen schlagen vor, diese weiterhin im Mindeststandard aufzulisten.

- Glasverpackungen ohne Transparenz bzw. Transluzenz, wie beispielsweise lackierte oder beschichtete Glasverpackungen sind im Anhang 2 des Mindeststandards 2024 aufgeführt und mittlerweile mit einem Grenzwert versehen. Ab diesem Wert wird davon ausgegangen, dass ein KSP-Trenner ein Material als nicht transluzent detektiert. 16 der 18 Glasaufbereiter gaben an, dass dieses Merkmal die Sortierbarkeit drastisch verschlechtert. Diese nicht transparenten/transluzenten Gläser sind nicht sortierfähig und werden dem Kreislauf entzogen. Für diese Gläser besteht ein vollständiger Glasverlust. Die Scherben werden über die optisch sensorbasierte Sortierung mangels Transluzenz als Rejekt abgetrennt. Die Verfasser*innen empfehlen, dieses Gestaltungsmerkmal weiterhin im Mindeststandard Anhang 2 aufzulisten. Eine Überprüfung des Grenzwertes könnte zugleich bei technischem Fortschritt oder neuen Erkenntnissen angeraten sein. Aktuell finden Praxistests und Überprüfungen der Branche dazu statt.

- ▶ 13 der 18 Glasaufbereiter äußerten, dass wasserfeste Kunststoffhaftetiketten die Sortierbarkeit drastisch verschlechtern. Laut Mindeststandard 2024 ist bei mit Kunststoffhaftetiketten versehenen Glasverpackungen der von diesen Etiketten abgedeckte Glasanteil nicht dem verfügbaren Wertstoffanteil zuzurechnen, sofern es sich um wasserfeste/hydrophobe Haftetiketten handelt. Glasaufbereiter teilten mit, dass Kunststoffetiketten einen Trend darstellen. Diese werden beispielsweise für Glasverpackungen verwendet, um den Inhalt der Verpackung durch ein transparentes Etikett sichtbar zu gestalten oder einen Direktdruck („No-Label-Look“) nachzuahmen. Scherben mit anhaftenden Etiketten werden üblicherweise im KSP-Trenner ausgeworfen. Dies entziehe dem hochwertigen Glasrecycling erhebliche Glasanteile. Etikettenentferner oder Trommeltrockner können dazu beitragen, den Glasverlust zu verringern. Diese sind mittlerweile Stand der Praxis. NIR-Trenner ermöglichen die Detektion von Etiketten auf Scherben, sodass diese in einer nachfolgenden Stufe („Recovery-Stufe“) die mechanische Etikettenentfernung (nochmals) durchlaufen können. Der Anteil an Anlagen, die NIR-Trenner verwenden, hat in den letzten Jahren zugenommen. Mittlerweile treffen ca. 15 % der gesamten Zuführungsmenge zu Verwertungsanlagen auf Glasaufbereitungsanlagen, die NIR-Trenner einsetzen. Zukünftig wird empfohlen, zu erörtern inwieweit Etiketten aus anderen Materialien als Kunststoff (Metalle oder Textilien) mit wasserfestem Klebstoff (siehe unter „Weitere Angaben“ kritisch anzusehen sind).
- ▶ Es wird empfohlen, Korbflaschen weiterhin aufzuführen, da auch dieser Punkt vom Großteil der Glasaufbereiter als kritisch eingestuft wird.
- ▶ Einige Glasaufbereiter betrachteten Blei aus Kristallglasverpackungen (z. B. Behältnisse aus Kristallglas mit Bleioxid) weiterhin kritisch, da es die Rezyklatqualität drastisch verschlechtern kann. Bleihaltiges Material ist für die Glashütte ungeeignet und wird ausgeschleust. Die Separation bleihaltiger Scherben durch sensorbasierte Sortierung gehört zum Stand der Technik und trägt dazu bei, den Bleigehalt im Behälterglas zu reduzieren. Bis auf eine Anlage mit geringer Mengenrelevanz gaben alle Glasaufbereiter an, Scherben dieser Art mittels spezieller Technik auszusortieren. Die Separation ist allerdings nur ab einer bestimmten Korngröße beherrschbar (z. B. 6 mm) und führt zu hohen Glasverlusten. Die Verfasser*innen schlagen vor, Blei aus Kristallglasverpackungen weiterhin im Mindeststandard als Recyclingunverträglichkeit aufzuführen.
- ▶ Zu „Bügelverschlüsse mit ausschließlich nicht-ferromagnetischen Metallanteilen“ (z. B. in Getränkeflaschen oder Einweckgläsern) gaben 11 von 18 Anlagenbetreiber an, dass diese die Rezyklatqualität drastisch herabsetzen würden. Nach Auskunft mehrerer Glasaufbereiter können die Bügelverschlüsse nicht über die gängigen Metallabscheidungstechniken ausgeschleust werden. Sie werden zwar bei der optischen Sortierung erkannt, allerdings bieten diese aufgrund ihrer Form nicht ausreichend Angriffsfläche für die Druckluft und werden teilweise nicht oder nur mit erheblichem Glasverlust ausgeworfen. Damit bestehe die Gefahr, metallische Verunreinigungen in die Glaswanne einzubringen. Weiterhin können sich die Bügelverschlüsse ineinander verhaken oder in den Anlagen hängen bleiben. Es werde laut Anlagenbetreibern versucht, die Verschlüsse vorab manuell auszusortieren. Die Verfasser*innen schlagen vor, diese Unverträglichkeit weiterhin im Mindeststandard aufzulisten.
- ▶ Laut dem Großteil der Glasaufbereiter verschlechtern Ausguss-Einsätze aus Kunststoff die Rezyklatqualität nur geringfügig. Zu den Ausguss-Einsätzen aus Kunststoff zählen beispielsweise Gummistopfen von Infusionsflaschen oder Kunststoffausgießer in Flaschen (z. B. Speiseölfaschen). Ausguss-Einsätze können durch optische Sortiergeräte, aber auch

durch die Absaugung abgetrennt werden. Diese Störstoffe verursachen jedoch einen Glasverlust, da Glasanteile zusammen mit den Ausgießern ausgeschleust werden. Insbesondere transparente Ausguss-Einsätze werden durch die Transparenz über das Durchlichtverfahren nicht detektiert. Das Problem der Ausguss-Einsätze wäre mit NIR-Sensoren lösbar, jedoch besitzen bisher nur wenige Anlagen NIR-Technik zur Identifikation von Kunststoffen. Aufbereiter machten die Angabe, dass sich hohe Kunststoffanteile in der Glaswanne auf die Farbreinheit in den Fertigprodukten auswirken könnten. In der Leitlinie T120 ist für lose Organik (dazu gehören auch Kunststoffe) als Grenzwert der monatliche Mittelwert von max. 300 g/t festgelegt (BV Glas et al., 2014). Dieser Punkt wurde bereits in den EK III eingebracht.

- ▶ Verklebte Fullsleeves werden üblicherweise abgesaugt, nachdem die Glasverpackung zerkleinert wurde. Die verwendete Technik zur Zerkleinerung des Glases (z. B. Walzenbrecher) hat vermutlich einen Einfluss auf die Abtrennung des Sleeves. Bei Sleeves wird unterschieden zwischen Komplett-Umhüllungen (Full-Body-Sleeves) und partiellen Umhüllungen (Teil-Sleeves). Darüber hinaus gibt es Sleeves mit und ohne Perforation an der Siegelnaht. Weiterhin unterscheiden sich Sleeves darin, ob das Sleeve über die Kante des Flaschenbodens hinausragt oder ob es mit der Bodenkante abschließt. Sleeves können dazu beitragen, dass Verbraucher*innen die Glasverpackungen dem falschen Glascontainer zuordnen, da die Farbe des Sleeves anstatt der Flaschenfarbe berücksichtigt wird. Es ist weiterhin zu beachten, dass der Kunststoff des ausgeschleusten Sleeves nach der derzeitigen Praxis der SuV werkstofflich nicht verwertet wird. 13 von 18 Anlagenbetreibern gab an, dass die Sleeves die Rezyklatqualität drastisch verschlechtern können.
- ▶ 10 von 18 Anlagenbetreibern gaben an, dass applizierte Leuchtdioden (LEDs) an Flaschenböden die Rezyklatqualität drastisch verschlechtern können. 4 von 18 dokumentierten, dass diese zwar abgetrennt werden können, aber dies mit hohem Glasverlust verbunden sei. 9 Anlagenbetreiber gaben unter „Weitere Angaben“ nochmals LEDs/Li-Ionen-Knopfzellen als Problem an. Als Grund wurde die Brandgefahr in den Anlagen angegeben. Der EK III sollte prüfen, ob es sich bei diesen Verpackungen um eine Recyclingunverträglichkeit handelt.

Die zusätzlich genannten Angaben wurden dem EK III bereits vorgetragen und von den Expert*innen auf Relevanz für den Mindeststandard überprüft. Einige Angaben werden im Folgenden näher erläutert:

- ▶ Einweg-Gewürzmøhlen mit Keramik-Mahlwerk werden gemäß eines Anlagenbetreibers nicht durch optische Sortiergeräte erkannt und somit nicht durch einen Druckluftstoß ausgeworfen. Keramikkomponenten könnten somit in die Glaswanne gelangen und Einschlüsse in den Fertigprodukten hervorrufen. Im Mindeststandard 2024 sind „Glasverpackungen mit Keramikkomponenten“ bereits enthalten.
- ▶ Steingut-Flaschen (gehören zum Werkstoff Keramik) zählen i. d. R. zu den systembeteiligungspflichtigen Verpackungen, gehören allerdings nicht in die Altglas-Sammlung. Steingut führt zu unerwünschten Einschlüssen in den Fertigprodukten, da es aufgrund eines höheren Schmelzpunktes in der Glaswanne nicht schmilzt (Hahn, 2020). Für Steingut-Flaschen besteht derzeit kein hochwertiger werkstofflicher Verwertungspfad. Diese werden entweder bei der manuellen Vorsortierung oder über den KSP-Trenner in der Glasaufbereitungsanlage aussortiert, sofern sie fälschlich im Altglas entsorgt wurden. Steingutflaschen, die als Verkaufsverpackung gedient haben, können im gelben Sack bzw.

der gelben Tonne entsorgt werden. Keramik wurde in der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2025 in Anhang 2 als nicht recyclingfähige Verpackungen aufgeführt.

- ▶ Schwarzes Glas wird aufgrund fehlender Transluzenz gemäß eines Glasaufbereiters im KSP-Trenner als Störstoff abgetrennt, obwohl es sich dabei um Glas handelt. Dieser Punkt steht bereits als Punkt „Glasverpackungen ohne Transparenz bzw. Transluzenz, z. B. lackierte Gläser“ im Mindeststandard (Ausgabe 2024) Anhang 2 inkl. Grenzwert in 4.2. Die gleiche Problematik besteht bei metallisierten und UV-Beschichtungen, welche von 9 Anlagen genannt wurden.
- ▶ Das Problem verklebter Aluminiumbänderolen am Flaschenhals wurde ebenso von 3 Anlagenbetreibern genannt. Die Aluminiumbänderole reibe sich im Walzenbrecher vom Glas ab und führe zu kleinen Aluminiumstücken, welche in die Glaswanne gelangen können.

4 Empfehlungen zur Berücksichtigung der Praxis der SuV im Mindeststandard gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG

4.1 Vorhandensein von Sortier- und Verwertungsinfrastruktur

Im Folgenden werden zunächst Empfehlungen für den Inhalt des bisherigen Anhang 1 des Mindeststandards diskutiert. Im Mindeststandard 2024 wird das Vorhandensein einer Recyclinginfrastruktur über die Fraktionsnummern in Anhang 1 Spalte 3 erfasst. Dabei wurden spezifische Abgrenzungskriterien definiert, welche sich auf die aktuelle Praxis der Sortierung und Verwertung systembeteiligungspflichtiger Verpackungen beziehen sollen. Gilt eine Sortier- und Verwertungsinfrastruktur als vorhanden, kann der im Anhang 1 des Mindeststandards angegebene Wertstoffanteil bei der Bemessung der Recyclingfähigkeit berücksichtigt werden (ZSVR, 2024). Die Abgrenzungskriterien der Spalten 3A, 3B und 3C sind im Abschnitt 2.5 ausführlich beschrieben und werden an dieser Stelle nur kurz genannt:

Spalte 3A: $P(A_{SuV}) \geq 80 \%$,

Spalte 3B: $20 \% < P(A_{SuV}) < 80 \%$,

Spalte 3C: $P(A_{SuV}) \leq 20 \%$.

Im Konsultationsentwurf des Mindeststandards 2025 wurde die Struktur der Anhänge umgestellt, die bisherigen Inhalte von Anhang 1 Spalte 3B und 3C finden sich nunmehr in Anhang 3.3, Spalte 3A ist implizit Anhang 2 zugrundegelegt und ergibt sich aus der Nichtnennung in Anhang 3.3. Für die bessere Vergleichbarkeit mit dem vorherigen Erhebungszeitraum wird im Folgenden nochmals auf die alte Darstellungsweise Bezug genommen.

Die final berechneten Anwendungsgrade $P(A_{SuV})$ sind in Tabelle 23 dargestellt. Zudem gibt Tabelle 23 einen Hinweis auf die Zuordnung der Fraktionen im Anhang 1 des Mindeststandard 2024. Es wird empfohlen, anhand der vorliegenden Ergebnisse, im Mindeststandards 2025 gegenüber 2024 keine Änderungen für Fraktionen vorzunehmen (symbolisiert durch „=“ in Spalte 3).

Tabelle 23: Anwendungsgrade der Sortierung und Verwertung P(ASuV) von systembeteiligungs-pflichtigen Verpackungen und Empfehlungen für die Einstufung im Mindeststandard 2025

Verpackungen und beinhaltende Fraktionen	P(ASuV) in % ⁷⁵	Einstufung im Mindeststandard 2025 analog ehem. Spalte 3A-C
Behälterglas 100, 101, 102, 103, 104, 105	100	3A (=)
Weißblechverpackungen, Weißblechverbunde 410, 412	100	3A (=)
Aluminiumverpackungen, Aluminiumverbunde, aluminiumfolienhaltige Verpackungen 420	100	3A (=)
PPK-Verpackungen aus dem Blauen System	99	3A (=)
FKN 510, 512	95	3A (=)
PolyAl (aus FKN-Recycling)	23– 36	3B (=)
PPK aus LVP 550 ⁷⁶	52 - 57	3B (=)
PP, formstabile und halbstarre Verpackungen ≤ 5 Liter 324-0, 324-1, (323-0), (351-X)	89	3A (=)
PE, formstabile und halbstarre Verpackungen ≤ 5 Liter 329-X, (323-0), (351-X)	92	3A (=)
Kunststoffhohlkörper > 5 Liter (aus PE oder PP) 322, (324-X), (329-X), (323), (351-X)	91	3A (=)
Kunststofffolien 310, 310-1	82	3A (=)
PET-Flaschen, transparent aus PET-A (ohne Pfand) 325, (328-0), (328-1), (328-2), (328-3) ⁷⁷	79	3A (=), siehe Erläuterung im Text
PS, formstabile und halbstarre Verpackungen 331, (351-X)	62	3B (=)
PP, flexible Verpackungen 324-2, 323-2, (323)	27	3B (=)
PE, flexible kleinformatische Verpackungen 323-2, (323), (310-X)	50	3B (=)
EPS 340	0	3C (=)
Sonstige formstabile PET-Verpackungen aus PET-A 328-5, 328-6, (328-0), (328-1), (328-2), (328-3) ⁷⁸	13 – 62	3C (=), siehe Erläuterung im Text
Verpackungen aus anderen, zuvor nicht genannten Kunststoffen z. B. XPS, PC, PVC, PA, PLA, Duroplaste, Elastomere, kompostierbare Kunststoffe; PET flexibel; Steingut, Keramik, Holz, Kork, Textilien	0	(keine Sortier- und hochwertige werkstoffliche Recyclinginfrastruktur über LVP- Sammlung vorhanden)

Quelle: aktuelle Erhebung, auf methodischer Grundlage von Dehoust et al. (2021); Erläuterung der Symbole in der 3. Spalte gegenüber den Angaben des Mindeststandards 2024: ↓ : Verschlechterung; ↑ : Verbesserung; = : keine Änderung

⁷⁵ Alle Angaben zum Anwendungsgrad in dieser Studie sind gerundet auf ganze Prozent. Rechnerisch lassen sich Nachkommastellen angeben, diese sind aufgrund der methodischen Genauigkeit jedoch nicht aussagekräftig.

⁷⁶ Die Spannweite resultiert daraus, dass manche Sortieranlagen die Fraktion 550 teilweise für eine energetische Verwertung bereitgestellt haben, ohne den Anteil im Rahmen der Befragung konkret zu benennen.

⁷⁷ Unter und Obergrenze (Worst Case und Best Case) entspricht dem Minimum und Maximum aller Kombinationen an sonstigen formstabilen PET Verpackungen in den Fraktionen gemäß Spezifikationen; ohne Pfand.

⁷⁸ Unter und Obergrenze (Worst Case und Best Case) entspricht dem Minimum und Maximum aller Kombinationen an sonstigen formstabilen PET Verpackungen in den Fraktionen gemäß Spezifikationen.

Für Behälterglas⁷⁹ und Verpackungen aus Weißblech und Weißblechverbunden sowie aus Aluminium, Aluminiumverbunden und aluminiumfolienhaltige Verpackungen beträgt der Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$ 100 % (entsprechend ehemaliger Spalte 3A).

Für PPK aus dem Blauen System ist $P(A_{SuV})$ 99 % und für FKN 95 %. Dies entspricht ebenso der ehemaligen Spalte 3A. Die Verfasser*innen empfehlen, FKN weiterhin entsprechend der ehemaligen Spalte 3A zu behandeln. Für die Kunststoff- und Aluminiumanteile (PolyAl) von FKN findet auch eine hochwertige werkstoffliche Verwertung im industriellen Maßstab für deutsche Systemmengen statt. Eine deutsche Anlage dafür ist 2021 in Betrieb gegangen (EUWID, 2021). Eine zweite Anlage in Deutschland hat 2024 den Betrieb aufgenommen (EUWID, 2024) und plante noch in 2024 den Betrieb im industriellen Maßstab auszubauen. Diese Anlage wird aus methodischen Gründen erstmalig im Rahmen der zukünftigen Erhebung 2024/ 2025 einbezogen werden können. Geringe Mengen PolyAl aus systembeteiligungspflichtigen FKN werden auch im Ausland hochwertig werkstofflich verwertet. Aus den Berechnungen ergibt sich für PolyAl eine Spannweite von 23 % - 36 % (entsprechend ehemaliger Spalte 3B). Damit kann eine Sortier- und hochwertige Recyclinginfrastruktur nun begrenzt vorausgesetzt werden. Dieses Ergebnis wurde bereits in der Konsultationsfassung zum Mindeststandard 2025 berücksichtigt (ZSVR, 2025).

Für PPK aus LVP wurde eine Spannweite des $P(A_{SuV})$ berechnet, welche 52 % - 57 % beträgt, da manche Sortieranlagen PPK aus LVP teilweise einer energetischen Verwertung zuführten, die genauen Anteile aber den Verfasser*innen nicht bekannt sind. Die gesamte Spannweite weist auf einen Verbleib von PPK aus LVP sinngemäß in der ehemaligen Spalte 3B hin.

PPK aus LVP weist gemäß Anlagenbetreibern einen hohen Verschmutzungsgrad durch z. B. Lebensmittelanhaftungen und vermehrt Anteile an Kunststoffen auf, welche ein Recycling erschweren und die Faserausbeute in der Papierfabrik reduzieren können. Recycler gaben zudem an, dass PPK aus LVP oftmals bessere Papierqualitäten zur Qualitätssteigerung beigemischt werden (sogenannte „Rezeptur“). Die Entsorgung über das gelbe System führe zudem dazu, dass die Fraktion einen hohen Wassergehalt aufweise. Aufgrund der genannten Probleme sind die Ballen nur eine begrenzte Zeit lagerbar. Problematisch kann auch die Aufbereitung des Prozesswassers sein, denn diese muss so ausgestattet sein, dass die organischen Anteile der Fraktion PPK aus LVP ausreichend abgereinigt werden können. Zudem unterliegen Papierfabriken, die Lebensmittelverpackungen produzieren, gemäß der 36. Empfehlung des Bundesinstituts für Risikobewertung strengen Anforderungen, wenn die „Sorten 5.01, 5.02, 5.03 (DIN EN 643) aus selektiv erfassten gemischten Verpackungsabfällen“ verwendet werden (BfR, 2025). Eine Studie der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung (GVM) geht davon aus, dass sich der Verbrauch von faserbasierten Verbundverpackungen bis 2030 gegenüber 2020 mehr als verdoppeln werde (GVM, 2024). An dieser Stelle sei erwähnt, dass auch die Umweltministerkonferenz über die starke Zunahme der faserbasierten Verbunde besorgt ist. Sie sieht für diese Verpackungen Handlungsbedarf und fordert umfassende Maßnahmen zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit und der Produzentenverantwortung (Lang, 2024).

Im Mindeststandard 2024 muss für faserbasierte Verbundverpackungen und PPK-Verpackungen mit nicht-trockenen Füllgütern (außer FKN) ein Einzelnachweis geführt werden (ZSVR, 2024). Die Zugabe von z. B. Nassfestmitteln oder Beschichtungen (insbesondere beidseitig) zur Gewährleistung des Produktschutzes kann die Zerfaserung der Verpackungen und damit das Recycling behindern (Gürlich et al., 2022). Papierfabriken gaben an, dass sich

⁷⁹ Bei Behälterglas wird nur $P(A_V)$ erfasst, da für Verpackungen aus diesen Materialien keine separate Sortierung vorgeschaltet ist.

restentleerte faserbasierte Verbundverpackungen für trockene Füllgüter (z. B. Beutel für Mehl und Zucker) in der Regel besser recyceln lassen. Diese werden häufig durch Verbraucher*innen nicht als Verbundverpackung erkannt und intuitiv in der blauen Tonne entsorgt.

Der Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$ beträgt für formstabile und halbstarre Kunststoffverpackungen aus PP und PE (z. B. Flaschen, Schalen, Becher) 89 % beziehungsweise 92 %. Die Berechnungen weisen auf einen Verbleib der genannten Verpackungen in der ehemaligen Spalte 3A des Mindeststandards hin, da für diese Verpackungen ein hochwertiger werkstofflicher Verwertungspfad gegeben ist. Dies gilt auch für Kunststoffhohlkörper > 5 Liter mit einem $P(A_{SuV})$ von rund 91%.

$P(A_{SuV})$ für Kunststofffolien beträgt 82 %. Die Verfasser*innen empfehlen, Kunststofffolien weiterhin entsprechend der ehemaligen Spalte 3A des Mindeststandards einzustufen. Für die flexiblen Kunststoffverpackungen aus PP lässt sich $P(A_{SuV})$ auf ca. 27 % beziffern (entspricht ehemaliger Spalte 3B). Dabei wurde die Monofraktion PP-flex (324-2) einbezogen. $P(A_{SuV})$ für kleinformatige flexible PE-Verpackungen beträgt ca. 50 % (entspricht ehemaliger Spalte 3B).

$P(A_{SuV})$ für formstabile Verpackungen aus PS beträgt ca. 62 %. PS ist damit weiterhin analog der ehemaligen Spalte 3B des Mindeststandards 2024 zuzuordnen.

Für transparente PET-Flaschen (ohne pfandpflichtige Verpackungen) wurde eine Spannweite zwischen Unter- und Obergrenze (Worst Case und Best Case) der Verpackungsanteile in den PET-Fraktionen 325 und 328-(0-3) bestimmt. Aufgrund des minimalen Unterschieds kann $P(A_{SuV})$ gerundet mit 79 % angegeben werden. Die Verfasser*innen empfehlen, transparente PET-Flaschen im Mindeststandard 2025 weiterhin entsprechend Spalte 3A aufzulisten. Angesichts des Anwendungsgrades unmittelbar am Grenzwert, aber innerhalb der statistischen Unsicherheit der verwendeten Methode, sollte bei der nächsten Erhebung überprüft werden, ob eine Umstufung in Spalte 3B angezeigt ist. Eine solche sollte gleichwohl nur erfolgen, wenn dies sicher herleitbar ist und auf einer tatsächlichen Verschlechterung der Praxis der Sortierung und Verwertung beruht; allein aufgrund statistischer Ungenauigkeiten sollte keine Herabstufung erfolgen.

Für sonstige formstabile PET-Verpackungen wurde ebenfalls aufgrund methodischer Notwendigkeiten eine sehr große Spannweite $P(A_{SuV})$ von 13 % – 62 % bestimmt. Der Worst Case und Best Case entspricht dem Minimum und Maximum aller Kombinationen an sonstigen PET-Verpackungsanteilen in den folgenden Fraktionen: 328-(0-6⁸⁰). Ein Anwendungsgrad von 13 % ergibt sich nur, wenn sonstige formstabile PET-Verpackungen ausschließlich über die Fraktionen 328-5 und 328-6 („PET-Schalen“) hochwertig werkstofflich verwertet werden könnten. Aufgrund der folgenden Einschränkungen empfehlen die Verfasser*innen, sonstige formstabile PET-Verpackungen weiterhin entsprechend der ehemaligen Spalte 3C zu behandeln:

- Der Best Case von 62 % ist nur erreichbar in einer speziellen Kombination von Anteilen an sonstigen PET-Verpackungen in den PET-Fraktionen 328-(0-6). Alle anderen Kombinationen liegen unterhalb dieser Prozentzahl.
- Die Obergrenze der genannten Spannweite setzt voraus, dass sowohl Mono- als auch Multilayer-Schalen einberechnet werden. Die Einbeziehung von Multilayer-Schalen ist unplausibel, denn einige PET-Recycler notierten, Multilayer-PET-Schalen vorab

⁸⁰ Die Fraktion 328-6 wurde im MSN 2021 gebucht, weshalb sie erstmalig im Anhang 1 des Mindeststandard 2023 aufgenommen wurde. Im MSN 2023 wurde sie nicht gebucht, dennoch wird sie weiterhin im vorliegenden Bericht aufgeführt, da sie ebenso wie Fraktion 328-5 die Monofraktion „PET-Schalen“ spezifiziert und in zukünftigen MSN wieder gebucht werden könnte.

auszusortieren. Es liegen aber keine konkreten Mengenanteile vor, um die Auswirkungen konkret zu benennen.

- Durch Hinweise aus der Praxis ist bekannt, dass nicht alle LVP-Sortieranlagen, die angeben, die PET-Schalen-Fractionen 328-5 und 328-6 zu sortieren, dies ganzjährig durchgängig tun. Eine entsprechende Änderung im Jahresverlauf wird von der Systematik dieser Studie nicht erfasst, so dass die ermittelten Anwendungsgrade der Sortierung die Praxis tendenziell überschätzen.

Diese, in dieser Studie nicht genau quantifizierbaren Faktoren führen nach der Einschätzung der Verfasser*innen dazu, dass der tatsächliche Anwendungsgrad deutlich unter dem für die Einstufung im Mindeststandard 2025 relevanten Grenzwert von 20 % liegen wird (entspricht ehemaliger Spalte 3C). Dies erscheint auch angemessen angesichts der Tatsache, dass

- die Marktmenge an PET-Schalen und daraus resultierend die in der LVP-Sammlung anzutreffende Menge sich nach Einschätzung von Stakeholdern in einer Größenordnung von 120 bis 150 kt⁸¹ bewegt, allerdings ausweislich des MSN 2023 lediglich eine Menge der PET-Schalen-Sortierfraktionen (328-5, 328-6) von weniger als 10 kt Anlagen zugeführt wurde, die eine hochwertige werkstoffliche Verwertung durchführen.

Es gibt derzeit Bestrebungen, die Kapazitäten für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling von systembeteiligungspflichtigen PET-Schalen im Ausland auszubauen (EUWID Verpackung, 2024). Die Verfasser*innen empfehlen, die aktuellen Entwicklungen in diesem Bereich weiterhin zu beobachten.

Für Verpackungen aus EPS besteht kein hochwertiger werkstofflicher Verwertungspfad, wenn sie über die LVP-Sammlung (gelber Sack, gelbe Tonne) erfasst werden. $P(A_s)$ für EPS beträgt 0 % und somit ist auch $P(A_{SuV})$ 0 %. Damit sollte EPS analog der ehemaligen Spalte 3C im Mindeststandard eingeordnet werden. EPS wird aktuell nicht über die LVP-Sortierung im industriellen Maßstab sortiert und verwertet. Es landet im Sortierrest und wird anschließend energetisch verwertet. Für EPS, welches separat und sortenrein über z. B. Wertstoffhöfe oder industrielle und gewerbliche Sammlungen gesammelt wird, besteht ein Recyclingpfad (Lindner et al., 2019).

Für Verpackungen aus anderen, ebenso zuvor nicht genannten Kunststoffen wie z. B. XPS, PC, PVC, PA, PLA, Duroplaste, Elastomere und kompostierbaren Kunststoffen sowie Keramik und Naturmaterialien wie Holz oder Kork bestehen derzeit keine hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfade über die LVP-Sammlung. Für diese Verpackungen könnten sich zukünftig Änderungen ergeben, wenn entsprechende Sortier- und Recyclinginfrastruktur aufgebaut werden würde. Im Mindeststandard 2024 wurde die Liste der Beispiele, für die bislang keine Infrastruktur über die LVP-Sammlung besteht, in der Einleitung zum Anhang 1 erweitert. Als Beispiele aufgeführt werden biologisch abbaubare oder kompostierbare Kunststoffe, PLA, Cellulosehydrat, Keramik oder Naturmaterialien wie Holz (ZSVR, 2024). Im Konsultationsentwurf des Mindeststandards 2025 spiegelt sich dies in den entsprechenden Verpackungskategorien des Anhangs 2 wieder; auch für Textilien wird zutreffend davon ausgegangen, dass keine Recyclinginfrastruktur besteht, die an der LVP-Sammlung anknüpft.

⁸¹ Von einem „Aufkommen von PET-Schalen im LVP-Sammelgemisch [i.H.v.] jährlich ca. 120.000 t“ gehen Dehoust et al. (2021) aus. Die aktuelle Marktmenge schätzen Stakeholder mit bis zu 150 kt ein.

4.2 Sortier- und Trennbarkeit sowie Recyclingunverträglichkeiten

Aus der Einschätzung der Sortierer und Verwerter zu problematischen Verpackungen und Verpackungsbestandteilen bei der Trennung, Sortierung und Verwertung lassen sich Erkenntnisse für zukünftige Mindeststandards ableiten. Es ist festzustellen, dass die Sortierer und Verwerter überwiegend die im Anhang 2 und Anhang 3 des Mindeststandards 2023 angegebenen Kriterien bestätigten. Einige der von den Sortierern und Verwertern genannten zusätzlichen Angaben wurden bereits in den EK III eingebracht und werden an dieser Stelle nicht wiederholt genannt. Über folgende weitere Verpackungsmerkmale könnte im EK III beraten werden:

- ▶ In der Konsultationsversion des Mindeststandards sind „Nitrocellulose-basierte Druckfarben im Zwischenlagendruck“ im Anhang 2 als Recyclingunverträglichkeit enthalten (ZSVR, 2025). Es wird empfohlen, die Studienlage für die nitrocellulose-basierten Druckfarben weiterhin zu beobachten und eine Aufnahme weiterer Druckfarbenbestandteile in den Mindeststandard im EK III zukünftig zu prüfen.
- ▶ Die qualitative Verschlechterung der Fraktion PPK aus LVP und zunehmende Substitution von Kunststoffverpackungen durch faserbasierte Lösungen ist bereits Diskussionsthema im EK III und sollte weiterhin beobachtet werden. Zudem sollten neue Prüfmethode für faserbasierte Verbundverpackungen evaluiert werden und deren Relevanz für den Mindeststandard überprüft werden.
- ▶ Die zwei von einem LVP-Sortierer aufgeführten Kühlverpackungen für den Lebensmittelversand: PE-Folie mit recyceltem PET-Vlies gefüllt (landet im Sortierrest, wenn PE-Folie nicht vorab durch Verbraucher*in abgetrennt) und Kunststoffbeutel mit Papierstaub gefüllt (Gesundheitsrisiko durch Staubbelastung, wenn Beschädigung im Sortiervorgang) konnten aus Zeitgründen bislang im EK III-Saison nicht betrachtet werden. Es wird empfohlen, deren Relevanz für den Mindeststandard im EK III zu diskutieren.
- ▶ Die Probleme verklebter Aluminiumbänder am Hals von Glasflaschen sowie wasserfest verklebte Etiketten aus Metall oder Textilien wurden bereits im EK III eingebracht. Der EK III sah dabei keinen Änderungsbedarf für den Mindeststandard. Generell sollte der Einsatz von Etiketten auf Glasverpackungen (egal aus welchem Material) und deren Auswirkung auf die Recyclingfähigkeit weiter beobachtet werden.
- ▶ Es wird empfohlen, das zusätzlich genannte Verpackungsmerkmal der Zinnbeschichtung bei Weißblechverpackungen im EK III zu prüfen. Ein Anlagenbetreiber gab an, dass das Zinn im Schmelzprozess bzw. bei der Stahlherstellung zu immensen Qualitätsverlusten führe.
- ▶ Die Verpackungsmerkmale magnetischer Bestandteile und Grasfasern bei PPK-Verpackungen sowie LEDs an Flaschenböden bei Glas sollten vom EK III näher geprüft werden.

4.3 Zusammenfassung der Praxis im Kunststoffrecycling

In Hinblick auf Anhang 2 und Anhang 3 des Mindeststandards 2024 stellt Tabelle 24 eine zusammenfassende Übersicht über die Praxis des Kunststoffrecyclings anhand der durchgeführten Befragungen dar; da bei der aktuellen Befragung keine neuen Aspekte thematisiert wurden, werden erneut die in Teilbericht 2022/2023 enthaltenen Erkenntnisse wiedergegeben. Diese betrachteten ausschließlich das Recycling von Verpackungsabfällen aus

der Sammlung der dualen Systeme, so dass keine Aussage für das Recycling anderer Kunststoffabfälle daraus abgeleitet werden kann. Detaillierte Beschreibungen zur Praxis sind im Kapitel 3 dargestellt. Ein Kreuz in Klammern (X) zeigt, dass nur wenige Anlagen dieses Verfahren im Erhebungsbogen angegeben haben oder die Mengenrelevanz dieser Verwertungsprozessvarianten gering ist.

Für PET-Flaschen können alle Prozesse (außer lösemittelbasierte Verfahren) als Stand der Technik und generelle Praxis eingestuft werden. Die meisten PET-Recycler gaben PET-Mahlgut als Endprodukt an. Weitere nachfolgende Schritte (Extrusion und Solid State Polymerisation) finden meist in anderen nachfolgenden Anlagen statt.

In den Referenzanlagen der anderen Kunststoffverpackungen können Zerkleinerung, Kaltwäsche, Dichtentrennung, Trocknung sowie Extrusion mit Schmelzefiltration vorausgesetzt werden. Einige Referenzanlagen von Kunststofffolien sortieren PP-Folien vor, um eine höhere Reinheit an LDPE-Folien zu generieren. Einige Nicht-PET-Kunststoffrecyclinganlagen machten die Angabe, eine Vorsortierung auf Verpackungsebene oder eine Mahlgut-Nachsartierung durchzuführen. Dekontamination oder Desodorierung zur Entfernung von Migrationsstoffen und Gerüchen ist bereits in einzelnen Anlagen für PE- und PP-Verpackungen im Einsatz.

Für transparente PET-Flaschen ist weiterhin die Heißwäsche als Referenzprozess zur Identifizierung von Recyclingunverträglichkeiten (beispielsweise Klebstoffe von Etiketten) anzusehen. Die Heißwäsche wird gleichzeitig als Stand der Technik für PET eingeordnet. Für die anderen Kunststoffverpackungen kann derzeit keine Heißwäsche vorausgesetzt werden, da bisher nur wenige Anlagen angaben, das Mahlgut heiß zu waschen.

Lösemittelbasierte Verfahren werden bei den befragten Kunststoffrecyclinganlagen aktuell nicht im industriellen Maßstab für Systemmengen angewendet. Delaminierung und Deinking von Kunststoffverpackungen wird noch nicht im industriellen Maßstab durchgeführt.

Tabelle 24: Aktuelle Praxis im Kunststoffrecycling aus den Ergebnissen der Erhebungsbögen⁸²

Verfahren	Funktion	Aktuelle Praxis in Verwertungsprozessen aus den Ergebnissen der Erhebungsbögen				
		PET	PE	PP	PS	LDPE/ Folien
Sensorbasierte Vorsortierung nach Kunststoffart oder Farbe	Abtrennung von Fremdkunststoffen, Verbesserung der Eigenschaften des Endproduktes oder Erhöhung des Einsatzspektrums, Einsatz des Rezyklats in farbsensiblen Anwendungen	X	(X)	(X)		(X)

⁸² (X) = nur wenige Anlagen setzen das Verfahren ein.

Verfahren	Funktion	Aktuelle Praxis in Verwertungsprozessen aus den Ergebnissen der Erhebungsbögen				
		PET	PE	PP	PS	LDPE/ Folien
Zerkleinerung	Zerkleinerung zu Mahlgut, Vorbereitung zur Granulierung	X	X	X	X	X
Kaltwäsche	Reinigung der Oberfläche	X	X	X	X	X
Heißwäsche (ggf. unter Zugabe von Natronlauge und Detergenzien)	Reinigung der Oberfläche, Geruchsminderung	X	(X)	(X)		(X)
Dichtentrennung (z. B. über Schwimm-Sink-Trennung)	Separation von Mahlgut aus Fremdkunststoffen	X	X	X	X	X
Trocknung (mechanisch und/oder thermisch)	Entfernung von Feuchtigkeit, Vorbereitung für Extrusion	X	X	X	X	X
Mahlgut-Nachsortierung nach Kunststoff oder Farbe	Nachsortierung nach Kunststoff oder Farbe	X	(X)	(X)		
Extrusion mit Schmelzefiltration	Umschmelzen	X	X	X	X	X
Vakuumentextraktion oder Desodorierung	Dekontamination oder Geruchsentfernung	X	(X)	(X)		
Solid State Polymerisation (SSP)	Einstellung Kristallisations- und Polymerisationsgrad	X				
Delaminierung	Trennung von Multilayern					
Lösemittelbasierte Verfahren	Fraktionierung auf Polymerebene					
Deinking	Entfernung von Druckfarben					

Quelle: Dorn (geb. Grummt) und Fabian (2024); Idee zur Tabelle basierend auf (Christiani, 2024)

4.4 Zusammenfassung Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen

Abbildung 43 fasst die von den Referenzanlagen genannten Rezyklatanwendungen zusammen. Die Rezyklatanwendungen mit der größten Mengenrelevanz sind fett formatiert, um die dominanteste Rezyklatanwendung hervorzuheben. Falls aufgrund unzureichender Daten keine dominierende Anwendung erkennbar ist, bleibt die Fettformatierung aus.

Die in diesem Bericht aufgeführten Rezyklatanwendungen wurden bereits im EK III vorgestellt. Basierend auf den Ergebnissen der Erhebungen und der Fachexpertise des EK III wurden für jede Materialfraktion die Rezyklatanwendungen ausgewählt, die als Referenz dienen sollen. Diese sind in der Konsultationsfassung für den Mindeststandard 2025 aufgeführt (ZSVR, 2025).

Die Rezyklatanwendungen sind insbesondere für die bestehenden Recyclingunverträglichkeiten im Anhang 2 des Mindeststandards 2025 relevant. Beispielsweise bestehen für Blasfolienanwendungen höhere Anforderungen an das Rezyklat als bei Spritzgussanwendungen. Daher können z.B. für PE-flex mehr oder strengere Recyclingunverträglichkeiten definiert sein als für PP-flex. So sind beispielsweise Einschlüsse oder Risse in (dünnen) Blasfolien durch nicht aufschmelzbare Bestandteile kritischer als in einer dickeren Spritzgussanwendung (Gespräche mit Hr. Dr. Christiani am 22.03.2023). In einer Studie der BKV wird „die spätere Rezyklatanwendung, bildlich gesprochen, als die Höhe der Hürde, die es für die Bewertungsgröße „Recyclingfähigkeit“ zu überwinden gilt“ (Beckamp und Christiani, 2023) beschrieben.

Für Anwender*innen des Mindeststandards sind die Rezyklatanwendungen von Interesse, wenn eine Recyclingunverträglichkeit im Anhang 2 des Mindeststandards 2025 bei einer Verpackung zutrifft und ein Einzelnachweis geführt werden soll. Die spezifische Rezyklatanwendung kann als Referenz für die Prüfmethode dienen. Weithin sind die Rezyklatanwendungen relevant für die Einstufung der Wertstoffe in Anhang 2 im Mindeststandard. Je hochwertiger die Rezyklatanwendung ist, desto strenger sind die Anforderungen an das Rezyklat und damit an den Wertstoff.

Abbildung 43: Rezyklatanwendungen der Referenzanlagen systembeteiligungspflichtiger Verpackungen (Bezugsjahre 2023/2024)⁸³

LDPE / Folien	Spritzguss, Extrusionsfolien/Thermoforms, Blasfolien, Extrusionsanwendungen
PP, PE, PO- und PP-flex	Spritzguss oder Schleuderguss , Extrusionsfolien/Thermoforms, Blasformen
PS	Spritzguss
PET-Flaschen (ohne Pfand)	PET-Folien, PET-Preforms, Polyesterfasern, Umreifungsbänder
Sonstige formstabile PET-Verpackungen	PET-Folien
Weißblech	Stahlprodukte , Gussanwendungen in Gießereien, Automobilindustrie, Verpackungen
Aluminium	Aluminiumgusslegierungen und -knetlegierungen, Verpackungen (z. B. Dosen), Automobilindustrie, Gießereihilfsmittel, Desoxidationsmittel
FKN	Wellpappenrohapiere , Hygienepapiere, Karton und Pappe (PolyAl: Spritzguss)
PPK aus LVP	Wellpappenrohapiere , Karton und Pappe
PPK (Blaues System)	Wellpappenrohapiere , Karton und Pappe, Hygienepapiere, sonstige Papiere
Behälterglas	Behälterglas

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt (mit Korrektur eines redaktionellen Versehens: Angabe „oder Schleuderguss“ bei PP, PE, PO- und PP-flex ergänzt)

⁸³ Fett formatierte Anwendungen kennzeichnen die dominanteste Anwendung. Wenn die dominanteste Anwendung aufgrund mangelnder Datenbasis unklar ist, ist keine der Anwendungen fett formatiert.

5 Quellenverzeichnis

- Beckamp, S. & Christiani, J. (2023). Vergleich unterschiedlicher Standards zur Bewertung der Recyclingfähigkeit von Kunststoffverpackungen. Schlussbericht. Im Auftrag von: BKV GmbH.
- BfR (2025). XXXVI. Empfehlung – Papiere, Kartons und Pappen für den Lebensmittelkontakt. Stand: 01.10.2025. <https://empfehlungen.bfr.bund.de/> (10.06.2026, abrufbar in deutscher und englischer Sprache).
- Bilitewski, B. & Härdtle, G. (2013). Abfallwirtschaft. 4. Auflage. Springer-Verlag Berlin.
- Blechtschmidt, J. (2011). Altpapier: Regularien – Erfassung – Aufbereitung – Maschinen und Anlagen – Umweltschutz. 1. Auflage. Carl-Hanser-Verlag GmbH & Co. KG.
- Brunn, M. (2024). APK skaliert Newcycling für post-consumer Abfälle. Website des RECYCLING magazin. <https://www.recyclingmagazin.de/2024/06/27/apk-skaliert-newcycling-fuer-post-consumer-abfaelle/> (10.06.2026).
- Bulach, W., Dehoust, G., Mayer, F. & Möck, A. (2022). Ökobilanz zu den Leistungen der dualen Systeme im Bereich des Verpackungsrecyclings. Ökoinstitut e.V. https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Duale_Systeme_Oekobilanz_Endbericht.pdf (10.06.2026).
- Bundesgesundheitsministerium (2025). Bundestag verabschiedet Verbot von Lachgas und K.O.-Tropfen. Pressemitteilung. <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/presse/pressemitteilungen/bundestag-verabschiedet-verbot-von-lachgas-und-ko-tropfen-pm-14-11-2025> (10.06.2026).
- Bundesregierung (2025). Gesetzentwurf der Bundesregierung: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Neue-psychoaktive-Stoffe-Gesetzes vom 02.07.2025. https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/Gesetze_und_Verordnungen/GuV/N/GE_NpSGAendG_ID.pdf (10.06.2026).
- Bünemann, A., Christiani, J., Kerkhoff, M. & Koch, S. (2016). Folgenabschätzung einer Ausweitung der Pfandpflicht für Saft-Einwegverpackungen auf das PET-Recycling. Institut cyclos-HTP GmbH. <https://www.cyclos-http.de/publikationen/studien-fachbeitr%C3%A4ge/> (10.06.2026).
- BV Glas, BDE & bvse. (2014). Leitlinie „Qualitätsanforderungen an Glasscherben zum Einsatz in der Behälterglasindustrie“ – Standardblatt T120.
- Christiani, J. (2023). Zertifikat für die Letztempfängeranlage PALUREC GmbH (Gültigkeit: 12.07.2025). <https://www.palurec.com/wp-content/uploads/2024/01/PALUREC-VerpackG-Zertifikat.pdf> (10.06.2026).
- Christiani, J. (2024). Welche Abfallfraktionen können noch zur hochwertigen Verwertung beitragen? Präsentation. BKV-Workshop zum Altkunststofftag 2024, Dresden.
- Christiani, J. & Beckamp, S. (2020). Was können die mechanische Aufbereitung von Kunststoffen und das werkstoffliche Recycling leisten? Energie aus Abfall, Band 17. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH.
- Dehoust, G., Hermann, A., Christiani, J., Bartnik, S., Beckamp, S. & Bünemann, A. (2021). Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG (UBA-TEXTE 11/2021). Umweltbundesamt. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-5771>.
- Der Grüne Punkt. (2004). Produktspezifikation Fraktions-Nr. 328-0.
- Der Grüne Punkt. (2014). Produktspezifikation 08/2024 Fraktions-Nr. 328-3 Misch-PET 50/50.
- Der Grüne Punkt. (2019). Product Specification 12/2019 Fraction-No. 328-6 PET-Trays.
- Der Grüne Punkt. (2024a). Rohstofffraktionsspezifikation 325 PET-Flaschen. <https://www.gruener-punkt.de/de/downloads> (10.06.2026).

Der Grüne Punkt. (2024b). Rohstofffraktionsspezifikation 328-1 Misch-PET 90-10. <https://www.gruener-punkt.de/de/downloads> (10.06.2026).

Der Grüne Punkt. (2024c). Rohstofffraktionsspezifikation 328-2 Misch-PET 70-30. <https://www.gruener-punkt.de/de/downloads> (10.06.2026).

Der Grüne Punkt. (2024d). Rohstofffraktionsspezifikation 328-5 PET-Schalen. <https://www.gruener-punkt.de/de/downloads> (10.06.2026).

Dorn (geb. Grummt), S. & Fabian, M. (2024). Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG 2022/2023 (UBA-TEXTE 121/2024). Umweltbundesamt. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7466>.

EREMA Engineering Recycling. (2024a). Bottle-to-Bottle – Technologien. https://www.erima.com/assets/media_center/folder/vacunite_vacurema_b2b_2024_11_de.pdf (10.06.2026).

EREMA Engineering Recycling. (2024b). ReFresher – Hocheffiziente Anti-Geruch-Technologie. https://www.erima.com/assets/media_center/folder/refresher_2024_12_de.pdf (10.06.2026).

EuPIA. (2021). Printing inks and Plastic Recycling – Q & A. https://www.eupia.org/wp-content/uploads/2022/09/Printing_inks_and_Plastic_Recycling_-_Q_A.pdf (10.06.2026).

Europäisches Parlament. (2024). Legislative Entschließung des Europäischen Parlaments vom 24. April 2024 zu dem Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Verpackungen und Verpackungsabfälle, zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und der Richtlinie (EU) 2019/904 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 94/62/EG (COM(2022)0677 – C9-0400/2022 – 2022/0396(COD)).

EUWID Verpackung. (2021). Getränkekartons: Neue Palurec-Recyclinganlage nimmt offiziell den Betrieb auf. <https://www.euwid-verpackung.de/news/unternehmen/recycling-von-kunststoff-und-aluminumresten-aus-getraenkekartons/> (10.06.2026).

EUWID Papier und Zellstoff. (2024). Entscheidung zur Schließung der Papierfabrik Raubling noch nicht gefallen. <https://www.euwid-papier.de/news/unternehmen/entscheidung-ueber-papierfabrik-raubling-noch-nicht-gefallen-160524/> (10.06.2026).

EUWID Verpackung. (2022). EPS-Rezyklate bald aus dem Gelben Sack? Hersteller nach Versuchen zuversichtlich. EUWID Verpackung, Ausgabe 41/2022. EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH. <https://www.euwid-verpackung.de/news/markt/eps-rezyklate-bald-aus-dem-gelben-sack-hersteller-nach-versuchen-zuversichtlich-141022/> (10.06.2026).

EUWID Verpackung. (2024). Faerch nimmt Recyclingwerk für PET-Schalen in Betrieb. <https://www.euwid-verpackung.de/news/unternehmen/faerch-nimmt-recyclingwerk-fuer-starre-lebensmittelverpackungen-in-betrieb-290424/> (10.06.2026).

Fachbereich Umweltschutztechnik. (2019). VDI-Richtlinie 2095 – Blatt 3. Emissionsminderung – Abfallbehandlung – Anlagen zur Behandlung von Abfallgemischen aus der haushaltsnahen Wertstofferrfassung und von gemischten Gewerbeabfällen. Verein Deutscher Ingenieure e.V.

Fischer, S. (2021). Gezieltes Training muss sein – Interview mit Hendrik Beel, Geschäftsführer Steinert Unisort. PLASTVERARBEITER. <https://www.plastverarbeiter.de/verarbeitungsverfahren/kunststoffrecycling/gezieltes-training-muss-sein-576.html> (25.07.2024).

FKN. (o. J.). Der Getränkekarton. FKN. <https://www.getraenkekarton.de/getraenkekarton/> (10.06.2026).

FKN. (2024). Eröffnung der 2. Recyclinganlage für Poly-Al aus Getränkekartons. <https://www.getraenkekarton.de/eroeffnung-der-zweiten-polyal-recyclinganlage-fuer-getraenkekartons/> (10.06.2026).

Fraunhofer IVV (2025). Kunststoffe im Kreislauf halten mit dem lösemittelbasierten Recyclingverfahren des Fraunhofer IVV. Pressemitteilung vom 28. Juli 2025.

<https://www.ivv.fraunhofer.de/de/presseinformationen/loesemittelbasiertes-recyclingverfahren-fuer-kreislaufwirtschaft.html> (10.06.2026).

Friedl, C. (2022). Zero Waste mit Ansage. RECYCLING magazin, Ausgabe 07/2022.

GDA. (2017). Aluminium in der Verpackung – Herstellung, Anwendung, Recycling. Gesamtverband der Aluminiumindustrie E.V. <https://www.aluminiumdeutschland.de/wp-content/uploads/2022/11/GDA-Aluminium-in-der-Verpackung.pdf> (09.03.2026).

Grummt, S. (2022). Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG 2020/2021 (UBA-TEXTE 125/2022). Umweltbundesamt. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-6391>.

Grummt, S. & Fabian, M. (2023). Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG 2021/2022 (UBA-TEXTE 120/2023). Umweltbundesamt. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-5951>.

Gürlich, U., Kladnik, V. & Pavlovic, K. (2022). Circular Packaging Design Guideline – Empfehlungen für recyclinggerechte Verpackungen.

<https://digital.obvsg.at/obvfcwacc/download/pdf/8086818?originalFilename=true> (10.06.2026).

GVM. (2024). Substitution von Kunststoffverpackungen durch Papierverbunde unter Berücksichtigung monetärer Lenkungsmaßnahmen. Präsentation. Im Auftrag von: IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V.

<https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/wp-content/uploads/posts/31181->

[2024_04_IK_GVM_Substitution%20von%20Kunststoffverpackungen%20durch%20Papierverbunde_Beru%CC%88cksichtigung%20moneta%CC%88rer%20Lenkungsma%C3%9Fnahmen_2022-2030_Effekte%20Lenkungsma%C3%9Fnahmen.pdf](https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/wp-content/uploads/posts/31181-2024_04_IK_GVM_Substitution%20von%20Kunststoffverpackungen%20durch%20Papierverbunde_Beru%CC%88cksichtigung%20moneta%CC%88rer%20Lenkungsma%C3%9Fnahmen_2022-2030_Effekte%20Lenkungsma%C3%9Fnahmen.pdf) (25.07.2024).

Hahn, R. (2020). Altglas: Auch Scherben müssen sterben. Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ.NET).

<https://www.faz.net/aktuell/wissen/physik-mehr/glasrecycling-und-die-frage-wie-braun-gruenglas-sein-darf-16477454.html> (10.06.2026).

Hamidović, J. (1996). Industrielle Konzepte zum Altglasrecycling: Eine technisch-wirtschaftliche Analyse unter besonderer Berücksichtigung der Situation in Baden-Württemberg. Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften.

Heinen, M. & Bildstein, C. (2022). Glasrecycling. P. Kurth, A. Oexle und M. Faulstich (Hrsg.), Praxishandbuch der Kreislauf- und Rohstoffwirtschaft (2. Auflage, S. 297 ff.). Springer Vieweg Wiesbaden.

IK e.V. (2021). Positionspapier der IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen – Gegenwart und Ausblick: Recycling von PET-Schalen. Bad Homburg. <https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/wp-content/uploads/2021/08/ik-positionspapier-pet-schalen.pdf> (09.03.2026).

Institut cyclos-HTP GmbH. (2022). Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit – Anforderungs- und Bewertungskatalog des Institutes cyclos-HTP zur EU-weiten Zertifizierung CHI-Standard. Fassung 5.1. <https://www.cyclos-http.de/publikationen/a-b-katalog/> (25.07.2024).

Institut cyclos-HTP GmbH. (2025). Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit – Anforderungs- und Bewertungskatalog des Institutes cyclos-HTP zur EU-weiten Zertifizierung CHI-Standard. Fassung 6.1. <https://www.cyclos-http.de/publikationen/a-b-katalog/> (29.09.2025).

Interzero. (o. J.). Hightech für hochwertige Recyclingkunststoffe.

<https://www.interzero.de/leistungen/kunststoffrecycling/recycling-und-sortierung/> (10.06.2026).

Kaeding-Koppers, A. (2023). PrintCYC liefert wichtigen Input für „Design for Recycling“-Richtlinien – Industrielle Forschung über den Einfluss von Druckfarben auf die Recyclingfähigkeit von Kunststoff-Folien. Flexo+Tief-Druck, 34. Jahrgang, S. 10-11.

Kauertz, B. & Detzel, A. (2017). Verwendung und Recycling von PET in Deutschland. Verwendung von PET und PET Rezyklaten aus Verpackungen in Deutschland. Eine Kurzstudie im Auftrag des NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V. IFEU. Heidelberg.

https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/veranstaltungen/171025-nabu-01b_studie_verwendung-und-recycling-pet-deutschland.pdf (10.06.2026).

Kitzberger, C. (2017). Geruchsbildung hoch zwei – Post-Consumer-Rezyklate zur Geruchsverbesserung aufbereiten. Kunststoffe, Ausgabe 6/2017. Carl Hanser Verlag. München.

Knappe, F., Reinhardt, J., Kauertz, B., Oetjen-Dehne, R., Buschow, N., Ritthoff, M., Wilts, H., & Lehmann, M. (2021). Technische Potenzialanalyse zur Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes (UBA-TEXTE 92/2021). Umweltbundesamt. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-6116>.

KOM. (2022a). Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL – on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC, COM/2022/677 final, 2022/0396(COD). Brüssel. 30.11.2022.

KOM. (2022b). Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL – on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 94/62/EC. Brüssel. 2022. Geleakte Fassung.

Krone, K. (2000). Aluminiumrecycling: Vom Vorstoff bis zur fertigen Legierung. Vereinigung Deutscher Schmelzhütten e. V. [Hrsg.]. Aluminiumverlag. Düsseldorf.

KRS Recycling Systems GmbH. (o.J.). Separatoren – Separationstechnik für Glasrecyclinganlagen – SPEKTRUM SEPARATOR (Freifall System). <https://www.recyclingsystems.de/wp/> (10.06.2026).

Kuchta, K., Guo, J., Woidasky, J., Auer, M., Schmidt, J., Pomberger, R., Tischberger-Aldrian, A., Kuhn, N. & Anditsch, A. (2023). Vorstudie: Vergleich innovativer Identifikationsverfahren für Post Consumer Leichtverpackungen. Endbericht. Im Auftrag von: Hamburg Institute for Innovation, Climate Protection and Circular Economy GmbH (HiCCE). Für: Forum Rezyklat GS1 Germany GmbH. https://www.forum-rezyklat.de/fileadmin/user_upload/20230606_FR_FP2_Endbericht_Vorstudie_Rev.1.0.pdf (10.06.2026).

Lang, S. (2022). Großbrand in Eittinger LVP Sortieranlage von Prezzero. EUWID Recycling und Entsorgung, Ausgabe 48/2022. EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH. <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/grossbrand-in-eittinger-lvp-sortieranlage-von-prezzero-291122/> (10.06.2026).

Lang, S. (2023). Remondis eröffnet neue Nachsortieranlage in Bochum. EUWID Recycling und Entsorgung, Ausgabe 25/2023. EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH. <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/remondis-eroeffnet-neue-nachsortieranlage-in-bochum-150623/> (10.06.2026).

Lang, S. (2024). Umweltministerkonferenz besorgt über starke Zunahme faserbasierter Verbunde. EUWID Recycling und Entsorgung, Ausgabe 24/2024. EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH. <https://www.euwid-recycling.de/news/politik/umweltministerkonferenz-besorgt-ueber-starke-zunahme-faserbasierter-verbunde-100624/> (10.06.2026).

Lang, S. (2025). Krise beim Kunststoffrecycling: Saperatec in Insolvenz. EUWID Recycling und Entsorgung, Ausgabe 32/2025. EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH. <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/krise-beim-kunststoffrecycling-saperatec-in-insolvenz-040825/> (10.06.2026).

Lindner, C., Hein, J. & Fischer, E. (2019). Aufkommen, Abfallströme und Verwertung von EPS Verpackungsabfällen in Deutschland. Präsentation. Conversio Market & Strategy GmbH. Im Auftrag von: EPSY

Recyclingforum. Bad Homburg. <https://kunststoffverpackungen.de/wp-content/uploads/2022/02/Conversion-Report-IK-EPS-20022020.pdf> (10.06.2026).

Martens, H. & Goldmann, D. (2016). Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis. Springer-Verlag.

Mayer, F., Möck, A., Bulach, W. & Dehoust, G. (2022). Ökobilanz zu den Leistungen der dualen Systeme im Bereich des Verpackungsrecyclings. Müll und Abfall, Band 10, S. 546–554.

MDR Sachsen-Anhalt (2025). Recycling-Unternehmen gibt Standort in Merseburg auf. <https://www.mdr.de/nachrichten/sachsen-anhalt/halle/saalekreis/merseburg-chemieunternehmen-will-standort-aufgeben-102.html> (10.06.2026).

Mirosavljevic, S. (2021). TUBEX und PreZero Pyral geben Zusammenarbeit bekannt. Tubex Packaging GmbH. Rangendingen. <https://tubex.de/tubex-und-prezero-pyral-geben-zusammenarbeit-bekannt/> (10.06.2026).

Nüßler, D. (2016). Schwarze Kunststoffe sortenrein trennen. Forschung kompakt. Fraunhofer FHR.

Palurec GmbH. (o. J.). Palurec GmbH – PE-Alu-Recycling gebrauchter Getränkekartons. <https://www.palurec.com/> (10.06.2026).

Pramer, J. & Huber, R. (2014). Neue Methoden zur Effizienzsteigerung von optischen Sortiergeräten am Beispiel der Glassortierung. Recycling und Rohstoffe, Band 7, S. 483–492. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky.

PreZero. (2022). PreZero nimmt Europas modernste Sortieranlage für Leichtverpackungen in Betrieb. <https://prezero-international.com/press/2022/prezero-nimmt-europas-modernste-sortieranlage-fuer-leichtverpackungen-in-betrieb> (10.06.2026).

PreZero Pyral. (o. J.). Eigens entwickelte Systeme. PreZero Pyral. <https://www.prezero-pyral.com/eigens-entwickelte-systeme/> (10.06.2026).

Raatz, Seidel, Tuma, Thorenz, Helbig, Reller, Faulstich, Joachimsthaler, C., Steger, S., Hagedorn, W., Bickel, Liedtke. (2022). OptiMet – Ressourceneffizienzsteigerung in der Metallindustrie—Substitution von Primärrohstoffen durch optimiertes legierungsspezifisches Recycling. Abschlussbericht. UBA-TEXTE 81/2022. Umweltbundesamt. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-6369>.

Rat der Europäischen Union. (2024). Verpackungen: Rat und Parlament erzielen Einigung über nachhaltigere Verpackungen und Verringerung von Verpackungsabfällen in der EU. Pressemitteilung. <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2024/03/04/packaging-council-and-parliament-strike-a-deal-to-make-packaging-more-sustainable-and-reduce-packaging-waste-in-the-eu/> (10.06.2026).

REDWAVE. (2024). REDWAVE XRF – Leistungsstarke Sortierung von Nichteisenmetallen. https://redwave.com/fileadmin/user_upload/redwave/download/REDWAVE_Folder_XRF_2024_DE.pdf (10.06.2026).

REDWAVE. (2022). REDWAVE CX – Leistungsstarke Farbsortierung und störfstoffabscheidung für Glasrecycling. https://redwave.com/fileadmin/user_upload/redwave/download/REDWAVE_Folder_CX_2022_DE.pdf (10.06.2026).

Reissner, A. (2021). PreZero-Pyral – 15 years of circular economy. https://www.reikan-group.com/wp-content/uploads/2021/07/Praesentation-Pyral_2021.pdf (10.06.2026).

Riebling, E. (2022). „Design for Recycling“ neues Element im EU-Verpackungsrecht. EUWID Recycling und Entsorgung, Ausgabe 43/2022. EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH. <https://www.euwid-recycling.de/news/politik/design-for-recycling-neues-element-im-eu-verpackungsrecht-251022/> (10.06.2026).

Saperatec GmbH (o. J.). Saperatec eröffnet Werk zur Produktion von Folienkunststoff aus Verbundverpackungsabfall in Dessau Roßlau. <https://saperatec.de/news/saperatec-eroffnet-werk/> (09.03.2026).

Sauter, A., Hochstädt, D., Seelig, J. H., Hansen, F. & Zeller, T. (2021). Grundsätzliche Ansätze zur Verbesserung der Ressourceneffizienz in der Metallindustrie. Chemie Ingenieur Technik, 93(11), 1728–1741.
<https://doi.org/10.1002/cite.202100123> (10.06.2026).

Schmitz, H. (2019). „Ressourcenschonung durch Steigerung der Sortiereffizienz bei der Aufbereitung von Verpackungsabfallgemischen“. BMU-Umweltinnovationsprogramm. Abschlussbericht. MEILO Gesellschaft zur Rückgewinnung sortierter Werkstoffe mbH & Co. KG. Gernsheim.

Schneider, W. (2015). Wahrscheinlichkeiten. W. Schneider [Hrsg.], Mathematik für die berufliche Oberschule. Springer Spektrum.

Schüler, K. & Wilhelm, J. (2023). Ermittlung des Anteils hochgradig recyclingfähiger systembeteiligungspflichtiger Verpackungen auf dem deutschen Markt (UBA-TEXTE 78/2023). Umweltbundesamt. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7122>.

Seifert, E. (2019). Metallrecycling – Aluminium-Recycling im Backofen. <https://www.ingenieur.de/fachmedien/umweltmagazin/abfall-und-kreislauf/aluminium-recycling-im-backofen/> (09.03.2026).

Steinert. (2023). Abfallrecycling – KI-basierte Sortiertechnologien von STEINERT schaffen neue Kreisläufe bei RE Plano. <https://steinertglobal.com/de/unternehmen/neuigkeiten/news-detail/ki-basierte-sortiertechnologien-von-steinert-schaffen-neue-kreislaeufe-bei-re-plano/> (10.06.2026).

Storck, S. (2024). Saperatec eröffnet Werk für Verbundverpackungsrecycling in Dessau. EUWID Recycling und Entsorgung, Ausgabe 21/2024. EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH. <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/saperatec-eroeffnet-werk-fuer-verbundverpackungsrecycling-in-dessau/> (10.06.2026).

Szombathy, M. (2021). Kunststoffrecycling: Geruchsreduktion wird zum unverzichtbaren Qualitätslevel. <https://recyclingportal.eu/archive/63918> (10.06.2026).

Thissen, K. (2022). Verfahrenstechnik aktuell – Intelligente LVP-Sortierung: Kooperation schafft Innovation. recyclingnews – Das Magazin der Recycling-Branche. <https://www.recyclingnews.de/umweltservices/intelligente-lvp-sortierung-kooperation-schafft-innovation/> (25.07.2024).

Tschachtli, S., Pitschke, T., Kreibe, S. & Martin, A. (2019). Recyclingfähigkeit von Verpackungen – Konkretisierung Untersuchungsrahmen und Kriterienkatalog. bifa Umweltinstitut. Bericht. Im Auftrag von: Interseroh Dienstleistungs GmbH. https://www.interzero.de/fileadmin/PDF/Broschueren_und_Informationsmaterial/530592_Recyclingfaehigkeit_Bewertungskatalog_v6_4_002_oeffentlicher_Download.pdf (10.06.2026).

Veolia (o. J.). Recycling nach dem URRG-Verfahren. <https://www.veolia.de/veolia-pet-germany-gmbh-urrc-verfahren> (10.06.2026).

Wünsch, J. (2021). Analyse der Auswirkungen der freiwilligen Einführung der Wertstofftonne durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger bis zum Jahr 2018. Masterarbeit. Hochschule Magdeburg-Stendal.

ZSVR. (2020). Prüfleitlinien Mengenstromnachweis Systeme – zur Prüfung der Erfüllung der Nachweispflichten der Systeme im Rahmen des Mengenstromnachweises gemäß § 17 Absatz 2 VerpackG (im Einvernehmen mit dem Bundeskartellamt gemäß § 26 Absatz 1 Satz 2 Nummer 28 VerpackG). https://www.verpackungsregister.org/fileadmin/files/Pruefleitlinien/Pruefleitlinien_Mengenstromnachweis_Systeme_2020.pdf (10.06.2026).

ZSVR. (2021). Der Beirat der ZSVR empfiehlt Pfandlösung für dickwandige Gasdruckflaschen und—Kartuschen. Pressemitteilung. <https://www.verpackungsregister.org/stiftung-und-behoerde/gremien/beirat/beiratsempfehlungen> (10.06.2026).

ZSVR. (2023). Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG – Ausgabe 2024. Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister. <https://www.verpackungsregister.org/stiftung-behoerde/mindeststandard-21/ausgabe-2023> (10.06.2026).

ZSVR. (2024). Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG – Ausgabe 2024. Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister. https://www.verpackungsregister.org/fileadmin/files/Mindeststandard/Mindeststandard_VerpackG_2024.pdf (10.06.2026).

ZSVR (2024b). Recyclingquoten 2023. https://www.verpackungsregister.org/fileadmin/files/Presse/ZSVR_Auswertung_Recyclingquoten_2018-2023.pdf (10.06.2026).

ZSVR. (2025). Entwurf für die Konsultation – Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG. Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister. <https://www.verpackungsregister.org/stiftung-behoerde/behoerdliches-handeln/konsultationsverfahren/mindeststandard> (09.03.2026).

A Erhebungsbögen

A.1 LVP-Sortieranlagen

A.1.1 Erhebungsbogen LVP-Sortieranlagen

Erhebungsbogen LVP-Sortierung

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen
ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer LVP-Sortierung				
1.1 Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:				
< 30.000 t/a	30.000 bis 60.000 t/a	60.000 bis 100.000 t/a	100.000 bis 150.000 t/a	> 150.000 t/a
☐	☐	☐	☐	☐
1.2 Die tatsächliche Verarbeitungsmenge für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 10.000 t/a) betrug ¹				
im Jahr 2023: t/a			Bemerkungen:	
1.3 Die prognostizierte Verarbeitungsmenge für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 10.000 t/a) beträgt ¹				
im Jahr 2024: t/a			Bemerkungen:	

¹ Wurde die Anlage in 2023 bzw. 2024 nicht mehr betrieben und ist eine Wiederaufnahme des Betriebes für Systemmengen nicht mehr abzusehen, tragen Sie bitte in Feld unter Punkt 1.2 eine 0 ein (auch wenn noch Übertragungsmengen aus 2022 bzw. 2023 aufbereitet wurden). Die Beantwortung der nachstehenden Fragen ist in diesem Fall entbehrlich.

Erhebungsbogen LVP-Sortierung

2 Praktisch sortierbare Formate				
2.1 Bei welchem Trennschnitt bzw. bei welcher Maschenweite erfolgt aktuell die Feinkornabtrennung mit dem Ziel der Störstoffabtrennung?				
≤ 20 mm (inkl. Langlochmaschine ca. 20 mm x 40 mm)	30 mm	40 mm – 60 mm	Sonstige	
☐	☐	☐	☐	
Sonstige bitte näher erläutern:				
2.2 Wird das Feinkorn vor der Ausschleusung als Sortierrest noch weiteren Prozessoperationen unterzogen? Wenn ja welchen?				
nein	Magnetscheidung	Wirbelstromscheidung	NIR	Sonstige
☐	☐	☐	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:				

Erhebungsbogen LVP-Sortierung

3 Sortierfraktionen und jeweils maßgeblicher Sortierprozess						
Welche Sortierfraktionen wurden von Ihnen aktuell regelmäßig für ein Recycling aussortiert und bereitgestellt (Probeladungen zählen nicht)? Welche Sortierverfahren wurden von Ihnen aktuell maßgeblich verwendet? ²						
Fraktionsnummer	Bezeichnung	Ja, wird produziert und für ein Recycling bereitgestellt	Falls ja angekreuzt, Sortierverfahren:			
			Manuelle Sortierung	Mechanische Sortierung	Automatische Sortierung	Sonstige/Bemerkungen (ggf. Hinweis, wenn Fraktion nur anteilig einem Recycling zugeführt wird)
310-0/ 310-1	Kunststofffolien	☐	☐	☐ Windsichtung ☐ Ballistische Separation	☐ NIR-Sortierung LDPE ³ ☐ nur Großformate aus Siebschnitt +220 mm o.ä. ☐ inkl. mittlere Formate aus Siebschnitt +140 mm o.ä. ☐ inkl. Kleinformate (über alle Siebschnitte)	
320	Gemischte Kunststoff-Flaschen	☐	☐		☐ NIR-MKS	
321	PO-Kunststoff-Flaschen	☐	☐		☐ NIR-MPO	
322	Kunststoff-Hohlkörper	☐	☐		☐ NIR-PE/PP	

² Bitte geben Sie nur den für die Aussortierung entscheidenden Sortierprozess an: Bsp.: Bei einer Aussortierung über NIR mit manueller Kontrollsortierung geben sie bitte nur NIR an.

Bitte kreuzen Sie „manuelle Sortierung“ nur dann an, wenn das Sortierprodukt positiv manuell sortiert wird.

Bitte „Sonstige“ ergänzen, wenn die vorgeschlagenen Ankreuzmöglichkeiten nicht zutreffen.

³ Die Abfrage bezieht sich auf 310-0/310-1 und nicht die Fraktion 323-2 PO-flex oder 324-2 PP-flex.

Erhebungsbogen LVP-Sortierung

323	Gemischte Polyolefin-Artikel (MPO)	☐		☐ Windsichtung (nur Windsichterleichtgut, wenn als MPO bereitgestellt)	☐ NIR-MPO	
323-2	Flexible PO-Artikel	☐		☐ Windsichtung (nur Windsichterleichtgut, wenn als PO-flex bereitgestellt)	☐ NIR-MPO ☐ NIR-LDPE	
324	Polypropylen	☐			☐ NIR-KA	
324-1	Polypropylen-plus	☐			☐ NIR-KA	
324-2	PP-Folie / PP-flex	☐			☐ NIR-PP	
325	PET-Flaschen transparent	☐	☐		☐ NIR-MPO	
328-0	PET-Gemisch	☐			☐ NIR-PET + manuelle Sortierung	
328-1	Misch-PET (90/10)	☐			☐ NIR-PET + manuelle Sortierung	Werden Multilayer-PET-Schalen (z. B. mit PE oder PA) ausgeschleust?
328-2	Misch-PET (70/30)	☐			☐ NIR-PET + manuelle Sortierung	Werden Multilayer-PET-Schalen (z. B. mit PE oder PA) ausgeschleust?
328-3	Misch-PET (50/50)	☐			☐ NIR-PET + manuelle Sortierung	Werden Multilayer-PET-Schalen (z. B. mit PE oder PA) ausgeschleust?
328-5	PET-Schalen	☐			☐ NIR-PET + manuelle Sortierung	Werden Multilayer-PET-Schalen (z. B. mit PE oder PA) ausgeschleust?
328-6	PET-Schalen	☐			☐ NIR-PET + manuelle Sortierung	
329	Polyethylen	☐			☐ NIR-KA	
330	Becher	☐	☐		☐ NIR-KA	

Erhebungsbogen LVP-Sortierung

331	Polystyrol	☐			☐ NIR-KA	
340	Expandiertes Polystyrol	☐	☐		☐ NIR-EPS	
350	Mischkunststoffe	☐			☐ NIR-MKS	
351-(1-4)	Formstabile Kunststoffe Qualität 1-4	☐			☐ NIR-MKS	
351-5	Schwarze Kunststoffe	☐	☐		☐ Black Scan oder laserbasiert	
352	Mischkunststoffe Neu	☐			☐ NIR-MK	
410/412	Weißblech, Weißblech Spez. 2014	☐		☐ Magnetscheidung		
420	Aluminium	☐		☐ Wirbelstrom-scheidung		
510	Flüssigkeitskartons	☐			☐ NIR-FKN	
512	Flüssigkeitskartons/Getränkekartons	☐			☐ NIR-FKN	
550	PPK aus LVP	☐	☐		☐ NIR-PPK	Zu welchen Anteil wurde Fraktion 550 im Jahr 2024 ungefähr einem Recycling und zu welchem Anteil einer energetischen Verwertung zugeführt? Recycling: _____ % Energetische Verwertung: _____ %
Sonstige Fraktionen und maßgebliche Sortierverfahren bitte benennen (z. B. Holz, Textilien, Glas, PVC, PLA, Keramik, Farbsortierung):						

Erhebungsbogen LVP-Sortierung

4 Einschätzung zur Sortierbarkeit und Trennbarkeit							
4.1 Welche Verpackungsmerkmale erschweren die Trennung und Sortierung in der sensorgestützten Sortierung? Kreuzen Sie im Zweifel „Weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen an“. Spekulationen sind nicht zielführend.							
Beschreibung		Weiß nicht / kann ich nicht sicher sagen	Merkmal verursacht Störungen im Sortierprozess (z.B. Ausfallzeit, Verstopfung oder Beschädigung der Anlage)	Merkmal verschlechtert Trenn-/ Sortierbarkeit...		Kein Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung (z. B. zur weiteren Differenzierung)
				geringfügig	drastisch		
Kunststoffverpackungen	Großflächige Etikettierung (> 50 % der projizierten Fläche) mit Fremdmaterial	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fullsleeve-Etikettierung	☐	☐	☐	☐	☐	Welche Materialkombinationen sind kritisch?
	Multilayer-Aufbau (außer PE-/ PP-EVOH)	☐	☐	☐	☐	☐	
	Metallisierung (außer innwändig/in der Mittelschicht metallisiert)	☐	☐	☐	☐	☐	
	Farbgebung unter Verwendung rußbasierter Pigmente (auch bei Verwendung in innenliegenden Layern)	☐	☐	☐	☐	☐	
	> 50 % vollflächig schwarz bedruckt (inkl. Fondfarbe) unter Verwendung rußbasierter Pigmente	☐	☐	☐	☐	☐	
	Unterschiedliche Kunststoffarten auf Vorder- und Rückseiten	☐	☐	☐	☐	☐	
	Großflächig (> 50 % der Oberfläche) aufgebrachte Metallpigmente (Lackierung, Beschichtung oder Prägung)	☐	☐	☐	☐	☐	

Erhebungsbogen LVP-Sortierung

	Netze	☐	☐	☐	☐	☐	
	Sleeves mit Lichtschutz (schwarz oder Metallisierung)	☐	☐	☐	☐	☐	
Faserbasierte Verbundverpackungen und PPK-Verpackungen	vollflächig lackierte Oberfläche	☐	☐	☐	☐	☐	
	kunststoffbeschichte Oberfläche	☐	☐	☐	☐	☐	
	großflächig (> 50 % der projizierten Fläche) aufgebrachte Metallpigmente (Lackierung, Bedruckung, Beschichtung oder Prägung)	☐	☐	☐	☐	☐	
	schwarz durchgefärbt unter Verwendung rußbasierter Pigmente	☐	☐	☐	☐	☐	
	> 50 % vollflächig schwarz bedruckt (inkl. Fondfarbe) unter Verwendung rußbasierter Pigmente	☐	☐	☐	☐	☐	
FKN	Vom Standardaufbau (nicht nassfest ausgerüsteter Karton, PE ± Alu) abweichende Ausführung	☐	☐	☐	☐	☐	
	großflächig (> 50 % der projizierten Fläche) aufgebrachte Metallpigmente (Lackierung, Bedruckung, Beschichtung oder Prägung)	☐	☐	☐	☐	☐	
	> 50 % vollflächig schwarz bedruckt (inkl. Fondfarbe) unter Verwendung rußbasierter Pigmente	☐	☐	☐	☐	☐	

Erhebungsbogen LVP-Sortierung

4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand und/oder Gesundheitsgefährdung fürs Personal verursachen können)?				
Beschreibung	Merkmal verursacht Störungen im Sortierprozess (z.B. Ausfallzeit, Verstopfung oder Beschädigung der Anlage)	Merkmal verschlechtert Trenn-/ Sortierbarkeit...		Erläuterung
		geringfügig	drastisch	
	☐	☐	☐	
	☐	☐	☐	
4.3 Hat sich der Anteil der Sortierreste im Vergleich zum Vorjahr geändert? Falls ja, worauf führen Sie dies zurück?				

A.1.2 Fragenkatalog LVP-Sortieranlagen

1a. Wie hoch war die tatsächliche Verarbeitungsmenge für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 10.000 t/a) im Jahr 2023 ?					
1b. Wie hoch ist die prognostizierte Verarbeitungsmenge für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 10.000 t/a) im Jahr 2024 ?					
2. Wurden die folgenden Fraktionen in 2024 bzw. aktuell <u>einem Recycling zugeführt</u> ? Antwortmöglichkeiten: ja / nein / teilweise. Wenn „teilweise“ zu welchem Anteil wurden sie einem Recycling und zu welchem Anteil einer energetischen Verwertung zugeführt?					
	ja	nein	teilweise	% energetische Verwertung	
Fraktion 550 „PPK aus LVP“					
Fraktion 328-5 „PET-Schalen“					
Fraktion 328-6 „PET-Schalen“					
Fraktion „PP-Folien“ (gemeint sind hier nicht PO-flex 323-2 oder Fraktion 310 oder 310-1). Gibt es neben der Fraktion 324-2 weitere Fraktionsnummern für PP-Folie?					
3. Produzierte Ihre Anlage im Jahr 2024 neue Fraktionen, die einem Recycling zugeführt wurden, die 2023 noch nicht produziert wurden (z. B. Fraktion 340 EPS)?					
4. Sind im Jahr 2024 von Ihnen produzierte Fraktionen, die zuvor einem Recycling zugeführt wurden, auf eine Zuführung zur energetischen Verwertung umgestellt worden?					
5a. Haben Sie in 2024 die Feinabsiebung umgestellt? Wenn ja, auf welche Maschenweite (Antwortmöglichkeiten: 20 mm, 30 mm oder 40 – 60 mm)?					
5b. Haben Sie die Prozesstechnik, auf die der abgesiebte Sortierrest trifft, in 2024 umgestellt (Wirbelstromabscheidung, Magnetabscheidung, NIR)?					
6. Gibt es <u>seit 2023 neue</u> kritische Verpackungsmerkmale oder Verpackungen, die eine Trennung oder Sortierung erschweren und die Sie uns gern mitteilen möchten (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand verursachen können (z.B. im Zusammenhang mit faserbasierten Verpackungen)?					
7. Hat sich der Anteil der Sortierreste im Vergleich zum Vorjahr geändert? Falls ja, worauf führen Sie dies zurück?					

A.2 Erhebungsbogen Kunststofffolien-Verwertung

Erhebungsbogen Verwertung von Kunststofffolien

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen
ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage				
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:				
< 5.000 t/a	5.000 bis 10.000 t/a	10.000 bis 15.000 t/a	15.000 bis 20.000 t/a	> 20.000 t/a
☐	☐	☐	☐	☐
2 Inputqualitäten und Produkte				
2.1 Werden im Recyclingprozess neben der Fraktion 310/310-1 auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland eingesetzt?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche (z.B. 323-2)?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü (gemeinsame Verarbeitung)		
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.2 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ nein ☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Sonstige (bitte benennen):				

Erhebungsbogen Verwertung von Kunststofffolien

2.3 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:			
gewaschenes Mahlgut	gewaschenes Agglomerat	Regranulat	Sonstige (z. B. Intrusionsprodukte ¹)
☐	☐	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:			
2.4 Werden neben LDPE-Folien weitere Materialien einem Recycling zugeführt (z. B. PP, MPO)? Wenn ja, separat oder gemeinsam?			
☐ ja, folgende: und zwar: ☐ separat ☐ gemeinsam ☐ nein			
2.5 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren mengenmäßigen Anteil an (gerundet auf 10 %).			
Anwendung:			Anteil:
☐ keine Aussage / unbekannt			%
☐ Blasfolien			%
☐ Extrusionsfolien / Thermoforms			%
☐ Spritzguss			%
☐ Intrusionsprodukte			%
☐ Extrusionsanwendungen (z.B. Ummantelungen)			%
☐ Sonstige (bitte benennen):			%
3 Prozesstechnik			
3.1 Wird die Folienfraktion zur Anreicherung von PE-Folien einer Vorsortierung auf PP-Folien unterzogen?			
nein	ja, manuell	ja, über NIR	ja, über sonstige Techniken
☐	☐	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:			
3.2 Welche der folgenden Prozesstechniken werden aktuell realisiert?			
Prozesstechnik	ja	Bemerkungen	
Zerkleinerung	☐		
Wäsche/Reinigung	☐		
Dichtentrennung bei 1 g/cm ³ (z. B. Schwimm-Sink-Trennung)	☐		
Trocknung (thermisch)	☐		

¹ Pressformen z.B. Anschmelzen (über Kurzschneckenextruder) und Umformen über Pressen.

Erhebungsbogen Verwertung von Kunststofffolien

Extrusion mit Schmelzefiltration	☐					
Alternative und additive Prozessstufen (z. B. lösemittelbasierte Verfahren; stoffliche oder farbliche Sortierung der Verpackung, Vakuumextraktion/Dekontamination; Deinking zur Entfernung von Druckfarben)	☐	Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:				
3.3 Welche Art von Wäsche/Reinigung findet statt und bei welcher ungefähren Temperatur erfolgt die Wäsche?						
☐ Trockenreinigung ☐ Kaltwäsche ☐ Heißwäsche ☐ Sonstige (bitte benennen):						
°C						
Erfolgt die Wäsche/Reinigung unter Einsatz von Detergenzien?						
☐ ja ☐ nein						
4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen						
4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „Weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen“. Spekulationen sind nicht zielführend.						
Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung, mangelnde Siegelfähigkeit)		
Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Zelluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt	☐	☐	☐	☐	☐	
Klebstoffkaschierte PA-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Schichten in PE-PA-Coex-Folien	☐	☐	☐	☐	☐	
PE-X-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	

Erhebungsbogen Verwertung von Kunststofffolien

PVDC-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
Sonstige Nicht-PE-Polymerschichten (außer Haftvermittler, Klebstoffe, PP, EVA, EVOH)	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht-Polymerschichten (außer SiOx/AlOx/Metallisierung)	☐	☐	☐	☐	☐	
Nitrocellulose-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PVC-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PU-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
Reste von Etikettenklebstoffen	☐	☐	☐	☐	☐	
4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?						
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung		
		geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung, mangelnde Siegfähigkeit)			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

² Liegen Ihnen hierzu nähere Erkenntnisse oder Studien vor?

A.3 Erhebungsbogen PP-Verwertung

Erhebungsbogen Verwertung von PP

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage				
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:				
< 5.000 t/a	5.000 bis 10.000 t/a	10.000 bis 15.000 t/a	15.000 bis 20.000 t/a	> 20.000 t/a
☐	☐	☐	☐	☐
2 Inputqualitäten und Produkte				
2.1 Werden im Recyclingprozess neben der Fraktion 324 auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland eingesetzt?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche (z.B. 322, 323, 329, 351)?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü (gemeinsame Verarbeitung)		
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.2 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ nein ☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Sonstige (bitte benennen):				
2.3 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:				
gewaschenes Mahlgut	gewaschenes Agglomerat	Regranulat	Sonstige (Intrusionsprodukte ¹)	
☐	☐	☐	☐	

¹ Pressformen z.B. Anschmelzen (über Kurzschneckenextruder) und Umformen über Pressen.

Erhebungsbogen Verwertung von PP

<i>Sonstige bitte näher erläutern:</i>		
2.4 Werden neben PP-formstabil weitere Materialien einem Recycling zugeführt (z. B. PE, PE-/PP-flex aus Etiketten oder das Sinkgut bei der Dichtentrennung)? Wenn ja, separat oder gemeinsam?		
☐ ja, folgende: und zwar: ☐ separat ☐ gemeinsam ☐ nein		
2.5 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren Mengenanteil an (gerundet auf 10 %).		
Anwendung:	Anteil:	
☐ keine Aussage / unbekannt	%	
☐ Blasformen	%	
☐ Extrusionsfolien / Thermoforms	%	
☐ Spritzguss oder Schleuderguss (Rotationsverfahren)	%	
☐ Intrusionsprodukte	%	
☐ Sonstige (bitte benennen):	%	
3 Prozesstechnik		
3.1 Welche der folgenden Prozesstechniken werden aktuell realisiert?		
Prozesstechnik	ja	Bemerkungen
Zerkleinerung	☐	
Wäsche/Reinigung	☐	
Dichtentrennung bei 1 g/cm ³ (z. B. Schwimm-Sink-Trennung)	☐	
Trocknung (thermisch)	☐	
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐	
Mahlgutsortierung über Windsichtung zur Separierung von Etikettenanteilen/Folien	☐	
Alternative und additive Prozessstufen (z. B. lösemittelbasierte Verfahren; stoffliche oder farbliche Sortierung der Verpackung oder des Mahlguts; Vakuumextraktion/Dekontamination; Deinking zur Entfernung von Druckfarben)	☐	<i>Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:</i>

Erhebungsbogen Verwertung von PP

3.2 Welche Art von Wäsche/Reinigung findet statt und bei welcher ungefähren Temperatur erfolgt die Wäsche?						
☐ Trockenreinigung ☐ Kaltwäsche ☐ Heißwäsche ☐ Sonstige (bitte benennen):						
°C						
Erfolgt die Wäsche unter Einsatz von Detergenzien?						
☐ ja ☐ nein						
4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen						
4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen an“. Spekulationen sind nicht zielführend.						
Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)		
Silikonkomponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere	☐	☐	☐	☐	☐	
Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Zelluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
PVDC-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
Nitrocellulose-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PVC-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PU-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
Reste von Etikettenklebstoffen	☐	☐	☐	☐	☐	

² Liegen Ihnen hierzu nähere Erkenntnisse oder Studien vor?

Erhebungsbogen Verwertung von PP

4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?				
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung
		geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)	
	☐	☐	☐	
	☐	☐	☐	
	☐	☐	☐	

A.4 Erhebungsbogen PE-Verwertung

Erhebungsbogen Verwertung von PE

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage				
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:				
< 5.000 t/a	5.000 bis 10.000 t/a	10.000 bis 15.000 t/a	15.000 bis 20.000 t/a	> 20.000 t/a
☐	☐	☐	☐	☐
2 Inputqualitäten und Produkte				
2.1 Werden im Recyclingprozess neben der Fraktion 329 auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland eingesetzt?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche (z.B. 322, 323, 324, 351)?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü (gemeinsame Verarbeitung)		
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.2 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ nein ☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Sonstige (bitte benennen):				
2.3 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:				
gewaschenes Mahlgut	gewaschenes Agglomerat	Regranulat	Sonstige (z. B. Intrusionsprodukte ¹)	
☐	☐	☐	☐	

¹ Pressformen z.B. Anschmelzen (über Kurzschnellenextruder) und Umformen über Pressen.

Erhebungsbogen Verwertung von PE

<i>Sonstige bitte näher erläutern:</i>		
2.4 Werden neben PE-formstabil weitere Materialien einem Recycling zugeführt (z. B. LDPE, PP, PE-/PP-flex aus Etiketten oder das Sinkgut nach der Dichtentrennung)? Wenn ja, separat oder gemeinsam?		
☐ ja, folgende: und zwar: ☐ separat ☐ gemeinsam ☐ nein		
2.5 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren Mengenanteil an (gerundet auf 10 %).		
Anwendung:	Anteil:	
☐ keine Aussage / unbekannt	%	
☐ Blasformen	%	
☐ Gießfolien / Thermoforms	%	
☐ Spritzguss oder Schleuderguss (Rotationsverfahren)	%	
☐ Intrusionsprodukte	%	
☐ Sonstige (bitte benennen):	%	
3 Prozesstechnik		
3.1 Welche der folgenden Prozesstechniken werden aktuell realisiert?		
Prozesstechnik	ja	Bemerkungen
Zerkleinerung	☐	
Wäsche/Reinigung	☐	
Dichtentrennung bei 1 g/cm ³ (z. B. Schwimm-Sink-Trennung)	☐	
Trocknung (thermisch)	☐	
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐	
Mahlgutsortierung über Windsichtung zur Separierung von Etikettenanteilen/Folien	☐	
Alternative und additive Prozessstufen (z. B. lösemittelbasierte Verfahren; stoffliche oder farbliche Sortierung der Verpackung oder des Mahlguts; Vakuumextraktion/Dekontamination; Deinking zur Entfernung von Druckfarben)	☐	<i>Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:</i>

Erhebungsbogen Verwertung von PE

3.2 Welche Art von Wäsche/Reinigung findet statt und bei welcher ungefähren Temperatur erfolgt die Wäsche?						
☐ Trockenreinigung ☐ Kaltwäsche ☐ Heißwäsche ☐ Sonstige (bitte benennen):						
°C						
Erfolgt die Wäsche unter Einsatz von Detergenzien?						
☐ ja ☐ nein						
4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen						
4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen an“. Spekulationen sind nicht zielführend.						
Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)		
Silikonkomponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere	☐	☐	☐	☐	☐	
Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Zelluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
PE-X-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
PVDC-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
Nitrocellulose-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PVC-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PU-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	

² Liegen Ihnen hierzu nähere Erkenntnisse oder Studien vor?

Erhebungsbogen Verwertung von PE

Reste von Etikettenklebstoffen	☐	☐	☐	☐	☐	
4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?						
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung		
		geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.5 Erhebungsbogen MPO-Verwertung

Erhebungsbogen Verwertung von MPO

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen
ausgefüllt an:

Umweltbundesamt

z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender

Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage				
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:				
< 5.000 t/a	5.000 bis 10.000 t/a	10.000 bis 15.000 t/a	15.000 bis 20.000 t/a	> 20.000 t/a
☐	☐	☐	☐	☐
2 Inputqualitäten und Produkte				
2.1 Werden im Recyclingprozess neben der Fraktion 323 auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland eingesetzt?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche (z.B. 322, 329, 324, 324-1, 324-2, 323-2, 351, 352)?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü		
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.2 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ nein ☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Sonstige (bitte benennen):				

Erhebungsbogen Verwertung von MPO

2.3 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland:			
gewaschenes Mahlgut	gewaschenes Agglomerat	Regranulat	Sonstige (z. B. Intrusionsprodukte ¹)
☐	☐	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:			
2.4 Werden neben PE/PP weitere Materialien einem Recycling zugeführt (z. B. PS aus dem Sinkgut nach der Dichtentrennung bei 1 g/cm ³)? Wenn ja, separat oder gemeinsam?			
☐ ja, folgende: und zwar: ☐ separat ☐ gemeinsam ☐ nein			
2.5 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren Mengenanteil an (gerundet auf 10 %).			
Anwendung:			Anteil:
☐ keine Aussage / unbekannt			%
☐ Blasformen			%
☐ Extrusionsfolien / Thermoforms			%
☐ Spritzguss oder Schleuderguss (Rotationsverfahren)			%
☐ Intrusionsprodukte			%
☐ Sonstige (bitte benennen):			%
3 Prozesstechnik			
3.1 Welche der folgenden Prozesstechniken werden aktuell realisiert?			
Prozesstechnik	ja	Bemerkungen	
Zerkleinerung	☐		
Wäsche/Reinigung	☐		
Dichtentrennung bei 1 g/cm ³ (z. B. Schwimm-Sink-Trennung)	☐		
Dichtentrennung in Salzlösung bei ca. 1.08 g/cm ³ (z. B. Schwimm-Sink-Trennung)	☐		
Trocknung (thermisch)	☐		
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐		

¹ Pressformen z.B. Anschmelzen (über Kurzschneckenextruder) und Umformen über Pressen.

Erhebungsbogen Verwertung von MPO

Alternative und additive Prozessstufen (z. B. lösemittelbasierte Verfahren; stoffliche oder farbliche Sortierung der Verpackung oder des Mahlguts; Vakuumextraktion/Dekontamination; Deinking zur Entfernung von Druckfarben)	☐	Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:				
3.2 Welche Art von Wäsche/Reinigung findet statt und bei welcher ungefähren Temperatur erfolgt die Wäsche?						
☐ Trockenreinigung ☐ Kaltwäsche ☐ Heißwäsche ☐ Sonstige (bitte benennen): °C						
Erfolgt die Wäsche unter Einsatz von Detergenzien?						
☐ ja ☐ nein						
4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen						
4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen“. Spekulationen sind nicht zielführend.						
Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			gering -fügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbela- stung)		
Silikonkomponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
Geschäumte nicht thermoplastische Elastomere mit der Dichte < 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
Geschäumte nicht-polyolefinische Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Zelluloseanteil unter Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt	☐	☐	☐	☐	☐	
PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	

Erhebungsbogen Verwertung von MPO

Klebstoffkaschierte PA-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Schichten in PE-PA-Cox-Folien	☐	☐	☐	☐	☐	
PE-X-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
PVDC-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
Nitrocellulose-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PVC-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PU-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
Reste von Etikettenklebstoffen	☐	☐	☐	☐	☐	
4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?						
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung		
		geringfügig	drastisch (Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

² Liegen Ihnen hierzu nähere Erkenntnisse oder Studien vor?

A.6 Erhebungsbogen PO- und PP-flex-Verwertung

Erhebungsbogen Verwertung PO-flex oder PP-flex

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen
ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage				
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:				
< 5.000 t/a	5.000 bis 10.000 t/a	10.000 bis 15.000 t/a	15.000 bis 20.000 t/a	> 20.000 t/a
☐	☐	☐	☐	☐
2 Inputqualitäten und Produkte				
2.1 Welche Inputqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet?				
323-2 PO-flex		324-2 PP-flex/PP-Folie		
☐		☐		
2.2 Werden im Recyclingprozess neben den Fraktionen 323-2 und 324-2 auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland eingesetzt?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche (z.B. 310, 322, 324, 329)?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü (gemeinsame Verarbeitung)		
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.3 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ nein ☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Sonstige (bitte benennen):				

Erhebungsbogen Verwertung von PO-flex oder PP-flex

2.4 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:			
gewaschenes Mahlgut	gewaschenes Agglomerat	Regranulat	Sonstige (z. B. Intrusionsprodukte ¹)
☐	☐	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:			
2.5 Werden neben PO (PP, PE) andere Materialien einem Recycling zugeführt (z. B. Materialien oder Werkstoffe aus dem Sinkgut nach der Dichtentrennung)? Wenn ja, separat oder gemeinsam?			
☐ ja, folgende: und zwar: ☐ separat ☐ gemeinsam ☐ nein			
2.6 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren Mengenanteil an (gerundet auf 10 %).			
Anwendung:			Anteil:
☐ keine Aussage / unbekannt			%
☐ Blasformen			%
☐ Blasfolien			%
☐ Extrusionsfolien / Thermoforms			%
☐ Spritzguss oder Schleuderguss (Rotationsverfahren)			%
☐ Intrusionsprodukte			%
☐ Sonstige (bitte benennen):			%
3 Prozesstechnik			
3.1 Welche der folgenden Prozesstechniken werden aktuell realisiert?			
Prozesstechnik	ja	Bemerkungen	
Zerkleinerung	☐		
Wäsche	☐		
Dichtentrennung bei 1 g/cm ³ (z. B. Schwimm-Sink-Trennung)	☐		
Dichtentrennung in Salzlösung bei ca. 1.08 g/cm ³ (z. B. Schwimm-Sink-Trennung)	☐		
Trocknung (thermisch)	☐		
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐		

¹ Pressformen z.B. Anschmelzen (über Kurzschneckenextruder) und Umformen über Pressen.

Erhebungsbogen Verwertung von PO-flex oder PP-flex

Alternative und additive Prozessstufen (z. B. lösemittelbasierte Verfahren; stoffliche oder farbliche Sortierung der Verpackung oder des Mahlguts; Vakuumentextraktion/Dekontamination; Deinking zur Entfernung von Druckfarben)	☐	Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:				
3.2 Welche Art von Wäsche/Reinigung findet statt und bei welcher ungefähren Temperatur erfolgt die Wäsche?						
☐ Trockenreinigung ☐ Kaltwäsche ☐ Heißwäsche ☐ Sonstige (bitte benennen):						
°C						
Erfolgt die Wäsche unter Einsatz von Detergenzien?						
☐ ja ☐ nein						
4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen						
4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen an“. Spekulationen sind nicht zielführend.						
Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)		
Silikonkomponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
Geschäumte nicht thermoplastische Elastomere mit der Dichte < 1 g/cm³	☐	☐	☐	☐	☐	
Geschäumte nicht-polyolefinische Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Zelluloseanteil unter Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt	☐	☐	☐	☐	☐	
PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm³	☐	☐	☐	☐	☐	

Erhebungsbogen Verwertung von PO-flex oder PP-flex

Klebstoffkaschierte PA-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Schichten in PE-PA-Coex-Folien	☐	☐	☐	☐	☐	
PE-X-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
PVDC-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
Sonstige Nicht-PE-Polymer-Schichten (außer Haftvermittler, Klebstoffe, PP, EVA und EVOH)	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht-Polymer-Schichten (außer SiOx/AlOx/Metallisierung)	☐	☐	☐	☐	☐	
Nitrocellulose-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PVC-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PU-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
Reste von Etikettenklebstoffen	☐	☐	☐	☐	☐	
4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?						
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung		
		geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

² Liegen Ihnen hierzu nähere Erkenntnisse oder Studien vor?

A.7 Erhebungsbogen PS-Verwertung

Erhebungsbogen Verwerter von PS

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen
ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage				
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:				
< 5.000 t/a	5.000 bis 10.000 t/a	10.000 bis 15.000 t/a	15.000 bis 20.000 t/a	> 20.000 t/a
☐	☐	☐	☐	☐
2 Inputqualitäten und Produkte				
2.1 Werden im Recyclingprozess neben der Fraktion 331 auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland eingesetzt?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche (z. B. 330, 351)?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung		Im Menü (gemeinsame Verarbeitung)	
	☐		☐	
	☐		☐	
	☐		☐	
2.2 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ nein ☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Sonstige (bitte benennen):				
2.3 PS-Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:				
gewaschenes Mahlgut	gewaschenes Agglomerat	Regranulat	Sonstige (z. B. Intrusionsprodukte ¹)	
☐	☐	☐	☐	

¹ Pressformen z.B. Anschmelzen (über Kurzschnackextruder) und Umformen über Pressen.

Erhebungsbogen Verwerter von PS

<i>Sonstige bitte näher erläutern:</i>		
2.4 Werden neben PS weitere Materialien aus der PS-Fraktion recycelt (z. B. formstabiler PE- und PP-Anteil)? Wenn ja, separat oder gemeinsam?		
☐ ja, folgende: und zwar: ☐ separat ☐ gemeinsam ☐ nein		
2.5 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren Mengenanteil an (gerundet auf 10 %).		
☐ keine Aussage / unbekannt ☐ Spritzguss oder Schleuderguss (Rotationsverfahren) ☐ Sonstige (bitte benennen):		
3 Prozesstechnik		
3.1 Welche der folgenden Prozesstechniken werden aktuell realisiert?		
Prozesstechnik	ja	Bemerkungen
Zerkleinerung	☐	
Wäsche/Reinigung	☐	
Dichtentrennung in Salzlösung bei ca. 1 g/cm ³ (z. B. Schwimm-Sink-Trennung)	☐	
Dichtentrennung in Salzlösung bei ca. 1.08 g/cm ³ (z. B. Schwimm-Sink-Trennung)	☐	
Trocknung (thermisch)	☐	
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐	
Alternative und additive Prozessstufen (z. B. lösemittelbasierte Verfahren; stoffliche oder farbliche Sortierung der Verpackung oder des Mahlguts; Vakuumentraktion/Dekontamination; Deinking zur Entfernung von Druckfarben)	☐	<i>Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:</i>

Erhebungsbogen Verwerter von PS

3.2 Welche Art von Wäsche/Reinigung findet statt und bei welcher ungefähren Temperatur erfolgt die Wäsche?						
☐ Trockenreinigung ☐ Kaltwäsche ☐ Heißwäsche ☐ Sonstige (bitte benennen):			°C			
Erfolgt die Wäsche unter Einsatz von Detergenzien?						
☐ ja ☐ nein						
4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmale						
4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen an“. Spekulationen sind nicht zielführend.						
Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)		
Fremdkunststoffe oder Multilayer der Dichteklasse 1,0 – 1,08 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Zelluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt	☐	☐	☐	☐	☐	
Nitrocellulose-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PVC-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
PU-basierte Druckfarben ²	☐	☐	☐	☐	☐	
Reste von Etikettenklebstoffen	☐	☐	☐	☐	☐	

² Liegen Ihnen hierzu nähere Erkenntnisse oder Studien vor?

Erhebungsbogen Verwerter von PS

4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?				
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung
		geringfügig	drastisch (z.B. Schlieren, Einschlüsse, Geruchsbelastung)	
	☐	☐	☐	
	☐	☐	☐	
	☐	☐	☐	

A.8 Erhebungsbogen PET-Verwertung

Erhebungsbogen PET-Recyclinganlagen

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen
ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage					
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:					
< 15.000 t/a	15.000 bis 30.000 t/a	30.000 bis 45.000 t/a	45.000 bis 60.000 t/a	> 60.000 t/a	
☐	☐	☐	☐	☐	
2 Inputqualitäten und Produkte					
2.1 Welche Inputqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet?					
325	328-1	328-2	328-3	328-5	328-6
☐	☐	☐	☐	☐	☐
2.2 Werden im Recyclingprozess neben den Fraktionen (325, 328-(1-6)) auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland (z. B. vorsortierte oder farbsortierte Fraktionen) eingesetzt?					
☐ ja ☐ nein					
Wenn ja, welche?					
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü (gemeinsame Verarbeitung)			
	☐	☐			
	☐	☐			
	☐	☐			

Erhebungsbogen PET-Recyclinganlagen

2.3 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?			
☐ nein ☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Mengen aus Pfandsystemen ☐ Produktionsabfälle (z. B. Preforms) ☐ Sonstige (bitte benennen):			
2.4 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:			
gewaschenes Mahlgut (Flakes)	PET-Regranulat	aufkondensiertes PET-Regranulat	Sonstige (z. B. Preforms)
☐	☐	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:			
2.5 Werden neben PET andere Materialein einem Recycling zugeführt (z. B. PE, PP aus Verschlüssen nach der Dichtentrennung)? Wenn ja, separat oder gemeinsam?			
☐ ja, folgende: und zwar: ☐ separat ☐ gemeinsam ☐ nein			
2.6 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren Mengenanteil an (gerundet auf 10 %).			
Anwendung:			Anteil:
☐ keine Aussage / unbekannt			%
☐ PET-Preforms			%
☐ PET-Folien			%
☐ PET-Bänder (Strapping)			%
☐ Polyesterfaser-Anwendungen			%
☐ Sonstige (bitte benennen, z. B. Intrusionsprodukte ¹):			%

¹ Pressformen z.B. Anschmelzen (über Kurzschneckenextruder) und Umformen über Pressen.

Erhebungsbogen PET-Recyclinganlagen

3 Prozesstechnik		
3.1 Werden die systemstämmigen Eingangsqualitäten einer Vorsortierung (intern oder extern) auf spezielle PET-Verpackungen unterzogen?		
☐ nein ☐ ja, folgende Verpackungen werden als Störstoffe angesprochen (bitte ankreuzen):		
Verpackung	Aussortierung	
	Manuell	NIR-VIS
☐ PET-Monolayer-Schalen	☐	☐
☐ PET-Multilayer-Schalen	☐	☐
☐ Opake PET-Schalen	☐	☐
☐ PET-Dosen und PET-Tiegel	☐	☐
☐ Flaschen mit Funktionsverschlüssen	☐	☐
☐ Opake PET-Flaschen	☐	☐
☐ Nicht-Getränkeflaschen	☐	☐
☐ Flaschen mit PA-Barriere (wie Saftflaschen)	☐	☐
☐ Flaschen mit Teil-Sleeve	☐	☐
☐ Flaschen mit Full-Sleeve	☐	☐
☐ Sonstige	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:		
3.2 Falls PET-Schalen vorab aussortiert werden, aus welchen Gründen?		
3.3 Falls Dosen und Tiegel vorab aussortiert werden, aus welchen Gründen?		
3.4 Falls PET-Schalen vorab nicht aussortiert werden: Werden PET-Schalen gemeinsam mit PET-Flaschen (wenn ja, zu welchem Anteil; Angabe als Spannbreite möglich) oder getrennt voneinander recycelt?		
☐ gemeinsam, zu folgendem Anteil: _____ % ☐ getrennt voneinander, weil:		
3.5 Welche der folgenden Prozesstechniken werden aktuell realisiert?		
Prozesstechnik	ja	Bemerkungen
NIR-Sortierung (NIR-VIS) auf Artekelebene	☐	
Farbsortierung auf Artekelebene	☐	
Zerkleinerung	☐	

Erhebungsbogen PET-Recyclinganlagen

Wäsche	☐	
Dichtentrennung bei 1 g/cm ³ (z. B. Schwimm-Sink-Trennung)	☐	
Trocknung (thermisch)	☐	
Stoffliche Mahlgutnachsartierung	☐	
Farbliche Mahlgutnachsartierung	☐	
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐	
Vakuumentraktion (Dekontamination)	☐	
Solid State Polymerisation (SSP)	☐	
Alternative und wesentliche additive Prozessstufen (z. B. URRC-Prozess oder lösemittelbasierte Verfahren, Deinking zur Entfernung von Druckfarben)	☐	Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:

3.6 Welche Art Wäsche/Reinigung findet statt und bei welcher ungefähren Temperatur erfolgt diese?

☐ Trockenreinigung
☐ Kaltwäsche
☐ Heißwäsche
☐ URRC-Prozess
☐ Sonstige (bitte benennen):

°C

Erfolgt die Wäsche unter Einsatz von Detergenzien?

☐ ja
☐ nein

Erfolgt die Wäsche unter Einsatz von Natronlauge?

☐ ja
☐ nein

4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen

4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen“. Spekulationen sind nicht zielführend.

Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoff-verlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			gering-fügig	drastisch (z.B. Vergilbung, Bildung organischer Abbauprodukte)		
PET-G-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
POM-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	

Erhebungsbogen PET-Recyclinganlagen

PVC-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
EVOH-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Monolayer-Schichten für transparente PET-Flaschen, farblos und „light-blue“	☐	☐	☐	☐	☐	
PVC-Etiketten/Sleeves	☐	☐	☐	☐	☐	
PS-Etiketten/Sleeves	☐	☐	☐	☐	☐	
PET-G-Etiketten/Sleeves	☐	☐	☐	☐	☐	
Sonstige Etiketten/Sleeves/bedruckte Oberfolien mit Dichte (inkl. Druck und Lackierung) > 1g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
Sonstige blended barriers	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Additivierung für transparente PET-Flaschen, farblos und „light-blue“	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht ablösbare (abwaschbare) Klebstoffapplikationen (in Wasser oder alkalisch bei 80 °C)	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht magnetische Metalle	☐	☐	☐	☐	☐	
Elastomer-Komponenten der Dichte > 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
Direktdruck (abgesehen von Produktionscode, MHD und UFI-Code)	☐	☐	☐	☐	☐	
Silikonkomponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?						
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung		
		geringfügig	drastisch (z.B. Vergilbung, Bildung organischer Abbauprodukte)			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.9 Erhebungsbogen Aluminiumaufbereitung und -verwertung

Erhebungsbogen Aluminiumaufbereitung und -verwertung

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen
ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Anlage						
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:						
< 5.000 t/a	5.000 bis 50.000 t/a	50.000 bis 100.000 t/a	100.000 bis 150.000 t/a	> 150.000 t/a		
☐	☐	☐	☐	☐		
2 Inputqualitäten und Endprodukte						
2.1 Welche Inputqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet?						
420	Aluminiumfraktion aus der Glasaufbereitung			Sonstige		
☐	☐			☐		
Sonstige bitte näher erläutern:						
2.2 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?						
☐ nein ☐ ja, Primärmaterial – Wenn angekreuzt, zu welchem Anteil? (Angabe als Spannbreite möglich): ☐ ja, Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ ja, Produktionsabfälle ☐ ja, Mengen aus Pfandsystemen ☐ ja, Sonstige (bitte benennen):						
2.3 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:						
Alu-Granulat	Alu-Gries	Alu-Masseln	Eisenschrott	NE-Metallkonzentrate	Edelstahlkonzentrate	Sonstige
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Erhebungsbogen Aluminiumaufbereitung und -verwertung

<i>Sonstige bitte näher erläutern:</i>		
2.4 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren Mengenanteil an (gerundet auf 10 %).		
Anwendung:	Anteil:	
☐ keine Aussage / unbekannt		
☐ Aluminiumgusslegierungen		
☐ Aluminiumknetlegierungen		
☐ Gießerei-Hilfsmittel		
☐ Automobilindustrie		
☐ Desoxidationsmittel		
☐ Verpackungen (z. B. Dosen)		
☐ Sonstige (bitte benennen):		
3 Prozesstechnik		
3.1 Werden die systemstämmigen Inputqualitäten einer Vorsortierung (intern oder extern) unterzogen?		
☐ ja ☐ nein		
Falls ja, bitte die Verpackungen angeben, die als Störstoffe angesprochen werden:		
Verpackung	Aussortierung mittels welcher Technik? Bitte eintragen, falls die Sortierung nicht manuell erfolgt.	
☐ Aerosoldosen	☐ Manuell	☐
	☐ Manuell	☐
	☐ Manuell	☐
<i>Erläuterung:</i>		
3.2 Welche der folgenden Prozesstechniken werden aktuell realisiert?		
Prozesstechnik	ja	Bemerkungen
Vorsortierung	☐	
Zerkleinerung	☐	
Magnetscheidung	☐	
Wirbelstromscheidung	☐	
Pyrolyse	☐	

Erhebungsbogen Aluminiumaufbereitung und -verwertung

Bankglühe	☐					
Nachsortierung auf NE-Metalle	☐					
Kompaktierung / Verpressung	☐					
Umschmelzen (zu Masseln)	☐					
Alternative und wesentliche additive Prozessstufen (z. B. sensorgestützte Sortierung zur Sortierung nach Legierungsgruppen durch LIBS oder XRF)	☐	Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:				
4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen						
4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „Weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen an“. Spekulationen sind nicht zielführend.						
Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			geringfügig	drastisch		
Komponenten aus anderen Aluminiumlegierungen als üblich	☐	☐	☐	☐	☐	Welche Legierungen bzw. welche Verpackungen sind kritisch?
Druckfarben	☐	☐	☐	☐	☐	Welche Bestandteile von Druckfarben sind besonders kritisch?
Komponenten aus PVC (z. B. aus Blisterverpackung)	☐	☐	☐	☐	☐	
Aerosoldosen mit kohlenwasserstoffbasiertem Treibmittel oder anderen Restinhalten	☐	☐	☐	☐	☐	
Dickwandige Gasdruckflaschen oder -kartuschen	☐	☐	☐	☐	☐	

Erhebungsbogen Aluminiumaufbereitung und -verwertung

Sonstige Verpackungen mit konstruktionsbedingtem Restinhalt	☐	☐	☐	☐	☐	Welche Verpackungen bzw. Restinhalte sind besonders kritisch?
Verbundverpackungen	☐	☐	☐	☐	☐	Welche Verbundverpackungen sind besonders kritisch und warum?
4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?						
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung		
		geringfügig	drastisch			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.10 Erhebungsbogen Weißblechaufbereitung und -verwertung

Erhebungsbogen Weißblechaufbereitung und -verwertung

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen
ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____

Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Anlage				
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:				
< 5.000 t/a	5.000 bis 50.000 t/a	50.000 bis 100.000 t/a	100.000 bis 150.000 t/a	> 150.000 t/a
☐	☐	☐	☐	☐
2 Inputqualitäten und Produkte				
2.1 Welche Inputqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet?				
410/412	Weißblechfraktion aus der Glasaufbereitung		Sonstige	
☐	☐		☐	
Sonstige bitte näher erläutern:				
2.2 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ nein ☐ ja, Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ ja, Produktionsabfälle ☐ ja, Sonstige (bitte benennen):				
2.3 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland:				
Stahlschrott (chargierfähig)	Nichteisenmetall-Konzentrate		Sonstige	
☐	☐		☐	
Sonstige bitte näher erläutern:				

Erhebungsbogen Weißblechaufbereitung und -verwertung

2.4 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren Mengenanteil an (gerundet auf 10 %).		
Anwendung:	Anteil:	
☐ keine Aussage / unbekannt	%	
☐ Automobilindustrie	%	
☐ Baustahlprodukte	%	
☐ Gussanwendungen in Gießereien	%	
☐ Verpackungen (Dosen)	%	
☐ Sonstige (bitte benennen):	%	
3 Prozesstechnik		
3.1 Werden die systemstämmigen Inputqualitäten einer Vorsortierung (intern oder extern) unterzogen?		
☐ ja ☐ nein		
Falls ja, bitte die Verpackungen angeben, die als Störstoffe angesprochen werden:		
Verpackung	Aussortierung mittels welcher Technik? Bitte eintragen, falls die Sortierung nicht manuell erfolgt.	
☐ Gasdruckflaschen	☐ Manuell	☐
	☐ Manuell	☐
	☐ Manuell	☐
Erläuterung:		
3.2 Welche der folgenden Prozesstechniken werden aktuell realisiert?		
Prozesstechnik	ja	Bemerkungen
Vorsortierung	☐	
Mechanischer Aufschluss / Shreddern	☐	
Windsichtung	☐	
Magnetscheidung	☐	
Wirbelstromscheidung	☐	
Entzinnung	☐	
Schmelze	☐	

Erhebungsbogen Weißblechaufbereitung und -verwertung

Alternative und wesentliche additive Prozessstufen (z. B. sensorgestützte Sortierung zur Sortierung nach Legierungsgruppen durch LIBS oder XRF)		☐		Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:		
4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen						
4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „Weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen an“. Spekulationen sind nicht zielführend.						
Beschreibung	Weiß nicht / kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		kein Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			geringfügig	drastisch		
Komponenten aus anderen Stahllegierungen als üblich	☐	☐	☐	☐	☐	
Dickwandige Gasdruckflaschen oder -kartuschen	☐	☐	☐	☐	☐	Wie entfernen Sie Restinhalte?
Konstruktionsbedingter Restinhalt	☐	☐	☐	☐	☐	Welche Füllgutreste sind problematisch (z. B. Lackdosen)?
Verbundverpackungen	☐	☐	☐	☐	☐	Welche Verbundverpackungen sind kritisch?
Komponenten aus PVC	☐	☐	☐	☐	☐	

Erhebungsbogen Weißblechaufbereitung und -verwertung

4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?				
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung
		geringfügig	drastisch	
	☐	☐	☐	
	☐	☐	☐	
	☐	☐	☐	

A.11 Erhebungsbogen FKN-Verwertung

Erhebungsbogen Verwerter von FKN

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen
ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage									
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:									
< 25.000 t/a	25.000 bis 50.000 t/a	50.000 bis 75.000 t/a	75.000 bis 100.000 t/a	> 100.000 t/a					
☐	☐	☐	☐	☐					
2 Inputqualitäten und Produkte									
2.1 Welche Inputqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet? ¹ [Hinweis: 1.11.00 Deinkingware zählt nicht zu den Systemmengen.]									
1.01	1.02	1.04.xx	1.05.xx	5.02	5.03	510 ²	512 ³	550 ⁴	Sonstige
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:									
2.2 Welche Fraktionen/Sorten werden separat und welche gemeinsam verarbeitet (z. B. FKN gemeinsam mit PPK aus LVP oder anderen Altpapiersorten)?									
Nummer Sorte/Fraktion	Separate Verarbeitung		Gemeinsame Verarbeitung („Rezeptur“)						
	☐		☐						
	☐		☐						
	☐		☐						

¹ Die Bedeutung der Nummern kann DIN EN 643 und den Produktspezifikationen der Verpackungsfraktionen der dualen Systeme entnommen werden.

² Produktspezifikation Fraktions-Nr. 510 „Flüssigkeitskartons“.

³ Produktspezifikation Fraktions-Nr. 512 „Flüssigkeitskartons/Getränkekartons“.

⁴ Produktspezifikation Fraktions-Nr. 550 „PPK aus LVP“.

Erhebungsbogen Verwerter von FKN

2.3 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen („Rezeptur“) verarbeitet?							
☐ nein ☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Primärrohstoffe ☐ Sonstige (bitte benennen):							
2.4 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren mengenmäßigen Anteil an (gerundet auf 10 %).							
Wellpappenrohapiere		Karton oder Pappe		Hygienepapiere		Sonstige	
☐	%	☐	%	☐	%	☐	%
Sonstige bitte näher erläutern:							
2.5 Wie hoch ist der durchschnittliche (rohfeuchte) Grobrejektanteil der Stofflösung (Alu-PE- bzw. PE-Folie und Hartkunststoff); also der „PolyAl“-Anteil (ggf. als Spannweite angeben)?							
				%			
3 Prozesstechnik							
3.1 Welche der folgenden Prozesstechnik werden aktuell realisiert?							
Prozesstechnik	ja	Bemerkungen					
Vorzerkleinerung	☐						
Stofflösung (ggf. Angabe, ob Pulper oder Trommel)	☐						
Faserrückgewinnung aus Rejekten der primären Stofflösung	☐						
Sortier- und Reinigungsstufen zur Faserstoffaufbereitung	☐						
Sieb-/Press-/Trockenpartie	☐						
Rejekt (PO, Aluminium) wird für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling bereitgestellt	☐						

Erhebungsbogen Verwerter von FKN

Alternative und additive Prozessstufen (z. B. Hygienisierung)	☐	Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:				
3.2 Wie lang ist die Stofflösezeit und bei welcher Temperatur erfolgt diese ungefähr?						
	min		°C			
3.3 Im Rahmen der Sortier- und Reinigungsstufen der Faserstoffaufbereitung bei Einsatz aus Systemmengen sollen folgende Komponenten als Störstoffe in die Rejekte ausgeschleust werden:						
☐ feinkörnige mineralische Verunreinigungen (Sand, Steine, Glassplitter) ☐ Kunststoffpartikel ☐ Makrostickies ☐ Stippen ☐ Kurzfasern ☐ Füllstoffe ☐ Streichfarben ☐ Aluminium ☐ Sonstige (bitte benennen):						
4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen						
4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen an“. Spekulationen sind nicht zielführend.						
Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffve- rlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		kein Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			gering- fügig	drastisch		
Nicht wasserlösliche oder nicht redispersierbare Klebstoff- applikationen	☐	☐	☐	☐	☐	
Polymere thermoplastische Dispersionsbeschichtungen	☐	☐	☐	☐	☐	

Erhebungsbogen Verwerter von FKN

4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?				
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung
		geringfügig	drastisch	
	☐	☐	☐	
	☐	☐	☐	
	☐	☐	☐	

A.12 Erhebungsbogen PPK aus LVP-Verwertung

Erhebungsbogen Verwerter von PPK aus LVP

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen
ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage									
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:									
< 25.000 t/a	25.000 bis 50.000 t/a	50.000 bis 75.000 t/a	75.000 bis 100.000 t/a	> 100.000 t/a					
☐	☐	☐	☐	☐					
2 Inputqualitäten und Produkte									
2.1 Welche Inputqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet? ¹ [Hinweis: 1.11.00 Deinkingware zählt nicht zu den Systemmengen.]									
1.01	1.02	1.04.xx	1.05.xx	5.02	5.03	510 ²	512 ³	550 ⁴	Sonstige
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:									
2.2 Welche Fraktionen/Sorten werden separat und welche gemeinsam verarbeitet (z. B. PPK aus LVP gemeinsam mit FKN oder anderen Altpapiersorten)?									
Nummer Sorte/Fraktion		Separate Verarbeitung			Gemeinsame Verarbeitung („Rezeptur“)				
		☐			☐				
		☐			☐				
		☐			☐				

¹ Die Bedeutung der Nummern kann DIN EN 643 und den Produktspezifikationen der Verpackungsfraktionen der dualen Systeme entnommen werden.

² Produktspezifikation Fraktions-Nr. 510 „Flüssigkeitskartons“.

³ Produktspezifikation Fraktions-Nr. 512 „Flüssigkeitskartons/Getränkekartons“.

⁴ Produktspezifikation Fraktions-Nr. 550 „PPK aus LVP“.

Erhebungsbogen Verwerter von PPK aus LVP

2.3 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen („Rezeptur“) verarbeitet?							
☐ nein ☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Primärrohstoffe ☐ Sonstige (bitte benennen):							
2.4 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren mengenmäßigen Anteil an (gerundet auf 10 %).							
Wellpappenrohapiere		Karton oder Pappe		Schrenzpapiere		Sonstige (z. B. Fasergussverpackungen)	
☐	%	☐	%	☐	%	☐	%
Sonstige bitte näher erläutern:							
3 Prozesstechnik							
3.1 Welche der folgenden Prozesstechnik werden aktuell realisiert?							
Prozesstechnik		ja		Bemerkungen			
Vorzerkleinerung		☐					
Stofflösung (ggf. Angabe, ob Pulper oder Trommel)		☐					
Faserrückgewinnung aus Rejekten der primären Stofflösung		☐					
Sortier- und Reinigungsstufen zur Faserstoffaufbereitung		☐					
Sieb-/Press-/Trockenpartie		☐					
Werkstofflich hochwertige Rejektverwertung (PO, Metallanteile)		☐					
Alternative und additive Prozessstufen (z. B. Hygienisierung)		☐		Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:			
3.2 Wie lang ist die Stofflösezeit und bei welcher Temperatur erfolgt diese ungefähr?							
		min				°C	

Erhebungsbogen Verwerter von PPK aus LVP

3.3 Im Rahmen der Sortier- und Reinigungsstufen der Faserstoffaufbereitung bei Einsatz aus Systemmengen sollen folgende Komponenten als Störstoffe in die Rejekte ausgeschleust werden:						
☐ feinkörnige mineralische Verunreinigungen (Sand, Steine, Glassplitter) ☐ Kunststoffpartikel ☐ Makrostickies ☐ Stippen ☐ Kurzfasern ☐ Füllstoffe ☐ Streichfarben ☐ Sonstige (bitte benennen):						
4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen						
4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „Weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen an“. Spekulationen sind nicht zielführend.						
Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Kein Problem faktisches bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			geringfügig	drastisch		
Nicht wasserlösliche oder nicht redispersierbare Klebstoffapplikationen	☐	☐	☐	☐	☐	
Polymere thermoplastische Dispersionsbeschichtungen	☐	☐	☐	☐	☐	
Schwarz durchgefärbte faserbasierte Verpackungen	☐	☐	☐	☐	☐	
Nassfestmittel	☐	☐	☐	☐	☐	
Wachsbeschichtete Verpack.	☐	☐	☐	☐	☐	
Druckfarben (z. B. UV-Lack)	☐	☐	☐	☐	☐	
Metallisierte Papiere	☐	☐	☐	☐	☐	
Beidseitige Beschichtung	☐	☐	☐	☐	☐	
Thermopapiere	☐	☐	☐	☐	☐	
4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?						
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung		
		geringfügig	drastisch			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.13 Erhebungsbogen Verwertung von PPK aus dem Blauen System

Erhebungsbogen Verwerter von PPK aus dem Blauen System

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage									
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:									
< 25.000 t/a	25.000 bis 50.000 t/a	50.000 bis 75.000 t/a	75.000 bis 100.000 t/a	> 100.000 t/a					
☐	☐	☐	☐	☐					
2 Inputqualitäten und Produkte									
2.1 Welche Inputqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet? ¹ [Hinweis: 1.11.00 Deinkingware zählt nicht zu den Systemmengen.]									
1.01	1.02	1.04.xx	1.05.xx	5.02	5.03	510 ²	512 ³	550 ⁴	Sonstige
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:									
2.2 Welche Fraktionen/Sorten werden separat und welche gemeinsam verarbeitet (z. B. PPK aus dem Blauen System gemeinsam mit PPK aus LVP)?									
Nummer Sorte/Fraktion	Separate Verarbeitung		Gemeinsame Verarbeitung („Rezeptur“)						
	☐		☐						
	☐		☐						
	☐		☐						

¹ Die Bedeutung der Nummern kann DIN EN 643 und den Produktspezifikationen der Verpackungsfraktionen der dualen Systeme entnommen werden.

² Produktspezifikation Fraktions-Nr. 510 „Flüssigkeitskartons“.

³ Produktspezifikation Fraktions-Nr. 512 „Flüssigkeitskartons/Getränkekartons“.

⁴ Produktspezifikation Fraktions-Nr. 550 „PPK aus LVP“.

Erhebungsbogen Verwerter von PPK aus dem Blauen System

2.3 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen („Rezeptur“) verarbeitet?							
☐ nein ☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Primärrohstoffe ☐ Sonstige (bitte benennen):							
2.4 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich). Geben Sie bitte den ungefähren mengenmäßigen Anteil an (gerundet auf 10 %).							
Wellpappenrohpapiere		Karton oder Pappe		Hygienepapiere		Sonstige (z. B. Fasergussverpackung)	
☐	%	☐	%	☐	%	☐	%
Sonstige bitte näher erläutern:							
2.5 Werden die Metallanteile (von Verpackungen nach dem Aufschluss) recycelt?							
☐ ja ☐ nein							
3 Prozesstechnik							
3.1 Welche der folgenden Prozesstechnik werden aktuell realisiert?							
Prozesstechnik	ja		Bemerkungen				
Vorzerkleinerung	☐						
Stofflösung (ggf. Angabe, ob Pulper oder Trommel)	☐						
Faserrückgewinnung aus Rejekten der primären Stofflösung	☐						
Sortier- und Reinigungsstufen zur Faserstoffaufbereitung	☐						
Sieb-/Press-/Trockenpartie	☐						
Alternative und additive Prozessstufen (z. B. Hygienisierung, Deinking [für Verpackungen])	☐		Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:				
3.2 Wie lang ist die Stofflösezeit und bei welcher Temperatur erfolgt diese ungefähr?							
min		°C					

Erhebungsbogen Verwerter von PPK aus dem Blauen System

3.3 Im Rahmen der Sortier- und Reinigungsstufen der Faserstoffaufbereitung bei Einsatz aus Systemmengen sollen folgende Komponenten als Störstoffe in die Rejekte ausgeschleust werden:						
☐ feinkörnige mineralische Verunreinigungen (Sand, Steine, Glassplitter) ☐ Kunststoffpartikel ☐ Makrostickets ☐ Stippen ☐ Kurzfasern ☐ Füllstoffe ☐ Streichfarben ☐ Sonstige (bitte benennen):						
4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen						
4.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch?						
Beschreibung	Weiß nicht	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoff- verlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			gering- fügig	drastisch		
Nicht wasserlösliche oder nicht redispergierbare Klebstoff- applikationen	☐	☐	☐	☐	☐	
Polymere thermoplastische Dispersionsbeschichtungen	☐	☐	☐	☐	☐	
Schwarz durchgefärbte faserbasierte Verpackungen	☐	☐	☐	☐	☐	
Nassfestmittel	☐	☐	☐	☐	☐	
Wachsbeschichtete Verpack.	☐	☐	☐	☐	☐	
Druckfarben (z. B. UV-Lack)	☐	☐	☐	☐	☐	
Metallisierte Papiere	☐	☐	☐	☐	☐	
Beidseitige Beschichtung	☐	☐	☐	☐	☐	
Thermopapiere	☐	☐	☐	☐	☐	
4.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?						
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung		
		geringfügig	drastisch			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.14 Erhebungsbogen Glasaufbereitung

Erhebungsbogen Glasaufbereiter

Bitte senden Sie den Erhebungsbogen ausgefüllt an:

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail:

Absender
Name: _____
Adresse: _____
Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage				
Die aktuelle technische Kapazität unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Obergrenze beträgt:				
< 25.000 t/a	25.000 bis 50.000 t/a	50.000 bis 75.000 t/a	75.000 bis 100.000 t/a	> 100.000 t/a
☐	☐	☐	☐	☐
2 Inputqualitäten und Produkte				
2.1 Welche Inputqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet? ¹				
100	101	102	103	104
☐	☐	☐	☐	☐
2.2 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:				
Glasscherben nach T120	Metallverwertung (NE, Fe)		Sonstige (z. B. Glasschaumshotter, Glaswolle)	
☐	☐		☐	
Sonstige näher erläutern:				
2.3 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen in der Glashütte vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich):				
Anwendung:				
☐ keine Aussage / unbekannt				
☐ Behälterglas				
☐ Sonstige (bitte benennen):				

¹ Gefragt ist hier nach den unterschiedlichen Qualitäten aus der Glaserfassung. Die Bedeutung der Artikelnummern kann ~~wme fact~~ entnommen werden.

Erhebungsbogen Glasaufbereiter

3 Prozesstechnik					
Welche der folgenden Prozesstechniken werden aktuell realisiert?					
Prozesstechnik	ja	Bemerkungen			
Zerkleinerung	☐				
Magnetscheidung	☐				
NE-Abscheidung (Wirbelstromscheidung und/oder Induktionsscheider)	☐				
Thermische Trocknung (Teilstrom- oder Gesamtstrom)	☐				
Mechanische Etikettenentfernung (inkl. Trommeltrockner)	☐				
Abtrennung von Keramikscherben, Steinen und Porzellan (KSP-Trenner) im Durchlichtverfahren	☐				
Optische Trennung zur Farbseparation im Durchlichtverfahren	☐				
NIR-Trennung zur Separation von Kunststoffkomponenten	☐				
Separation von bleihaltigen Scherben	☐				
Separation von hitzebeständigen Scherben	☐				
Alternative und wesentliche additive Prozessstufen	☐	Falls ja, bitte Prozesstechnik angeben:			
4 Einschätzung zur Sortierung in der sensorgestützten Sortierung					
Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erschweren die sensorgestützte Sortierung? Kreuzen Sie im Zweifel „weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen an“. Spekulationen sind nicht zielführend.					
Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal verschlechtert Sortierbarkeit...		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
		gering- fügig	drastisch		
Glasverpackungen ohne Transparenz/Transluzenz, z. B. lackierte Gläser	☐	☐	☐	☐	Haben Sie zum Grenzwert nähere Erkenntnisse?

Erhebungsbogen Glasaufbereiter

Wasserfeste Kunststoffhaftetiketten	☐	☐	☐	☐	Haben Sie nähere Erkenntnisse, welche Art von Etiketten besonders kritisch sind?	
Korbflaschen	☐	☐	☐	☐		
5 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungsmerkmalen						
5.1 Welche gestalterischen Verpackungsmerkmale erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch? Kreuzen Sie im Zweifel „weiß nicht/kann ich nicht sicher sagen an“. Spekulationen sind nicht zielführend.						
Beschreibung	Weiß nicht/ kann ich nicht sicher sagen	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Kein faktisches Problem bzw. technisch gelöst	Bemerkung
			geringfügig	drastisch (z.B. Einschlüsse im Behälterglas, Spezifikationsprobleme)		
Blei aus Kristallglasverpackungen	☐	☐	☐	☐	☐	
Borosilikatglas	☐	☐	☐	☐	☐	
Glasverpackungen mit Keramikkomponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
Glasverpackungen mit Metallnetzen	☐	☐	☐	☐	☐	
Bügelverschlüsse mit ausschließlich nicht-ferromagnetischen Metallanteilen	☐	☐	☐	☐	☐	
Verklebte Fullsleeves	☐	☐	☐	☐	☐	
Applizierte LEDs an Flaschenböden	☐	☐	☐	☐	☐	
Ausguss-Einsätze aus Kunststoff	☐	☐	☐	☐	☐	
5.2 Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten, außerordentlichen technischen Aufwand bedingen und/oder Beschädigung der Anlagen und/oder Gesundheitsgefährdung der Mitarbeitenden verursachen)? Was verursacht ggf. Reklamationen?						
Beschreibung	Merkmal wird technisch abgetrennt, führt aber zu hohem Wertstoffverlust	Merkmal verschlechtert Rezyklatqualität...		Erläuterung		
		geringfügig	drastisch (z.B. Einschlüsse im Behälterglas, Spezifikationsprobleme)			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.15 Fragen an die PolyAl-Verwerter

- ▶ Which paper mills supply the PolyAl sourced from liquid packaging boards in Germany?
- ▶ What is the input quantity of PolyAl sourced from liquid packaging boards in Germany?
- ▶ The end products of the recycling process of PolyAl using system quantities from Germany are mainly marketed in the following applications:
 - PE films:
 - PE/PP closures:
 - Aluminium:

B Auswertung der Erhebungsbögen und des Fragenkatalogs

B.1 Auswertung LVP-Sortieranlagen

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.2 Auswertung Kunststofffolien-Verwertung

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.3 Auswertung PP-Verwertung

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.4 Auswertung PE-Verwertung

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.5 Auswertung PO- und PP-flex-Verwertung

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.6 Auswertung PS-Verwertung

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.7 Auswertung PET-Verwertung

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.8 Auswertung Aluminiumaufbereitung und -verwertung

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.9 Auswertung Weißblechaufbereitung und -verwertung

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.10 Auswertung FKN-Verwertung (inkl. PolyAl)

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.11 Auswertung PPK aus LVP-Verwertung

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.12 Auswertung Verwertung von PPK aus dem Blauen System

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.13 Auswertung Glasaufbereitung

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.