

TEXTE

125/2022

Teilbericht

Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG 2020/2021

von:

Svenja Grummt
Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 125/2022

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

Forschungskennzahl 3722 34 309 0
Teilbericht 1 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“
FB000929

Teilbericht

Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG 2020/2021

von

Svenja Grummt
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

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

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

Durchführung der Studie:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

Abschlussdatum:

August 2022 // Januar 2023 Korrekturen in Tabellen 4, 5 und 15 sowie auf Seiten 76
(1. Absatz) und 92 (letzter Absatz)

Redaktion:

Fachgebiet III 1.6 Kunststoffe und Verpackungen
Matthias Fabian

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, November 2022

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

Kurzbeschreibung: Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG 2020/2021

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.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die für die Jahre 2020 und 2021 ermittelte Praxis der Sortierung und Verwertung deutscher Verpackungsabfälle, die typischerweise bei privaten Endverbrauchern als Abfall anfallen (systembeteiligungspflichtige Verpackungen). Die Praxis wurde auf Basis einer Erhebung 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. Darauf aufbauend beschreibt und identifiziert dieser Bericht Änderungen in der Prozesstechnik gegenüber dem Bezugsjahr 2019 sowie innovative technische Potenziale beim Recycling. Des Weiteren wird der Stand der Technik der Anlagen innerhalb der 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) getroffen sowie Änderungsvorschläge für dessen Anhänge 2 und 3 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 2020/2021

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.

This report provides an overview of the sorting and recovery practice of German packaging waste typically generated as waste by private end consumers (packaging subject to system participation) determined for the years 2020 and 2021. The practice was determined based on a survey. 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. Based on this, changes in process technology compared to the reference year 2019 as well as innovative technical potentials in recycling are identified and described. Furthermore, the state of the art of the equipment within the practice is classified.

The results from the study 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". In this context, the findings allow

quantitative statements on the availability of existing sorting and recovery structures (Annex 1 of the Minimum Standard) and proposals for amendments to its Annexes 2 and 3 are provided. This report also classifies the problems in separation, sorting and recovery as indicated by the sorters and recyclers.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	14
Glossar	16
Zusammenfassung.....	18
Summary	24
1 Einleitung.....	29
2 Methode und Begriffserläuterungen zur Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung	30
2.1 Kurzbeschreibung der Methode	30
2.2 Berechnung der Anwendungsgrade	32
2.3 Definition einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung.....	37
2.4 Praxis der SuV und Mindeststandard nach § 21 Abs. 3 VerpackG	39
3 Ergebnisse der Erhebung und Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung	41
3.1 LVP-Sortierung	41
3.1.1 Rücklauf der Erhebung.....	41
3.1.2 Pfadbeschreibung	41
3.1.3 Ermittlung der Praxis der LVP-Sortierung	45
3.1.4 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Trennung und Sortierung	51
3.2 Verwertung von Kunststofffolien.....	56
3.2.1 Rücklauf der Erhebung.....	56
3.2.2 Pfadbeschreibung	56
3.2.3 Ermittlung der Praxis der SuV für Kunststofffolien.....	59
3.2.4 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung	60
3.3 Verwertung von PP und PE	62
3.3.1 Rücklauf der Erhebung.....	62
3.3.2 Pfadbeschreibung	63
3.3.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PP und PE	66
3.3.4 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung	68
3.4 Verwertung von MPO und PO-flex.....	71
3.4.1 Rücklauf der Erhebung.....	71
3.4.2 Pfadbeschreibung	72
3.4.3 Ermittlung der Praxis der SuV für MPO und PO-flex.....	74

3.4.4	Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung	76
3.5	Verwertung von PS.....	77
3.5.1	Rücklauf der Erhebung.....	77
3.5.2	Pfadbeschreibung	78
3.5.3	Ermittlung der Praxis der SuV für PS.....	79
3.5.4	Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung	81
3.6	Verwertung von PET.....	82
3.6.1	Rücklauf der Erhebung.....	82
3.6.2	Pfadbeschreibung	82
3.6.3	Ermittlung der Praxis der SuV für PET.....	86
3.6.4	Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung	87
3.6.5	Störstoffkomponenten im Rejekt	89
3.7	Verwertung von PPK aus dem Blauen System	90
3.7.1	Rücklauf der Erhebung.....	90
3.7.2	Pfadbeschreibung	90
3.7.3	Ermittlung der Praxis der SuV für PPK aus dem Blauen System	92
3.7.4	Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung	94
3.7.5	Störstoffkomponenten im Rejekt	97
3.8	Verwertung von PPK aus LVP und FKN	98
3.8.1	Rücklauf der Erhebung.....	98
3.8.2	Pfadbeschreibung PPK aus LVP	99
3.8.3	Pfadbeschreibung FKN	100
3.8.4	Ermittlung der Praxis der SuV für PPK aus LVP und FKN	103
3.8.5	Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung	105
3.8.6	Störstoffkomponenten im Rejekt	107
3.9	Aufbereitung von Behälterglas	107
3.9.1	Rücklauf der Erhebung.....	107
3.9.2	Pfadbeschreibung	108
3.9.3	Ermittlung der Praxis der SuV für Behälterglas	112
3.9.4	Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung	113
3.10	Verwertung von Verpackungen aus Eisenmetallen	117
3.10.1	Pfadbeschreibung	117
3.10.2	Ermittlung der Praxis der SuV für Verpackungen aus Eisenmetallen	118
3.11	Verwertung von Verpackungen aus Aluminium	119

3.11.1	Pfadbeschreibung	119
3.11.2	Ermittlung der Praxis der SuV für Verpackungen aus Aluminium	121
4	Empfehlungen zur Berücksichtigung der Praxis der SuV im Mindeststandard gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG	123
4.1	Vorhandensein von Sortier- und Verwertungsinfrastruktur.....	123
4.2	Sortier- und Trennbarkeit sowie Recyclingunverträglichkeiten	125
4.3	Exkurs: Stand der Praxis der Kunststoffverwertung	126
5	Quellenverzeichnis	129
A	Erhebungsbögen.....	133
A.1	Erhebungsbogen LVP-Sortieranlagen	133
A.2	Erhebungsbogen Verwertung von Kunststofffolien	139
A.3	Erhebungsbogen PP-Verwertung.....	143
A.4	Erhebungsbogen PE-Verwertung.....	147
A.5	Erhebungsbogen Verwertung von MPO und PO-flex	151
A.6	Erhebungsbogen PS-Verwertung	155
A.7	Erhebungsbogen PET-Verwertung.....	159
A.8	Erhebungsbogen Verwertung von FKN und sonstigen Verbunden	164
A.9	Erhebungsbogen Papierfabriken.....	168
A.10	Erhebungsbogen Glasaufbereiter	172
B	Auswertung der Erhebungsbögen.....	175
B.1	Auswertung LVP-Sortieranlagen	175
B.2	Auswertung Verwertung von Kunststofffolien	175
B.3	Auswertung PP-Verwertung	175
B.4	Auswertung PE-Verwertung.....	175
B.5	Auswertung Verwertung von MPO und PO-flex	175
B.6	Auswertung PS-Verwertung.....	175
B.7	Auswertung PET-Verwertung.....	175
B.8	Auswertung von FKN und sonstigen Verbunden	175
B.9	Auswertung Papierfabriken	175
B.10	Auswertung Glasaufbereiter	175

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Baumdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung des Anwendungsgrades der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$...	33
Abbildung 2: Definitionen der drei Anwendungsgrade $P(A_S)$, $P(A_V)$ und $P(A_{SuV})$	34
Abbildung 3: Prozesse der hochwertigen werkstofflichen Verwertung (Referenzanlagen) nach Definition des Mindeststandards	38
Abbildung 4: Vereinfachte Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung der LVP-Sortierung.....	43
Abbildung 5: Praxis der Sortierung für 2020 und 2021 – Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten der Feinabsiebung und Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$	46
Abbildung 6: Praxis der Sortierung für 2020 und 2021 – Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten formstabiler Kunststoffverpackungen und Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$	48
Abbildung 7: Praxis der Sortierung für 2020 und 2021 – Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten flexibler Kunststoffverpackungen und Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$	49
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Kunststofffolien	58
Abbildung 9: Praxis der SuV für 2020 für Kunststofffolien.....	59
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PP- und PE-Verpackungen	65
Abbildung 11: Praxis der SuV für 2020 für PP-Verpackungen.....	66
Abbildung 12: Praxis der SuV für 2020 für PE-Verpackungen.....	67
Abbildung 13: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von MPO und PO-flex.....	74
Abbildung 14: Praxis der SuV für 2020 für Verpackungen aus MPO und PO-flex...	75
Abbildung 15: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PS-Verpackungen	79
Abbildung 16: Praxis der SuV für 2020 für PS-Verpackungen	80
Abbildung 17: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PET-Verpackungen	85
Abbildung 18: Praxis der SuV für 2020 für PET-Flaschen, transparent; exemplarischer $P(A_{SuV})$ der PET-Fraktionen 325 und 328-(1-6) mit minimalen Anteilen an transparenten PET-Flaschen gemäß Spezifikation und Angabe der Spannbreite für $P(A_{SuV})$ für PET Flaschen, transparent.....	87
Abbildung 19: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Verwertung von vorsortiertem PPK aus dem Blauen System	92
Abbildung 20: Praxis der SuV für 2020 für PPK-Verpackungen aus dem Blauen System	93

Abbildung 21: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PPK aus LVP	100
Abbildung 22: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von FKN	102
Abbildung 23: Praxis der SuV für 2020 für PPK aus LVP	104
Abbildung 24: Praxis der SuV für 2020 für FKN	105
Abbildung 25: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Aufbereitung von Behälterglas	109
Abbildung 26: Praxis der SuV für 2020 für Behälterglas	112
Abbildung 27: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Verpackungen aus Eisenmetallen	118
Abbildung 28: Praxis der Sortierung für 2020 für Verpackungen aus Eisenmetallen	119
Abbildung 29: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Verpackungen aus Aluminium	121
Abbildung 30: Praxis der Sortierung für 2020 für Verpackungen aus Aluminium	122

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Weitere Anwendungsgrade der Sortierung P(A _S) für 2019, 2020 und 2021	50
Tabelle 2: Einschätzung der LVP-Sortierer zu problematischen Verpackungen und Komponenten bei der Trennung und Sortierung (Gesamtanzahl an LVP-Sortieranlagen: 40); Abbildung der Buchstaben zu den kombinierten Antworten befinden sich hinter den Spaltenüberschriften	51
Tabelle 3: Einschätzung der Verwerter von Kunststofffolien zu problematischen Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung (Gesamtanzahl Referenzanlagen: 21); Abbildung der Buchstaben zu den kombinierten Antworten befinden sich hinter den Spaltenüberschriften	60
Tabelle 4: Einschätzung der PP-Verwerter zu problematischen Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 17); Abbildung der Buchstaben zu den kombinierten Antworten befinden sich hinter den Spaltenüberschriften	68
Tabelle 5: Einschätzung der PE-Verwerter zu problematischen Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 20); Abbildung der Buchstaben zu den kombinierten Antworten befinden sich hinter den Spaltenüberschriften	69
Tabelle 6: Einschätzung der MPO und PO-flex-Verwerter zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 9).....	76
Tabelle 7: Einschätzung der PS-Verwerter zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 3).....	81
Tabelle 8: Einschätzung der PET-Verwerter zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 6).....	88
Tabelle 9: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der PET-Verwerter (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 6).....	89
Tabelle 10: Einschätzung der PPK-Verwerter zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 53).....	96
Tabelle 11: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der PPK-Verwerter (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 53)	97

Tabelle 12: Einschätzung der Verwerter von PPK aus LVP und FKN zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 6).....	106
Tabelle 13: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der Verwerter von PPK aus LVP und FKN (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 12)	107
Tabelle 14: Einschätzung der Glasaufbereiter zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 21).....	113
Tabelle 15: Anwendungsgrade in Bezug zu Anhang 1 des Mindeststandards.....	123
Tabelle 16: Stand der Praxis der Verwertung von Kunststoffen aus den Ergebnissen der Erhebungsbögen	127

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
Alu	Aluminium
BVT	Beste verfügbare Technik, engl. best available techniques
EK III	Expertenkreis III
engl.	Englisch
EPS	Expandiertes Polystyrol
et al.	und andere
EuPIA	Europäischer Druckfarbenverband, engl. European Printing Ink Association
EVA	Ethylen-Vinylacetat-Copolymer
EVOH	Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer
Fe	Eisen
FKN	Flüssigkeitskarton
FSK	Formstabile Kunststoffe
HDPE	High-Density Polyethylene
I	Integrierte Aufbereitung
i. d. R.	in der Regel
IK	Industrievereinigung Kunststoffverpackungen
KA(S)	Kunststoffarten(sortierung)
KSP	Keramik, Steine und Porzellan
LDPE	Low-Density Polyethylene
LVP	Leichtverpackungen
MKS	Mischkunststoffe
MPO	Gemischte Polyolefine
MSN	Mengenstromnachweis
NE	Nichteisen
NIR	Nah-Infrarot
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
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PPK, PPC	Papier, Pappe, Kartonagen, engl. paper, paper board and cardboard packaging
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
PVDC	Polyvinylidenchlorid
S	Sortierung
SSP	Solid State Polymerisation
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
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VerpackG	Verpackungsgesetz
ZSVR	Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister

Glossar

(duales) System	Privatrechtlich organisierte juristische Person oder Personengesellschaft, welches die haushaltsnahe Sammlung und Entsorgung von gebrauchten systembeteiligungspflichtigen Verpackungen organisiert (vgl. § 3 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 bestimmte Sortiertechnik trifft, die die Verpackung in eine Fraktion sortiert und für eine werkstoffliche Verwertung bereitstellt. Annahme: Alle Verpackungen in der LVP-Sammelmenge sind homogen verteilt.
Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{suv})$	Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung auf eine spezifische Sortiertechnik trifft und anschließend hochwertig werkstofflich verwertet wird.
Anwendungsgrad der Verwertung $P(A_v)$	Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung zugeführt wird. Finaler Kennwert für PPK und Behälterglas.
Expertenkreis III (EK III)	Fachgremium, welches die ZSVR zum Mindeststandard berät.
Materialgruppe	Zusammenfassung verschiedener Verpackungen
Recyclingfähigkeit	Eignung einer Verpackung, Neuware in werkstofftypischen Anwendungen zu substituieren, nachdem ein hochwertiger werkstofflicher Recyclingprozess durchlaufen wurde (ZSVR, 2021a).
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, 2021a).
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 VerpackG).
Verbundverpackung	Kombination aus mindestens zwei unterschiedlichen Materialarten, die nicht von Hand trennbar sind (vgl. § 3 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 bei 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 sollten 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.

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. Sie erfasst sowohl Anlagen in Deutschland als auch im Ausland. Voraussetzung ist, dass die Anlagen nachweislich mit Mengen der deutschen dualen Systeme beliefert werden. Die Praxis der SuV betrachtet Anlagen, die mit dem Stand der Technik übereinstimmen als auch solche, die nicht mit dem Stand der Technik übereinstimmen. Sie beschreibt nur Anlagen, die einen tatsächlichen Verwertungsweg am Markt darstellen. Anlagen, die sich noch im Testbetrieb befinden, werden nicht erfasst. Sortier- und Verwertungsprozesse, die theoretisch möglich, aber in der Praxis noch nicht eingesetzt sind (Probetrieb), werden im Zuge der Praxis der SuV nicht ermittelt. Damit relevante Änderungen ermittelt werden können, sollte die Praxis der SuV regelmäßig erfasst werden (Dehoust et al., 2021).

Die Ergebnisse des vorliegenden Berichts dienen als wissenschaftliche Grundlage für die Weiterentwicklung des „Mindeststandards zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG“ (ZSVR, 2021a). Der Mindeststandard muss unter Berücksichtigung der einzelnen Verwertungswege und Materialarten von der ZSVR (Zentrale Stelle Verpackungsregister) im Einvernehmen mit dem Umweltbundesamt 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 dualen Systeme müssen die Kriterien kennen, um die finanzielle Anreizsetzung über Beteiligungsentgelte festlegen zu können (Dehoust et al., 2021).

Methode zur Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung

Der vorliegende Bericht über die Praxis der SuV bildet die Stoffströme von Verpackungsabfall im jeweiligen Bezugsjahr auf die verschiedenen Sortier- und Verwertungspfade mengenbezogen ab. Dehoust et al. haben dafür im Bericht UBA TEXTE 11/2021 eine Methode zur Ermittlung der Praxis der SuV entwickelt und für das Bezugsjahr 2019 angewandt (Dehoust et al., 2021). Für den vorliegenden Bericht wurde diese Methode wiederholt genutzt. Dabei wurden die Bezeichnungen der Kennwerte neu definiert. Die Methode wurde um einen dedizierten Kennwert für transparente PET-Flaschen und sonstige PET-Verpackungen weiterentwickelt. Die generellen Arbeitsschritte zur Durchführung der Methode sind identisch. Unterschiede liegen zum einen in der Berechnung des Anwendungsgrades für die PET-Verpackungen und zum anderen in der Verwendung der Verwertungszuführungsmengen aus dem Mengenstromnachweis (MSN) für das Bezugsjahr 2020. Die Methode ermöglicht die Bemessung der materialgruppenspezifischen Sortier- und Verwertungstechnologien mit einem Kennwert und wahrt gleichzeitig Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen der Anlagen. Dabei ist für jede mit

Systemmengen belieferte Anlage eine stoffstromspezifische Klassifizierung in Prozessvarianten erforderlich.

In diesem Bericht werden drei verschiedene 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 in einer Sortieranlage für Leichtstoffverpackungen (LVP) 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 homogen verteilt sind. Analog gibt der Anwendungsgrad der Verwertung $P(A_V)$ die Wahrscheinlichkeit an, dass eine Verpackung einer hochwertig werkstofflichen Verwertung zugeführt wird. Daraus resultiert der kombinierte Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$, welcher die Wahrscheinlichkeit repräsentiert, mit der eine Verpackung sowohl auf eine spezifische Sortiertechnik trifft, als auch auf einen hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfad. Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die ermittelte Praxis der SuV deutscher systembeteiligungspflichtiger Verpackungsabfälle. Die Ergebnisse der Erhebungsmethode konnten für 2020 für die Sortierung und Verwertung sowie für 2021 ausschließlich für die Sortierung quantitativ ermittelt werden. Die Praxis wurde auf Basis einer Erhebung von Sortierern und Verwertern deutscher systembeteiligungspflichtiger Verpackungsabfälle ermittelt. Der erste Teil des Fragebogens konstituiert eine quantitative Studie. Hierbei wurden Sortierer und Verwerter beispielsweise nach aktueller Prozesstechnik 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 LVP aus dem Gelben System (gelber Sack, gelbe Tonne).

Ergebnisse und Empfehlungen für den Mindeststandard

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 Einordnung 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 2021 (ZSVR, 2021a) 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, 2021a).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Einstufungen in Anhang 1 des Mindeststandards 2021 unverändert im Mindeststandard 2022 fortgeführt werden können. Es ergeben sich keine Veränderungen der Praxis der SuV, die eine veränderte Einstufung erfordern. Für Behälterglas ist der Anwendungsgrad der Verwertung $P(A_V) = 100 \%$ und für PPK $P(A_V) = 99 \%$. Für Behälterglas und PPK wird nur $P(A_V)$ erfasst, da für Verpackungen aus diesen Materialien keine LVP-Sortierung vorgeschaltet ist. Der Anwendungsgrad der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$ beträgt für Flüssigkeitskartons (FKN) sowie formstabile Kunststoffverpackungen aus PP und HDPE (z. B. Flaschen, Schalen, Becher) über 90 %. Die Berechnungen weisen auf einen Verbleib der genannten Verpackungen in Spalte 3A des Mindeststandards hin, da für diese Verpackungen ein hochwertiger werkstofflicher Verwertungspfad gegeben ist. Für Verpackungen aus Aluminium und Eisenmetallen beträgt der Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S) = 100 \%$. Diese

Verpackungen sollten weiterhin Spalte 3A zugeordnet werden. Da, wie bereits im Bericht für 2019, keine Metallverwerter befragt wurden, bezieht sich die Berechnung nur auf die Sortierung; eine hochwertige Verwertung wird in allen Fällen vorausgesetzt. $P(A_{\text{SuV}})$ für Kunststofffolien beträgt knapp über 80 %. In diesem Anwendungsgrad sind auch kleinformatige Folien, welche über Nah-Infrarot (NIR)-Sensoren aussortiert werden, miteinbezogen. Wir empfehlen Kunststofffolien in Spalte 3B des Mindeststandards zu belassen. Gegenüber dem Bericht 2019 wurde für $P(A_{\text{SuV}})$ von Kunststofffolien ein Zuwachs von ca. 10 Prozentpunkten verzeichnet. Für die Fraktionen MPO und PO-flex lässt sich $P(A_{\text{SuV}})$ auf ca. 30 % beziffern. Auch für diese Verpackungen wurde ein Anstieg gegenüber 2019 von 4 Prozentpunkten verzeichnet. Diese Anstiege sind durch gesteigerte Quotenvorgaben des VerpackG erklärbar und die dadurch vermehrte Anstrengung, die Verwertungszuführung auszuweiten. $P(A_{\text{SuV}})$ für formstabile Verpackungen aus PS beträgt ca. 62 % und ist damit gegenüber 2019 um 3 Prozentpunkte gesunken. PS ist damit weiterhin Spalte 3B des Mindeststandards zuzuordnen.

$P(A_{\text{SuV}})$ für PPK aus LVP beträgt etwa 57 %. Fast alle Sortierer gaben an, diese Fraktion für eine stoffliche Verwertung bereitzustellen. PPK aus LVP weist gemäß Anlagenbetreibern einen hohen Verschmutzungsgrad und vermehrt Anteile an Kunststoffen auf, welche ein Recycling erschweren und die Faserausbeute in der Papierfabrik reduzieren können. Verwerter gaben zudem an, dass PPK aus LVP anderen Papierfraktionen zur Qualitätssteigerung beigemischt werden muss. Besonders Füllgutreste von Lebensmitteln können Geruchsbildung sowie Schimmel- oder Schädlingsbefall an den Verpackungen hervorrufen. Aufgrund der genannten Probleme sowie geringer Verbundanteile und Ausbringungsraten der Fraktion PPK aus LVP ist von einem deutlich geringeren Wert für $P(A_{\text{SuV}})$ auszugehen. In der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2022 ist ein Einzelnachweis für faserbasierte Verbundverpackungen mit flüssigen und pastösen Füllgütern (außer FKN) angedacht (ZSVR, 2022c). Die Zugabe von z. B. Nassfestmitteln oder Beschichtungen zur Gewährleistung des Produktschutzes können das Recycling hindern. PPK-Verwerter gaben an, dass sich 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. Es bedarf einer Weiterentwicklung der Methode, um die Praxis der Verwertung für diese Fraktion besser abzubilden und die genannten Kriterien zu berücksichtigen. Wir empfehlen die Thematik in der kommenden EK III-Runde erneut aufzugreifen und zu diskutieren.

Für transparente PET-Flaschen sowie sonstige formstabile PET-Verpackungen erweitert dieser Bericht die Erhebungsmethode und bestimmt eine Spannbreite zwischen Worst Case und Best Case der Verpackungsanteile in den PET-Fraktionen 325 und 328-(1-6). Für transparente PET-Flaschen beträgt die Spannbreite 73,1 % – 83,0 %. Für die Praxis der SuV von transparenten PET-Flaschen sind dementsprechend sowohl Werte unter als auch über 80 % plausibel. Aufgrund dieser Daten ist die Zuordnung von transparenten PET-Flaschen sowohl in Spalte 3A als auch 3B möglich. Aufgrund einer ungenügenden Datenbasis (abgedeckte Mengenanteil der Rückläufe für die Fraktion 325 („PET-Flaschen“) nur bei 30 %), empfehlen wir, transparente PET-Flaschen im kommenden Mindeststandard 2022 weiterhin in Spalte 3A aufzulisten und die Datenbasis zukünftig zu verbessern.

Für sonstige formstabile PET-Verpackungen wurde eine Spannbreite von 2,6 % – 25,3 % bestimmt. Die Unter- und Obergrenze (Worst Case und Best Case) entspricht dem Minimum und Maximum aller Kombinationen an sonstigen PET-Verpackungsanteilen in den folgenden Fraktionen: 328-1, -2, -3, -5 und -6. Ein Anwendungsgrad von 2,6 % ergibt sich nur, wenn sonstige PET-Verpackungen ausschließlich über die Fraktionen 328-5 und 328-6 („PET-Schalen“) hochwertig werkstofflich verwertet werden können. Aufgrund der folgenden

Einschränkungen empfehlen wir, sonstige PET-Verpackungen weiterhin in Spalte 3C zu belassen:

- ▶ Der Best Case von 25,3 % ist nur erreichbar in einer speziellen Kombination von Anteilen an sonstigen PET-Verpackungen in den PET-Fractionen 328-1, -2, -3, -5 und -6. Alle anderen Kombinationen liegen unterhalb dieser Prozentzahl.
- ▶ Einige Sortieranlagen gaben an, dass die Fraktion 328-5 von Verwertungsanlagen teils werkstofflich und teils energetisch verwertet wird. Diese Anlagen wurden aufgrund des Anteils an hochwertiger werkstofflicher Verwertung trotzdem gezählt und einberechnet (Zahlen für die Teilmengen innerhalb der Anlagen lagen nicht vor).
- ▶ Die Obergrenze der genannten Spannbreite setzt voraus, dass sowohl Mono- als auch Multilayer-Schalen einberechnet werden. Die Einbeziehung von Multilayer-Schalen ist unplausibel, denn fast alle befragten PET-Verwerter gaben an, Multilayer-PET-Schalen vorab auszusortieren (Zahlen für die Teilmengen innerhalb der Anlagen lagen nicht vor).

Diese in dieser Studie nicht genau quantifizierbaren Faktoren führen nach unserer Einschätzung dazu, dass der tatsächliche Anwendungsgrad deutlich unter dem für die Einstufung im Anhang 1 des Mindeststandards relevanten Grenzwert von 20 % liegen wird.

Für EPS besteht in den Jahren 2020 und 2021 kein hochwertiger Verwertungspfad, wenn es über die LVP-Sammlung (gelber Sack, gelbe Tonne) erfasst wird. $P(A_5)$ beträgt für EPS in den Jahren 2020 und 2021 0 %. Damit sollte EPS in Spalte 3C eingeordnet werden. Für Verpackungen aus PC, PVC, PA, PLA, kompostierbaren Kunststoffen sowie Keramik, Holz, Kork und anderen eben nicht genannten Kunststoffen bestehen derzeit keine hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfade über die LVP-Sammlung.

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 gegenüber dem Bezugsjahr 2019 auf und verweist auf innovative technische Potenziale beim Recycling. Zu nennen ist hierbei insbesondere der Einsatz von 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 Ausgussensätzen 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. Bisher verwenden nur wenige Anlagen diese Technik, weshalb sie noch keine generelle Praxis darstellt. Aufbereiter trafen die Aussage, dass NIR-Trenner in der Glasaufbereitungstechnik in den folgenden Jahren an Bedeutung gewinnen werden.

Im Hinblick auf die Unterschiede bei der LVP-Sortierung existieren gegenüber der Befragung für 2019 durch Dehoust et al. keine Anlagen mehr ohne Feinabsiebung. Im Vergleich lässt sich in der aktuellen Auswertung eine Verschiebung zu gröberen Maschenweiten gegenüber 2019 feststellen. Da keine gemeinsame Grundgesamtheit an LVP-Sortieranlagen für die Jahre 2019 und 2020/2021 vorliegt, lassen sich die Anwendungsgrade nur bedingt miteinander vergleichen. Dehoust et al. gaben für 2019 an, dass vorrangig in älteren Anlagen bei gröberen Maschenweiten und in modernen Anlagen bei feineren Maschenweiten abgesiebt wird (Dehoust

et al., 2021, S. 101). Diese Aussage kann im vorliegenden Bericht nur bedingt bestätigt werden, da auch moderne Anlagen größere Maschenweiten (40 mm – 60 mm) einsetzen. Über die letzten drei Jahre ist eine deutliche Verschiebung von feineren zu größeren Maschenweiten ersichtlich. Als Grund für die Umstellung von feineren zu größeren Maschenweiten wurde seitens Anlagenbetreibern angegeben, dass kleinstückige Verpackungen zu Fehlausträgen bei den NIR-Trennern und zu Störungen im Prozess führen. Dies erlaube die Abtrennung kleiner Störstoffe, wie Knopfzellen, Batterien und kleinteiliger organischer Bestandteile. Durch diese „Entfrachtung“ erhöhe sich die Ausbringung und die Qualität in den Fraktionen. Die Entwicklung der Feinabsiebung sollte in zukünftigen Erhebungsbögen weiterhin beobachtet werden. Wir haben uns dennoch entschieden, die feinen Maschenweiten (20 mm und 30 mm) wie im Bericht von 2019 als Stand der Technik einzustufen. Grund dafür ist, dass bei feineren Maschenweiten auch kleine Verpackungen sortierfähig sind und eine Chance auf eine hochwertige werkstoffliche Verwertung haben.

Ein weiteres Ergebnis der Befragung der LVP-Sortierer (ohne Verwertung) ist, dass gegenüber 2019 in der aktuellen Auswertung ein deutlicher Anstieg vom $P(A_5)$ der Fraktion PO-flex um 10 Prozentpunkte ersichtlich ist. Eine mögliche Ursache liegt darin, dass die Fraktion neu ist und sich erst als Alternative zur Fraktion Mischkunststoffe etablieren musste. Die Sortierung schwarzer Kunststoffe (351-5) als Monofraktion hat gegenüber 2019 um wenige Prozentpunkte (ca. 4 % – 7 %) abgenommen. Ein LVP-Sortierer teilte jedoch auf Nachfrage mit, dass für 2019 versehentlich eine Falschangabe gemacht wurde. Im Vergleich der Jahre 2020 und 2021 hat $P(A_5)$ um ca. 4 Prozentpunkte zugenommen. Das Ergebnis zeigt, dass weiterhin nur wenige LVP-Sortieranlagen die Prozesstechnik besitzen, um schwarze (rußbasierte) Kunststoffe als Fraktion separieren zu können.

Der Waschprozess bei der Kunststoffverwertung ermöglicht eine Entfernung von Klebstoffresten, Anhaftungen und Etiketten. Bei den PET-Verwertern ist eine Heißwäsche weiterhin generelle Praxis. Bei den anderen befragten Verwertungsanlagen wird die Wäsche in den Jahren 2020/2021 überwiegend als Kaltwäsche und/oder Trockenreinigung ausgeführt. Dieses Ergebnis stimmt mit den Angaben von Dehoust et al. überein. Nur wenige Kunststoff-Verwerter (außer PET) gaben an, das Mahlgut heiß zu waschen. Eine Heißwäsche wird zur intensiven 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. Detergenzien zugegeben. Eine Heißwäsche kann die Qualität der Rezyklate verbessern und das Einsatzspektrum erweitern (Knappe, Reinhardt, Kauertz, Oetjen-Dehne, & Buschow, 2021). Die Washtemperatur beim Kunststoffrecycling sollte in kommenden Erhebungen weiterhin abgefragt und beobachtet werden.

Die Erhebung bot den Sortierern und Verwertern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Komponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Prozess verursachen können. Als Erkenntnis aus der Befragung ist festzustellen, dass die Sortierer und Verwerter überwiegend die im Anhang 2 und 3 des Mindeststandards angegebenen Verpackungsmerkmale und Recyclingunverträglichkeiten teilten. 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. Glasaufbereiter gaben beispielsweise Einweg-Gewürzmøhlen mit Keramik-Mahlwerk sowie schwer ablösbare Etiketten und wasserfeste Klebstoffe als Probleme an. PPK-Verwerter sahen insbesondere Wachspapiere, nassfeste Papiere, verschiedene Druckfarben sowie Kunststoff- und Aluminiumbeschichtungen und -kaschierungen als problematisch an.

Die in 2020/2021 bestehenden technischen Möglichkeiten bei der Sortierung und Verwertung deutscher Verpackungsabfälle sind noch nicht in vollem Umfang ausgeschöpft. Mit bestehenden Prozesstechniken gelingt bereits ein hochwertiges werkstoffliches Recycling. Es besteht jedoch noch Optimierungspotential. Teilweise existiert eine Diskrepanz zwischen Stand der Technik und Stand der Praxis. Der vorliegende Bericht identifiziert neue technische Ansätze, wie Heißwäsche im Kunststoffrecycling oder NIR-Technik in Glasaufbereitungsanlagen. Diese können eine verbesserte Recyclingfähigkeit von Verpackungen ermöglichen.

Der Bericht diskutiert 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).

Summary

Section 21 of the German Packaging Act (VerpackG) obliges the dual systems to create financial incentives within the framework of participation fees in order to promote highly recyclable packaging. This should reduce the negative environmental impact of packaging waste and promote high-quality mechanical recycling. According to the German Packaging Act, 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.

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. It covers both, facilities in Germany and abroad. The prerequisite is that the facilities are verifiably supplied with packaging waste from the German dual systems. The practice of SaR includes plants that correspond to the state of the art as well as those that do not correspond to the state of the art. It only describes plants that are in fact part of the current recovery route on the market. Plants that are still in operation testing mode are not included. Sorting and recovery processes that are theoretically possible but not yet used in practice (trial operation) are not identified in the course of determining the practice of SaR. In order for relevant changes to be identified, the practice of SaR should be recorded regularly (Dehoust et al., 2021).

The results of the present report at hand serve as a scientific basis for the further development of the "Minimum Standard for the assessment of the recyclability of packaging subject to system participation pursuant to Section 21 (3) VerpackG" (ZSVR, 2021a). The Minimum Standard must be updated and further developed annually by the Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister (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 (3) of the Packaging Act). 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 infrastructure currently existing at industrial scale. The dual systems must know the criteria in order to be able to determine the financial incentives by means of the participation fees (Dehoust et al., 2021).

Method for determining the practice of sorting and recovery

The report about the practice of SaR maps the quantity flows to the various sorting and recovery paths of packaging waste in the respective reference year on a quantity basis. 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. In that process, however, the designations of the characteristic values were redefined. The method was improved to include a dedicated characteristic value for transparent PET bottles and other PET packaging. The general steps for carrying out the method are remain the same. Differences compared to the original method are, on the one hand, included in the calculation of the application rate for PET packaging and, on the other hand, in the use of the recovery feed quantities from the mass flow certificate for the reference year 2020. This method allows for the assessment of group-specific material sorting and recovery technologies with one characteristic value. At the same time, this method preserves legally protected operational and business secrets of the plants. This requires a material stream-specific classification into process variants for each plant supplied with system quantities.

This report defines three different determination criteria: application degree of sorting $P(A_S)$, application degree of recovery $P(A_V)$, and application degree of sorting and recovery $P(A_{SuV})$. The survey data on sorting results in the application degree of sorting $P(A_S)$. It represents the probability that a packaging encounters a specific sorting technology at a sorting plant for lightweight packaging, that sorts the packaging into a fraction enabling mechanical recovery. We assume that all packaging in the lightweight packaging collection volume is homogeneously distributed. Similarly, the application degree of recovery $P(A_V)$ indicates the probability that a packaging is undergoing to a high-quality mechanical recovery. Combined, this results in the application degree of sorting and recovery $P(A_{SuV})$, which represents the probability of a packaging encountering both a specific sorting technique and a high-quality mechanical recycling path. This report provides an overview of the identified practice of SaR of German packaging subject to system participation. For 2020, the survey allows quantifying the practice of SaR, while for 2021, we can only determine the practice of sorting. The practice was determined based on a survey of sorters and recyclers of German packaging waste subject to system participation. The first part of the survey constitutes a quantitative study. Here, sorters and recyclers were asked, for example, about current process technology. The second part is a qualitative survey in which sorters and recyclers were able to give a subjective assessment of specific problems. The survey concentrates on the recycling of container glass, paper, paper board and cardboard packaging from the blue system (PPC) as well as lightweight packaging from the yellow system (yellow bag, yellow garbage bin).

Results and recommendations for the Minimum Standard

Annex 1 of the Minimum Standard maps the availability of sorting and recovery infrastructure for packaging subject to system participation by means of knowledge about the practice of SaR. The quantitative study allows the classification of packaging waste into different columns of the table in Annex 1. Defined threshold values were used there to quantify the supply to sorting and recycling capacities. According to the Minimum Standard 2021 (ZSVR, 2021a), for column 3A an input to high-quality mechanical recycling can be assumed ($P(A_{SuV}) \geq 80 \%$), for column 3B a high-quality mechanical recycling applies only to a limited extent ($P(A_{SuV}) > 20 \%$ and $< 80 \%$), and for column 3C only in individual cases/to a marginal extent ($P(A_{SuV}) \leq 20 \%$). For fraction numbers in column 3C, individual evidence must be provided. For column 3B, the provision of individual evidence is only recommended (ZSVR, 2021a).

In summary, the classifications in Annex 1 of the Minimum Standard 2021 can be kept unchanged for the Minimum Standard 2022. There are no changes in the practice of the SaR that require a change in classification. For container glass, the application degree of recovery $P(A_V) = 100 \%$ and for PPC $P(A_V) = 99 \%$. For container glass and PPC, only $P(A_V)$ is recorded, since no lightweight packaging sorting is upstream for packaging made of these materials. The application degree of sorting and recovery $P(A_{SuV})$ is over 90 % for liquid packaging board (FKN) and dimensionally stable plastic packaging made of PP and HDPE (e.g. bottles, trays, cups). The calculations indicate a retention of the above-mentioned packaging in column 3A of the Minimum Standard, as a high-quality mechanical recycling path is given for this packaging. For packaging made of aluminum and ferrous metals, application degree of sorting $P(A_S) = 100 \%$. This packaging should continue to be assigned to column 3A. Since, as in the 2019 report, no metal recyclers were surveyed, the calculation refers only to sorting; high-quality recycling is assumed in all cases. $P(A_{SuV})$ for plastic films is just over 80 %. This application level also includes small-format films, which are sorted out via near-infrared (NIR) sensors. We recommend leaving plastic films in column 3B of the Minimum Standard. Compared to the 2019 report, there was an increase of approximately 10 percentage points in $P(A_{SuV})$ for plastic films. For the MPO and PO-flex fractions, $P(A_{SuV})$ can be quantified at approximately 30 %. An increase

of 4 percentage points was also recorded for this packaging compared to 2019. These increases can be explained by increased quota requirements of the VerpackG and the resulting increased effort to expand the recovery feed. $P(A_{\text{SuV}})$ for dimensionally stable packaging made of PS is approximately 62 %, a decrease of 3 percentage points compared to 2019. PS is thus still to be assigned to column 3B of the Minimum Standard.

$P(A_{\text{SuV}})$ for PPC from lightweight packaging is about 57 %. Almost all sorters indicated that they provide this fraction for recycling. According to plant operators, this fraction has a high degree of contamination and an increased proportion of plastics, which can make recycling more difficult and reduce the fiber yield in the paper mill. Recyclers also indicated that PPC from lightweight packaging must be mixed with other paper fractions to improve quality. In particular, food product residues can cause odor formation and mold or pest infestation on the packaging. Due to the above-mentioned problems, as well as low composite content and output rates of the fraction PPC from lightweight packaging, a significantly lower value for $P(A_{\text{SuV}})$ can be assumed. In the consultation version of the Minimum Standard 2022, individual verification for fiber-based composite packaging with liquid and pasty content (except FKN) is being suggested (ZSVR, 2022c). The addition of, for example, wet strength agents or coatings to ensure product protection can hinder recycling. PPC recyclers indicated that residue-emptied fiber-based composite packaging for dry contents (e.g., bags for flour and sugar,) is generally easier to recycle. Consumers often do not recognize these as composite packaging and intuitively dispose of them in the blue garbage bin. Further development of the method is needed to better reflect the practice of recycling of this fraction and to consider the criteria mentioned. We recommend that the topic be taken up and discussed again in the upcoming EK III round.

For transparent PET bottles as well as other dimensionally stable PET packaging, this report extends the survey method and determines a range between worst case and best case of the packaging proportions in the PET fractions 325 und 328-(1-6). For transparent PET bottles, the range is 73.1 % – 83.0 %. Accordingly, for the practice of SaR of transparent PET bottles, both values below and above 80 % are plausible. Based on these data, the assignment of transparent PET bottles to both column 3A and 3B is possible. Due to an insufficient data basis (covered quantity share of returns for fraction 325 ("PET bottles") only at 30 %), we recommend to continue listing transparent PET bottles in column 3A in the upcoming Minimum Standard 2022 and to improve the data basis in the future.

For other dimensionally stable PET packaging, a range of 2.6 % – 25.3 % was determined. The lower and upper limits (worst case and best case) correspond to the minimum and maximum of all combinations of other PET packaging fractions in the following fractions: 328-1, -2, -3, -5 and -6. An application level of 2.6 % only results if other PET packaging can be recycled to high quality exclusively via fractions 328-5 and 328-6 ("PET trays"). Due to the following restrictions, we recommend to continue to keep other PET packaging in column 3C:

- The best case of 25.3 % is only achievable in a specific combination of shares of other PET packaging in PET fractions 328-1, -2, -3, -5, and -6. All other combinations are below this percentage.
- Some sorting facilities indicated that fraction 328-5 is recycled by recovery facilities partly for mechanical recovery and partly for energy recovery. These facilities were counted and included anyway because of the percentage of high-value mechanical recovery (figures for the fractions within the facilities were not available).
- The upper limit of the above range assumes that both monolayer and multilayer shells are included. The inclusion of multilayer trays is implausible, because almost all PET recyclers

surveyed stated that they sorted out multilayer PET trays in advance (figures for the partial quantities within the plants were not available).

In our estimation, these factors, which cannot be quantified precisely in this study, mean that the actual utilization rate will be well below the 20 % threshold relevant for classification in Annex 1 of the Minimum Standard.

There is no high-value recovery path for EPS in 2020 and 2021 if it is collected via lightweight packaging collection (yellow bag, yellow garbage bin). $P(A_S)$ is 0% for EPS in 2020 and 2021. Thus, EPS should be classified in column 3C. For packaging made of PC, PVC, PA, PLA, compostable plastics as well as ceramics, wood, cork and other plastics not mentioned above, there are currently no high-quality mechanical recovery paths via the lightweight packaging collection.

Due to high standardization, there are generally only a few path branches in the recovery of the packaging just mentioned with high-quality mechanical recovery. The report also shows changes in process technology compared to the reference year 2019 and refers to innovative technical potentials in recovery. Of particular note is the use of NIR technology in glass processing plants as a new trend in glass processing. This technology allows for the identification and separation of plastic components and represents the state of the art. One glass recycler stated that this technique is particularly helpful for identifying transparent plastic pouring inserts. Because of their transparency, these cannot be separated using transmitted light technology in the KSP separator (KSP stands for ceramics, stones and porcelain). Furthermore, labels adhering to glass cullet can be detected so that the label can be rubbed off the glass cullet in a downstream stage by mechanical label removal. The technology also enables the detection and ejection of plastic-containing reject glass, such as glass made of PMMA (acrylic glass) and polycarbonate. To date, only a few plants use this technology, so it is not yet a general practice. Reprocessors made the statement that NIR separators will gain importance in glass processing technology in the years ahead.

With regard to the differences in lightweight packaging sorting, there are no longer any plants without fine screening compared to the survey for 2019 by Dehoust et al. In comparison, a shift to coarser mesh sizes can be seen in the current evaluation compared to 2019. Due to the lack of a common population of lightweight packaging sorting facilities for 2019 and 2020/2021, the application rates can only be compared to a limited extent. Dehoust et al. stated for 2019 that screening is primarily done in older plants at coarser mesh sizes and in modern plants at finer mesh sizes (Dehoust et al., 2021, p. 101). This statement can only be confirmed to a limited extent in the present report, since modern plants also use coarser mesh sizes (40 mm – 60 mm). Over the last three years, a clear shift from finer to coarser mesh sizes is evident. The reason given by plant operators for switching from finer to coarser mesh sizes is that small packaging pieces lead to false discharges at the NIR separators and to disturbances in the process. This allows the separation of small impurities, such as button cells, batteries and small organic components. This "defractionation" increases the yield and quality in the fractions. The development of fine screening should continue to be monitored in future survey forms. Nevertheless, we decided to classify the fine mesh sizes (20 mm and 30 mm) as state of the art as in the 2019 report. The reason for this is that with finer mesh sizes, even small packaging is sortable and has a chance of high-quality mechanical recycling.

Another result of the survey of lightweight packaging sorters (without recovery) is that compared to 2019, a significant increase of 10 percentage points from the $P(A_S)$ of the PO-flex fraction is evident in the current evaluation. One possible reason is that the fraction is new and first had to establish itself as an alternative to the mixed plastics fraction. The sorting of black

plastics (351-5) as a mono fraction has decreased by a few percentage points (about 4 % – 7 %) compared to 2019. However, when asked, one lightweight packaging sorter disclosed that a misstatement was inadvertently made for 2019. Comparing 2020 and 2021, P(A_s) has increased by about 4 percentage points. The result shows that still only a few lightweight packaging sorting plants have the process technology to be able to separate black (carbon-soot based) plastics as a fraction.

The washing process in plastic recycling allows for the removal of adhesive residues, adhesions and labels. At PET recyclers, hot washing continues to be general practice. At the other recovery facilities surveyed, washing in 2020/2021 will be predominantly cold washing and/or dry cleaning. This result is consistent with the data from Dehoust et al. Only a few plastic recyclers (except PET) reported hot washing of the regrind. Hot washing is performed for intensive cleaning of the regrind surface from e.g. fats and labels and for odor reduction. To achieve better cleaning performance, the wash water is heated up to a certain temperature and detergents are added if necessary. Hot washing can improve the quality of recyclates and expand the range of applications (Knappe et al., 2021). Washing temperature in plastics recycling should continue to be queried and monitored in upcoming surveys.

The survey provided an opportunity for sorters and recyclers to provide an assessment of the relevance of problematic packaging and components that may cause specific problems in the process. As a finding from the survey, the sorters and recyclers predominantly corroborated the packaging characteristics and recycling incompatibilities indicated in Annex 2 and 3 of the Minimum Standard. In addition, sorters and recyclers had the opportunity to provide further information on critical packaging and components that may cause problems during separation, sorting and recovery. Glass recyclers, for example, mentioned disposable spice mills with ceramic grinders as well as labels that are difficult to remove, and waterproof adhesives as problems. PPC recyclers regarded waxed papers, wet-strength papers, various inks, and plastic and aluminum coatings and laminations as particularly problematic.

The technical options available in 2020/2021 for sorting and recovering German packaging waste have not yet been fully exploited. Existing process technologies already achieve high-quality mechanical recycling. However, there is still potential for optimization. In some cases, the state of the art differs from the state of practice. This report identifies new technical approaches, such as hot washing in plastics recycling or NIR technology in glass processing plants. These allow for improved recyclability of packaging.

The report discusses the problems indicated by sorters and recyclers and makes recommendations for taking the practice of sorting and recovery into account in the Minimum Standard (chapter 3 and chapter 4).

1 Einleitung

Das Verpackungsgesetz (VerpackG) verpflichtet 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 2020 und 2021. Die Ermittlung der Praxis erfolgte auf Grundlage einer Erhebung. Dabei wurden Sortierer und Verwerter deutscher Verpackungsabfälle aus der Sammlung der Systeme mittels Fragebögen 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 01. 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 Anhänge 1, 2 und 3) dienen.

Der vorliegende Bericht stellt 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 die Weiterentwicklung der Methode erläutert. Darauf folgend wird die Berechnung der Kenngröße „Anwendungsgrad“ erläutert sowie der Begriff der „hochwertigen werkstofflichen Verwertung“ definiert. Darauf aufbauend werden die aktuell bestehenden Sortier- und Verwertungspfade auf Basis der Erhebung veranschaulicht und die dazugehörigen Sortier- und Verwertungsprozessvarianten mengenmäßig dargestellt. Des Weiteren werden die von den Akteuren der Entsorgungsbranche genannten Probleme aufgelistet und diskutiert. Weiterhin werden Änderungen in der Prozesstechnik gegenüber dem Bezugsjahr 2019 sowie innovative technische Potenziale beim Recycling 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 für das Bezugsjahr 2019 angewendet (Dehoust et al., 2021). Für den vorliegenden Bericht wurde wiederholt mit dieser Methode gearbeitet. Die Kennwerte wurden neu bezeichnet, wobei die Symbolik an die Wahrscheinlichkeitslehre angelehnt wurde. Die Methode wurde dahingehend weiterentwickelt, dass jeweils ein dedizierter Kennwert für transparente PET-Flaschen und sonstige formstabile PET-Verpackungen angegeben wurde. Die generellen Arbeitsschritte zur Durchführung der Methode sind identisch. Unterschiede liegen zum einen in der Berechnung der Kennwerte für die PET-Verpackungen und zum anderen in der Verwendung der Verwertungszuführungsmengen aus dem Mengenstromnachweis (MSN) 2020. Eine umfassende Erläuterung der Methode kann im eben genannten Bericht von Dehoust et al. nachgelesen werden, weshalb in diesem Kapitel nur in verkürzter Form auf die verwendete Methode eingegangen wird. 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 2020 und 2021 durchgeführten Erhebung. Die Inhalte der Erhebungsbögen wurden dem Bericht von Dehoust et al. entnommen und geringfügig überarbeitet. Das Layout wurde angepasst, Fraktionsnummern aktualisiert sowie Inhalte aus dem „Mindeststandard zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG“ in der Fassung des 31.08.2021 (ZSVR, 2021a) übernommen. Das letztgenannte Dokument wird im Folgenden vereinfacht als „Mindeststandard“ bezeichnet. Die überarbeiteten Erhebungsbögen wurden an Akteure der Entsorgungsbranche versendet, deren Anlagen im Jahr 2020 mit Mengen der dualen Systeme aus Deutschland beliefert wurden. Dazu gehören die folgenden Sortier- und Letztempfängeranlagen:

- Sortieranlagen von LVP (Leichtstoffverpackungen),
- Letztempfängeranlagen von Folien, PET (Polyethylenterephthalat), PS (Polystyrol), PE (Polyethylen), PP (Polypropylen) und MPO (Gemischte Polyolefin-Artikel) und PO-flex,

- ▶ Letztempfängeranlagen von FKN (Flüssigkeitskartons) und PPK aus LVP (Papier, Pappe, Kartonagen aus der LVP-Sortierung),
- ▶ Letztempfängeranlagen von PPK aus dem Blauen System,
- ▶ Letztempfängeranlagen (Aufbereitungsanlagen) von Behälterglas.

Die Adressdaten wurden durch die Zentrale Stelle Verpackungsregister (ZSVR) zur Verfügung gestellt. Sie entstammen den MSN 2020 sowie den Stammdaten der Software wme.fact.¹ Die überarbeiteten Erhebungsbögen wurden postalisch versendet und sind im Anhang A (A.1 bis A.10) dargestellt. Um die Rücklaufquote zu erhöhen, wurden Erinnerungsschreiben an die Sortierer und Verwerter nach Ablauf der Frist versendet. Weiterhin wurden zahlreiche Sortierer und Verwerter telefonisch und per E-Mail kontaktiert sowie auch Erhebungsbögen per E-Mail versendet. Die finalen Rücklaufquoten und abgedeckten Mengenanteile sind im Kapitel 3 unter den jeweiligen Abschnitten dargelegt. Das Ergebnis wurde als repräsentativ gewertet, wenn der Mengenanteil der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, mindestens 50 % an der Gesamt-Verwertungszuführungsmenge aus dem MSN 2020 betrug. Es ist angedacht, diese Grenze bei zukünftigen Auswertungen anzuheben. Die Sortierer und Verwerter wurden nach Verarbeitungsmengen in 2020 und 2021, aktuellen Prozesstechniken und spezifischen Problemen bei der Trennung, Sortierung und Verwertung befragt. Für die Berechnung des Anwendungsgrades im Bezugsjahr 2020 wurden nicht die Mengenangaben aus den Fragebögen der Verwerter verwendet, sondern die anlagenspezifischen Verwertungszuführungsmengen aus den MSN 2020. Für die Sortierung wurden sowohl für 2020 als auch für 2021 die prognostizierten Mengenangaben aus den Erhebungsbögen der LVP-Sortierer genutzt. Die Auswertung der Erhebungsbögen ist Anhang B (B.1 bis B.10) zu entnehmen (nicht öffentlich aufgrund von enthaltenen Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen).

Folgende grundsätzliche Arbeitsschritte sind notwendig, um die Praxis der SuV für das jeweilige Bezugsjahr zu ermitteln und darzustellen:

- ▶ Aktualisierung und Überarbeitung der Erhebungsbögen (Anpassungen der Fraktionsnummern, Recyclingunverträglichkeiten, Prozesstechniken etc.).
- ▶ Versendung der überarbeiteten Erhebungsbögen an die jeweiligen Sortierer und Verwerter bzw. Aufbereiter. Verwendung der Adressdaten aus den aktuellen MSN.
- ▶ 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 und Endprodukte.
- ▶ 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 vorherigen Bericht von Dehoust et al. 2021 verwiesen. Die Zuordnung der Prozessvarianten zum Stand der Technik basiert im vorliegenden Bericht auf den Angaben im Bericht für das Bezugsjahr 2019. Neue

¹ <https://www.wme-fact.de/>.

Prozessvarianten wurden durch Fachexpert*innen des UBA hinsichtlich der Zuordnung zum Stand der Technik eingeschätzt. Im 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 und in Balkenabschnitten in blau dargestellt. 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 0).

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

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)

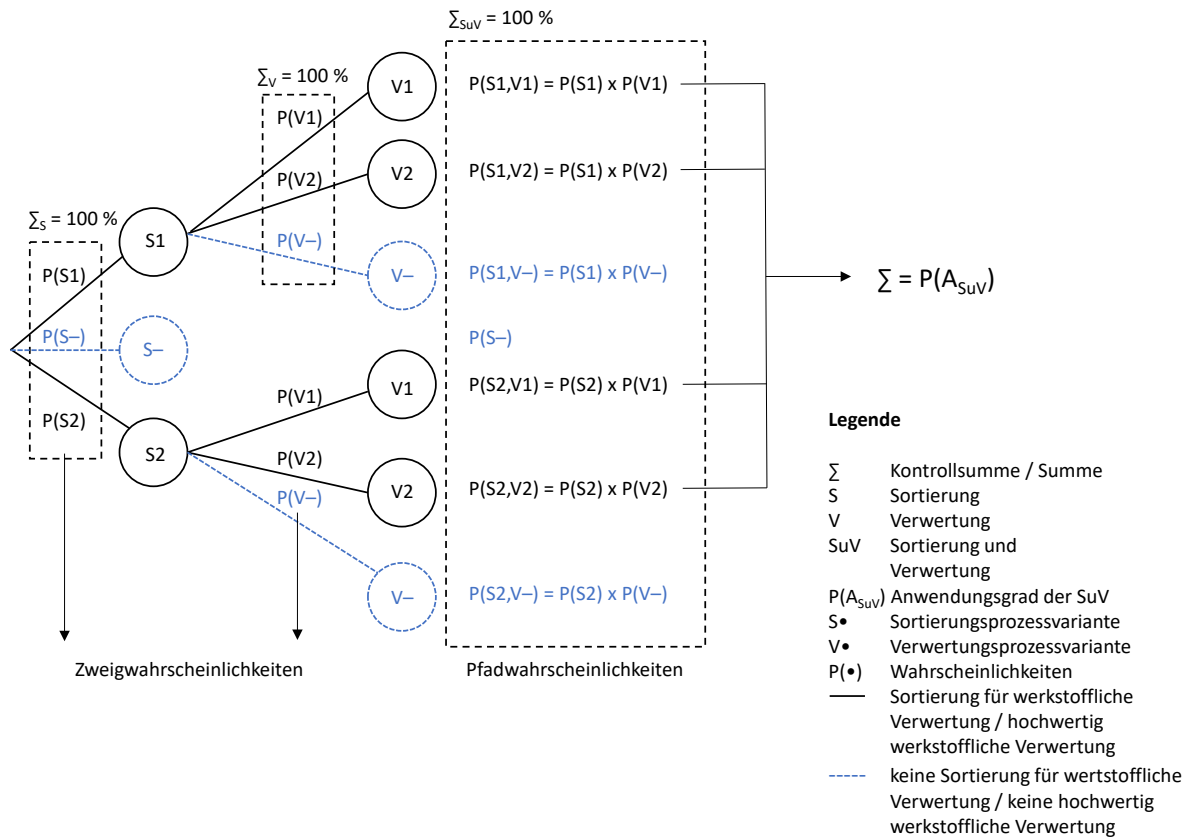
Da der Anwendungsgrad eine Wahrscheinlichkeit ausdrückt, ähnelt die Berechnung des Anwendungsgrades der Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten mehrstufiger Zufallsexperimente. Die Rechenregeln für den Anwendungsgrad entsprechen dabei den Pfadregeln eines Baumdiagramms:

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 1 stellt beispielhaft ein Baumdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung des Anwendungsgrades der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$ 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.

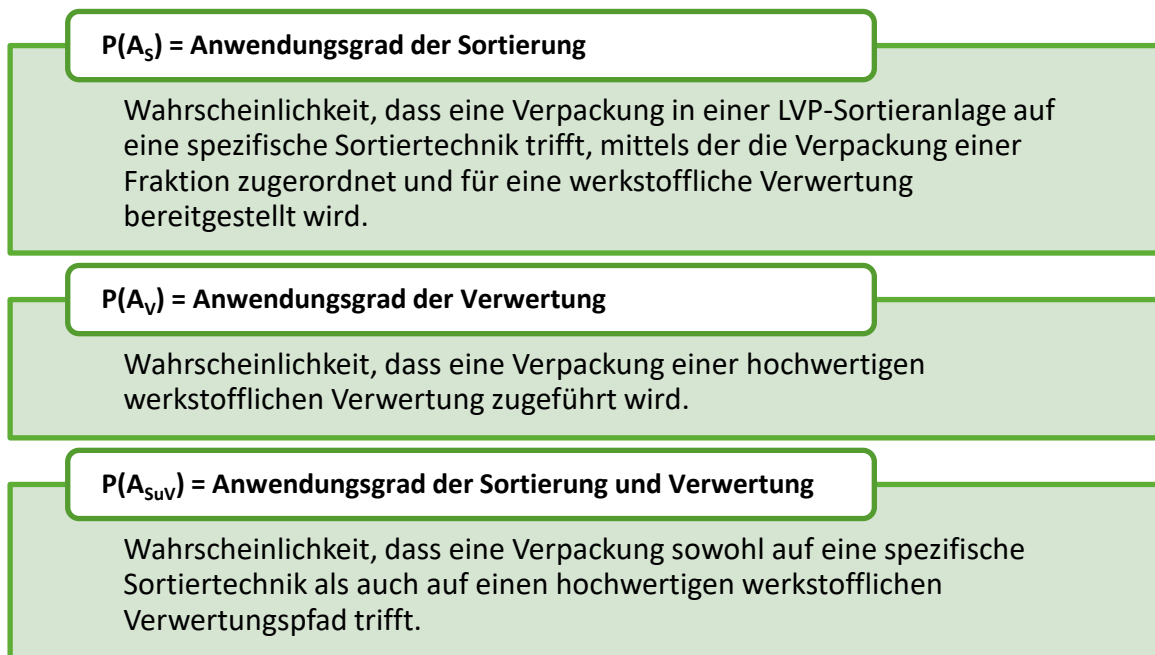
Abbildung 1: Baumdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung des Anwendungsgrades der Sortierung und Verwertung $P(A_{SuV})$



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

In Abbildung 2 sind die Definitionen der drei verschiedenen Anwendungsgrade $P(A_S)$, $P(A_V)$ und $P(A_{SuV})$ vorab definiert.

Abbildung 2: Definitionen der drei Anwendungsgrade $P(A_s)$, $P(A_v)$ und $P(A_{suv})$



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf 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 1 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 1: 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 1: 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 1: $P(S1)$ 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 1 entspricht dies der Summe aus $P(S1)$ und $P(S2)$, ohne $P(S-)$.
6. Die Wahrscheinlichkeit $P(S-)$ der Sortierprozessvariante $S-$ zeigt in Abbildung 1 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 1 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 Gesamt-Verwertungsmenge der jeweiligen Fraktion(en) im Bezugsjahr. Das Ergebnis entspricht den Zweigwahrscheinlichkeiten $P(V\bullet)$ der Verwertungsprozessvarianten $V\bullet$. In Abbildung 1: $P(V1)$ 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 hochwertigen werkstofflichen Verwertung zugeführt wird bzw. in einer Referenzanlage verwertet wird. Die Sortierung wird bei dieser Kennzahl nicht einberechnet bzw. wird extra betrachtet. In Abbildung 1 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 hochwertigen werkstofflichen Verwertung zugeführt wird bzw. in keiner Referenzanlage verwertet 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 1 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 1: 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 1.
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 1 dargestellt.

Alle eben genannten Arbeitsschritte unter a), b) und c) gelten für die Auswertung der Erhebungsbögen der LVP-Sortierer in Kombination mit den Verwertern von Verpackungsabfällen aus PE, PP, MPO, PS, FKN und PPK aus LVP. Für PET-Verpackungen wurde die Methode weiterentwickelt. Transparente PET-Flaschen und sonstige formstabile PET-Verpackungen werden gemäß Spezifikationen in den folgenden Verhältnissen in verschiedene Fraktionen einsortiert:

- ▶ 325: mind. 98 Masse-% gebrauchte, restentleerte, formstabile, systemverträgliche Artikel aus PET, Volumen ≤ 5 Liter, z. B. Getränke-, Waschmittel- und Haushaltsreinigerflaschen, inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw.; < 2 Masse-% opake PET-Flaschen, andere PET-Artikel und sonstige Kunststoff-Artikel
- ▶ 328-1: mind. 90 Masse-% transparente PET-Flaschen und max. 10 Masse-% sonstige formstabile PET-Verpackungen (z. B. Becher, Schalen); klar, bunt, opak inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw.
- ▶ 328-2: mind. 70 Masse-% transparente PET-Flaschen und max. 30 Masse-% sonstige formstabile PET-Verpackungen (z. B. Becher, Schalen); klar, bunt, opak inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw.
- ▶ 328-3: mind. 50 Masse-% transparente PET-Flaschen und max. 50 Masse-% sonstige formstabile PET-Verpackungen (z. B. Becher, Schalen); klar, bunt, opak inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw.
- ▶ 328-5: mind. 75 Masse-% PET-Schalen und max. 20 Masse-% transparente PET-Flaschen bunt/farblos; inkl. Nebenbestandteilen wie Etiketten usw.
- ▶ 328-6: mind. 90 Masse-% PET-Schalen und max. 5 Masse-% transparente PET-Flaschen; inkl. Nebenbestandteilen wie Etiketten usw.

Für die Fraktion 325 („PET-Flaschen, transparent“) gehen wir für die Berechnung von 100 % transparenten PET-Flaschen aus. Für die fünf Fraktionen 328-1, -2, -3, -5 und -6 betrachten wir jeweils die Ober- und Untergrenze für transparente PET-Flaschen. Für jede der fünf Fraktionen gibt es dementsprechend zwei Extremwerte. Die Produktmenge aller Extremwerte enthält $2^5 = 32$ Kombinationen. 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 Spannbreite darstellt. Anschließend kann $P(A_V)$ mit $P(A_S)$ der jeweiligen PET-Fraktionen multipliziert werden, um die Spannbreite für $P(A_{SuV})$ zu bestimmen. Für die sonstigen formstabilen Verpackungen wird analog verfahren. Die Berechnung setzt voraus, dass keine der Verpackungen vor dem Recycling aussortiert werden. Dies ist aber insbesondere der Fall für Multilayer-PET-Schalen. Es bedarf hier einer Weiterentwicklung der Methode, um die Praxis noch besser abzubilden.

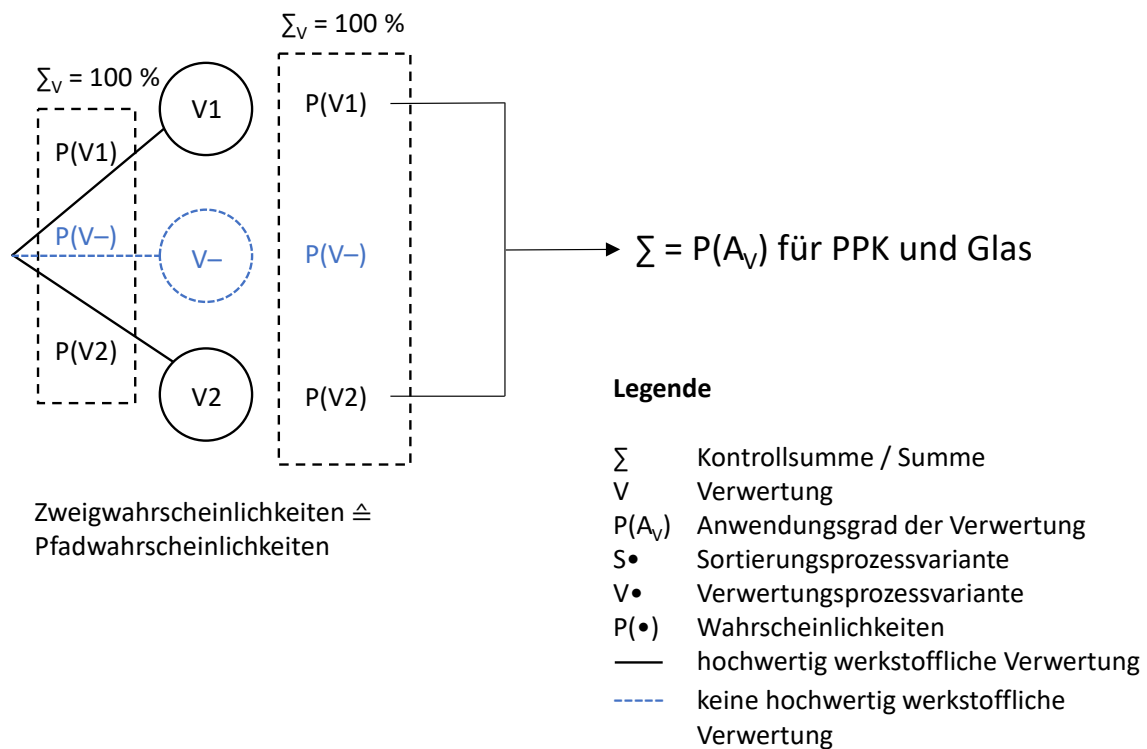
Für die Einzelbetrachtung der LVP-Sortierer sind nur die Arbeitsschritte unter a) nötig, da die anschließende Verwertung nicht betrachtet wird. An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass die LVP-Sortierer lediglich die LVP-Sammelmenge in Tonnen für die Jahre 2020 und 2021 angegeben haben. Um $P(A_S)$ zu berechnen, wird deshalb die folgende Voraussetzung angenommen: Alle LVP-Sortieranlagen erhalten als Eingangsmaterial die gleiche Verteilung an Verpackungen.

PPK-Verwerter und Glasaufbereiter stellen einen Sonderfall dar. Für diese Anlagen entspricht die Berechnung und Mengenverteilung auf die einzelnen Verwertungsprozessvarianten V bereits den vollständigen Pfaden, da keine LVP-Sortierung vorgeschaltet ist. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Berechnung von $P(A_V)$ für PPK und Glas. Die Bildung der Pfadwahrscheinlichkeiten erfolgt in diesem Fall nur einstufig (Zweige entsprechen Pfaden). Die Zweigwahrscheinlichkeiten werden für PPK und Glas im folgenden Text als Pfadwahrscheinlichkeiten bezeichnet, weil sie in diesem Fall das gleiche bezeichnen.

$P(A_V)$ basiert auf den fraktionsbezogenen Verwertungszuführungsmengen aus den MSN 2020. Die Verwerter wurden zwar in den Erhebungsbögen nach den Verarbeitungsmengen für 2020

und 2021 befragt, aber im Abgleich mit dem MSN 2020 wurde festgestellt, dass es teilweise große Diskrepanzen zwischen den Mengenangaben aus dem MSN 2020 und denen im Erhebungsbogen gab. Des Weiteren liegen durch den MSN 2020 auch die Verwertungszuführungsmengen aller Anlagen zu den jeweiligen Fraktionen vor. Die prognostizierten Mengenangaben der Verwerter waren oftmals nicht fraktionsbezogen. Es wurde deshalb die Entscheidung getroffen, für diese Studie nur die von Sachverständigen testierten Mengen aus dem MSN 2020 heranzuziehen und die Berechnung von $P(A_V)$ und $P(A_{SuV})$ auf das Jahr 2020 zu beschränken (MSN 2021 lag zum Zeitpunkt der Auswertung noch nicht vor). An dieser Stelle sei erwähnt, dass in den Erhebungsbögen die aktuelle Prozesstechnik (Erhebung Ende 2021 und Anfang 2022) abgefragt wurde und nicht die Technik von 2020. Aufgrund der Zeiträume für signifikante Änderungen der Infrastruktur erachten wir diese Unschärfe als hinnehmbar.

Abbildung 3: Baumdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung des Anwendungsgrades der Verwertung $P(A_V)$ für PPK und Glas



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

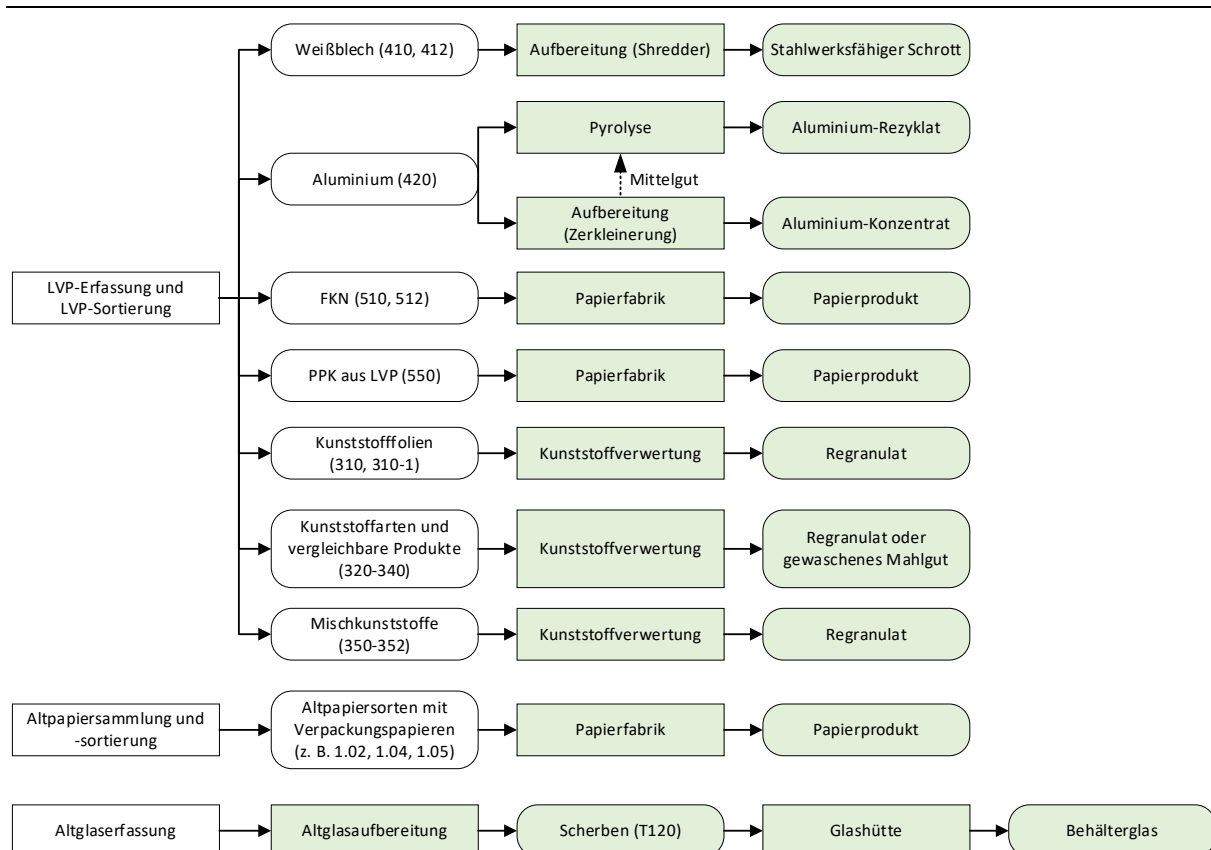
2.3 Definition einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung

Im Mindeststandard in der Fassung vom 31.08.2021 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, 2021a, S. 7)

Zusätzlich zu einer werkstofflichen Verwertung durch Letzttempfängeranlagen ist für den Mindeststandard und damit zur Berechnung des $P(A_{SuV})$ ein hochwertiges werkstoffliches Recycling ausschlaggebend (im folgenden Text zur Vereinfachung als „hochwertige werkstoffliche Verwertung“) bezeichnet. Dabei ist der Austausch von Neuware durch Rezyklate in werkstoffspezifischen Anwendungen das entscheidende Kriterium (ZSVR, 2021a). Der vorliegende Bericht bezieht sich bei der Definition der Referenzanlagen mit hochwertiger werkstofflicher Verwertung auf den vorherigen Bericht (Dehoust et al., 2021, S. 87 ff.). Die Referenzanlagen und -prozesse der Rezyklate werden in Abbildung 3 zusammengefasst. Grün gekennzeichnet sind dabei Verwertungsprozesse und -produkte, die in nachfolgenden Betrachtungen als hochwertige werkstoffliche Verwertung berücksichtigt werden. Hinter den jeweiligen Fraktionen sind die Fraktions- und Spezifikationsnummern angegeben (BV Glas, BDE, & bvse, 2014; DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2014). Für faserbasierte Verpackungen stellen beispielsweise der Einsatz von Papierfasern in Gipsfaserplatten, im Straßenbau oder in der Bauchemie basierend auf der Methode von Dehoust et al. keine Referenzprozesse dar. Weiterhin werden beispielsweise Kunststoffverwertungsanlagen, die als Endprodukte Agglomerate herstellen, nicht als Referenzanlagen berücksichtigt (Dehoust et al., 2021).

Abbildung 3: Prozesse der hochwertigen werkstofflichen Verwertung (Referenzanlagen) nach Definition des Mindeststandards



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al., 2021 und T120 gemäß BV Glas et al., 2014

2.4 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 01. 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, 2021a). 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, 2021a, S. 3-4)

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. muss nicht jeder Einzelfall, wie bspw. Sortier- und Verwertungspfade mit geringer Mengenrelevanz, dargestellt werden (Dehoust et al., 2021). Das Vorhandensein einer Sortier- und Verwertungsinfrastruktur wird im Anhang 1 des Mindeststandards über Spalte 3 erfasst (ZSVR, 2021a). Anhang 1 beinhaltet dafür spezifische Abgrenzungskriterien:

- Eine Eintragung in Spalte 3A bedeutet, dass für entsprechende Verpackungen eine Zuführung zu einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung vorausgesetzt werden kann. Das Abgrenzungskriterium für $P(A_{SuV})$ liegt für Spalte 3A bei $\geq 80 \%$ (ZSVR, 2021a).
- Bei Eintragung in Spalte 3B kann eine Zuführung zu einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung nur begrenzt vorausgesetzt werden. Eine hochwertige werkstoffliche Verwertung für die dort aufgeführten Verpackungen ist möglich, aber nicht alle Verpackungsabfälle treffen auf entsprechende Sortier- und Verwertungstechnik. Das Abgrenzungskriterium für $P(A_{SuV})$ liegt für Spalte 3B bei $20 \% < P(A_{SuV}) < 80 \%$. Gemäß Anhang 1 wird empfohlen für Spalte 3B einen Einzelnachweis zu erbringen (ZSVR, 2021a).
- Für Spalte 3C kann eine Zuführung zu einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung nur im Einzelfall/marginal vorausgesetzt werden. Das Abgrenzungskriterium für $P(A_{SuV})$ liegt für Spalte 3C bei $\leq 20 \%$. Für Verpackungen, die Fraktionsnummern in dieser Spalte zuzuordnen sind, ist ein Einzelnachweis unerlässlich, um einen Wertstoffgehalt zu ermitteln (ZSVR, 2021a).

Das 2. Kriterium des Mindeststandards umfasst Verpackungsmerkmale, die eine erfolgreiche Identifizierung und anschließende Sortierung einer Verpackung in die vorgesehene Sortierfraktion verhindern können. Bei Vorliegen der dort aufgeführten Merkmale muss ebenso ein Einzelnachweis erbracht werden, wenn eine Recyclingfähigkeit festgestellt werden soll (Dehoust et al., 2021; ZSVR, 2021a).

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, die bereits in sehr kleinen Konzentrationen das Recycling erheblich beeinträchtigen können (Dehoust et al., 2021). (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 (Dehoust et al., 2021).

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

3.1 LVP-Sortierung

3.1.1 Rücklauf der Erhebung

An insgesamt 40 LVP-Sortieranlagen mit Standort in Deutschland wurden Erhebungsbögen versendet. Mit 40 ausgefüllten Erhebungsbögen wurde eine Rücklaufquote von 100 % erreicht. Das Ergebnis ist als repräsentativ zu bewerten und spiegelt eine Totalerfassung aller relevanten LVP-Sortieranlagen wider. Die Summe der durch die Sortierer angegebenen Verarbeitungsmengen (Sammelmenge gesamt) liegt in 2020 bei ca. 2,779 Mio. t und für 2021 bei ca. 2,872 Mio. t (gerundet auf 1.000 t/a). Die Mengen liegen damit etwas über der von der Zentralen Stelle Verpackungsregister (ZSVR) übermittelten Gesamt-Erfassungsmenge (ca. 2,655 Mio. t) für 2020, welche auf Basis der Mengenstromnachweise (MSN) berechnet wurde (ZSVR, 2022a). Dieser Unterschied ist möglicherweise durch die Einberechnung von stoffgleichen Nicht-Verpackungen sowie Rundungen der Zahlen durch die LVP-Sortierer erklärbar. Im Bericht von Dehoust et al. wurde für das Bezugsjahr 2019 eine Sammelmenge von 2,586 Mio. t aus den Rückläufen der Fragebögen erfasst (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.

Erhebungsbogen LVP-Sortierung

- ▶ Rücklaufquote: im Inland: 100 % (40/40)
- ▶ Sammelmenge der LVP-Sortierer, die Erhebungsbögen zurücksendeten: 2020: ca. 2,779 Mio. t; 2021: ca. 2,872 Mio. t (Sammelmenen gerundet auf 1.000 t/a)
- ▶ Im Vergleich: LVP-Erfassungsmenge 2020 laut MSN: ca. 2,655 Mio. t (ZSVR, 2022b, Menge gerundet auf 1.000 t/a).

3.1.2 Pfadbeschreibung

In LVP-Sortieranlagen werden gesammelte Leichtstoffverpackungen (LVP) aus haushaltsnaher Wertstofffassung (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; Wunsch, 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.). Unterschieden werden dabei hauptsächlich die folgenden Fraktionen: Kunststofffolien (überwiegend Low Density Polyethylen – LDPE), PE (Polyethylen), PP (Polypropylen), PS (Polystyrol), MPO (Gemischte Polyolefine), PPK (Papier, Pappe, Kartonagen),

Flüssigkeitskartons (FKN), Eisenhaltige (Fe-)Metalle, wie Weißblech, Nichteisenhaltige (NE-)Metalle wie Aluminium und Mischkunststoffe (Dehoust et al., 2021; Knappe et al., 2021). Die Anforderungen (z. B. die Reinheit) an die Fraktionen sind in verschiedenen Produktspezifikationen der dualen Systeme ausgeführt. Seit Beginn 2022 sind die genannten Produktspezifikationen nicht mehr öffentlich online abrufbar².

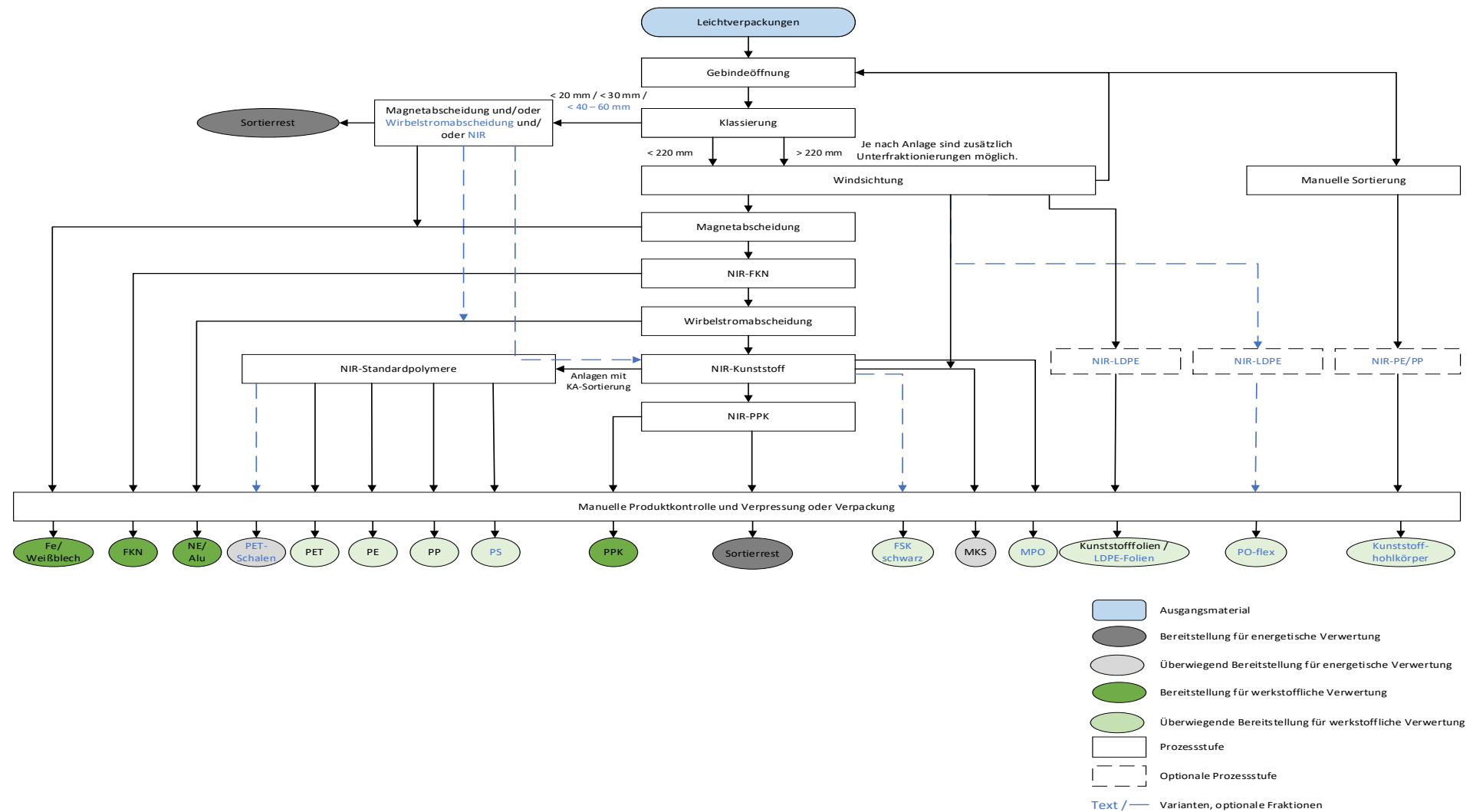
Gemäß Knappe et al. sei „die Sortierung der wichtigste Schritt bei der Aufbereitung von Kunststoffabfällen“ (Knappe et al., 2021, S. 109). LVP-Sortieranlagen lassen sich wie bereits im Bericht von Dehoust et al. in vier verschiedene Kategorien einteilen (Dehoust et al., 2021):

- ▶ Anlagen mit Kunststoffartensortierung (KA-Sortierung), bei denen formstabile Kunststoffverpackungen, wie beispielsweise Flaschen, Schalen oder Dosen nach Polymerart 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 integrierte Aufbereitung nur eine untergeordnete Rolle.

Abbildung 4 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. 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 des Institutes cyclos-HTP (Institut cyclos-HTP GmbH, 2021) sowie der Bericht UBA TEXTE 92/2021 (Knappe et al., 2021).

² Bis zu Beginn des Jahres 2022 waren die Produktspezifikationen auf der Website des Dualen System Deutschland unter <https://www.gruener-punkt.de/de/download.html> abrufbar.

Abbildung 4: Vereinfachte Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung der LVP-Sortierung



Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von Dehoust et al., 2021; Fachbereich Umweltschutztechnik, 2019

- ▶ Im ersten Schritt werden die Müllbeutel- und -säcke (beispielsweise auch Gelber Sack) in der Gebindeöffnung mechanisch aufgeschossen. Damit werden die Verpackungsabfälle freigelegt.
- ▶ Anschließend läuft das Sammelgemisch über Siebmaschinen, bei denen die Verpackungen nach Größe aufgetrennt werden. Dieser Prozess wird als Siebklassierung bezeichnet. Die Trennung nach der Größe dient einer effizienteren Sortierung der Fraktionen. In den LVP-Sortieranlagen wird die Feinabsiebung bei Maschenweiten von 20 mm, 30 mm oder bei 40 mm – 60 mm durchgeführt. Das abgesiebte Material wird in fast allen Anlagen noch einer Magnetabscheidung unterzogen. Bei etwa der Hälfte der Anlagen durchläuft der Sortierrest zusätzlich eine Wirbelstromabscheidung. In wenigen Anlagen wird der Sortierrest 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. Bei Anlagen mit einer unteren Maschenweite von 20 mm oder 30 mm sind nicht-metallische kleinstückige Verpackungen ab 20 mm oder 30 mm sortierfähig. Ein Beispiel für eine solche Verpackung sind Drehverschlüsse. Verschmutzungen, wie Glassplitter oder Steine, die den Sortierprozess erschweren können, werden ausgesiebt. Als Maschenweite ist dafür weiterhin die Langlochmasche mit einer Größe von ca. 20 mm x 40 mm im Einsatz. Im Gegensatz dazu werden bei Anlagen mit einer Feinabsiebung bei 40 mm – 60 mm kleinstückige nicht-metallische Verpackungen unter der genannten Größe dem Wertstoffstrom entzogen (Wertstoffverlust).
- ▶ 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 leichte und schwere Verpackungen voneinander getrennt werden können. 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 Folien eine besonders große Reinheit an LDPE aufweisen (Schmitz, 2019). Da NIR-Trenner eine Materialdetektion ermöglichen, können dabei PP-, HDPE- (High Density Polyethylen) sowie Verbundfolien aussortiert werden. In einigen Anlagen wird darüber hinaus die Fraktion PO-flex (323-2) über NIR-Trenner sortiert. Diese Fraktion bildet eine Mischung aus verschiedenen hauptsächlich flexiblen PO (Polyolefin)-Kunststoffverpackungen (z. B. PP-Folien, PO-basierte Verbundfolien). Werden PP-Folien aus der LDPE-Folien-Fraktion aussortiert, können sie der PO-flex-Fraktion zugeführt werden. Im umgekehrten Fall können auch LDPE-Folien aus der PO-flex-Fraktion der LDPE-Folien-Fraktion zugeordnet werden (Dehoust et al., 2021). 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.
- ▶ FKN werden in LVP-Sortieranlagen üblicherweise über NIR-Trenner aussortiert. Sehr vereinzelt gaben Anlagen an, die FKN-Fraktion manuell auszusortieren.

- ▶ NE-Metalle werden über Wirbelstromabscheidung aufgrund ihrer elektrischen Leitfähigkeit aussortiert. Dazu gehören im Wesentlichen Aluminiumverpackungen sowie Verbundverpackungen mit einer Barrierschicht aus Aluminiumfolie.
- ▶ Die Separierung der formstabilen Kunststoffverpackungen erfolgt in den LVP-Sortieranlagen üblicherweise mittels NIR-Trennern. 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 falsche Fraktionen landen (Knappe et al., 2021). Die Verpackungen werden über verschiedene Sortierkonzepte aussortiert: als KA-Sortierung, als MPO oder als Mischkunststoffe. Die Fraktionen 325 (PET-Flaschen) sowie 322 (Kunststoff-Hohlkörper > 5 l) werden teilweise manuell aussortiert. Aus einer öffentlichen Quelle ist bekannt, dass derzeit in zumindest einer Anlage auch Kunststoff-Fraktionen nach Farbe sortiert werden (PreZero, 2022). Da die Anlage erst 2022 in Betrieb gegangen ist, wurde sie in dieser Erhebung noch nicht befragt.
- ▶ Faserbasierte Verpackungen werden in der Regel als Fraktion 550 (PPK aus LVP) über NIR-Trenner separiert. Nur sehr vereinzelt wird die Fraktion 550 manuell oder gar nicht sortiert.
- ▶ Nach einer manuellen Produktkontrolle und einer Verpackung bzw. Verpressung in Ballen und durch Bindedrähte werden die Fraktionen für die stoffliche Verwertung bereitgestellt. Sortierreste werden i. d. R. energetisch verwertet.

Abschließend ist festzuhalten, dass immer noch ähnliche Unterschiede wie bereits im Bericht von Dehoust et al. für das Bezugsjahr 2019 zwischen den LVP-Sortieranlagen bestehen. Diese unterscheiden sich weiterhin in der Maschenweite der Feinabsiebung, in der Sortiermethode (manuell oder automatisiert) sowie in den Fraktionen. Gegenüber der Befragung für 2019 gibt es keine Anlage mehr, die keine Feinabsiebung durchführt. Für die Fraktionen 321 (PO-Kunststoff-Flaschen) und 320 (Gemischte Kunststoff-Flaschen) gaben Anlagen an, dass diese mittels NIR-Trennern aussortiert werden. Die Fraktion 320 wird nur noch von einer Anlage manuell sortiert. Alle Anlagen, die die Fraktion 321 aussortieren, verwenden dafür NIR-Technik. 2019 wurden die Fraktionen 320 und 321 ausschließlich manuell abgetrennt. Die von den dualen Systemen neu definierte Fraktion 512 (FKN/Getränkekartons) wird mittlerweile von 36 der 40 befragten Anlagen sortiert.

Sortierroboter stellen eine Alternative zur händischen Sortierung dar, welche beispielsweise Silikonkartuschen identifizieren und aussortieren können (Brunn, 2017; Knappe et al., 2021). Die LVP-Sortieranlagen wurden im Rahmen der Erhebung nicht nach dem Einsatz von Sortierrobotern befragt. Es ist geplant, dies bei der kommenden Erhebung mit abzufragen. Aus öffentlichen Quellen ist bekannt, dass Sortierroboter bereits in LVP-Sortieranlagen im Einsatz sind (ALBA Group plc & Co. KG, 2019; Friedl, 2022b; PreZero, 2022).

3.1.3 Ermittlung der Praxis der LVP-Sortierung

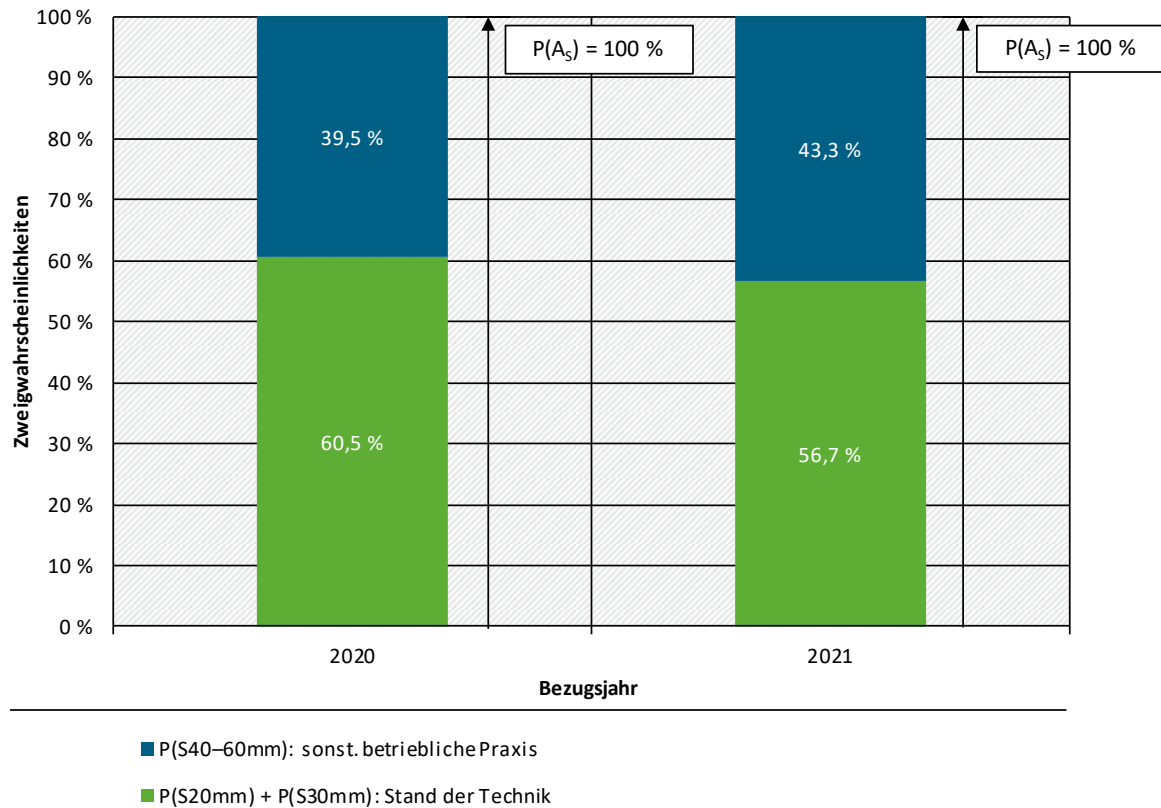
Im folgenden Abschnitt werden Erkenntnisse zur ermittelten Praxis der LVP-Sortierung erläutert und die Mengenrelevanz der Unterschiede zwischen den Anlagen verdeutlicht.

Maschenweite der Feinabsiebung

Nicht-metallische kleinstückige Verpackungen werden je nach Maschenweite der Feinabsiebung abgesiebt oder verbleiben im weiteren Prozess. In Abbildung 5 sind die Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierungsprozessvarianten der Feinabsiebung nach

Auswertung der Erhebungsbögen dargestellt. $P(A_S)$ beträgt für 2020 und 2021 100 %, da alle LVP-Sortieranlagen eine Feinabsiebung durchführen.

Abbildung 5: Praxis der Sortierung für 2020 und 2021 – Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten der Feinabsiebung und Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$



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

Die Wahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten $P(S20mm)$ für eine Maschenweite von 20 mm und $P(S30mm)$ für 30 mm werden wie bereits im Bericht von Dehoust et al. in Abbildung 5 und in den folgenden Auswertungen aufgrund geringer Unterschiede zusammengefasst. Die Varianten bei einer Maschenweite von 20 mm und 30 mm werden dabei als Stand der Technik angesehen, da bei dieser Variante kleinstückige Verpackungen einer Verwertung zugeführt werden. Die Feinabsiebung für S20mm und S30mm erfolgte im Jahr 2020 bei 60,5 % und in 2021 bei 56,7 % der LVP-Sammelmenge. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung über eine LVP-Sortieranlage mit einer Feinabsiebung von 40 mm – 60 mm (S40-60mm) geführt wird, lag in 2020 bei 39,5 % und in 2021 bei 43,3 %. Zusammenfassend ist festzustellen, dass mehr als die Hälfte der LVP-Sammelmenge in Sortieranlagen mit feineren Maschenweiten sortiert wird. Des Weiteren ist zu erkennen, dass sich die Mengen von 2020 zu 2021 um etwa 4 Prozentpunkte zu größeren Maschenweiten verschoben haben. Diese Entwicklung sollte weiter beobachtet werden.

Gegenüber der Befragung für 2019 durch Dehoust et al. gibt es bei der aktuellen Befragung keine Anlagen mehr ohne Feinabsiebung. Durch Dehoust et al. wurde für 73,6 % der LVP-Gesamt-Verarbeitungsmenge eine Maschenweite von 20 mm oder 30 mm und für 26,4 % eine Maschenweite von 40 mm – 60 mm verzeichnet. Im Vergleich lässt sich in der aktuellen Auswertung eine deutliche Verschiebung zu größeren Maschenweiten von ca. 13 bis 17

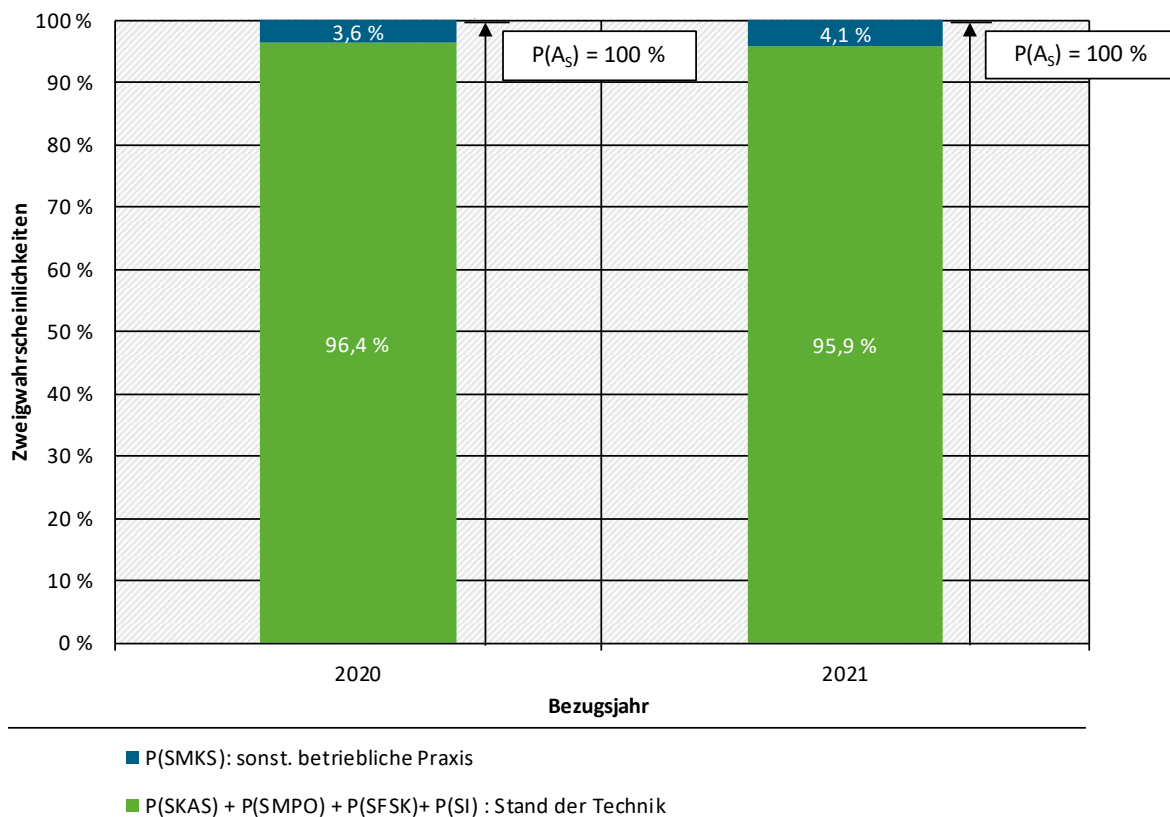
Prozentpunkten gegenüber 2019 feststellen. Bei Betrachtung der Veränderung einzelner Anlagen, wurde festgestellt, dass es von vier der aktuell befragten Anlagen für 2019 keine Rückmeldung gab. Zwei Anlagen wurden erst 2021 in Betrieb genommen und für die Befragung 2019 deshalb nicht mitbetrachtet. Da keine gemeinsame Grundgesamtheit an LVP-Sortieranlagen für die Jahre 2019 und 2020/2021 vorliegt, lassen sich die Anwendungsgrade nur bedingt miteinander vergleichen.

Dehoust et al. gaben für 2019 an, dass vorrangig in älteren Anlagen bei 50 mm – 60 mm abgesiebt wurde. Des Weiteren wurde die Aussage gemacht, dass in modernen Anlagen in 2019 feinere Maschenweiten verwendet wurden (Dehoust et al., 2021, S. 101). Diese Aussage kann im vorliegenden Bericht nur bedingt bestätigt werden, da auch moderne Anlagen gröbere Maschenweiten (40 mm – 60 mm) einsetzen. Drei Anlagen nannten bei der aktuellen Erhebung feinere Maschenweiten und zwei Anlagen gröbere Maschenweiten als bei der Erhebung 2019. Ein LVP-Sortierer gab als Grund für die Umstellung von feineren zu größeren 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 Grund für die Umstellung auf gröbere 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. Die Feinabsiebung sollte generell in zukünftigen Erhebungsbögen weiterhin abgefragt werden, um deren Entwicklung weiter zu beobachten und einzustufen.

Sortierung formstabiler Kunststoffverpackungen

Abbildung 6 stellt die Verteilung auf die Sortierkonzepte der formstabilen Kunststoffverpackungen dar. Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen werden an dieser Stelle mehrere Zweigwahrscheinlichkeiten zusammengefasst. Etwa 77 % der LVP-Sammelmengen wurden in 2020 und 2021 über KA-Sortierung erfasst (ohne Aussage zur Bildung einer PS-Fraktion 331). Diese Sortierungsprozessvariante wird als SKAS bezeichnet. Eine vollständige KA-Sortierung mit Betrachtung der PS-Fraktion 331 wurde für ca. 50 % (2020) bzw. 51 % (2021) der LVP-Sammelmengen eingesetzt. Die weiteren Sortierkonzepte wurden bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben: MPO-Sortierung (SMPO), FSK-Sortierung (SFSK) und integrierte Aufbereitung (SI). In Summe betragen die Pfadwahrscheinlichkeiten für die eben genannten vier Sortierkonzepte für 2020 und 2021 ca. 96 %. Nur für ca. 4 % der LVP-Sammelmenge wurden in 2020 und 2021 formstabile Kunststoffe als Mischkunststoffe erfasst (SMKS). Diese Prozentzahlen entsprechen ungefähr den Ergebnissen der Befragung 2019 (Dehoust et al., 2021). $P(A_S)$ beträgt für beide Jahre 100 %, da alle befragten LVP-Sortieranlagen formstabile Kunststoffverpackungen mit einer der genannten Varianten aussortieren.

Abbildung 6: Praxis der Sortierung für 2020 und 2021 – Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten formstabiler Kunststoffverpackungen und Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$

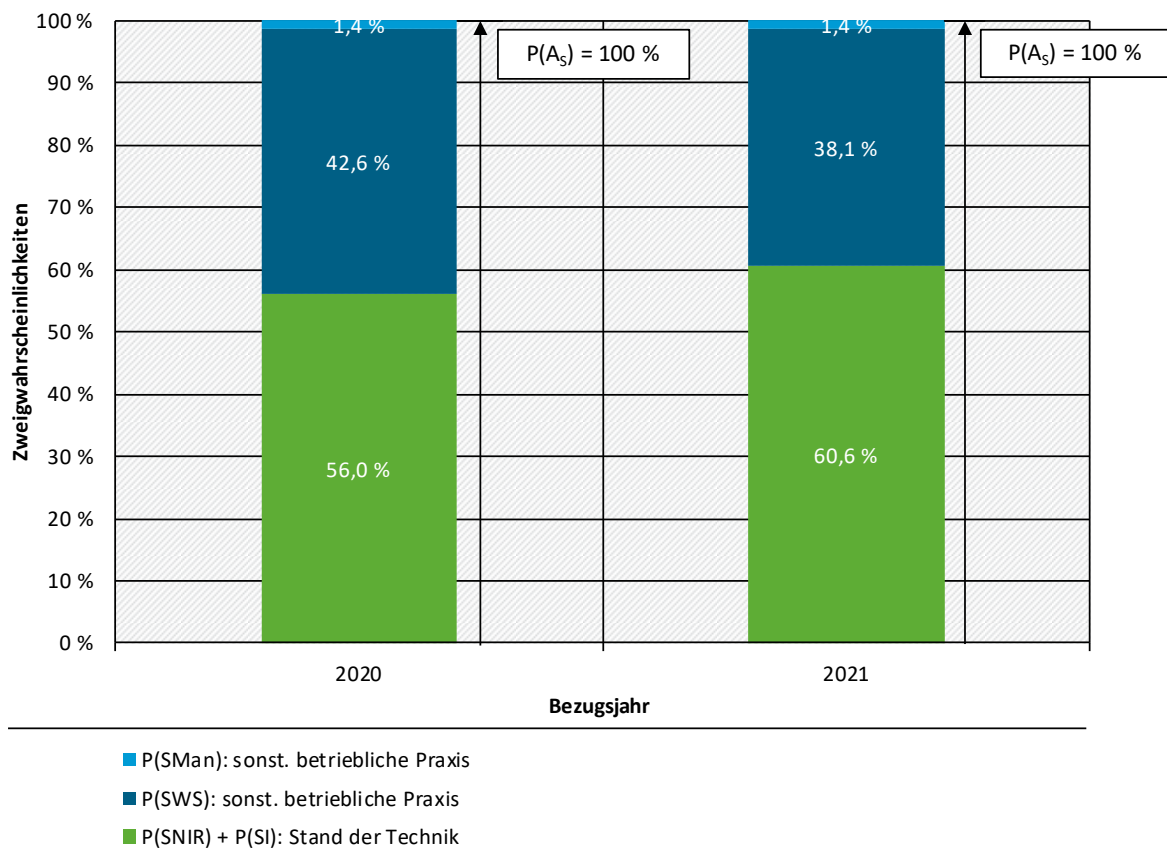


Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al., 2021

Sortierung flexibler Kunststoffverpackungen

Abbildung 7 zeigt die Unterschiede in der Anlagentechnik bei flexiblen Kunststoffverpackungen. Bei ca. 43 % (2020) und 38 % (2021) der LVP-Sammelmengen wurden Folien über Anlagen mit Windsichtung (SWS) und ggf. zusätzlicher manueller Sortierung separiert. In 2020 wurden ca. 56 % und in 2021 ca. 61 % der LVP-Sammelmengen zusätzlich über NIR-Trenner (SNIR) oder integrierte Aufbereitung (SI) separiert. Der Vorteil von NIR-Trennern ist zum einen die Materialidentifizierung auf LDPE-Folien und zum anderen die damit verbundene Format-Unabhängigkeit. Etwa bei der Hälfte der LVP-Sammelmengen der befragten Anlagen mit sensorbasierter Foliensortierung mittels NIR-Trenner wurden auch kleinformatige LDPE-Folien (< DIN A4) sortiert. Einige der Anlagen gaben an, zusätzlich zu den Folienfraktionen 310/310-1 die Fraktion PO-flex (323-2) zu sortieren. Die NIR-Trenner bei diesen Anlagen ermöglichen somit einerseits die Bildung einer LDPE-Monofraktion und andererseits die Sortierung von PP-Folien und PO-Verbundfolien in die Fraktion PO-flex (323-2). In anderen Anlagen werden kleinformatige Folien und Nicht-LDPE-Folien beispielsweise in die Mischkunststofffraktion einsortiert. Die eben 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 Sortiervorfahren werden auch ballistische Separatoren eingesetzt, um die flexiblen Kunststoffverpackungen zu separieren. Zwei kleine Anlagen gaben an, dass Folien ausschließlich manuell aussortiert werden (SMan). $P(SMan)$ liegt für 2020 und 2021 bei 1,4 %. $P(A_S)$ beträgt für beide Jahre 100 %, da alle befragten LVP-Sortieranlagen in 2020 und 2021 flexible Kunststoffverpackungen mit einer der genannten Varianten aussortiert haben.

Abbildung 7: Praxis der Sortierung für 2020 und 2021 – Zweigwahrscheinlichkeiten der Sortierprozessvarianten flexibler Kunststoffverpackungen und Anwendungsgrad der Sortierung $P(A_S)$



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

Weitere Anwendungsgrade der Sortierung $P(A_S)$

In Tabelle 1 sind die Angaben zum $P(A_S)$ für die Bezugsjahre 2019 (Dehoust et al., 2021), 2020 und 2021 gegenübergestellt. Die Sortierung der Fraktion Kunststoffhohlkörper > 5 Liter (322), welche entweder manuell oder über NIR aussortiert werden, ist über die Jahre ungefähr bei 50 % konstant geblieben. Gegenüber 2019 ist in der aktuellen Auswertung ein deutlicher Anstieg vom $P(A_S)$ der Fraktion PO-flex (323-2) über 10 Prozentpunkte ersichtlich. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Fraktion relativ neu ist und sich erst als Alternative zur Fraktion Mischkunststoffe etablieren musste.

Die Sortierung schwarzer Kunststoffe (351-5) als Monofraktion hat in 2020/2021 gegenüber 2019 um 4 bis 7 Prozentpunkte abgenommen. Im Vergleich der Jahre 2020 und 2021 hat $P(A_S)$ jedoch wieder um ca. 4 Prozentpunkte zugenommen. Der Abnahme von 2019 zu 2020/2021 ist keine große Bedeutung beizumessen. Der Grund dafür ist, dass ein LVP-Sortierer auf Nachfrage mitgeteilt hat, dass für 2019 versehentlich eine Falschangabe gemacht wurde und die Fraktion 351-5 noch nie sortiert wurde. 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 üblicherweise nicht gewährleistet werden. Nur wenige LVP-Sortieranlagen besitzen spezielle Techniken, z. B. erweiterte IR-Techniken (Friedl, 2022b), um schwarz eingefärbte Kunststoffe als einzelne Fraktion auszusortieren. Bei dieser Fraktion handelt es sich i. d. R. um ein Gemisch verschiedener Kunststoffsorten sowie auch anderer schwarzer Objekte (Knappe et al., 2021).

PS wurde in 2019, 2020 und 2021 in den LVP-Sortieranlagen über verschiedene Fraktionen aussortiert (331, 351 und über integrierte Aufbereitung). $P(A_S)$ von PS ist näherungsweise über die drei Jahre konstant zwischen 64 % und 68 % geblieben. $P(A_S)$ der Fraktion EPS (340) lag sowohl für 2019 als auch für 2020 und 2021 bei 0 %. EPS wird demnach über die LVP-Sortierung nicht sortiert und demnach auch nicht werkstofflich 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, Hein, & Fischer, 2019). Die Fraktionen Weißblech, Aluminium und FKN werden in allen LVP-Sortieranlagen sortiert und weisen infolgedessen $P(A_S)$ von 100 % auf. PPK aus LVP wurde in den Jahren 2020 und 2021 mit einer Pfadwahrscheinlichkeit von 0,2 % manuell sortiert. Einzelne LVP-Sortieranlagen sortieren PPK aus LVP hingegen nicht für die werkstoffliche Verwertung aus. Eine LVP-Sortieranlage gab an, stattdessen PVC auszusortieren.

Die Fraktion 328-5, welche zu mindestens 75 % aus PET-Schalen besteht und zu maximal 20 % aus transparenten PET-Flaschen, wird nur von wenigen LVP-Sortieranlagen sortiert und einer werkstofflichen Verwertung zugeführt (siehe Tabelle 1). Mehrere Anlagen, die Fraktion 328-5 angekreuzt haben, machten zudem die Aussage, dass die Fraktion nicht vollständig werkstofflich verwertet wird, sondern auch teilweise energetisch, weshalb der $P(A_S)$ nur bedingt zutrifft.

Insbesondere die Entwicklung der Sortierung von PS, PO-flex, PET-Schalen und der schwarzen Kunststoffe sollte über die kommenden Jahre weiterhin beobachtet werden. Verpackungen aus PC, PVC, PA, PLA, kompostierbaren Kunststoffen, Keramik, Holz und anderen eben nicht genannten Kunststoffen werden in 2020 und 2021 nicht in LVP-Sortieranlagen sortiert und für eine werkstoffliche Verwertung bereitgestellt. Es besteht demnach auch kein hochwertiger werkstofflicher Verwertungspfad.

Tabelle 1: Weitere Anwendungsgrade der Sortierung $P(A_S)$ für 2019, 2020 und 2021

Sortierfraktion, ggf. Sortierverfahren	$P(A_S)$ für 2019 in %	$P(A_S)$ für 2020 in %	$P(A_S)$ für 2021 in %
Kunststoffhohlkörper > 5 Liter (322) über NIR oder manuell	51,2	50,7	48,3
PO-flex (323-2) über NIR oder Windsichtung	17,0	28,7	30,5
PS (331 inkl. 351-(1-2) und integrierte Aufbereitung)	68,4	64,2	65,3
EPS (340) über NIR	0	0	0
Schwarze Kunststoffe (351-5)	19,0	10,4	14,6
Weißblech (410/412) über Magnetabscheidung	100	100	100
Aluminium (420) über Wirbelstromabscheidung	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
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

Sortierfraktion, ggf. Sortierverfahren	P(A _S) für 2019 in %	P(A _S) für 2020 in %	P(A _S) für 2021 in %
PET-Schalen (328-5) über NIR	11,6	17,1	16,1

Quelle: Werte für 2019 von Dehoust et al., 2021

3.1.4 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Trennung und Sortierung

Die Erhebung bot den LVP-Sortierern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Verpackungskomponenten bei der Trennung, Identifizierung und Sortierung zu geben. Als Basis dafür dienten die im Anhang 2 des Mindeststandards aufgeführten „Verpackungsmerkmale, die eine Prüfung der Identifizierbarkeit in der sensorgestützten Sortierung durch Messung erfordern“ (ZSVR, 2021a, S. 28). Im Konsultationsverfahren für den Mindeststandard 2021 wurden spezielle Verpackungsformen als Problem bei der Detektierbarkeit diskutiert. Um die Relevanz der möglichen Problematik einzuschätzen, wurde der Punkt „spezielle oder asymmetrische Verpackungsformen“ (z. B. Zylinderform) bei den Sortierern im Erhebungsbogen zusätzlich mit abgefragt. Die LVP-Sortierer wurden zudem über eine Fußnote gebeten, anzugeben, welche Verpackungsformen bei der Sortierung als kritisch anzusehen sind. Des Weiteren konnten zusätzliche problematische Gestaltungsmerkmale angegeben werden. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt. Die zusätzlichen Angaben sind unter „Weitere Angaben“ gelistet und wurden ebenso von den LVP-Sortierern hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt.

Tabelle 2: Einschätzung der LVP-Sortierer zu problematischen Verpackungen und Komponenten bei der Trennung und Sortierung (Gesamtanzahl an LVP-Sortieranlagen: 40); Abbildung der Buchstaben zu den kombinierten Antworten befinden sich hinter den Spaltenüberschriften

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		Kombinierte Antworten	keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)		
Kunststoffverpackungen:							
Großflächige Etikettierung (> 50 % der Oberfläche) mit Fremdmaterial	3	2	7	13	13	1 x C/E	1
Fullsleeve-Etikettierung	5	1	2	4	21	1 x C/E, 1 x A/B, 2 x D/E	2
Multilayer-Aufbau (außer PE-/ PP-EVOH)	3		9	2	23	1 x C/D	1

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		Kombinierte Antworten	keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)		
Metallisierung (außer innwändig/in der Mittelschicht metallisiert)	10	1	8	1	14	1 x A/B, 1 x C/B, 1 x C/D	2
Dunkle Farbgestaltung unter Verwendung rußbasierter Pigmente (auch bei Verwendung in innenliegenden Layern)			12	3	22	2x C/E, 1 x B/D	
Unterschiedliche Kunststoffarten auf Vorder- und Rückseiten	1	3	3	5	26	1 x C/D, 1 x C/E	
Großflächig (> 50 % der Oberfläche) aufgetragene Metallpigmente (Lackierung, Beschichtung oder Prägung)	13	3	10	3	6	3 x C/E	1
Spezielle oder asymmetrische Verpackungsformen	13	12	3	7	1	1 x C/D	2

PPK-Verpackungen und Verbunde auf PPK-Basis:

Lackierte Oberfläche (außer klare Schutzlacke bis zu einer Lackstärke von $\leq 5 \mu\text{m}$)	12	5	2	3	12	1 x C/D	4
Kunststoffbeschichtete Oberfläche	2	6	3	7	18	1 x C/D, 1 x C/E	2
Schwarz durchgefärbt unter Verwendung rußbasierter Pigmente		2	11	1	21	2 x C/E	2

Flüssigkeitskartons (FKN):

Vom Standardaufbau (nicht nassfest ausgerüsteter Karton, PE $\pm$ Alu) abweichende Ausführung	11	9	4	7	7	1 x C/E	2
---	----	---	---	---	---	---------	---

Weitere Angaben:

PS			1				
Multilayer-Folie					1		
Biokunststoffe			1		1		

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		Kombinierte Antworten	keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)		
PVC					1		
Naturverpackung (Holz, Keramik)			1				
Multilayer-PET-Schalen					1		
PPK-Kunststoff-Kombi-Verpackungen					1		
Verpackungen aus Kunststoff und Aluminium: z. B. PS-Becher mit Aludeckel und Kaffeekapseln					1		
Netze (Obst, Gemüse)			1				
Schwarze Verpackungen					3		
Verbundverpackungen					3		
Gasdruckflaschen					2		
Silikonkartuschen					1		

Es ist festzustellen, dass die Angaben aus dem Anhang 2 des Mindeststandards 2021 von den LVP-Sortierern überwiegend bestätigt wurden. Wir empfehlen alle bisherigen Angaben im Anhang 2 des kommenden Mindeststandards weiterhin aufzulisten. Einige Punkte wurden von über der Hälfte der LVP-Sortierer als nicht gelöst eingestuft. Beispielsweise schätzten 26(+1) der 40 LVP-Sortierer „Unterschiedliche Kunststoffarten auf Vorder- und Rückseiten“, 22(+2) der 40 LVP-Sortierer „Dunkle Farbgestaltung unter Verwendung rußbasierter Pigmente (auch bei Verwendung in innenliegenden Layern)“ sowie 21(+3) der 40 LVP-Sortierer „Fullsleeve-Etikettierung“ bei Kunststoffverpackungen als nicht gelöstes Problem. Die Zahlen in Klammern stehen für die LVP-Sortierer, die zwei Antworten ankreuzten („kombinierte Antworten“). Zur Fullsleeve-Etikettierung wurden die zusätzlichen Bemerkungen gemacht, dass insbesondere dicke Sleeves sowie Sleeves mit Fremdmaterial problematisch seien. Als Beispiele wurden dabei PET-Flaschen mit PP-Sleeve sowie PE-Flaschen mit PET-Sleeve genannt. Weiterhin wurden von einem LVP-Sortierer Fullsleeves auf schwarzen Verpackungen als kritisch angesehen. Weitere Angaben wurden dazu nicht gemacht. Fullsleeves scheinen weiterhin problematisch zu sein und sollten im Anhang 2 des Mindeststandards weiterhin aufgelistet werden.

„Vom Standardaufbau (nicht nassfest ausgerüsteter Karton, PE ± Alu) abweichende Ausführung“ wurde von den wenigsten LVP-Sortierern als nicht gelöstes Problem eingestuft (8(+1) von 40) und von 9 der 40 LVP-Sortierer als unproblematisch eingestuft. Da einige LVP-Sortierer diesen Punkt problematisch einstufen, empfehlen wir diese Problematik weiterhin im Anhang 2 zu belassen, aber den Gründen für die unterschiedlichen Auffassungen zukünftig näher nachzugehen und auf breiterer Erkenntnislage neu über die Listung zu entscheiden.

„Spezielle oder asymmetrische Verpackungsformen“ wurden überwiegend als unproblematisch angesehen. Von keinem der LVP-Sortierer wurden kritische Verpackungsformen angegeben. Wir empfehlen deshalb, diesen Punkt zunächst nicht mit in den Mindeststandard aufzunehmen.

Im Folgenden werden die zusätzlich genannten Angaben der LVP-Sortierer erläutert und in Bezug auf den Mindeststandard eingestuft. Es wurden einige Verpackungskomponenten und Werkstoffe genannt, die über die derzeitige Sortier- und Verwertungsinfrastruktur nicht wertstofflich verwertet werden können.

- ▶ Als zusätzliche Angabe wurde von einem LVP-Sortierer PS genannt, da es bisher nicht von allen LVP-Sortieranlagen aussortiert (siehe Tabelle 1) und auch nur von wenigen Verwertern werkstofflich verwertet wird (siehe Abschnitt 3.5). Die Problematik wurde vom LVP-Sortierer aufgrund geringer Mengenrelevanz als bedeutungslos angesehen. Eine Detektion von PS über NIR-Trenner stellt jedoch kein Problem dar. Die Praxis der SuV von PS wird im Abschnitt 3.5 näher betrachtet. Für den Mindeststandard ist dieser Punkt aus unserer Sicht nicht relevant. Es besteht demnach kein Handlungsbedarf.
- ▶ Multilayer-Folien wurden von einem LVP-Sortierer als Problem angegeben und als nicht gelöst eingestuft. Der Grund sei eine verringerte Regranulat-Ausbeute bei der Verwertung aufgrund verschiedener Materialien. Multilayer-Folien würden von Verwertern nicht akzeptiert. Die Praxis der SuV von Folien wird im Abschnitt 3.2 näher betrachtet. „Multilayer-Aufbau“ ist bereits im Anhang 2 des Mindeststandards für die Kunststoffverpackungen aufgeführt (ZSVR 2021, S. 28). Es besteht demnach kein Handlungsbedarf.
- ▶ Weiterhin wurden Biokunststoffe, PVC (Polyvinylchlorid) sowie Naturverpackungen aus Holz oder Keramik jeweils von einem LVP-Sortierer genannt. Die Menge an PVC nehme laut eines LVP-Sortierers zu und lande beispielsweise in Form von Handschuhen in der LVP-Sortieranlage. Für Verpackungen aus den genannten Materialien bestehe bisher kein Sortier- und Verwertungspfad, wenn sie über die LVP-Sammlung erfasst würden. Sie würden üblicherweise keiner Sortierfraktion zugeordnet und nicht für eine werkstoffliche Verwertung bereitgestellt. Verpackungen aus Biokunststoff, PVC sowie Naturverpackungen aus Holz oder Keramik sind damit über die LVP-Sammlung als nicht recyclingfähig anzusehen. Bisher sind „biologisch abbaubare Kunststoffe“ und „Naturmaterialien wie Holz“ im Mindeststandard im Text zur Erläuterung des Anhangs 1 als nicht recyclingfähige Verpackungen und Werkstoffe beispielhaft genannt. Wir schlagen vor, an dieser Stelle noch Verpackungen aus PVC und Keramik als weitere Beispiele zu nennen.
- ▶ Als weitere problematische Verpackung wurden Multilayer-PET-Schalen genannt. Mono- und Multilayer-PET Schalen werden von einigen LVP-Sortieranlagen über verschiedene PET-Fraktionen gemeinsam mit PET-Flaschen in verschiedenen Verhältnissen sortiert (siehe Abschnitt 3.6). Multilayer-PET-Schalen wurden als problematische Verpackung angegeben, da es bisher nur vereinzelt werkstoffliche Verwerter für PET-Schalen und damit wenige Abnehmer gibt. Die Praxis der SuV von PET wird im Abschnitt 3.6 näher betrachtet. Die Problematik der Detektierbarkeit durch einen „Multilayer-Aufbau“ ist bereits im Anhang 2 des Mindeststandards für die Kunststoffverpackungen aufgeführt (ZSVR, 2021a, S. 28). Es besteht demnach kein Handlungsbedarf.
- ▶ Ein LVP-Sortierer gab PPK-Kunststoff-Kombinationsverpackungen als problematische Verpackung an. Er sagte aus, dass mittlerweile bezogen auf den Input der Verwertungsanlagen zwischen 15 % – 20 % Papierstoffe im Verpackungsprozess abzutrennen wären. Bei diesen Verpackungen müssten die Komponenten voneinander

getrennt werden, um in die korrekten Fraktionen sortiert zu werden. Nicht nur die Sortiertechnik, sondern auch das Entsorgungs- und Abfalltrennverhalten von Verbraucher*innen hat einen großen Einfluss auf die Recyclingquote. Viele Verpackungen müssen sortenrein getrennt werden, damit alle Bestandteile werkstofflich verwertet werden können. Der LVP-Sortierer gab zusätzlich ein Beispiel an: „Verpackungen aus Kunststoff und Aluminium: z. B. PS-Becher mit Aludeckel und Kaffeekapseln“. Da die Kunststoffbecher mit Aluminiumplatte oftmals auch noch eine Kartonbänderole besitzen, bestehen diese Verpackungen aus drei händisch trennbaren Komponenten. Dass Verpackungskomponenten trennbar sein müssen, wenn dies für eine hochwertige werkstoffliche Verwertung notwendig ist, ist bereits im Mindeststandard 2021 aufgeführt. Der Mindeststandard enthält Instruktionen zur Bemessung von Kombinationsverpackungen, die eine gemeinsame Betrachtung erfordern, wenn die Komponenten nicht zwingend getrennt anfallen. Die Becher aus drei Komponenten wären gemäß Mindeststandard demnach nicht getrennt zu bemessen, da sie nicht „zum Ge- und Verbrauch notwendigerweise und unwiderruflich getrennt werden müssen“ (ZSVR, 2021a, S. 4). Es besteht demnach kein Handlungsbedarf.

- Der Anteil an Netzen für Obst und Gemüse steige gemäß eines LVP-Sortierers an. Die Netze bleiben häufig in den Anlagen hängen und blockieren diese. Wenn Netz und Etikett aus verschiedenen Materialien bestehen und mittels NIR-Trenner nur das Etikett detektiert wird, landet das Netz nicht in der korrekten Zielfraktion. Zudem bieten Netze aufgrund ihrer Gestaltung nur wenig Angriffsfläche für die Druckluftdüsen. Netze wurden bereits in der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2022 in den Anhang 2 aufgenommen (ZSVR, 2022c).
- Die Problematik schwarzer Verpackungen wurde bereits in Abschnitt 3.1.3 erläutert. 3 der 21 LVP-Sortierer betrachteten schwarze Kunststoffe als nicht gelöst. Der Punkt „dunkle Farbgestaltung unter Verwendung rußbasierter Pigmente (auch bei Verwendung in innenliegenden Layern)“ ist bereits im Anhang 2 des Mindeststandards 2021 aufgeführt (ZSVR, 2021a). Es besteht demnach kein Handlungsbedarf.
- Verbundverpackungen wurden von drei LVP-Sortierern als nicht gelöstes Problem aufgeführt. Für diese Verpackungen sei der Verwertungsweg ungeklärt. Gemeint ist hier nicht der Begriff „Verbundverpackung“ gemäß § 3 Abs. 5 VerpackG (Kombination aus mindestens zwei unterschiedlichen Materialarten, die nicht von Hand trennbar sind), sondern eine Verpackung aus mehreren verschiedenen Kunststoffarten. Die Kombination aus verschiedenen Kunststoffen erschwere die Detektion und Sortierung. „Multilayer-Aufbau (außer PE-/ PP-EVOH)“ und „Unterschiedliche Kunststoffarten auf Vorder- und Rückseiten“ sind bereits als Punkte im Anhang 2 des Mindeststandards aufgenommen (ZSVR, 2021a). Es besteht demnach kein Handlungsbedarf.
- Drei LVP-Sortierer betrachteten Gasdruckflaschen als nicht gelöstes Problem. Diese führen zu Explosions- und Brandgefahr in den Anlagen und würden manuell aussortiert. Gasdruckflaschen gelten gemäß § 3 Absatz 1 VerpackG als Verpackungen. Diese können restentleert in der gelben Tonne bzw. im gelben Sack entsorgt werden. Sie sind relativ schwer, was die Entsorgung im gelben Sack erschwert. Gasdruckflaschen werden von stahlverarbeitenden Fabriken nur angenommen, wenn eine Restentleerung gewährleistet werden kann. Der Beirat der ZSVR hat Ende 2021 eine Empfehlung für Pfandlösungen für Gasdruckflaschen ab 200 ml mit verschiedenen Gasen (Helium, Propan, Butan) verabschiedet (Henning Glitza, 2021; ZSVR, 2021b). Eine Pfandlösung müsste vom Gesetzgeber geregelt werden. Ob eine Aufnahme von Gasdruckflaschen in den Mindeststandard sinnvoll ist, bedarf einer Prüfung durch den EK III.

- Ein LVP-Sortierer gab Silikonkartuschen als Problem an, da diese in der anschließenden Verwertung schädlich seien. Silikonkartuschen sind nicht recyclingfähig und bereits als „Kartuschen für Dichtmassen“ in Spalte 5 im Anhang 1 des Mindeststandards 2021 (ZSVR, 2021a) als Verpackung außerhalb der Spezifikation aufgeführt. Es besteht demnach kein Handlungsbedarf.

3.2 Verwertung von Kunststofffolien

3.2.1 Rücklauf der Erhebung

An insgesamt 52 Verwerter von Kunststofffolien wurden Erhebungsbögen versendet. Mit 24 ausgefüllten Erhebungsbögen wurde eine Rücklaufquote von 46 % erreicht. Für Verwerter von Kunststofffolien mit Standort in Deutschland wurde eine Rücklaufquote von 78 % erzielt. Die Gesamtzuführungsmenge der Verwertungsanlagen aus den MSN 2020, die einen Erhebungsbogen zurücksendeten, liegt für Kunststofffolien in 2020 bei ca. 164.000 t (gerundet auf 1.000 t/a). Damit wurden 76 % der Gesamtzuführungsmenge aller Verwerter von Kunststofffolien aus dem MSN 2020 abgedeckt. Dieser abgedeckte Mengenanteil liegt über 50 % der Gesamtzuführungsmenge und wird damit als repräsentativ angesehen. Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen.

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

Erhebungsbogen Verwerter von Kunststofffolien

- Rücklaufquote: im In- und Ausland: 46 % (24/52); im Inland: 78 % (14/18)
- Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, aus MSN 2020: ca. 164.000 t; entspricht 76 % der Gesamtmenge aller Folienverwerter i.H.v. ca. 215.000 t (ZSVR, 2022b, Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

3.2.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 8 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Kunststofffolien. Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bildet die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021). Die Fraktion Kunststofffolien (310, 310-1) wird in den LVP-Sortieranlagen über Windsichtung (S1) und in einigen Anlagen zusätzlich über NIR-Trenner (S2) abgetrennt und für die Verwertungsanlagen als Großballen bereitgestellt. Mittels NIR-Trenner werden von einigen Anlagen auch kleinformatige LDPE-Folien (< DIN A4 und > DIN A5) sortiert.

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, Eisen-, Nichteisenmetalle). 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. Ein Verwerter gab an, dass sich trotz NIR-Trenner weiterhin ein PP-Anteil von > 15 % gezeigt habe. V1 umfasst Verwertungsanlagen, die keine NIR-Vorsortierung durchführen. V- umfasst alle Verwertungsanlagen von Kunststofffolien, die keine Referenzanlagen darstellen.

Anschließend folgt der Waschprozess, in dem Klebstoffreste, Papier und Etiketten und andere Störstoffe entfernt werden sollen. Die Wäsche wird bei den befragten Verwertungsanlagen hauptsächlich als Kaltwäsche oder Trockenreinigung ausgeführt. Heißwäsche spielt bei der Reinigung des Mahlgutes in Bezug auf die Mengenrelevanz eine untergeordnete Rolle und kann aus wettbewerbsrechtlichen Gründen an dieser Stelle mengenmäßig nicht als Klarwert dargestellt werden. Alle Kunststofffolien-Verwerter gaben an, dass die Wäsche ohne Zugabe von Natronlauge oder Detergenzien erfolgt.

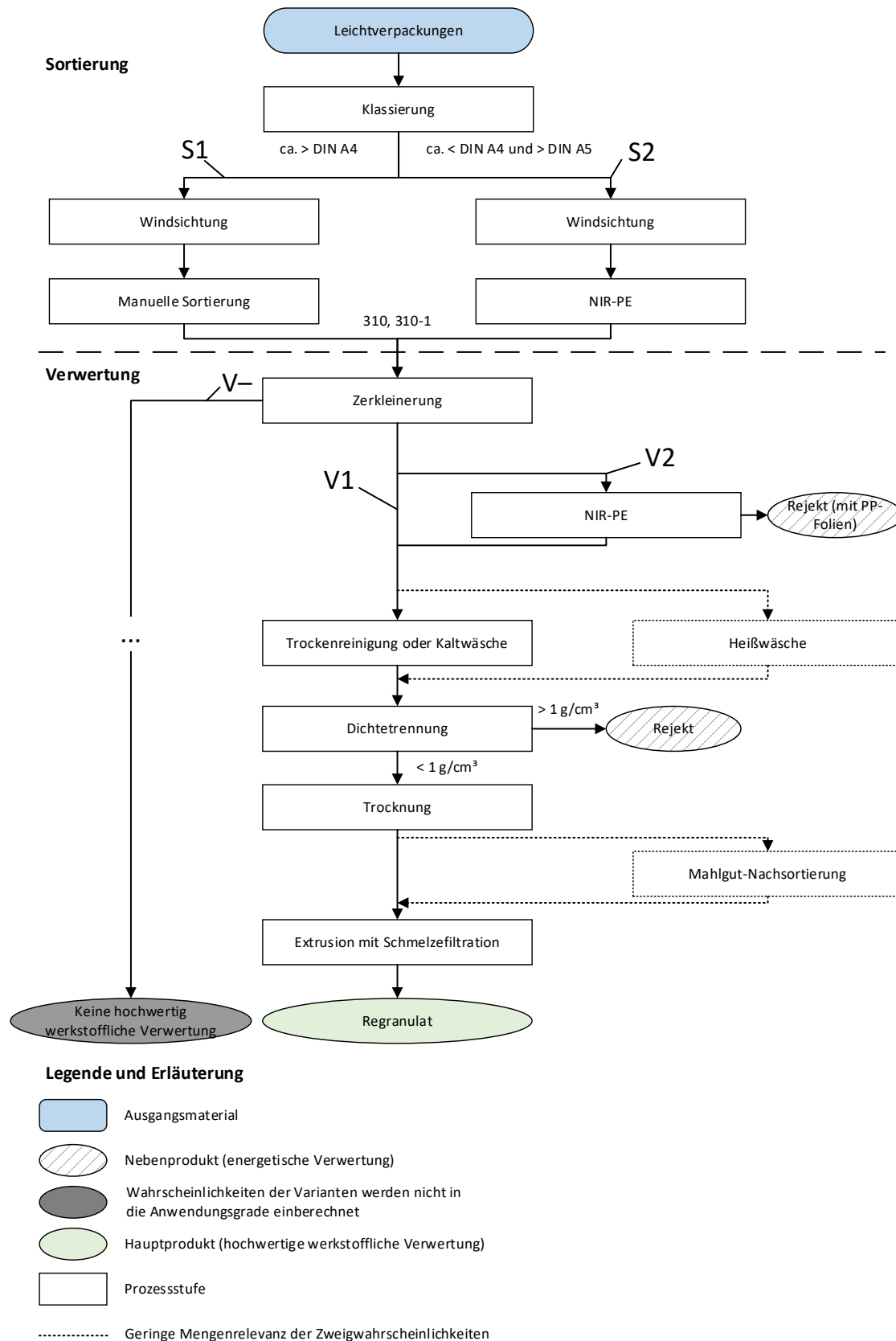
Die Dichtentrennung wird als Schwimm-Sink-Trennung über Verfahren wie Hydrozyklone bei einer Dichte von 1 g/cm^3 durchgeführt. Das Sinkgut wird als Rejekt abgetrennt. Dazu gehören beispielsweise Verpackungskomponenten aus PS, PET oder PVC (Tschachtli, Pitschke, Kreibe, & Martin, 2019). Eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Technologien zur Dichtentrennung (Schwimm-Sink-Becken, Hydrozyklon, Zentrifuge) kann in UBA-Texte 92/2021 nachgelesen werden (Knappe et al., 2021). Das Schwimmgut wird anschließend mechanisch und thermisch getrocknet.

Mahlgut-Nachsortierung wird bei Folien mit untergeordneter Mengenrelevanz zur stofflichen und farblichen Trennung von Mahlgut angewendet. Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen kann dieses Verfahren mengenmäßig nicht näher beleuchtet werden.

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 Regranulat problematisch, die sich im Schmelzprozess zersetzen und eine geringere Schmelztemperatur gegenüber der Verarbeitungstemperatur (LDPE: ca. 180 °C – 250 °C) besitzen (Tschachtli et al., 2019). Diese Bestandteile können eine Veränderung der Eigenschaften des finalen Rezyklats bedingen. Höher 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).

Weitere Prozessschritte wurden von den befragten Anlagen nicht angegeben. In keiner der befragten Anlagen wurden Löseverfahren für systembeteiligungspflichtige Verpackungen angewendet.

Abbildung 8: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Kunststofffolien

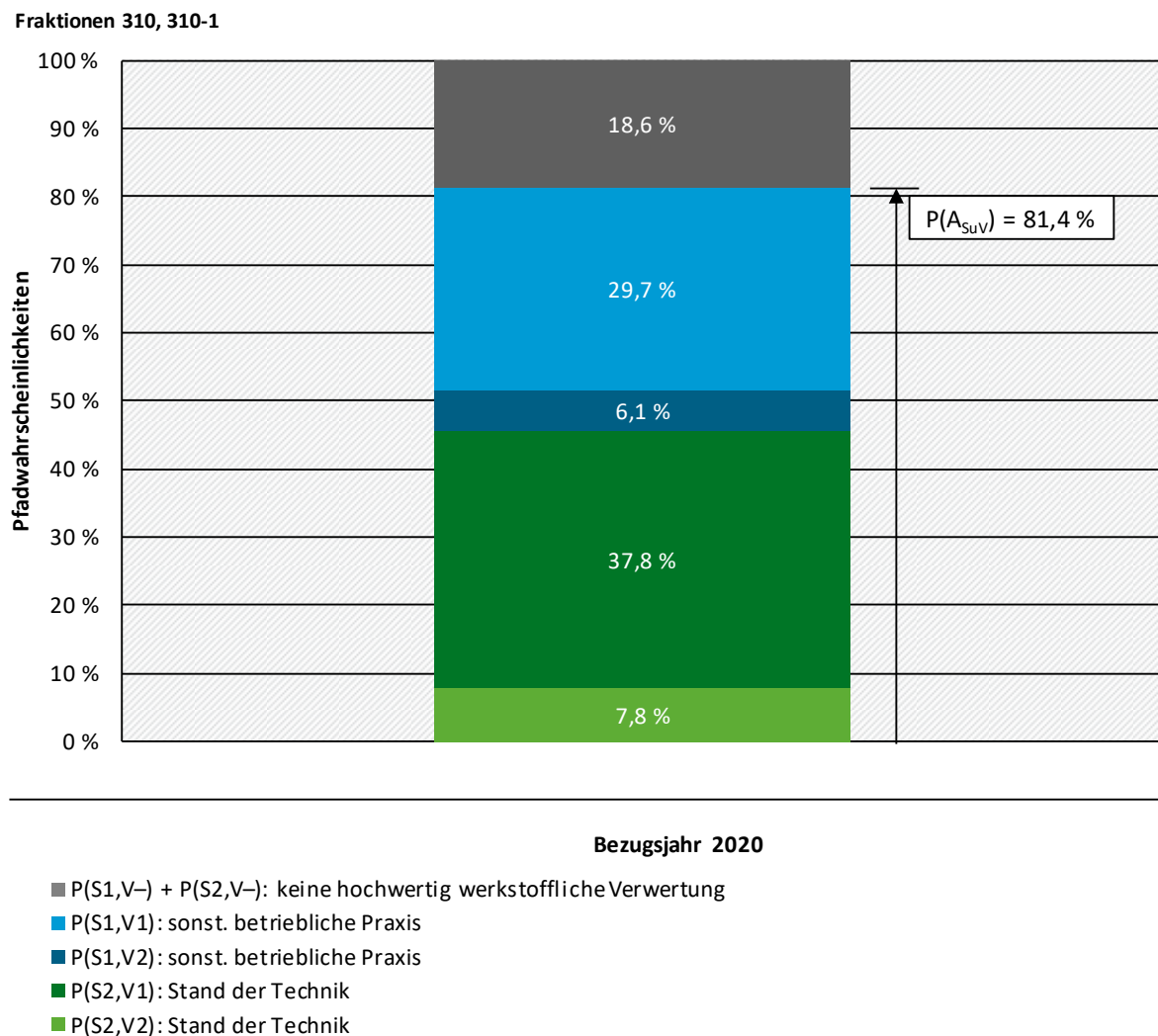


Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al., 2021

3.2.3 Ermittlung der Praxis der SuV für Kunststofffolien

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer als auch aus den Verwertungszuführungsmengen aus dem MSN 2020, kann $P(A_{SuV})$ für Kunststofffolien berechnet werden. $P(A_{SuV})$ beträgt für das Bezugsjahr 2020 in Summe 81,4 %. Die Verteilung der Mengen auf die in Abbildung 8 dargestellten Pfade ist in Abbildung 9 abgebildet.

Abbildung 9: Praxis der SuV für 2020 für Kunststofffolien



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

Die meisten Verwerter von Kunststofffolien gaben Regranulate als Endprodukte an, bei denen die Verwertungsanlage gemäß Dehoust et al. als Referenzanlage eingestuft werden kann (Dehoust et al., 2021).

Wir definieren wie Dehoust et al. die Pfadwahrscheinlichkeiten mit Sortierprozessvariante S2 ($P(S2, V1)$ und $P(S2, V2)$) als Stand der Technik (Dehoust et al., 2021). 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 37,8 % und $P(S2, V2)$ 7,8 %. Die Wahrscheinlichkeiten mit S1 (Foliensortierung in der LVP-Sortieranlage nur

über Windsichtung) wurden als sonstige betriebliche Praxis ermittelt. Dazu gehören P(S1,V1) mit 29,7 % sowie P(S1,V2) mit 6,1 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Varianten mit V-) beträgt 18,6 %.

Bei den Verwertern von Kunststofffolien mit Referenzanlagen wurden überwiegend Extrusionsfolien, Blasfolien und Spritzgussprodukte als Produktanwendungen angegeben. Nicht alle Anlagen, die Blasfolienanwendungen als Endprodukt angaben, führen eine NIR-Vorsortierung auf PP-Folien durch.

3.2.4 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung

Die Erhebung bot den Verwertern von Kunststofffolien die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Komponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Verwertungsprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2021 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2021a, S. 29). Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungen und Komponenten gemacht werden. Diese konnten ebenso von den Verwertern hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 3: Einschätzung der Verwerter von Kunststofffolien zu problematischen Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung (Gesamtanzahl Referenzanlagen: 21); Abbildung der Buchstaben zu den kombinierten Antworten befinden sich hinter den Spaltenüberschriften

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		Kombinierte Antworten	keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)		
Geklebte zellulosehaltige Etiketten, die sich unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen	1	3	5	3	7	1 x C/D	1
PA-Schichten	2	1	1	3	9	1 x C/D, 1 x C/E	3
PE-X-Komponenten	3	1	1	3	9	1 x C/D, 1 x C/E	2
PVDC-Schichten	3	1		3	10	1 x C/D, 1 x C/E	2
Sonstige Nicht-PE-Polymerschichten (außer	5	2	4	3	3	1 x C/D	3

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		Kombinierte Antworten	keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)		
Haftvermittler, Klebstoffe, PP, EVA, EVOH)							
Nicht-Polymer-Schichten (außer SiOx / AlOx / Metallisierung)	2	3	6	3	3	1 x C/D	3
Weitere Angaben:							
Schichtaufbau der Verbundfolien				1	1		
Nitrozellulose (nicht stabil, Gasbildung im Regranulat)					3		
Aluminiumfolie				1			
Druckfarben (Eintragsquelle für gefährliche Substanzen, z. B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Phthalate und Azo-Farbstoffe)					4		1
EVOH-, PVDC- Multilayer-Verbunde (nicht stabil, Gasbildung im Regranulat)					2		

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 überwiegend von den Verwertern bestätigt werden. Insbesondere PVDC (Polyvinylidenchlorid)-Schichten und PA (Polyamid)-Schichten sowie PE-X (vernetztes Polyethylen)-Komponenten wurden von etwa der Hälfte der Anlagenbetreiber als nicht gelöst betrachtet. Wir empfehlen, alle im Anhang 3 des Mindeststandards aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten. Im Folgenden werden ausgewählte zusätzlich angegebene problematische Verpackungsmerkmale diskutiert:

- Druckfarben beeinflussen die finale Qualität des Rezyklats negativ und seien eine Eintragsquelle für verschiedene Substanzen. Als Beispiele für schädliche Substanzen wurden Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Phthalate und Azo-Farbstoffe genannt. Zusätzlich wurde Nitrozellulose genannt, welche laut EuPIA (Europäischer Druckfarbenverband, European Printing Ink Association) als Bindemittel-Polymer für Verpackungsmaterialien im Tief- und Flexodruck verwendet wird. EuPIA gibt an, dass mittels Nitrozellulose die Eigenschaften von Verpackungen, wie die Heißsiegelfähigkeit und Lösemittelabgabe verbessert werden können (EuPIA, 2010). Die Verwerter gaben an, dass Nitrozellulose im Verwertungsprozess nicht stabil sei und im Regranulat zu Gasbildung

führe. Laut EuPIA (EuPIA, 2021) ist Nitrozellulose das am meisten verwendete Bindemittel in Druckfarben für flexible Verpackungen. Nitrozellulose zersetzt sich ab 160 °C und kann zu Gasbildung führen. Da im Extrusionsprozess meist Temperaturen über 200 °C verwendet werden, kann Nitrozellulose die Bildung von Gelpartikeln oder Verfärbungen im Rezyklat verursachen (EuPIA, 2021). Auch die Initiative PrintCYC (bvse, 2021b) erlangte ein ähnliches Ergebnis mit PP-Folien, die mit Druckfarbe auf Nitrozellulose-Basis bedruckt wurden. Die Rezyklate wiesen keine zufriedenstellenden Qualitäten durch Farbveränderungen, Geruch und Ausgasungen auf (bvse, 2021b). Bisher sind keine Druckfarben im Mindeststandard aufgeführt. Wir empfehlen, eine Aufnahme bestimmter Substanzen wie beispielsweise Nitrozellulose näher zu prüfen.

- EVOH (Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer)-Schichten und PVDC-Schichten sind laut der Angaben zweier Verwerter nicht stabil im Verwertungsprozess und verursachen Gasbildung im Regranulat. „PVDC-Schichten“ sind bereits im Anhang 3 des Mindeststandards 2021 aufgeführt (ZSVR, 2021a). 10(+1) der 21 Anlagenbetreiber, d. h. etwa die Hälfte, betrachteten die Problematik von PVDC-Schichten als nicht gelöst. EVOH in Folien gilt im Mindeststandard als recyclingfähig („Sonstige Nicht-PE-Polymerschichten (außer Haftvermittler, Klebstoffe, PP, EVA, EVOH)“ (ZSVR, 2021a). Diese Ausnahme ist dadurch erklärbar, dass EVOH erst ab einer bestimmten Menge im Recyclingprozess problematisch sein kann. In Anhang 3 des Mindeststandards sind nur solche Stoffe/Materialien aufgenommen, die auch in sehr geringer Menge das Recycling beeinträchtigen können. Die Ausführung sowie der Mengenanteil einer Barrierschicht aus EVOH kann sich je nach Art der Verpackung unterscheiden (FH Campus Wien, 2020). RecyClass setzt bei LDPE-Folien für EVOH einen Grenzwert von 5 Gew.-% fest, der für eine Recyclingfähigkeit der Verpackung nicht überschritten werden darf (RecyClass, 2021). Sollte der Mindeststandard zukünftig Grenzwerte aufführen, empfehlen wir, auch einen evidenzbasierten Grenzwert für EVOH aufzunehmen.
- Verbundfolien mit Schichtaufbau seien schwer verwertbare Verpackungen, die gemäß eines Anlagenbetreibers insbesondere bei einem Anteil von weniger als 95 % Monomaterial problematisch seien. „Sonstige Nicht-PE-Polymerschichten (außer Haftvermittler, Klebstoffe, PP, EVA, EVOH)“ sowie „Nicht-Polymer-Schichten (außer SiO_x/AlO_x/Metallisierung)“ sind bereits im Anhang 3 des Mindeststandards 2021 aufgeführt (ZSVR, 2021a). Die zwei eben genannten Probleme wurden sehr differenziert von den Anlagenbetreibern eingeschätzt. Sie werden jedoch weiterhin von einigen Verwertern als problematisch angesehen.

3.3 Verwertung von PP und PE

3.3.1 Rücklauf der Erhebung

An insgesamt 55 PP-Verwerter sowie an 56 PE-Verwerter im In- und Ausland wurden Erhebungsbögen versendet. Teilweise verarbeiten Anlagen sowohl PP als auch PE. Mit 21 ausgefüllten Erhebungsbögen der PP-Verwerter und 23 der der PE-Verwerter wurden Rücklaufquoten von 38 % bzw. 41 % erreicht. Für PP- und PE-Verwerter mit Standort in Deutschland wurden Rücklaufquoten von 70 % und 75 % erzielt. Die Gesamtzuführungsmenge der Verwertungsanlagen, die einen Erhebungsbogen zurücksendeten, liegt laut MSN 2020 für PP-Verwerter bei ca. 128.000 t und bei PE-Verwertern bei ca. 69.000 t (gerundet auf 1.000 t/a). Damit wurden 76 % bzw. 74 % der Gesamtzuführungsmenge aller PP- und PE-Verwerter aus dem MSN 2020 abgedeckt. Dieser abgedeckte Mengenanteil liegt über 50 % der Gesamtzuführungsmenge und wird damit als repräsentativ angesehen. Berücksichtigt wurden ausschließlich Letzttempfängeranlagen.

Die Fraktion 323-2 (PO-flex) ist an dieser Stelle nicht mit einbezogen und wird erst im darauffolgenden Abschnitt 3.4 betrachtet. Die Fraktion 322 (Kunststoff-Hohlkörper) wird im Abschnitt 3.3.3 separat berücksichtigt und ist ebenso in den hier aufgeführten Mengen nicht enthalten.

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

Erhebungsbogen PP-Verwerter

- ▶ Rücklaufquote: im In- und Ausland: 38 % (21/55); im Inland: 70 % (14/20)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, aus MSN 2020: ca. 128.000 t; entspricht 76 % der Gesamtmenge aller PP-Verwerter i.H.v. ca. 168.000 t (ZSVR, 2022b, Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

Erhebungsbogen PE-Verwerter

- ▶ Rücklaufquote: im In- und Ausland: 41 % (23/56); im Inland: 75 % (15/20)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, aus MSN 2020: ca. 69.000 t; entspricht 74 % der Gesamtmenge aller PE-Verwerter i.H.v. ca. 93.000 t (ZSVR, 2022b, Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

3.3.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 10 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von formstabilen Verpackungen aus PP und PE. Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bildet die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021). In manchen Anlagen werden aus Gründen der Produktqualität gewerbliche Abfallmengen oder auch Produktionsabfälle mitverarbeitet.

S1 (20 mm oder 30 mm) und S2 (40 – 60 mm) kennzeichnen die zwei verschiedenen Sortierprozessvarianten und unterscheiden sich in der Maschenweite bei der Feinabsiebung 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, bei denen als Endprodukt Regranulat oder gewaschenes Mahlgut hergestellt wird. V– umfasst alle Verwertungsanlagen von PE und PP, die keine Referenzanlagen darstellen.

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

Anschließend folgt der Waschprozess mit dem Ziel, Klebstoffreste, Anhaftungen und Etiketten zu entfernen. Die Wäsche wird bei den befragten Verwertungsanlagen überwiegend als Kaltwäsche oder Trockenreinigung ausgeführt (V1). Wenige Anlagen gaben an, das Mahlgut heiß zu waschen (V2). Eine Heißwäsche 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 ($> 60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Dadurch kann die Qualität der Rezyklate verbessert und das Einsatzspektrum erweitert werden (Knappe et al., 2021). Die Mehrheit der PE- und PP-Verwerter 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 jedoch aus wettbewerbsrechtlichen Gründen nicht als Klarwert abgebildet werden.

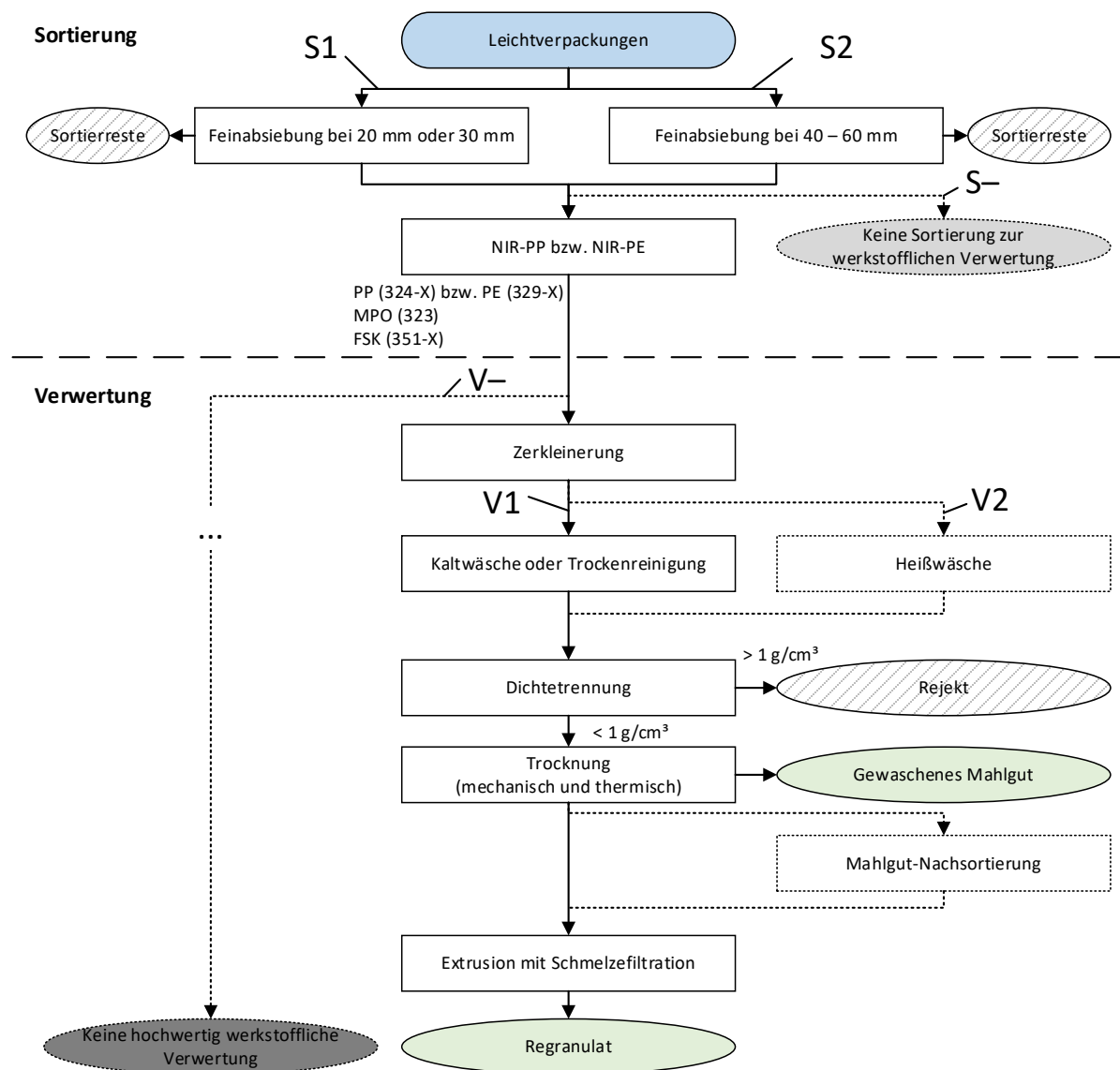
Die Dichtentrennung wird als Schwimm-Sink-Trennung über Verfahren wie Schwimm-Sink-Becken bei einer Dichte von 1 g/cm^3 durchgeführt. Das Sinkgut wird als Rejekt ausgeschleust. Dazu gehören beispielsweise Verpackungskomponenten aus PS, PET oder PVC (Tschachtli et al., 2019), aber auch Holz, Gummi und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

Wenige Anlagen gaben an, eine Mahlgut-Nachsortierung durchzuführen. Diese kann stofflich oder farblich erfolgen. Die ursprüngliche Farbe des Mahlgutes lässt sich nicht entfernen, sodass eine Farbänderung nur durch eine Überfärbung möglich ist. Eine Mahlgut-Farbsortierung ermöglicht eine Sortierung des Mahlguts nach Farben, sodass helles Mahlgut separiert wird und in dafür passenden Anwendungen eingesetzt werden kann (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.

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 Regranulat problematisch, die sich im Schmelzprozess zersetzen und eine geringere Schmelztemperatur gegenüber der Verarbeitungstemperatur (HDPE: ca. $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ und PP: ca. $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $270\text{ }^{\circ}\text{C}$) besitzen. (Tschachtli et al., 2019). Diese Bestandteile können die Eigenschaften des finalen Rezyklats verändern. Höher 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).

Weitere Prozessschritte wurden von den befragten Anlagen nicht angegeben. In keiner der befragten Anlagen wurden Löseverfahren angewendet.

Abbildung 10: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PP- und PE-Verpackungen



Legende und Erläuterung

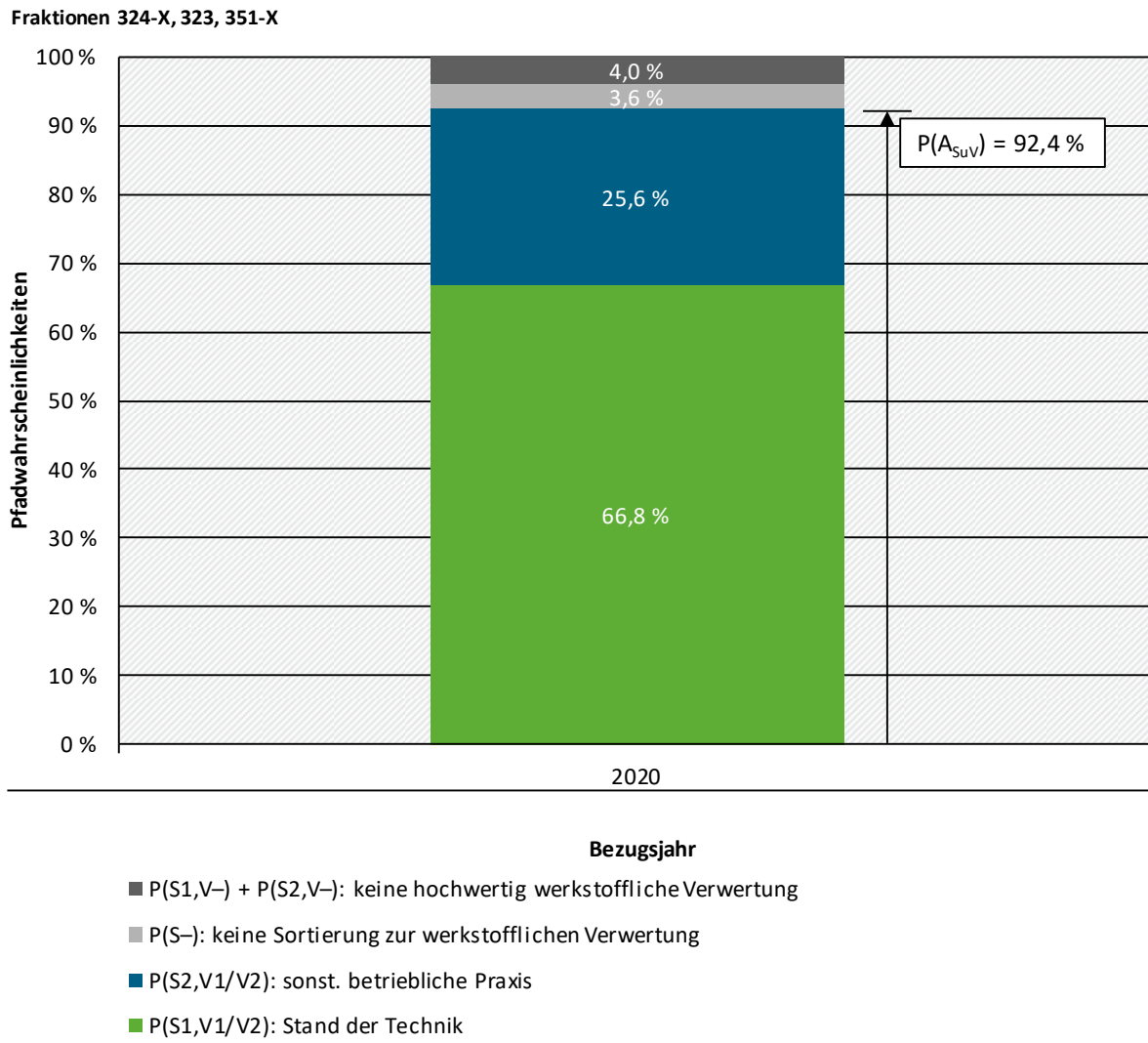
- Ausgangsmaterial
- Nebenprodukt (energetische Verwertung)
- Wahrscheinlichkeiten der Varianten werden nicht in die Anwendungsgrade einberechnet
- Hauptprodukt (hochwertige werkstoffliche Verwertung)
- Prozessstufe
- Geringe Mengenrelevanz der Zweigwahrscheinlichkeiten

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

3.3.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PP und PE

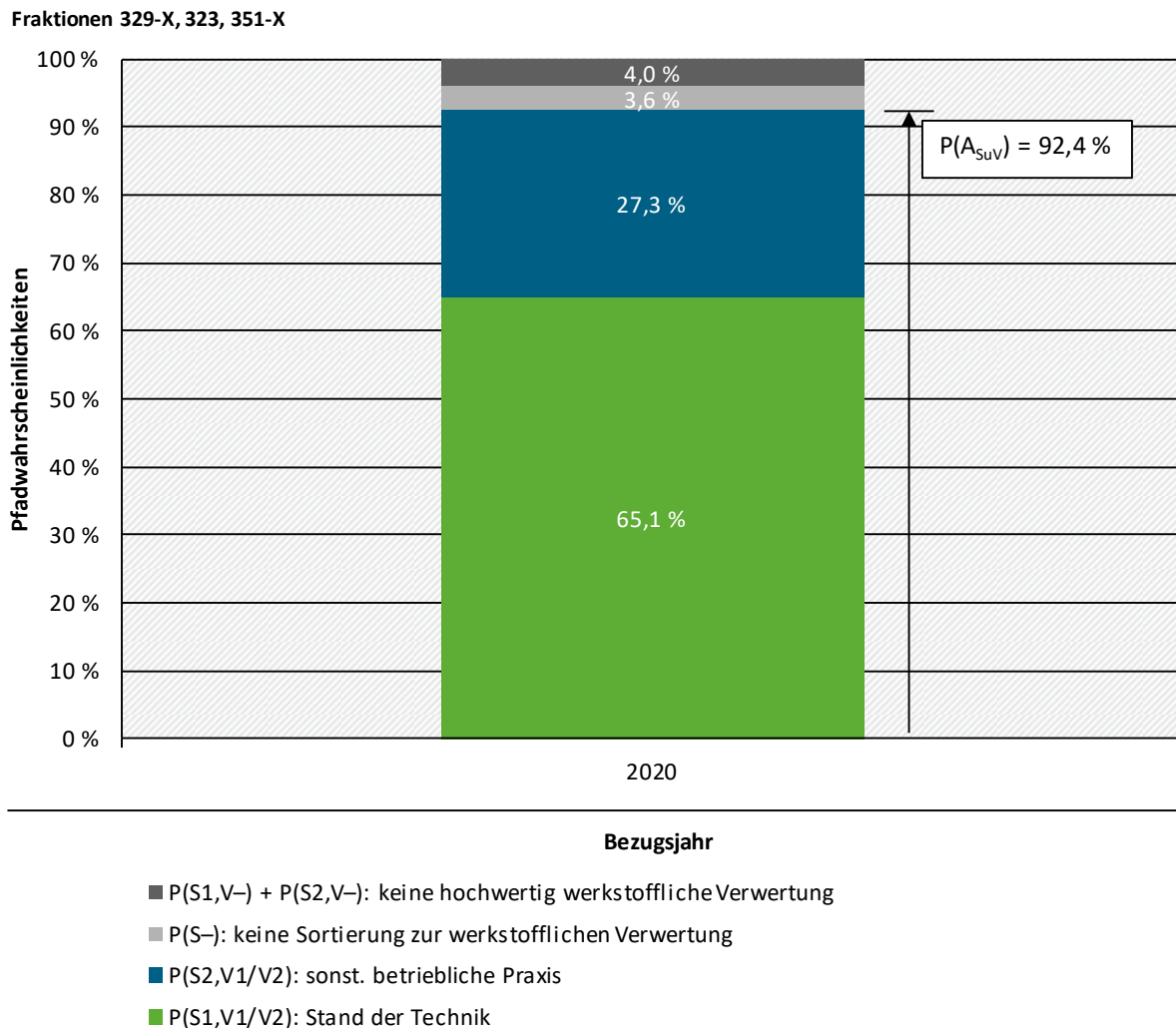
Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer als auch aus den Verwertungszuführungsmengen aus dem MSN 2020 kann $P(A_{SuV})$ für PP und PE berechnet werden. $P(A_{SuV})$ beträgt für das Bezugsjahr 2020 für PP als auch für PE in Summe 92,4 %. Die Verteilung der Mengen auf die in Abbildung 10 dargestellten Pfade ist in Abbildung 11 für PP und in Abbildung 12 für PE abgebildet.

Abbildung 11: Praxis der SuV für 2020 für PP-Verpackungen



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

Abbildung 12: Praxis der SuV für 2020 für PE-Verpackungen



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

Die meisten PE- und PP-Verwerter gaben Endprodukte an, bei denen die Verwertungsanlage als Referenzanlage eingestuft werden kann. Als Endprodukte zählen dazu sowohl gewaschenes Mahlgut als auch Regranulat (Dehoust et al., 2021).

Wir definieren die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1,V1/V2)$ mit 66,8 % bei PP und mit 65,1 % bei PE als Stand der Technik. Bei diesen Varianten werden auch kleine Verpackungen sortiert (Feinabsiebung bei 20 mm oder 30 mm) und anschließend hochwertig werkstofflich verwertet. Die Wäsche des Mahlguts wird dabei überwiegend als Kaltwäsche und/oder Trockenreinigung ausgeführt. Als sonstige betriebliche Praxis wurde $P(S2,V1/V2)$ mit 25,6 % bei PP und 27,3 % bei PE ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeit umfasst eine Feinabsiebung bei 40 mm – 60 mm sowie eine hochwertige werkstoffliche Verwertung. Die Wahrscheinlichkeiten, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Varianten mit V-) betragen insgesamt 7,6 % bei PP und PE.

Von den PP-Verwertern wurde überwiegend Spritzguss als Produktanwendung genannt. Von den PE-Verwertern mit Referenzanlagen wurden überwiegend Blasfolien und Spritzgussprodukte sowie Extrusionsfolien als Produktanwendungen angegeben.

$P(A_{\text{SuV}})$ für Kunststoff-Hohlkörper aus PE oder PP beträgt ca. 96 %. Dieser wurde separat bestimmt, da die Hohlkörper (Eimer und Kanister < 5 l) im Mindeststandard einzeln aufgeführt sind.

3.3.4 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung

Die Erhebung bot den PP- und PE-Verwertern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Komponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Verwertungsprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 4 (PP-Verwerter) und Tabelle 5 (PE-Verwerter) dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2021 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2021a, S. 29). Zusätzlich abgefragt wurde der Punkt „nicht magnetische Metalle“. Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungen und Komponenten gemacht werden. Diese konnten ebenso von den Verwertern hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 4: Einschätzung der PP-Verwerter zu problematischen Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 17); Abbildung der Buchstaben zu den kombinierten Antworten befinden sich hinter den Spaltenüberschriften

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		Kombinierte Antworten	keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)		
Silikonkomponenten	1	1	5		9	1 x B/D	
Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere	1		4	3	7	1 x B/D	1
Geklebte zellulosehaltige Etiketten, die sich unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen	2		3		10	1 x B/D, 1 x C/D	
PA-Schichten	1	1	3		10	1 x C/D	1
PVDC-Schichten	1	1	3	1	9	1 x C/D	1
Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³	2	2	3	2	6	1 x B/D, 1 x C/D	
PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³	2	3	3	3	4	1 x B/D, 1 x C/D	
Nicht magnetische Metalle	1	3	2	8	1	1 x B/D, 1 x C/D	

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		Kombinierte Antworten	keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)		
Weitere Angaben:							
Papier-Kunststoff-Verbunde					2		
Elastomer und Silikon					2		
Zu viel PP/PE-Folie					1		
Metall, Edelstahl (verursacht Probleme beim Band)			1				
Zu großes Schwergut (wird in der Schwergutrinne herausgefiltert)				1			

Tabelle 5: Einschätzung der PE-Verwerter zu problematischen Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 20); Abbildung der Buchstaben zu den kombinierten Antworten befinden sich hinter den Spaltenüberschriften

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		Kombinierte Antworten	keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)		
Silikonkomponenten	1		6	1	10	1 x B/D, 1 x C/E	
Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere	2	1	2	3	8	1 x B/D, 1 x C/D	2
Geklebte zellulosehaltige Etiketten, die sich unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen	1	2	4		11	1 x B/D, 1 x C/D	

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		Kombinierte Antworten	keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)		
PA-Schichten	2	1	2		12	1 x C/D	2
PE-X-Komponenten	3	1	1		7	1 x C/D	7
PVDC-Schichten	3		2	1	10	1 x C/D	3
Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³	2	4	3	2	6	1 x B/D, 1 x C/D	1
PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³	2	4	4	3	4	1 x B/D, 1 x C/D	1
Nicht magnetische Metalle	2	3	3	7	2	1 x B/D, 1 x C/D	1

Weitere Angaben:

Papier-Kunststoff-Verbunde					2		
Elastomer und Silikon					2		
Verpackung, bei der die Schwimm-Sink-Trennung aufgrund der Verpackungsdichte nicht funktioniert					1		

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 überwiegend von den Verwertern bestätigt werden. Insbesondere PVDC- und PA-Schichten, Silikonkomponenten sowie zellulosehaltige Etiketten wurden von etwa der Hälfte der PE- und PP-Anlagenbetreiber als nicht gelöstes Problem betrachtet. Wir empfehlen, alle im Anhang 3 des Mindeststandards aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten. „Nicht magnetische Metalle“ wurden von 8(+2) der 17 befragten PP-Verwerter und von 7(+2) der 20 befragten PE-Verwerter als weitestgehend gelöstes Problem betrachtet und lediglich von 1 PP-Verwerter und 2 PE-Verwertern als nicht gelöst angesehen. Eine Aufnahme dieses Punktes wird vorerst nicht empfohlen. Im Folgenden werden drei der angegebenen problematischen Verpackungsmerkmale diskutiert, welche als nicht gelöst eingestuft wurden:

- „Elastomer und Silikon“ wurde von zwei Verwertern als „nicht gelöst“ eingestuft. Silikone sind Elastomere und bereits sowohl als „Kartuschen für Dichtmassen“ im Anhang 1 als Verpackung außerhalb der Spezifikation sowie als „Silikonkomponenten“ im Anhang 3 des Mindeststandards aufgeführt (ZSVR, 2021a). Gummi und Silikone sind potentielle Geruchsverursacher, da sie bei der Extrusion verbrennen und zu erheblichen Qualitätsproblemen führen können (Kitzberger, 2017). Die zwei Verwerter gaben an, dass

auch andere Elastomere den Recyclingprozess erschweren können. Als Beispiel wurde seitens des Aufbereiters Flipflops aus Gummi und Silikonbackformen und -matten genannt. Die genannten Beispiele stellen einen Fehlwurf dar. Da Fehlwürfe nicht im Mindeststandard aufgeführt werden, besteht vorerst kein Handlungsbedarf.

- Verpackungen, bei denen die Verpackungsdichte durch Additive verändert wurde, sodass sie bei der Dichtentrennung dem falschen Wertstoffstrom zugeordnet werden, sind bereits im Mindeststandard unter 4.2 aufgeführt und als nicht recyclingfähig zu bewerten. Es besteht demnach kein Handlungsbedarf.
- 2 der 17 PP-Verwerter stuften „Papier-Kunststoff-Verbunde“ als nicht gelöstes Problem ein. 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. Die Feuchtigkeit verdampft im Verwertungsprozess und die organischen Stoffe verbrennen während der Extrusion. Durch die Verbrennung entstehen Gerüche. 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). Papierfaserhaltige Etiketten sind bereits im Anhang 3 über das Kriterium „Geklebte zellulosehaltige Etiketten, die sich unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen“ abgedeckt (ZSVR, 2021a). Der vorgesehene Sortier- und Verwertungspfad für faserbasierte Verpackungen in LVP-Sortieranlagen ist die Zuführung zur Fraktion PPK aus LVP und eine anschließende hochwertige werkstoffliche Verwertung in Papierfabriken. Sollten faserbasierte Verbundverpackungen bei Kunststoff-Verwertern landen, ist dies als ein Problem der Identifizierbarkeit in der sensorgestützten Sortierung einzustufen (Anhang 2). „Lackierte Oberfläche (außer klare Schutzlacke bis zu einer Lackstärke von ≤ 5 Mikrometer)“ sowie „kunststoffbeschichtete Oberfläche“ sind bereits im Anhang 2 aufgelistet (ZSVR, 2021a). Es besteht demnach kein Handlungsbedarf.

3.4 Verwertung von MPO und PO-flex

3.4.1 Rücklauf der Erhebung

An insgesamt 37 Verwerter von MPO und PO-flex wurden Erhebungsbögen versendet. Mit 14 ausgefüllten Erhebungsbögen wurde eine Rücklaufquote von 38 % erreicht. Für Verwerter von MPO und PO-flex mit Standort in Deutschland wurde eine Rücklaufquote von 73 % erzielt. Die Gesamtzuführungsmenge der Verwertungsanlagen, die einen Erhebungsbogen zurücksendeten, liegt laut MSN 2020 für MPO und PO-flex in 2020 bei ca. 73.000 t (gerundet auf 1.000 t/a). Damit wurden 70 % der Gesamtzuführungsmenge aller Verwerter von MPO und PO-flex aus dem MSN 2020 abgedeckt. Dieser abgedeckte Mengenanteil liegt über 50 % der Gesamtzuführungsmenge und wird damit als repräsentativ angesehen. Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen.

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

Erhebungsbogen Verwerter von MPO und PO-Flex

- ▶ Rücklaufquote: im In- und Ausland: 38 % (14/37); im Inland: 73 % (11/15)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, aus MSN 2020: ca. 73.000 t; entspricht 70 % der Gesamtmenge aller MPO- und PO-flex-Verwerter i.H.v. ca. 104.000 (ZSVR, 2022b, Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

3.4.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 13 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Verpackungen aus MPO (323) und PO-flex (323-2). Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bildet die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021). In wenigen Anlagen werden aus Gründen der Produktqualität gewerbliche Abfälle, Produktionsabfälle oder auch Systemmengen ausländischer Herkunft mitverarbeitet.

S1 (20 mm oder 30 mm) und S2 (40–60 mm) kennzeichnen die zwei verschiedenen Sortiervarianten und unterscheiden sich in der Maschenweite bei der Feinabsiebung 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, bei denen als Endprodukt Regranulat oder gewaschenes Mahlgut hergestellt wird. V– umfasst alle Verwertungsanlagen von MPO und PO-flex, die keine Referenzanlagen darstellen.

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

Anschließend folgt der Waschprozess mit dem Ziel Klebstoffreste, Anhaftungen und Etiketten zu entfernen. Die Wäsche wird bei den befragten Verwertungsanlagen überwiegend als Kaltwäsche oder Trockenreinigung ausgeführt (V1). Wenige Anlagen gaben an, das Mahlgut heiß zu waschen (V2). Eine Heißwäsche 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 dabei das Waschwasser auf eine bestimmte Temperatur erhitzt ($> 60\text{ °C}$). Dadurch kann die Qualität der Rezyklate verbessert und das Einsatzspektrum erweitert werden (Knappe et al., 2021). Alle MPO und PO-flex-Verwerter gaben 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 jedoch aus wettbewerbsrechtlichen Gründen nicht als Klarwert abgebildet werden.

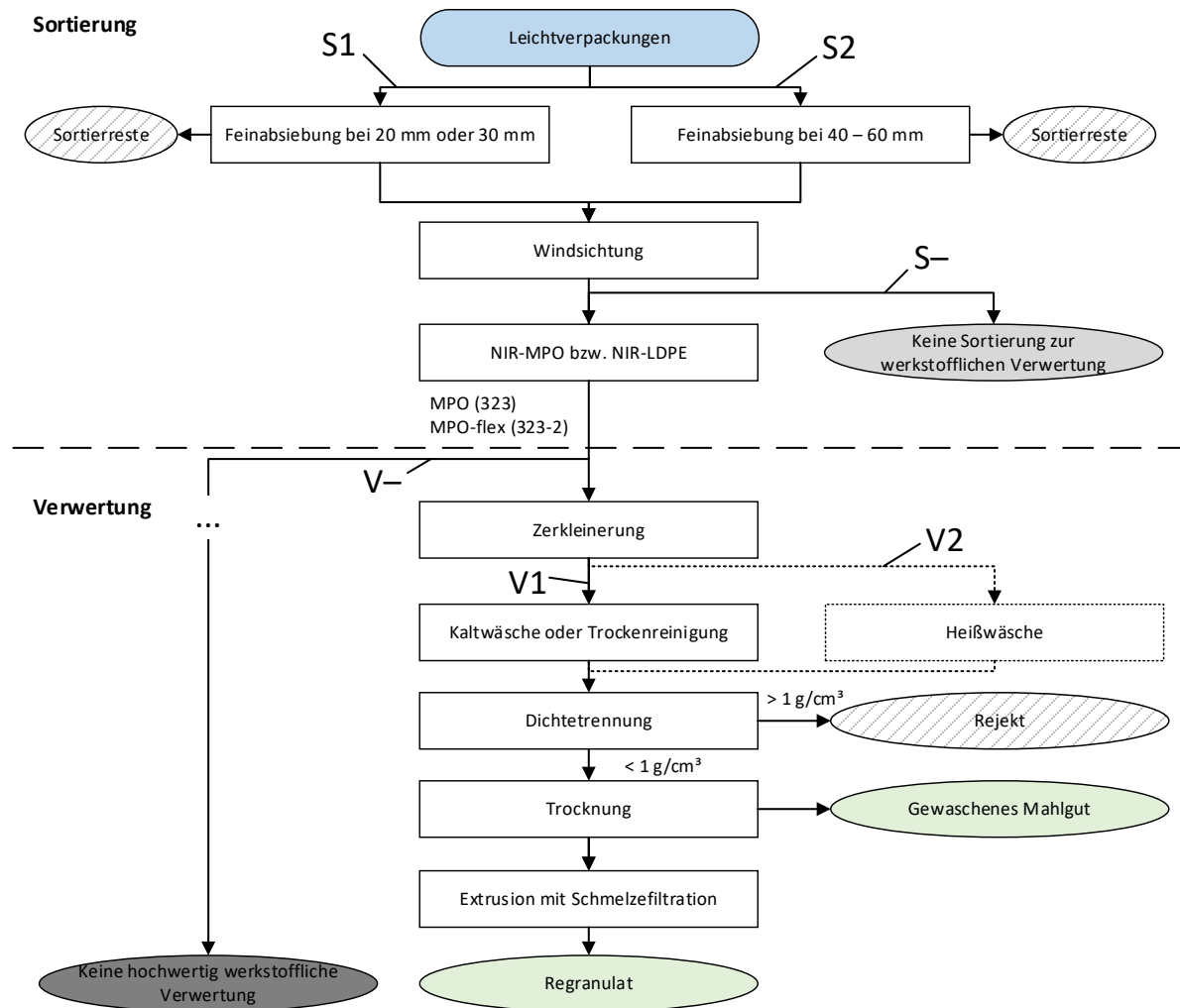
Die Dichtentrennung wird als Schwimm-Sink-Trennung über Verfahren wie Schwimm-Sink-Becken bei einer Dichte von 1 g/cm^3 durchgeführt. Das Sinkgut wird als Rejekt abgetrennt. Dazu gehören beispielsweise Verpackungskomponenten aus PS, PET oder PVC (Tschachtli et al., 2019). Eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Technologien zur Dichtentrennung (Schwimm-Sink-Becken, Hydrozyklon, Zentrifuge) kann in UBA-Texte 92/2021 nachgelesen werden (Knappe et al., 2021). Das Schwimmgut wird anschließend mechanisch und/oder thermisch getrocknet (Knappe et al., 2021).

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 Regranulat problematisch, die sich im Schmelzprozess zersetzen

und eine geringere Schmelztemperatur gegenüber der Verarbeitungstemperatur ($> 200\text{ °C}$) besitzen (Tschachtli et al., 2019). Diese Bestandteile können die Eigenschaften des finalen Rezyklats verändern. Höher 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).

Weitere Prozessschritte wurden von den befragten Anlagen nicht angegeben. In keiner der befragten Anlagen werden Löseverfahren oder Mahlgut-Farbsortierung angewendet.

Abbildung 13: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von MPO und PO-flex



Legende und Erläuterung

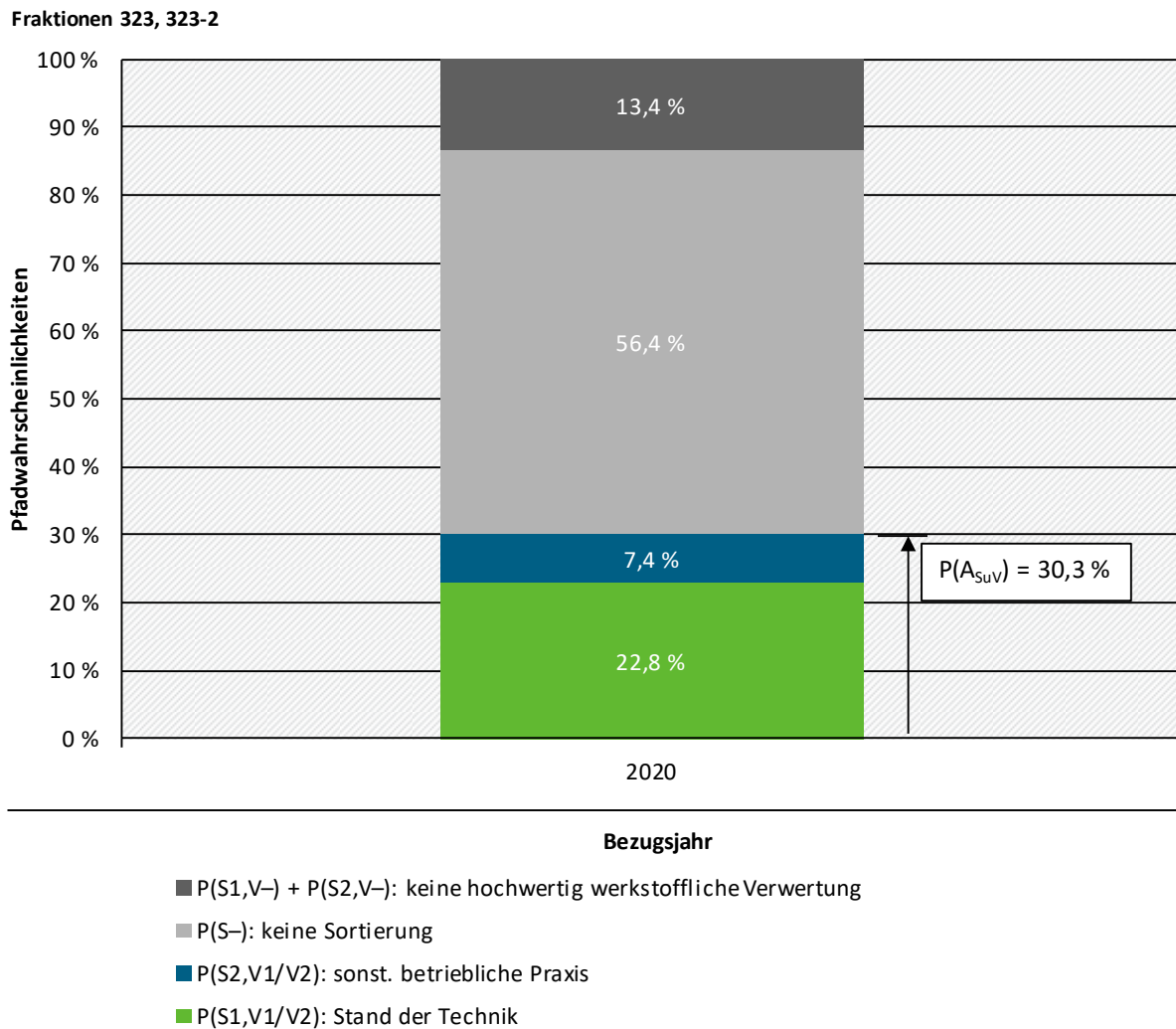
- Ausgangsmaterial
- Nebenprodukt (energetische Verwertung)
- Wahrscheinlichkeiten der Varianten werden nicht in die Anwendungsgrade einberechnet
- Hauptprodukt (hochwertig werkstoffliche Verwertung)
- Prozessstufe
- Geringe Mengenrelevanz der Zweigwahrscheinlichkeiten

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

3.4.3 Ermittlung der Praxis der SuV für MPO und PO-flex

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer als auch aus den Verwertungszuführungsmengen aus dem MSN 2020 kann $P(A_{SuV})$ für MPO und PO-flex berechnet werden. $P(A_{SuV})$ beträgt für das Bezugsjahr 2020 in Summe 30,3 %. Die Verteilung der Mengen auf die in Abbildung 13 dargestellten Pfade ist in Abbildung 14 abgebildet.

Abbildung 14: Praxis der SuV für 2020 für Verpackungen aus MPO und PO-flex



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

Die meisten MPO- und PO-flex-Verwerter gaben Endprodukte an, bei denen die Verwertungsanlage als Referenzanlage eingestuft werden kann. Als Endprodukte zählen dazu sowohl gewaschenes Mahlgut als auch Regranulat (Dehoust et al., 2021).

Wir definieren die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1, V1/V2)$ mit 22,8 % als Stand der Technik. Bei dieser Variante werden auch kleine Verpackungen sortiert (Feinabsiebung bei 20 mm oder 30 mm) und anschließend hochwertig werkstofflich verwertet. Die Wäsche des Mahlguts wird dabei überwiegend als Kaltwäsche und/oder Trockenreinigung ausgeführt. Als sonstige betriebliche Praxis wurde $P(S2, V1/V2)$ mit 7,4 % ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeit umfasst eine Feinabsiebung bei 40 mm – 60 mm sowie eine hochwertige werkstoffliche Verwertung. Die Wahrscheinlichkeiten, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Varianten mit V-) betragen insgesamt 69,8 %. Werden die Pfadwahrscheinlichkeiten für die Fraktionen 323 (MPO) und PO-flex (323-2) einzeln betrachtet, liegt $P(A_{SuV})$ für Fraktion 323 bei 19,0 % und für 323-2 bei 11,0 %. Dies zeigt, dass die Sortier- und Verwertungsinfrastrukturen für die MPO-Fraktion bereits weiter ausgebaut sind, als für die Fraktion PO-flex.

Bei den MPO- und PO-flex-Verwertern mit Referenzanlagen wurden überwiegend Spritzgussprodukte als Produktanwendungen angegeben. Blasfolien sowie Extrusionsfolien wurden weniger oft, aber auch mehrfach als Produktanwendung angegeben.

3.4.4 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung

Die Erhebung bot den Verwertern von MPO und PO-flex die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Komponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Verwertungsprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2021 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2021a, S. 29). Zusätzlich abgefragt wurde der Punkt „PA-Schichten“. Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungen und Komponenten gemacht werden. Diese konnten ebenso von den Verwertern hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 6: Einschätzung der MPO und PO-flex-Verwerter zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 9)

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt	kein Problem	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		keine Angabe
				weitgehend gelöst	nicht gelöst	
Silikonkomponenten		2	2		5	
Geschäumte nicht thermoplastische Elastomere mit der Dichte < 1 g/cm ³	1	2		3	3	
Geschäumte nicht polyolefinische Komponenten	1	2			4	2
PA-Schichten	2		1		5	1
Geklebte zellulosehaltige Etiketten, die sich unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen		2	2		4	1

Weitere Angaben:

Kork, Textilien				1		
EVOH-, PVDC- Multilayer-Verbunde (nicht stabil, Gasbildung im Regranulat)					2	
Nitrozellulose (nicht stabil, Gasbildung im Regranulat)					2	
Druckfarben (Eintragsquelle für gefährliche Substanzen, z. B. polyzyklische aromatische					2	

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt	kein Problem	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		keine Angabe
				weitgehend gelöst	nicht gelöst	
Kohlenwasserstoffe, Phthalate und Azo-Farbstoffe)						
Verhinderung der Restentleerung von Flaschen aufgrund des Designs					1	

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 überwiegend von den Verwertern bestätigt werden. Wir empfehlen, alle im Anhang 3 des Mindeststandards aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten. Im Folgenden werden zwei der angegebenen problematischen Verpackungsmerkmale diskutiert, welche als nicht gelöst eingestuft wurden:

- ▶ Auf die Punkte EVOH- und PVDC-Schichten, Nitrozellulose sowie Druckfarben wurde bereits im Abschnitt 3.2.4 eingegangen, weshalb an dieser Stelle auf diesen Abschnitt verwiesen wird. Auch für MPO und PO-flex gilt, dass EVOH die Recyclingfähigkeit erst ab einer bestimmten Grenze beeinflusst und dass PA- sowie PVDC-Schichten zu Problemen im Recyclingprozess führen können und deshalb zu vermeiden sind. Wir empfehlen, die Aufnahme von PVDC- und PA-Schichten auch für PO im Anhang 3 des Mindeststandards zu prüfen.
- ▶ Kork und Textilien in den Kunststoffballen wurden von einem Verwerter als weitestgehend gelöstes Problem eingestuft. Die Ursache dafür sind Fehlwürfe und/oder Fehlsortierungen in der LVP-Sortieranlage. Da dies in diesem Fall nicht durch die Verpackungsgestaltung beeinflussbar ist und damit nicht für den Mindeststandard relevant ist, besteht kein Handlungsbedarf.
- ▶ Ein Anlagenaufbereiter stufte konstruktionsbedingte Füllgutreste („Verhinderung der Restentleerung von Flaschen aufgrund des Designs“) als nicht gelöst ein. Beispielsweise können Lebensmittelreste zur Geruchsbildung führen, welche die Qualität des Rezyklats mindern können. In der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2022 wurde der Umgang mit konstruktionsbedingten Füllgutresten im Mindeststandard bereits konkretisiert und Beispiele aufgenommen (z. B. Silikone, Acrylate, Polyurethane) (ZSVR, 2022c).

3.5 Verwertung von PS

3.5.1 Rücklauf der Erhebung

An insgesamt 7 Verwerter von PS wurden Erhebungsbögen versendet. Mit 3 ausgefüllten Erhebungsbögen wurde eine Rücklaufquote von 43 % erreicht. Für Verwerter von PS mit Standort in Deutschland wurde eine Rücklaufquote von 60 % erzielt. Die Gesamtzuführungsmenge der Verwertungsanlagen, die einen Erhebungsbogen zurücksendeten, liegt für PS laut MSN 2020 bei ca. 14.000 t (gerundet auf 1.000 t/a). Damit wurden 73 % der Gesamtzuführungsmenge aller PS-Verwerter aus dem MSN 2020 abgedeckt. Dieser abgedeckte

Mengenanteil liegt über 50 % der Gesamtzuführungsmenge und wird damit als repräsentativ angesehen. Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen.

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

Erhebungsbogen PS-Verwerter

- ▶ Rücklaufquote: im In- und Ausland: 43 % (3/7); im Inland: 60 % (3/5)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, aus MSN 2020: ca. 14.000 t; entspricht 73 % der Gesamtmenge aller PS-Verwerter i.H.v. ca. 19.000 t (ZSVR, 2022b, Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

3.5.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 15 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von formstabilen und nicht geschäumten PS-Verpackungen. Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bildet die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021). PS wird nicht nur über die Fraktionen 331 (PS), sondern auch über die Fraktion 351-X (formstabile Kunststoffe) aussortiert.

S1 (20 mm oder 30 mm) und S2 (40–60 mm) kennzeichnen die zwei verschiedenen Sortiervarianten und unterscheiden sich in der Maschenweite bei der Feinabsiebung 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 allen befragten Verwertungsanlagen handelt es sich um Referenzanlagen (V1), damit beträgt $P(V1) = 100\%$.

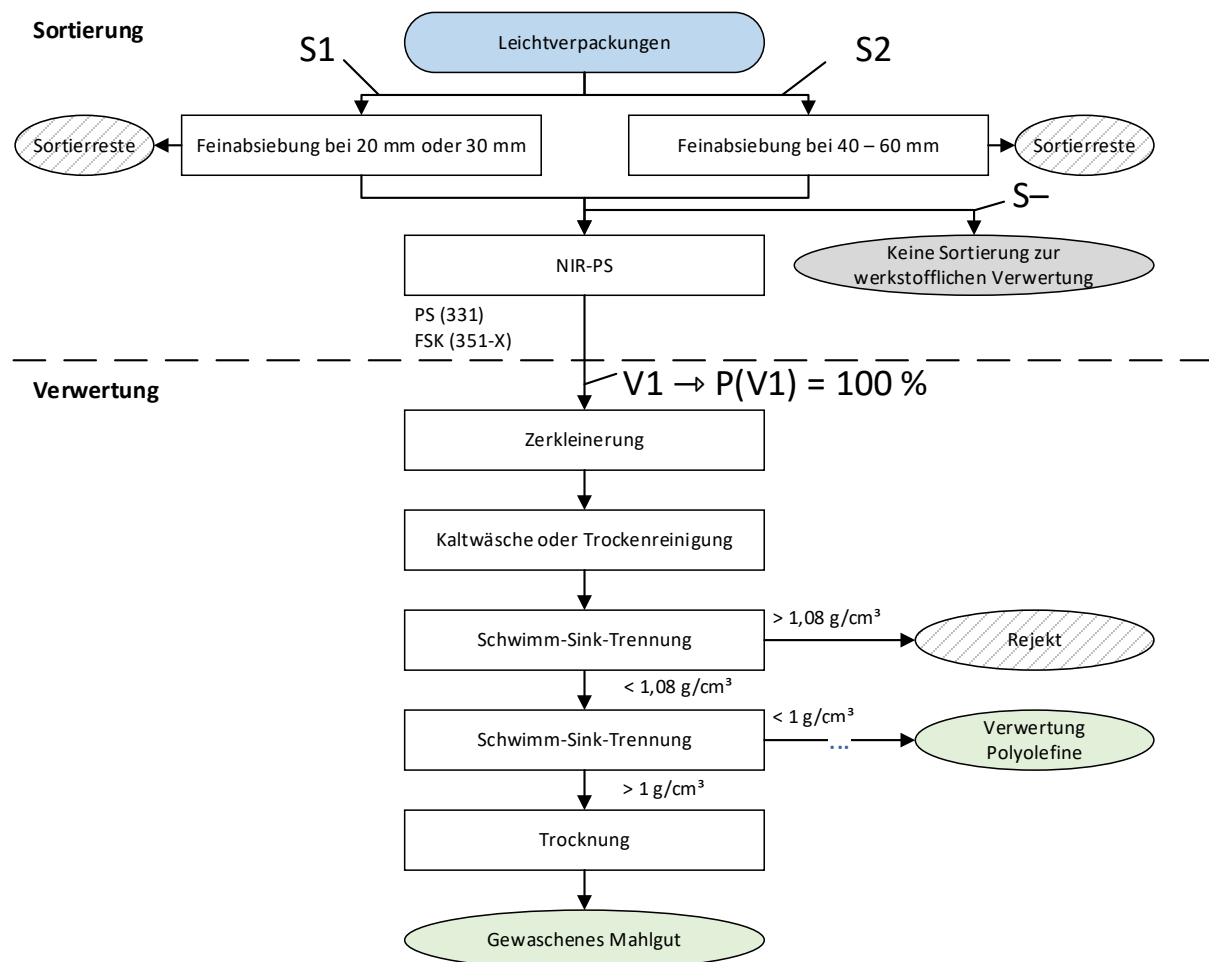
Nach der Abtrennung des Bindendrahtes werden die Verpackungen zu Mahlgut zerkleinert. In der trockenmechanischen Aufbereitung über Windsichtung und Metallabscheider werden lose Verunreinigungen abgetrennt (z. B. Papier, Eisen-, Nichteisenmetalle).

Anschließend folgt der Waschprozess, mit dem Ziel, Klebstoffreste, Anhaftungen und Etiketten zu entfernen. Die Wäsche wird bei den befragten Verwertungsanlagen als Kaltwäsche oder Trockenreinigung ausgeführt. Die PS-Verwerter 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 . 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). 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). Nach den beiden Trennstufen wird PS mechanisch und/oder thermisch getrocknet (Knappe et al., 2021). Das Schwimmgut bei 1 g/cm^3 wird als PO-Rezyklat weiterverarbeitet.

Weitere Prozessschritte wurden von den befragten Anlagen nicht angegeben. In keiner der befragten Anlagen kommen Löseverfahren, Heißwäsche oder Mahlgut-Farbsortierung zur Anwendung.

Abbildung 15: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PS-Verpackungen



Legende und Erläuterung

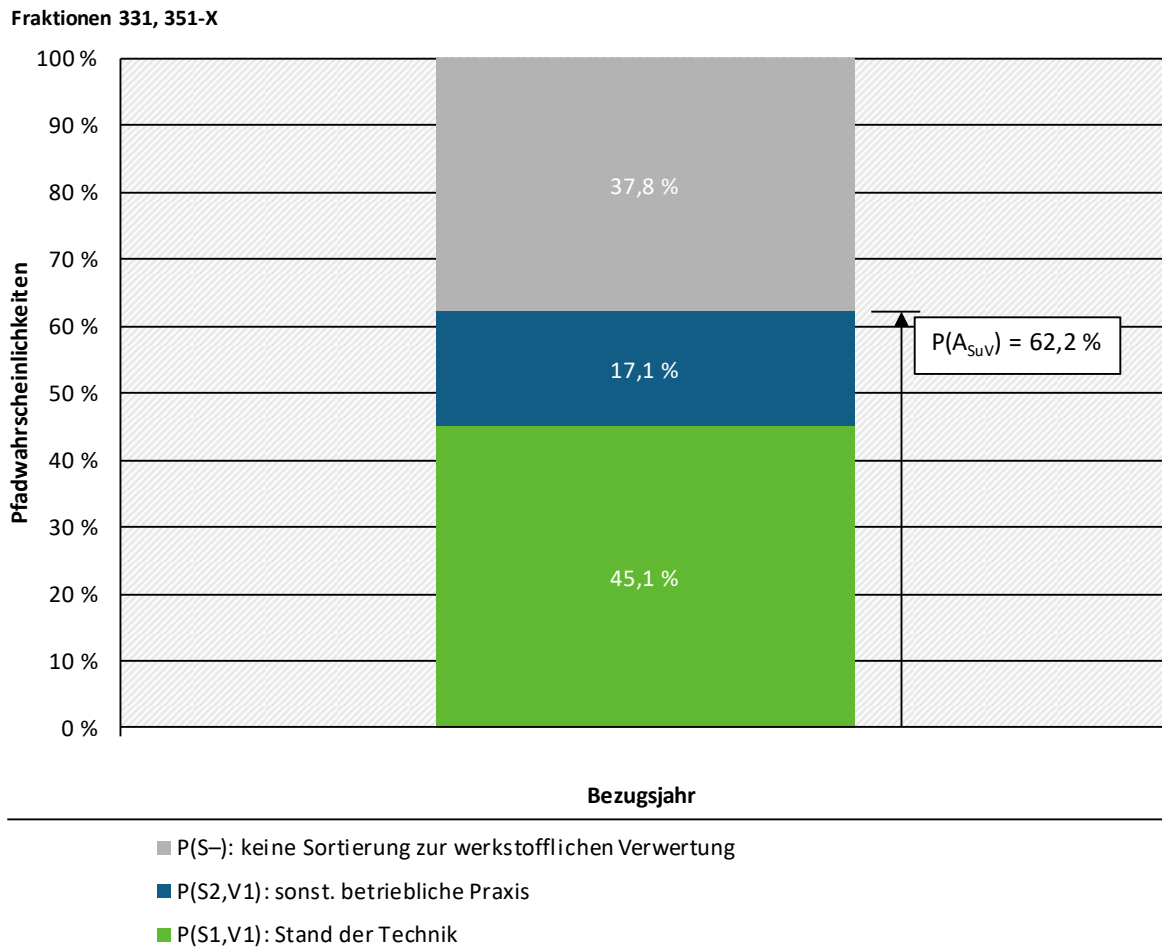
- Ausgangsmaterial
- Nebenprodukt (energetische Verwertung)
- Wahrscheinlichkeiten der Varianten werden nicht in die Anwendungsgrade einberechnet
- Hauptprodukt (hochwertige werkstoffliche Verwertung)
- Prozessstufe

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

3.5.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PS

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer als auch aus den Verwertungszuführungsmengen aus dem MSN 2020 kann $P(A_{SuV})$ für PS-Verpackungen berechnet werden. $P(A_{SuV})$ beträgt für das Bezugsjahr 2020 in Summe 62,2 %. Die Verteilung der Mengen auf die in Abbildung 15 dargestellten Pfade ist in Abbildung 16 abgebildet.

Abbildung 16: Praxis der SuV für 2020 für PS-Verpackungen



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

Alle PS-Verwerter gaben Endprodukte an, bei denen die Verwertungsanlage als Referenzanlage eingestuft werden kann. Als Endprodukte zählen dazu sowohl gewaschenes Mahlgut als auch Regranulat (Dehoust et al., 2021).

Wir definieren die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1,V1)$ mit 45,1 % als Stand der Technik. Bei dieser Variante werden auch kleine Verpackungen sortiert (Feinabsiebung bei 20 mm oder 30 mm) und anschließend hochwertig werkstofflich verwertet. Die Wäsche des Mahlguts wird dabei überwiegend als Kaltwäsche und/oder Trockenreinigung ausgeführt. Als sonstige betriebliche Praxis wurde $P(S2,V1)$ mit 17,1 % ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeit umfasst eine Feinabsiebung bei 40 mm – 60 mm sowie eine hochwertige werkstoffliche Verwertung. Die Wahrscheinlichkeit, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Variante mit V-), beträgt 37,8 %.

Bei den PS-Verwertern mit Referenzanlagen wurden überwiegend Spritzgussprodukte als Produktanwendungen angegeben.

3.5.4 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung

Die Erhebung bot den Verwertern von PS die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Komponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Verwertungsprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2021 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2021a, S. 29). Zusätzlich abgefragt wurde der Punkt „nicht magnetische Metalle“. Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungen und Komponenten gemacht werden. Diese konnten ebenso von den Verwertern hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 7: Einschätzung der PS-Verwerter zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 3)

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt	kein Problem	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		keine Angabe
				weitgehend gelöst	nicht gelöst	
Fremdkunststoffe oder Multilayer der Dichteklasse 1,0 – 1,08 g/cm ³				1	2	
Geklebte zellulosehaltige Etiketten, die sich unter Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen				1	2	
Nicht magnetische Metalle		1		2		

Weitere Angaben:

EPS			2			
-----	--	--	---	--	--	--

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 überwiegend von den Verwertern bestätigt werden. Wir empfehlen, alle im Anhang 3 des Mindeststandards aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten. „Nicht magnetische Metalle“ wurden von 1 von 3 PS-Verwertern als unproblematisch und von 2 der 3 PS-Verwertern als weitestgehend gelöstes Problem betrachtet. Eine Aufnahme dieses Punktes wird vorerst nicht empfohlen. EPS wurde seitens zweier Verwerter als nicht mengenrelevantes Problem eingestuft. EPS ist bereits als Verpackung außerhalb der Spezifikation im Anhang 1 bei den PS-Verpackungen aufgelistet. Es besteht demnach kein Handlungsbedarf.

3.6 Verwertung von PET

3.6.1 Rücklauf der Erhebung

An insgesamt 26 PET-Verwerter wurden Erhebungsbögen versendet. Mit 9 ausgefüllten Erhebungsbögen wurde eine Rücklaufquote von 35 %³ erreicht. Für PET-Verwerter mit Standort in Deutschland wurde eine Rücklaufquote von 63 % erzielt. Die Gesamtzuführungsmenge der Verwertungsanlagen aus den MSN 2020, die einen Erhebungsbogen zurücksendeten, liegt für die Fraktion 325 (PET-Flaschen) in 2020 bei ca. 1.100 t (gerundet auf 100 t/a). Damit wurden 30 % der Gesamtzuführungsmenge aller Verwerter der Fraktion 325 aus dem MSN 2020 abgedeckt. Dieser abgedeckte Mengenanteil liegt unter 50 % der Gesamtzuführungsmenge und wird damit als nicht repräsentativ angesehen. Für die nächste Befragung wäre eine erhöhte Rücklaufquote wünschenswert. Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen.

Die Gesamtzuführungsmenge der Verwertungsanlagen aus den MSN 2020, die einen Erhebungsbogen zurücksendeten, liegt für die Fraktion 328-X (Misch-PET) in 2020 bei ca. 14.500 t (gerundet auf 100 t/a). Damit wurden 53 % der Gesamtmenge aller Verwerter der Fraktionen 328-X aus dem MSN 2020 abgedeckt. Dieser abgedeckte Mengenanteil liegt knapp über 50 % der Gesamtzuführungsmenge und wird damit als repräsentativ angesehen. Für die nächste Befragung wäre eine erhöhte Rücklaufquote wünschenswert. Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen.

Anlagen, die bepfandete PET-Flaschen verwerten, wurden für die Erhebung nicht betrachtet. Der Grund dafür ist, dass diese PET-Flaschen über ein Pfandrücknahmesystem separat erfasst und einer Verwertung zugeführt werden.

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

Erhebungsbogen PET-Verwerter

- ▶ Rücklaufquote: im In- und Ausland: 35 %⁴ (9/26); im Inland: 63 % (5/8)
- ▶ Nur PET-Flaschen, transparent (Fraktion 325): Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, aus MSN 2020: ca. 1.100 t; entspricht ca. 30 % der Gesamtmenge aller Verwerter der Fraktion 325 i.H.v. ca. 3.600 t (ZSVR, 2022b, Mengen gerundet auf 100 t/a)
- ▶ Nur Fraktionen Misch-PET (328-X): Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, aus MSN 2020: 14.500 t; entspricht ca. 53 % der Gesamtmenge aller Verwerter der Fraktionen 328-X: i.H.v. 27.300 t (ZSVR, 2022b, Mengen gerundet auf 100 t/a)

3.6.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 17 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung für PET-Verpackungen. Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bildet die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021). Bei PET bestehen besonders hohe Anforderungen an den Verwertungsprozess, da PET zu einem großen Anteil wieder im Verpackungsbereich eingesetzt wird (Kauertz & Detzel, 2017). Die Fraktionen „PET-Flaschen,

³ Inklusive Informationen aus dem Vollzug.

⁴ Inklusive Informationen aus dem Vollzug.

transparent“ (325) und „Misch-PET“ (328-(1-3)) sowie vereinzelt auch „PET-Schalen“ (328-5 und -6) werden in den LVP-Sortieranlagen über NIR-Trenner abgetrennt und den Verwertern bereitgestellt. Abhängig vom Endprodukt werden die genannten Fraktionen im Menü verwertet. Dazu werden in einigen Anlagen auch aus Gründen der Produktqualität Mengen aus dem Pfandsystem mitverarbeitet.

S1 (20 mm oder 30 mm) und S2 (40–60 mm) kennzeichnen die zwei verschiedenen Sortiervarianten und unterscheiden sich in der Maschenweite bei der Feinabsiebung 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 (mittels Magnetabscheidung) werden in einer Vorsortierung in einigen Anlagen Störstoffkomponenten mittels NIR-Trenner aussortiert. Die Wahl der Komponenten hängt insbesondere vom Endprodukt ab. Die meisten PET-Verwerter gaben an, PET-Multilayer-Schalen sowie PET-Flaschen mit Full-Sleeve vorab mittels NIR und teilweise auch zusätzlich manuell auszusortieren. I. d. R. findet zusätzlich eine Farbsortierung statt, bei der die Verpackungen nach Farben sortiert werden (Kauertz & Detzel, 2017).

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 bei 1 g/cm³ werden polyolefinische (PO) Kunststoffe als Schwimmgut abgetrennt. Separiert werden beispielsweise Verschlüsse und Ringe aus HDPE oder Etiketten aus PE- und PP-Folien. Bei allen befragten Anlagen wird die Dichtentrennung als Schwimm-Sink-Trennung über Verfahren wie Schwimm-Sink-Becken ausgeführt. 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. 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). Anschließend folgt die Trocknung, welche mechanisch oder thermisch stattfindet. (Knappe et al., 2021).

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 bunte von klaren Flakes separiert (Knappe et al., 2021). Bei allen befragten Anlagen wurde gewaschenes Mahlgut (Flakes) als Endprodukt angegeben (V1). Bei Vermarktung des Mahlguts können Recyclingunverträglichkeiten, wie PA-Additivierung oder Klebstoffreste erst nachträglich im Umschmelzprozess sichtbar werden (Bünemann, Christiani, Kerkhoff, & Koch, 2016). Im Umschmelzprozess von PET-A werden hohe Temperaturen verwendet, bei der sich die meisten anderen Kunststoffe zersetzen und damit das Endprodukt negativ beeinflussen können (Christiani & Beckamp, 2020; Institut cyclos-HTP GmbH, 2021). PA-Copolymere können das Endprodukt gelblich verfärben (Knappe et al., 2021).

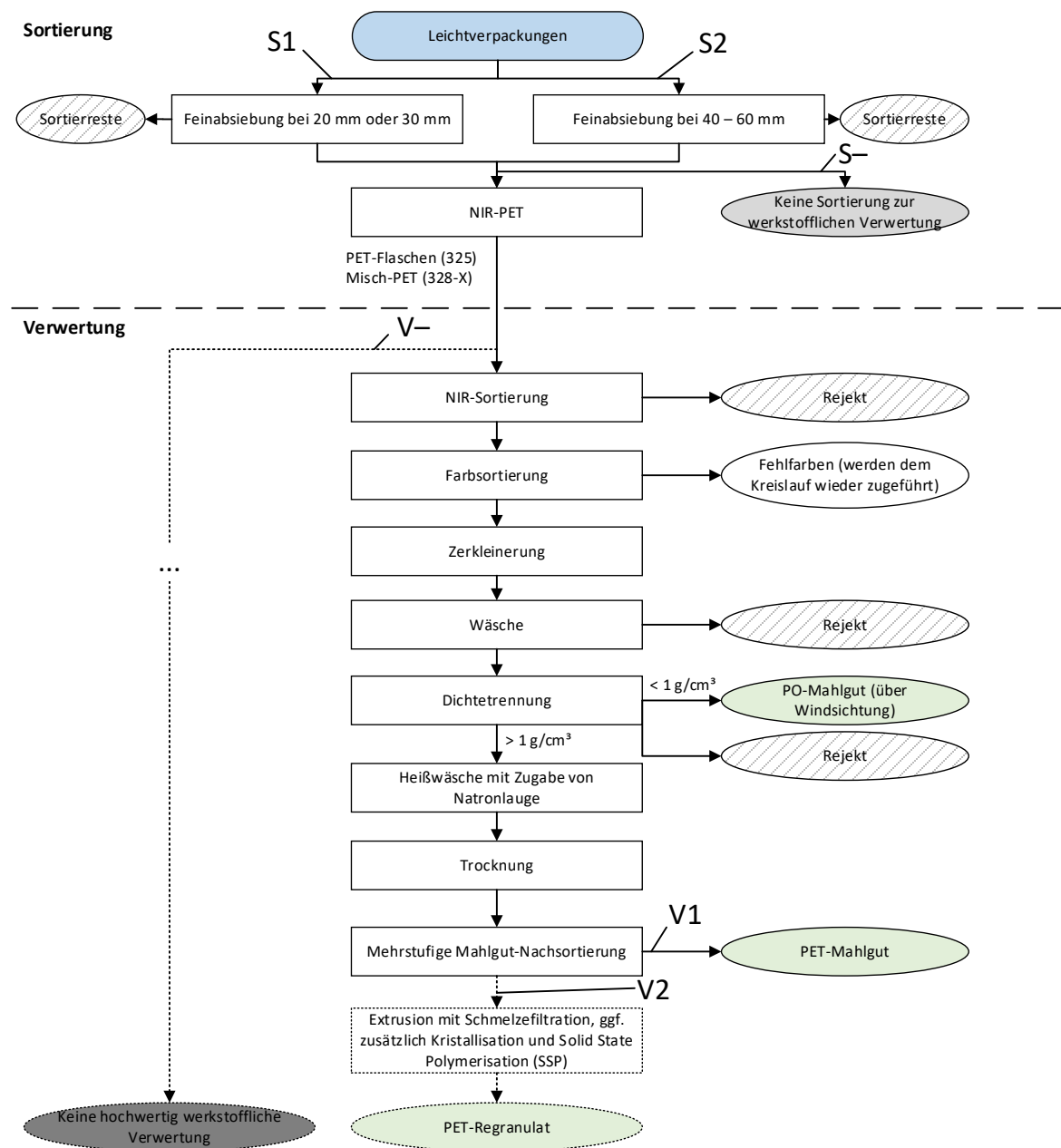
Wenige Anlagen machten zusätzlich die Angabe, dass auch direkt in der Verwertungsanlage PET-Regranulat hergestellt wird (V2). Die PET-Verwerter gaben an, dass sie eine Extrusion mit Schmelzefiltration durchführen. Bei der Extrusion werden die sortierten Flakes bei hohen

Temperaturen in einem Extruder aufgeschmolzen und granuliert. Im Umschmelzprozess sind insbesondere die Bestandteile (z. B. Additive oder Blends) im Regranulat problematisch, die sich im Schmelzprozess zersetzen und eine geringe Schmelztemperatur gegenüber der Verarbeitungstemperatur (ca. 260 °C – 300 °C) besitzen (Tschachtli et al., 2019). Diese Bestandteile können die Eigenschaften des finalen Rezyklats verändern. Höher 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). Nur vereinzelte Anlagen gaben an, dass eine SSP (Solid State Polymerisation) direkt im Prozess integriert ist. Im SSP-Prozess werden die PET-Flakes bei hohen Temperaturen mehrere Stunden einem Druck 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 & Detzel, 2017; Knappe et al., 2021).

Weitere Prozessschritte wurden von den befragten Anlagen nicht angegeben. In keiner der befragten Anlagen wurden Löseverfahren oder das Verwertungsverfahren der United Resource Recovery Corporation URRC (Friedl, 2022a) als Wasch- und Oberflächenbehandlung angewendet. Generell ist festzustellen, dass Verfahrensprozesse, die bei anderen Kunststofffraktionen wenige oder keine Verwertungsanlagen durchführen, in der PET-Verwertung zum Standard gehören (z. B. Heißwäsche, Farbsortierung).

Bei Betrachtung der Recyclingfähigkeit von PET-Schalen ist es wichtig, zwischen Monolayer- und Multilayer-PET-Schalen zu unterscheiden. Monolayer-PET-Schalen bestehen aus reinem PET und werden beispielsweise für Gemüse und Obst verwendet. Multilayer-PET-Schalen bestehen aus Schale und Deckelfolie sowie mehreren Schichten. Zur Verbesserung der Barriere gegen Sauerstoff oder Wasserdampf werden noch andere Polymere, wie PE oder EVOH eingesetzt. 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 Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V., 2021).

Abbildung 17: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PET-Verpackungen



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: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf Grundlage von Dehoust et al., 2021

3.6.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PET

Aus den Verarbeitungsmengen, welche durch die LVP-Sortierer angegeben wurden sowie den Verwertungszuführungsmengen aus dem MSN 2020, kann $P(A_{SuV})$ bestimmt werden. Alle befragten PET-Verwerter gaben Endprodukte an, bei denen der Prozess durch eine hochwertige werkstoffliche Verwertung als Referenzprozess angesehen werden kann. Als Endprodukte für Referenzanlagen zählen dazu sowohl gewaschenes Mahlgut als auch PET-Regranulat (Dehoust et al., 2021). Unter Berücksichtigung von Erkenntnissen aus dem Vollzug sind Verwertungsanlagen bekannt, welche nicht als Referenzanlagen angesehen werden können. Diese wurden in die Bestimmung der Spannbreiten einberechnet.

Für transparente PET-Flaschen sowie sonstige formstabile PET-Verpackungen erweitert dieser Bericht die Erhebungsmethode und bestimmt eine Spannbreite zwischen Worst Case und Best Case der Anteile in den PET-Fractionen. Die Methode ist im Abschnitt 2.2 erläutert. Für transparente PET-Flaschen beträgt die Spannbreite 73,1 % – 83,0 %. Für die Praxis der SuV von transparenten PET-Flaschen sind dementsprechend sowohl Werte unter als auch über 80 % plausibel. Aufgrund dieser Daten wäre die Zuordnung von PET sowohl in Spalte 3A als auch 3B von Anhang 1 des Mindeststandards möglich.

In Abbildung 18 wurden für $P(A_{SuV})$ beispielhaft die Mindest-Anteile an transparenten PET-Flaschen gemäß der folgenden Spezifikationen in der Verwertung einberechnet: 325 (100 %), 328-1 (90 %), 328-2 (70 %), 325-3 (50 %), 328-5 (0 %), 328-6 (0 %). $P(A_{SuV})$ beträgt in diesem Beispiel 82,8 %. Wir definieren in diesem Beispiel die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1,V1/V2)$ mit 15,0 % als Stand der Technik. Bei diesen Varianten werden auch kleine Verpackungen sortiert (Feinabsiebung bei 20 mm oder 30 mm) und anschließend hochwertig werkstofflich verwertet. Als sonstige betriebliche Praxis wurde $P(S2,V1/V2)$ mit 67,8 % ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeit umfasst eine Feinabsiebung bei 40 mm – 60 mm sowie eine hochwertige werkstoffliche Verwertung. Die Wahrscheinlichkeiten, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Varianten mit V–), betragen insgesamt 17,2 %.

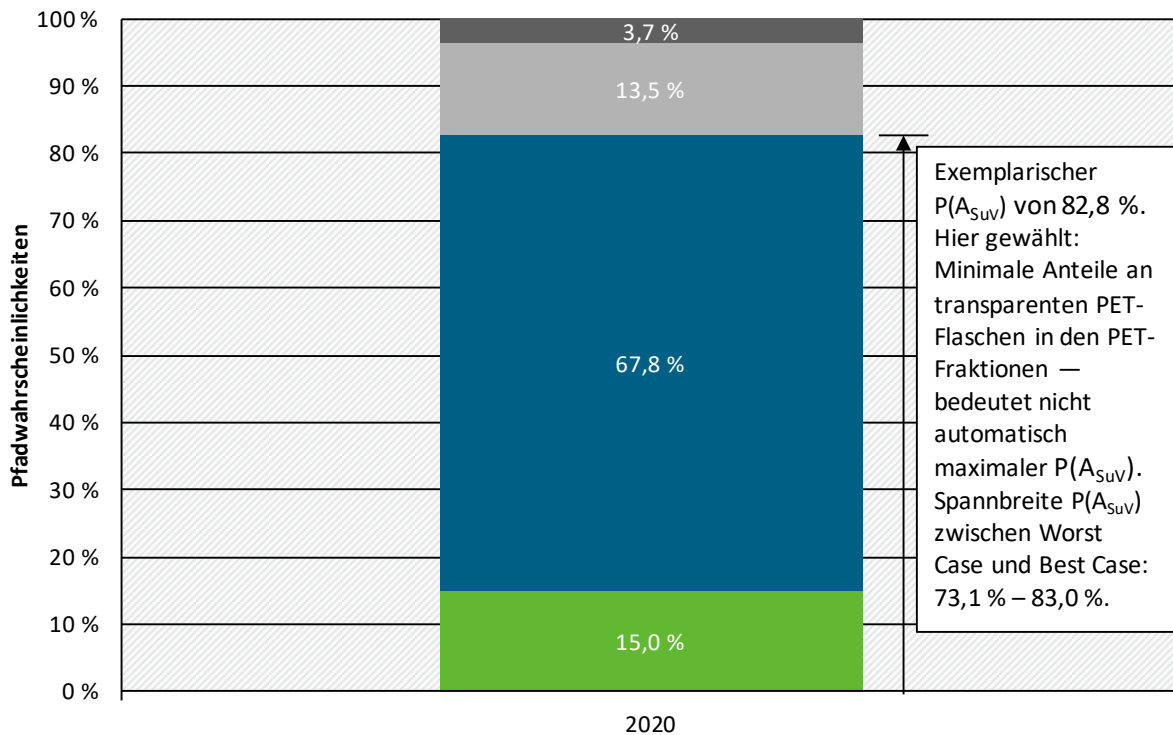
Wie zuvor für die PET-Flaschen beschrieben, wurde auch für die sonstigen formstabilen PET-Verpackungen eine Spannbreite bestimmt. Diese beträgt zwischen 2,6 % und 25,3 %. Die Methode dazu ist detailliert im Abschnitt 2.2 erläutert. Ein Anwendungsgrad von 2,6 % ergibt sich, wenn sonstige PET-Verpackungen ausschließlich über die Fraktionen 328-5 und 328-6 („PET-Schalen“) hochwertig werkstofflich verwertet werden. Die darüber liegenden Werte innerhalb der Spannbreite kämen zustande, wenn auch sonstige formstabile PET-Verpackungen in den anderen Misch-PET-Fractionen hochwertig werkstofflich verwertet werden. PET-Verwerter gaben an, dass transparente Mono-PET-Schalen mit den transparenten PET-Flaschen gemeinsam recycelt werden (siehe Abschnitt 3.6.5).

In Kapitel 4 wird auf dieser Basis eine Empfehlung für die Einordnung transparenter PET-Flaschen und sonstiger formstabiler PET-Verpackungen im Anhang 1 des Mindeststandards ausgesprochen.

Als Produktanwendung wurden von den PET-Verwertern überwiegend PET-Folien und PET-Umreifungsbänder („Strapping“) genannt.

Abbildung 18: Praxis der SuV für 2020 für PET-Flaschen, transparent; exemplarischer $P(A_{SuV})$ der PET-Fractionen 325 und 328-(1-6) mit minimalen Anteilen an transparenten PET-Flaschen gemäß Spezifikation und Angabe der Spannbreite für $P(A_{SuV})$ für PET Flaschen, transparent

Exemplarischer Anteil der Fraktionen 325 (100 %), 328-1 (90 %), 328-2 (70 %), 328-3 (50 %), 328-5 (0 %), 328-6 (0 %) mit minimalen Anteilen an PET-Flaschen, transparent gemäß Spezifikation



Bezugsjahr

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

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

3.6.4 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung

Die Erhebung bot den PET-Verwertern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Komponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Verwertungsprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2021 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2021a, S. 29). Zusätzlich abgefragt wurde der Punkt „PET-C-Etiketten/Sleeves“ (PET-C steht für kristallines PET). Des Weiteren konnten von den Verwertern zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungen und Komponenten gemacht werden. Diese konnten ebenso von den Verwertern hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 8: Einschätzung der PET-Verwerter zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 6)

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt	kein Problem	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		keine Angabe
				weitgehend gelöst	nicht gelöst	
PET-G-Komponenten			1	1	4	
POM-Komponenten	2		2	1		1
PVC-Komponenten			1	3	2	
EVOH-Schichten	2		1	1	1	1
PA-Monolayer-Schichten für transparente PET-Flaschen, farblos und „light-blue“			3	1	1	1
PVC-, PS-, PET-G-Etiketten/Sleeves			1	1	4	
PET-C-Etiketten/Sleeves			1	2	3	
Sonstige blended barriers	2		2		2	
PA-Additivierung für transparente PET-Flaschen, farblos und „light-blue“	1		1		3	1
Nicht ablösbare (abwaschbare) Klebstoffapplikationen (in Wasser oder alkalisch bei 80 °C)	2		2		2	
Nicht magnetische Metalle				6		
Elastomer-Komponenten der Dichte > 1 g/cm ³	3			1	2	
Direktdruck (abgesehen von Produktionscode und MHD)	1	2	1	1	1	
Silikonkomponenten	3			1	2	
Weitere Angaben:						
Verbundfolien					1	
Opak/weiß					1	
Schwarze Verpackungen					1	

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 überwiegend von den Verwertern bestätigt werden. Wir empfehlen, alle im Anhang 3 des Mindeststandards aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten. „Nicht magnetische Metalle“ wurden von allen 6 PET-Verwertern als weitestgehend gelöstes Problem eingestuft. Möglicherweise kann dieser Punkt in zukünftigen Mindeststandards gestrichen werden. „PET-C-Etiketten/Sleeves“ wurden von 3 der 6 PET-Verwerter als nicht gelöstes Problem und von 2 Verwertern als weitestgehend gelöstes Problem betrachtet. Wir empfehlen, eine Aufnahme von PET-C-Etiketten/Sleeves im Mindeststandard zu prüfen. PET-C und PET-G (glycol- modifiziertes PET) sind üblicherweise nicht mit PET-A (amorphes PET) kompatibel und können im Recyclingprozess problematisch sein (FH Campus Wien, 2020). Im Folgenden werden die zusätzlich angegebenen problematischen Verpackungsmerkmale diskutiert:

- ▶ Nur wenige LVP-Sortieranlagen besitzen die notwendige Prozesstechnik, um eine Fraktion aus schwarzen Verpackungen bereitzustellen. Diese Problematik ist bereits in Abschnitt 3.3.4 erläutert. Dunkle Farben sind generell zu vermeiden, da diese die Qualität des Rezyklates reduzieren können (FH Campus Wien, 2020). Für opake PET-Verpackungen (dazu zählen auch weiß pigmentierte PET-Flaschen) besteht kein Verwertungspfad. Diese stellen einen Störstoff im Recyclingprozess dar. Im Anhang 1 Spalte 5 des Mindeststandards sind „opake PET-Flaschen und andere PET-Artikel“ bereits außerhalb der Spezifikation aufgelistet. Es besteht demnach kein Handlungsbedarf.
- ▶ Verbundfolien wurden von 1 der 6 antwortenden PET-Verwerter als nicht gelöstes Problem betrachtet. Da die PET-Fraktionen auf formstabile Kunststoffe abzielen, sind Verbundfolien in diesen Fraktionen unerwünscht. Dass Verbundfolien in die PET-Fraktion einsortiert werden, ist als Fehlsortierung einzustufen. Da dies in diesem Fall nicht durch die Verpackungsgestaltung beeinflussbar ist und damit nicht für den Mindeststandard relevant ist, besteht kein Handlungsbedarf.

3.6.5 Störstoffkomponenten im Rejekt

Die PET-Verwerter wurden befragt, welche Fraktionen dem Rejekt bei der Vorsortierung zu Beginn des Verwertungsprozesses zugeführt werden. Diese Abfrage wurde bereits von Dehoust et al. durchgeführt (Dehoust et al., 2021). In Tabelle 9 sind die Ergebnisse dieser Einschätzung dargestellt. 4 der 6 PET-Verwerter gaben an, dass PET-Multilayer-Schalen als Störstoff mittels NIR-Trenner aussortiert werden. Des Weiteren sortieren 3 der 6 PET-Verwerter Flaschen mit Full-Sleeve über NIR-Trenner aus. PET-Monolayer-Schalen, Flaschen mit PA-Barriere, Flaschen mit Teil-Sleeve, Nicht-Getränkeflaschen sowie Flaschen mit Funktionsverschlüssen werden hingegen von keinem antwortenden PET-Verwerter ausgeschleust. Auf Nachfrage bei PET-Verwertern gaben diese an, dass transparente PET-Monolayer-Schalen gemeinsam mit transparenten PET-Flaschen recycelt werden.

Tabelle 9: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der PET-Verwerter (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 6)

Störstoffkomponente	Anzahl
PET-Monolayer-Schalen	
PET-Multilayer-Schalen	4
Flaschen mit Funktionsverschlüssen	

Störstoffkomponente	Anzahl
Nicht-Getränkeflaschen	
Flaschen mit PA-Barriere (wie Saftflaschen)	
Flaschen mit Teil-Sleeve	
Flaschen mit Full-Sleeve	3
Sonstige:	
Verpackungsbänder	1
Folien	1
Nicht-PET (Metalle, Textilien, Holz)	1

Quelle: Tabelle auf Grundlage von Dehoust et al., 2021

3.7 Verwertung von PPK aus dem Blauen System

3.7.1 Rücklauf der Erhebung

An insgesamt 80 PPK-Verwerter im In- und Ausland wurden Erhebungsbögen versendet. Mit 56 ausgefüllten Erhebungsbögen wurde eine Rücklaufquote von 70 % erreicht. Für PPK-Verwerter mit Standort in Deutschland wurde eine Rücklaufquote von 83 % erzielt. Die Gesamtzuführungsmenge der Verwertungsanlagen, die einen Erhebungsbogen zurücksendeten, liegt für PPK gemäß MSN 2020 in 2020 bei ca. 1.223.000 t (gerundet auf 1.000 t/a). Damit wurden 79 % der Gesamtzuführungsmenge aller PPK-Verwerter aus dem MSN 2020 abgedeckt. Dieser abgedeckte Mengenanteil liegt über 50 % der Gesamtzuführungsmenge und wird damit als repräsentativ angesehen. Berücksichtigt wurden ausschließlich Letzttempfängeranlagen.

Papierfabriken können zwischen den folgenden Eingangsmaterialien unterschieden werden: grafische Papiere (Druck- und Schreibpapiere), Verpackungspapiere, Hygienepapiere und Spezialpapiere (Blechschmidt, 2011). Es wurden nur die PPK-Verwerter für die Befragung einbezogen, welche 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.

Erhebungsbogen PPK-Verwerter

- Rücklaufquote: im In- und Ausland: 70 % (56/80); im Inland: 83 % (52/63)
- Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, aus MSN 2020: 1.223.000 t; entspricht ca. 79 % der Gesamtmenge aller PPK-Verwerter i.H.v. 1.571.000 t (ZSVR, 2022b, Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

3.7.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 19 zeigt die Pfadbeschreibung für die Verwertung von vorsortiertem PPK aus der Monoerfassung. Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bildet die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021).

Das gesammelte Altpapier wird in Sortieranlagen in Altpapierfraktionen sortiert und über NIR-Scanner und Magnet- und Wirbelstromabscheider von Kunststoffen und Metallen befreit. Anschließend wird das vorsortierte Altpapier an Papierfabriken geliefert (Institut cyclos-HTP GmbH, 2021; Tschachtli et al., 2019). Da Sortierer von Altpapier im Rahmen der Erhebung nicht befragt wurden, wird an dieser Stelle nicht näher auf die Techniken der Altpapiersortierer eingegangen. Wir streben eine zukünftige Befragung von Altpapiersortieranlagen an.

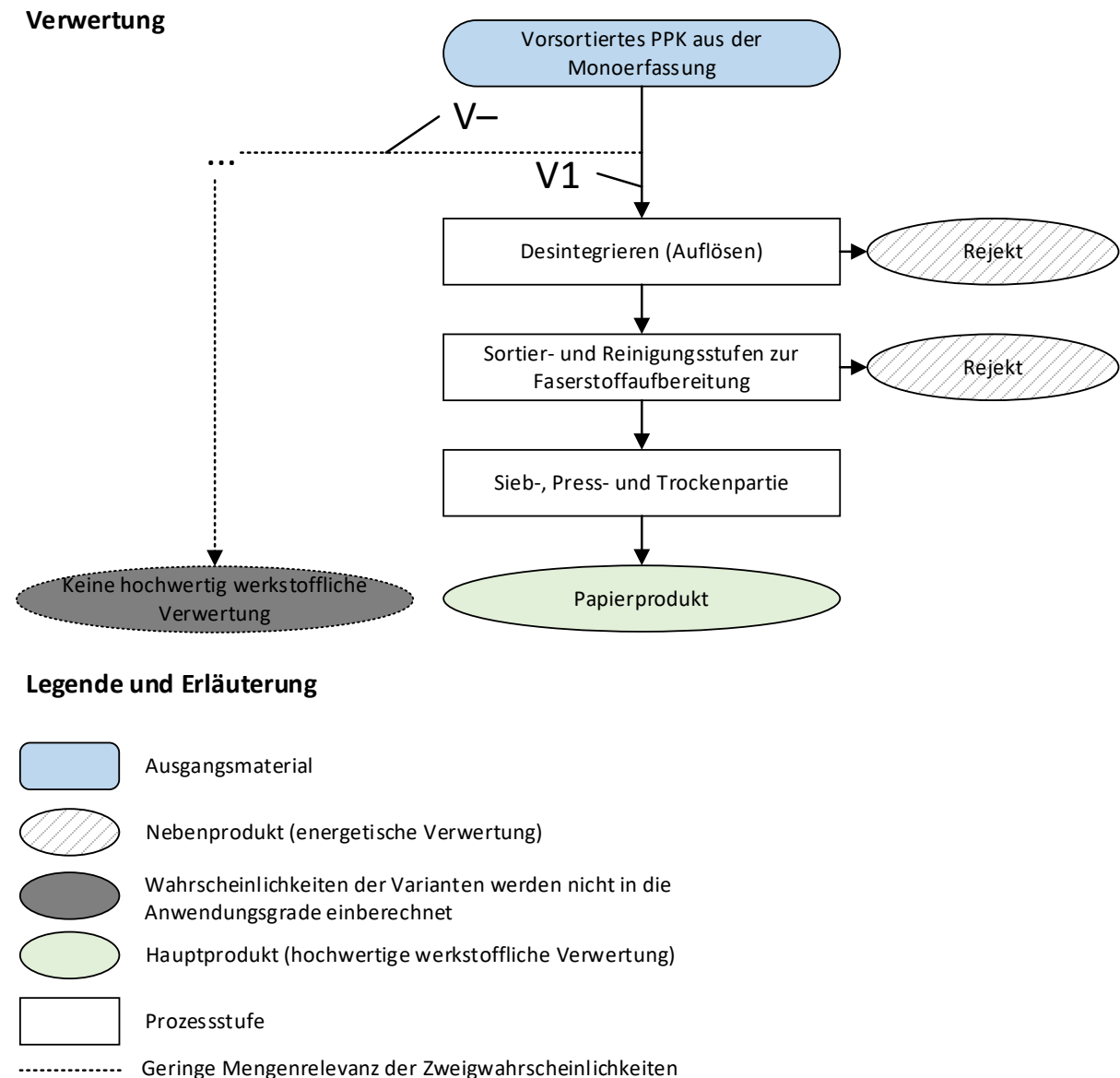
V1 umfasst PPK-Verwerter mit Referenzanlagen, in denen hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet und V2 beschreibt PPK-Verwerter ohne Referenzanlagen.

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 bezeichnet. Im Sprachgebrauch der Papierfabriken werden für diesen Schritt auch die Begriffe Auflösen und Zerfasern verwendet. 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 (Blechtschmidt, 2011). Laut Blechtschmidt 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 (Blechtschmidt, 2011).

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

Abbildung 19: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Verwertung von vorsortiertem PPK aus dem Blauen System



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

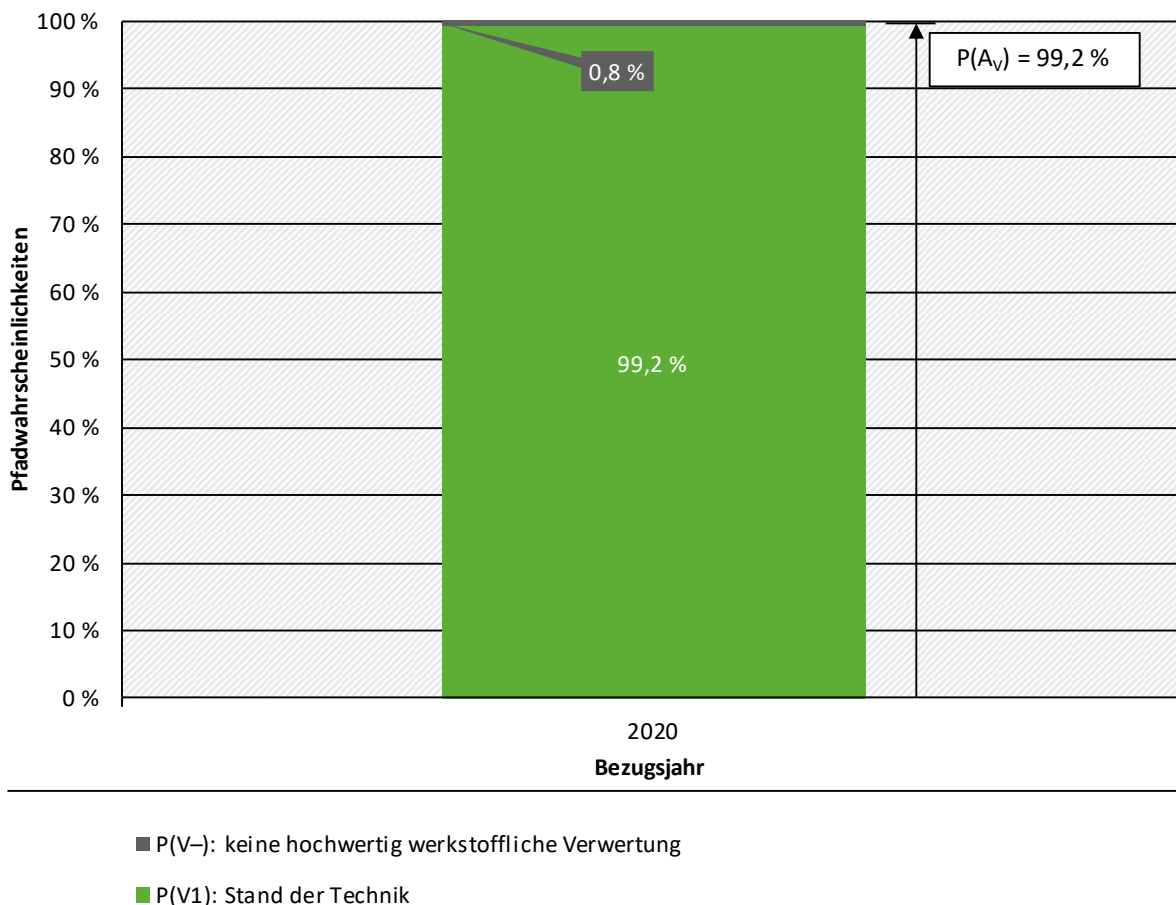
3.7.3 Ermittlung der Praxis der SuV für PPK aus dem Blauen System

Aus den Verwertungszuführungsmengen gemäß MSN 2020 kann $P(A_{SuV})$ für PPK-Verpackungen berechnet werden. $P(A_{SuV})$ beträgt für das Bezugsjahr 2020 in Summe 99,2 %. Die Verteilung der Mengen auf die in Abbildung 19 dargestellten Pfade ist in Abbildung 20 abgebildet.

Als hochwertig werkstofflich verwertete Endprodukte zählen Papierprodukte (Dehoust et al., 2021). Insgesamt wurden 53 der 56 PPK-Verwerter als Referenzanlagen eingestuft. Rund die Hälfte der befragten PPK-Verwerter (25 von 53) gab an, dass als Endprodukt Wellpappenrohapiere hergestellt werden. 18 der 53 PPK-Verwerter nannten Endprodukte aus Karton oder Pappe, wie Vollpappe oder Faltschachtelkarton. Weitere PPK-Verwerter nannten Hygienepapiere oder andere Endprodukte, wie z. B. Faserformverpackungen, Versandtaschen, Briefumschläge. Nur einzelne PPK-Verwerter wurden als Anlagen mit nicht stofflich hochwertigen Endprodukten eingestuft.

3 der 51 PPK-Verwerter wurden als Anlagen mit nicht stofflich hochwertigen Endprodukten eingestuft. Dazu gehören PPK-Verwerter, welche Papierfasern beispielsweise in der Bauchemie oder im Straßenbau einsetzen. Die Wahrscheinlichkeit, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Variante mit V-) beträgt 0,8 %.

Abbildung 20: Praxis der SuV für 2020 für PPK-Verpackungen aus dem Blauen System



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt, auf 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 PPK-Verwerter wurden im Erhebungsbogen nicht explizit nach dem verwendeten System zur Desintegration der Papierfasern befragt. Sie wurden nur befragt, ob eine Stofflösung vorhanden sei. Weiterhin wurden die PPK-Verwerter nach der Stofflösezeit (inkl. der sekundären Desintegration), nach den maximalen Temperaturen bei der Stofflösung und Papiertrocknung befragt. Von den PPK-Verwertern wurden Stofflösezeiten zwischen 3,5 min und 60 min angegeben. Das arithmetische Mittel lag bei 15 min. 49 % der Gesamt-Verwertungszuführungsmenge wurde Papierfabriken zugeführt, die Stofflösezeiten < 20 min angaben und 36 % solchen Papierfabriken, die ≥ 20 min angaben. Die restlichen 14 % umfassen die Papierfabriken, die keine Angaben gemacht haben. Die Zeit für die Desintegration der Fasern hängt jedoch 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 min – 40 min,
- diskontinuierliche Pulper: 15 min – 30 min,
- kontinuierliche Pulper 5 min – 40 min (Blechschmidt, 2011).

Laut mehreren PPK-Verwertern werden üblicherweise längere Stofflösezeiten für Auflösetrommeln benötigt als für Pulper. Ohne die Kenntnis des verwendeten Systems ist ein Vergleich zwischen den Stofflösezeiten ergebnislos. Es ist geplant, das Stofflösesystem in der kommenden Befragung zur Ermittlung der Praxis der SuV ggf. mit abzufragen. An dieser Stelle wird aus eben genannten Gründen auf eine detaillierte Auseinandersetzung mit den Vor- und Nachteilen dieser Verfahren verzichtet und auf eine zukünftige Auswertung der Befragung der PPK-Verwerter verwiesen.

Die Spannbreite der maximalen Temperatur bei der Stofflösung lag zwischen 25 °C und 55 °C. Das arithmetische Mittel lag dabei bei 42 °C. Als maximale Temperaturen bei der Papiertrocknung wurden meist Werte über 100 °C genannt.

Wir definieren die Pfadwahrscheinlichkeiten mit Verwertungsprozessvariante V1 als Stand der Technik, da keine weitere Unterteilung vorgenommen wurde.

3.7.4 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung

Die Erhebung bot den PPK-Verwertern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Komponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Verwertungsprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 10 dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2021 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2021a, S. 29). Zusätzlich wurde die Ausschlussliste an Komponenten der EuPIA (Europäische Druckfarbenverband, European Printing Ink Association) abgefragt, um den Einfluss von Druckfarben auf das Recycling abzuschätzen. Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungen und Komponenten gemacht werden. Diese konnten ebenso von den Verwertern hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden. Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 3 des Mindeststandards überwiegend von den Verwertern bestätigt werden. Wir empfehlen alle im Anhang 3 aufgelisteten Punkte weiterhin beizubehalten.

31(+1) von 53 PPK-Verwertern betrachteten das Problem „nicht wasserlösliche oder nicht redispergierende Klebstoffapplikationen“ als nicht gelöst, wohingegen 4 der 53 PPK-Verwerter das Problem als unproblematisch ansahen. Die Klebstoffkomponenten können Stickies hervorrufen. Wir empfehlen, dieses Problem weiterhin im Mindeststandard Anhang 3 aufzuführen. Das Problem „Komponenten der EuPIA“ wurde von 9 der 53 PPK-Verwerter als unbekannt und von 8(+1) als unproblematisch eingeschätzt. 18(+1) der 53 PPK-Verwerter betrachteten das Problem hingegen als nicht gelöst. Wir schlagen vor, über eine Aufnahme des Punktes im EK III zu beraten.

Wir empfehlen, einige der zusätzlichen Angaben der PPK-Verwerter zu bedenken und mit den relevanten Akteuren für den zukünftigen Mindeststandard im EK III zu erörtern:

- Nassfeste Papiere seien gemäß mehrerer PPK-Verwerter nicht löslich und würden als Rejekt ausgeschleust. Dies führe zu entsprechenden Entsorgungskosten. Ein anderer PPK-

Verwerter gab an, dass nassfeste Papiere im Endprodukt sichtbar seien. 3 PPK-Verwerter berichteten, dass nassfeste Papiere bei entsprechender Konzentration Produktionsunterbrechungen auslösen. 15 von 53 PPK-Verwertern betrachteten die Problematik der nassfesten Papiere als nicht gelöst. Zudem gaben mehrere PPK-Verwerter an, dass Wachspapiere bei hoher Konzentration zu Qualitätsproblemen, wie Wachsflecken im Endprodukt führen. Nassfeste Papiere und Wachspapiere sowie Beschichtungen bzw. Mehrkomponentenverpackungen sind bereits im Mindeststandard 2021 Abschnitt 4.2 (als „Nassfestmittel, Imprägniermittel, Wachse u. ä.“ und „beidseitig beschichtete oder metallisierte Papiere“) aufgeführt. Für diese Papiere wird bisher für die Bemessung der Recyclingfähigkeit ein Einzelnachweis benötigt (ZSVR, 2021a).

- Die Problematik der Beschichtungen und Kaschierungen aus Kunststoffen und Metallen wurde von 19 PPK-Verwertern nicht gelöst eingestuft. Für Kunststoffbeschichtungen machte ein PPK-Verwerter die Aussage, dass die Fasern nicht herausgelöst werden können, was insbesondere bei doppelseitiger Beschichtung der Fall wäre. Ein anderer PPK-Verwerter gab an, dass einseitige Beschichtungen mittlerweile mit entsprechendem Mehraufwand als weitgehend gelöst gelten, er aber doppelseitige Beschichtungen als nicht gelöst einstufte. Ein PPK-Verwerter bemerkte, dass Beschichtungen zu einem Anstieg von Stickies führen und dies die Faserausbeute senke. Ein hoher technischer Aufwand würde durch Kunststoff- und metallbeschichtete Papiere verursacht. Ein anderer PPK-Verwerter sagte aus, dass zunehmend weiße Verpackungspapiere aus Papier mit dünnen Folien beschichtet (teilweise beidseitig) werden, die in der Aufbereitung teilweise nicht von den Fasern getrennt werden könnten. Ein weiterer PPK-Verwerter gab an, dass faserbasierte Verbundverpackungen (aber auch FKN und nassfeste Papiere) bei geringen Rohrleitungsquerschnitten, welche häufig bei kleineren Anlagen vorhanden sind, Verstopfungsprobleme verursachen würden. Im Mindeststandard 2021 im Abschnitt 4.2 ist für „beidseitig beschichtete oder metallisierte Papiere“ ein Einzelnachweis erforderlich (ZSVR, 2021a). Durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Beschichtungen, besteht hier weiterer Klärungsbedarf. Wir sehen bei dieser Problematik prioritären Handlungsbedarf. Die Problematik der Beschichtungen sollte im EK III weiter beobachtet und geprüft werden.
- FKN wurden von drei PPK-Verwertern angegeben, wobei 2 von 3 das Problem als nicht gelöst eingeschätzt haben. Ein PPK-Verwerter gab an, dass FKN bei der Lagerung Gerüche und Fliegen hervorrufe. Ein weiterer PPK-Verwerter machte die Aussage, dass aluminiumhaltige FKN zu kleinen Partikeln aus Aluminium führen, was einen starken Verschleiß im Verarbeitungsprozess bedinge (z. B. Hülsenkarton). Da FKN einen eigenen Sortier- und Recyclingpfad besitzen und diese Problematik einen Fehlwurf und eine Fehlsortierung darstellt, stufen wir diesen Punkt als Problem der Sortierung und nicht der Verwertung ein. Es besteht kein Handlungsbedarf.
- Mehrere PPK-Verwerter sahen Druckfarben als problematisch an. UV-gehärtete Druckfarben werden laut der Angabe eines PPK-VerwerTERS zunehmend bei Verpackungen eingesetzt (insbesondere weiße Verpackungen). Diese können in der Aufbereitung nicht per Deinking entfernt werden und den Einschluss von Farbpunkten bei der Papierherstellung verursachen. Diese Farbpunkte seien insbesondere bei grafischen Papieren relevant und seien dort im Deinkingprozess schwer entfernbar. Zudem schätzte ein PPK-Verwerter das Problem wasserlöslicher Druckfarben (insbesondere Inkjet- und Flexodruckfarben) als nicht gelöst ein und gab an, dass diese Druckfarben aktuell nicht entfernt werden können. Da dieser Punkt für Verpackungspapiere weniger relevant als für grafische Papiere ist, besteht hier vorerst im Mindeststandard kein Handlungsbedarf, solange der Faserstoff aus dem Verpackungspapierrecycling vorrangig in Verpackungspapieren eingesetzt wird.

Tabelle 10: Einschätzung der PPK-Verwerter zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 53)

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		Kombinierte Antworten	keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)		
Nicht wasserlösliche oder nicht redispergierende Klebstoffapplikationen		4	5	12	31	1 x C/E	
Komponenten der EuPIA	9	8	6	5	18	1 x B/E, 1 x C/D	5
Weitere Angaben:							
Nassfeste Papiere				3	15		1
Kunststoffbeschichtungen und -kaschierungen					11		
Aluminiumbeschichtungen und -kaschierungen					3		
Beschichtungen (Kunststoffe, Metalle)			1		5		
Wachspapiere bzw. wachsbeschichtete Verpackungen					6		
Verbund- bzw. Mehrkomponentenverpackungen					3		
Aluminiumhaltiger Flüssigkeitskarton			1		2		
Papierfremde Bestandteile (führen zu Produktionsunterbrechnungen)				2	1		
Stark geleimte Papiere; Leimreste; nicht ausgehärtete Kleber					4		
In Folie verpackte Werbeeinlagen (verstopft die Reinigungsaggregate)				1			
Störstoffe (Holz, Folien, Gras etc.)			1				
Mineralöhlhaltige Druckfarben					3		
Durchgefärbte Vollpappe				1			
Wasserlösliche Druckfarben (insbesondere Inkjet, Flexodruck)					1		
UV-Lack					1		1

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		Kombinierte Antworten	keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)		
Lacksplitter bzw. farbige Faserstippen aus großflächig mit Indigo-Farbe bedrucktem Papier					1		
Hochgestrichene Qualitäten (führen zu Stippen)					1		
Zunahme von Klebebändern (insb. Onlineversandhandel)					1		
Viele Schmutzpunkte in Verpackungspapieren, viel Asche, Lebensmittelreste als Hygieneaspekt							1
Thermopapiere					1		
Mikroplastik					1		
Funktionelle Barrieren							

3.7.5 Störstoffkomponenten im Rejekt

Die PPK-Verwerter wurden befragt, welche Störstoffkomponenten dem Rejekt zugeführt werden. Diese Abfrage wurde bereits von Dehoust et al. durchgeführt (Dehoust et al., 2021). In Tabelle 11 sind die Ergebnisse dieser Einschätzung dargestellt. Alle Verwerter von Referenzanlagen gaben dabei feinkörnige, mineralische Verunreinigungen wie Sand, Steine oder Glassplitter sowie Kunststoffpartikel an. Makrostickies wurden von 45 der 53 Verwerter und Stippen von 38 der 53 Verwerter angekreuzt. Strichbindemittel, Streichfarben, Füllstoffe, Kurzfasern und Metalle wurden von 14 oder weniger der 53 Verwerter angegeben. Genannt wurden zudem beispielsweise noch FKN, nassfeste Papiere, Säcke aus Kraftpapier und Kunststofffolien. 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 Verwerter.

Tabelle 11: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der PPK-Verwerter (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 53)

Störstoffkomponente	Anzahl
Feinkörnige mineralische Verunreinigungen (Sand, Steine, Glassplitter)	53
Kunststoffpartikel	53

Störstoffkomponente	Anzahl
Makrostickies	45
Stippen	38
Kurzfasern	16
Füllstoffe	14
Streichfarben	14
Strichbindemittel	14
Sonstige:	
<i>Metalle (z. B. Heftklammern, Drähte)</i>	14
<i>Textilien</i>	2
<i>Holz</i>	2
<i>Verbundstoffe (z. B. FKN)</i>	1
<i>Nassfeste Papiere</i>	1
<i>Säcke aus Kraftpapier</i>	1
<i>Fehlwürfe (z. B. Lampen)</i>	1
<i>Kunststofffolien</i>	2

Quelle: Tabelle auf Grundlage von Dehoust et al., 2021

3.8 Verwertung von PPK aus LVP und FKN

3.8.1 Rücklauf der Erhebung

An insgesamt 18 Verwerter von PPK aus LVP und an 11 Verwerter von FKN im In- und Ausland wurden Erhebungsbögen versendet. Teilweise verarbeiteten Anlagen sowohl PPK aus LVP als auch FKN. Mit 12 (PPK aus LVP) und 9 (FKN) ausgefüllten Erhebungsbögen wurde Rücklaufquoten von 67 % (PPK aus LVP) und 82 % (FKN) erreicht. Die Rücklaufquote für Anlagen in Deutschland lag für PPK aus LVP bei 57 % und für FKN bei 60 %. Zwei Papierfabriken sind mit geringen Mengen (Fraktion 550) im MSN 2020 verzeichnet, sagten aber telefonisch aus, kein PPK aus LVP verarbeitet zu haben. Diese Anlagen wurden nicht in die Statistik einberechnet. Die Gesamtzuführungsmenge der Verwertungsanlagen, die einen Erhebungsbogen zurücksendeten, liegt ausweislich des MSN 2020 für PPK aus LVP in 2020 bei ca. 56.000 t (gerundet auf 1.000 t/a). Damit wurden 58 % der Gesamtzuführungsmenge aller Verwerter von PPK aus LVP aus dem MSN 2020 abgedeckt. Dieser abgedeckte Mengenanteil liegt knapp über 50 % der Gesamtzuführungsmenge und wird damit als repräsentativ angesehen. Für die nächste Befragung wäre eine erhöhte Rücklaufquote wünschenswert. Berücksichtigt wurden ausschließlich Letzttempfängeranlagen.

Die Gesamtzuführungsmenge der in den MSN 2020 aufgeführten Verwertungsanlagen, die einen Erhebungsbogen ausgefüllt haben, liegt für FKN in 2020 bei 115.000 t (gerundet auf 1.000 t/a). Damit wurden 83 % der Gesamtzuführungsmenge aller Verwerter von FKN aus dem MSN 2020

abgedeckt. Dieser abgedeckte Mengenanteil liegt über 50 % der Gesamtzuführungsmenge und wird damit als repräsentativ angesehen.

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

Erhebungsbogen Verwerter von PPK aus LVP

- ▶ Rücklaufquote: im In- und Ausland: 67 % (12/18); im Inland: 57 % (8/14)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, aus MSN 2020: ca. 56.000 t; entspricht 58 % der Gesamtmenge aller PPK-Verwerter i.H.v. ca. 97.000 t (ZSVR, 2022b, Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

Erhebungsbogen Verwerter von FKN

- ▶ Rücklaufquote: im In- und Ausland: 82 % (9/11); im Inland: 60 % (3/5)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Verwerter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, aus MSN 2020: ca. 115.000 t; entspricht 83 % der Gesamtmenge aller PPK-Verwerter i.H.v. ca. 139.000 t (ZSVR, 2022b, Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

3.8.2 Pfadbeschreibung PPK aus LVP

Abbildung 21 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PPK aus LVP (550). Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bildet die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021).

PPK aus LVP wird in LVP-Sortieranlagen über NIR-Trenner abgetrennt und für die Verwertungsanlagen als Großballen bereitgestellt. Wie bereits im Abschnitt 3.1.3 erwähnt, wurde PPK aus LVP noch zu 0,2 % in 2020 und 2021 in den LVP-Sortieranlagen manuell sortiert.

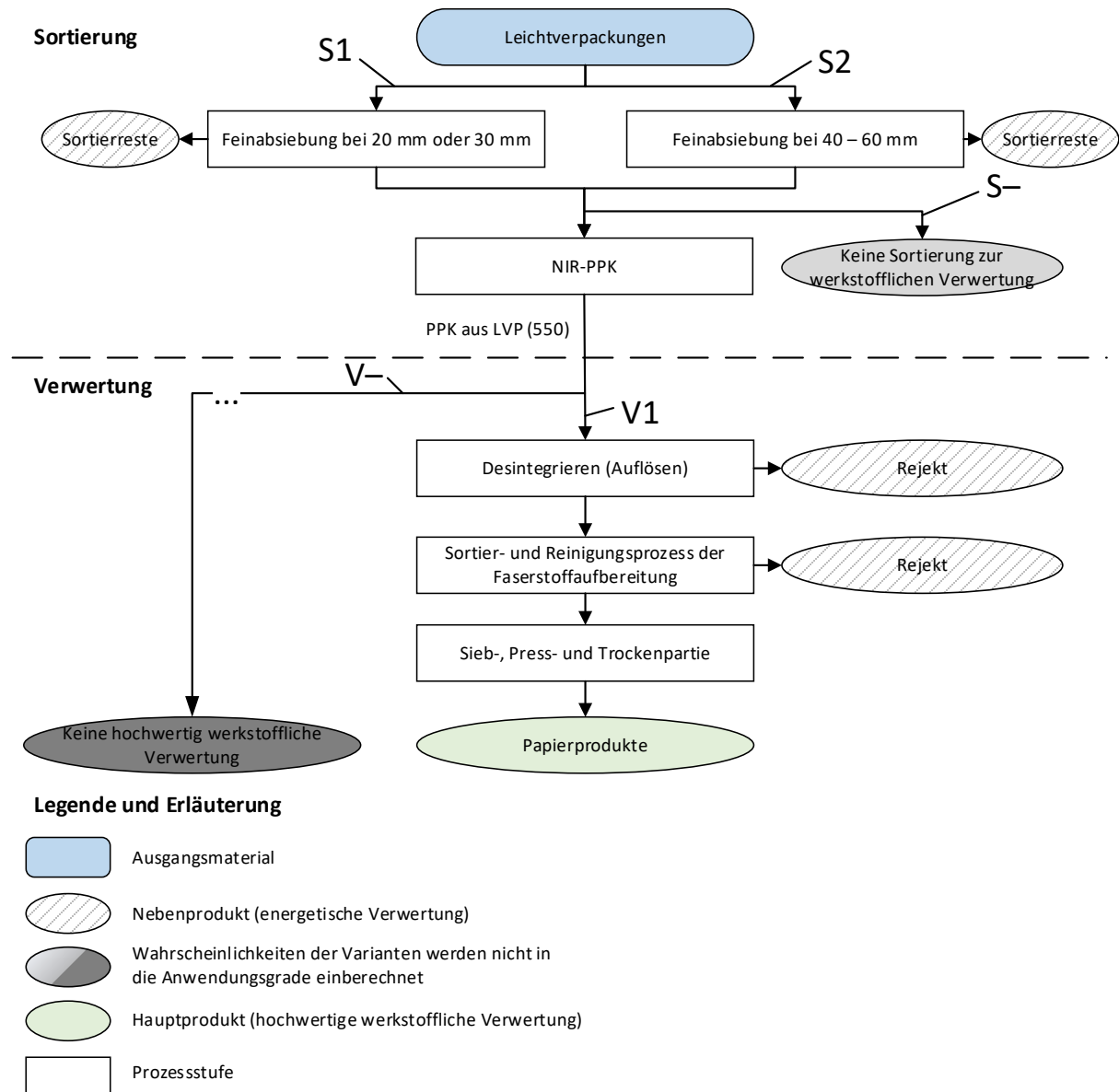
S1 (20 mm oder 30 mm) und S2 (40 – 60 mm) kennzeichnen die zwei verschiedenen Sortiervarianten und unterscheiden sich in der Maschenweite bei der Feinabsiebung in den LVP-Sortieranlagen. S– umfasst die Anlagen, die die genannte Fraktion nicht aussortieren und nicht für ein Recycling bereitstellen.

Der erste Schritt bei den Verwertern von 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 (Blechschmidt, 2011). Dieser Prozess wird auch als Desintegrieren/Suspendieren bezeichnet. Im Sprachgebrauch der PPK-Verwerter werden für diesen Schritt auch die Begriffe Auflösen oder Zerfasern bezeichnet. Grundsätzlich sind zwei verschiedene Systeme zur primären Desintegration im Einsatz: Pulper (Trogauflöser) sowie Auflösetrommeln. Die Unterschiede zwischen diesen zwei Systemen sind in Abschnitt 3.7 beschrieben. Die Verwertungsanlagen für PPK aus LVP wurden nicht gefragt, welches der beiden Systeme sie einsetzen. Anhand der angegebenen Stoffflösezeiten ist jedoch zu vermuten, dass es sich überwiegend um herkömmliche Pulper handelt. Es ist geplant, das System für die Zerfaserung in zukünftigen Erhebungen mit abzufragen, soweit dies für die Zwecke des Mindeststandards relevant ist. 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.

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

Abbildung 21: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von PPK aus LVP



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

3.8.3 Pfadbeschreibung FKN

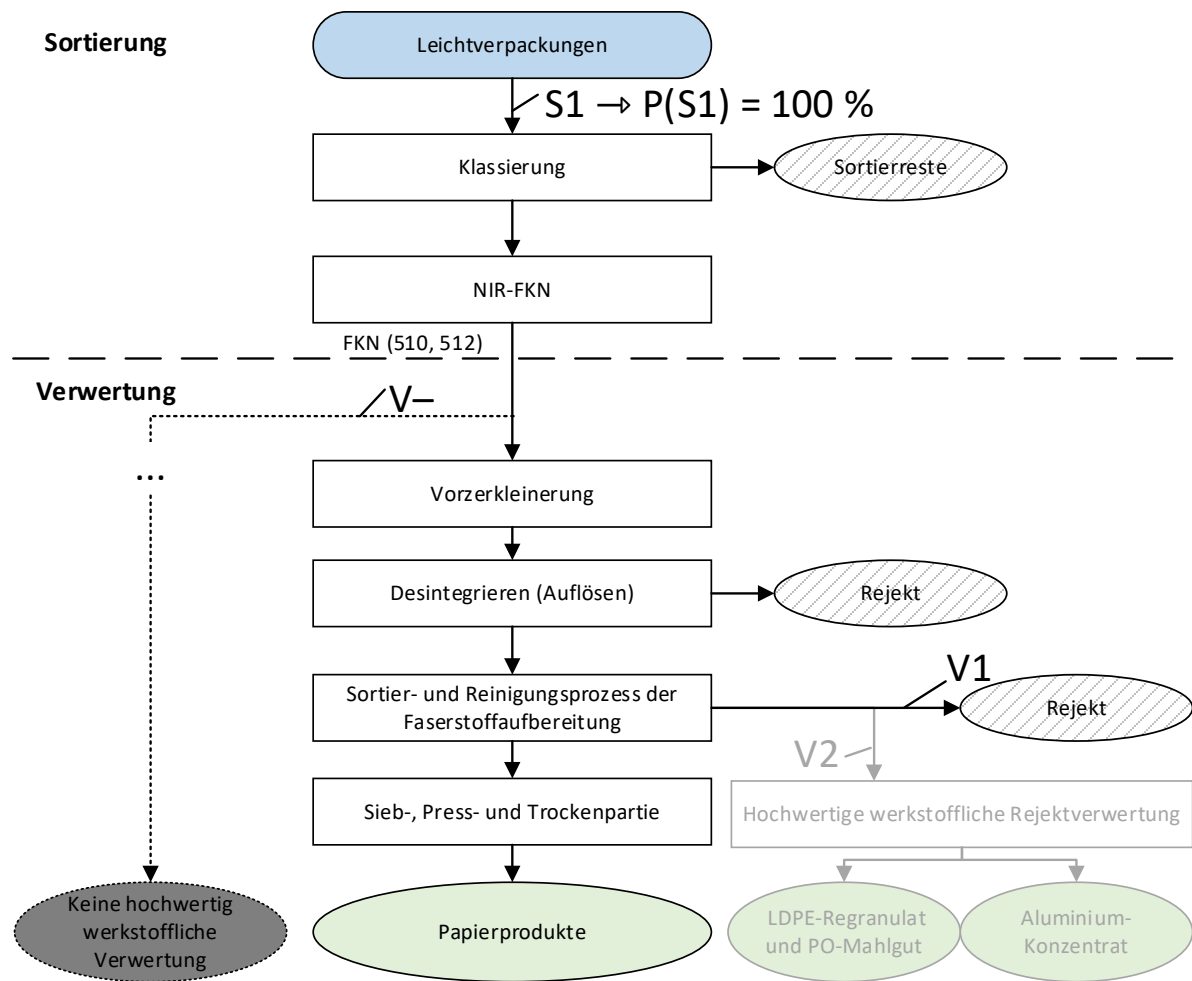
Abbildung 22 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von FKN (510, 512). Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bildet das Fließdiagramm aus der Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021).

FKN wird in LVP-Sortieranlagen über NIR-Trenner abgetrennt und für die Verwertungsanlagen als Großballen bereitgestellt. Wie bereits im Abschnitt 3.1.3 erwähnt, wurden FKN noch zu 0,2 % in 2020 manuell sortiert.

Der erste Schritt bei den Verwertern von FKN ist die Zerkleinerung der Verpackungen in 3-4 Teilstücke in einem Shredder. Durch die Schnittkanten werden die Papierfasern für das Wasser zugänglich (Martens & Goldmann, 2016). Anschließend wird das Papier befeuchtet, um die Fasern herauszulösen sowie die Wasserstoffbrückenbindungen aufzubrechen, sodass daraus eine pumpfähige Suspension resultiert (Bleeschmidt, 2011). Dieser Prozess wird auch als Desintegrieren bezeichnet. Im Sprachgebrauch der PPK-Verwerter werden für diesen Schritt auch die Begriffe Auflösen und Zerfasern verwendet. Für FKN sind dafür überwiegend Auflösetrommeln im Einsatz, um die enthaltenen Kunststoff- und Aluminiumfolien nicht zu stark zu zerkleinern. Dies erleichtert deren spätere Absortierung. 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. Mehrere Aufbereiter gaben an, dass das entstehende Gemisch aus Kunststoff und Aluminium als Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie eingesetzt wird. Des Weiteren werden grobe Schwerteile in diesem Prozess abgeschieden.

In mehreren Aufbereitungsstufen (Reinigung und Sortierung) des Faserstoffs werden Kunststoffe und Aluminium als Rejekt ausgeschleust. Anschließend folgt die Sieb-, Press- und Trockenpartie der Papiermaschine auf der das finale Papierprodukt (z. B. Wellpappenroh papier) hergestellt wird. Der Kunststoff- und Aluminiumanteil wird anschließend in einem Zementwerk beigemischt oder einer energetischen Verwertung zugeführt. Die Verwertungsvariante, bei der eine hochwertige werkstoffliche Rejektverwertung stattfindet, wurde als Pfad abgebildet. Von dieser Anlage liegt kein ausgefüllter Erhebungsbogen vor, weshalb die Verwertungsvariante grau eingefärbt wurde. Bei dieser Variante sollen das durch die Rejectaufbereitung gewonnene LDPE-Regranulat, das PO-Mahlgut sowie das Aluminiumkonzentrat verwertet werden (Palurec GmbH, o. J.). Aus verschiedenen Quellen ist bekannt, dass die Anlage im Jahr 2021 in Betrieb gegangen ist (bvse, 2021a; EUWID, 2021). Für das PO-Mahlgut aus den PE- und PP-Verschlüssen sowie für das LDPE-Regranulat wurde eine hochwertige werkstoffliche Verwertung bereits gemäß des Anforderungs- und Bewertungskatalogs des Institutes cyclos-HTP von 2021 nachgewiesen (Institut cyclos-HTP GmbH, 2021).

Abbildung 22: 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
- / Text
Kein ausgefüllter Fragebogen zu dieser Verwertungsprozessvariante / Rejektverwertung in 2020 noch nicht in Betrieb
- Geringe Mengenrelevanz der Zweigwahrscheinlichkeiten

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

3.8.4 Ermittlung der Praxis der SuV für PPK aus LVP und FKN

Aus den Verarbeitungsmengen, welche durch die Verwerter von PPK aus LVP und FKN angegeben wurden, kann $P(A_{SuV})$ berechnet werden. Dieser beträgt für das Bezugsjahr 2020 für PPK aus LVP 57,3 % und für FKN 97,3 %. Die Verteilung auf die Pfade ist in Abbildung 23 für PPK aus LVP und in Abbildung 24 für FKN dargestellt.

Alle befragten Verwerter der Fraktionen PPK aus LVP und FKN mit Referenzanlagen gaben an, dass als Endprodukt Wellpappenrohre hergestellt werden. Einige Verwerter werden als Anlagen mit nicht stofflich hochwertigen Endprodukten eingestuft. Dazu gehören beispielsweise Verwerter, welche Papierfasern im Straßenbau sowie als verpresste Papierfasern als Zwischenprodukt einsetzen.

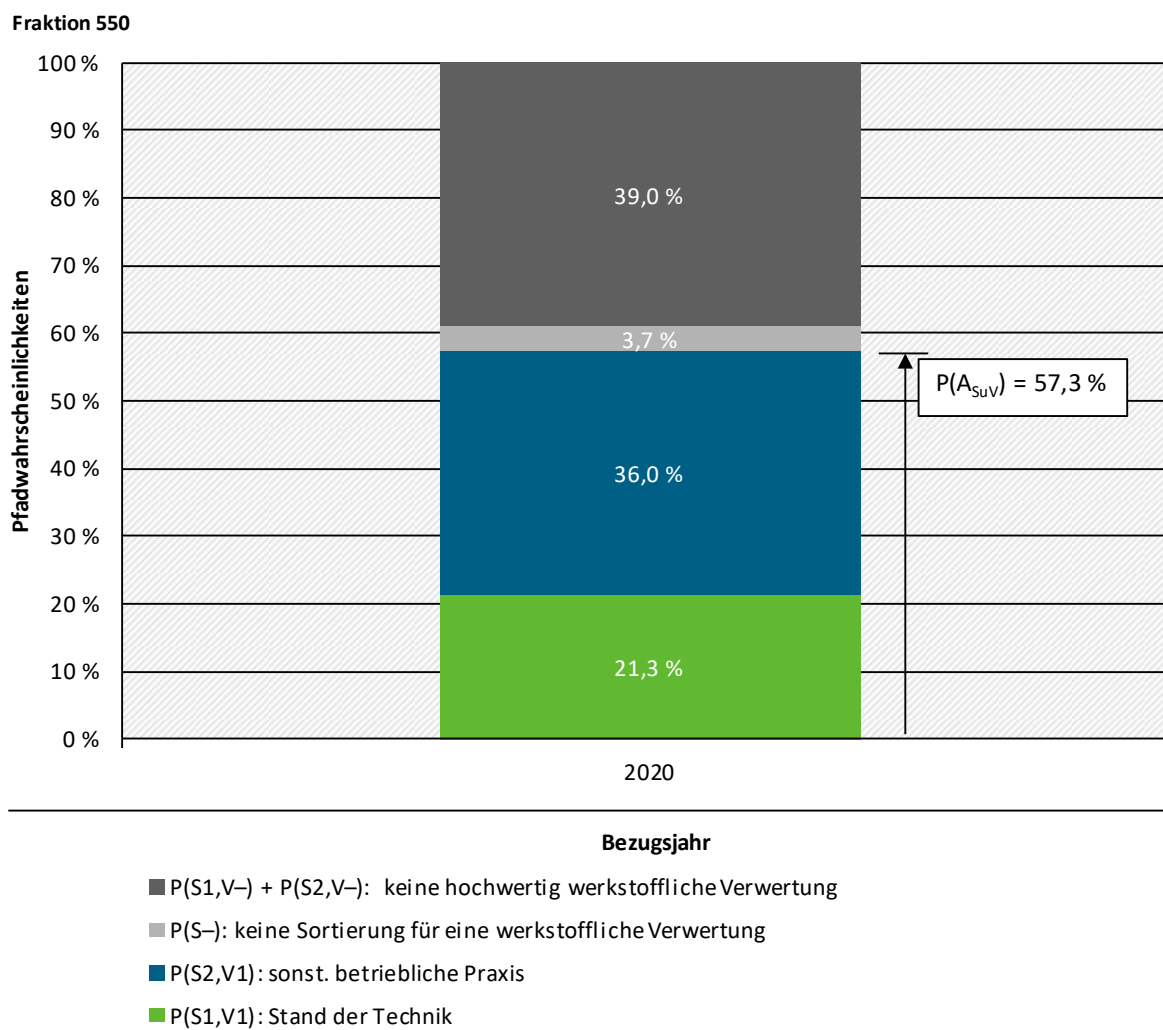
Wir definieren für PPK aus LVP die Pfadwahrscheinlichkeit $P(S1,V1)$ mit 21,3 % als Stand der Technik. Bei dieser Variante werden auch kleine Verpackungen sortiert (Feinabsiebung bei 20 mm oder 30 mm) und anschließend hochwertig werkstofflich verwertet. Als sonstige betriebliche Praxis wurde $P(S2,V1)$ mit 36,0 % ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeit umfasst eine Feinabsiebung bei 40 mm – 60 mm sowie eine hochwertige werkstoffliche Verwertung. Die Wahrscheinlichkeiten, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Varianten mit V-) betragen insgesamt 42,7 %.

Wir definieren für FKN die Pfadwahrscheinlichkeiten $P(S1,V1)$ mit 97,3 % und $P(S1,V2)$ mit 0 % als Stand der Technik. Bei diesen Varianten wird FKN über NIR sortiert und anschließend mit oder ohne hochwertige Rejektverwertung hochwertig werkstofflich verwertet. Die Wahrscheinlichkeit, dass keine hochwertige werkstoffliche Verwertung stattfindet (Variante mit V-) beträgt 2,7 %.

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), Primärrohstoffe oder gewerbliche Abfallmengen. Die Fraktion PPK aus LVP (550) wird oftmals als Beimischung gemeinsam mit anderen Papierfraktionen aus dem Blauen System verarbeitet. Verwerter von PPK aus LVP teilten mit, dass die Fraktion einen hohen Verschmutzungsgrad (insbesondere von Lebensmitteln), eine hohe Feuchtigkeit sowie viele Störstoffe besitzt. Diese Aussage wird auch von Bothe (Bothe, 2015) getätigt. Die eben genannten Fraktionsinhalte führen zu einem erschwerten Recycling und einer verringerten Faserausbeute. Die Feuchtigkeit und der Verschmutzungsgrad führe bei der Lagerung zu Schimmelbildung und locke Ungeziefer an.

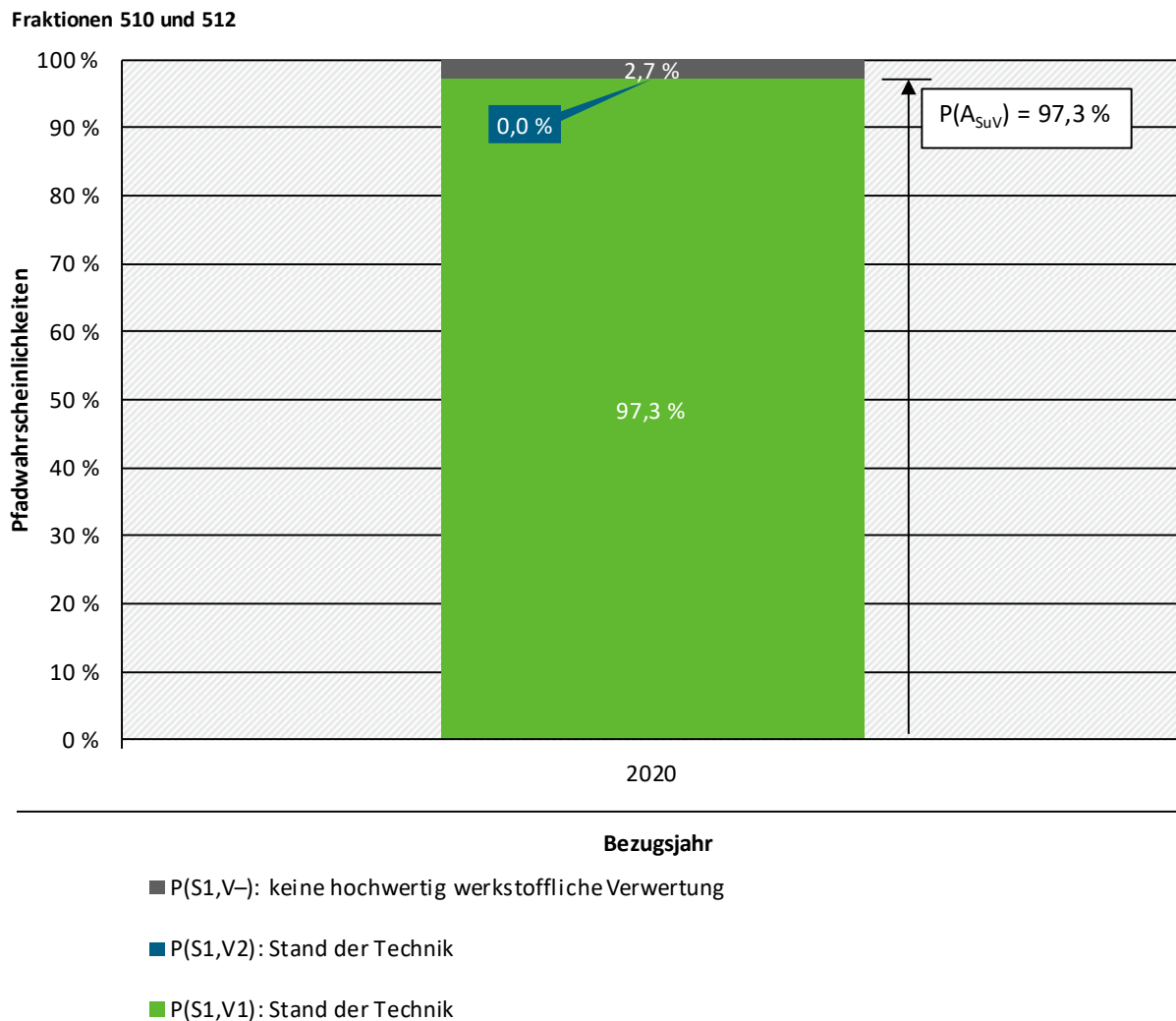
Weiterhin wurden die Verwerter nach der Stofflösezeit (inkl. der sekundären Desintegration) befragt. Die Zeit für die Desintegration der Fasern hängt maßgeblich von den eingesetzten Verpackungen, der Qualität der Verpackungen sowie dem verwendeten System (Pulper oder Auflösetrommel) ab. In den Erhebungsbögen wurde zwar nach der Stofflösezeit gefragt, aber nicht nach dem verwendeten System. Es ist geplant, das Stofflösesystem in der kommenden Befragung zur Ermittlung der Praxis der SuV mit abzufragen, soweit dies für Zwecke des Mindeststandards von Belang ist. Verwerter der Fraktion FKN gaben Stofflösezeiten zwischen 25 min und 45 min an. Verwerter der Fraktion PPK aus LVP gaben zwischen 8 min und 45 min als Stofflösezeiten an. Als maximale Temperaturen bei der Stofflösung wurden für PPK aus LVP und FKN Werte zwischen 35 °C und 60 °C genannt. Die Papiertrocknung findet bei Temperaturen zwischen 100 °C und 160 °C statt. Für FKN kann zusätzlich eine Dispergierung mit Hygienisierung stattfinden.

Abbildung 23: Praxis der SuV für 2020 für PPK aus LVP



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

Abbildung 24: Praxis der SuV für 2020 für FKN



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

3.8.5 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung

Die Erhebung bot den Verwertern von PPK aus LVP und FKN die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Komponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Verwertungsprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 3 des Mindeststandards 2021 aufgeführten Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2021a, S. 29). Zusätzlich wurde die Ausschlussliste der EuPIA abgefragt, um den Einfluss gefährlicher Bestandteile in Druckfarben abzuschätzen. Des Weiteren konnten zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungen und Komponenten gemacht werden. Diese konnten ebenso von den Verwertern hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 12: Einschätzung der Verwerter von PPK aus LVP und FKN zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 6)

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt (A)	kein Problem (B)	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos (C)	Problem bekannt, technisch		keine Angabe
				weitgehend gelöst (D)	nicht gelöst (E)	
Nicht wasserlösliche oder nicht redispersierende Klebstoffapplikationen			1	2	3	
Komponenten der EuPIA	2		2		2	
Weitere Angaben (nur FKN-Verwerter):						
<i>Steigende Kunststoffapplikationen / Anteil an Hartplastik nimmt zu</i>						2
<i>Schlechte Sortierung und ein hoher Anteil an Fremdstoffen</i>				1		

Es ist festzustellen, dass die Angabe im Anhang 3 des Mindeststandards überwiegend von den Verwertern bestätigt wird. Wir empfehlen den im Anhang 3 aufgelisteten Punkt weiterhin beizubehalten. Verwerter von PPK aus LVP haben keine zusätzlichen Probleme angegeben. Im Folgenden werden die von den FKN-Verwertern zusätzlich angegebenen problematischen Verpackungsmerkmale bezogen auf FKN diskutiert.

- Zwei FKN-Verwerter listeten steigende Kunststoffanteile bei FKN als problematisch auf. Es wurde jedoch keine Angabe zur Relevanz der Problematik abgegeben. Je höher der Faseranteil in FKN, d. h. je geringer der Nicht-Faseranteil aus Kunststoff und ggf. Aluminium, desto effizienter ist der Recyclingprozess (FH Campus Wien, 2020). Die Entwicklung steigender Kunststoffanteile in FKN und die damit verbundene reduzierte Faserausbeute sollte zukünftig weiter beobachtet werden. An dieser Stelle sei angemerkt, dass es sich nicht um eine „echte“ Recyclingunverträglichkeit, sondern „lediglich“ um einen Faserverlust gegenüber konventionellen FKN handelt. Wir empfehlen dennoch, diese Problematik im EK III zu besprechen und zu prüfen.
- Ein FKN-Verwerter gab an, dass eine schlechte Sortierung und ein hoher Anteil an Fremdstoffen ein weitgehend gelöstes Problem darstellen. Problematisch seien dabei insbesondere andere papierbasierte Verbundverpackungen. Der Verwerter machte die Angabe, dass es seit Umstellung der Sortierspezifikation von 510 auf 512 einen hohen Anteil an faserbasierten Verbunden gebe. Diese erhöhen den Faseranteil im Rejekt, was die Kosten steigern und technische Mehraufwendungen in nachgelagerten Prozessen verursache. Wir empfehlen diese Problematik in den EK III einzubringen.

3.8.6 Störstoffkomponenten im Rejekt

Die Verwerter von PPK aus LVP und FKN mit Referenzanlagen wurden befragt, welche Störstoffkomponenten dem Rejekt zugeführt werden. Diese Abfrage wurde bereits von Dehoust et al. durchgeführt (Dehoust et al., 2021). In Tabelle 13 sind die Ergebnisse dieser Einschätzung dargestellt. Alle Verwerter gaben dabei feinkörnige, mineralische Verunreinigungen wie Sand, Steine oder Glassplitter an. Kunststoffpartikel und Makrostickies wurden von 10 der 12 Verwerter und Stippen von 9 der 12 Verwerter angekreuzt. Strichbindemittel, Streichfarben, Füllstoffe und Kurzfasern wurden von 5 oder weniger der 12 Verwerter 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 Verwerter.

Tabelle 13: Störstoffkomponenten im Rejekt nach Einschätzung der Verwerter von PPK aus LVP und FKN (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 12)

Störstoffkomponente	Anzahl
Feinkörnige mineralische Verunreinigungen (Sand, Steine, Glassplitter)	12
Kunststoffpartikel	10
Makrostickies	10
Stippen	9
Kurzfasern	2
Füllstoffe	4
Streichfarben	5
Strichbindemittel	5

Quelle: Tabelle auf Grundlage von Dehoust et al., 2021

3.9 Aufbereitung von Behälterglas

3.9.1 Rücklauf der Erhebung

An insgesamt 23 Betreiber von Glasaufbereitungsanlagen im In- und Ausland wurden Erhebungsbögen versendet. Mit 21 ausgefüllten Erhebungsbögen wurde eine Rücklaufquote von 92 % erreicht. Für Glasaufbereiter mit Standort in Deutschland wurde eine Rücklaufquote von 100 % erzielt. Die Gesamtzuführungsmenge der Glasaufbereitungsanlagen, die einen Erhebungsbogen zurücksendeten, liegt gemäß MSN für Behälterglas in 2020 bei 1.407.000 t (gerundet auf 1.000 t/a). Damit wurde 97 % der Gesamtmenge aller Glasaufbereiter aus dem MSN 2020 abgedeckt. Dieser abgedeckte Mengenanteil liegt über 50 % der Gesamtzuführungsmenge und wird damit als repräsentativ angesehen. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass eine Anlage, welche 2021 nicht mehr in Betrieb war, nicht befragt wurde. Berücksichtigt wurden ausschließlich Letztempfängeranlagen (hier: Glasaufbereitungsanlagen).

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

Erhebungsbogen Glasaufbereiter

- ▶ Rücklaufquote: im In- und Ausland: 92 % (21/23); im Inland: 100 % (21/21)
- ▶ Gesamtzuführungsmenge der Aufbereiter, die Erhebungsbögen zurücksendeten, aus MSN 2020 ca. 1.407.000 t; entspricht 97 % der Gesamtmenge aller Glasaufbereiter i.H.v. ca. 1.451.000 t (ZSVR, 2022b, Mengen gerundet auf 1.000 t/a)

3.9.2 Pfadbeschreibung

Abbildung 25 zeigt die Pfadbeschreibung für die Aufbereitung von Behälterglas. Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bildet 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:

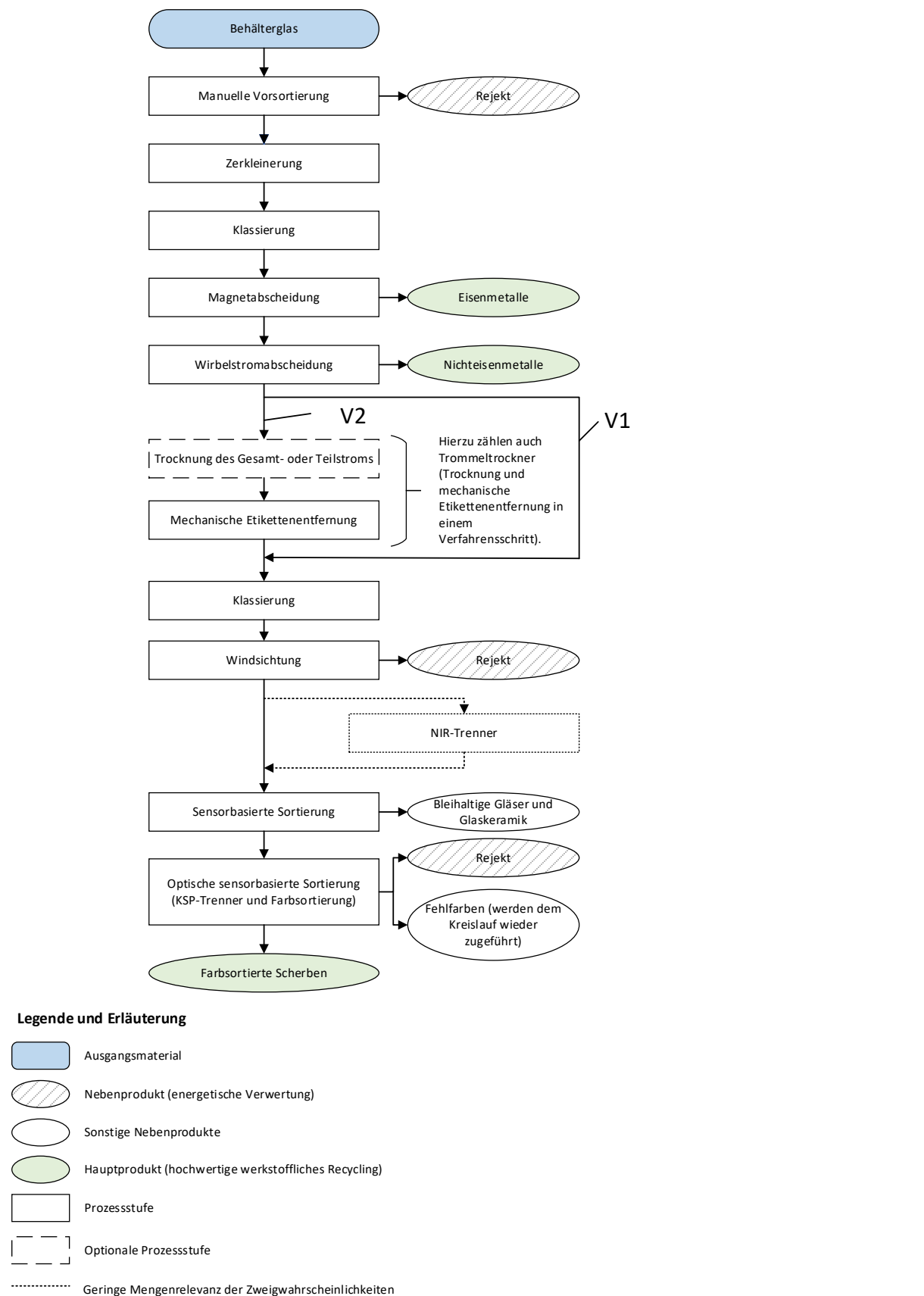
Nach einer manuellen Vorsortierung zur Separation von Fehlwürfen und groben Störstoffen folgt die Zerkleinerung der Grobkornfraktion. Diese findet bei fast allen Aufbereitern mittels eines Walzenbrechers statt. Nur wenige Anlagen verwenden dafür eine Hammermühle. Mehrere Glasaufbereiter sagten aus, dass Walzenbrecher materialschonender als Prallmühlen 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, 2021).

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).

Eine Magnet- und Wirbelstromabscheidung sorgt für die Abtrennung ferromagnetischer (Eisenmetalle) und leitfähiger Verpackungskomponenten (Nichteisenmetalle) aus dem Glasstrom. Abgetrennte Metallkomponenten sind dabei überwiegend Deckel und Verschlüsse, wie Kronkorken. Abgetrennt wird dabei auch Drahtglas. Aufbereiter gaben an, 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 & Huber, 2014). Aufbereiter mit Etikettenentferner sagten aus, dass die Polierung in nachfolgenden Sortierprozessen zu weniger Glasverlust und zu verbesserter Detektierung führt. Nicht alle Anlagen setzen mechanische Etikettenentferner ein.

Abbildung 25: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Aufbereitung von Behälterglas



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

Die Etikettenentfernung wird möglichst schonend durchgeführt, um hohe Feinkornverluste zu verhindern. Aus der Befragung der Glasaufbereiter ergeben sich die folgenden Sortierprozessvarianten V1 und V2, die sich hinsichtlich der Etikettenentfernung unterscheiden:

- V1: Kein Einsatz eines mechanischen Etikettenentferners oder Trommeltrockners. Lose Etiketten werden lediglich mittels Düsen abgesaugt. Üblicherweise findet keine Trocknung der Scherben statt (nasse Aufbereitung).
- V2: Einsatz eines mechanischen Etikettenentferners 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 & 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. Ein Anlagenaufbereiter gab an, dass diese Technik besonders vielversprechend für die Identifizierung von transparenten Ausgusseinsätzen 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 wenige Anlagen verwenden bisher NIR-Trenner in der Glasaufbereitungsanlage, weshalb diese Art von Sortiertechnik noch keine generelle Praxis darstellt. Anlagenaufbereiter gaben an, dass NIR-Trenner in den folgenden Jahren an Bedeutung gewinnen werden. Es sei geplant, diese Technik in mehreren Anlagen einzubauen. Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen kann kein Klarwert für die Varianten mit und ohne NIR-Trenner angegeben werden.

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; Martens & Goldmann, 2016). In diesem Schritt werden zudem weitere nicht lichtdurchlässige Komponenten, Scherben oder Partikel aussortiert. Dazu zählen beispielsweise Holz, 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 Grünglasstrom zugeführt, da dieser die meisten Fremdfarben aufnehmen kann. Fremdfarbige Glasscherben sowie Metalloxide können Verfärbungen in der Glasschmelze auslösen (Martens & 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.

Über sensorbasierte Sortiertechniken können hitzebeständige Glaskeramiken und bleihaltige Scherben (Bleiglas) aussortiert werden. Dabei sind verschiedene Verfahren im Einsatz, beispielsweise UV (Ultraviolett)- oder Röntgenfluoreszenzbasierte Detektionstechnologien. Mit diesen Techniken können einzelne chemische Elemente detektiert werden (REDWAVE, 2019). Ein Anlagenbauer gab an, dass die Erkennung von hitzebeständigen Glaskeramiken und bleihaltigen Gläsern auf den Elementen Zirkonium, Titan sowie Blei beruht. Fast alle Glasaufbereiter gaben an, 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 & Goldmann, 2016). Bleiglas, sonstige bleihaltige Gläser und Glaskeramiken werden im Mindeststandard in Spalte 5 im Anhang 1 als Materialien außerhalb der Spezifikation aufgeführt. Wir 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 3.9.4 eingegangen.

Mit den bisher verwendeten Techniken in den Glasaufbereitungsanlagen erfolgt keine Ausschleusung von Borosilikatglas. Borosilikatglas wurde in der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2022 von Spalte 5 des Anhang 1 (außerhalb der Spezifikation) in den Anhang 3 als Recyclingunverträglichkeit verschoben (ZSVR, 2022c). Einsatzgebiete sind beispielsweise Auflaufgeschirr, Teekannen, Vorratsbehältnissen für z. B. Gewürze oder Müsli, Laborgläsern oder Tee- und Grablichtern. Drei verschiedene Anlagenbauer teilten auf Nachfrage 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 und zu neuem Behälterglas verarbeitet. Einige Anlagen gaben zusätzlich an, dass das Feinkorn, welches nicht für die Hohlglasindustrie eingesetzt werden kann, als Glasschaum oder -wolle Anwendung findet.

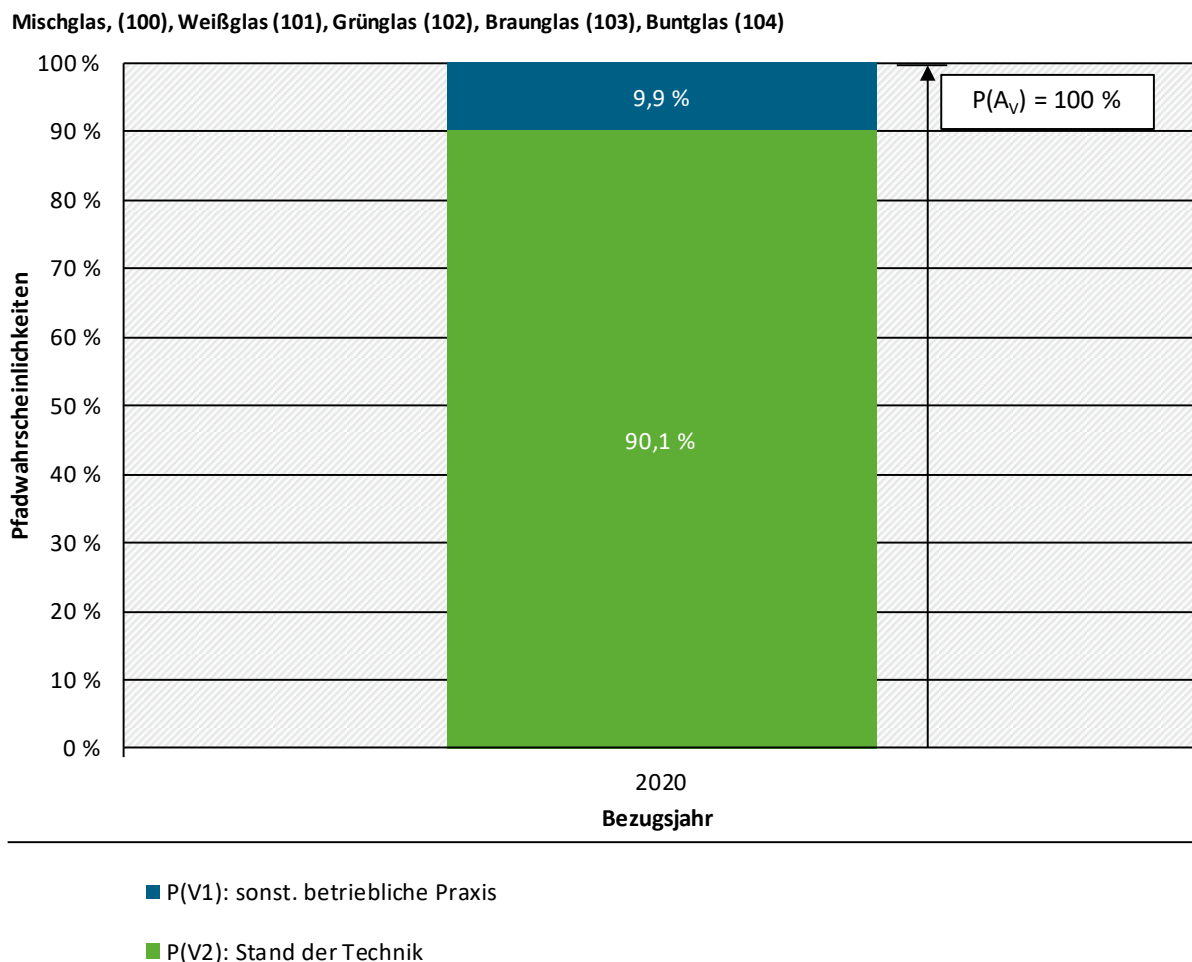
3.9.3 Ermittlung der Praxis der SuV für Behälterglas

Aus den Verwertungszuführungsmengen aus dem MSN 2020 kann $P(A_{SuV})$ für Behälterglas berechnet werden. Dieser beträgt für das Bezugsjahr 2020 in Summe 100 %. Die Verteilung auf die Pfade ist in Abbildung 26 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). Als Produktanwendung wurde von allen Glasaufbereitern Behälterglas genannt.

Die Variante V1, bei der die Anlage keinen mechanischen Etikettenentferner besitzt, wird als sonstige betriebliche Praxis eingestuft ($P(V1) = 9,9 \%$). Wir definieren V2 (Einsatz eines Etikettenentferners) als Stand der Technik. $P(V2)$ beträgt 90,1 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Verpackung auf eine Anlage trifft, die einen NIR-Trenner besitzt, beträgt $< 5 \%$. Für $P(V2)$ ist für das Jahr 2020 eine Abnahme des Anwendungsgrades um ca. 5 Prozentpunkte gegenüber 2020 zu verzeichnen. Dieser Verschiebung ist jedoch keine große Bedeutung zuzuschreiben, da einige Anlagen 2019 nicht befragt wurden bzw. andere Anlagen keinen Erhebungsbogen zurücksendeten.

Abbildung 26: Praxis der SuV für 2020 für Behälterglas



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

3.9.4 Einstufung problematischer Verpackungen und Komponenten bei der Verwertung

Die Erhebung bot den Glasaufbereitern die Möglichkeit, eine Einschätzung zur Relevanz problematischer Verpackungen und Komponenten zu geben, welche spezifische Probleme im Aufbereitungsprozess verursachen können. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 14 dargestellt. Als Basis dafür dienten die im Anhang 2 und Anhang 3 des Mindeststandards aufgeführten problematischen Verpackungsmerkmale und Recyclingunverträglichkeiten (ZSVR, 2021, S. 28 ff.). Zwei weitere potentielle Probleme („Barium aus Kristallglasverpackungen“ und „Ausguss-Einsätze aus Kunststoff“) wurden zusätzlich abgefragt. „Barium aus Kristallglasverpackungen“ war im Mindeststandard 2020 als Recyclingunverträglichkeit aufgelistet und wurde für den Mindeststandard 2021 gestrichen. Es sollte geprüft werden, ob dieser Punkt wieder relevant ist. „Ausguss-Einsätze aus Kunststoff“ wurden von Dehoust et al. als problematische Verpackungskomponente angegeben und deshalb im Erhebungsbogen abgefragt. Des Weiteren konnten von den antwortenden Glasaufbereitern zusätzliche Angaben (gelistet unter „Weitere Angaben“) zu problematischen Verpackungen und Komponenten gemacht werden. Diese konnten ebenso von den Aufbereitern hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden.

Tabelle 14: Einschätzung der Glasaufbereiter zu Unverträglichkeiten und problematischen Verpackungen bzw. Verpackungskomponenten (Gesamtanzahl an Referenzanlagen: 21)

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt	kein Problem	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		keine Angabe
				weitgehend gelöst	nicht gelöst	
Blei aus Kristallglasverpackungen			1	18	2	
Barium aus Kristallglasverpackungen	9	1	11			
Bügelverschlüsse mit ausschließlich nicht-ferromagnetischen Metallanteilen		1	1	3	17	
Glasverpackungen ohne Transparenz bzw. Transluzenz, z. B. lackierte Gläser		1	2	1	17	
Ausguss-Einsätze aus Kunststoff		3		3	15	

Weitere Angaben:

Einweg-Gewürzmühlen mit Keramik-Mahlwerk					1	
Krankenhaushäuser inkl. Verschlusskappen aus Aluminium					1	
Design-Kunststoffflaschen mit Glasoptik					2	
Schwer ablösbare Kunststoffetiketten					1	
Etiketten mit wasserfestem Klebstoff					3	

Problematische Verpackungen und Komponenten	Problem unbekannt	kein Problem	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		keine Angabe
				weitgehend gelöst	nicht gelöst	
<i>Etiketten mit geringer Permeabilität für Feuchtigkeit (z. B. lackierte Etiketten, Kunststoffetiketten)</i>					3	
<i>Steingut-Flaschen</i>					2	1
<i>Zu viele Etiketten und Werbung an den Flaschen</i>					2	
<i>Komplett folierte Gebinde (Sleeves) aufgeschrumpft</i>				3		
<i>Abnehmende Materialstärke / Dünnere Flaschen</i>					4	
<i>Schwarzes, dickes Glas</i>					1	
<i>Falsche Farbzuordnung am Glascontainer durch Sleeves</i>						3
<i>Verklebte Aluminiumbanderole am Flaschenhals</i>						3

Es ist festzustellen, dass die Angaben im Anhang 2 und 3 des Mindeststandards 2021 überwiegend von den Glasaufbereitern bestätigt werden. Wir empfehlen, diese weiterhin im Mindeststandard aufzulisten.

- Glasaufbereiter betrachteten Blei aus Kristallglasverpackungen (z. B. Behältnisse aus Kristallglas mit Bleioxid) überwiegend als weitgehend technisch gelöst. 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. Wir empfehlen deshalb Blei aus Kristallglasverpackungen weiterhin im Anhang 3 des Mindeststandards als Recyclingunverträglichkeit aufzuführen.
- Barium aus Kristallglasverpackungen war im Anhang 3 des Mindeststandards 2020 gelistet. Im Mindeststandard 2021 wurde es jedoch aufgrund geringer Relevanz entfernt. Die aktuelle Erhebung zeigt, dass Barium aus Kristallglasverpackungen aufgrund geringer Mengenrelevanz kein relevantes Aufbereitungsproblem darstellt. Wir empfehlen keine wiederholte Aufnahme dieses Punktes in den Mindeststandard.

- Das Problem „Bügelverschlüsse mit ausschließlich nicht-ferromagnetischen Metallanteilen“ (z. B. in Getränkeflaschen oder Einweckgläsern) wurde von 17 der 21 Anlagenbetreiber als nicht gelöst betrachtet. Darüber hinaus bezeichneten 7 der 21 Anlagenbetreiber diese Fraktion im Textfeld „Bemerkungen“ als problematisch. Ein Aufbereiter gab an, dass Edelstahl jährlich zu 10 – 12 Reklamationen der Ware von den Glashütten führt. 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 teilten zwei Glasaufbereiter mit, dass sich die Bügelverschlüsse ineinander verhaken oder in den Anlagen hängen bleiben. Es werde i. d. R. versucht, die Verschlüsse vorab manuell auszusortieren. Wir empfehlen diese Unverträglichkeit weiterhin im Mindeststandard Anhang 3 aufzulisten.
- Glasverpackungen ohne Transparenz bzw. Transluzenz, wie beispielsweise lackierte oder beschichtete Glasverpackungen sind im Anhang 2 des Mindeststandards 2021 aufgeführt und wurden von 17 der 21 Glasaufbereiter als nicht gelöstes Problem angesehen. 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. Möglicherweise kann hierzu zukünftig ein Grenzwert hinsichtlich der Lichtdurchlässigkeit angegeben werden. Wir empfehlen dieses Gestaltungsmerkmal weiterhin im Mindeststandard Anhang 2 aufzulisten.
- Das Problem von Ausguss-Einsätzen aus Kunststoff wurde von 15 der 21 Anlagenbetreiber als nicht gelöst betrachtet. Zu den Ausguss-Einsätzen aus Kunststoff zählen beispielsweise Gummistopfen von Infusionsflaschen oder Kunststoffausgießer in Flaschen (z. B. Ölflaschen). Ausguss-Einsätze können durch optische Sortiergeräte, aber auch durch die Absaugung abgetrennt werden. Diese Störstoffe verursachen einen erheblichen Glasverlust, da Glasanteile zusammen mit den Ausgießern ausgeschleust werden. Insbesondere transparente Ausguss-Einsätze stellen ein Problem dar, da sie durch die Transparenz über das Durchlichtverfahren nicht detektiert werden können. Das Problem der Ausguss-Einsätze wäre mit NIR-Sensoren lösbar, jedoch besitzen bisher nur wenige Anlagen NIR-Technik zur Identifikation von Kunststoffen. Aufbereiter gaben an, 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). Wir schlagen vor, die Aufnahme von Kunststoff-Einsätzen in den Mindeststandard im EK III zu prüfen.

Wir empfehlen, einige der folgenden zusätzlichen Angaben der Glasaufbereiter zu berücksichtigen und mit den relevanten Akteuren im EK III zu erörtern. Der Großteil der Angaben betrifft einen erheblichen Materialverlust und hohen Sortieraufwand, jedoch keine Recyclingunverträglichkeit, die als K.O.-Kriterium verstanden werden kann und zu Problemen in den Fertigprodukten führen kann:

- Einweg-Gewürzmöhlen 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. Dieser Punkt wurde bereits im EK III eingebracht. In der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2022 wurde die folgende

Formulierung im Anhang 3 aufgenommen: „Glasverpackungen mit Keramikkomponenten“ (ZSVR, 2022c).

- ▶ Krankenhausgläser inkl. Verschlusskappen aus Aluminium werden gemäß eines Anlagenbetreibers aufgrund der kleinen Verpackungsgröße oft nicht im Walzenbrecher zerkleinert und sind damit schwer auszuschleusen. Dieser Punkt wurde bereits in den EK III eingebracht.
- ▶ Design-Kunststoffflaschen mit Glasoptik werden gemäß zweier Anlagenbetreiber aufgrund der Transparenz und Optik in der manuellen Vorsortierung als Glas fehldeklariert. Die Kunststoffflaschen werden nicht im Brecher zerkleinert und können zu Verstopfungen in den Aufbereitungsanlagen führen. Da es sich hier um einen Fehlwurf aus einem anderen Werkstoff handelt, sprechen wir keine Empfehlung einer Aufnahme in den Mindeststandard aus.
- ▶ 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. Etiketten mit wasserfestem Klebstoff sowie geringer Permeabilität für Feuchtigkeit (wie z. B. Kunststoffetiketten oder lackierte Etiketten) wurden von jeweils drei Altglasaufbereitern als problematisch eingestuft. Des Weiteren sei ebenso die Kombination aus beiden eben genannten Etiketten-Klebstoff-Kombinationen möglich. Ein weiterer Aufbereiter gab schwer ablösbare Kunststoffetiketten als nicht gelöstes Problem an. 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. 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. NIR-Trenner ermöglichen die Detektion von Etiketten auf Scherben, sodass diese in einer nachfolgenden Stufe („Recovery-Stufe“) die mechanische Etikettenentfernung (nochmals) durchlaufen können. Bisher verwenden nur wenige Aufbereiter diese Technik. Die genannte Problematik wurde bereits im EK III eingebracht. In der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2022 wurde die folgende Formulierung unter 4.2 aufgenommen: „Bei mit Kunststoffhaftetiketten versehenen Glasverpackungen ist der von diesen Etiketten abgedeckte Glasanteil nicht dem verfügbaren Wertstoffanteil zuzurechnen, sofern es sich um wasserfeste/hydrophobe Haftetiketten handelt.“ (ZSVR, 2022c)
- ▶ Steingut-Flaschen (gehören zum Werkstoff Keramik) zählen i. d. R. zu den systembeteiligungspflichtigen Verpackungen, gehören allerdings nicht in die Altglassammlung. 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 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. Wir empfehlen, Keramikverpackungen in der folgenden Einleitung des Anhang 1 des Mindeststandards zusätzlich mit aufzuführen: „Für nicht genannte Verpackungstypen und Werkstoffe (vgl. Spalte 1 in Verbindung mit Spalte 2), wie z. B. biologisch abbaubare Kunststoffe oder Naturmaterialien wie Holz, ist grundsätzlich vom Fehlen einer Recyclinginfrastruktur auszugehen. Sie werden üblicherweise im Sortierprozess nicht

entnommen, erfahren deshalb kein Recycling und sind grundsätzlich als nicht recyclingfähig einzustufen.“ (ZSVR, 2021a, Anhang 1)

- ▶ Aufgeschrumpfte komplett folierte Gebinde (Sleeves) 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 Komplet-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 (diese Problematik wurde von 3 der 21 Anlagenbetreiber genannt). Es ist weiterhin zu beachten, dass der Kunststoff des ausgeschleusten Sleeves nach dem derzeitigen Stand der Praxis der SuV werkstofflich nicht verwertet wird. Wir empfehlen zunächst Untersuchungen in Glasaufbereitungsanlagen durchzuführen, um den Ausschuss bei Vorhandensein verschiedener Sleeves zu quantifizieren. Die eben beschriebene Problematik der Sleeves wurde bereits in den EK III eingebracht.
- ▶ Abnehmende Materialstärke bzw. dünnere Flaschen können zu einem größerem Feinkornanteil führen und somit die Ausbeute für die Glashütte verringern. Hier besteht ein Spannungsfeld zwischen Materialeinsparung und Design für ein möglichst optimales Recycling. Wir empfehlen diesen Aspekt nicht im Mindeststandard darzustellen, da er kein Problem darstellt, dass sich im Mindeststandard abbilden lässt.
- ▶ Schwarzes dickes 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 Anhang 2 (ZSVR, 2021a, Anhang 2).

3.10 Verwertung von Verpackungen aus Eisenmetallen

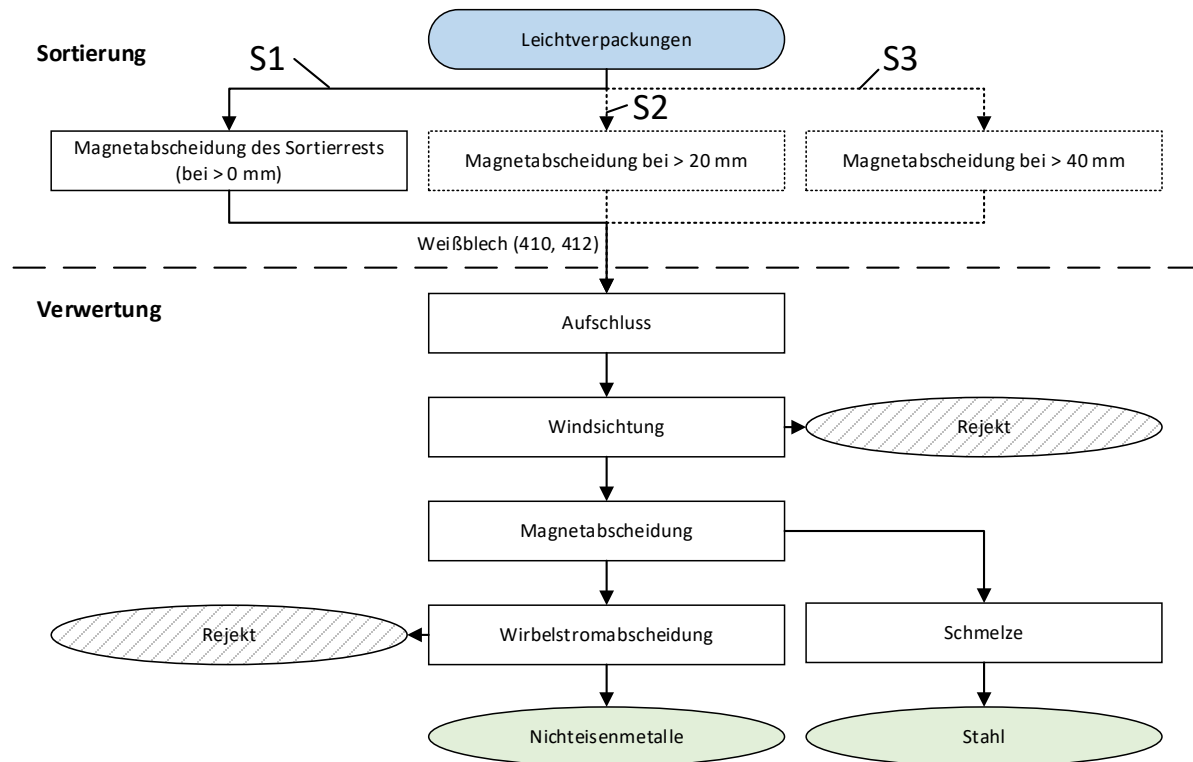
3.10.1 Pfadbeschreibung

Abbildung 27 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Verpackungen aus Eisenmetallen. Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bildet die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021). Auf eine Befragung von Verwertern von Eisenmetallen wurde wiederholt wie im Bericht von Dehoust et al. verzichtet. Grund dafür ist, dass keine erheblichen Unterschiede zwischen den Verwertungsanlagen bestehen. 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 Feinabsiebung 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). Unterschiede liegen hierbei in der Feinabsiebung. 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 oder 30 mm absieben (S2) sowie Anlagen, die den Trennschnitt bei 40 mm – 60 mm durchführen (S3) und den Sortierrest keiner Magnetabscheidung unterziehen.

Der mechanische Aufschluss durch Zerkleinerer ermöglicht eine Separation von Nichteisenmetallen (insbesondere Aluminium) sowie Etiketten, Kunststoffen und Verschmutzungen. Dieser Prozess wird auch als „Shreddern“ bezeichnet. Über Windsichtung können lose Etiketten abgetrennt werden. Eine Magnetausscheidung ermöglicht die Separation der Eisenmetalle und eine Wirbelstromabscheidung sorgt für die Abtrennung der Nichteisenmetalle. Die separierten Eisenmetalle werden bei der Stahlerzeugung eingesetzt (Dehoust et al., 2021).

Abbildung 27: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Verpackungen aus Eisenmetallen



Legende und Erläuterung

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

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

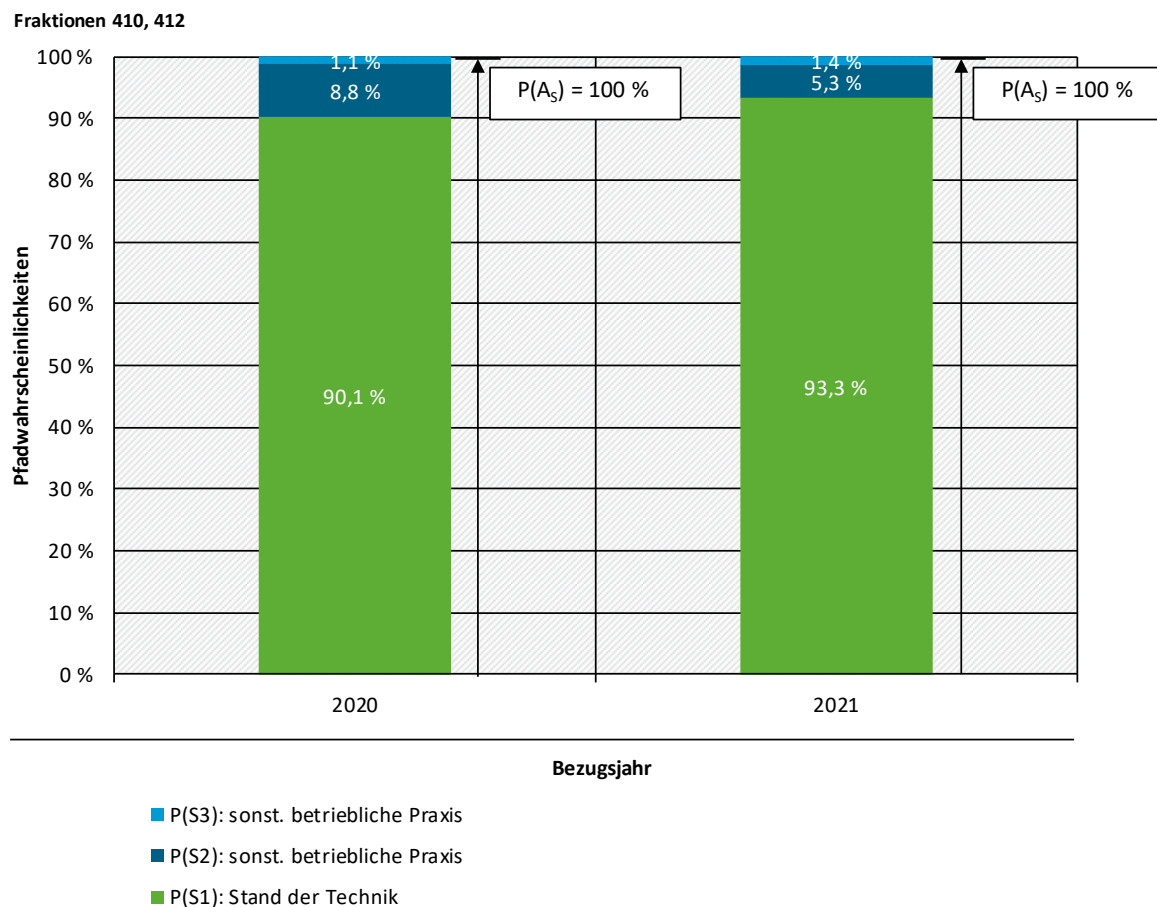
3.10.2 Ermittlung der Praxis der SuV für Verpackungen aus Eisenmetallen

Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer kann $P(A_S)$ für Verpackungen aus Eisenmetallen berechnet werden. $P(A_S)$ beträgt für das Bezugsjahr 2020 in Summe 100 %. Die Verteilung der Mengen ist in Abbildung 28 dargestellt.

$P(S1)$ beträgt im Jahr 2020 90,1 % und in 2021 93,3 % und beschreibt die Wahrscheinlichkeit für Variante V1, bei der der Sortierrest einer Magnetausscheidung unterzogen wird. Wir

definieren wie Dehoust et al (Dehoust et al., 2021) die Variante S1 als Stand der Technik, da diese Variante unabhängig vom Verpackungsformat ist. P(S1) lag im Bericht von Dehoust et al. für 2019 bei 85,3 %. Die Wahrscheinlichkeit dieser Variante hat demnach um einige Prozentpunkte zugenommen. Dies bedeutet, dass ein größerer Anteil der LVP-Menge auf Anlagen trifft, die den Sortierrest einer Magnetabscheidung unterziehen. P(S2) ist 8,8 % in 2020 und 5,3 % in 2021. Bei Variante S2 findet eine Feinkornabsiebung bei 20 mm oder 30 mm statt und der Sortierrest durchläuft keine Magnetabscheidung. P(S3) ist 1,1 % in 2020 und 1,4 % in 2021. Bei Variante V3 findet eine Feinkornabsiebung bei 40 mm – 60 mm statt und der Sortierrest durchläuft keine Magnetabscheidung.

Abbildung 28: Praxis der Sortierung für 2020 für Verpackungen aus Eisenmetallen



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

3.11 Verwertung von Verpackungen aus Aluminium

3.11.1 Pfadbeschreibung

Abbildung 29 zeigt die Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Verpackungen aus Aluminium. Die Grundlage für die Pfadbeschreibung und den Text dieses Abschnitts bildet die Publikation UBA-TEXTE 11/2021 (Dehoust et al., 2021). Auf eine Befragung von Verwertern von Aluminium wurde wiederholt wie im Bericht von Dehoust et al. verzichtet. Grund dafür ist, dass keine erheblichen Unterschiede zwischen den Verwertungsanlagen bestehen. Die

Unterschiede liegen in den unterschiedlichen Ausführungen der Feinabsiebung in den LVP-Sortieranlagen. Gemäß Dehoust et al. werden nicht nur Dosen, Schalen, Tuben und Verschlüsse aus Aluminium der Aluminiumfraktion zugeordnet, sondern auch Verbunde auf Aluminiumbasis sowie aluminiumfolienhaltige Verbundverpackungen (Dehoust et al., 2021; Institut cyclos-HTP GmbH, 2021). Ausnahmen sind gemäß des Mindeststandards Becher mit Aluminiumplatinen sowie mit Aluminium metallisierte Verpackungen (z. B. Beutel für Chips). Diese seien gemäß Dehoust et al. „keine aluminiumhaltigen Verpackungen im Sinne der 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 & Goldmann, 2016).

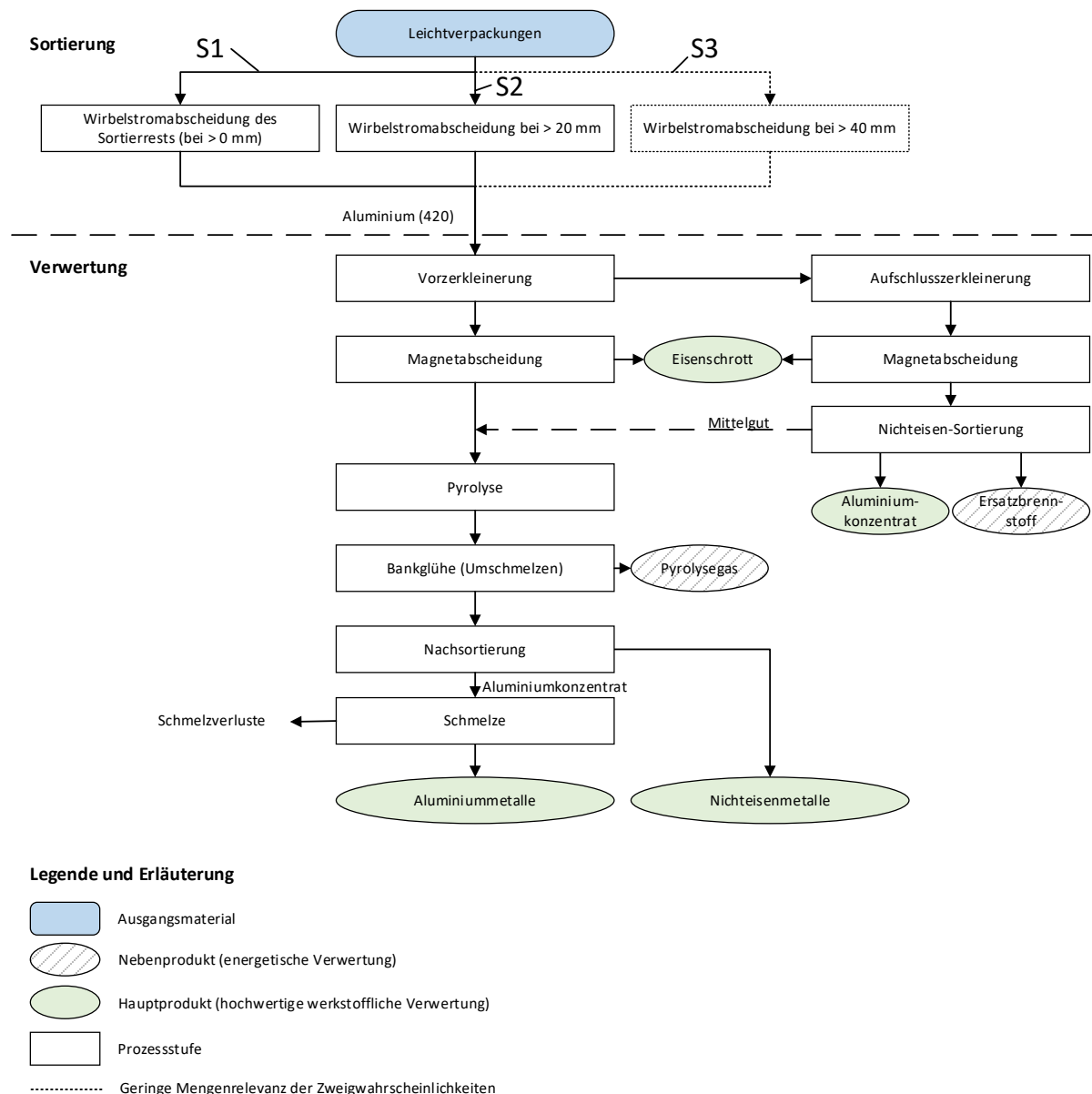
In LVP-Sortieranlagen wird Aluminium über Wirbelstromabscheidung aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit abgetrennt und als Fraktion als Ballen bereitgestellt. Hierbei werden auch Verbundverpackungen mit Aluminium aussortiert. Unterschiede liegen insbesondere in der Feinabsiebung. Es werden drei verschiedene Sortierprozessvarianten unterschieden. Es gibt Anlagen, die Aluminium bei einer Maschenweite von 20 mm oder 30 mm absieben (S2) sowie Anlagen, die bei 40 mm – 60 mm absieben (S3). Anlagen, die auch den Sortierrest noch einer Wirbelstromabscheidung unterziehen werden der Sortierprozessvariante S1 zugeordnet.

Gemäß Dehoust et al. existieren zwei verschiedene Verwertungsprozessvarianten. Ein Teil der Aluminiumfraktion wird an Pyrolyseanlagen gesendet. Dort wird die Aluminium-Fraktion über einen Shredder zerkleinert und einer Magnetabscheidung und Windsichtung unterzogen. In der anschließenden Pyrolyse werden die organischen Anhaftungen, wie z. B. Lacke, Etiketten, Beschichtungen oder Essensreste verschwelt und in Pyrolysegas und Koks umgewandelt (GDA, 2017). Die Pyrolyse findet bei 450 °C – 500 °C (GDA, 2017) statt und wird unter Ausschluss von Sauerstoff durchgeführt. In einer Nachsortierung werden Nichteisenmetalle entfernt. Das Endprodukt sind Aluminium-Konzentrate, die in einer Schmelze umgeschmolzen werden und anschließend als Aluminium-Rezyklat bereitgestellt werden (Dehoust et al., 2021; Martens & Goldmann, 2016).

Mechanische Verfahren stellen eine alternative Verwertungsoption dar. Dort beginnt der Prozess 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 in ein Zementwerk gegeben werden kann. Das Mittelgut wird laut Dehoust et al. anschließend an Pyrolyseanlagen geliefert und dort umgeschmolzen. Es kann aber auch ein mechanischer Feinaufschluss durchgeführt werden, in dem Aluminium aus Schichtverbunden herausgelöst werden kann (Dehoust et al., 2021).

FKN mit Aluminiumanteil werden bisher von den LVP-Sortieranlagen nicht in die Aluminiumfraktion, sondern in die FKN-Fraktion sortiert. Somit werden überwiegend die Papierfasern recycelt und nicht der Aluminiumanteil (Martens & Goldmann, 2016). Es sind jedoch Lösungen geplant, um den Aluminiumanteil aus FKN zukünftig hochwertig werkstofflich zu verwerten (Palurec GmbH, o. J.).

Abbildung 29: Schematische Darstellung der Pfadbeschreibung für die Sortierung und Verwertung von Verpackungen aus Aluminium



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

3.11.2 Ermittlung der Praxis der SuV für Verpackungen aus Aluminium

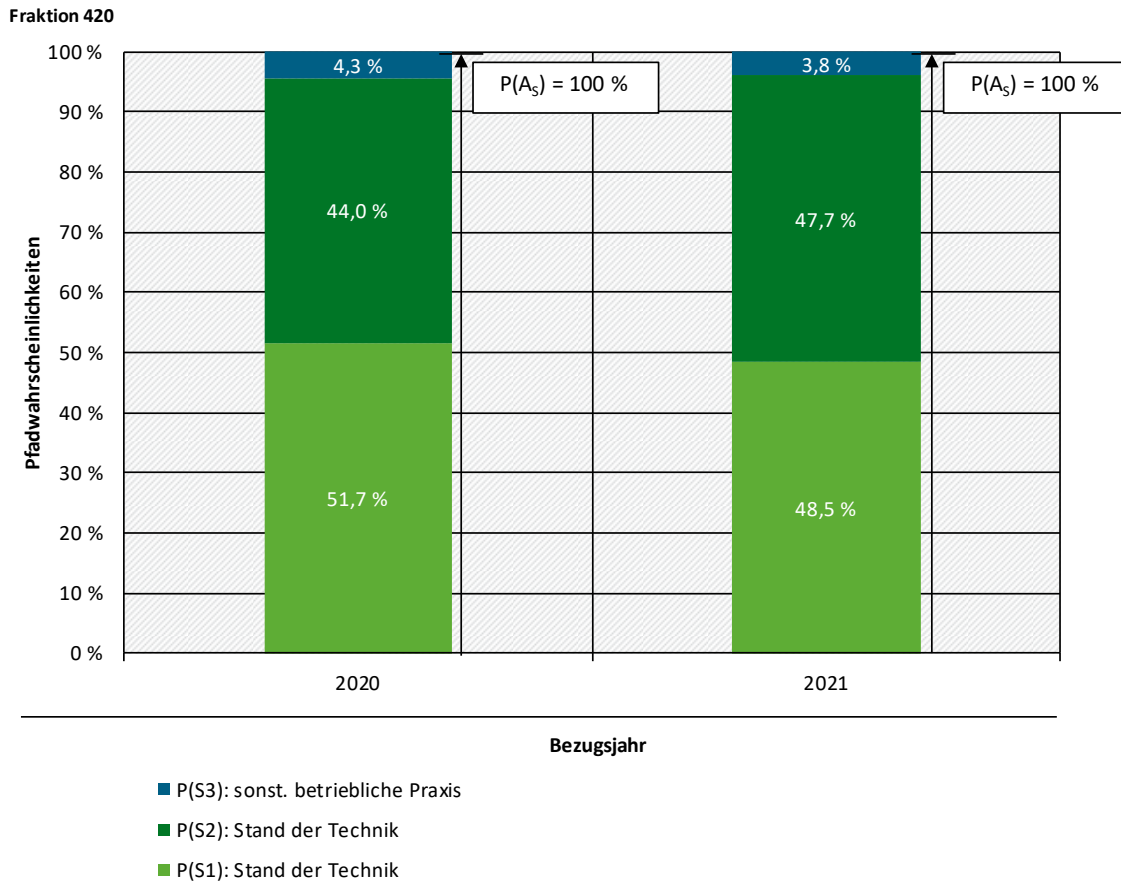
Aus den Verarbeitungsmengen der LVP-Sortierer kann $P(A_S)$ für Verpackungen aus Aluminium berechnet werden. $P(A_S)$ beträgt für das Bezugsjahr 2020 in Summe 100 %. Die Verteilung der Mengen ist in Abbildung 30 dargestellt.

$P(S1)$ beträgt im Jahr 2020 51,7 % und in 2021 48,5 % und beschreibt die Wahrscheinlichkeit für Variante V1, bei der auch der Sortierrest einer Wirbelstromabscheidung unterzogen wird. Wir definieren wie Dehoust et al die Varianten S1 und S2 als Stand der Technik, da diese Varianten unabhängig vom Verpackungsformat sind. $P(S2)$ ist 44,0 % in 2020 und 47,7 % in 2021. Bei Variante S2 findet eine Feinkornabsiebung bei 20 mm oder 30 mm statt und der Sortierrest durchläuft keine Wirbelstromabscheidung. $P(S3)$ ist 4,3 % in 2020 und 3,8 % in 2020. Bei Variante S3 findet eine Feinkornabsiebung bei 40 mm – 60 mm statt und der

Sortierrest durchläuft keine Wirbelstromabscheidung (Dehoust et al., 2021). Die Varianten S1 und S2 sehen wir als Stand der Technik an, da diese Varianten unabhängig vom Verpackungsformat sind.

P(S1) lag im Bericht von Dehoust et al. bei 41,0 % und P(S2) bei 57,7 %. P(S1) hat demnach im Vergleich um ca. 8 bis 10 Prozentpunkte zugenommen. P(S2) hat um 10 bis 14 Prozentpunkte abgenommen, aber P(S3) lag 2019 bei 1,3 % und ist in 2020 und 2021 um ca. 3 Prozentpunkte gestiegen.

Abbildung 30: Praxis der Sortierung für 2020 für Verpackungen aus Aluminium



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

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 Anhang 1 des Mindeststandards diskutiert. Im Mindeststandard 2021 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, 2021a). Die Abgrenzungskriterien der Spalten 3A, 3B und 3C sind im Abschnitt 2.4 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: $P(A_{SuV}) \leq 20 \%$.

Die final berechneten Anwendungsgrade $P(A_{SuV})$ bzw. $P(A_V)$ für PPK und Behälterglas bzw. $P(A_S)$ für Fe-Metalle, Aluminium und EPS sind in Tabelle 15 dargestellt. Wir empfehlen anhand unserer Ergebnisse, im Anhang 1 des Mindeststandards 2022 gegenüber 2021 keine Änderungen für Fraktionen vorzunehmen (symbolisiert durch „=“ in Spalte 3).

Tabelle 15: Anwendungsgrade in Bezug zu Anhang 1 des Mindeststandards

Werkstoff der Hauptkomponente und/oder Verpackungstyp, Fraktionsnummern	$P(A_{SuV})$ für 2020 in %	Spalte in Anhang 1 Mindeststandard
Kalk-Natron-Behälterglas: 100, 101, 102, 103, 104, 105	100	3A (=)
PPK (PPK aus dem Blauen System): 1.01, 1.02, 1.03, 1.04, 5.01, 1.11.01, 4.03	99,2	3A (=)
FKN: 510, 512	97,3	3A (=)
Kunststoffhohlkörper > 5 Liter (aus PE oder PP): 322, 324-X, 329-X, 323, 351-X	96,3	3A (=)
PP, formstabile und halbstarre Kunststoffverpackungen ≤ 5 Liter: 324-X, 323, 351-X (ohne 322)	92,4	3A (=)
PE, formstabile und halbstarre Kunststoffverpackungen ≤ 5 Liter: 329-X, 323, 351-X (ohne 322)	92,4	3A (=)
Kunststofffolien / LDPE-Folien: 310, 310-1	81,3	3A (=)
PS, formstabile und halbstarre Kunststoffverpackungen: 331, 351-X	62,2	3B (=)

Werkstoff der Hauptkomponente und/oder Verpackungstyp, Fraktionsnummern	P(A _{SuV}) für 2020 in %	Spalte in Anhang 1 Mindeststandard
PE und PP, flexible Kunststoffverpackungen (PO-flex und MPO): 323-2, 323	30,3	3B (=)
Stahl, Eisenmetall-(Verbund)-Verpackungen: 410, 412	100	3A (=)
Aluminium und aluminiumhaltige Verpackungen: 420	100	3A (=)
EPS: 340	0 (2021: 0)	3C (=)
PET-Flaschen, transparent aus PET-A: 325, 328-1, 328-2, 328-3, 328-5, 328-6 (Spannbreite gibt den Worst Case und Best Case der Anteile in den Fraktionen an) ohne Pfand	73,2 – 83,0	3A (=) (Erklärung zur Zuordnung im Text)
Sonstige formstabile PET-Verpackungen aus PET-A: 328-5, 328-6, 328-1, 328-2, 328-3 (Spannbreite gibt den Worst Case und Best Case der Anteile in den Fraktionen an)	2,6 – 25,3	3C (=) (Erklärung zur Zuordnung im Text)
PPK aus LVP: 550	57,3	3B (=)

Erläuterung der Symbole in der 3. Spalte gegenüber den Angaben im Anhang 1 des Mindeststandards 2021: ↓ : Verschlechterung; ↑ : Verbesserung; = : keine Änderung

Für Behälterglas, Eisenmetalle und Aluminium liegen die Anwendungsgrade bei 100 %. Für PPK aus dem Blauen System, FKN, Kunststoffhohlkörper > 5 Liter, PP und PE liegt P(A_{SuV}) über 90 %. Aus den Berechnungen folgt eine Zuordnung der eben genannten Fraktionen in Spalte 3A im Anhang 1 des Mindeststandards. Des Weiteren können Kunststofffolien weiterhin in Spalte 3A verbleiben, da der Anwendungsgrad knapp über 80 % liegt. P(A_{SuV}) für PS liegt ungefähr bei 60 %, womit PS weiterhin in Spalte 3B verbleibt. P(A_{SuV}) für MPO und PO-flex hat gegenüber 2019 minimal zugenommen (2019: 26,3 %) und verbleibt ebenso in Spalte 3B. Für EPS besteht, wenn über das gelbe System erfasst, kein Sortier- und Verwertungspfad. P(A_S) für EPS beträgt in den Jahren 2020 und 2021 0 %. Folglich sollte EPS weiterhin in Spalte 3C verbleiben.

Für transparente PET-Flaschen und sonstige formstabile PET-Verpackungen wurde eine Spannbreite zwischen Worst Case und Best Case berechnet (siehe Abschnitte 2.2 und 3.6). Die Spannbreite für P(A_{SuV}) für transparente PET-Flaschen liegt sowohl unter als auch über 80 % (73,2 % – 83,0 %). Da der abgedeckte Mengenanteil der Rückläufe aus der Befragung für die Fraktion 325 („PET-Flaschen“) nur bei 30 % liegt, ist es anhand der Erhebung nicht möglich, hier eine repräsentative Zuordnung zu treffen. Wir empfehlen, transparente PET-Flaschen im kommenden Mindeststandard 2022 weiterhin in Spalte 3A aufzulisten und die Datenbasis zu verbessern.

Die Spannbreite der P(A_{SuV}) für sonstige formstabile PET-Verpackungen (insbesondere PET-Schalen) liegt bei 2,6 % – 25,3 %. Aufgrund der folgenden Einschränkungen ist der Best Case unplausibel und wir empfehlen, sonstige PET-Verpackungen weiterhin in Spalte 3C zu belassen:

- Der Best Case mit $P(A_{SuV})$ 25,3 % ist nur erreichbar in einer speziellen Kombination von Anteilen an sonstigen PET-Verpackungen in den PET-Fractionen 328-1, -2, -3, -5 und -6. Alle anderen Kombinationen liegen unterhalb dieser Prozentzahl. Würden wir davon ausgehen, dass sonstige formstabile PET-Verpackungen nur in den Fractionen 328-5 und -6 hochwertig werkstofflich verwertet werden, wäre $P(A_{SuV})$ im unteren Bereich der Spannbreite.
- Einige Sortieranlagen gaben an, dass die Fraction 328-5 teils werkstofflich und teils energetisch verwertet wird. Die von diesen Anlagen generierten Sortierfractionen wurden trotzdem als ‚für eine werkstoffliche Verwertung bereitgestellt‘ gewertet.
- Die Obergrenze der genannten Spannbreite setzt voraus, dass sowohl Mono- als auch Multilayer-Schalen hochwertig werkstofflich verwertet werden. Die Einbeziehung von Multilayer-Schalen ist unplausibel, denn fast alle befragten PET-Verwerter gaben an, Multilayer-PET-Schalen vorab auszusortieren.

Die Fraction PPK aus LVP wird von einigen Papierfabriken gemeinsam mit Altpapierfractionen verarbeitet. Aufgrund geringer Anteile an PPK-Verbunden und Ausbringungsraten der Fraction PPK aus LVP liegt $P(A_{SuV})$ (ermittelt mit 57,3 %) vermutlich bei einem deutlich geringeren Wert, was methodisch derzeit nicht abgebildet werden kann. Diese Fraction weist gemäß verschiedener Anlagenbetreiber einen hohen Verschmutzungsgrad durch Füllgutanhaftungen und hohe Kunststoffanteile auf, welche ein Recycling erschweren und zu einer geringen Faserausbeute führen. Füllgutanhaftungen können zur Geruchsbildung und ggf. Schimmel- oder Schädlingsbefall führen. In der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2022 ist ein Einzelnachweis für faserbasierte Verbundverpackungen mit flüssigen und pastösen Füllgütern (außer FKN) angedacht (ZSVR, 2022c). Um Produktschutz zu gewährleisten, werden beispielsweise Nassfestmittel oder Beschichtungen verwendet, welche ein Recycling erschweren können. Es bedarf einer Weiterentwicklung der Methode, um die Realität der Verwertung für diese Fraction besser abzubilden und die genannten Kriterien zu berücksichtigen.

Für Verpackungen aus PVC, PA, PLA, PC, kompostierbaren Kunststoffen, Keramik (Steingut) sowie Kork als Verpackungskomponente und anderen eben nicht genannten Kunststoffen bestehen derzeit keine hochwertigen werkstofflichen Verwertungspfade. Bisher sind „biologisch abbaubare Kunststoffe“ und „Naturmaterialien wie Holz“ in der Einleitung des Anhang 1 als nicht recyclingfähige Verpackungen und Werkstoffe genannt. Wir schlagen vor, an dieser Stelle noch weitere eben genannte Beispiele zu nennen.

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 3 des Mindeststandards angegebenen Kriterien bestätigten. Die Sortierer und Verwerter machten teilweise auch zusätzliche Angaben, welche im vorherigen Kapitel 3 diskutiert wurden.

- Glasaufbereiter gaben Einweg-Gewürzmöhlen mit Keramik-Mahlwerk sowie schwer ablösbare Etiketten und wasserfeste Klebstoffe als Probleme an. Diese Ergebnisse wurden bereits in den EK III eingebracht. In der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2022 wurden Glasverpackungen mit Keramikkomponenten im Anhang 3 aufgenommen. Zudem wurde eine Formulierung aufgenommen, die besagt, dass der von Haftklebeetiketten abgedeckte Glasanteil nicht dem Wertstoffanteil zuzurechnen ist (ZSVR, 2022c). Wir

empfehlen zudem, die Aufnahme von Kunststoff-Einsätzen, Sleeves und Banderolen sowie Krankenhausgläsern inkl. Verschlusskappen aus Aluminium im EK III zu beraten.

- ▶ PPK-Verwerter sahen insbesondere Wachspapiere, nassfeste Papiere sowie verschiedene Beschichtungen oder Kaschierungen (Kunststoffe, Metalle) als problematisch an. Zu diesen Punkten gibt es bereits einige Formulierungen im Mindeststandard. Es gibt dennoch weiteren Klärungsbedarf im EK III. In der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2022 wird auf eine neue Prüfmethode der PTS (PTS-RH 025/2022) verwiesen (ZSVR, 2022c). Diese ermöglicht es, nicht-faserstoffhaltige Komponenten, die sich bei der Stofflösung im Wasser ablösen, quantitativ zu erfassen und bei der Berechnung der Faserstoffausbeute abzuziehen. Wie bei den Kunststoff-Verwertern wurden auch von den PPK-Verwertern Druckfarben als problematisch benannt. Dabei wurden UV-gehärtete Druckfarben, mineralöhlhaltige Druckfarben sowie Farben des Inkjet- und Flexodruckes genannt. Diese Druckfarben sind insbesondere bei der Verwertung von grafischen Papieren mit Deinkingprozess relevant. Dennoch sollte eine Bewertung der Relevanz für Verpackungspapiere durch den EK III erfolgen.
- ▶ Wir empfehlen, die Aufnahme von Netzen im Anhang 2 des Mindeststandards im EK III zu prüfen. In der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2022 wurden Netze im Anhang 2 aufgenommen (ZSVR, 2022c).
- ▶ Bisher sind keine Druckfarben im Mindeststandard aufgeführt. Wir empfehlen, eine Aufnahme bestimmter Substanzen, wie beispielsweise Nitrozellulose, zu prüfen.
- ▶ Bisher sind keine Grenzwerte für recyclingunverträgliche Stoffe im Mindeststandard aufgeführt. Sollte sich das zukünftig ändern, empfehlen wir eine Aufnahme eines evidenzbasierten Grenzwertes für EVOH.
- ▶ Wir empfehlen, die Aufnahme von PVDC- und PA-Schichten auch für PO im Anhang 3 des Mindeststandards zu prüfen.
- ▶ Wir schlagen vor, eine Konkretisierung für den Umgang mit konstruktionsbedingten Füllgutresten vorzunehmen. In der Konsultationsfassung des Mindeststandards 2022 wurden der Umgang mit konstruktionsbedingten Füllgutresten im Mindeststandard bereits konkretisiert und Beispiele aufgenommen (z. B. Silikone, Acrylate, Polyurethane) (ZSVR, 2022c).
- ▶ Die Entwicklung steigender Kunststoffapplikationen in FKN und die damit verbundene reduzierte Faserausbeute sollte in Zukunft weiter beobachtet werden. Obwohl es sich hierbei um keine Recyclingunverträglichkeit handelt, empfehlen wir dennoch, diese Problematik im EK III zu besprechen.
- ▶ Wir empfehlen, eine Aufnahme von PET-C-Etiketten/Sleeves bei den transparenten PET-Flaschen im Anhang 3 zu prüfen.

4.3 Exkurs: Stand der Praxis der Kunststoffverwertung

In Hinblick auf Anhang 2 und 3 des Mindeststandards stellt Tabelle 16 eine zusammenfassende Übersicht über den Stand der Praxis der Kunststoffverwertung anhand der durchgeführten Befragung dar. Detaillierte Beschreibungen zum Stand der Praxis sind im Kapitel 3 dargestellt. Ein Kreuz in Klammern (X) zeigt, dass nur einzelne Anlagen dieses Verfahren im Erhebungsbogen angegeben haben und die Mengenrelevanz dieser Verwertungsprozessvarianten gering ist. Für PET-Flaschen können alle Prozesse (außer

Lösemittelverfahren) als Stand der Technik und generelle Praxis eingestuft werden. Die meisten PET-Verwerter gaben Mahlgut als Endprodukt an. Weitere nachfolgende Schritte (Extrusion und Solid State Polymerisation) finden meist in anderen nachfolgenden Anlagen statt. Zerkleinerung, Trockenreinigung und/oder Kaltwäsche, Schwimm-Sink-Trennung sowie Extrusion mit Schmelzefiltration können in den Verwertungsanlagen vorausgesetzt werden. Einige Verwerter von Kunststofffolien sortieren PP-Folien vor, um eine höhere Reinheit an LDPE-Folien zu generieren. Es gibt PE- und PP-Verwerter, die angaben, Verpackungen nach Farbe vorzusortieren. Einige Nicht-PET-Verwertungsanlagen machten zudem die Angabe, eine Mahlgut-Nachsortierung durchzuführen.

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. Lösemittelverfahren werden bei den befragten Kunststoffrecyclinganlagen in den Jahren 2020/2021 nicht angewendet.

Tabelle 16: Stand der Praxis der Verwertung von Kunststoffen aus den Ergebnissen der Erhebungsbögen

Verfahren	Funktion	Stand der Praxis in Verwertungsprozessen aus den Ergebnissen der Erhebungsbögen					
		PET	PE	PP	PS	LDPE-Folien	MPO
Sensorbasierte Vorsortierung nach Kunststoffart	Abtrennung von Fremdkunststoffen, Verbesserung der Eigenschaften des Endproduktes	X				(X)	
Sensorbasierte Farbsortierung der Verpackungen	Erhöhung des Einsatzspektrums, Einsatz des Rezyklats in farbsensiblen Anwendungen	X	(X)	(X)			
Zerkleinerung	Zerkleinerung zu Mahlgut, Vorbereitung zur Granulierung	X	X	X	X	X	X
Trockenreinigung oder Kaltwäsche	Reinigung der Oberfläche	X	X	X	X	X	X
Heißwäsche (ggf. unter Zugabe von Natronlauge und Detergenzien)	Reinigung der Oberfläche, Geruchsminderung	X	(X)	(X)		(X)	(X)
Schwimm-Sink-Trennung	Separation von Mahlgut aus Fremdkunststoffen	X	X	X	X	X	(X)

Verfahren	Funktion	Stand der Praxis in Verwertungsprozessen aus den Ergebnissen der Erhebungsbögen					
		PET	PE	PP	PS	LDPE- Folien	MPO
Trocknung (mechanisch und/oder thermisch)	Entfernung von Feuchtigkeit, Vorbereitung für Extrusion	X	(X)	X		X	
Mahlgut-Nachsortierung	Nachsortierung (meist nach Farbe)	X	(X)	(X)		(X)	
Extrusion mit Schmelzefiltration	Umschmelzen	X	X	X	X	X	
Solid State Polymerisation (SSP)	Einstellung Kristallisations- und Polymerisationsgrad	X					
Lösemittelverfahren	Fraktionierung auf Polymerebene						

Quelle: Tabelle auf Grundlage von Christiani, 2021

5 Quellenverzeichnis

ALBA Group plc & Co. KG. (2019). Der Zen-Roboter aus Leipzig. <https://inside.albagroup.de/der-zen-roboter-aus-leipzig/> (29. Juli 2022)

Blechschmidt, J. (2011). Altpapier: Regularien – Erfassung – Aufbereitung – Maschinen und Anlagen – Umweltschutz. 1. Auflage. München, Wien. Carl-Hanser-Verlag GmbH & Co. KG.

Bothe, D. (2015). Mengenstromnachweis der Dualen Systeme – Analysen und Ergebnisse. Müll und Abfall. <https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2015.12.06>

Brunn, M. (2017). Die Roboter kommen langsam. In: ATEC Business Information GmbH [Hrsg.], Recycling Almanach 2017. München.

Bünemann, A., Christiani, J., Kerkhoff, M., & Koch, S. (2016). Folgenabschätzung einer Ausweitung der Pfandpflicht für Saft-Einwegverpackungen auf das PET-Recycling. Aachen: Institut cyclos-HTP GmbH. <https://www.htp.eu/app/download/14514317132/Folgenabsch%C3%A4tzung%20einer%20Ausweitung%20der%20Pfandpflicht%20f%C3%BCr%20Saft-%20Einwegverpackungen%20auf%20das%20PET-%20Recycling.pdf?t=1612425569> (30.08.2022)

BV Glas, BDE, & bvse. (2014). Leitlinie „Qualitätsanforderungen an Glasscherben zum Einsatz in der Behälterglasindustrie“ – Standardblatt T120.

bvse. (2021a). Palurec-Anlage zur Verwertung der Kunststoff-Aluminium-Anteile geht in Betrieb. <https://www.bvse.de/recycling/recycling-nachrichten/7161-palurec-anlage-zur-verwertung-der-kunststoff-aluminium-anteile-geht-in-betrieb.html> (22. Juni 2022)

bvse. (2021b). PrintCYC liefert wichtigen Input für „Design for Recycling“-Richtlinien – Forschung über den Einfluss von Druckfarben auf die Recyclingfähigkeit von Kunststofffolien. <https://www.bvse.de/gut-informiert-kunststoffrecycling/nachrichten-recycling/7970-printcyc-liefert-wichtigen-input-fuer-design-for-recycling-richtlinien.html> (19. Juli 2022)

Christiani, J. (2021). Wie können wir die Qualität von Kunststoffrezyklaten durch D4R, Sortierung und Aufbereitung steigern? Optionen und Notwendigkeiten. Gehalten auf der Der Grüne Punkt „Closed Loop-Design – Keine Angst vor Rezyklaten“. <https://www.cyclos-htp.de/app/download/7345413559/Wie%20k%C3%B6nnen%20wir%20die%20Qualit%C3%A4t%20von%20Kunststoffrezyklaten%20durch%20D4R,%20Sortierung%20und%20Aufbereitung%20steigern%20-%20Optionen%20und%20Notwendigkeiten.pdf?t=1661269116> (22. Juni 2022)

Christiani, J., & Beckamp, S. (2020). Was können die mechanische Aufbereitung von Kunststoffen und das werkstoffliche Recycling leisten? In Energie aus Abfall – Band 17. Neuruppin: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH.

Dehoust, G., Germann, A., Christiani, J., Bartnik, S., Beckamp, S., & Bünemann, A. (2021). Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-der-praxis-der-sortierung-verwertung-von> (22. Juni 2022)

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2014). Papier, Karton und Pappe – Europäische Liste der Altpapier-Standardsorten; Deutsche Fassung EN 643:2014. Beuth Verlag GmbH.

EuPIA. (2010). Kundeninformation: Leitfaden zur sicheren Verwendung von Cellulosenitrat-Druckfarben und verwandten Produkten. Frankfurt. https://www.eupia.org/fileadmin/user_upload/46_2011_Kundeninformation_Leitfaden_zur_sicheren_Verwendung_von_Cellulosenitrat.pdf (22. Juni 2022)

EuPIA. (2021). Printing inks and Plastic Recycling – Q & A. Brüssel.

https://www.eupia.org/fileadmin/user_upload/Printing_inks_and_Plastic_Recycling_-_Q_A.pdf (05. Mai 2022)

EUWID. (2021, Mai 3). Getränkekartons: Neue Palurec-Recyclinganlage nimmt offiziell den Betrieb auf.

<https://www.euwid-verpackung.de/news/unternehmen/recycling-von-kunststoff-und-aluminumresten-aus-getraenkekartons/> (22. Juni 2022)

Fachbereich Umweltschutztechnik. (2019). VDI-Richtlinie 2095 – Blatt 3. Emissionsminderung –

Abfallbehandlung – Anlagen zur Behandlung von Abfallgemischen aus der haushaltsnahen Wertstoffeffassung und von gemischten Gewerbeabfällen. Verein Deutscher Ingenieure e.V.

FH Campus Wien. (2020). Circular Packaging Design Guideline – Empfehlungen für recyclinggerechte

Verpackungen. Wien. https://www.fh-campuswien.ac.at/fileadmin/redakteure/Forschung/FH-Campus-Wien_Circular-Packaging-Design-Guideline_V04_DE.pdf (30. August 2022)

Friedl, C. (2022). PET-Recycling: Einfach ätzend.

<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/werkstoffe/pet-recycling-einfach-aetzend/> (17. Mai 2022)

Friedl, C. (2022). Zero Waste mit Ansage. RECYCLING magazin, 07/2022, S. 26 – 27.

GDA. (2017). Aluminium in der Verpackung – Herstellung, Anwendung, Recycling. Düsseldorf: Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V.

https://aluminiumdeutschland.de/files/_media/dokumente/Downloads/Fact%20Sheets/Verpackungen/GDA-Aluminium-in-der-Verpackung.pdf (13. Juli 2022)

Hahn, R. (2020, Februar 1). 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> (22. Juni 2022)

Hamidović, J. (1997). Industrielle Konzepte zum Altglasrecycling: Eine technisch-wirtschaftliche Analyse unter besonderer Berücksichtigung der Situation in Baden-Württemberg. Frankfurt am Main, New York: P. Lang.

Henning Glitza, K. (2021, Dezember 14). Pfandlösung empfohlen. <https://e-mag.press/pfandloesung-empfohlen/> (5. Mai 2022)

IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen 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> (13. Juli 2022)

Institut cyclos-HTP GmbH. (2021). Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit—Anforderungs- und

Bewertungskatalog des Institutes cyclos-HTP zur EU-weiten Zertifizierung CHI-Standard—Fassung 5.0. Aachen. <https://www.cyclos-htp.de/app/download/7233341859/Anforderungs-+und+Bewertungskatalog+Version+5.0.pdf?t=1654352412> (20. Juli 2022)

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. Heidelberg: IFEU.

https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/veranstaltungen/171025-nabu-01b_studie_verwendung-und-recycling-pet-deutschland.pdf (01. Juli 2022)

Kitzberger, C. (2017). Geruchsbildung hoch zwei – Post-Consumer-Rezyklate zur Geruchsverbesserung aufbereiten. Kunststoffe. Carl Hanser Verlag, München, 6/2017.

https://www.erema.com/assets/press/2017_06_ReFresher_Kunststoffe/EREMA_KU_2017_06.pdf (01. Juli 2022)

Knappe, F., Reinhardt, J., Kauertz, B., Oetjen-Dehne, R., & Buschow, N. (2021). Technische Potenzialanalyse zur Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/technische-potenzialanalyse-zur-steigerung-des> (23. Juli 2022)

KRS Recycling Systems GmbH. (o.J.). Separatoren – Separationstechnik für Glasrecyclinganlagen – SPEKTRUM SEPARATOR (Freifall System). <https://www.recyclingsystems.de/wp/> (25. Juli 2022)

Lindner, C., Hein, J., & Fischer, E. (2019). Aufkommen, Abfallströme und Verwertung von EPS Verpackungsabfällen in Deutschland. Präsentation. Bad Homburg: Conversio Market & Strategy GmbH. https://www.packform.de/fileadmin/packform/download/EPS-Abfallstroeme_in_D.pdf (20. Juli 2022)

Martens, H., & Goldmann, D. (2016). Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.

Nüßler, D. (2016). Schwarze Kunststoffe sortenrein trennen. Forschung kompakt. https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/presse-medien/2016/Juni/ForschungKompakt/fk_06_2016_FHR_IOSB_IAIS_Schwarze%20Kunststoffe%20sortenrein%20trennen.pdf (22. Juni 2022)

Palurec GmbH. (o. J.). Palurec GmbH – PE-Alu-Recycling gebrauchter Getränkekartons. <https://www.palurec.com/> (22. Juni 2022)

Pramer, J., & Huber, R. (2014). Neue Methoden zur Effizienzsteigerung von optischen Sortiergeräten am Beispiel der Glassortierung. In Recycling und Rohstoffe—Band 7 (S. 483–492). Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky.

PreZero. (2022). PreZero nimmt Europas modernste Sortieranlage für Leichtverpackungen in Betrieb. <https://prezero.de/presse/2022/prezero-nimmt-europas-modernste-sortieranlage-fuer-leichtverpackungen-in-betrieb> (28. Juli 2022)

RecyClass. (2021). Design for Recycling Guidelines. <https://recyclclass.eu/recyclability/design-for-recycling-guidelines/> (19. Juli 2022)

REDWAVE. (2019). REDWAVE XRF – Materialerkennung, -abscheidung und Qualitätskontrolle mittels Röntgen-Fluoreszenz-Spektrometer. Graz.

REDWAVE. (2022). REDWAVE CX – Leistungsstarke Farbsortierung und störstoffabscheidung für Glasrecycling. Graz.

Schmitz, H. (2019). BMU-Umweltinnovationsprogramm – Abschlussbericht – „Ressourcenschonung durch Steigerung der Sortiereffizienz bei der Aufbereitung von Verpackungsabfallgemischen“ (Fördernehmer/in: MEILO Gesellschaft zur Rückgewinnung sortierter Werkstoffe mbH & Co. KG). Gernsheim. https://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/2020-01/191125_abschlussbericht_meilo_final.pdf (05. Mai 2022)

Schneider, W. (2015). Wahrscheinlichkeiten. In W. Schneider [Hrsg.], Mathematik für die berufliche Oberschule. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

Tschachtli, S., Pitschke, T., Kreibe, S., & Martin, A. (2019). Recyclingfähigkeit von Verpackungen – Konkretisierung Untersuchungsrahmen und Kriterienkatalog. Augsburg: bifa Umweltinstitut. https://www.interzero.de/fileadmin/PDF/Broschueren_und_Informationsmaterial/530592_Recyclingfaehigkeit_Bewertungskatalog_v6_4_002_oeffentlicher_Download.pdf (05. Mai 2022)

Wünsch, J. (2021). Analyse der Auswirkungen der freiwilligen Einführung der Wertstofftonne durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger bis zum Jahr 2018 (Masterarbeit). Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg-Stendal.

ZSVR. (2021a). Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG. Osnabrück: Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister.

ZSVR. (2021b, November). Beiratsempfehlungen – Pfandlösung für dickwandige Gasdruckflaschen und -kartuschen (11/ 2021). <https://www.verpackungsregister.org/stiftung-behoerde/stiftung/beiratsempfehlungen> (15. Juni 2022)

ZSVR. (2022b). Datenübermittlung am 03.02.2022 (unveröffentlicht).

ZSVR. (2022c). Datenübermittlung am 04.05.2022 (unveröffentlicht).

ZSVR. (2022a). Konsultationsentwurf 2022 – Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG. Osnabrück: Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister.

A Erhebungsbögen

A.1 Erhebungsbogen LVP-Sortieranlagen

Fragebogen bitte ausgefüllt an

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6 – Frau Grummt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail: svenja.grummt@uba.de

Absender

Tel./E-Mail: _____

Code Nr. Sortieranlage (aus wme.fact)				
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 ²				
im Jahr 2020: t/a			Bemerkungen:	
im Jahr 2021: t/a				

² Wurde die Anlage in 2020 bzw. 2021 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 2019 bzw. 2020 aufbereitet wurden). Die Beantwortung der nachstehenden Fragen ist in diesem Fall entbehrlich. Für 2021 kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.
Erhebungsbogen LVP-Sortierung Seite | 1

2 Praktisch sortierbare Formate			
2.1 Bei welchem Trennschnitt bzw. bei welcher Maschinenweite erfolgt aktuell die Feinkornabtrennung mit dem Ziel der Störstoffabtrennung?			
20 mm ³	30 mm	40 – 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	Sonstige
☐	☐	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:			

³ inkl. Langlochmaschine ca. 20 x 40 mm.

3 Sortierfraktionen und jeweils maßgeblicher Sortierprozess			
3.1 Welche Sortierfraktionen zur stofflichen Verwertung werden von Ihnen in 2021 regelmäßig aussortiert und bereitgestellt?			
Fraktionsnummer	Bezeichnung	Ja, wird produziert	Bemerkungen, ggf. weiter spezifizieren
310	Kunststoff-Folien	☐	
320	Gemischte Kunststoff-Flaschen	☐	
321	PO-Kunststoff-Flaschen	☐	
322	Kunststoff-Hohlkörper	☐	
323	Gemischte Polyolefin-Artikel (MPO)	☐	
323-2	Flexible PO-Artikel	☐	
324	Polypropylen	☐	
324-1	Polypropylen-plus	☐	
325	PET-Flaschen transparent	☐	
328-1	Misch-PET (90/10)	☐	
328-2	Misch-PET (70/30)	☐	
328-3	Misch-PET (50/50)	☐	
328-5	PET-Schalen	☐	
329	Polyethylen	☐	
330	Becher	☐	
331	Polystyrol	☐	
340	Expandiertes Polystyrol	☐	
350	Mischkunststoffe	☐	
352	Mischkunststoffe Neu	☐	
351-1	Formstabile Kunststoffe Qualität 1	☐	
351-2	Formstabile Kunststoffe Qualität 2	☐	
351-3	Formstabile Kunststoffe Qualität 3	☐	
351-4	Formstabile Kunststoffe Qualität 4	☐	
351-5	Schwarze Kunststoffe	☐	
410/412	Weißblech, Weißblech Spez. 2014	☐	
420	Aluminium	☐	
510	Flüssigkeitskartons	☐	
512	Flüssigkeitskartons/Getränkekartons	☐	
550	PPK aus LVP	☐	

Sonstige bitte benennen:				
3.2 Welche Sortierverfahren wurden von Ihnen 2021 maßgeblich verwendet? ⁴				
Fraktionsnummer	Manuelle Sortierung	Mechanische Sortierung	Automatische Sortierung	Sonstige/Bemerkungen
310	☐	☐ Windsichtung	☐ NIR-Sortierung LDPE	☐
		☐ Ballistische Separation	☐ nur Großformate ☐ inkl. Kleinformate	
320	☐		☐ NIR-MKS	☐
321	☐		☐ NIR-MPO	☐
322	☐		☐ NIR-PE/PP	☐
323		☐ Windsichtung (nur Windsichterleichtgut, wenn als MPO bereitgestellt)	☐ NIR-MPO	☐
323-2		☐ Windsichtung (nur Windsichterleichtgut, wenn als MPO bereitgestellt)	☐ NIR-LDPE	☐
324			☐ NIR-KA	☐
324-1			☐ NIR-KA	☐
325	☐		☐ NIR-MPO	☐
328-1			☐ NIR-PET + manuelle Sortierung	☐
328-2			☐ NIR-PET + manuelle Sortierung	☐
328-3			☐ NIR-PET + manuelle Sortierung	☐
328-5			☐ NIR-PET + manuelle Sortierung	☐
329			☐ NIR-KA	☐
331			☐ NIR-KA	☐
340	☐			☐

⁴ 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“ immer dann ankreuzen, wenn die vorgeschlagenen Ankreuzmöglichkeiten nicht zutreffen.

Fraktionsnummer	Manuelle Sortierung	Mechanische Sortierung	Automatische Sortierung	Sonstige/Bemerkungen
350			☐ NIR-MKS	☐
351 (1-4)			☐ NIR-MKS	☐
351-5	☐		☐ Black Scan	☐
352			☐ NIR-MK	☐
410/412		☐ Magnetscheidung		☐
420		☐ Wirbelstromscheidung		☐
510			☐ NIR-FKN	☐
512			☐ NIR-FKN	☐
550	☐		☐ NIR-PPK	☐
Sonstige bitte benennen:				

4 Einschätzung zur Sortierbarkeit und Trennbarkeit

Welche Verpackungsmerkmale erschweren die Trennung und Sortierung in der sensorgestützten Sortierung?

Beschreibung		Problem unbekannt	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		kein Problem	Bemerkung
				weitgehend gelöst	nicht gelöst		
Kunststoffverpackungen	Großflächige Etikettierung (> 50 % der Oberfläche) mit Fremdmaterial	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fullsleeve-Etikettierung ⁵	☐	☐	☐	☐	☐	
	Multilayer-Aufbau (außer PE-/PP-EVOH)	☐	☐	☐	☐	☐	
	Metallisierung (außer innwändig/in der Mittelschicht metallisiert)	☐	☐	☐	☐	☐	

⁹ Bitte geben Sie an unter welchen Umständen Fullsleeve-Etiketten Probleme bereiten (z. B. Einfluss der Materialdicke).

Beschreibung		Problem unbekannt	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		kein Problem	Bemerkung
				weitgehend gelöst	nicht gelöst		
Kunststoffverpackungen	Dunkle Farbgestaltung unter Verwendung rußbasierter Pigmente (auch bei Verwendung in innenliegenden Layern)	☐	☐	☐	☐	☐	
	Unterschiedliche Kunststoffarten auf Vorder- und Rückseiten	☐	☐	☐	☐	☐	
	Großflächig (> 50 % der Oberfläche) aufgebrachte Metallpigmente (Lackierung, Beschichtung oder Prägung)	☐	☐	☐	☐	☐	
	Spezielle oder asymmetrische Verpackungsformen ⁶	☐	☐	☐	☐	☐	
PPK-Verpackungen und Verbunde auf PPK-Basis	Lackierte Oberfläche (außer klare Schutzlacke bis zu einer Lackstärke von ≤ 5 µm)	☐	☐	☐	☐	☐	
	Kunststoffbeschichtete Oberfläche	☐	☐	☐	☐	☐	
	Schwarz durchgefärbt unter Verwendung rußbasierter Pigmente	☐	☐	☐	☐	☐	
FKN	Vom Standardaufbau (nicht nassfest ausgerüsteter Karton, PE ± Alu) abweichende Ausführung	☐	☐	☐	☐	☐	
Gibt es sonstige kritische Verpackungsmerkmale (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand verursachen können)?							
Beschreibung	Aufgrund geringer Mengenrelevanz derzeit nicht bedeutend	Problem bekannt, technisch		Erläuterung			
		weitgehend gelöst	nicht gelöst				
	☐	☐	☐				
	☐	☐	☐				
	☐	☐	☐				

⁶ Bitte nennen Sie hier Beispiele für Verpackungsformen, wenn das ein Problem darstellt.
Erhebungsbogen LVP-Sortierung

A.2 Erhebungsbogen Verwertung von Kunststofffolien

Fragebogen bitte ausgefüllt an

Umweltbundesamt

z. Hd. III 1.6 – Frau Grummt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

E-Mail: svenja.grummt@uba.de

Absender

Tel./E-Mail: _____

Code Nr. Recyclinganlage (aus wme.fact)				
1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage				
1.1 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
☐	☐	☐	☐	☐
1.2 Die maximal mögliche Einsatzmenge für Kunststofffolien für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG unter Berücksichtigung qualitativer Erfordernisse an das Rezyklat in t/a betrug				
im Jahr 2020:		t/a	Bemerkungen:	
im Jahr 2021:		t/a		
1.3 Die tatsächliche Verarbeitungsmenge für Kunststofffolien für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug ¹				
im Jahr 2020:		t/a	Bemerkungen:	
im Jahr 2021:		t/a		

¹ Wurde die Anlage in **2020 bzw. 2021** nicht mehr betrieben und ist eine Wiederaufnahme des Betriebes für Systemmengen nicht mehr abzusehen, tragen Sie bitte in Feld unter Punkt 1.3 eine 0 ein (auch wenn noch Übertragungsmengen aus **2019 bzw. 2020** aufbereitet wurden). Die Beantwortung der nachstehenden Fragen ist in diesem Fall entbehrlich. Für **2021** kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

2 Input und Produkte				
2.1 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:				
gewaschenes Mahlgut	gereinigtes Agglomerat	Regranulat	Sonstige (z. B. Formteile)	
☐	☐	☐	☐	
Sonstige bitte näher erläutern:				
2.2 Werden im Recyclingprozess neben der Fraktion 310 noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland eingesetzt?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche (z. B. 323-2)?				
Fraktionsnummer/Bezeichnung	Separate Verarbeitung	Im Menü	Die Verarbeitungsmenge für Systeme nach §3(16) VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug	
			im Jahr 2020	im Jahr 2021 ²
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.3 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet:				
☐ keine Aussage / unbekannt ☐ Blasfolien ☐ Extrusionsfolien / Thermoforms ☐ Spritzguss ☐ Intrusionsprodukte ☐ Blasformen ☐ Sonstige (bitte benennen):				
2.4 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche?				
☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbefolien ☐ Produktionsabfälle ☐ Sonstige (bitte benennen):				

² Für 2021 kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

3 Prozesstechnik			
3.1 Wird die Folienfraktion zur Anreicherung von PE-Folien einer Vorsortierung auf PP-Folien unterzogen?			
☐ ja ☐ nein			
Falls ja, wie erfolgt die Vorsortierung?			
Manuell	NIR	Sonstige	
☐	☐	☐	
Sonstige bitte näher erläutern:			
3.2 Welche der folgenden Grundverfahren werden in 2021 realisiert?			
Grundverfahren	ja	nein	Bemerkungen
Zerkleinerung	☐	☐	
Wäsche/Reinigung	☐	☐	
Schwimm-Sink-Trennung bei 1 g/cm ³	☐	☐	
Schwimm-Sink-Trennung in Salzlösung bei ca. 1.08 g/cm ³	☐	☐	
Trocknung (thermisch)	☐	☐	
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐	☐	
Alternative und additive Prozessstufen (z. B. Nachsortierung mittels NIR oder Farbsortierung)	☐	☐	Falls ja, bitte Grundoperation angeben:
3.3 Welche Art 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 Verpackungskomponenten oder -ausführungen						
Welche gestalterischen Verpackungsattribute erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch?						
Beschreibung	Problem unbekannt	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		kein Problem	Bemerkung
			weitgehend gelöst	nicht gelöst		
Geklebte zellulosehaltige Etiketten, die sich unter Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
PE-X-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
PVDC-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
Sonstige Nicht-PE-Polymerschichten (außer Haftvermittler, Klebstoffe, PP, EVA, EVOH)	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht-Polymer-Schichten (außer SiO _x /AlO _x /Metallisierung)	☐	☐	☐	☐	☐	
Gibt es sonstige kritische Verpackungsattribute (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand verursachen können)?						
Beschreibung	Aufgrund geringer Mengenrelevanz derzeit nicht bedeutend	Problem bekannt, technisch		Erläuterung		
		weitgehend gelöst	nicht gelöst			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.3 Erhebungsbogen PP-Verwertung

Fragebogen bitte ausgefüllt an

Umweltbundesamt

z. Hd. III 1.6 – Frau Grummt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

E-Mail: svenja.grummt@uba.de

Absender

Tel./E-Mail: _____

Code Nr. Recyclinganlage (aus wme.fact)				
1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage				
1.1 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
☐	☐	☐	☐	☐
1.2 Die maximal mögliche Einsatzmenge für PP für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG unter Berücksichtigung qualitativer Erfordernisse an das Rezyklat in t/a betrug				
im Jahr 2020:	t/a (summarisch)	☐ 324 PP _____ t/a ☐ 324-1 PP plus _____ t/a	Bemerkungen:	
im Jahr 2021:	t/a (summarisch)	☐ 324 PP _____ t/a ☐ 324-1 PP plus _____ t/a		
1.3 Die tatsächliche Verarbeitungsmenge für PP für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug ¹				
im Jahr 2020:	t/a (summarisch)	☐ 324 PP _____ t/a ☐ 324-1 PP plus _____ t/a	Bemerkungen:	
im Jahr 2021:	t/a (summarisch)	☐ 324 PP _____ t/a ☐ 324-1 PP plus _____ t/a		

¹ Wurde die Anlage in **2020 bzw. 2021** nicht mehr betrieben und ist eine Wiederaufnahme des Betriebes für Systemmengen nicht mehr abzusehen, tragen Sie bitte in Feld unter Punkt 1.3 eine 0 ein (auch wenn noch Übertragungsmengen aus **2019 bzw. 2020** aufbereitet wurden). Die Beantwortung der nachstehenden Fragen ist in diesem Fall entbehrlich. Für **2021** kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

2 Input und Produkte				
2.1 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:				
gewaschenes Mahlgut	gewaschenes Agglomerat	Regranulat	Sonstige (z. B. Formteile)	
☐	☐	☐	☐	
Sonstige bitte näher erläutern:				
2.2 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)?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü	Die Verarbeitungsmenge für Systeme nach §3(16) VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug	
			im Jahr 2020	im Jahr 2021 ³
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.3 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich):				
☐ keine Aussage / unbekannt ☐ Blasformen ☐ Extrusionsfolien / Thermoforms ☐ Spritzguss ☐ Intrusionsprodukte ☐ Sonstige (bitte benennen):				
2.4 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche?				
☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Sonstige (bitte benennen):				

³ Für 2021 kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

3 Prozesstechnik			
3.1 Welche der folgenden Grundverfahren werden in 2021 realisiert?			
Grundverfahren	ja	nein	Bemerkungen
Zerkleinerung	☐	☐	
Wäsche/Reinigung	☐	☐	
Schwimm-Sink-Sortierung bei 1 g/cm ³	☐	☐	
Schwimm-Sink-Trennung in Salzlösung bei ca. 1.08 g/cm ³	☐	☐	
Trocknung (thermisch)	☐	☐	
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐	☐	
Alternative und additive Prozessstufen (z. B. Farbsortierung)	☐	☐	Falls ja, bitte Grundoperation 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/Reinigung unter Einsatz von Detergenzien?			
☐ ja ☐ nein			

4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungskomponenten oder -ausführungen						
Welche gestalterischen Verpackungsattribute erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch?						
Beschreibung	Problem unbekannt	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		kein Problem	Bemerkung
			weitgehend gelöst	nicht gelöst		
Silikonkomponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere	☐	☐	☐	☐	☐	
Geklebte zellulosehaltige Etiketten, die sich unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
PVDC-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht magnetische Metalle	☐	☐	☐	☐	☐	
Gibt es sonstige kritische Verpackungsattribute (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand verursachen können)?						
Beschreibung	Aufgrund geringer Mengenrelevanz derzeit nicht bedeutend	Problem bekannt, technisch		Erläuterung		
		weitgehend gelöst	nicht gelöst			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.4 Erhebungsbogen PE-Verwertung

Fragebogen bitte ausgefüllt an

Umweltbundesamt

z. Hd. III 1.6 – Frau Grummt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

E-Mail: svenja.grummt@uba.de

Absender

Tel./E-Mail: _____

Code Nr. Recyclinganlage (aus wme.fact)					
1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage					
1.1 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	
☐	☐	☐	☐	☐	
1.2 Die maximal mögliche Einsatzmenge für PE für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG unter Berücksichtigung qualitativer Erfordernisse an das Rezyklat in t/a betrug					
im Jahr 2020:		t/a	Bemerkungen:		
im Jahr 2021:		t/a			
1.3 Die tatsächliche Verarbeitungsmenge für PE für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug ¹					
im Jahr 2020:		t/a	Bemerkungen:		
im Jahr 2021:		t/a			

¹ Wurde die Anlage in 2020 bzw. 2021 nicht mehr betrieben und ist eine Wiederaufnahme des Betriebes für Systemmengen nicht mehr abzusehen, tragen Sie bitte in Feld unter Punkt 1.3 eine 0 ein (auch wenn noch Übertragungsmengen aus 2019 bzw. 2020 aufbereitet wurden). Die Beantwortung der nachstehenden Fragen ist in diesem Fall entbehrlich. Für 2021 kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

2 Input und Produkte				
2.1 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:				
gewaschenes Mahlgut	gewaschenes Agglomerat	Regranulat	Sonstige (z. B. Formteile)	
☐	☐	☐	☐	
Sonstige bitte näher erläutern:				
2.2 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)?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü	Die Verarbeitungsmenge für Systeme nach §3(16) VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug	
			im Jahr 2020	im Jahr 2021 ²
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.3 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich):				
☐ keine Aussage / unbekannt ☐ Blasformen ☐ Extrusionsfolien / Thermoforms ☐ Spritzguss ☐ Intrusionsprodukte ☐ Sonstige (bitte benennen):				
2.4 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche?				
☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Sonstige (bitte benennen):				

² Für 2021 kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

3 Fragen zur Prozesstechnik			
3.1 Welche der folgenden Grundverfahren werden in 2021 realisiert?			
Grundverfahren	ja	nein	Bemerkungen
Zerkleinerung	☐	☐	
Wäsche/Reinigung	☐	☐	
Schwimm-Sink-Trennung bei 1 g/cm ³	☐	☐	
Schwimm-Sink-Trennung in Salzlösung bei ca. 1.08 g/cm ³	☐	☐	
Trocknung (thermisch)	☐	☐	
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐	☐	
Alternative und additive Prozessstufen (z. B. Farbsortierung)	☐	☐	Falls ja, bitte Grundoperation angeben:
3.2 Welche Art von Wäsche/Reinigung findet statt und bei welcher ungefähren Temperatur erfolgt die Wäsche?			
☐ Trockenreinigung ☐ Kaltwäsche °C ☐ Heißwäsche ☐ Sonstige (bitte benennen):			
Erfolgt die Wäsche/Reinigung unter Einsatz von Detergenzien?			
☐ ja ☐ nein			

4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungskomponenten oder -ausführungen						
Welche gestalterischen Verpackungsattribute erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch?						
Beschreibung	Problem unbekannt	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		kein Problem	Bemerkung
			Weitgehend gelöst	nicht gelöst		
Silikonkomponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere	☐	☐	☐	☐	☐	
Geklebte zellulosehaltige Etiketten, die sich unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
PE-X-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
PVDC-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht magnetische Metalle	☐	☐	☐	☐	☐	
Gibt es sonstige kritische Verpackungsattribute (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand verursachen können)?						
Beschreibung	Aufgrund geringer Mengenrelevanz derzeit nicht bedeutend	Problem bekannt, technisch		Erläuterung		
		weitgehend gelöst	nicht gelöst			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.5 Erhebungsbogen Verwertung von MPO und PO-flex

Fragebogen bitte ausgefüllt an

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6 – Frau Grummt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail: svenja.grummt@uba.de

Absender

Tel./E-Mail: _____

Code Nr. Recyclinganlage (aus wme.fact)			
1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage			
1.1 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 t/a
☐	☐	☐	☐
1.2 Die maximal mögliche Einsatzmenge für MPO für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG unter Berücksichtigung qualitativer Erfordernisse an das Rezyklat in t/a betrug			
im Jahr 2020 : t/a (summarisch)	☐ 323 (MPO) _____ t/a ☐ 323-2 (MPO-flex) _____ t/a	Bemerkungen:	
im Jahr 2021 : t/a (summarisch)	☐ 323 (MPO) _____ t/a ☐ 323-2 (MPO-flex) _____ t/a		
1.3 Die tatsächliche Verarbeitungsmenge für MPO für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug ¹			
im Jahr 2020 : t/a (summarisch)	☐ 323 (MPO) _____ t/a ☐ 323-2 (MPO-flex) _____ t/a	Bemerkungen:	
im Jahr 2021 : t/a (summarisch)	☐ 323 (MPO) _____ t/a ☐ 323-2 (MPO-flex) _____ t/a		

¹ Wurde die Anlage in **2020 bzw. 2021** nicht mehr betrieben und ist eine Wiederaufnahme des Betriebes für Systemmengen nicht mehr abzusehen, tragen Sie bitte in Feld unter Punkt 1.3 eine 0 ein (auch wenn noch Übertragungsmengen aus **2019 bzw. 2020** aufbereitet wurden). Die Beantwortung der nachstehenden Fragen ist in diesem Fall entbehrlich. Für **2021** kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

2 Input und Produkte				
2.1 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:				
gewaschenes Mahlgut	gewaschenes Agglomerat	Regranulat	Sonstige (z. B. Formteile)	
☐	☐	☐	☐	
Sonstige bitte näher erläutern:				
2.2 Werden im Recyclingprozess neben der Fraktion 323 auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland eingesetzt?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche (z.B. 322, 324, 329)?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü	Die Verarbeitungsmenge für Systeme nach §3(16) VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug	
			im Jahr 2020	im Jahr 2021 ²
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.3 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich):				
☐ keine Aussage / unbekannt ☐ Blasformen ☐ Extrusionsfolien / Thermoforms ☐ Spritzguss ☐ Intrusionsprodukte ☐ Blasformen ☐ Sonstige (bitte benennen):				
2.4 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche?				
☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Sonstige (bitte benennen):				

² Für 2021 kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

3 Prozesstechnik			
3.1 Welche der folgenden Grundverfahren werden in 2021 realisiert?			
Grundverfahren	ja	nein	Bemerkungen
Zerkleinerung	☐	☐	
Wäsche/Reinigung	☐	☐	
Schwimm-Sink-Trennung bei 1 g/cm ³	☐	☐	
Schwimm-Sink-Trennung in Salzlösung bei ca. 1.08 g/cm ³	☐	☐	
Trocknung (thermisch)	☐	☐	
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐	☐	
Alternative und additive Prozessstufen (z. B. Farbsortierung)	☐	☐	Falls ja, bitte Grundoperation 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/Reinigung unter Einsatz von Detergenzien?			
☐ ja ☐ nein			

4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungskomponenten oder -ausführungen						
Welche gestalterischen Verpackungsattribute erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch?						
Beschreibung	Problem unbekannt	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		kein Problem	Bemerkung
			Weitgehend gelöst	nicht gelöst		
Silikonkomponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
Geschäumte nicht thermoplastische Elastomere mit der Dichte < 1 g/cm³	☐	☐	☐	☐	☐	
Geschäumte nicht-polyolefinische Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
Geklebte zellulosehaltige Etiketten, die sich unter Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen	☐	☐	☐	☐	☐	
Gibt es sonstige kritische Verpackungsattribute (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand verursachen können)?						
Beschreibung	Aufgrund geringer Mengenrelevanz derzeit nicht bedeutend	Problem bekannt, technisch		Erläuterung		
		weitgehend gelöst	nicht gelöst			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.6 Erhebungsbogen PS-Verwertung

Fragebogen bitte ausgefüllt an

Umweltbundesamt
z. Hd. III 1.6 – Frau Grummt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail: svenja.grummt@uba.de

Absender

Tel./E-Mail: _____

Code Nr. Recyclinganlage (aus wme.fact)					
1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage					
1.1 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	
☐	☐	☐	☐	☐	
1.2 Die maximal mögliche Einsatzmenge für PS für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG unter Berücksichtigung qualitativer Erfordernisse an das Rezyklat in t/a betrug					
im Jahr 2020 :		t/a	Bemerkungen:		
im Jahr 2021 :		t/a			
1.3 Die tatsächliche Verarbeitungsmenge für PS für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug ¹					
im Jahr 2020 :		t/a	Bemerkungen:		
im Jahr 2021 :		t/a			

¹ Wurde die Anlage in **2020 bzw. 2021** nicht mehr betrieben und ist eine Wiederaufnahme des Betriebes für Systemmengen nicht mehr abzusehen, tragen Sie bitte in Feld unter Punkt 1.3 eine 0 ein (auch wenn noch Übertragungsmengen aus **2019 bzw. 2020** aufbereitet wurden). Die Beantwortung der nachstehenden Fragen ist in diesem Fall entbehrlich. Für **2021** kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

2 Input und Produkte				
2.1 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:				
gewaschenes Mahlgut	gewaschenes Agglomerat	Regranulat	Sonstige	
☐	☐	☐	☐	
Sonstige bitte näher erläutern:				
2.2 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet:				
☐ keine Aussage / unbekannt ☐ Spritzguss ☐ Sonstige (bitte benennen):				
2.3 Werden im Recyclingprozess neben der Fraktion 331 auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland eingesetzt?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche (z. B. 330)?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü	Die Verarbeitungsmenge für Systeme nach §3(16) VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug	
			im Jahr 2020	im Jahr 2021 ²
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.4 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche?				
☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Sonstige (bitte benennen):				

² Für 2021 kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

3 Fragen zur Prozesstechnik			
3.1 Welche der folgenden Grundverfahren werden in 2021 realisiert?			
Grundverfahren	ja	nein	Bemerkungen
Zerkleinerung	☐	☐	
Wäsche/Reinigung	☐	☐	
Schwimm-Sink-Trennung bei 1 g/cm ³	☐	☐	
Schwimm-Sink-Trennung in Salzlösung bei ca. 1.08 g/cm ³	☐	☐	
Trocknung (thermisch)	☐	☐	
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐	☐	
Alternative und additive Prozessstufen (z. B. Farbsortierung)	☐	☐	Falls ja, bitte Grundoperation 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/Reinigung unter Einsatz von Detergenzien?			
☐ ja ☐ nein			

4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungskomponenten oder -ausführungen						
Welche gestalterischen Verpackungsattribute erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch?						
Beschreibung	Problem unbekannt	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		kein Problem	Bemerkung
			Weitgehend gelöst	nicht gelöst		
Fremdkunststoffe oder Multilayer der Dichteklasse 1,0 – 1,08 g/cm ³	☐	☐	☐	☐	☐	
Geklebte zellulosehaltige Etiketten, die sich unter Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen	☐	☐	☐	☐	☐	
Nicht magnetische Metalle	☐	☐	☐	☐	☐	
Gibt es sonstige kritische Verpackungsattribute (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand verursachen können)?						
Beschreibung	Aufgrund geringer Mengenrelevanz derzeit nicht bedeutend	Problem bekannt, technisch		Erläuterung		
		weitgehend gelöst	nicht gelöst			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.7 Erhebungsbogen PET-Verwertung

Fragebogen bitte ausgefüllt an

Umweltbundesamt
 z. Hd. III 1.6 – Frau Grummt
 Wörlitzer Platz 1
 06844 Dessau-Roßlau
 E-Mail: svenja.grummt@uba.de

Absender

 Tel./E-Mail: _____

Code Nr. Recyclinganlage (aus wme.fact)			
1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage			
1.1 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
☐	☐	☐	☐
1.2 Welche Eingangsqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet?			
325	328-1	328-2	328-3
☐	☐	☐	☐
1.3 Die maximal mögliche Einsatzmenge für PET für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG unter Berücksichtigung qualitativer Erfordernisse an das Rezyklat in t/a betrug			
im Jahr 2020:	t/a (summarisch)	☐ 325 _____ t/a ☐ 328-1 _____ t/a ☐ 328-2 _____ t/a ☐ 328-3 _____ t/a ☐ 328-5 _____ t/a ☐ Sonstige _____ t/a	Bemerkungen:
im Jahr 2021:	t/a (summarisch)	☐ 325 _____ t/a ☐ 328-1 _____ t/a ☐ 328-2 _____ t/a ☐ 328-3 _____ t/a ☐ 328-5 _____ t/a ☐ Sonstige _____ t/a	Bemerkungen:

1.4 Die tatsächliche Verarbeitungsmenge für PET für Systeme nach §3(16) VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug ¹			
im Jahr 2020:	t/a (summarisch)	☐ 325 _____ t/a ☐ 328-1 _____ t/a ☐ 328-2 _____ t/a ☐ 328-3 _____ t/a ☐ 328-5 _____ t/a ☐ Sonstige _____ t/a	Bemerkungen:
im Jahr 2021:	t/a (summarisch)	☐ 325 _____ t/a ☐ 328-1 _____ t/a ☐ 328-2 _____ t/a ☐ 328-3 _____ t/a ☐ 328-5 _____ t/a ☐ Sonstige _____ t/a	Bemerkungen:
2 Input und Produkte			
2.1 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:			
gewaschenes Mahlgut (Flakes)	PET-Regranulat	aufkondensiertes PET-Regranulat	Sonstige (z. B. Preforms)
☐	☐	☐	☐
Sonstige bitte näher erläutern:			
2.2 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich):			
☐ keine Aussage / unbekannt ☐ PET-Preforms ☐ PET-Folien ☐ PET-Bänder (Strapping) ☐ Polyesterfaser-Anwendungen ☐ Sonstige (bitte benennen):			
2.3 Werden im Recyclingprozess neben den Fraktionen (325, 328-1, 328-2, 328-3, 328-5) auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland (z. B. vorsortierte oder farbsortierte Fraktionen) eingesetzt?			
☐ ja ☐ nein			

¹ Wurde die Anlage in **2020 bzw. 2021** nicht mehr betrieben und ist eine Wiederaufnahme des Betriebes für Systemmengen nicht mehr abzusehen, tragen Sie bitte in Feld unter Punkt 1.4 eine 0 ein (auch wenn noch Übertragungsmengen aus **2019 bzw. 2020** aufbereitet wurden). Die Beantwortung der nachstehenden Fragen ist in diesem Fall entbehrlich.

Wenn ja, welche?				
Fraktionsnummer	separate Verarbeitung	im Menü	Was ist die voraussichtliche Verarbeitungsmenge für Systeme nach §3(16) VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug	
			im Jahr 2020	im Jahr 2021 ²
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.4 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche?				
☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Mengen aus Pfandsystemen ☐ Produktionsabfälle (z. B. Preforms) ☐ Sonstige (bitte benennen):				
3 Prozesstechnik				
3.1 Werden die systemstämmigen Eingangsqualitäten einer Vorsortierung (intern oder extern) auf spezielle PET-Verpackungen unterzogen?				
☐ ja ☐ nein				
Falls ja, bitte die Verpackungen ankreuzen, die als Störstoffe angesprochen werden:				
Verpackung	Aussortierung			
	Manuell	NIR-VIS		
☐ PET-Monolayer-Schalen	☐	☐		
☐ PET-Multilayer-Schalen	☐	☐		
☐ Flaschen mit Funktionsverschlüssen	☐	☐		
☐ Nicht-Getränkeflaschen	☐	☐		
☐ Flaschen mit PA-Barriere (wie Saftflaschen)	☐	☐		
☐ Flaschen mit Teil-Sleeve	☐	☐		
☐ Flaschen mit Full-Sleeve	☐	☐		
☐ Sonstige	☐	☐		
Sonstige bitte näher erläutern:				

² Für 2021 kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

3.2 Welche der folgenden Grundverfahren werden aktuell realisiert?			
Grundverfahren	ja	nein	Bemerkungen
NIR-Sortierung (NIR-VIS)	☐	☐	
Farbsortierung	☐	☐	
Zerkleinerung	☐	☐	
Wäsche/Reinigung	☐	☐	
Schwimm-Sink-Sortierung bei 1 g/cm ³	☐	☐	
Trocknung (thermisch)	☐	☐	
Trockene Nachsortierung der Flakes u. a. über Windsichtung	☐	☐	
Extrusion mit Schmelzefiltration	☐	☐	
Solid State Polymerisation (SSP)	☐	☐	
Alternative und wesentliche additive Prozessstufen (z. B. URRC-Prozess oder Lösetechnik)	☐	☐	Falls ja, bitte Grundoperation angeben:

3.3 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/Reinigung unter Einsatz von Detergenzien?	
☐ ja ☐ nein	
Erfolgt die Wäsche/Reinigung unter Einsatz von Natronlauge?	
☐ ja ☐ nein	

4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungskomponenten oder -ausführungen						
Welche gestalterischen Verpackungsattribute erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch?						
Beschreibung	Problem unbekannt	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		kein Problem	Bemerkung
			weitgehend gelöst	nicht gelöst		
PET-G-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
POM-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
PVC-Komponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
EVOH-Schichten	☐	☐	☐	☐	☐	
PA-Monolayer-Schichten für transparente PET-Flaschen, farblos und „light-blue“	☐	☐	☐	☐	☐	
PVC-, PS-, PET-G-Etiketten/Sleeves	☐	☐	☐	☐	☐	
PET-C-Etiketten/Sleeves	☐	☐	☐	☐	☐	
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 und MHD)	☐	☐	☐	☐	☐	
Silikonkomponenten	☐	☐	☐	☐	☐	
Gibt es sonstige kritische Verpackungsattribute (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand verursachen können)?						
Beschreibung	Aufgrund geringer Mengenrelevanz derzeit nicht bedeutend	Problem bekannt, technisch		Erläuterung		
		weitgehend gelöst	nicht gelöst			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.8 Erhebungsbogen Verwertung von FKN und sonstigen Verbunden

Fragebogen bitte ausgefüllt an

Umweltbundesamt

z. Hd. III 1.6 – Frau Grummt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

E-Mail: svenja.grummt@uba.de

Absender

Tel./E-Mail: _____

Code Nr. Recyclinganlage (aus wme.fact)										
1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage										
1.1 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						
☐	☐	☐	☐	☐						
1.2 Welche Eingangsqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet? ¹										
1.01.00	1.02.00	1.03.00	1.04.00	5.01.00	5.02.00	510	512	550	Sonstige (bitte benennen)	
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
1.3 Die mögliche Einsatzquote für Systemmengen nach § 3 Abs. 16 VerpackG an faserbasierten Verbundverpackungen unter Berücksichtigung qualitativer Erfordernisse an das Faserprodukt in t/a betrug										
im Jahr 2020:		t/a (summarisch)	☐ 510/512 _____ t/a	☐ 550 _____ t/a	Bemerkungen:					
im Jahr 2021:		t/a (summarisch)	☐ 510/512 _____ t/a	☐ 550 _____ t/a						
1.4 Die Verarbeitungsmenge für Papierfraktionen für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug ²										
im Jahr 2020:		t/a (summarisch)	☐ 510/512 _____ t/a	☐ 550 _____ t/a	Bemerkungen:					
im Jahr 2021:		t/a (summarisch)	☐ 510/512 _____ t/a	☐ 550 _____ t/a						

¹ Die Bedeutung der Nummern kann DIN EN 643 und den Produktspezifikationen der Verpackungsfraktionen entnommen werden.

² Wurde die Anlage in 2020 bzw. 2021 nicht mehr betrieben und ist eine Wiederaufnahme des Betriebes für Systemmengen nicht mehr abzusehen, tragen Sie bitte in Feld unter Punkt 1.4 eine 0 ein (auch wenn noch Übertragungsmengen aus 2019 bzw. 2020 aufbereitet wurden). Die Beantwortung der nachstehenden Fragen ist in diesem Fall entbehrlich. Für 2021 kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

2 Input und Produkte				
2.1 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:				
Wellpappenrohapiere		Sonstige		
☐		☐		
Sonstige bitte näher erläutern:				
2.2 Werden im Recyclingprozess neben den Papierfraktionen 510, 512 und 550 auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland eingesetzt?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü	Die Verarbeitungsmenge für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug	
			im Jahr 2020	im Jahr 2021 ³
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.3 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche?				
☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Primärrohstoffe ☐ Sonstige (bitte benennen):				

³ Für 2021 kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

3 Prozesstechnik			
3.1 Welche der folgenden Grundverfahren werden aktuell realisiert?			
Grundverfahren	ja	nein	Bemerkungen
Vorzerkleinerung	☐	☐	
Stofflösung (Pulper oder Fibre Drum)	☐	☐	
Faserrückgewinnung aus Rejekten der primären Stofflösung	☐	☐	
Sortier- und Reinigungsstufen zur Faserstoffaufbereitung	☐	☐	
Sieb-/Press-/Trockenpartie	☐	☐	
Werkstoffliche Rejektverwertung (PO, Metallanteile)	☐	☐	
Alternative und additive Prozessstufen	☐	☐	Falls ja, bitte Grundoperation angeben:
3.2 Wie lang ist die Stofflösezeit und bei welcher Temperatur erfolgt diese ungefähr? (Verweilzeiten ggf. unter Berücksichtigung eines Sekundärpulpers)			
		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 ☐ Makrostickets ☐ Stippen ☐ Kurzfasern ☐ Füllstoffe ☐ Streichfarben ☐ Strichbindemittel ☐ Sonstige (bitte benennen):			
3.4 Wie hoch ist die Maximaltemperatur bei der Papiertrocknung ungefähr?			
		°C	

4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungskomponenten oder -ausführungen						
Welche gestalterischen Verpackungsattribute erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch?						
Beschreibung	Problem unbekannt	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		kein Problem	Bemerkung
			weitgehend gelöst	nicht gelöst		
Nicht wasserlösliche oder nicht redispersierende Klebstoffapplikationen	☐	☐	☐	☐	☐	
Komponenten der EuPIA (Exclusion list for printing inks and related products)	☐	☐	☐	☐	☐	
Gibt es sonstige kritische Verpackungsattribute (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand verursachen können)?						
Beschreibung	Aufgrund geringer Mengenrelevanz derzeit nicht bedeutend	Problem bekannt, technisch		Erläuterung		
		weitgehend gelöst	nicht gelöst			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.9 Erhebungsbogen Papierfabriken

Fragebogen bitte ausgefüllt an

Umweltbundesamt

z. Hd. III 1.6 – Frau Grummt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail: svenja.grummt@uba.de

Absender

Tel./E-Mail: _____

1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage									
1.1 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					
☐	☐	☐	☐	☐					
1.2 Welche Eingangsqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet? ¹									
1.01.00	1.02.00	1.03.00	1.04.00	5.01.00	5.02.00	510	512	550	Sonstige (bitte benennen)
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
1.3 Die mögliche Einsatzquote für Systemmengen nach § 3 Abs. 16 VerpackG an faserbasierten Verbundverpackungen unter Berücksichtigung qualitativer Erfordernisse an das Faserprodukt in t/a betrug									
im Jahr 2020 :				t/a		Bemerkungen:			
im Jahr 2021 :				t/a					
1.4 Die Verarbeitungsmenge für Papierfraktionen für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug ²									
im Jahr 2020 :				t/a		Bemerkungen:			
im Jahr 2021 :				t/a					

¹ Die Bedeutung der Nummern kann DIN EN 643 und den Produktspezifikationen der Verpackungsfraktionen entnommen werden.

² Wurde die Anlage in **2020 bzw. 2021** nicht mehr betrieben und ist eine Wiederaufnahme des Betriebes für Systemmengen nicht mehr abzusehen, tragen Sie bitte in Feld unter Punkt 1.4 eine 0 ein (auch wenn noch Übertragungsmengen aus **2019 bzw. 2020** aufbereitet wurden). Die Beantwortung der nachstehenden Fragen ist in diesem Fall entbehrlich. Für **2021** kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

2 Input und Produkte				
2.1 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:				
Wellpappenrohapiere		Sonstige		
☐		☐		
Sonstige bitte näher erläutern:				
2.2 Werden im Recyclingprozess neben den Papierfraktionen auch noch weitere systemstämmige Qualitäten aus Deutschland eingesetzt?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche?				
Fraktionsnummer	Separate Verarbeitung	Im Menü	Die Verarbeitungsmenge für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug	
			im Jahr 2020	im Jahr 2021 ³
	☐	☐		
	☐	☐		
	☐	☐		
2.3 Werden im Recyclingprozess aus Gründen der Produktqualität Inputqualitäten aus anderen Herkunftsbereichen gemeinsam mit den Systemmengen (im Menü) verarbeitet?				
☐ ja ☐ nein				
Wenn ja, welche?				
☐ Systemmengen ausländischer Herkunft ☐ Gewerbemengen ☐ Produktionsabfälle ☐ Primärrohstoffe ☐ Sonstige (bitte benennen):				

³ Für 2021 kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose miteinbezogen werden.

3 Prozesstechnik			
3.1 Welche der folgenden Grundverfahren werden aktuell realisiert?			
Grundverfahren	ja	nein	Bemerkungen
Vorzerkleinerung	☐	☐	
Stofflösung	☐	☐	
Faserrückgewinnung aus Rejekten der primären Stofflösung	☐	☐	
Sortier- und Reinigungsstufen zur Faserstoffaufbereitung	☐	☐	
Sieb-/Press-/Trockenpartie	☐	☐	
Alternative und additive Prozessstufen	☐	☐	Falls ja, bitte Grundoperation angeben:
3.2 Wie lang ist die Stofflösezeit und bei welcher Temperatur erfolgt diese ungefähr? (Verweilzeiten ggf. unter Berücksichtigung eines Sekundärpulpers)			
		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 ☐ Makrostickets ☐ Stippen ☐ Kurzfasern ☐ Füllstoffe ☐ Streichfarben ☐ Strichbindemittel ☐ Sonstige (bitte benennen):			
3.4 Wie hoch ist die Maximaltemperatur bei der Papiertrocknung ungefähr?			
		°C	

4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungskomponenten oder -ausführungen						
Welche gestalterischen Verpackungsattribute erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch?						
Beschreibung	Problem unbekannt	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		kein Problem	Bemerkung
			weitgehend gelöst	nicht gelöst		
Nicht wasserlösliche oder nicht redispersierende Klebstoffapplikationen	☐	☐	☐	☐	☐	
Komponenten der EuPIA (Exclusion list for printing inks and related products)	☐	☐	☐	☐	☐	
Gibt es sonstige kritische Verpackungsattribute (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand verursachen können)?						
Beschreibung	Aufgrund geringer Mengenrelevanz derzeit nicht bedeutend	Problem bekannt, technisch		Erläuterung		
		weitgehend gelöst	nicht gelöst			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

A.10 Erhebungsbogen Glasaufbereiter

Fragebogen bitte ausgefüllt an

Umweltbundesamt

z. Hd. III 1.6 – Frau Grummt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

E-Mail: svenja.grummt@uba.de

Absender

Tel./E-Mail: _____

Code Nr. Recyclinganlage (aus wme.fact)				
1 Kapazität Ihrer Verwertungsanlage				
1.1 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
☐	☐	☐	☐	☐
1.2 Welche Eingangsqualitäten aus Systemen nach § 3 Abs. 16 VerpackG werden verarbeitet? ¹				
100	101	102	103	104
☐	☐	☐	☐	☐
1.3 Die Verarbeitungsmenge an Glas für Systeme nach § 3 Abs. 16 VerpackG (gerundet auf 1.000 t/a) betrug ²				
im Jahr 2020 :		t/a	Bemerkungen:	
im Jahr 2021 :		t/a		

¹ Gefragt ist hier nach den unterschiedlichen Qualitäten aus der Glaserfassung. Die Bedeutung der Artikelnummern kann wme.fact entnommen werden.

² Wurde die Anlage in **2020 bzw. 2021** nicht mehr betrieben und ist eine Wiederaufnahme des Betriebes für Systemmengen nicht mehr abzusehen, tragen Sie bitte in Feld unter Punkt 1.3 eine 0 ein (auch wenn noch Übertragungsmengen aus **2019 bzw. 2020** aufbereitet wurden). Die Beantwortung der nachstehenden Fragen ist in diesem Fall entbehrlich. Für **2021** kann der Rest des Jahres im Sinne einer Prognose mit einbezogen werden.

2 Input und Produkte			
2.1 Endprodukte des Recyclingprozesses für Systemmengen aus Deutschland sind:			
Glasscherben nach T120	Sonstige		
☐	☐		
Sonstige bitte näher erläutern:			
2.2 Die Endprodukte des Recyclingprozesses unter Einsatz von Systemmengen aus Deutschland werden überwiegend in folgende Anwendungen vermarktet (Mehrfachnennung bei Relevanz möglich): ☐ keine Aussage / unbekannt ☐ Behälterglas ☐ Sonstige (bitte benennen):			
3 Prozesstechnik			
Welche der folgenden Grundverfahren werden in 2021 realisiert?			
Grundverfahren	ja	nein	Bemerkungen
Zerkleinerung	☐	☐	
Magnetscheidung	☐	☐	
NE-Abscheidung (Wirbelstromscheidung und/oder Induktionsscheider)	☐	☐	
Trocknung (thermisch)	☐	☐	
Etikettenentfernung	☐	☐	
Abtrennung von Keramikscherben, Steinen und Porzellan (KSP-Trenner) im Durchlichtverfahren	☐	☐	
Optische Trennung zur Farbseparation im Durchlichtverfahren	☐	☐	
Alternative und wesentliche additive Prozessstufen (z. B. Separation bleihaltiger Scherben)	☐	☐	Falls ja, bitte Grundoperation angeben:

4 Einschätzung zu potentiell recyclingunverträglichen Verpackungskomponenten oder -ausführungen						
Welche gestalterischen Verpackungsattribute erachten Sie für Ihre Rezyklatqualitäten als kritisch?						
Beschreibung	Problem unbekannt	Problem bekannt, aber aufgrund geringer Mengenrelevanz bedeutungslos	Problem bekannt, technisch		kein Problem	Bemerkung
			weitgehend gelöst	nicht gelöst		
Blei aus Kristallglasverpackungen	☐	☐	☐	☐	☐	
Barium aus Kristallglasverpackungen	☐	☐	☐	☐	☐	
Bügelverschlüsse mit ausschließlich nicht-ferromagnetischen Metallanteilen	☐	☐	☐	☐	☐	
Glasverpackungen ohne Transparenz/Transluzenz, z. B. lackierte Gläser	☐	☐	☐	☐	☐	
Ausguss-Einsätze aus Kunststoff ³	☐	☐	☐	☐	☐	
Gibt es sonstige kritische Verpackungsattribute (auch unter dem Aspekt, dass sie außerordentliche Kosten und/oder außerordentlichen technischen Aufwand verursachen können)?						
Beschreibung	Aufgrund geringer Mengenrelevanz derzeit nicht bedeutend	Problem bekannt, technisch		Erläuterung		
		weitgehend gelöst	nicht gelöst			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			
	☐	☐	☐			

³ Bitte unterscheiden Sie: wirkt sich der Einsatz negativ auf die Qualität des Scherben-Outputs aus oder führt er „lediglich“ zu Glasverlusten?

B Auswertung der Erhebungsbögen

B.1 Auswertung LVP-Sortieranlagen

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.2 Auswertung Verwertung von Kunststofffolien

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 Verwertung von MPO und PO-flex

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 von FKN und sonstigen Verbunden

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.9 Auswertung Papierfabriken

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.

B.10 Auswertung Glasaufbereiter

Nicht öffentlich aufgrund von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen.