
Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit

*Anforderungs- und Bewertungskatalog
des Institutes cyclos-HTP
zur EU-weiten Zertifizierung
CHI-Standard*



Fassung 5.0*

Stand: 14. September 2021

Institut cyclos-HTP GmbH
Maria-Theresia-Allee 35
52064 Aachen
Telefon: 0241 / 9 49 00-0
E-Mail: info@cyclos-htp.de

Anschrift Recyclinglabor:
Institut cyclos-HTP GmbH
Hirzenrott 2 - 4
52076 Aachen

*erfüllt alle Vorgaben des Mindeststandards zur Bemessung der Recyclingfähigkeit der ZSVR vom 31.08.2021 sowie die Anforderungen der DIN EN 13430 zur Konformität in Bezug auf die stoffliche Verwertbarkeit.



Inhaltsverzeichnis	Seite
Abkürzungsverzeichnis	1
1. Bewertungsrahmen und -methodik	4
2. Recyclingfähig oder recyclebar – was bedeutet dies?	7
2.1 Recyclingfähigkeit als Kennzahl dieses Anforderungs- und Bewertungskatalogs	7
2.2 Gesetzliche Definition und Vorgaben	9
2.3 Geltungsbereich	11
3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf	12
4. Anlagen	26
4.1 Stoffdatensammlung (Auszug)	26
4.2 Referenzszenarien mit Erläuterungen	27
4.2.1 Übersicht LVP /PMD / Wertstoffe	28
4.2.2 Pfad 1: Kst.-Folien	36
4.2.3 Pfade 2 und 3: PE und PP	38
4.2.4 Pfad 4: PS	41
4.2.5 Pfad 5: PET-Flaschen	43
4.2.6 Pfad 6: MKS (formstabil) / MPO-rigid	47
4.2.7 Pfad 7: MKS / MPO (flexibel)	49
4.2.8 Pfad 8: FKN / Flüssigkeitskartons	51
4.2.9 Pfad 9: Wb / Fe-Metalle	53
4.2.10 Pfad 10: ALU / NE-Metalle	55
4.2.11 Pfad 11: PPK-Verbunde	58
4.2.12 Pfad 12: Behälterglas	60
4.2.13 Pfad 13: Papier, Pappe, Karton	66
4.3 Basisdatenformular	70
4.4 Zertifikatsvorlage	77

Abkürzungsverzeichnis

AIOx	Aluminiumoxid
Alu	Aluminium
Bsp.	Beispiel
ca.	circa
CHI	Institut cyclos-HTP
D4R	Design for Recycling (englisch)
DAVR	Deutsche Aluminium Verpackung Recycling GmbH
d. h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
EPBP	European PET Bottle Platform (englisch)
EBS	Ersatzbrennstoff
EPS	Expandiertes Polystyrol
EU	Europäische Union
EuPIA	Exclusion list for printing inks and related products (englisch)
EVA	Ethylen-Vinylacetat-Copolymer
EVOH	Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer
Fe	Eisen
FKN	Flüssigkeitskartonnagen
FSK	Formstabile Kunststoffe
ggf.	gegebenenfalls
HV	Haftvermittler
i. d. R.	in der Regel
IK	Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V.
ISO	International Organization for Standardization (englisch)
K	Kriterium
KAT	Kategorie
Klass.	Klassifikation
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KSP	Keramik, Stein, Porzellan
Kst.	Kunststoff
LCA	life cycle assessment (englisch)



0. Abkürzungsverzeichnis

LVP	Leichtverpackungen
MA	mechanische Abfallbehandlung
MBA	mechanisch-biologische Abfallbehandlung
MHD	Mindesthaltbarkeitsdatum
Min.	Minute
MKS	Mischkunststoffe
MPO	Gemischte Polyolefin-Artikel
MPO flex	Flexible, gemischte Polyolefin-Artikel
MRF	Materials recovery facility (englisch)
NE	Nichteisen
NIR	Nahinfrarot
NVP	Nicht-Verpackung
Nr.	Nummer
PA	Polyamid
PC	Polycarbonat
PE	Polyethylen
PE-LD	Polyethylen geringer Dichte
PE-HD	Polyethylen hoher Dichte
PET	Polyethylenterephthalat
PET-A	PET (amorph)
PET-G	Mit Glycol modifiziertes PET
PET-C	Teilkristallines PET
PLA	Polylactic acid (englisch)
PMD	Plastic packaging, Metal packaging, Drinks cartons (englisch) Kunststoff, Metall, Getränkekartons (deutsch)
PMMA	Polymethylmethacrylat
PO	Polyolefine
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PPK	Papier Pappe Kartonnagen
PS	Polystyrol
PU	Polyurethane



0. Abkürzungsverzeichnis

PVC	Polyvinylchlorid
PVDC	Polyvinylidenchlorid
RGB	Rot, Grün, Blau
SAN	Styrol-Acrylnitril-Copolymere
s.	siehe
SiOx	Siliziumoxid
u. a.	unter anderem
u. E.	unseres Ermessens
UBA	Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
UK	United Kingdom (englisch)
UV	Ultraviolett
VerpackG	Verpackungsgesetz
Wb	Weißblech
WST	Wertstoff
z. B.	zum Beispiel
ZVSR	Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister (Central Agency Packaging Register)



1. Bewertungsrahmen und -methodik

1. Bewertungsrahmen und -methodik

Das Recycling ist ein wichtiger Bestandteil einer nachhaltigen Ressourcennutzung. Die Recyclingfähigkeit kann für einzelne Verpackungen und Waren festgestellt werden. Sie ist ein individuelles Attribut und als graduelle Kennzahl Ausdruck und Instrument gelebter Produktverantwortung.

Die Bewertung der Recyclingfähigkeit wird im Wesentlichen von zwei Parametern bestimmt: der Beschaffenheit der Erzeugnisse und den realen Verwertungswegen nach Gebrauch.

Die Prüfung der Recyclingfähigkeit muss eine objektive Statusbestimmung der „Kreislauffähigkeit“ abbilden. Sie kann darüber hinaus wichtige Informationen zur Optimierung von Verpackungen und Waren liefern. Hierzu ist es erforderlich, wissenschaftlich begründete, nachvollziehbare und für alle Beteiligten transparente Anforderungs- und Bewertungsgrundlagen zu schaffen. Daher haben die Ingenieure und Sachverständige des Instituts cyclos-HTP ein Konzept sowie den vorliegenden Anforderungs- und Bewertungskatalog zur Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit entwickelt.

Dieser Katalog wird fortlaufend fortgeschrieben und auf den neuesten Stand gebracht, sofern es notwendig ist, technische Veränderungen der Kreislaufwirtschaft oder neue Ergebnisse zur Recyclingkompatibilität einzelner Werkstoffkombinationen zu berücksichtigen. Der vorliegende Katalog bildet in seiner jeweils aktuellsten Fassung die Bewertungsgrundlage für eine Produktzertifizierung im Sinne einer Konformitätserklärung bezüglich der Deklaration „recyclingfähig“ bzw. „recyclebar“ durch das Institut cyclos-HTP.

Recyclingfähigkeit ist keine theoretische Eigenschaft. Richtig verstanden wird hiermit die stoffliche Eignung eines Produktes bezeichnet, im Rahmen etablierter Erfassungs- und Verwertungsstrukturen zur Schließung von Stoffkreisläufen beizutragen.

Der flächendeckende Ausbau und die Weiterentwicklung von Verwertungsprozessen, insbesondere deren weitgehende Standardisierung angesichts eines anerkannten Stands der Technik, waren die Voraussetzungen dafür, dass auch allgemeingültige Anforderungen an die Gestaltung von Erzeugnissen definiert werden konnten, um diese nach der Gebrauchsphase für eine Kreislaufführung zugänglich zu machen.

In Ergänzung der Leitlinien zur recyclinggerechten Produktgestaltung von Verpackungen wie der von „Recoup“ oder „EPBP“ wurde 2011 vom Institut cyclos-HTP der erste Anforderungs- und Bewertungskatalog entwickelt, mit dem die Recyclingfähigkeit von Verpackungen und Erzeugnissen erstmals quantitativ bemessen wird.



1. Bewertungsrahmen und -methodik

Nach Abstimmung mit den Fachverbänden wie IK, FKN, DAVR etc. wurde dieser veröffentlicht und seitdem regelmäßig fortgeschrieben. Viele Markenhersteller und Produzenten von Packmitteln nutzen dieses Instrument zur Standortbestimmung und ökologischer Optimierung ihrer Verpackungen. Auch der „Grüne Punkt“ bewertet Verpackungen seiner Lizenznehmer nach dieser Methode.

Die wesentlichen Merkmale dieser Methode sind:

- * Maßstab zur Definition der Recyclingfähigkeit ist die Verwertung in Prozessen, die Rezyklatqualitäten realisieren, welche 1:1 materialidentische Neuware ersetzen können.
- * Diese Referenzprozesse müssen im industriellen Maßstab verfügbar sein und beliefert werden.
- * Dies gilt für die gesamte Verwertungskette von der Einsammlung über die Sortierung und die Aufbereitung bis hin zum fertigen Rezyklat.
- * Reale Recyclingprozesse sind werkstoffspezifisch. Entsprechend sind die Bewertungskriterien anhand der jeweils relevanten Referenzverfahren abgeleitet.
- * Die quantitative Bewertung bilanziert den gesamten möglichen Nutzen bei der Schließung von Stoffkreisläufen. Sie endet somit nach Abschluss aller Trenn-, Reinigungs-, Schmelz- und Umformprozesse beim fertigen Rezyklat als Neuwareäquivalent.
- * Die Bewertung mündet in Kennziffern zwischen 0 % (nicht recyclingfähig) und 100 % (vollständig recyclingfähig).

Die Bewertung „100%ige Recyclingfähigkeit“ bedeutet somit, **dass die Verpackung oder das Erzeugnis die stoffliche und physikalische Voraussetzung erfüllt, nach der Gebrauchsphase vollständig zu einem mit materialidentischer Neuware vergleichbaren Sekundärprodukt zu werden.**

Tatsächlich ist dies ein sehr seltenes Prädikat, da Recyclingfähigkeit kein Selbstzweck ist, sondern gegebenenfalls hinter den funktionalen Anforderungen an das Produkt zurücktritt. So mindert beispielsweise ein Etikett die Recyclingfähigkeit einer Glasflasche – ist aber als Träger der Verbraucherinformationen unvermeidbar. Ebenso wird zur Sicherstellung der Haltbarkeit in eine Kunststoffolie aus Polypropylen (PP) teilweise eine Barrierschicht aus einem anderen Kunststoff (z. B. EVOH) eingebaut, welche die Recyclingfähigkeit geringfügig schmälert.

Die Recyclingfähigkeit ist eine relevante Umweltaforderung. Sie ist auch Grundlage einer ökobilanziellen Bewertung aber keine unmittelbare ökologische Bewertungskennziffer oder -kategorie.



1. Bewertungsrahmen und -methodik

Zur Einordnung der Kenngröße „Recyclingfähigkeit“ im Vergleich zu den ökologischen Bewertungen wie „Lebenszyklusanalyse“ (Ökobilanz bzw. LCA) oder „Carbon Footprint“ dienen folgende Ausführungen:

Während letztgenannte die Vor- und Nachgebrauchsphase bilanzieren, fokussiert sich die „Recyclingfähigkeit“ ausschließlich auf die Nachgebrauchsphase. Als Bilanzkennzahl wird hiermit sowohl die ökonomische als auch die ökologische Wertschöpfung charakterisiert, sobald das Erzeugnis zu Abfall wird. Die Recyclingfähigkeit ist somit zunächst eine eigenständige Größe für die Ressourceneinsparung bei der Kreislaufführung, aber eben keine ökologische Bewertungskategorie. Da bei der ökologischen Bewertung auch die Produktion mitbewertet wird, kann es bei Vergleichen zwischen unterschiedlichen Erzeugnissen durchaus zu Konstellationen kommen, wo ein höherer ökologischer Nutzen mit einer geringeren Recyclingfähigkeit einhergeht. Beispielsweise dann, wenn bei der Produktion eines Erzeugnisses zu Lasten der Recyclingfähigkeit deutlich weniger Ressourcen eingesetzt werden.

Kurzum: Die Bemessung der Recyclingfähigkeit ist immer Bestandteil einer ökobilanziellen Bewertung, kann diese aber nicht ersetzen. Bei Vergleichen können Recyclingfähigkeit und ökologische Bewertungskategorien korrelieren, tun dies meistens auch, müssen es aber nicht.

Wenn ein Vergleich der Recyclingfähigkeit unterschiedlicher Verpackungen vorgenommen wird, sind vorgenannte Einschränkungen zu beachten. Unberührt von solchen Einschränkungen bleibt die Aussage bezüglich der **Recyclingfähigkeit als eigenständige absolute Bewertungsgröße zur Schließung von Stoffkreisläufen und der damit verbundenen ökologischen und ökonomischen Wertschöpfung bestehen. Letztere stets im Kontext zum Merkmal (Wertstoff).**

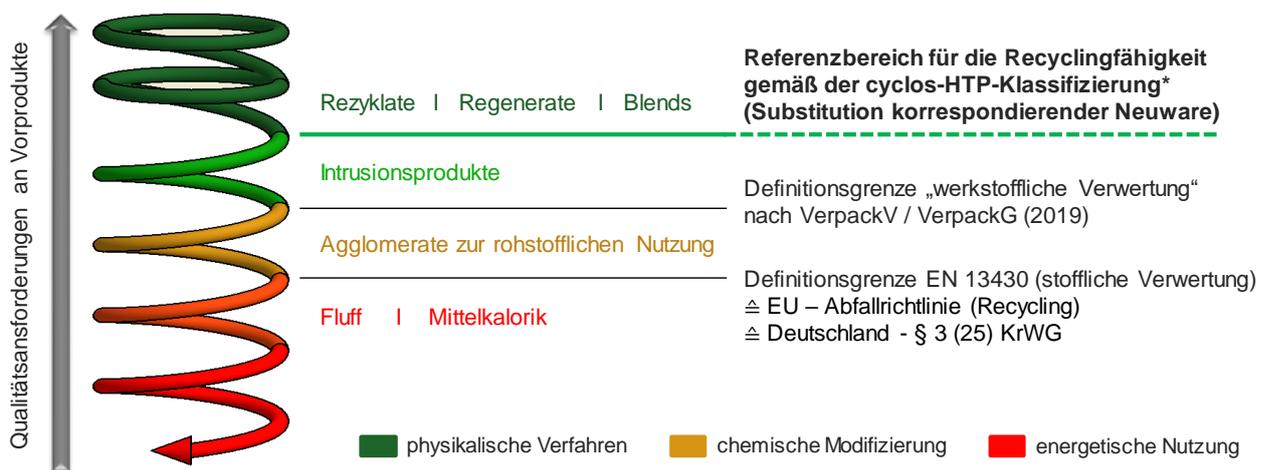
2. Recyclingfähig oder recyclebar – was bedeutet dies?

2. Recyclingfähig oder recyclebar – was bedeutet dies?

2.1 Recyclingfähigkeit als Kennzahl dieses Anforderungs- und Bewertungskatalogs

Recycling bedeutet eine Schließung von Kreisläufen. Daher soll im Rahmen dieses Bewertungskataloges der Begriff „Recycling“ sehr eng in diesem Sinne ausgelegt werden. Recycling bedeutet im Folgenden immer die stoffliche Verwertung zu Rezyklaten, Regeneraten, Blends oder Legierungen, die in Standardanwendungen jeweils korrespondierendes Neumaterial ersetzen können. Dieser Maßstab wird in Abbildung 1 durch die grüne Markierung veranschaulicht.

Abbildung 1: Definition und Abgrenzung des Begriffes "Recycling"



* ≙ (implizit) auch der D4R-Richtlinien

Das herkömmliche Verständnis eines closed-loop-recyclings, bei dem rezyklierte Werkstoffe nicht nur korrespondierendes Neumaterial ersetzen, sondern darüber hinaus erneut in der identischen primären Anwendung zum Einsatz kommen können, wird in Abbildung 1 durch eine zweite Ebene ergänzt, innerhalb der ggf. wiederum geschlossene Recyclingkreisläufe auf einem qualitativ niedrigeren Niveau realisiert werden können. Als Beispiel hierfür kann die Produktion polyolefinischer Regranulate aus u. a. Joghurtbechern und Schalen genannt werden. Diese Regranulate ersetzen in ihren Anwendungen (z. B. Pflanztöpfe, Rohre etc.) korrespondierendes Neumaterial, sind allerdings im Gegensatz zur Neuware beispielsweise in der Farbgebung oder in Bezug auf Lebensmittelkontakt eingeschränkt. Dieses Qualitätsniveau der Ebene 2 kann, abhängig von erneuter Farbgebung, Zuschlagstoffen etc., auch beim wiederholten Durchlaufen der Recyclingprozesskette erreicht werden, so dass auch hier - nach einer ersten Kaskadenstufe innerhalb der Verwertungskette - geschlossene Kreisläufe zu realisieren sind.



2. Recyclingfähig oder recyclebar – was bedeutet dies?

Dagegen werden Verfahren der stofflichen Verwertung in diesem Bewertungskatalog **nicht als Referenz** herangezogen, in denen Sekundärrohstoffe in neue Erzeugnisse eingebunden werden, diese aber nicht das in der entsprechenden Anwendung typische Neumaterial ersetzen. Verwertungsverfahren, bei denen Stoffe unmittelbar oder mittelbar energetisch genutzt werden, sind ebenfalls nicht berücksichtigt.

Die Deklaration eines Erzeugnisses wie z. B. einer Verpackung als "recyclingfähig" oder "100 % recyclebar" muss substantiell belastbar sein. Dies dient auch dazu, öffentliche Auseinandersetzungen bis hin zur Beschäftigung von Gerichten zu vermeiden.

Wichtige Grundlagen hierfür sind:

- DIN EN ISO 14021 „Umweltbezogene Anbietererklärungen“:

Diese Norm fordert, dass umweltbezogene Anbietererklärungen nicht irreführend, sondern begründet und überprüfbar sein müssen. **Die Eigenschaft muss real und darf nicht nur hypothetisch gegeben sein.**

- DIN EN 13430 „Anforderungen an Verpackungen für die stoffliche Verwertung“:

In dieser Norm werden bestimmte Mindestanforderungen im Sinne einer Konformitätserklärung definiert. Für den vorliegenden Bewertungskatalog wird z. B. die graduelle Bemessung der Recyclingfähigkeit korrespondierend zu dieser Norm vorgenommen¹. In Abgrenzung dazu ist aber auch auf Maßgaben des vorliegenden Kataloges hinzuweisen, die über die Norm hinausgehen, die aber für eine belastbare Bewertung und für die Testierung in Übereinstimmung mit DIN ISO 14021 u. E. unabdingbar sind. Diese sind:

- Eine individuelle Recyclingkapazität muss spezifisch zumindest bereits in relevantem Umfang vorhanden sein. Nur die Option der Schaffung einer Recyclingkapazität in angemessenen Zeiträumen reicht nicht aus.
- Für die Feststellung des Vorhandenseins von Recyclingkapazitäten (Erfassung- und Verwertungsstrukturen) ist eine nationalstaatliche Systemgrenze zu beachten. Es reicht nicht aus, dass eine Verpackung z. B. in den Niederlanden tatsächlich rezykliert wird, um dies für alle Nationalstaaten der EU zu testieren.
- Bei der Bemessung bzw. Ausweisung des prozentualen Anteils der Recyclingfähigkeit bei Erzeugnissen mit unterschiedlichen Materialkomponenten, deren jeweilige Verwer-

¹ Darüber hinaus erfüllt der vorliegende Standard alle Anforderungen der DIN 13430 zur Klassifizierung der Recyclingfähigkeit in der Nachgebrauchsphase.



2. Recyclingfähig oder recyclebar – was bedeutet dies?

tion nur über unterschiedliche Pfade darstellbar ist, wird ein positiver Beitrag der einzelnen Komponente nur dann bescheinigt, wenn eine entsprechende diversifizierte Stromführung auch real vorausgesetzt werden kann.

- Bei der Bemessung bzw. Ausweisung des prozentualen Anteils der Recyclingfähigkeit wird **nicht** die Schnittstelle der Sekundärrohstoffbereitstellung abgebildet, sondern die potenzielle Substitutionsrate eines korrespondierenden Neumaterials.
- Die Bemessung der Recyclingfähigkeit endet also nicht beim „Recycler“, sondern berücksichtigt die Anforderung der tatsächlichen Rezyklatapplikation.

Zusammenfassend lässt sich Recyclingfähigkeit wie folgt definieren:

„Recyclingfähigkeit ist die individuelle graduelle Eignung einer Verpackung oder eines Erzeugnisses, in der Nachgebrauchsphase tatsächlich materialidentische Neuware zu substituieren“; „tatsächlich“ meint hierbei, dass Erfassungs- und Verwertungsstrukturen im industriellen Maßstab die Voraussetzung bilden.

2.2 Gesetzliche Definition und Vorgaben

Die Recyclingfähigkeit wird erstmals im Deutschen Verpackungsgesetz mit dem § 21 („ökologische Gestaltung der Beteiligungsentgelte“) instrumentalisiert. Korrespondierende Regelungen im Rahmen der europäischen Gesetzgebung sind zu erwarten.

Im Deutschen Verpackungsgesetz (VerpackG) wird hiermit einer Empfehlung der Sachverständigen des Institut cyclos-HTP aus dem Jahr 2012 zur Weiterentwicklung der Produktverantwortung gefolgt, monetäre Anreize für eine recyclinggerechte Produktion zu initiieren (vgl. Christiani, J.; Dehoust, G: Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquoten für Wertstoffe; UBA Texte 40/2012 S. 42 und 57).

Kritikern der Regelung des § 21 VerpackG, welche argumentieren, ein Anreiz zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit laufe dem Ziel der Abfallvermeidung zuwider, ist entgegenzuhalten, dass diese Befürchtung bei verursachungsgemäßer Gestaltung des Anreizsystems gänzlich unbegründet ist. Da Beteiligungsentgelte massebezogen erhoben werden, gibt es bereits heute einen starken Anreiz zur Gewichtsreduktion. Dieser bleibt auch dominant, wenn Recyclingfähigkeit verursachungsgerecht honoriert wird, da der Bonus nur einen Bruchteil des Beteiligungsentgeltes betragen kann.



2. Recyclingfähig oder recyclebar – was bedeutet dies?

Plakativ formuliert, kann es also beispielsweise keine Resubstitution vom (nicht recyclingfähigen) Standbodenbeutel zur dreimal so schweren PE-Flasche geben! Bewirkt und intendiert werden dagegen Anstrengungen, den nicht recyclingfähigen Standbodenbeutel durch eine recyclingfähige Ausführung zu ersetzen.

Leider hat es der Gesetzgeber versäumt, den Begriff Recyclingfähigkeit bzw. Recycling im Sinne des § 21 VerpackG zu definieren. Dies lässt vordergründig Interpretationsspielräume durch die Recyclingdefinition des § 3 (25) KrWG. Dass eine so weitgefasste Definition hier aber nicht gemeint (und auch kontraproduktiv) ist, geht aus dem Kontext hervor: So wird in § 21 (2) VerpackG weiter spezifiziert „hochwertiges Recycling“ und im § 21 (4) VerpackG „... Bemessung der Beteiligungsentgelte zur Förderung der werkstofflichen Verwertbarkeit“ die Intention klargestellt.

Entsprechend hat die Zentrale Stelle im „Mindeststandard zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen“ auch wie folgt weitergehend präzisiert: „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.“

Es wird somit deutlich, dass die in diesem Anforderungs- und Bewertungskatalog zugrundeliegende Definitionsgrenze einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung dem Bemessungsstandard der Recyclingfähigkeit nach § 21 VerpackG entspricht.

Bezüglich der einzelnen Kriterien des Mindeststandards wird seit der Fassung 3.6 dieses Kataloges ein Abgleich auf vollständige Konformität mit dem jeweiligen Bearbeitungsstand des Mindeststandards durchgeführt. **Die vorliegende Fassung des Anforderungs- und Bewertungskataloges deckt also die Anforderungen des Mindeststandards vom 31.08.2021 ausnahmslos ab.**

Bei der Umrechnung von der Recyclingfähigkeit in eine monetäre Wertschöpfung, Bonifizierung etc. ist zu beachten, dass dieser proportionale Zusammenhang über eine material- bzw. pfadabhängige Konstante quantifiziert wird. Neben der Kennziffer „Recyclingfähigkeit“ wird daher auf den Zertifikaten bzw. Prüfzeugnissen des Instituts cyclos-HTP auch stets der Pfad benannt, über den ein Recycling dargestellt werden kann. Mit diesen beiden Angaben wird sichergestellt, dass das Prüfergebnis im Sinne des § 21 VerpackG als Bemessungsgrundlage herangezogen werden kann.



2.3 Geltungsbereich

Dieser Anforderungs- und Bewertungskatalog verfolgt den Anspruch eines europäischen Geltungsbereichs auf nationalstaatlicher Ebene. Hierbei ist einerseits zu berücksichtigen, dass Erfassungs- und tatsächlich vorhandene (und belieferte) Verwertungsstrukturen Voraussetzung für die Testierung der Recyclingfähigkeit durch Sachverständige des Institutes cyclos-HTP sind. Andererseits werden die Erfassungs- und Verwertungsstrukturen in den europäischen Ländern u. a. im Rahmen der Anpassung an die Vorgaben der EU-Verpackungsrichtlinien kontinuierlich ausgebaut. Cyclos-HTP führt diesbezüglich Aktualisierungen durch, kann aber nicht gewährleisten, stets auf dem neuesten Stand zu sein. In Konsequenz werden im Prüfungszeugnis diejenigen **Länder ausgewiesen, für die entsprechenden Voraussetzungen gesichert gegeben sind**. Das heißt also nicht, dass außerhalb des angegebenen Geltungsbereichs keine Recyclingfähigkeit besteht, sondern lediglich, dass diese für die nicht genannten Länder nicht geprüft wurde.



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

Der Begriff Recycling bündelt mehrstufige und komplexe verfahrenstechnische Prozessketten im industriellen Maßstab. Durch deren fortgeschrittene Standardisierung ist eine Bemessung der spezifischen Eigenschaften eines Erzeugnisses in der Nachgebrauchsphase möglich.

Vor dem Hintergrund von mehr als 25 Jahren praktischer Auseinandersetzung mit den Randbedingungen von Verwertungsstrukturen und technischer Gestaltung von Recyclingprozessen hat das Institut cyclos-HTP den vorliegenden Anforderungs- und Bewertungskatalog entwickelt. Auf Basis objektiver Maßstäbe kann so die Recyclingfähigkeit der über die angebotenen Abfall- bzw. Wertstofffassungssysteme gesammelten Altstoffe qualitativ und quantitativ charakterisiert werden.

Aufbauend auf den Anforderungen an stofflich verwertbare Verpackungen nach DIN EN 13430 wurden relevante Kriterien konkretisiert und weitergehend präzisiert.

Rezyklierbarkeit ist die Kennzahl für das qualitative und quantitative Verhalten eines Erzeugnisses in der Nachgebrauchsphase über die jeweils spezifische Prozesskette bis zum Primärrohstoffsubstitut. Das bedeutet, dass das Erzeugnis nach dem Gebrauch über bestehende Sammeleinrichtungen erfassbar und qualifiziert sortierfähig sein muss. Es muss so aufbereitbar sein, dass eine Rezyklierung ermöglicht wird.

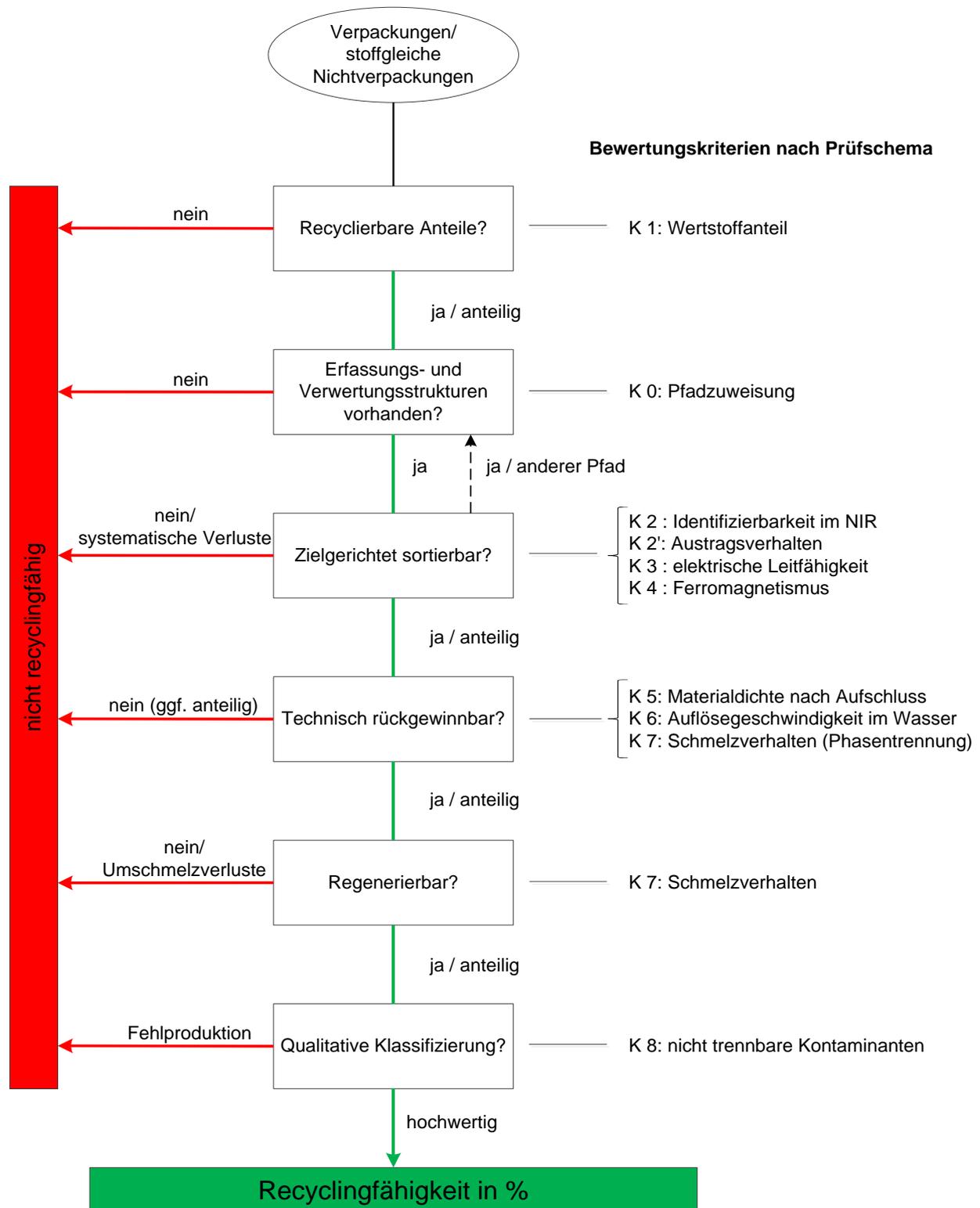
Zur Bemessung sind Referenzmodelle notwendig, die die existierenden Verwertungsstrukturen in den relevanten Stufen realitätsnah abbilden. In der Bewertung durchläuft das zu beurteilende Erzeugnis simulativ diese Referenzprozesskette. Diese Referenzprozessketten bezeichnen wir als Pfade. Derzeit unterscheiden wir 13 Pfade; allen gemeinsam ist, dass am Ende der Prozessabfolge ein Rezyklat produziert wird, welches materialidentische Neuware ersetzt. Die Bewertungskriterien leiten sich aus den Einflussparametern der jeweiligen Stufen der spezifischen Prozesskaskade ab.

Ein vereinfachter Entscheidungsbaum, der den Prüfprozess veranschaulicht, ist nachfolgend abgebildet. Hieraus wird auch deutlich, dass die einzelnen Prüfschritte (wie die technischen Prozesse selbst) eine Reihenschaltung bilden; d. h., wird in einem der Schritte eine „Null“ bzw. „0 %“ konstatiert, ist dies auch das Gesamtergebnis.

3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf



Abbildung 2: Ablaufschema zum Prüfprozess





3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

Die zur Erstellung dieses Anforderungs- und Bewertungskataloges zugrundeliegenden Referenzprozesse (Pfade) sowie deren technische Voraussetzungen sind im Einzelnen der Anlage 4.2 zu entnehmen. Angegeben ist an dieser Stelle auch, in welchen Ländern Europas jeweils spezifische Erfassungs- und Verwertungsstrukturen gegeben sind.

Der Untersuchungsgegenstand bzw. Gegenstand eines Testates ist das produzierte Erzeugnis in Gänze (bei Verpackungen ohne Inhalt). Setzt der Gebrauch eine Zerlegung des Erzeugnisses in einzelne Komponenten voraus, werden diese einzeln eingestuft, untersucht und bewertet. Das Gesamtergebnis wird dann bedarfsweise durch Addition der gewichteten Einzelergebnisse gebildet. Gleiches gilt, wenn aus Erfahrungswerten bekannt ist, dass eine Zerlegung durch den Nutzer oder durch die Beanspruchung bei Transportvorgängen i. d. R. vorausgesetzt oder zumindest plausibel unterstellt werden kann.

Ist bei Verpackungen eine vollständige Restentleerbarkeit technisch bedingt nicht möglich, werden Füllgutanteile, die nach Gebrauch immer in der Verpackung verbleiben, als zugehörige Materialkomponente qualitativ bezüglich ihrer Trennbarkeit und Rezyklatverträglichkeit (siehe K8) berücksichtigt.

In der nachfolgenden Untersuchungsmatrix sind die einzelnen Pfade mit ihrem zentralen Bewertungskriterien aufgeführt. Soweit diese für den einzelnen Pfad obligatorisch zu prüfen sind, ist dies mit einem „x“ gekennzeichnet. Im Rahmen der individuellen Bewertung ist darüber hinaus die gesamte Prozesskaskade zu berücksichtigen, so dass im Einzelfall auch Kriterien zu ergänzen sind (z. B. Größe, Format, Flächengewicht), die für den in Tabelle 1 berücksichtigten Regelfall nicht relevant sind.



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

Tabelle 1: Pfade einzelner Materialfraktionen und die Bewertungskriterien

Pfad	0 Zuordenbarkeit zu einem Recycling- pfad	1 Wertstoff- anteil	2 Identifi- zierbar- keit im NIR ²⁾ / opt. Erkennung	3 wirksame elektr. Leitfähigkeit ³⁾	4 Ferromag- netismus ³⁾	5 Material- dichte nach Auf- schluss ^{2) oder 3)}	6 Auflöse- geschwin- digkeit ³⁾ und grad ¹⁾ in Wasser	7 Schmelz- verhalten ¹⁾	8 nicht trennbare Rezyklat- Kontami- nanten ³⁾	Gesamt- bewertung ¹⁾ 1 x 2 x 3 x 4 x 5 x 6 x 7 x 8 x 9 in %
1. Kst.-Folien / PE-LD		X	(X)	-	-	X	-	X	X	
2. PE		X	X	X	X	X	-	X	X	
3. PP		X	X	X	X	X	-	X	X	
4. PS		X	X	X	-	X	-	X	X	
5. PET-Flaschen transparent		X	X	-	-	X	-	X	X	
6. MKS (formstabil)/ MPO		X	X	X	X	X	-	X	X	
7. MKS (flexible)/MPO		X	(X)	X	X	X	-	X	X	
8. Flüssigkeitskartons		X	X	-	-	-	X	-	X	
9. Weißblech/ Fe-Metalle		X	-	X	X	-	-	X	X	
10. Aluminium/ NE-Metalle		X	-	X	X	-	-	X	X	
11. PPK-Verbunde		X	X	X	X	-	X	-	X	
12. Glas		X	X	X	X	-	-	X	X	
13. Papier		X	X	-	-	-	X	-	X	

1) Bewertung 0 bis 1 (Restentleerbarkeit ist zu berücksichtigen)
 2) Bewertung 0 bis 1
 3) Bewertung 0 oder 1

Anmerkung: Die zu ermittelnden Werte für die Kriterien 5 und 7 beziehen sich auf den Anteil rezyklierbarer Stoffe wie unter Kriterium 1 ausgewiesen.

Erläuterungen zu den Einzelkriterien

Kriterium 0 (K0): Pfad

Das übergeordnete Kriterium zur Einstufung eines Erzeugnisses bezüglich seiner Rezyklierbarkeit ist das Vorhandensein einer hierauf anwendbaren Sammel- und Verwertungsstruktur. Diese wird dann vorausgesetzt, wenn das Erzeugnis bezüglich seines Stoffbestandes als Gutstoff einem der unter "Pfad" aufgelisteten Rezyklat-Vorprodukte zugerechnet werden kann. Ist eine solche Zuordnung nicht möglich, kann die Recyclingfähigkeit i. d. R. im Post-Consumer-Bereich nicht testiert werden, es sei denn, spezifische, der Allgemeinheit zugängliche Sammel- und Verwertungsstrukturen können im Einzelfall belegt werden.



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

Berücksichtigt sind unter „Pfad“ in Tabelle 1 daher nur solche Spezifikationen, für die aktuell die Option eines hochwertigen Recyclings praktisch zumindest fakultativ in signifikantem Maß (industrieller Maßstab) besteht.

Zurechenbarkeit bedeutet, dass das Erzeugnis – vorbehaltlich weiterer Prüfungen – hinsichtlich seiner Zusammensetzung mit den Spezifikationen der betreffenden Recyclingtechnologie nicht nur toleriert werden kann, sondern vielmehr als Gutstoff im Fokus des Recyclingprozesses steht. Alle nachfolgenden Kriterien werden pfadspezifisch angewendet bzw. bewertet.

Kriterium 1 (K1): Wertstoffanteil

Der „Wertstoff“ gibt den Masseanteil bezogen auf die Gesamtmasse des Erzeugnisses (Neuware) an, der theoretisch rezykliert werden kann. K1 steht also für den potenziell nutzbaren Wertstoffanteil im engeren Sinne des Wortes.

Die Zuordnung zu dem Wertstoffanteil bzw. dem Nicht-Wertstoffanteil korrespondiert mit der Zielprodukt- bzw. Störstoffdefinition des jeweiligen Recyclingprozesses (Pfad). Die i. d. R. auftretenden Korrelationen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

Tabelle 2: Übersicht über Wertstoffanteile

Pfad	Wertstoffanteil	praktisch nicht recyclebare Komponenten
Kst.-Folien; PE; PP; MKS (formstabil); MKS (flexibel)	PE-, PP-Anteil*	andere Kunststoffe, Papieretiketten, etc.
PS	Polystyrol-Anteil*, PE- und PP-Anteile* aus Deckeln + Verschlüssen	andere Kunststoffe, Nicht-Kunststoffe, Papieretiketten
PET-Flaschen transparent	PET-A-transparent-Anteil* zzgl. PO-Anteile* von Verschlüssen	andere Kunststoffe und Etiketten
Sonstige PET-Verpackungen	PET-A-Anteil*	andere Kunststoffe und Etiketten
Flüssigkeitskartons	Faserstoffanteil**, PE- und PP-Anteile***	Kunststoff- und Alufolie, Packhilfsmittel, Leim, Nassfestmittel und Imprägniermittel sowie entsprechend ausgerüsteter Faseranteil
Weißblech / Fe-Metalle	Anteil ferromagnetischer (Legierungs-) Metalle, NE-Metallanteil	Kunststoffbestandteil, Etiketten
Aluminium / NE- Metalle	NE-Metallanteil, Fe-Metallanteil	Nicht-NE-Metallkomponenten wie Kunststoffe, Holz etc.
PPK-Verbunde	Faserstoffanteil**	Kunststoffe, Aluminium, Leim, Nassfestmittel sowie Imprägniermittel sowie entsprechend ausgerüsteter Faseranteil
Glas	Glas- und Metallanteile	Etiketten, Kunststoffverschlüsse
Papier, Pappe, Karton	Faserstoffanteil**	Nicht-Faserstoffanteil inkl. Bindemittel, Leim, Nassfestmittel und Imprägniermittel sowie entsprechend ausgerüsteter Faseranteil

* Der Wertstoffgehalt (PE-Gehalt, PP-Gehalt, PO-Gehalt etc.) für „kunststoffbasierte Verpackungen“ kann gleichgesetzt werden mit dem namensgebenden Hauptpolymeranteil zuzüglich Additiven, feindispersen Füll- und Verstärkungsstoffen und Pigmenten, die in der Polymermatrix eingebunden sind (Mindeststandard ZVSR).

** Zur Bestimmung des Wertstoffgehalts kann „Faserstoff“ gleichgesetzt werden mit der Summe aus Fasern, Füllstoffen, Stärke, Streichfarben inklusive Strichbindemittel sowie typische in der Papierindustrie eingesetzte Additive wie Nassfestmittel, Leimungsmittel sowie gebundenes Wasser (Mindeststandard ZVSR).

*** Für Deutschland werden PP- und PE-Anteile aktuell als Wertstoff anerkannt. (Bei Anwendung des Testates im Sinne des Mindeststandards ist hierzu ergänzend ein Einzelnachweis, über die hochwertige Verwertung von Polyolefin- und ggf. Metallanteilen, erforderlich).

Die Feststellung der Bewertungskennziffer erfolgt auf Grundlage plausibilisierter Herstellerangaben zur stofflichen Zusammensetzung des Erzeugnisses. Das Ergebnis geht i. d. R. direkt proportional in das Gesamtbewertungsergebnis ein (Ausnahmen siehe KAT 2).



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

Hochwertiges Recycling setzt die Trennbarkeit einzelner Werkstoffe im engeren Sinne voraus. Die derzeit etablierten Recyclingprozesse fokussieren sich hierbei zumeist jeweils nur auf einen, seltener auf einige wenige Werkstoffe, deren zulässige Komponenten und Verwertungseigenschaften sich z. B. in den jeweiligen Werkszeugnissen oder Rezyklat-Charakterisierungen nach DIN wiederfinden. Alle übrigen Komponenten gelten als prozessspezifische Störstoffe unabhängig davon, ob sie vollständig oder partiell in das Rezyklat gelangen.

Hinsichtlich der Qualität von Störstoffen sind im Groben drei Kategorien zu unterscheiden (die jeweiligen Massenanteile werden im Rahmen der Bewertung unter K1 ausgewiesen):

KAT 1: Solche Stoffe, die mit den im Recyclingprozess etablierten Verfahren quantitativ abgetrennt werden können.

Der Störstoffanteil gemäß KAT 1 führt zu einer quantitativen Einschränkung der Rezyklierbarkeit und wird im Rahmen von K1 durch entsprechende Minderung der Kennziffer berücksichtigt.

KAT 2: Solche Stoffe, die zwar mit den im Recyclingprozess etablierten Verfahren nicht abgetrennt werden können, aber in der Praxis die Rezyklateigenschaften nicht oder nicht entscheidend verschlechtern.

Der entsprechende Anteil wird im Rahmen des Bewertungskriteriums K1 nicht als Gutstoff (recyclebarer Anteil) angerechnet. Ausnahmen sind Additive bei Polymeren, sowie die regulären Mischungsbestandteile des Rezyklats (Legierung, Blend, Masterbatch) wie z. B. TiO₂-Anteile im PE-HD oder PE-HD-Anteile im PP-Blend.

KAT 3: Solche Stoffe, die mit den im Recyclingprozess etablierten Verfahren nicht abgetrennt werden können und das Rezyklat bis hin zur Unbrauchbarkeit qualitativ degradieren oder anderweitig zu unverhältnismäßig hohen Wertstoffverlusten oder Prozesskosten führen.

Die Bewertung eines Störstoffanteils der KAT 3 erfolgt unter Kriterium 8 (K8), mit der Konsequenz/Folge, dass die Recyclingfähigkeit nicht testierbar ist (Bewertungskennziffer „0“).

In der nachfolgenden Tabelle 3 sind typische "Störstoffe" der Kategorien 1 – 3 exemplarisch (d. h. insbesondere weder abschließend noch starr zugeordnet) aufgenommen. In einigen Fällen ist die Bewertung konzentrationsabhängig und bedarf daher stets einer Einzelfallerörterung. Bestandteil der Untersuchung ist daher immer auch eine Recherche bezüglich möglicher Unverträglichkeiten nicht trennbarer Materialkombinationen und Zuschlagsstoffe, Druckfarben etc.



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

Tabelle 3: Übersicht über typische Störstoffe in einzelnen Pfaden

Pfad	KAT 1	KAT 2	KAT 3
1 Kunststoff-Folien/ PE-LD	Papieretiketten; wasserlösliche Klebstoffapplika- tionen; nicht polyolefinischer Kunststoff- anteil	PP-Folien*, EVOH-Barriere- schichten**, EVA**, Metallisierung, Haftvermittler**	nicht wasserlösliche Klebstoffapplikationen in Kombination mit nassfesten Papieretiketten, PA-Schichten***, PE-X-Schichten, PVDC- Schichten, sonstige Nicht-PE-Polymerschichten (außer Haftvermittler, Klebstoffe, PP, EVA und EVOH), nicht-Polymerschichten (außer SiOx und AlOx/Metallisierung)
2 PE	Papieretiketten; wasserlösliche Klebstoffapplika- tionen; Kunststoffe > 1 g/cm ³	EVOH-Barrierschichten; PP* (z. B. Kappen, Etiketten, etc.); sonstige thermoplastische Poly- mere der Dichte < 1 g/cm ³ in geringer Konzentration (z. B. EVA, TPE PO-basiert)	Nicht trennbare Silikonkomponenten; Kompo- nenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere; nicht wasserlösliche Klebstoffappli- kationen in Kombination mit nassfesten Papie- retiketten, PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³ ; PA- Schichten; PE-X-Komponenten, PVDC-Schich- ten; Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³
3 PP	Papieretiketten; ALU-Platinen; wasserlösliche Klebstoffapplika- tion; Kunststoffe der Dichte > 1 g/cm ³	PE-Verschlüsse*, EVOH-Barriere- schichten**; PE-LD* (z. B. Etiketten); sonstige thermo- plastische Polymere der Dichte < 1 g/cm ³ in geringer Konzent- ration (z. B. EVA**, TPE PO- basiert), Haftvermittler**	Nicht trennbare Silikonkomponenten; Kompo- nenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere; nicht wasserlösliche Klebstoffappli- kation in Kombinationen mit nassfesten Papie- retiketten; PET-Sleeves Dichte < 1 g/cm ³ ; PA- Schichten; PVDC-Schichten; Nicht-PO-Kunst- stoffe der Dichte < 1 g/cm ³
4 PS	Papieretiketten; wasserlösliche Klebstoffapplikation; Kunststoffe < 1 g/cm ³ und > 1,08 g/cm ³ ; ALU-Deckelfolie		Fremdkunststoffe oder Multilayer der Dichte- klasse 1,0 – 1,08 g/cm ³ ; nicht wasserlösliche Klebstoffapplikationen in Kombination mit nass- festen Etiketten
5 PET-Flaschen (transparent klar- /light-blue)	Plasma coating (clear); wasserlösliche oder alkalisch lösliche Klebstoffapplikationen; Papieretiketten; PE, PP-Etiket- ten und Sleeves	AA-Blocker; UV-Stabilisatoren, TPE-PO-basiert	PET-G-Komponenten; POM-Komponenten; PVC-Komponenten, EVOH-Schichten, nicht trennbare Silikonkomponenten, PA-Schichten; PVC-, PS-, PET-G-Etiketten/Sleeves; sonstige blended-barriers; PA-Additivierung (PET-A-Copolymer); nicht ab- lösbare Klebstoffapplikationen (in Wasser oder alkalisch bei 80°C); nicht magnetische Metalle; Elastomerkomponenten der Dichte > 1 g/cm ³ ; Direktdruck außer MHD und Chargennummer
5a PET-Flaschen, sonstige	Plasma coating (clear); wasserlösliche oder alkalisch lösliche Klebstoffapplikationen; Papieretiketten; PE, PP-Etiket- ten und Sleeves, PA-Mo- nolayer-Barrierschichten	AA-Blocker; UV-Stabilisatoren PA-Additivierung PET-A-Copo- lymer, TPE-PO-basiert, EVOH-Barrierschichten	POM-Komponenten; PET-G-Komponenten; PVC-, PS-, PET-G/ S-Etiketten/Sleeves; nicht lösliche Klebstoffapplikation (in Wasser oder al- kalisch bei 80°C)****; nicht magnetische Me- talle; Elastomerkomponenten der Dichte > 1 g/cm ³ , nicht trennbare Silikonkomponenten
6/7 MKS (MPO)	Papieretiketten; PS-, PET-, PA-, PVC-, ABS-, PC, etc.- Komponenten	PE-LD*; EVOH-Barrier- schichten**; sonstige thermo- plastische Polymere der Dichte < 1 g/cm ³ in geringer Konzent- ration (z. B. EVA**, TPE-PO- basiert), Haftvermittler**	Nicht trennbare Silikonkomponenten; ge- schäumte nicht thermoplastische Elastomere mit der Dichte < 1 g/cm ³ ; geschäumte nicht po- lyolefinische Komponenten, PA-Schichten; nicht wasserlösliche Klebstoffapplikationen in Kombi- nation mit nassfesten Papieretiketten
8/11 PPK-Verbunde/ Flüssigkeitskartons	Kunststofffolienetiketten; Kunst- stoff- und Metalllayer; Kunst- stoff- und Metallanteile	Druckfarben und Klebstoffe; re- dispergierende wasserlösliche Druckfarben und Klebstoffe; Lacke	Nicht wasserlösliche oder nicht redispersierbare Klebstoffapplikationen, soweit nicht nachgewie- sen wird, dass sie entfernt werden können ² . Komponenten der EuPIA (Exclusion list for printing inks and related products).

² Eine für den Nachweis bei Klebstoffapplikationen geeignete Prüfmethode ist PTS-RH 021/97 oder die INGEDE-Methode 12, wenn diese für Verpackungen angepasst wird. Die in der EPRC-Scorecard genannten Ausnahmen für Hotmelt gelten (Klebstoff-Erweichungstemperatur (nach R&B) ≥ 68 °C, Layer-Schichtdicke (nichtreaktiver Klebstoff): ≥ 120 µm, Layer-Schichtdicke (reaktiver Klebstoff): ≥ 60 µm, horizontale Abmessung der Applikation (in jede Richtung): ≥ 1,6 mm).



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

Pfad		KAT 1	KAT 2	KAT 3
12	Glas	Papier- und Kunststoffetiketten	Bleioxid	Blei und Barium aus Kristallglasverpackungen; Verbundglas mit Einschlüssen von Metall und Kunststoff; Bügelverschlüsse mit ausschließlich nicht-ferromagnetischen Metallanteilen.
13	Papier	Kunststoffbestandteile	Druckfarben und Klebstoffe; re-dispergierende wasserlösliche Druckfarben und Klebstoffe; Lacke	Nicht wasserlösliche oder nicht redispersierbare Klebstoffapplikationen, soweit nicht nachgewiesen wird, dass sie entfernt werden können ² . Komponenten der EuPIA (Exclusion list for printing inks and related products).

* Anteile werden zu 25 % in Abzug gebracht bzw. zu 75 % als Gutstoff anerkannt

** Die Kategorisierung ethylenbasierter Polymere kann je nach Polymeraufbau variieren.

*** Coextrudierte Folienschichten aus Polyamid 6 (PA 6) oder Co-Polyamid 6/6.6 (PA 6/6.6) sind recyclingkompatibel für PE-Folien-Recycling in Rezyklaten für Spritzguss- und Blasfolienanwendungen. Entscheidend ist der Einsatz von PA in Kombination mit einem Maleinsäureanhydrid-gepfropften Polyethylen als Haftvermittlerschicht in einem Verhältnis von $\geq 0,5$ g HV pro g PA in einer coextrudierten Folie. Außerdem muss der HV vom Hersteller für den Einsatz für die Coextrusion von PA und PE spezifiziert sein.

**** Für gemischtes PET aus der haushaltsnahen Sammlung, findet keine Anwendung als KAT3-Kriterium statt.

K2: Identifizierbarkeit bei NIR-Reflexionsmessung / optische Erkennbarkeit

Für Wertstoffe, die standardmäßig über die NIR-spektrometrische Reflexionsmessung aussortiert werden, d. h. vorkonzentriert werden müssen, wird eine Prüfung vorgenommen, ob diese die Voraussetzungen einer eindeutigen, im Sinne der Zielfraktion korrekten Erkennung erfüllen. Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, z. B. durch eine umfangreiche Etikettierung mit Fremdmaterial oder als Folge zu dunkler Farbgebung durch rußbasierter Additive, wird dies mit der Ziffer „0“ bewertet. Ist die korrekte Identifikation abhängig von der Lage, wird dies ebenfalls berücksichtigt. Beispielsweise werden bei zweidimensionalen Artikeln, deren Oberflächen aus unterschiedlichen Materialien bestehen, mit 0,25, 0,5 oder 0,75 (0,25 und 0,75 bei zweistufigen Prozessschritten) bewertet. Die Bewertungsziffer 1 ist gleichzusetzen mit einer uneingeschränkter Identifizierbarkeit. Die Feststellung erfolgt auf Grundlage einer empirischen Messung unter standardisierten Bedingungen mit betrieblich eingesetzten Klassifikatoren (Referenzprogramme) der aktuellen Generation.

Bei Glas tritt anstelle des NIR-Reflexionsverhaltens die Transmission von sichtbarem Licht.

K2': Austragsverhalten

Die sensorgestützten Sortierverfahren weisen gegenüber anderen Trenntechniken die Besonderheit auf, dass die Auslenkung aus dem Massenstrom ein separater, eigenständiger Teilprozess ist, der insbesondere unabhängig von der Detektion auch von physikalischen Merkmalen wie z. B. der Masse und der Form bestimmt wird.

Das korrespondierende Bewertungs(unter-)kriterium wird als „Austragsverhalten“ bezeichnet.



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

Dieses „Austragsverhalten“ wird in einem dynamischen Versuch untersucht/bewertet. Hierbei erfolgen Messung und Quantifizierung den Standardbedingungen von industriellen/betrieblichen Prozessen bezüglich der Druck- und Ventilblockausführung (der Aggregate).

Voraussetzung für eine uneingeschränkte Berücksichtigung des Austragsverhaltens bei der Bemessung der Recyclingfähigkeit sind Testergebnisse von $\geq 70\%$ korrekter Austrag bei positiver Detektion. Unterhalb einer Rate von 30% wird K2' mit der Ziffer „0“ bewertet. Im Intervall $30\% - 80\%$ wird die Ziffer „0,5“ angesetzt. Sofern Abschlüsse vorgenommen werden, ist die Ursache für ein unzureichendes Austragsverhalten im Prüfzeugnis auszuweisen.

K3: Wirksame elektrische Leitfähigkeit

Dieses Kriterium berücksichtigt für Wertstoffe, welche über die Fraktion NE-Metalle / Aluminium recycelt werden sollen, ob ausreichende Voraussetzungen für eine Abtrennung mit dem Standardverfahren Wirbelstromscheidung gegeben sind. Die Einstufung „trennbar“ (Bewertungsfaktor 1) bzw. „nicht ausreichend rückgewinnbar“ wird auf einer empirischen Grundlage vorgenommen. Je nach Format ist erfahrungsgemäß auch eine Untersuchung der Lageabhängigkeit durchzuführen.

Für alle übrigen Wertstoffe, bei denen der Recyclingpfad nicht über die enthaltenen NE-Metallanteile definiert ist, erfolgt mit Ausnahme von beschichteten Kartonverpackungen bei gleicher Messmethode eine gegenteilige Beurteilung: Wird das Trennverhalten vom Metallanteil bestimmt, gilt für den untersuchten Pfad die Bewertungskennziffer 0; das Erzeugnis wird dann obligatorisch über Pfad 10 (Alu / NE-Metalle) bilanziert. Ist praktisch keine relevante Beeinflussung feststellbar, wird der Faktor 1 angesetzt.

K4: Ferromagnetismus

Die ferromagnetische Eigenschaft eines Erzeugnisses ist für die Rezyklierbarkeit i. d. R. ein dominantes Merkmal. In allen Standardrecyclingprozessen wird diese Stoffeigenschaft als eine der ersten Prozessstufen zur Trennung genutzt.

Besitzt das Erzeugnis ferromagnetische Komponenten, ist zunächst zu prüfen, ob diese so ausgeprägt sind, dass sie den Recyclingpfad bestimmen. In Grenzfällen wird dies als gegeben angesehen, wenn das Erzeugnis mit einem Magnetsystem der Arbeitshöhe 450 mm aus einem Abstand von 300 mm ausgehoben werden kann.

Ist dies der Fall, erfolgt die Bewertung unabhängig vom sonstigen Stoffbestand über den Pfad Weißblech-/ Fe-Metalle. Ausnahmen von diesem Bewertungsmaßstab wird für Erzeugnisse gemacht, welche in mindestens zwei Dimensionen eine Länge von 220 mm überschreiten (z. B. PE-Eimer mit Stahlhenkel). Für diese kann im realen Recyclingprozess vorausgesetzt werden, dass



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

vor einer Separierung ein Aufschluss erfolgt oder eine manuelle Aussortierung vorausgesetzt werden kann.

K5: Materialdichte nach Aufschluss

Das Kriterium Dichte berücksichtigt die Tatsache, dass innerhalb der Kunststoffaufbereitung die sogenannte Schwimm-Sink-Sortierung die zentrale Verfahrensstufe zur Produktion hochwertiger Rezyklate darstellt.

Eine Eingruppierung und Bewertung bezüglich des Kriteriums „Dichte“ erfolgt unter der Maßnahme eines Aufschlusses durch Zerkleinerung auf ca. < 10 mm. Das Beurteilungskriterium ist, ob die so erzeugten Materialteilchen unterhalb oder oberhalb der technisch relevanten Trenndichten von 1 g/cm³ (PE-, PP-, PO-Trennschnitt) bzw. 1,08 g/cm³ (PS) liegen.

Werden diese Werte durch die Verwendung von Füllstoffen oder wegen einer Laminierung überschritten, erfolgt die Beurteilung als gestaltungsbedingter Verlust. Anteilige Überschreitungen, soweit nicht unter „Kriterium 1“ (K1) bereits berücksichtigt, werden quantitativ in die Beurteilung einbezogen. (Die Verwendung unverträglicher Kunststoffe einer Dichteklasse in einem Erzeugnis im Rahmen des Kunststoffrecyclings wird unter K1 bzw. K8 abgehandelt.)

Die Prüfung bezüglich Dichtekriterien erfolgt i. d. R. empirisch und wird rechnerisch geprüft. Liegen keine spezifischen Herstellerangaben vor, werden einschlägige Stoffdaten zum Ansatz gebracht.

Eine Zusammenstellung von Daten, häufig eingesetzter Stoffe, ist Anlage 4.1 zu entnehmen.

K6: Auflösegeschwindigkeit in Wasser

Soweit Erzeugnisse über einen der existierenden Verwertungspfade für Altpapier recycelt werden sollen, setzt dies voraus, dass bei den technischen Betriebsparametern in der Altpapieraufbereitung ein Aufschluss der Fasern erfolgt.

Als Referenz für Erzeugnisse, welche dem Pfad 13 zuzuordnen sind, dienen die benötigten Aufschlusszeiten für gemischtes Altpapier (Sorte 5.02); bei einer Zuordnung zu den Pfaden 8 und 11 dienen die Stofflösezeiten für Flüssigkeitskartons als Referenz.

Faserverluste im Reject werden zum Faktor 1 in Abzug gebracht.



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

K7: Schmelzverhalten

Eine Fest- / Flüssig-Trennung, wie sie z. B. innerhalb der Schmelzefiltration beim Regranulieren von Kunststoffen vorausgesetzt werden kann, wird vom Grundsatz her wie die sonstigen physikalischen Trennverfahren ohne Phasenänderung bewertet.

Der Stoffbestand bzw. anteilige Störstoff (s. K1), der bei der Aufbereitung von Kunststoffen erst im schmelzflüssigen Zustand vom Rezyklatanteil abtrennbar ist, wird bei der Beurteilung des Recyclinggrades allerdings mit einem Faktor 2 - 4 in Abzug gebracht, da die Fest-Flüssig-Trennung immer auch mit Gutstoffverlusten, d. h. Rezyklatverlusten verbunden ist.

Eine Abschätzung, welche Stoffe bei den Verarbeitungstemperaturen beim Umschmelzen zu Rezyklaten (ca. 230°C bei PO und ca. 285°C bei PET), nicht in die Schmelze übergehen bzw. Abbauprozessen unterliegen, vermittelt die Stoffdatensammlung in Anlage 4.1. Sofern keine spezifischen Herstellerangaben vorliegen, wird auf diese Angaben zurückgegriffen.

Prozessimmanente Rezyklatverluste durch Verdampfung oder Oxidation werden auf Grundlage von Literaturdaten pauschal in Abzug gebracht. Relevant und hinreichend untersucht sind z. B. Schmelz- und Oxidationsverluste von metallischem Aluminium bei pyrolytischer Rückgewinnung. In erster Linie ist eine Proportionalität nach Materialstärke des Aluminiums anzunehmen. Für sehr dünne Layer (Barrierschichten) von 7 – 9 µm betragen die Verluste ca. 10 % des Metallinhalts. (Quelle: Studie der VAW Aluminium AG: Ökologische Effizienz der stofflichen Verwertung der DSD-Aluminiumverpackungs-Fraktion durch Pyrolyse; 2000).

Für Aluminiumdosen und vergleichbare Al-Schrotte sind nach verschiedenen Quellen 1 – 2 % zu veranschlagen (z. B. Giese/Rahms/Mackenstedt: Optimierung der thermischen Prozessführung beim Recycling von Aluminiumschrott durch Pyrolyse; 2007, S. 6 und European Aluminium Industrie, 2018 DATA for year 2015, Tab 8 – 2). Unter der Annahme einer 2%igen Verlustrate für Getränkedosen mit einer mittleren Wandstärke von 200µg und von 10 % bei sehr dünnen Layern lässt sich der Ausbringungsverlust (R_v) wie folgt abschätzen.

$$R_v = 0,1 - 0,0004 / \mu\text{m} \times \text{Materialstärke in } \mu\text{m}$$

Als Schmelzofenverluste bei der Aufbereitung von Fe-Metallen (Verdampfung der Zinnanteile) werden pauschal 70 % des Zinnanteils als Schmelzverlust angesetzt. (Quelle: Wullrich, W.; Schicks, H: Vortrag Duisburger Recyclingtage, Moers, 1992). Oxidationsverluste an Eisen im Konverter sind zurzeit noch nicht erfasst. Sie werden bis auf Weiteres als marginal eingeschätzt und daher vernachlässigt. Masseverluste, die bei der Schmelze durch Oxidation von Lackierungen bzw. zusätzlichen Kunststoff-Beschichtungen entstehen, sind bereits unter K1 berücksichtigt.

Alle Abzüge verstehen sich als anteilige Differenz zum Faktor 1 bzw. 100 %.



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

(Für Stoffsysteme mit vergleichbarem Schmelzverhalten bzw. bei feindisperser Einbindung wird unter Beachtung der Mischbarkeit (Blends, Legierungen, Füllstoffe) und Verträglichkeit bezüglich der Rezyklateigenschaften auf K1 und K8 verwiesen; gleiches gilt für Stoffe, die im Temperaturbereich des zur Rezyklatproduktion notwendigen Umschmelzens Zersetzungsprozessen unterliegen.)

K8: Nicht trennbare Kontaminanten / stofflich bedingte Querkontamination

Die Prüfung bezüglich der Unverträglichkeit nicht trennbarer Fremdkomponenten erfolgt i. d. R. auf Grundlage von Herstellerangaben (z. B. Angaben aus technischen Datenblättern, Angaben zu thermischer Stabilität, Spezifikationen von Klebstoffapplikationen, Druckfarben, etc.). Liegen keine spezifischen Stoffdaten vor, werden diese soweit wie möglich auf Basis einschlägiger Daten beurteilt.

Eine Unverträglichkeit, die auf Zersetzung von Stoffen im Rahmen thermischer Umformprozesse beruht, wird bedarfsweise auf Grundlage der Stoffdatensammlung in Anlage 4.1 festgestellt.

Sind im zu bewertenden Produkt Störstoffe der KAT 3 zuzuordnen (s. K1, Tabelle 3), kann von einer wirtschaftlichen Herstellung eines vermarktbareren Rezyklats nicht mehr ausgegangen werden und das Erzeugnis wird in Gänze als nicht recyclebar klassifiziert (Bewertungskennziffer 0).

K9: Sonstige Kriterien

Die Anwendung sonstiger Kriterien resultiert aus dem individuellen Abgleich einer Verpackung mit der detaillierten Pfadbeschreibung des Recyclingprozesses. Neben den unter K0 bis K8 beschriebenen Abhängigkeiten können hierbei im Einzelfall weitere Verpackungseigenschaften - wie das Format - Prozessrelevanz aufweisen. So sind beispielsweise nicht-metallische Verpackungen, die in mindestens zwei Dimensionen < 16 mm sind, als nicht sortierbar zu klassifizieren. Gleiches gilt für kleinteilige Verpackungskomponenten, wenn diese typischerweise separat den Sortierprozess durchlaufen (Abreißlaschen, Klammern, Bänder und Schnüre zur Etikettenbefestigung, Sicherheitssiegel etc.). K9 kann entsprechend Werte zwischen 0 und 1 annehmen.

Anmerkung: Formatkriterien, die die Zuweisung zu einem bestimmten Recyclingpfad definieren oder ausschließen (z. B. Folien $>$ Din A4, Flaschen $<$ 5 l etc.) werden nicht unter K9, sondern unter K0 berücksichtigt.



3. Untersuchungs- und Bewertungsmatrix, Übersicht und Ablauf

Gesamtbewertung

Die Gesamtbewertung erfolgt durch Multiplikation der nach K1 bis K9 ermittelten Einzelziffern. Ist das Ergebnis abweichend von „0“, wird das Erzeugnis als recyclingfähig nach Prüfstandard dieses Katalogs und DIN EN ISO 13430 eingestuft.

Die in Prozent ausgewiesene summarische Bewertungskennziffer ist so konfiguriert, dass sie den Wertstoffanteil des Erzeugnisses repräsentiert, der nach Gebrauch zur Ressourcenschonung durch hochwertiges Recycling und zur monetären Wertschöpfung tatsächlich verfügbar ist.

Informell wird ferner die „Rezyklatausbeute“ angegeben. Im Gegensatz zur Recyclingfähigkeit repräsentiert diese Kennziffer nur nicht das Ergebnis der eigentlichen Wertstoffbilanzierung, sondern das einer Massenbilanzierung. Nicht trennbare wertstofffremde Komponenten (KAT 2 Störstoffe) sind also in der Kennziffer „Rezyklatausbeute“ enthalten.

Über die Einstufung wird ein differenziertes Prüfzeugnis ausgestellt; die Gesamtbewertung wird hierbei quantitativ in "% recyclebar/recyclingfähig" ausgewiesen.

Das Testat berechtigt dazu – zur Kenntlichmachung der unabhängigen Prüfung der umweltbezogenen Anbietererklärung "recyclingfähig" – das Prüfsiegel des Institutes cyclos-HTP zu verwenden. Die Rechte und Pflichten der Zeichennutzung durch Aufdruck sind an anderer Stelle separat geregelt.

Statt der Ziffer kann hierbei auch eine Klassifikation (Klass.) des Grades der Recyclingfähigkeit erfolgen, die ebenfalls auf dem Prüfzeugnis ausgewiesen wird.

Hierbei gilt folgende Staffelung:

Klass. C	recyclingfähig, recyclebarer Anteil: < 50 % (geringgradig recyclingfähig)
Klass. B	recyclingfähig, recyclebarer Anteil: 50 % – 70 % (mittelgradig recyclingfähig)
Klass. A	recyclingfähig, recyclebarer Anteil: 70 % – 90 % (gut recyclingfähig)
Klass. AA	recyclingfähig, recyclebarer Anteil: 90 % – 95 % (hochgradig recyclingfähig)
Klass. AAA	recyclingfähig, recyclebarer Anteil: ≥ 95 % (ausgezeichnet recyclingfähig)
Klass. AAA+	recyclingfähig, recyclebarer Anteil: 100 % recyclingfähig

Die meisten Anwender vorliegenden Standards streben die Überschreitung der 50 %-Marke an. Von einer Auslobung der Recyclingfähigkeit unterhalb des Schwellenwertes von 50 % (Klass. C) wird seitens der Sachverständigen CHI abgeraten.



4. Anlagen

4.1 Stoffdatensammlung (Auszug)

Kurzzeichen	Name	Dichte	Schmelzpunkt T_m Glasübergangs- Temperatur T_g	Zersetzungstemperatur / Anmerkungen zur Temperaturbeständigkeit
PE-LD	Polyethylen niedriger Dichte	0,915-0,935 g/cm ³	T_m : 105 - 118°C	340-440°C
PE-HD	Polyethylen hoher Dichte	0,94-0,97 g/cm ³	T_m : 126 - 135°C	340-440°C
PP	Polypropylen	0,90 - 0,91 g/cm ³	T_m : 160 - 170°C	330-410°C
PS	Polystyrol	1,05-1,06 g/cm ³	T_m : 240 - 270°C	300-400°C
EPS	expandiertes Polystyrol	0,015-0,1 g/cm ³	T_m : ~ 240°C	300-400°C
PET-A	Polyethylenterephthalat amorph	1,33-1,35 g/cm ³	T_m : ~ 260°C	ab 340°C
PET-G	Polyethylenterephthalat Glykol modifiziert (Copolymer)	1,27 g/cm ³	T_m : ~ 260°C	ab 280°C
PET-C	Polyethylenterephthalat teilkristallin	1,38-1,40 g/cm ³	T_m : ~ 280°C	320°C
PET-S	Polyethylenterephthalat/ Styrol-modifiziert	1,15 g/cm ³		
PA 6	Polyamid 6	1,13 g/cm ³	T_m : 220 - 225°C	300-350°C; Verfärbung durch thermolytisch-oxidativen Abbau ab 200°C
PA 66	Polyamid 66	1,14 g/cm ³	T_m : 250 - 260°C	320-400°C; Verfärbung durch thermolytisch-oxidativen Abbau ab 200°C
EVOH	Ethylvinylalkohol (Copolymer)	1,12-1,31 g/cm ³	T_m : 158-195°C je nach mol%	ab 200°C
PVAL; PVOH	Polyvinylalkohol	1,19-1,31 g/cm ³	T_m : 200 - 228°C	180-200°C
PVC (hart)	Polyvinylchlorid	1,40 g/cm ³	T_g : ~ 80°C	ab 180°C; reines PVC: 200-300°C; Braunfärbung durch HCl-Abspaltung ab 180°C
PVDC	Polyvinylidenchlorid	1,63 g/cm ³	T_m : 200°C	225-275°C; Braunfärbung durch HCl-Abspaltung ab 180°C
POM	Polyoxymethylen	1,42 g/cm ³	T_m : 175°C	ab 220°C
PMMA	Polymethylmethacrylat	1,18 g/cm ³	T_m : 160°C	180-280°C
PAN	Polyacrylnitril (Copolymer)	1,17 g/cm ³	T_m : 326°C	Homopolymer > 200°C
PC	Polycarbonat	1,20 g/cm ³	T_m : 220 - 230°C	350-400°C
PEN	Polyethylenaphthalat	1,36 g/cm ³	T_m : 270°C	
EVA/EVAC	Ethylvinylacetat (Copolymer)	0,92-0,95 g/cm ³	amorph	
SAN	Styrol-Acrylnitril	1,09 g/cm ³		
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol	1,03 – 1,07 g/cm ³		
EIM	Ionomer	0,94-0,95 g/m ³	amorph	
COC	Cycloolefin-Copolymer	1,02 g/m ³	amorph	
CaCO ₃	Calciumcarbonat/ Kreide als Füllstoff	2,73 g/cm ³		825-899°C (CO ₂ -Abspaltung)
Talk	Talkum (Schichtsilikat) als Füllstoff	2,58 – 2,83 g/m ³		
Al	Aluminum	2,7 g/cm ³	T_m : 660°C	

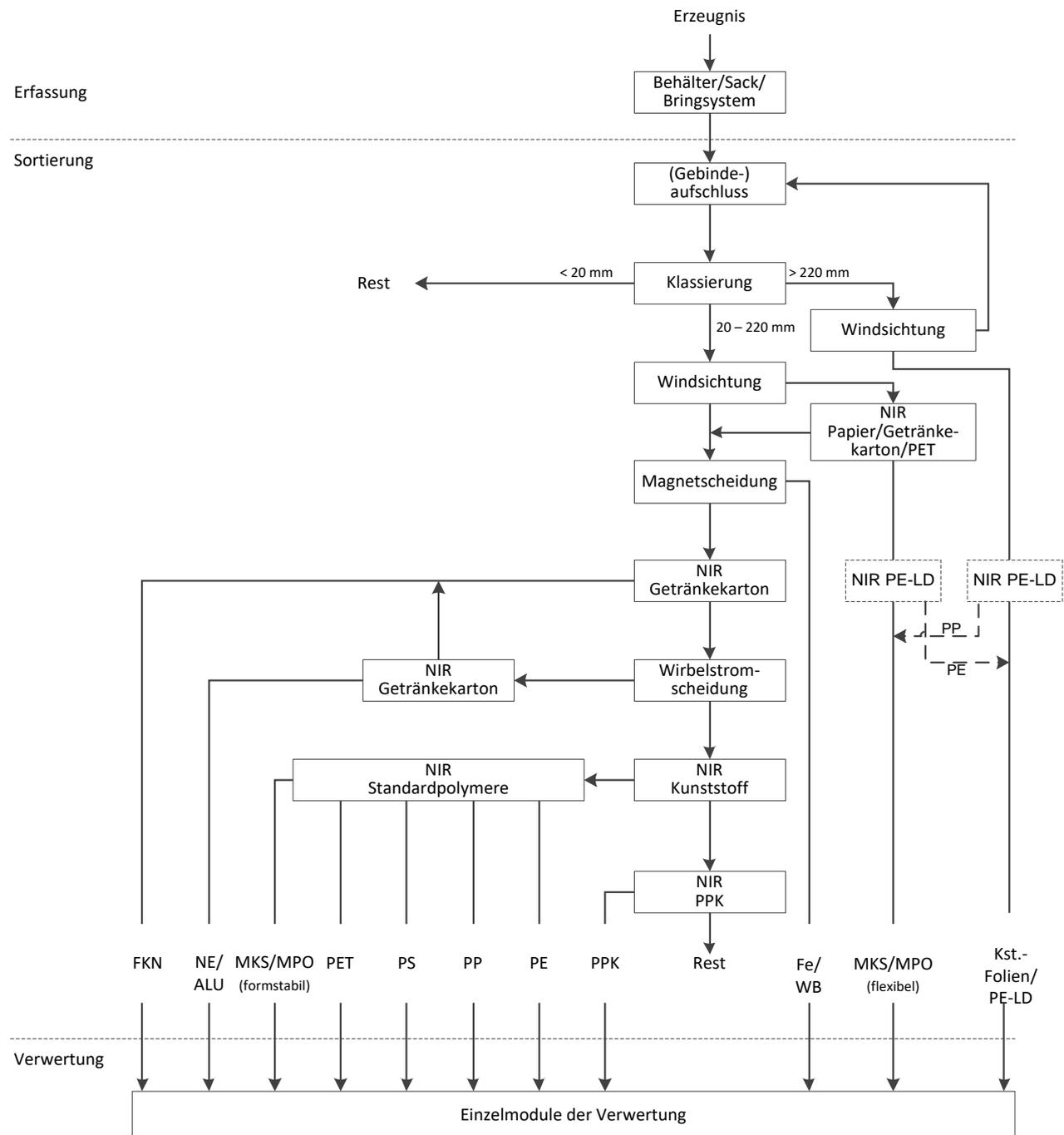


4.2 Referenzszenarien mit Erläuterungen

- Übersicht LVP / PMD/ Wertstofftonne
- Pfad 1: Kst.-Folien
- Pfade 2 und 3: PE und PP
- Pfad 4: PS
- Pfad 5: PET-Flaschen
- Pfad 6: MKS (formstabil) / MPO rigid
- Pfad 7: MKS (flexibel) / MPO-flex
- Pfad 8: FKN / kunststoffbeschichtete Kartonverpackungen
- Pfad 9: Wb / Fe-Metalle
- Pfad 10: ALU / NE-Metalle
- Pfad 11: PPK-Verbunde
- Pfad 12: Glas
- Pfad 13: Papier, Pappe, Karton



4.2.1 Übersicht LVP /PMD / Wertstoffe





4. Anlagen

Die LVP-/PMD-Sortierung bildet keinen eigenständigen Pfad. Wegen ihrer besonderen Bedeutung als Teilreferenz für die Pfade 1 bis 11 soll an dieser Stelle eine differenzierte Beschreibung des Standes der Technik erfolgen. MRFs in anderen Ländern (wie PMD-Sortierung in Belgien in den Niederlanden) folgen auch vergleichbaren Standards und Prozessfolgen, so dass die nachfolgend auf die deutsche LVP-Sortierung fokussierte Beschreibung in weiten Teilen übertragbar ist.

Der Annahmehbereich einer LVP-/WST-Sortieranlage nach dem Stand der Technik ist als vollständig eingehauster Flachbunker ausgeführt. Die Anlieferung erfolgt teilweise direkt mit Sammelfahrzeugen, überwiegend aber aus Umschlaganlagen über Containerzüge oder Sattelaufleger mit Schubboden.

LVP / WST weisen sehr geringe Schüttdichten auf. Im aufgelockerten Zustand, wie er für die Auslegung der Maschinenteknik relevant ist, sind lediglich 25 kg/m³ bis 40 kg/m³ zu veranschlagen. Durch die Verdichtung beim Transport weist das Materialgemisch bei Anlieferung allerdings noch höhere Schüttdichten auf. Auf 4 m Höhe eingestapelt sind durchschnittlich 100 kg/m³ bzw. ein Lagerflächenbedarf von 2,5 m²/t zuzüglich Fahr- und Entladeflächen anzusetzen.

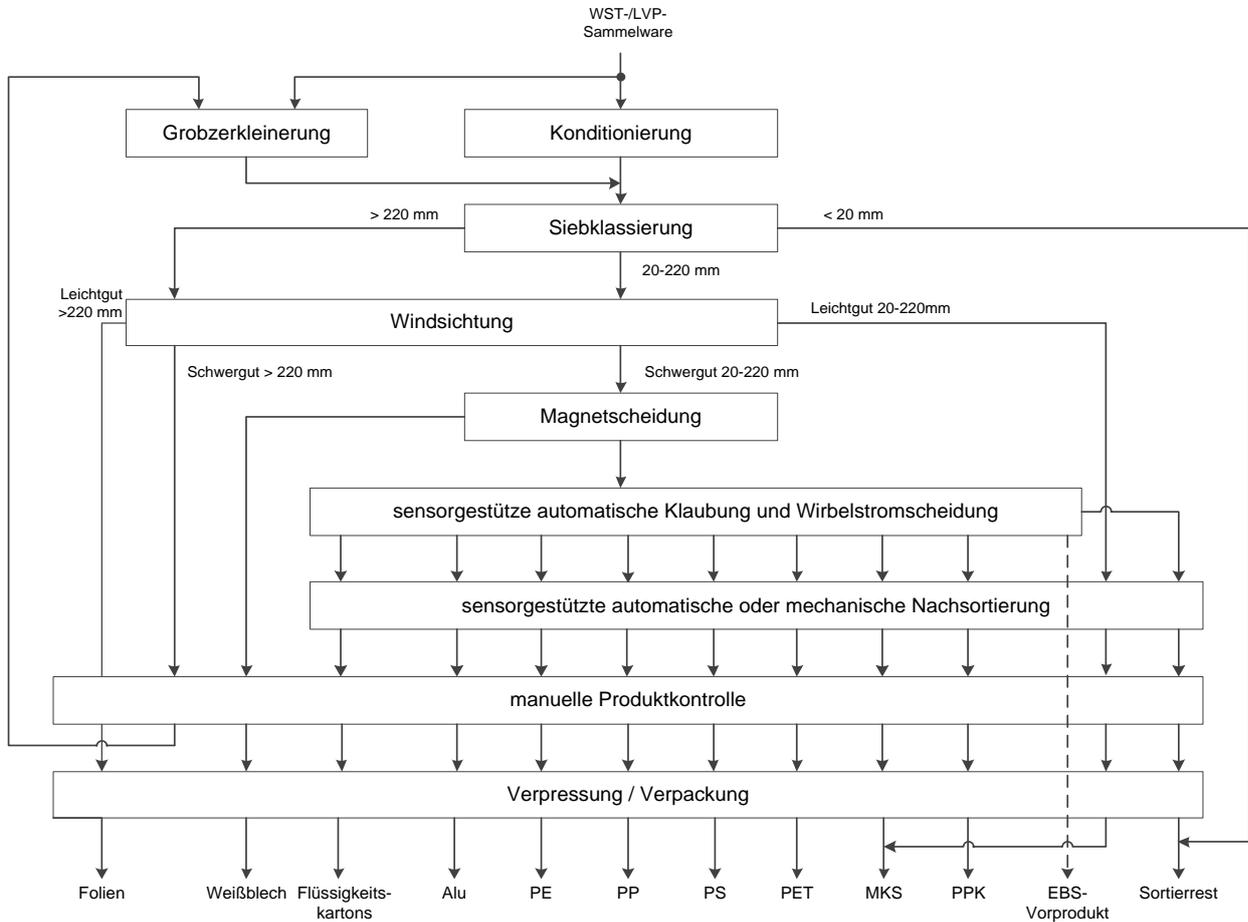
Aufgrund differierender Anlieferungs- und Betriebszeiten wird das angelieferte Material überwiegend zunächst mittels Radlader eingestapelt; parallel, ebenfalls mittels Radlader, erfolgt die Anlagenbeschickung über Unterflurförderer durch Aufschieben oder über eine Hochaufgabe (Dosierer, Trichter).

Der Stand der Technik der LVP-/WST-Sortierung ist in nachfolgender Abbildung grob schematisch dargestellt. Aus nachfolgender Abbildung ist der Produktfächer einer LVP-Anlage nach dem Stand der Technik (Praxis moderner Anlagen) zu entnehmen. Die Produktbezeichnungen sind verkürzt angegeben. Bezüglich exakter Kennzeichnung und Beschreibung wird auf die Sortenliste der Dualen Systeme [abrufbar unter <http://www.gruener-punkt.de/de/download.html>] verwiesen.

Heutige Bestandsanlagen weisen nur zum Teil alle Attribute des Standes der Technik auf. Im grundsätzlichen Verfahrensablauf hat sich aber eine Standardisierung eingestellt. Diese resultiert u. a. daraus, dass bundesweit die LVP-Erfassungssysteme weitgehend einheitlich sind und auch an die Sortierprodukte einheitliche Anforderungen gestellt werden.



Schematische Darstellung einer LVP-Sortierung nach dem Stand der Technik



Eingangsstufe des Prozessablaufs bildet stets die Gebindeöffnung. Zielsetzung dieses Prozessschrittes ist das vollständige maschinelle Aufreißen nicht nur von Sammelsäcken, sondern insbesondere auch von verschlossenen Kleingebinden wie bspw. Müllbeuteln. Durch diesen Verfahrensschritt werden alle Einzelkomponenten freigelegt. Dieses ist eine obligatorische Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit aller nachgeschalteten Prozessoperationen. Nach dem Stand der Technik wird diese Teiloperation zumeist zweistufig ausgeführt und mit einer volumetrischen Dosierung gekoppelt. Alternativ zu zwei in Reihe geschalteten Gebindeöffnern haben sich auch langsam laufende Vorzerkleinerer (Einwellenzerkleinerer oder Rotorscheren) bewährt, wobei auch hierfür durch entsprechende Ausführung kein Aufschluss der Komponenten, sondern lediglich der Gebinde sichergestellt sein muss.

Klassierung und Windsichtung

Die erste Trennstufe bildet die Siebklassierung von grob nach fein in 3 bis 5 Partikelgrößenklassen, die in Anlagen nach dem Stand der Technik mittels 3 oder 4 Siebmaschinen erzeugt werden. Die erste Siebmaschine hat neben der Klassierung noch die Funktionen der Entleerung aufgerissener



4. Anlagen

Gebinde, die weitere Homogenisierung des Volumenstroms sowie ggfs. auch die qualifizierte Aufteilung des Volumenstroms auf parallele Sortierlinien. Zur Anwendung kommen nach dem Stand der Technik fast ausschließlich Trommelsiebe, die zur Sicherstellung der Gebindeentleerung im Einlaufbereich mit Blindschüssen bzw. Maschenweiten deutlich unterhalb der Trennkorngröße ausgerüstet sind. Stand der Technik ist ebenfalls, das Zuwachsen der Siebmaschinen durch Umschlingen von Bändern und Folien durch sog. Umwicklungsschutz zu verhindern bzw. zu minimieren. Die Ausführung des Umwicklungsschutzes besteht zumeist aus von außen auf den Trommelmantel aufgesetzte, zur Masche korrespondierende Rechteck- oder Rundrohrstutzen von idealerweise ca. 150 mm Länge.

Die im Überlauf der ersten Siebmaschine angestrebte Voranreicherung großformatiger Komponenten erfüllt mehrere Funktionen. Primär dient sie zur Begrenzung des Materialstroms, der in der weiteren Abfolge automatisch sortiert wird, im Hinblick auf das verarbeitungsfähige Größenspektrum. Daneben wird eine erste Anreicherung von großformatigen Folien erzielt, die als separate Sorte bereitgestellt werden. Einheitlich hat sich für diese sog. Primärabsiebung ein Trennschnitt von ca. 220 mm bewährt. Je nach Kapazität der Anlage sind zusätzlich Unterfraktionierungen zur Verteilung auf mehrere funktionsgleichen Linien ausgeführt.

Bei Durchsätzen bis ca. 1000 m³/h werden Trommelsiebmaschinen bis 3,8 m Durchmesser und bis 18 m effektiver Sieblänge realisiert.

Der im Weiteren als Grobkorn bezeichnete Siebüberlauf (ca. 10 % bis 15 % des Inputstroms) wird zur Trennung von Kunststofffolien über Windsichter geführt. Stand der Technik ist die Ausführung als Querstromwindsichter mit Leichtgutaustrag über Zellenradschleusen. Das verbleibende Sichterschwergut kann in Anlagen nach Stand der Technik optional manuell nachsortiert werden; im Übrigen wird das grobe Sichterschwergut nachzerkleinert, um es für die mechanischen und automatischen Sortierprozesse der Mittelkornlinie(n) zugänglich zu machen.

Ein zweiter sortierender Siebschnitt wird im Feinkornbereich gesetzt. Stand der Technik ist die Ausschleusung eines nahezu wertstofffreien Feinkorns bei 20 mm Maschenweite aus Gründen des Verschleißschutzes mittels Schwingsieben. Der Feinkornanteil beträgt üblicherweise ca. 5 %.

Der Hauptmassenstrom (20 mm bis 220 mm, ca. 80% bis 85 % des Inputstroms) wird nach der Siebklassierung ebenfalls über Windsichter geführt. Bei Anlagen hoher Kapazität wird der Materialstrom über die Siebmaschinen aufgesplittet und die Windsichtung wie die nachfolgenden Prozessstufen in parallelen Linien durchgeführt. Anders als im Bereich der groben Körnung dient die Sichtung im Mittelkorn nicht primär der Produkterzeugung, sondern vielmehr der Vorbereitung des Wertstoffgemisches für die nachgelagerten Sortierprozesse: LVP ist ein Gemisch mit extrem niedriger Schüttdichte – zu einem wesentlichen Anteil verursacht durch den Gehalt an Kunststofffolien



4. Anlagen

in knapp zweistelliger Größenordnung. Alle modernen Sortiertechniken sind funktionsbedingt auf Vereinzelung des Materialstroms zu Monoschichten angewiesen, die sich ohne weitgehende Abreicherung extrem dünnwandiger, flächiger Komponenten kaum darstellen lässt. Das Leichtgut der Mittelkornwindsichtung (überschlägig ca. 10 % der Inputtonnage und mit einer Schüttdichte $< 10 \text{ kg/m}^3$) wird als Mischkunststoff ausgeschleust. Je nach Papiergehalt der LVP-Sammelware bedarf es vorher einer automatischen Nachreinigung.

Magnetscheidung

Nächster Schritt in der Verarbeitungskette ist die Abtrennung ferromagnetischer Bestandteile (im Wesentlichen Weißblech) durch Überbandmagnetscheider (9 – 13 % des Inputstroms). Das Produkt der Magnetscheidung wird i. d. R. nicht nachgereinigt. Nach anerkannten Regeln der Technik werden die Überbandmagneten längs in eine Bandübergabe installiert und das Zuführband als geregeltes, schnellaufendes Band ausgeführt, um Fehlausträge durch Überlagerung zu minimieren. Trennscheitel werden ebenfalls aus Gründen der Optimierung der Produktreinheit, aber auch zur Vermeidung von Verstopfungen, als gegen die Förderrichtung rotierende Walzen ausgeführt. Rotierende Trennscheitel sind auch bei Wirbelstromscheidern und sensorgestützten Sortierautomaten Ausführungsstandard.

Nachfolgend wird der verbliebene Materialstrom, in dem sich formstabile Kunststoffe, NE-Metalle, Flüssigkeitskartons und sonstige Verbunde sowie Fehlwürfe wie PPK angereichert haben, einer Kaskade automatischer Trennstufen mit zwischengeschalteter Wirbelstromscheidung zugeführt.

Wirbelstromscheidung

Die Wirbelstromscheidung dient der Abtrennung metallischer, nicht ferromagnetischer Komponenten; aus dem Verpackungsbereich ist hier nur Aluminium relevant. Gemäß des Funktionsprinzips werden auch vorher nicht aussortierte Flüssigkeitskartons mit Aluminiumbeschichtung mit hohem Wirkungsgrad in den Produktstrom (fehl-) ausgetragen, was dessen Nachreinigung über eine NIR-Trennstufe erforderlich macht.

Das Verfahrensprinzip der Wirbelstromscheidung beruht auf der Induktion elektrischer Ströme in elektrisch leitenden Materialien durch ein hochfrequentes magnetisches Wechselfeld.

Dieses wird in der maschinentechnischen Umsetzung durch einen mit Starkfeld-Permanentmagneten in Wechselfeldbesetzung besetzten Rotor erzeugt, der in einer Förderbandkopftrommel mit hoher Drehzahl rotiert. Der im leitenden Partikel induzierte Strom bildet ein eigenes Magnetfeld aus, welches dem Wechselfeld der Maschine stets entgegengesetzt ist. Die resultierende Absto-



4. Anlagen

ßung führt zur Auslenkung elektrischer Leiter aus dem Förderstrom. Ferromagnetische Teile würden angezogen und müssen daher vor der Wirbelstromscheidung weitestgehend vorher abgetrennt sein.

Die auslenkende Kraft ist verglichen mit der Anziehungskraft einer Magnetscheidung relativ gering, so dass vereinfacht das Verhältnis von elektrischer Leitfähigkeit zu Masse als Trennmerkmal gilt. Daneben spielt die Form des elektrischen Leiters eine gravierende Rolle; Voraussetzung für die Trennung ist, dass der induzierte Strom gerichtet fließt. Daher lässt sich eine zur Kugel geknüllte Aluminiumfolie nicht gut separieren.

Die Schilderung des Trennprinzips macht deutlich, dass die Technik grundsätzlich zur Separierung aller elektrisch leitenden Abfälle, also aller nicht ferromagnetischen Metalle geeignet ist. Aluminium bietet mit einer Leitfähigkeit von $35 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ bei einer Dichte von $2,7 \text{ g/cm}^3$ andere Voraussetzungen als bspw. Blei (Leitfähigkeit $4,82 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$, Dichte: $11,34 \text{ g/cm}^3$). Entsprechend können je nach Einsatzzweck unterschiedliche Maschinentypen zum Einsatz kommen, die sich im Wesentlichen in Art und Bestückung des Magnetsystems unterscheiden.

Wirbelstromscheider sind in LVP-Sortieranlagen nur im Fein- und Mittelgutstrom angeordnet, u. a. da Aluminiumverpackungen nicht im Grobgut enthalten sind. Stoffgleiche NVP sind über das gesamte Größenspektrum vertreten. Nach einschlägigen Auswertungen können bis zu 70 % in der Größenklasse $> 220 \text{ mm}$ anfallen. Eine Nachsortierung für grobes Schwergut, sei es durch Nachzerkleinerung und Kreislaufführung oder durch manuellen Eingriff, ist zumindest bei WST-Sortierung empfehlenswert.

Sensorgestützte Sortierung

Die automatischen Trennstufen (aufbereitungstechnisch: sensorgestützte Klaubung = Einzelpartikelsortierung) unterscheiden sich von allen anderen aufbereitungstechnischen Grundoperationen der Sortierung dadurch, dass unterschiedliche Materialeigenschaften nicht gleichzeitig auch zur physikalischen Trennung nutzbar sein müssen. Separiert werden kann das, was messtechnisch differenzierbar ist. Nachteilig ist die prinzipbedingte relative Durchsatzschwäche und die hohe Abhängigkeit des Trennerfolgs von den Möglichkeiten der Materialvereinzelung. Charakteristisch sind Detektionsverfahren und Austragsvorrichtungen, die die Trennung aus einer Monoschicht bei hohen Transportgeschwindigkeiten ermöglichen.

Wichtigstes Detektionsverfahren im Bereich der LVP-/WST-Sortierung ist die Nah-Infrarot-Spektrometrie, mit der sich Kunststoffe und andere kohlenwasserstoffhaltige Materialien differenziert erkennen lassen. Der Detektor ist über einem Beschleunigungsband kurz vor einer Bandübergabe



4. Anlagen

angeordnet. Die Fördergeschwindigkeit liegt bei bis zu 3 m/s. Gemessen wird die von den oberflächennahen Schichten eines Objektes reflektierte Strahlung einer konventionellen Halogenlichtquelle. Das emittierte Spektrum wird im Prozessrechner anhand von Referenzwerten abgeglichen. Bei positiver Erkennung wird entsprechend der Koordinaten der Objekterkennung ein gezielter Druckluftstoß mittels eines in der Übergabe angeordneten Ventilblocks (Ventilabstand 16 mm bis 33 mm) ausgelöst, der zur Auslenkung des Zielobjektes führt.

Anlagen nach dem Stand der Technik verfügen über bis zu 20 dieser Sortierautomaten in unterschiedlichen Funktionen. Neben reinen NIR-Trennern kommen für spezifische Aufgaben auch solche zum Einsatz, die mehrere Detektionsarten (z. B. NIR-, Farb- und Induktionsmessung) in einer Maschine realisieren (sog. multisensorische Trenner).

In LVP-/WST-Sortieranlagen sind die Trennungsprozesse für die Separierung von Flüssigkeitskartons sowie die kollektive Kunststofftrennung entsprechend automatisiert. Anlagen nach dem Stand der Technik verfügen darüber hinaus über eine Unterfraktionierung formstabiler Kunststoffe nach Kunststoffarten. Hierbei findet eine Separation der Verpackungskunststoff-Standardpolymere PE-HD, PP, PET und PS statt. Die Verfahrenstechnik wurde 1999 erstmals erfolgreich als modulare Nachrüstooption implementiert und ist zwischenzeitlich in fast allen Anlagen mit größerer Kapazität vorzufinden, wobei nicht immer alle vier Sorten produziert werden.

Fördertechnik

Die Fördertechnik ist integraler Bestandteil der in Sortieranlagen eingesetzten Sortierprozesse. Dies gilt für Magnetscheidung, Windsichtung und Wirbelstromscheidung, deren Funktionsfähigkeit oder zumindest deren Wirkungsgrad in Abhängigkeit von Dünnschicht oder Monoschichtbeaufschlagung steht. In besonderem Maße ist die funktionale Abhängigkeit des Erfolgs der sensorgestützten Sortiersysteme zu betonen. Die Vereinzelung der zu trennenden Komponenten ist hierfür notwendige Voraussetzung.

Es muss sowohl ein kontinuierlicher Materialfluss als auch eine gleichmäßige Verteilung des Materials über die Nutzbreiten der Förderer gewährleistet sein. Sensorgestützte Sortieraggregate sind in Systembreiten bis 2,8 m verfügbar. Spezifische Durchsätze, die in der LVP-Sortierung je nach Teilstrom zwischen etwa 0,5 t/h und 3 t/h je Meter Systembreite anzusetzen sind, lassen sich nur unter den genannten Voraussetzungen funktionsgerecht realisieren.

Stand der Technik ist es, alle fördertechnischen Komponenten so auszuführen, dass in Bereichen von Trennprozessen keine schwallartigen Beanspruchungen, einseitige Bandbelegungen o. ä. auftreten. Sicherzustellen ist dies durch volumenkonstante Dosierung, Vermeidung von Steigbändern mit Stollenbesatz sowie von rechtwinkligen Übergaben mit geringer Übergabehöhen an sensiblen



4. Anlagen

Positionen, möglichst geradlinige Ausbildung von Sortierkaskaden, geeignete Ausgestaltung von Übergaben sowie bedarfsweisem Einsatz von Schwingförderern.

Manuelle Produktkontrolle

Trotz aller Automatisierung kann auch nach dem Stand der Technik nicht gänzlich auf eine manuelle Sortierung verzichtet werden. Dies liegt im Wesentlichen an systematischen Fehlasträgern der automatischen oder mechanischen Trennstufen. Dies sind keine Fehlleistungen, sondern sind durch die fehlende Korrespondenz der Trennmerkmale bedingt. Ursachen sind im Materialverbund oder in nicht vollständig erreichter Vereinzelung zu sehen. So liegt bspw. von PE-LD-Folie überdecktes Papier im Referenzspektrum für Flüssigkeitskartons. Flüssigkeitskartons, die wegen ihrer Aluminiuminnenbeschichtung vom Wirbelstromscheider fehlausgetragen werden, sind ein weiteres Beispiel für einen systematischen Fehlaustrag. Auch ist die Sortieraufgabe mit korrekter Erkennung einer Materialart ggf. nicht abgeschlossen, da die Verwertung im Einzelfall eine weitere Einengung erfordert. So sind bspw. PE-Folien im Sortierprodukt PE unerwünscht; Silikonkartuschen aus PE sind wegen der Restinhalte sogar gänzlich ausgeschlossen.

In industriellen Großanlagen nach Stand der Technik werden solche Defizite einstufiger mechanischer und automatischer Trennung zwar weitergehend durch Nachreinigungsprozesse gemindert. Aber auch hier hält man sich die Option offen, eine manuelle Nachkontrolle vorzunehmen. So verfügen auch modernste Anlagen über eine Sortierkabine, über die i. d. R. auf alle Sortierprodukte ein optionaler Zugriff vor der Pufferung und Ballierung gegeben ist.

Im Gegensatz zu den Anlagen in anderen Bereichen der Abfallsortierung verfügen im Bereich von LVP-/WST-Sortierkabinen über keine durchgehenden Sortierbänder. Die Produkte werden in Stichbändern in die Kabine geführt und enden über den jeweiligen Produktbunkern. In einigen Anlagen wird auch der Sortierrest u. a. zur visuellen Kontrolle des Betriebszustandes der Anlage nochmals in die Sortierkabine gefördert.

Plätze für benötigtes Sortierpersonal sind nach Stand der Technik mit einer Schleierbelüftung unter Zuführung klimatisierter Außenluft und Wärmerückgewinnung ausgerüstet. Zur Optimierung der Energieeffizienz kann die Abwärme der für die sensorgestützten Sortieraggregate benötigten Kompressoren zur Beheizung genutzt werden



4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für Kunststofffolien können im erforderlichen Umfang ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- Deutschland
- Frankreich (nur PE-Folien)
- Italien
- Niederlande
- Norwegen
- Österreich
- Spanien
- Belgien
- Portugal

Kunststofffolien werden im Rahmen der Sortierung durch Klassierung und Windsichtung vorangereichert. Die Zielfraktion ist vom Format her nach unten begrenzt (i. d. R. > A4), um eine maßgebliche Anreicherung von PE-LD sicherzustellen.

In den Anlagen der neuesten Generation wird die Foliensortierung zwischenzeitlich über additive NIR-Trennstufen durchgeführt, die auf PE-LD parametrierbar sind. Integriert sind dann auch kleinere Formate (ca. ab DIN A5).

Einheitlicher Standardprozess der Folienverwertung ist die nassmechanische Aufbereitung durch die Prozessstufen Zerkleinerung, Wäsche, Schwimm-Sink-Scheidung, Trocknung und Extrusion mit Schmelzfiltration.

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit wird i. d. R. folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

- Windsichtung zur Foliensortierung
- Wäsche und qualifizierte Schwimm-Sink-Trennung
- Keine weitergehenden Anforderungen wie Heißwäsche, Waschzusätze etc.
- Extrusion mit Schmelzfiltration



4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für PE- und PP-Verpackungen können im erforderlichen Umfang ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- Deutschland
- Frankreich
- Italien (PP)
- Niederlande
- Norwegen
- Österreich
- UK
- Belgien
- Portugal

Mit dem Zusatzattribut „Flasche und / oder Kanister“ darüber hinaus in:

- Spanien
- Italien
- Schweiz
- Luxemburg

Für Tuben:

- Deutschland
- Belgien
- Niederlande
- Norwegen
- Österreich
- UK (Ausnahme: Zahnpastatuben)

Für flexible PP-Kunststoffartikel mit großem Verschluss (z.B. Quetschie):

- Deutschland
- Niederlande
- Norwegen
- Österreich

PE und PP werden in großtechnischen Sortieranlagen mittels NIR-basierten Sortierautomaten spezifisch aussortiert. In Belgien besteht das formale Defizit, dass PP nicht obligatorisch sortiert werden muss; da aber praktisch eine Aussortierung erfolgt, resultieren hieraus keine Abstriche.



4. Anlagen

Das weitere Recycling erfolgt einheitlich über nasstechnische Verfahren mit den Prozessschritten Zerkleinerung, Wäsche, Schwimm-Sink-Scheidung, Entwässerung und Extrusion mit Schmelzefiltration zu einem PE-HD bzw. PP-Regranulat.

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit wird folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

- NIR-Detektion für PE / PP (maximaler Ventilabstand 22,5 mm)
- Idealvoraussetzung zur NIR-Detektion von Kleinmaterial / kleinformatischen Wertstoffen
 - Hochauflösende Detektion
 - Ventilabstand $\leq 16,5$ mm
- Einbindung des gesamten Körnungsbands > 20 mm durch Rückführung und / oder manuelle Sortierung im Grobkorn > 220 mm
- Wäsche und qualifizierte Schwimm-Sink-Trennung
- Extrusion mit Schmelzefiltration



4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für PS-Verpackungen können im erforderlichen Umfang ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- Deutschland
- Frankreich
- Norwegen
- Österreich
- Belgien

Für das Sammelgemisch aus den Niederlanden gilt allerdings, dass PS nicht obligatorisch als „Monofraktion“ aussortiert wird. Auch der denkbare Nebenpfad über „FSK-Aufbereitung“ (nasstechnische Mischkunststoffaufbereitung mit PS-Rückgewinnung) wird zurzeit nicht praktiziert, so dass aktuell keine hochwertigen Verwertungsstrukturen existieren.

Deutsche Sortieranlagen sind in Bezug auf die Verarbeitungsmenge zum größten Teil mit spezifischen Trennstufen für (formstabiles) PS ausgerüstet.

Das Sortierprodukt wird ausschließlich mittels nassmechanischer Aufbereitung mit den Prozessstufen Zerkleinerung, Wäsche, Schwimm-Sink-Scheidung (2-fach bei 1g/cm^3 und ca. $1,08\text{ g/m}^3$), Entwässerung und Extrusion mit Schmelzefiltration zu PS-Regranulat verarbeitet.

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit wird i. d. R. folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

- NIR-Detektion für PS (maximaler Ventilabstand 22,5 mm)
- Idealvoraussetzung zur NIR-Detektion von Kleinmaterial/ kleinformatischen Wertstoffen
 - Hochoflösende Detektion
 - Ventilabstand $\leq 16,5\text{ mm}$
- Wäsche und qualifizierte Schwimm-Sink-Trennung
- Extrusion mit Schmelzefiltration



4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für PET-Getränkeflaschen können im erforderlichen Umfang ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- Europäische Union
- Schweiz
- Norwegen
- UK

Für Nicht-Getränkeflaschen aus PET (transparent klar und transparent bunt):

- Deutschland
- Österreich
- Frankreich
- Italien
- Niederlande
- Belgien
- Spanien

Für PET-Schalen (transparent oder opak (A-PET, C-PET)):

- Österreich (keine Multilayer)
- Niederlande

Für PET-Flaschen (opak)

- Österreich

In Deutschland, Österreich, Frankreich, Belgien, Italien, Spanien und den Niederlanden werden zudem auch Nicht-Getränkeflaschen-PET gesammelt. Recyclingoptionen bestehen allerdings zurzeit nur für transparentes PET-A und nicht für andere Typen wie PET-C und PET-G oder für opakes PET.

Ausnahme bildet diesbezüglich Österreich. Hier wurde mit der Spez. 499 von der ARA sowohl eine Sortierfraktion für opake PET-Flaschen vorgegeben als auch ein eigenständiger Verwertungsweg erschlossen, der dem für bunt-transparente Flaschen näherungsweise entspricht. In **sehr** begrenztem Umfang kann hierüber auch eine PET-Schalen Verwertung dargestellt werden.

Für gesleepte PET-Flaschen:

DE: Zurzeit werden bei vielen PET-Flaschen-Recyclern gesleepte Flaschen generell als Störstoff eingruppiert und entsprechend über automatische oder manuelle Nachsortierung als Abfall ausgeschleust. Grund hierfür ist, dass alle Sleeves mit OPS oder PET-G gleichgesetzt werden. Bis zu einer generellen Umstellung des Sleeve materials mit einer Dichte $< 1 \text{ g/cm}^3$ ist in der Praxis daher



4. Anlagen

nicht mit einer gesicherten stofflichen Verwertung zu rechnen. (Die Möglichkeit einer selektiven Differenzierung von gesleeften Flaschen nach Sleeve material wäre ein Lösungsansatz, wurde aber bisher noch nicht untersucht.)

Für bepfandete Artikel:

DE: In Deutschland sind Einweggetränkeverpackungen, wie bspw. das o.a. Prüfmuster, bepfandet und werden nicht haushaltsnah erfasst. Hierfür existieren unterschiedliche Möglichkeiten der Rücknahme. Der Hauptstrom wird über Automaten erfasst, die mit 2 Kammern ausgestattet sind, d.h. das Eingangsmaterial wird über optische Systeme direkt in zwei Qualitäten sortiert: 1. PET-Flaschen transparent klar und 2. PET-Flaschen transparent bunt inkl. Metalldosen. Die Verwertung von Metalldosen erfolgt also primär über den PET-Strom beim PET-Recycler. Dort wird in einer ersten Sortierstufe nach Farben und Materialart sortiert. Der Metallanteil wird anschließend spezifisch in Weißblech und Aluminium separiert. Sowohl für bepfandete PET-Flaschen als auch für bepfandete Metalldosen gelten die gleichen, grundsätzlichen Kriterien, wie sie im Referenzprozess gemäß Anforderungs- und Bewertungskatalog formuliert sind.

PET, soweit nicht als Getränkeflasche im Monostrom erfasst, wird in allen großtechnischen Sortieranlagen über NIR-basierte Sortierautomaten aussortiert. Aber auch für Flaschen aus Pfandsystemen gilt, dass sie in der NIR-Spektralanalyse identifizierbar sein müssen, da die PET-Recycler i. d. R. eine automatische Kontrollsortierung ihres Input sowohl hinsichtlich Materialart als auch bezüglich Farbe durchführen.

Im Weiteren kann EU-weit nach dem Stand der Technik vorausgesetzt werden, dass PET-Recycler über mehrstufige Waschprozesse verfügen, von denen mindestens eine Stufe als alkalische Heißwäsche ausgeführt ist.

Eine Rückgewinnung des Kappenmaterials (PE-HD oder PP) über eine Schwimm-Sink-Trennung ist ebenfalls der Standard. PET-Recycler regranulieren das PET-Mahlgut häufig nicht, sondern verkaufen das PET-Rezyklat als Mahlgut, den sog. „Flakes“. Der Umschmelzprozess ist aber immer – unabhängig vom Rezyklateinsatz wie Flasche, Folie, Verpackungsband oder Faser – Bestandteil des Recyclings. Er findet spätestens beim Verarbeiter statt. Wegen des hohen Schmelzpunktes vom PET ist insbesondere bei klarem PET die hohe Sensibilität gegenüber organischen Verunreinigungen wie anderen Kunststoffen oder Klebstoffapplikationen zu beachten, die durch temperaturbedingte Zersetzung oder Farbveränderungen das Rezyklat maßgeblich degradieren können.



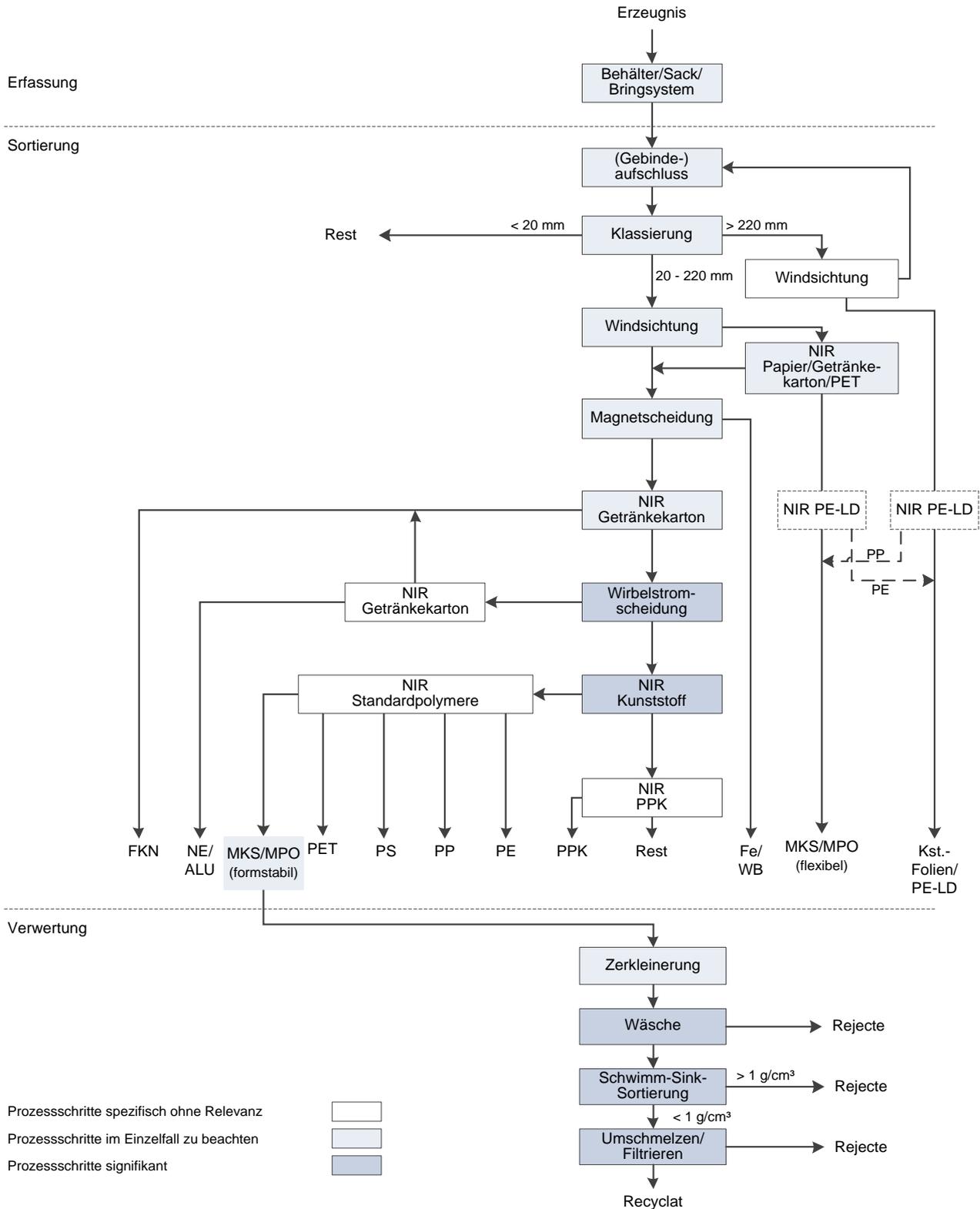
4. Anlagen

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit wird folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

- NIR-Detektion für PET
- Zweistufige Wäsche mit mindestens einer alkalischen Heißwäsche und qualifizierte Schwimm-Sink-Trennung
- Extrusion mit Umschmelztemperaturen von 285°C und mit Schmelzefiltration



4.2.6 Pfad 6: MKS (formstabil) / MPO-rigid





4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für formstabile Mischkunststoffe können im erforderlichen Umfang ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- Deutschland
- Österreich

Verwertungskapazitäten zum hochwertigen werkstofflichen Recycling von Mischkunststoffen gibt es im industriellen Maßstab in Deutschland und Österreich. Der eigentliche Wertstoff im engeren Sinne ist hierbei der Polyolefinanteil. Die Zuführung von Mischkunststoffen zur hochwertigen werkstofflichen Verwertung ist auch in Deutschland und Österreich nicht obligatorisch; Kapazitäten sind aber in berücksichtigungswürdigem Umfang vorhanden. Sie stehen im Wettbewerb zur energetischen Mischkunststoffverwertung und zu Intrusionsverfahren. Es ist anzunehmen, dass mit steigenden Anforderungen an die Verwertung die Bedeutung hochwertiger Mischkunststoffverwertung zunehmen wird.

Zumeist werden die Mischkunststoffe bereits bei der Sortierung auf die besonderen Anforderungen dieser Anlagen konfektioniert (sog. MPO); geeignete Einsatzmaterialien sind unter den flexiblen Kunststoffen (gemischte) Polyolefine, bei den starren und halbstarren Verpackungen ebenfalls Polyolefine, (PE-HD, PE-LD, PP) sowie PS. Die Aufbereitung erfolgt im Grunde vom Prinzip vergleichbar wie bei den Monosorten über Zerkleinerung, Wäsche, Schwimm-Sink-Trennung, Trocknung und Extrusion mit Schmelzefiltration. Produkte (Regranulate) sind Blends z. B. für Spritzgussanwendungen.

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit wird i. d. R. folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

- NIR-Detektion für Kunststoffe (maximaler Ventilabstand 22,5 mm)
- Idealvoraussetzung zur NIR-Detektion von Kleinmaterial/ kleinformatigen Wertstoffen
 - Hochauflösende Detektion
 - Ventilabstand $\leq 16,5$ mm
- Einbindung des gesamten Körnungsbands > 20 mm durch Rückführung und /oder manuelle Sortierung im Grobkorn > 220 mm
- Wäsche und qualifizierte Schwimm-Sink-Trennung
- Extrusion mit Schmelzefiltration



4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für flexible Mischkunststoffe im erforderlichen Umfang können ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- Deutschland
- Österreich
- Belgien

Verwertungskapazitäten zum hochwertigen werkstofflichen Recycling von Mischkunststoffen gibt es im industriellen Maßstab in Deutschland und Österreich. Der eigentliche Wertstoff im engeren Sinne ist hierbei der PO-Anteil. Die Zuführung von Mischkunststoffen zur hochwertigen werkstofflichen Verwertung ist auch in Deutschland und Österreich nicht obligatorisch; Kapazitäten sind aber in berücksichtigungswürdigem Umfang vorhanden. Belieferung dieser Verwertungsoption muss im Einzelfall geprüft werden: Sie stehen im Wettbewerb zur energetischen Mischkunststoffverwertung und zu Intrusionsverfahren. Es ist anzunehmen, dass mit steigenden Anforderungen an die Verwertung die Bedeutung hochwertiger Mischkunststoffverwertung zunehmen wird.

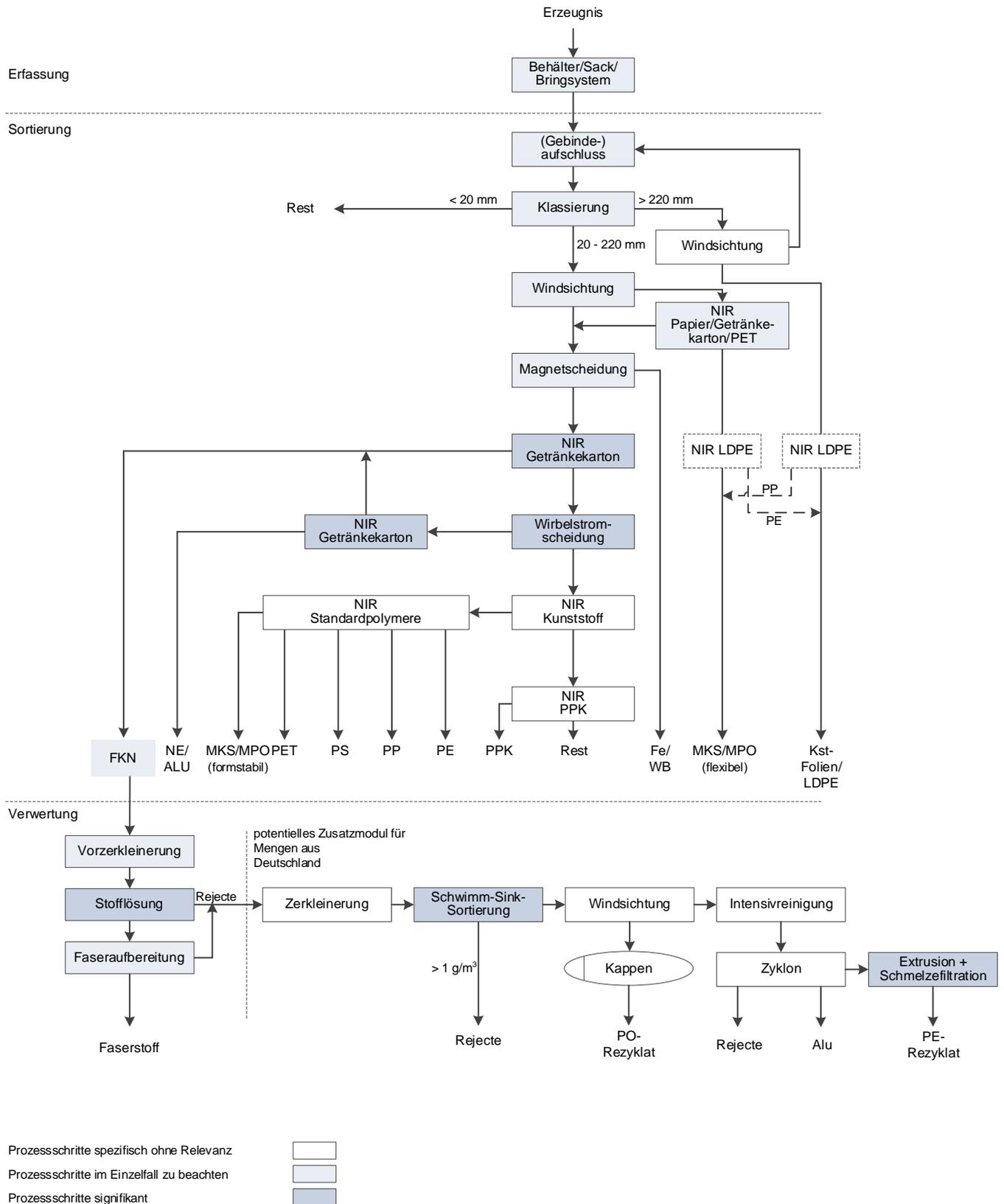
Zunehmend werden die Mischkunststoffe bereits bei der Sortierung auf die besonderen Anforderungen dieser Anlagen konfektioniert (sog. MPO); geeignete Einsatzmaterialien sind unter den flexiblen Kunststoffen (gemischte) Polyolefine, bei den starren und halbstarren Verpackungen ebenfalls Polyolefine, (PE-HD, PE-LD, PP) sowie PS. Die Aufbereitung erfolgt im Grunde vom Prinzip vergleichbar wie bei den Monosorten über Zerkleinerung, Wäsche, Schwimm-Sink-Trennung, Trocknung und Extrusion mit Schmelzefiltration. Produkte (Regranulate) sind Blends z. B. für Spritzgussanwendungen.

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit wird i. d. R. folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

- Windsichtung im Körnungsband 20-220 mm
- NIR-Detektion für PGA und PET im Windsichterleichtgut (Nachreinigung)
- Wäsche und qualifizierte Schwimm-Sink-Trennung
- Extrusion mit Schmelzefiltration



4.2.8 Pfad 8: FKN / Flüssigkeitskartons





4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für kunststoffbeschichtete Kartonverpackungen können im erforderlichen Umfang ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- EU
- Schweiz
- Norwegen
- UK

Flüssigkeitskartons werden in Deutschland gemeinsam mit LVP erfasst. In den meisten anderen europäischen Ländern besteht eine vergleichbare Zuweisung (z. B. PMD in Belgien, etc.). Flüssigkeitskartons bilden innerhalb der Sortierung i. d. R. eine eigenständige Sortierfraktion, die in hochtechnisierten Anlagen ausschließlich über Sortierautomaten generiert wird. (Flüssigkeitskartons haben in der NIR-Reflexionsmessung ein spezifisches Spektrum).

Die Fraktion „Flüssigkeitskarton“ wird speziellen Altpapieraufbereitungslinien zugewiesen, die auf die vergleichsweise lange Stofflösezeit (ca. 15 Min.) ausgelegt sind.

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit wird in der Regel entsprechend folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

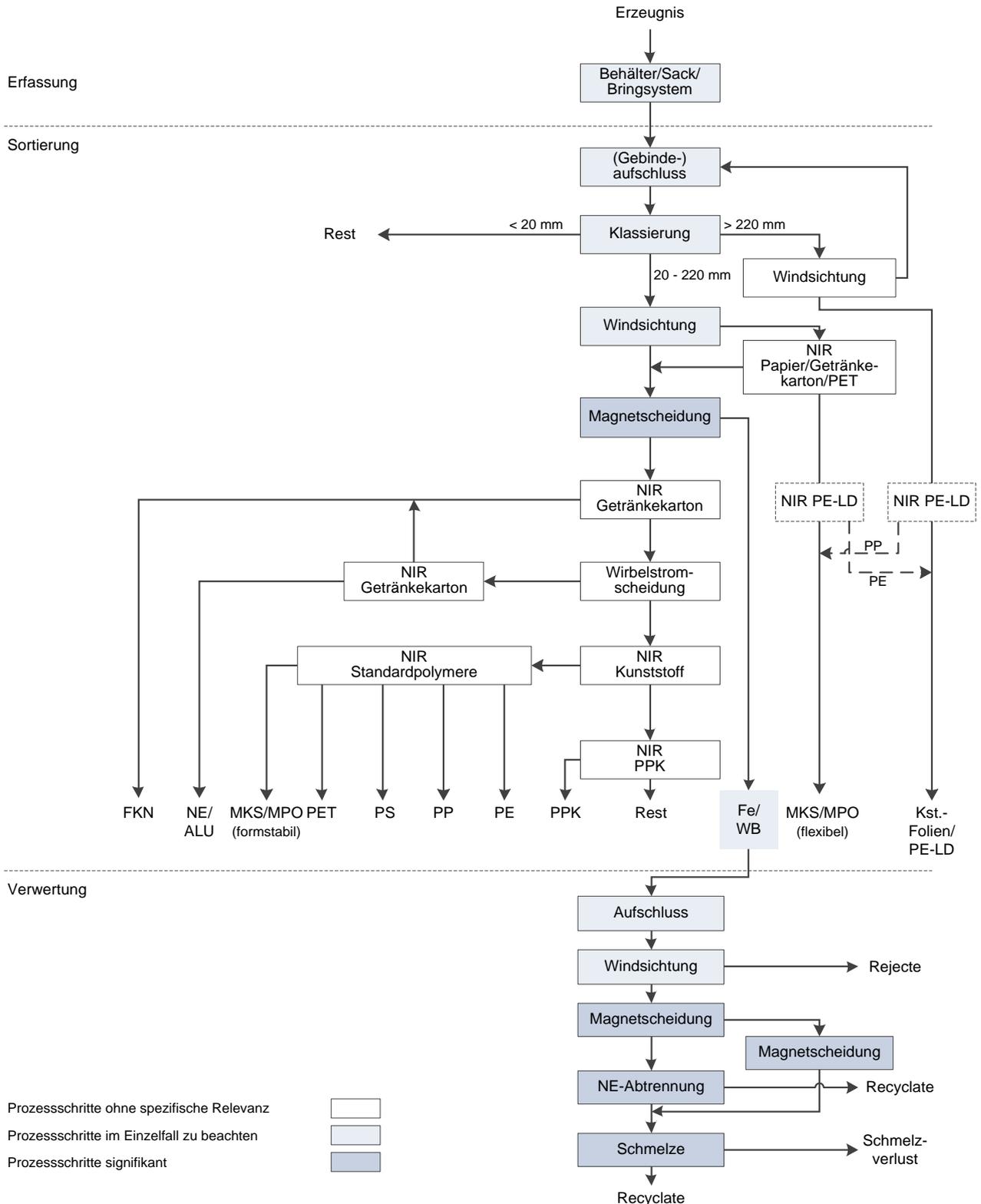
- NIR-Detektion für FKN im Windsichterleichtgut, Windsichterschwergut und im Wirbelstromscheiderprodukt
- Stofflöseprozess mit standardmäßiger Verweilzeit
- Abtrennung nicht löslicher Komponenten mittels Klassierverfahren

Für FKN aus deutschen Sammelmengen ist als Besonderheit anzumerken, dass temporär bereits in der Vergangenheit ein nennenswerter Anteil der Rejecte aus der Stofflösung recycelt wurde. Aktuell ist eine Anlage in Betrieb, in der sowohl Kunststoff- als auch Aluminiumanteile rückgewonnen werden sollen. Nach technischer Bewertung durch die HTP Ingenieurgesellschaft besteht grundsätzlich die Eignung auf hochwertige stoffliche Verwertung der FKN-Nebenkomponenten.

Nachgewiesen wurde dies bereits für PE und PP-Verschlüsse sowie der LDPE-Anteil des FKN, so dass diese im Rahmen der Bemessung der Recyclingfähigkeit des FKN für Deutschland als Wertstoff bilanziert werden.



4.2.9 Pfad 9: Wb / Fe-Metalle





4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für Weißblech und Fe-Metalle können im erforderlichen Umfang ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- EU
- Schweiz
- Norwegen
- UK

Die Recyclingfähigkeit von Fe-Metallen und Fe-Legierungen über den korrespondierenden Verwertungspfad ist unmittelbar an die Stoffeigenschaft „ferromagnetisch“ geknüpft. Nicht ferromagnetische Eisen- oder Stahlprodukte wie Fe-Guss oder hochlegierte Stähle genügen nicht diesem Kriterium und werden ggfs. unter Pfad 10 bewertet.

Stand der Technik ist die Aussortierung über Schwachfeldmagnetscheider in der Ausführung als Überbandmagnetscheider. Durch die in der Regel frühe Anordnung der Magnetscheidung in der Prozessabfolge innerhalb der Sortierung ist das Merkmal „ferromagnetisch“ als dominant zu erachten. So genügen kleinste ferromagnetische Komponenten wie bspw. der Weißblechboden einer Kombidose oder der Metallhaken eines (Kunststoff-)Kleiderbügels, um die Verpackung bzw. das Produkt in die Sortierfraktion „Fe-Metalle“ auszutragen.

Die weitere Aufbereitung der Sortierfraktion umfasst in der Regel mechanische Nachreinigungsprozesse zur Abtrennung von organischen Verunreinigungen (Papieretiketten, Kunststoffe, Restinhalte) und von Fremdmetallen (insbesondere Aluminium).

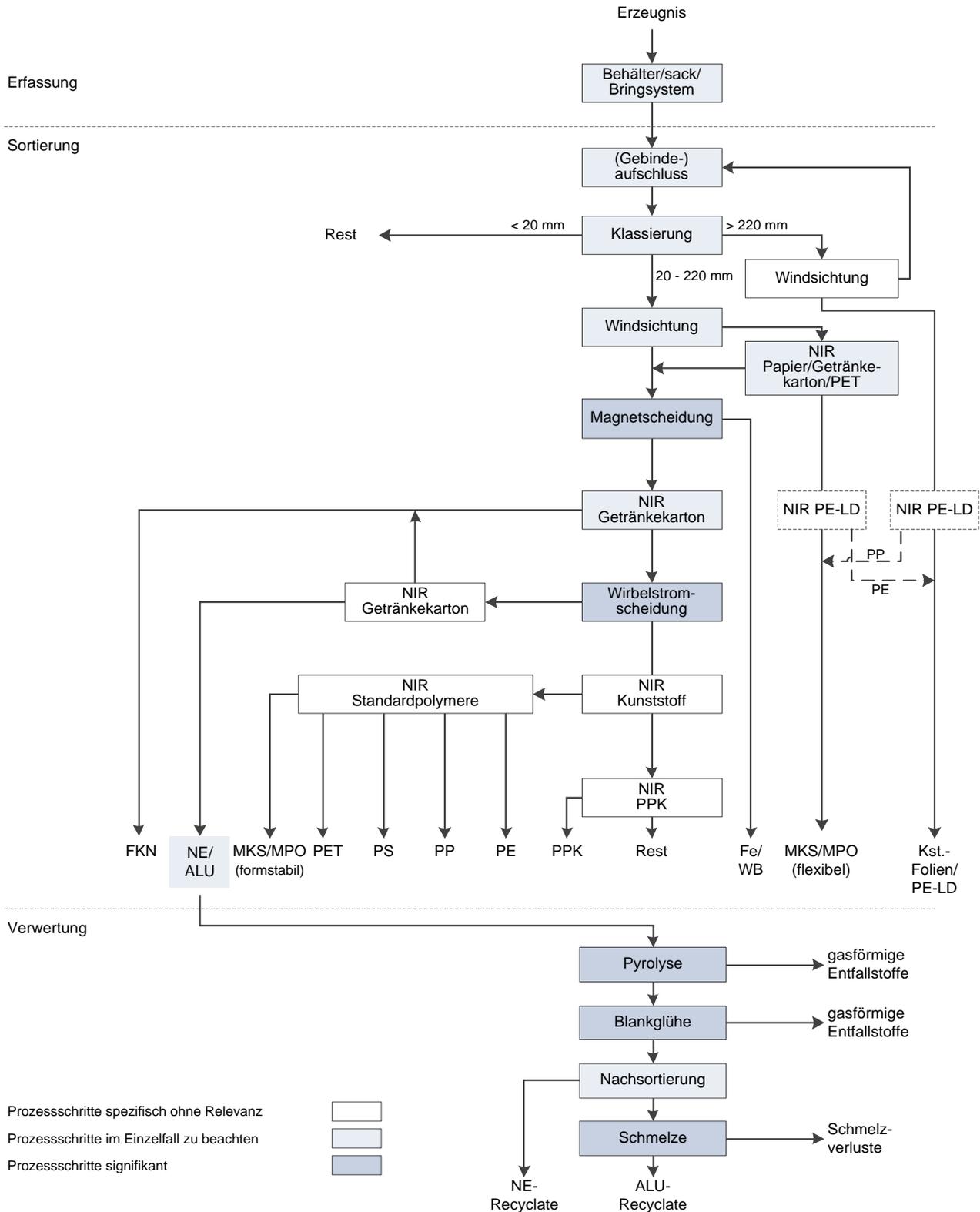
Verfahrensschritte sind Aufschluss durch spezielle Zerkleinererbauarten wie z. B. sog. Querstromzerspaner, Windsichtung, NE- und Fe-Scheidung und abschließender Kompaktierung des gereinigten Fe-Schrottes zu chargierfähigen Einheiten, die in der Regel bei der Stahlerzeugung im Rahmen der Konverterstufe eingesetzt werden.

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit wird i. d. R. folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

- Magnetscheidung für ferromagnetische Bestandteile
- Arbeitshöhe des Überbandmagnetscheiders 450 mm
- Einbindung des gesamten Körnungsbands > 20 mm durch Rückführung und / oder manuelle Sortierung im Grobkorn > 220 mm
- Fe-Aufbereitung mit Magnet- und Wirbelstromscheidung
- Shredderprozess und anschließende Wirbelstromscheidung zur NE-Metallseparation



4.2.10 Pfad 10: ALU / NE-Metalle





4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für Aluminium und NE-Metalle können im erforderlichen Umfang ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- Deutschland
- Österreich

Mit dem Zusatzattribut „Dosen, Schalen und Platinen mit hohem Aluminiumanteil“ darüber hinaus in:

- Belgien
- Frankreich
- Italien
- Niederlande
- Portugal
- Spanien
- UK

In den meisten Ländern Europas gibt es Strukturen zur flächendeckenden Sammlung von gebrauchten Metall- und / oder Aluminiumverpackungen, zunehmend auch in den Staaten Zentral- und Osteuropas. Die Ausgestaltung ist recht unterschiedlich und berücksichtigt nationale Besonderheiten.

Die verschiedenen Pfade lassen sich so gruppieren:

1. Separate Sammlung von Getränkedosen, entweder über entsprechende Pfandsysteme (nordische Länder, Deutschland), freiwillige Rücknahmesysteme (Zentral- und Osteuropäische Länder, Türkei) oder anreizbasierte Projekte (UK, Irland, Frankreich, Griechenland, u. a.). Weiterhin sind insbesondere Getränkedosen und Menüscherben in die separate Sammlung in UK und der Schweiz (auch Tuben und Verschlüsse) eingebunden.
2. Sammelsysteme, in denen Aluminiumverpackungen als Teil der „Leichtverpackungen“ gemeinsam mit Verpackungen aus Kunststoff und Weißblech, Flüssigkeitskartons und teilweise auch Papiererzeugnissen erfasst werden (Italien, Spanien, Deutschland, Portugal, Frankreich, Belgien, Österreich). In Sortieranlagen werden Aluminiumverpackungen dann von den anderen Verpackungen getrennt. Für Deutschland sind auch Alufolie-enthaltende Verbundverpackungen zugelassene Bestandteile der Aluminiumfraktion. In den übrigen Ländern nur Verpackungen mit Hauptmaterial Aluminium wie Dosen und Schalen.

Die Sortierfraktion wird einheitlich über sogenannte Wirbelstromscheider erzeugt. Diese sortieren nach elektrischer Leitfähigkeit. Aluminium ist ein vergleichbar guter elektrischer Leiter



4. Anlagen

wie Kupfer, so dass das Aussortieren mit sehr hohem Wirkungsgrad erfolgt. Da insbesondere Masse und Formate eine überlagernde Rolle spielen, wird die Sortierbarkeit bei der Prüfung ggf. empirisch untersucht. Ebenfalls getestet wird, ob das Prüfobjekt nach den stets vorgelagerten Prozessen wie Siebung, Windsichtung und Magnetscheidung gesichert an der Trennstufe ankommt.

Die Aluminiumfraktion wird nachfolgend zumeist pyrolytisch weiterverarbeitet. Hierbei wird das Material unter Sauerstoffausschluss thermisch behandelt, um organische Bestandteile wie Kunststoffbeschichtungen, Lacke, Restinhalte etc. gasförmig abzuspalten. Entsprechende Anteile werden bei der Prüfung als Abschläge berücksichtigt. Danach folgt das Umschmelzen, bei dem oxidiertes Aluminium verschlackt wird. Diese Verluste sind im Prüfergebnis ebenfalls berücksichtigt.

3. Rückgewinnung aus Hausmüll (MBA oder MA) bspw. in den Niederlanden.

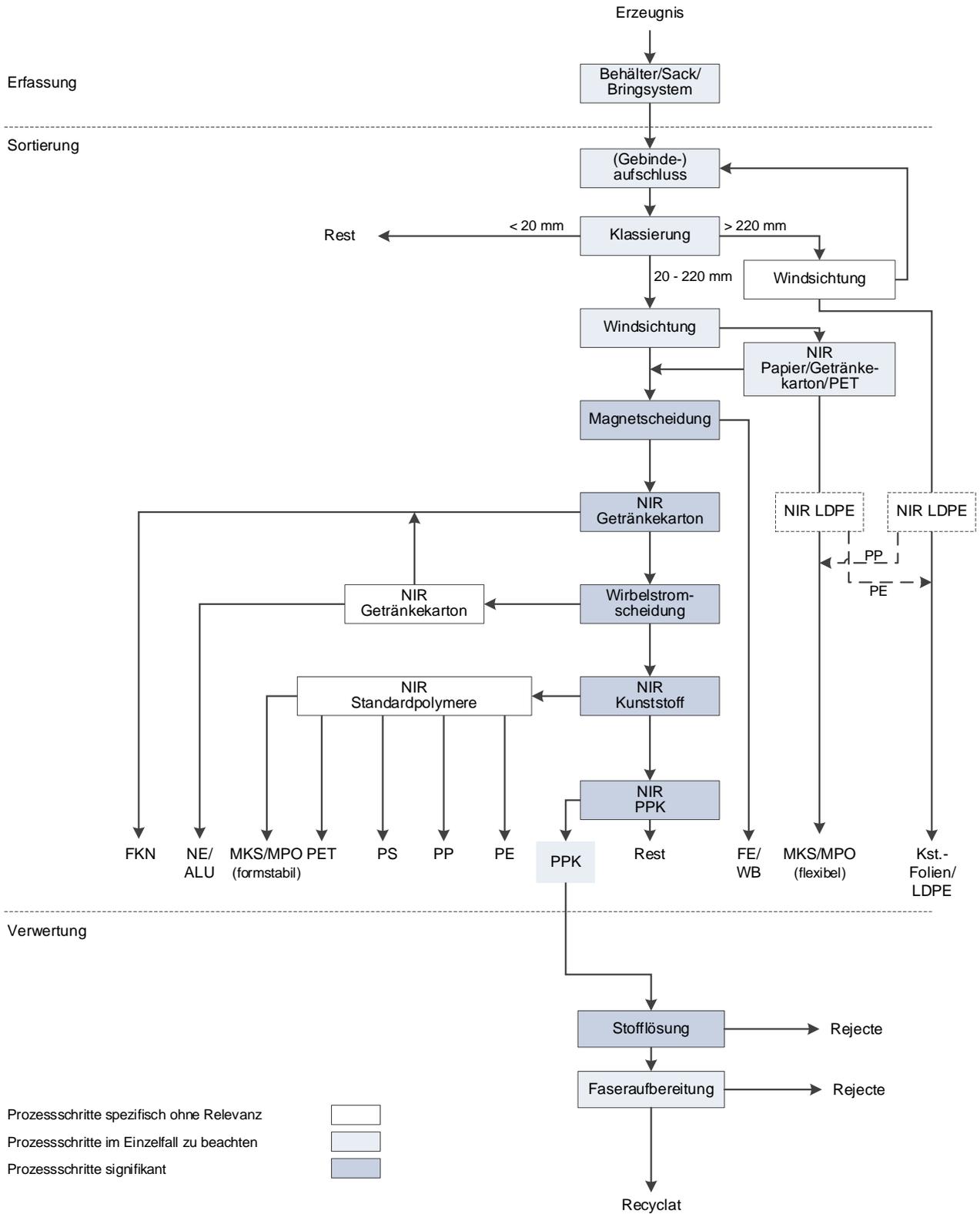
Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit* wird i. d. R. folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

- Wirbelstromscheidung für metallische Bestandteile mit Mischpolssystem und exzentrischem Polrad
- Einbindung des gesamten Körnungsbands > 20 mm durch Rückführung und / oder manuelle Sortierung im Grobkorn > 220 mm
- Verlustarme Pyrolyse

*Das Referenzszenario ist nicht anwendbar auf Aluminiumrückgewinnung aus Rostasche



4.2.11 Pfad 11: PPK-Verbunde





4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für PPK-Verbunde können im erforderlichen Umfang ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- Deutschland
- Frankreich

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit wird folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

- NIR-Detektion für PPK und PGA
- Einbindung des gesamten Körnungsbands > 20 mm durch Rückführung und / oder manuelle Sortierung im Grobkorn > 220 mm
- Stofflösung mit ausreichender Verweilzeit
- Abtrennung nicht löslicher Komponenten mittels Klassierverfahren

PPK-Verbunde werden in Deutschland gemeinsam mit LVP erfasst und sind innerhalb der Sortierung primär der Sortierfraktion „PPK aus LVP“ (Fraktions-Nr. 550) zugewiesen.

Aufgrund der gemeinsamen Sammlung und Aufbereitung von Verpackungspapier und Getränkekartons in Frankreich kann im Vergleich zur konventionellen Papierverarbeitung von einer längeren Bestandsauflösungszeit ausgegangen werden (siehe Bewertung für den Pfad 13 für Papier, Pappe und Karton); d.h. für faserhaltige Verpackungen gilt das Ergebnis der Bewertung über den Pfad 11 auch für Frankreich.

Bei der Bewertung von Verbundverpackungen auf Papierbasis ist zu beachten, dass das Nebenmaterial (z. B. Weißblechboden einer Kombidose, Aluminiumfolie einer Suppentüte, etc.) dominant im Sortierprozess sein kann und somit eine Zuordnung zu anderen Pfaden erzwingt.

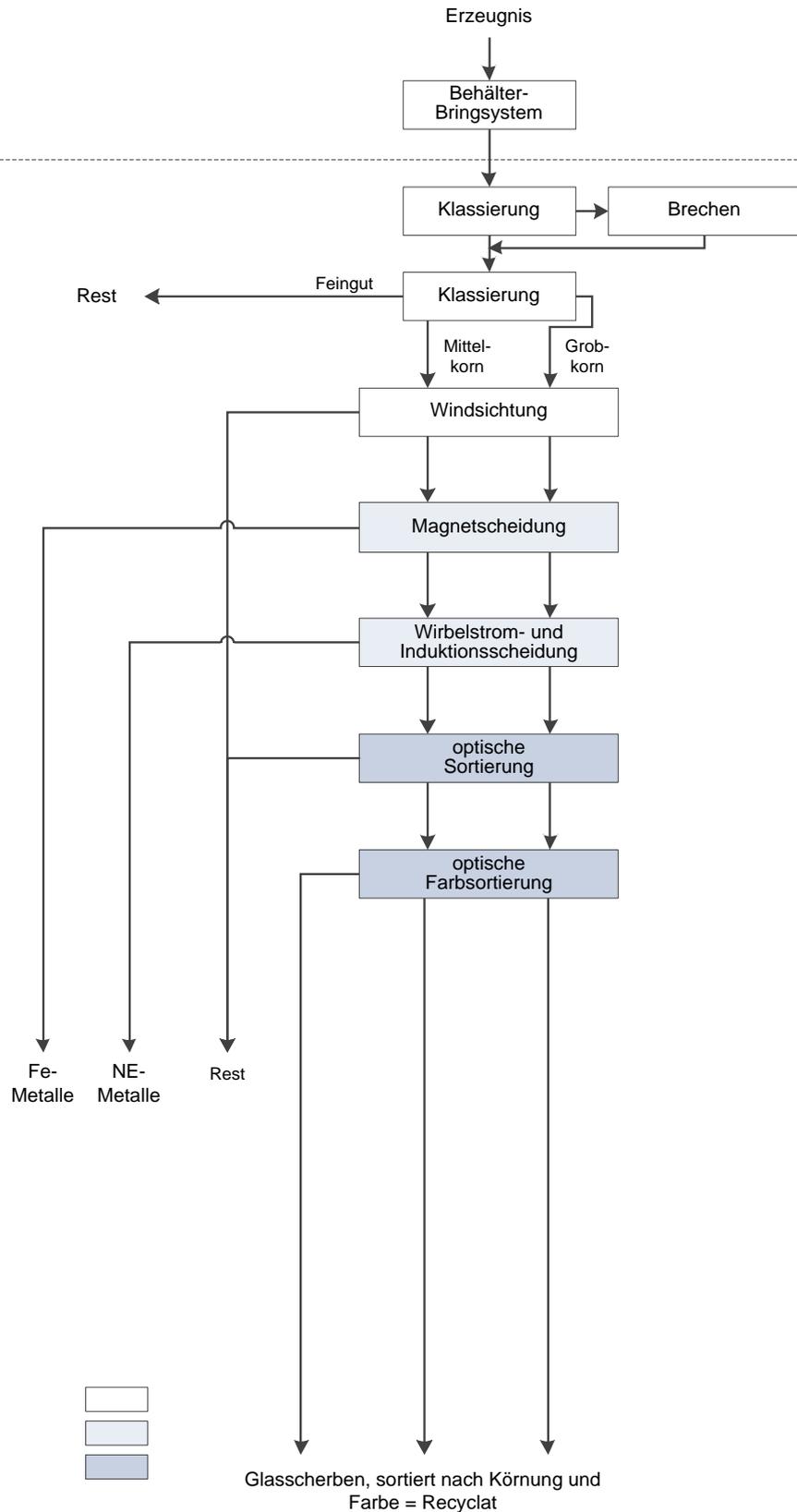
Die Erzeugung der Fraktion „PPK aus LVP“ erfolgt über NIR-Trennung, so dass Identifizierbarkeit im NIR-Reflexionsspektrum Voraussetzung für eine Bilanzierung über Pfad 11 ist. Der Wertstoffanteil im engeren Sinne ist in diesem Pfad der Faseranteil der Verpackung; übrige Bestandteile werden als Rejecte ausgeschleust. Die Aufbereitung erfolgt in spezialisierten (zertifizierten) Altpapieraufbereitungslinien analog zu Pfad 8, also mit deutlich längeren Stofflösezeiten als in Pfad 13.



4.2.12 Pfad 12: Behälterglas

Erfassung

Sortierung



Prozessschritte spezifisch ohne Relevanz

Prozessschritte im Einzelfall zu beachten

Prozessschritte signifikant





4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für Glas können im erforderlichen Umfang ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- Europäische Union
- Schweiz
- Norwegen
- UK

Glas wird in der Regel im Monostrom getrennt erfasst und in spezialisierten Anlagen weitergehend aufbereitet.

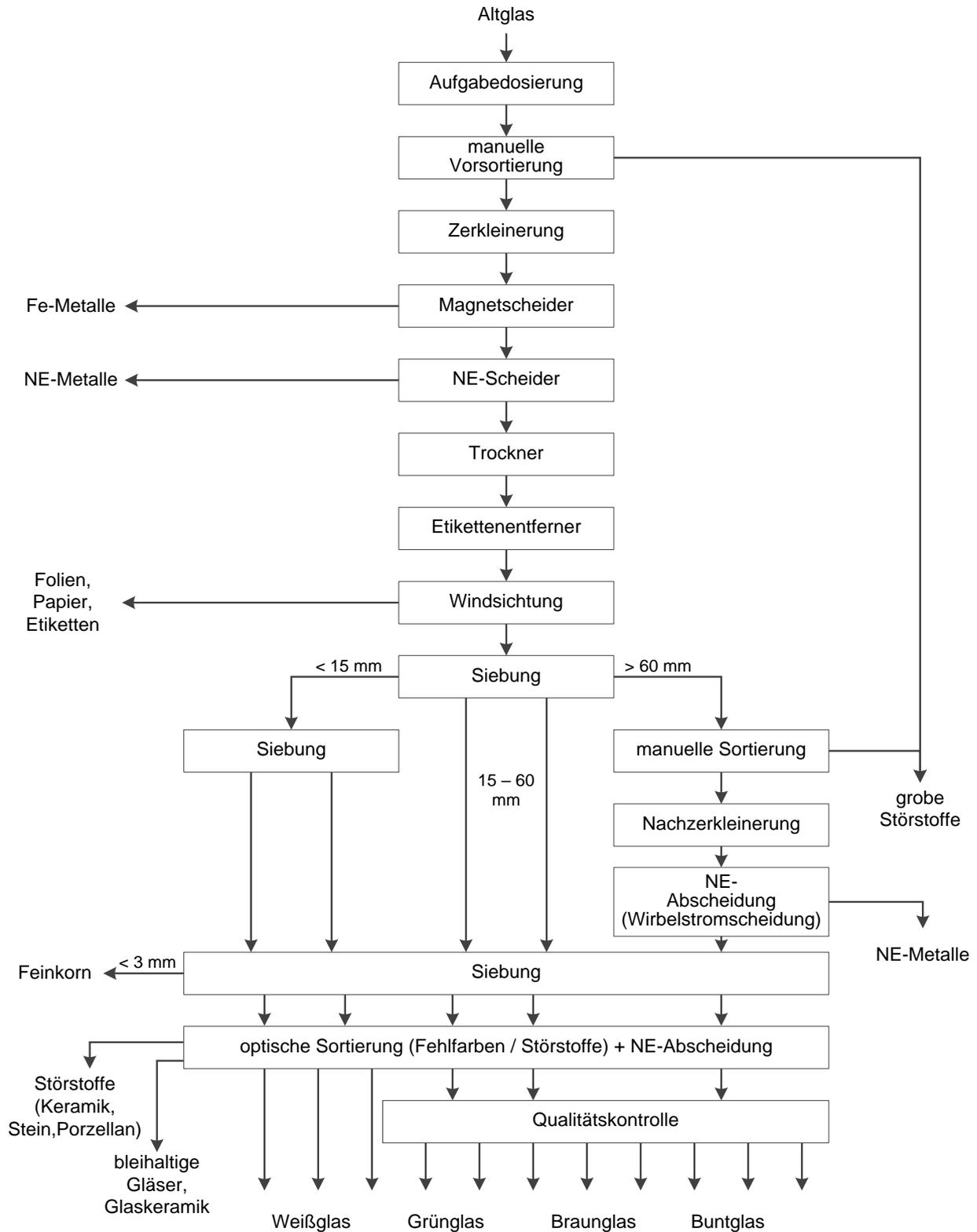
Das Blockfließbild in nachfolgender Abbildung stellt schematisch die Verfahrenstechnik einer Altglasaufbereitungsanlage nach dem Stand der Technik dar. Der Abbildung ist auch der Produktfächer einer Altglasaufbereitungsanlage entnehmbar. Die exakten Kennzeichnungen und Beschreibungen können u. a. der Leitlinie „Qualitätsanforderungen an die Glasscherben zum Einsatz in der Behälterindustrie“ (T120) entnommen werden.

Heutige Bestandsanlagen weisen nur zum Teil alle Attribute einer Aufbereitungsanlage nach dem Stand der Technik auf. Im grundsätzlichen Verfahrensablauf hat sich aber eine Standardisierung eingestellt. Diese resultiert u. a. daraus, dass die bundesweite Altglaserfassung weitgehend einheitlich ist und auch an die Produkte einheitliche Anforderungen gestellt werden.

4. Anlagen



Schematische Darstellung einer Altglasaufbereitungsanlage nach dem Stand der Technik





4. Anlagen

Während der Anlagenbetriebszeiten erfolgen die Zwischenlagerung sowie die Beschickung der Anlage überwiegend mittels Radlader. Für eine optimale Auslastung der nachfolgenden Prozessstufen ist ein gleichmäßiger Volumenstrom entscheidend. Daher erfolgt die Beschickung der Anlage i. d. R. über die Aufgabe des Inputmaterials in einen Aufgabedosierer.

Viele Aufbereitungsanlagen führen den Inputmassenstrom zunächst über eine kleine Sortierkabine mit ein bis zwei Sortierarbeitsplätzen. Falls notwendig können vor der ersten Prozessstufe grobe Störstoffe aus dem Materialstrom entnommen werden. I. d. R. dient dies dem Schutz nachfolgender Aggregate.

Um eine einheitlichere Korngrößenverteilung zu erreichen, wird der Materialstrom auf eine Korngröße von 10 bis 60 mm zerkleinert. Nach dem Stand der Technik kommen dafür überwiegend Prallmühlen und Walzenbrecher zum Einsatz. Wichtig ist, dass beim Zerkleinerungsprozess möglichst wenig Feinkorn entsteht, da sich ein zu hoher Feinkornanteil nachteilig auf nachfolgende Sortierstufen auswirkt.

Bei der Auswahl des Zerkleinerungsaggregates ist außerdem zu beachten, dass auch Flaschenhälse bspw. mit Korkverschluss sowie dicke Flaschenböden zuverlässig zu flachen Glasscherben zerkleinert werden, um eine optimale Größe für nachfolgende Prozessschritte zu erreichen.

In der Regel wird eine zweite Zerkleinerungsstufe nach einer erfolgten Klassierung des Materialstroms eingesetzt. Das Grobkorn > 60 mm wird ebenfalls mittels Prallmühlen oder Walzenbrecher nachzerkleinert und anschließend einer erneuten Klassierstufe zugeführt.

Für die Separation aller ferromagnetischer Bestandteile (im Wesentlichen Verschlüsse aus Weißblech) werden überwiegend Überbandmagnetscheider eingesetzt. Nach anerkannten Regeln der Technik werden die Überbandmagnetscheider in einer Bandübergabe installiert und das Zuführband als geregeltes, schnelllaufendes Band ausgeführt, um Fehlausträge durch Überlagerung zu minimieren. Trennscheitel werden i. d. R. als gegen die Förderrichtung rotierende Walzen ausgeführt. So können die Reinheit des Metallproduktes optimiert und Verstopfungen vermieden werden.

Glasscherben weisen häufig einen hohen Anteil an Etiketten und Reste von Beschichtungen aus Papier, Metall und Kunststoffen auf. In der optischen Sortierstufe kann dies zu Fehlausträgen führen, was zu einer Verschlechterung der Endproduktqualität und zu Glasproduktverlusten führen kann.

In einem Etikettenentferner verursachen verschleißgeschützte Förderpaddel eine komprimierte aber schonende Reibung der Glasscherben untereinander. Drehzahlregulierte Antriebe, einstellbare Förderneigungen und über die Länge des Fördertroges kann die Verweildauer des Produktes und somit der Abrieb störender Beschichtungen optimiert werden.



4. Anlagen

Papierfasern, Kunststofffolien, getrocknete Lebensmittelreste und ähnliche leichte Störstoffe vermindern nicht nur die Produktqualität, sondern wirken sich auch störend auf nachfolgende Sortierstufen aus. Um diese Störstoffe dem Materialstrom zu entnehmen, kommen i. d. R. Gleich- oder Querstromwindsichter zum Einsatz.

Die Korngrößenspannweite ist ausschlaggebend für das Sortierergebnis in den nachfolgenden Sortierstufen. Mittels Schwing- oder Spannwellensiebe wird der Materialstrom in verschiedene Korngrößenbereiche unterteilt. I. d. R. werden dafür mehrere Siebstufen hintereinander installiert.

Bewährt hat sich eine erste Siebtrennstufe, in der der Materialstrom in die Korngrößenfraktionen 0 mm bis 15 mm, 15 mm bis 60 mm und > 60 mm klassiert wird. Die Fraktion 0 mm bis 15 mm wird anschließend noch einmal in die Korngrößenfraktionen 0 mm bis 3 mm und 3 mm bis 15 mm unterteilt.

Alle Korngrößenfraktionen werden vor der anschließenden optischen Sortierung separat einer weiteren Klassierstufe zugeführt. In dieser wird das verbliebene Feinkorn < 3 mm abgesiebt, welches die sensible sensorgestützte Sortiertechnik maßgeblich stören kann.

Das Grobkorn > 60 mm wird nach der ersten Klassierstufe häufig über eine Sortierkabine geführt. Händisch können hier verbliebene Störstoffe aus dem Materialstrom aussortiert werden. Dieser Sortierarbeitsplatz ist zwar in den meisten Anlagen nach dem Stand der Technik installiert, wird jedoch meist nur bei Bedarf besetzt.

Die Nichteisenmagnetscheidung dient der Abtrennung metallischer, nicht ferromagnetischer Komponenten, da diese in der Glasproduktion unerwünschte Verfärbungen verursachen und die Qualität negativ beeinflussen können. Für die Separation von Nichteisenmetallen wird häufig das Verfahrensprinzip der Wirbelstromscheidung eingesetzt.

Neben Wirbelstromscheidern werden in der Glasaufbereitung auch sensorgestützte Sortieraggregate für die Separation von NE-Metallen aus dem Materialstrom eingesetzt. Diese sind in der Lage ab einer Größe von 1 mm Metallobjekte im Materialstrom zu erkennen und diese per Druckluft aus dem Materialstrom zu separieren.

Für die Sortierung der Scherben nach Farbe, aber auch für die Aussortierung von Fremdstoffen und hitzebeständigen Glasarten, Glaskeramiken sowie Gläsern mit hohem Schwermetallgehalt (bspw. Bleiglas) werden in den Anlagen nach dem Stand der Technik sensorgestützte Sortieraggregate eingesetzt. Diese detektieren im ultravioletten und sichtbaren Lichtwellenlängenbereich jede Scherbe im Materialstrom, der über einer Förderrinne gleitend an den Detektoreinheiten vorbeigeführt wird. Über UV-Sensoren und RGB-Kamerasysteme oder Röntgendetektoren werden die hitzebeständigen und bleihaltigen Gläser identifiziert. Innerhalb von Millisekunden werden alle



4. Anlagen

detektierten Informationen ausgewertet, so dass am Ende der Förderrinne Druckluftsensoren die identifizierten Fremdstoffe oder Fehlfarben ausschließen können.

Hohe Anforderungen werden an Glas als Sekundärrohstoff gestellt, so dass eine regelmäßige Qualitätskontrolle in modernen Aufbereitungsanlagen mittlerweile zum Stand der Technik gehört. Die Entnahme der Probenmengen kann händisch erfolgen. Automatische Systeme entnehmen, wiegen, archivieren, werten gewonnene Daten sämtlicher Prozessschritte eigenständig aus und ermöglichen so eine kontinuierliche Anlagen- und Qualitätsüberwachung.

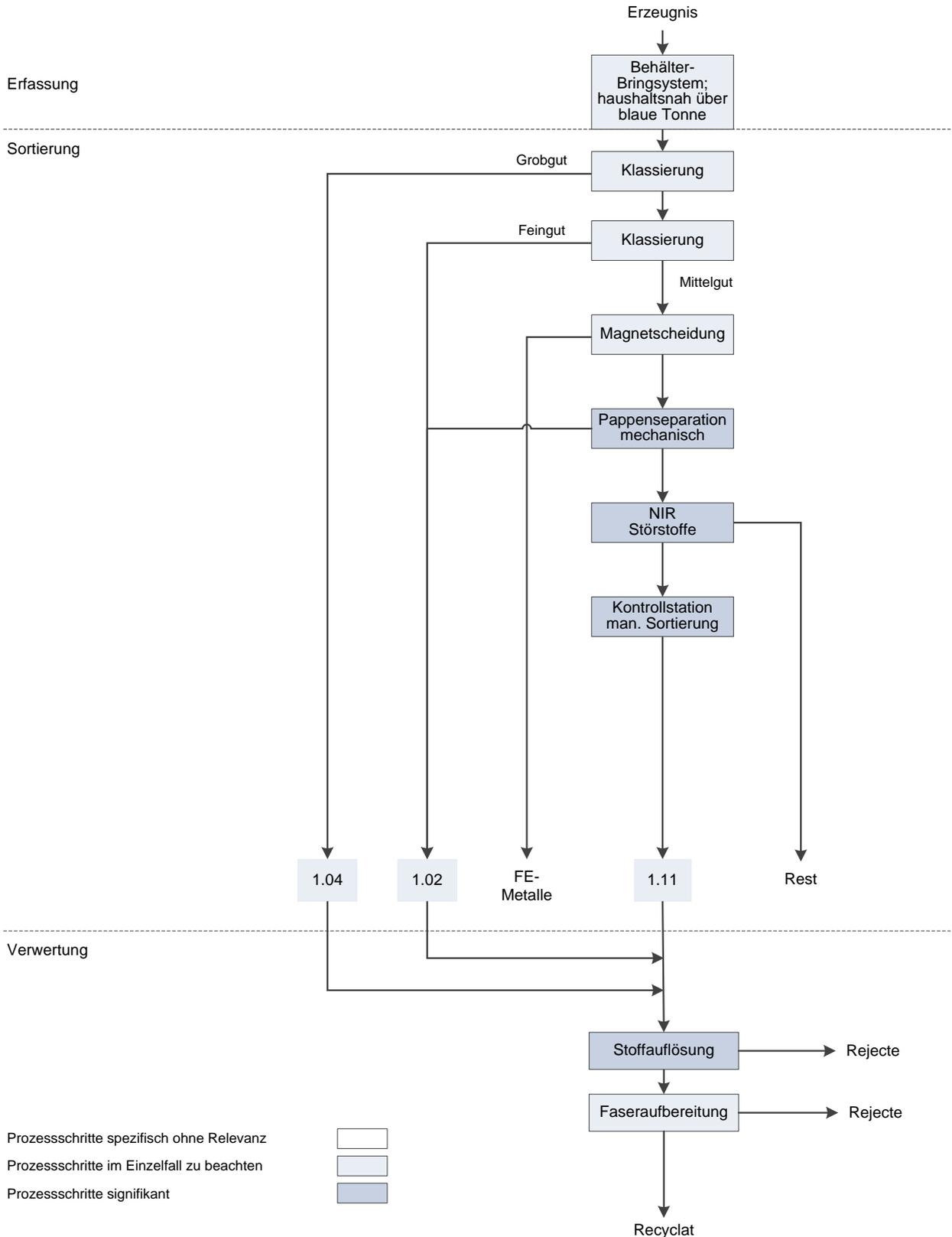
Die aufbereiteten Scherben werden an Glashütten geliefert, wo ein Umschmelzen zu neuem Behälterglas erfolgt. Die gewonnenen Metallfraktionen werden dem Metallrecycling zugeführt. Sonstige abgetrennte Verunreinigungen inkl. Spezialgläsern werden aktuell nicht stofflich verwertet.

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit wird in der Regel folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

- hochauflösende Farb-Detektion für Glas und KSP für Korngrößen > 2 mm
- Fe-Rückgewinnung über Magnetscheidung
- NE-Rückgewinnung über Wirbelstromscheidung



4.2.13 Pfad 13: Papier, Pappe, Karton





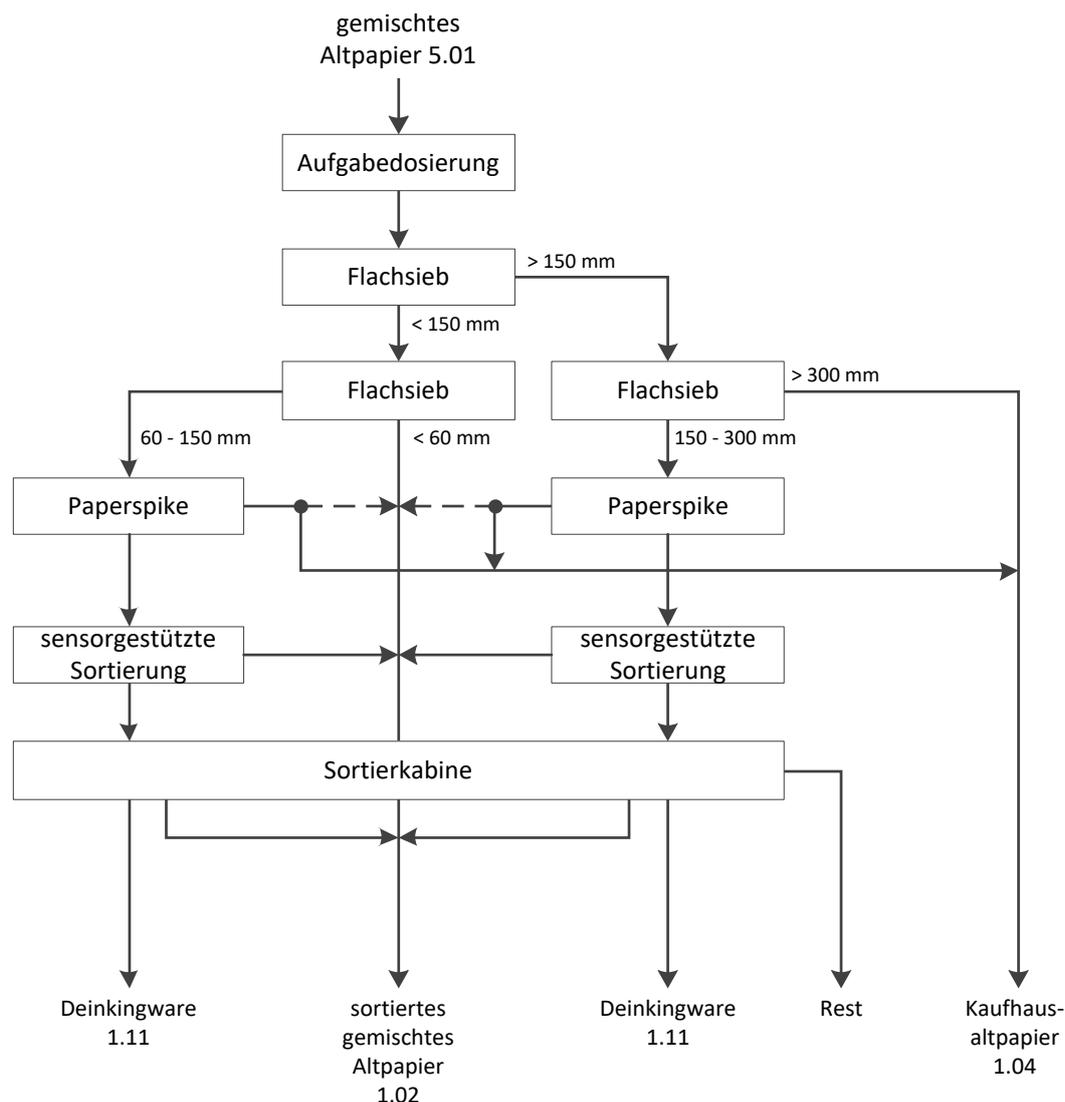
4. Anlagen

Erfassungsstrukturen für Papier, Pappe und Karton können im erforderlichen Umfang ohne weitere Prüfung für folgende Staaten vorausgesetzt werden:

- Europäische Union
- Schweiz
- Norwegen
- UK

PPK wird in der Regel im Monostrom separat von anderen Wertstoffen gesammelt. Ausnahme bildet Frankreich, wo Verpackungspapiere häufig im Mischsystem (mit Dosen und Kunststoffemballagen) erfasst werden. Nachfolgende Abbildung stellt schematisch die Verfahrenstechnik einer Papiersortieranlage nach dem Stand der Technik dar.

Schematische Darstellung einer PPK-Sortieranlage nach dem Stand der Technik





4. Anlagen

Der Abbildung ist auch der gängige Produktfächer einer Altpapiersortieranlage entnehmbar. Die exakten Kennzeichnungen und Beschreibungen können unter anderem der „Europäischen Liste der Altpapier-Standardsorten“ (DIN EN 643) entnommen werden.

Während der Anlagenbetriebszeiten erfolgen die Zwischenlagerung sowie die Beschickung der Anlage mittels Radlader. Ein gleichmäßiger Volumenstrom ist für eine optimale Auslastung der nachfolgenden Prozessstufen entscheidend. Daher erfolgt die Beschickung der Anlage i. d. R. über die Aufgabe des Inputmaterials in einen Aufgabedosierer, der zudem das Altpapier geringfügig auflockert.

Verschiedene Flachsiebtypen werden in Papiersortieranlagen eingesetzt. Bewährt haben sich Scheibensiebe, Sternsiebe, Rollenroste und Ballistikseparatoren.

In der ersten Klassierstufe wird mit einem Flachsieb der Stoffstrom geteilt. Das überwiegend mit großen Pappen und Kartonagen aufkonzentrierte Überkorn (> 150 mm) wird einer weiteren Klassierstufe mit einer großen Siebmaschenweite zugeführt. Im Überlauf werden hier die großen ($> ca. 300$ mm) und steifen Pappen und Kartonagen (1.04: Kaufhausaltpapier) aussortiert. Diese Fraktion wird anschließend in einem Bunker zwischengelagert und vor der Verladung zu Ballen verpresst.

Auch das Unterkorn (< 150 mm) wird nach der ersten Klassierstufe einer weiteren zugeführt, um die Kornfraktion < 60 mm abzutrennen. Dieser Stoffstrom (1.02: sortiertes gemischtes Altpapier) besteht überwiegend aus kleineren Papier- und Pappfragmenten verschiedener Papierqualitäten, aber auch geringfügig aus kleineren Störstoffen, bspw. Glasscherben, Büroklammern, Steinen, Korken und Staub. Diese Fraktion kann weder manuell noch mittels optischer Sortierstufen ausreichend sortiert werden und verschlechtert die gewünschte Endproduktqualität des Deinkingmaterials. Diese Produktfraktion (1.02) wird i. d. R. ebenfalls nach einer Zwischenlagerung im Bunker oder einer Box vor der Verladung zu Ballen verpresst.

Nach den Klassierstufen werden die Stoffströme 150 mm bis 300 mm und 60 mm bis 150 mm parallel weiteren Verfahrensschritten zugeführt. Die Trennschnitte der Klassierstufen und die Anzahl der anschließenden parallelen Sortierlinien hängen von der Kapazität der Gesamtanlage ab.

Um die noch in den beiden Materialströmen enthaltenen Pappen und Kartonagen zu entfernen, werden sog. Pappenstecher-Aggregate eingesetzt. An den mit Nägeln versehenen Bändern werden Pappen und Kartonagen aufgespießt. Flexible Papiere werden nicht von den Nägeln festgehalten. Am Ende des Förderweges werden die aufgespießten Pappen und Kartonagen gelöst und separat vom Papiermassenstrom weitergefördert.

Die aussortierten Pappen und Kartonagen werden entweder der Kaufhausaltpapierfraktion (1.04) oder der sortierten gemischten Altpapierfraktion (1.02) zugeführt.



4. Anlagen

Der von Pappen und Kartonagen weitgehend befreite Materialstrom beider Aufbereitungslinien wird anschließend mittels sensorgestützter Sortieraggregate von weiteren enthaltenen Störstoffen und qualitätsvermindernden Bestandteilen befreit. Der Materialstrom wird auf den Beschleunigungsbändern optimal verteilt und vereinzelt, so dass die Sensoreinheit im nahinfraroten und sichtbaren Lichtwellenlängenbereich jedes Objekt erfassen kann. Im Sekundenbruchteil wertet die Detektoreinheit die Informationen aus und gibt den Befehl weiter die lokalisierten unerwünschten Bestandteile und Störstoffe mittels präziser Druckluftstöße am Ende des Förderbandes aus dem Materialstrom abzutrennen. Diese aussortierte Fraktion wird ebenfalls der sortierten gemischten Altpapierfraktion (1.02) zugeführt.

Die bereinigten Materialströme werden zur Qualitätskontrolle in eine Sortierkabine transportiert. Händisch können hier unerwünschte Papier- und Pappenbestandteile, Papiere minderer Qualität, durchgefärbte Papiere sowie Störstoffe aussortiert werden. Die aussortierten Bestandteile werden entweder der sortierten gemischten Altpapierfraktion (1.02) oder einem separaten Störstoff / Reste-Container zugeführt.

Nach der Kontrolle durch das Sortierpersonal befindet sich auf den Förderbändern eine hochwertige Deinking-Altpapierqualität (1.11: Deinkingware). Diese wird in Bunkern oder Boxen zwischengelagert und i. d. R. vor der Verladung verpresst. Eine lose Verladung ist ebenfalls möglich.

Die einzelnen Sorten werden an Papierfabriken verkauft, in denen die Nassaufbereitung durchgeführt wird. Im Gegensatz zu Pfad 8 wird bei den in Pfad 13 erzeugten Sorten, aus gemischtem Altpapier, die Stofflösung mit deutlich geringeren Verweilwerten betrieben, so dass schwer suspendierbare bzw. nassfeste Bestandteile in die Rejecte überführt werden.

Für Frankreich gilt die Besonderheit, dass für die Aufbereitung der aus der gemischten Erfassung sortierten Verpackungsfraktion längere Stofflösezeiten (15 Min.) zugrunde zu legen sind.

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit wird in der Regel folgende Prozesstechnik vorausgesetzt:

- Mechanische Pappenseparation
- Automatische Klaubung für Störstoffe
- Manuelle Sortierung für Störstoffe
- Stofflösung mit ausreichender Verweilzeit (gemischtes Altpapier, Sorte 1.02)
- Abtrennung nicht löslicher Komponenten mittels Klassierverfahren



4. Anlagen

4.3 Basisdatenformular

Adresse:

(Empfänger des Zertifikats)

Artikelbezeichnung:

(auf dem Zertifikat)

Anwendung:

(z.B. Standbeutel)

Artikelnummer:

Zertifikat inkl. Testbericht

Deutsch **oder** Englisch

Kontakt

Bitte geben Sie Ihren Ansprechpartner bei Fragen oder fehlenden (technischen) Informationen an.

Ansprechpartner:

Kontaktdaten:

Adresse für den Probenversand

Institut cyclos-HTP GmbH
Hirzenrott 2 - 4
D-52076 Aachen
Germany

Muster

Die folgende Anzahl von Produktmustern wird zur Verfügung gestellt (normalerweise 10): _____

Technische Datenblätter für folgende Materialien sind beigefügt oder werden zur Verfügung gestellt:



4. Anlagen

Bitte füllen Sie die Daten zu Materialien und Unterkomponenten der grundlegenden Verpackungskomponenten in den folgenden Tabellen so detailliert wie möglich aus.

1. Grundkomponenten

Aus welchen spezifischen Grundkomponenten besteht das Produkt (z. B. Kombinationsverpackung aus thermogeformter Schale und Siegelfolie oder Becher, Siegelfolie und Deckel)?

Grundkomponenten	Beschreibung	Einzelgewicht [g] oder relativer Anteil der Komponente [%]	Besondere Merkmale
C1			
C2			
C3			
C4			
C5			
C6			

2. Verbindungen/Verklebung von Grundkomponenten

Grundkomponenten Nr.	Art der Verklebung (mechanisch, vollflächig verklebt, selektiv verklebt, laminiert, usw.)	Für aufgetragene Klebstoffe: Wiederablösbarkeit *
CX und CX		
C und C		
und		
und		
und		

* Ablösbarkeit des aufgetragenen und getrockneten/gehärteten Klebstoffs (z. B. "abwaschbare Etiketten")



4. Anlagen

3. Materialien und Bestandteile

Aus welchen Einzelkomponenten setzen sich die spezifischen Basiskomponenten zusammen (Angabe aller Schichten einschließlich Haftvermittler, Klebstoffe, Lacke, Beschichtungen, Druckfarben, Additive, Masterbatches usw.) Bei Kunststoffen geben Sie bitte den genauen Polymertyp an (z. B. PET-A, PE-HD usw.). Für Klebstoffe, Additive, Haftvermittler etc. geben Sie bitte die technischen Datenblätter oder die chemische Zusammensetzung an.

C1	Schicht / Grundkomponente	Anteil der Basiskomponente (Bitte mindestens 2 der 3 Spalten ausfüllen)			Besondere Merkmale (z.B. Ablösbarkeit von Klebstoffen, nassfestes Papier, ..)
	Material- / Werkstoff-Spezifikation	Schichtdicke [µm]	Dichte [g/cm³]	Masse [g] oder Flächengewicht [g/m²]	
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

C2	Schicht / Grundkomponente	Anteil der Basiskomponente (Bitte mindestens 2 der 3 Spalten ausfüllen)			Besondere Merkmale (z.B. Ablösbarkeit von Klebstoffen, nassfestes Papier, ..)
	Material- / Werkstoff-Spezifikation	Schichtdicke [µm]	Dichte [g/cm³]	Masse [g] oder Flächengewicht [g/m²]	
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				



4. Anlagen

C3	Schicht / Grundkomponente	Anteil der Basiskomponente (Bitte mindestens 2 der 3 Spalten ausfüllen)			Besondere Merkmale (z.B. Ablösbarkeit von Klebstoffen, nass-festes Papier, ..)
	Material- / Werkstoff-Spezifikation	Schichtdicke [µm]	Dichte [g/cm³]	Masse [g] oder Flächengewicht [g/m²]	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

C4	Schicht / Grundkomponente	Anteil der Basiskomponente (Bitte mindestens 2 der 3 Spalten ausfüllen)			Besondere Merkmale (z.B. Ablösbarkeit von Klebstoffen, nass-festes Papier, ..)
	Material- / Werkstoff-Spezifikation	Schichtdicke [µm]	Dichte [g/cm³]	Masse [g] oder Flächengewicht [g/m²]	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					



4. Anlagen

C5	Schicht / Grundkomponente	Anteil der Basiskomponente (Bitte mindestens 2 der 3 Spalten ausfüllen)			Besondere Merkmale (z.B. Ablösbarkeit von Klebstoffen, nass-festes Papier, ..)
	Material- / Werkstoff-Spezifikation	Schichtdicke [µm]	Dichte [g/cm³]	Masse [g] oder Flächengewicht [g/m²]	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

C6	Schicht / Grundkomponente	Anteil der Basiskomponente (Bitte mindestens 2 der 3 Spalten ausfüllen)			Besondere Merkmale (z.B. Ablösbarkeit von Klebstoffen, nass-festes Papier, ..)
	Material- / Werkstoff-Spezifikation	Schichtdicke [µm]	Dichte [g/cm³]	Masse [g] oder Flächengewicht [g/m²]	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					



4. Anlagen

4. Klebstoffe und Leime

Sofern nicht bereits unter 3. angegeben, sind im Folgenden Angaben zu Klebstoffen ggf. unter Bezugnahme auf die einzelnen Komponenten zu machen (z. B. Art des Klebstoffs, wie Hotmelt oder Acrylatdispersion). **Verpackungen auf Faserbasis:** EPRC Removal Score (Datenblätter erforderlich), Erweichungstemperatur, Schichtdicke, horizontale Dimension der Auftragung.

C	Layer	Name/Materialtype	Art (z.B. Hotmelt, Dispersion, reaktiv, ...)	Dicke trocken [µm]	Aufgetragene Breite [mm]	Erweichungstemp. [°C]

5. Faserbasierte Materialien und Komponenten / Papier und Karton

Sind wasserfeste Papier- oder Kartonteile enthalten (z. B. nassfeste Etiketten)? Wenn ja, in welchen Teilkomponenten?

6. Druckfarben in faserbasierten Verpackungen

Werden Druckfarben oder Rohstoffe aus der EuPIA-Ausschlussliste verwendet? In welchen Komponenten?

7. Füllstoffe, Barrierschichten, Additive

Sofern nicht bereits unter 3. angegeben, sind im Folgenden Angaben zu Füllstoffen, Additiven und Sperrschichten ggf. mit Bezug auf die einzelnen Komponenten zu machen (z. B. Art, wie Metallisierung oder mineralischer Füllstoff).



4. Anlagen

Beispiele

1. Grundkomponenten:

Grundkomponenten	Beschreibung	Einzelgewicht [g] oder relativer Anteil der Komponente [%]	Besondere Merkmale
C1	Tiefziehschale	23.0 g (65.7%)	-
C2	Deckel	8.0 g (22.9%)	gefüllt (Kreide)
C3	Selbstklebeetikett	4.0 g (11.4%)	Ablösbar in Wasser

2. Verbindungen/Verklebung von Grundkomponenten:

Grundkomponenten Nr.	Art der Verklebung (mechanisch, vollflächig verklebt, selektiv verklebt, laminiert, usw.)	Für aufgetragene Klebstoffe: Wiederablösbarkeit *
C1 und C2	Punktuell verklebt	Ablösbar in wässrigen Waschprozessen
C2 und C3	Verschweißt mit Wärme	

3. Materialien und Bestandteile:

C1	Schicht / Grundkomponente		Anteil der Basiskomponente (Bitte mindestens 2 der 3 Spalten ausfüllen)			Besondere Merkmale (z.B. Ablösbarkeit von Klebstoffen, nassfestes Papier, ...)
	Material- / Werkstoff-Spezifikation		Schichtdicke [µm]	Dichte [g/cm³]	Masse [g] oder Flächengewicht [g/m²]	
	1	PE-LD	20,0 g	0,918	22,0 µm	
	2	Haftvermittler (PE-basiert)	2,0 g	0,930	2,0 µm	
	3	EVOH (32% Ethylen)	4,8 g	1,19	4,0 µm	
	4	Haftvermittler (PE-basiert)	2,0 g	0,930	2,0 µm	
	5	PE-LD	22,0 g	0,918	22,0 µm	

C2	Schicht / Grundkomponente		Anteil der Basiskomponente (Bitte mindestens 2 der 3 Spalten ausfüllen)			Besondere Merkmale (z.B. Ablösbarkeit von Klebstoffen, nassfestes Papier, ...)
	Material- / Werkstoff-Spezifikation		Schichtdicke [µm]	Dichte [g/cm³]	Masse [g] oder Flächengewicht [g/m²]	
	1	BO-PET (A-PET)	11,0		12,0 g/m²	
	2	Druckfarben	1,0		1,0 g/m²	
	3	Klebstoff (Dispersion)	3,0		3,0 g/m²	ablösbar in heißem Wasser
	4	Aluminiumfolie	7,0		20,0 g/m²	
	5	Klebstoff (Hotmelt)	3,0		3,0 g/m²	thermoplastisch
	6	PP	50,0		45,0 g/m²	Gefüllt mit TiO2

4. Klebstoffe und Leime

C	Schicht	Name / Materialtype	Art (z.B. Hotmelt, Dispersion, reaktiv, ...)	Dicke trocken [µm]	Aufgetragene Breite [mm]	Erweichungstemp. [°C]
C2	3	"Example Melt XA-1000"	Hotmelt, EVA-basiert	5 g/m²	4.8 cm²	72°C
C3	2	"Example bond XB-2000"	Dispersion, Acryl	2.5 g/m²	9.5 cm²	-



4.4 Zertifikatsvorlage

ZERTIFIKAT

zur Recyclingfähigkeit einer Verpackung

AUFTRAGGEBER

Musterstraße 1

D-00000 Musterstadt

Dem Unternehmen wird die Recyclingfähigkeit folgender Verpackung bescheinigt.

Bezeichnung

VERPACKUNGSBEZEICHNUNG (Artikel-Nr. XXXXXXXX)

Prüfergebnis

Zulässig in Sorte/Spezifikation:	Mustersorte A, Fraktions-Nr. 000 (DE) Mustersorte B, Fraktions-Nr. 001 (DE)
Bemessung über Pfad:	Pfad X: XXXXXXXX
Rezyklat (Endprodukt):	z. B. XX-Regranulat

Prüfstandard/ Geltungsbereich:

- Anforderungs- und Bewertungskatalog des Instituts cyclos-HTP zur EU-weiten Zertifizierung (Stand 07.10.2019) / Geltungsbereich nach Nationalstaaten, siehe Kap. 1
- Innerhalb der Zertifizierung wurde ferner die Konformität zu folgenden Standards geprüft:
- Mindeststandard zur Bemessung der Recyclingfähigkeit der ZSVR (Stand 31.08.2021); bereits integriert
- DIN EN 13430 bzgl. stofflicher Verwertbarkeit in der Nachgebrauchsphase; bereits integriert
- Abgleich in Anlehnung an COTREP – Recyclability of Plastic Packaging; auf Anfrage
- Abgleich in Anlehnung an APR Design® Guide for Plastics Recyclability; auf Anfrage

Nach Prüfung ergibt sich für die Verpackung eine potentielle Rezyklatausbeute von xx %. Die Recyclingfähigkeit nach CHI-Standard beträgt:

XX % (AT, DE, NL, NO)

Dieses Zertifikat (Nr. xxxx-xxxx-xxxxxx) ist gültig bis xx.xx.xxxx (1 Jahr nach Ausstellung) für die in Klammern oben aufgeführten Länder. Das Zertifikat verliert seine Gültigkeit bei qualitativer oder quantitativer Änderung der Verpackungskomponenten.

Aachen, den xx.xxxx.xxxx

.....
Dr. Joachim Christiani
Von der Industrie- und Handelskammer öffentlich
bestellter und vereidigter Sachverständiger für
Verpackungsentsorgung
Zuständig: IHK Aachen

Dieses Zertifikat ist nur gültig in Verbindung mit den 8
Folgeseiten des Prüfberichtes Nr xxxx-xxxx-xxxxxx.

Institut cyclos - HTP

Institut cyclos-HTP GmbH
Maria-Theresia-Allee 35 - 52064 Aachen
Tel: +49 (0) 241 / 949 00-0
Fax: +49 (0) 241 / 949 00-49

