

TEXTE

22/2017

Umweltbezogene Bilanzierung von „intelligenten“ und „aktiven“ Verpackungen hinsichtlich der Recyclingfähigkeit und Durchführung eines Dialogs mit Akteuren der Entsorgungs- und Herstellungsbranchen

Endbericht

TEXTE 22/2017

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3715 37 323 0
UBA-FB 002416

Umweltbezogene Bilanzierung von „intelligenten“ und „aktiven“ Verpackungen hinsichtlich der Recyclingfähigkeit und Durchführung eines Dialogs mit Akteuren der Entsorgungs- und Herstellungsbranchen

von

Dr. Siegfried Kreibe, Thorsten Pitschke, Ruth Berkmüller, Monika Bokelmann,
Andreas Förster
bifa Umweltinstitut GmbH, Augsburg

Dr. Cornelia Stramm, Astrid Pant
Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, Freising

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

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

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

bifa Umweltinstitut GmbH
Am Mittleren Moos 46
86167 Augsburg

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV
Giggenhauser Straße 35
85354 Freising

Abschlussdatum:

April 2016

Redaktion:

Fachgebiet III 1.6 Produktverantwortung
Franziska Krüger

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3715 37 323 0 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Durch den Einsatz aktiver und intelligenter Komponenten werden Verpackungen mit Eigenschaften ausgestattet, die über herkömmliche Verpackungsfunktionen hinausgehen. Aktive Komponenten schützen das Produkt vor Verderb, Indikator-Labels sollen den Zustand von Produkten anzeigen, RFID-Tags dienen als Diebstahlsicherung und Informationsträger. Als Reaktion auf die gestiegenen Anforderungen an Produktsicherheit und -qualität waren in den letzten Jahren vielfältige Aktivitäten in Forschung und Entwicklung zu aktiven und intelligenten Verpackungen zu verzeichnen. Das durchgeführte Vorhaben umfasst die Charakterisierung und die Prognose des Einsatzes aktiver und intelligenter Verpackungen und auf dieser Basis die Analyse der möglichen Herausforderungen auf die Recyclingprozesse. Herausforderungen können bei Sortierung und Recycling aktiver/intelligenter Verpackungen insbesondere mit Multilayern, Additiven, Blends, Verpackungsein-/beilagen und RFID-Tags auftreten. Neben negativen Effekten auf die Recyclingfähigkeit von aktiven und intelligenten Verpackungen selbst könnte es deshalb bei einer deutlichen Zunahme von komplex gestalteten Verpackungen auch für bestehende Stoffströme zu einer Beeinträchtigung der Recyclingausbeuten sowie der Qualität der Rezyklate kommen.

Gemeinsam mit den am Lebensweg von Verpackungen beteiligten Akteuren wurden zentrale Anhaltspunkte und Handlungsmöglichkeiten zur Sicherung der hochwertigen Verwertung von Verpackungsabfällen zu folgenden Bereichen erarbeitet:

- ▶ Lebenswegübergreifende Bewusstseinsbildung und Kommunikation über Bedarfe und Erfordernisse
- ▶ Berücksichtigung von Gestaltungsgrundsätzen zur Recyclingfähigkeit im Rahmen der Verpackungsentwicklung
- ▶ Durchführung von Versuchen zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit und der Auswirkungen auf die Sekundärprodukte
- ▶ Überzeugungsarbeit bei Handel und Konsumenten für die Notwendigkeit bzw. die Vorteile einer verbesserten Recyclingfähigkeit von Verpackungen
- ▶ Berücksichtigung der Recyclingfähigkeit in der Lizenzentgeltbemessung der dualen Systeme.

Abstract

Active and intelligent packaging systems provide extended functionality compared to traditional packaging. Active components are used for improved product protection against spoilage, indicator labels provide information on product conditions, RFID tags serve as data carriers or protection against theft. In recent years, increasing demands on product quality and safety could be noticed, accompanied by much R&D work on active and intelligent packaging systems. The study covers the characterization and forecasting of the use of active and intelligent packaging and the analysis of the possible challenges to the recycling processes. Active and intelligent packaging systems such as composites and mixtures, fixed inserts or components, labels and RFID tags can cause challenges in sorting and recycling. In addition to negative effects on recyclability of active and intelligent packaging itself, a significant increase of such complex packaging systems could lead to impaired recycling yields and decreased quality of recyclate. Together with experts from the packaging and disposal industry recommendations for ensuring high-quality recycling of packaging waste for the following areas were identified:

- ▶ Development of awareness, information and communication between the disposal and packaging industry and education and research
- ▶ Matching packaging development to recycling requirements

- ▶ Test series for specific products and materials to evaluate actual recyclability and effects on secondary products
- ▶ Marketing for the use of recyclable packaging
- ▶ Taking recyclability into account when calculating the licence fee for dual systems.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis.....	9
Abkürzungsverzeichnis.....	10
Zusammenfassung	11
Summary	18
1 Aufgabenstellung.....	24
2 Einsatz aktiver und intelligenter Komponenten in Verpackungen	25
2.1 Definition und Einteilung aktiver und intelligenter Materialien	25
2.1.1 Aktive Verpackungen	25
2.1.2 Intelligente Verpackungen	26
2.2 Status quo: Aktive Verpackungen	26
2.2.1 Absorbierende Systeme	27
2.2.1.1 Sauerstoff	27
2.2.1.2 Feuchte	28
2.2.1.3 Weitere Systeme	29
2.2.2 Freisetzende Systeme	30
2.2.2.1 Antimikrobielle Substanzen	30
2.2.2.2 Weitere Systeme	31
2.3 Status Quo: Intelligente Verpackungen	32
2.3.1 Indikatoren	32
2.3.2 RFID-Tags.....	32
3 Effekte aktiver und intelligenter Verpackungen auf die werkstoffliche Verwertung	34
3.1 Vorgehensweise und Betrachtungsgrenzen	34
3.2 Verwertungswege und -prozesse	36
3.2.1 Werkstoffliche Verwertung von gemischt erfassten Kunststoffverpackungen.....	37
3.2.2 Werkstoffliche Verwertung von PET-Flaschen aus dem Pfandsystem	39
3.2.3 Werkstoffliche Verwertung von Papier, Pappe, Karton (PPK).....	41
3.2.4 Werkstoffliche Verwertung von Altglasverpackungen	42
3.2.5 Werkstoffliche Verwertung von metallischen Verpackungen	43
3.3 Herausforderungen bei der Verwertung von Verpackungsabfällen.....	43
3.3.1 Multilayer-Verpackungen, Kunststoff-Blends und/oder Zugabe von Additiven.....	45

3.3.2	Ein- und Beilagen in Verpackungen	47
3.3.3	Labels / RFID-Tags	48
3.3.4	Weitere Verpackungen bzw. Packmittel	49
3.4	Zwischenfazit.....	50
4	Empfehlungen zur Sicherstellung der hochwertigen Verwertung.....	54
4.1	Möglichkeiten und Grenzen zur Sicherung der Recyclingkreisläufe.....	54
4.2	Identifikation und Beschreibung von Handlungsoptionen.....	56
4.2.1	Bewusstseinsbildung, Information und Kommunikation zwischen Entsorgungs- und Verpackungsbranche sowie Bildung und Forschung.....	58
4.2.2	Abstimmen der Verpackungsentwicklung auf die Anforderungen des Recycling.....	60
4.2.3	Versuchsreihen für spezifische Produkte und Materialien zur Beurteilung der tatsächlichen Recyclingfähigkeit und Auswirkungen auf Sekundärprodukte	62
4.2.4	Marketing für die Nutzung recyclingfähiger Verpackungen	64
4.2.5	Recyclingfähigkeit in der Lizenzentgeltbemessung der dualen Systeme berücksichtigen	65
5	Quellenverzeichnis.....	68
6	Anhang	I
6.1	Ergänzende Informationen zu ausgewählten Anwendungen für aktive und intelligente Verpackungen	I
6.2	Experteninterviews	V
6.3	Informations- und Dialogveranstaltung am 15.03.2016 am Umweltbundesamt in Dessau.....	VI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Einteilung aktiver Verpackungen	25
Abbildung 2-2:	Einteilung intelligenter Verpackungen	26
Abbildung 3-1:	Erwartete Verwertungswege relevanter Anwendungen aktiver und intelligenter Verpackungen	37
Abbildung 3-2:	Prozessschema LVP Sortierung und Recycling inklusive relevanter Trennkriterien	39
Abbildung 3-3:	Prozessschema PET-Flaschen Recycling inklusive der relevanten Trennkriterien (URRC-Verfahren).....	40
Abbildung 3-4:	Prozessschema PPK-Recycling (Darstellung nach Institut cyclo-HTP 2015).....	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Anwendungen Sauerstoffabsorber	28
Tabelle 2-2:	Anwendungen Feuchteabsorber	29
Tabelle 2-3:	Anwendungen weiterer Absorber.....	30
Tabelle 2-4:	Anwendungen antimikrobieller Systeme	31
Tabelle 2-5:	Anwendungen weiterer freisetzender Systeme	31
Tabelle 2-6:	Anwendungen von Indikatoren	32
Tabelle 3-1:	Technische Beschreibung der für die Analyse berücksichtigten aktiven und intelligenten Verpackungen	35
Tabelle 3-2:	Kategorisierung relevanter aktiver und intelligenter Verpackungen.....	44
Tabelle 3-3:	Konsequenzen für die Recyclingprozesse von derzeit relevanten aktiven und intelligenten Verpackungen	51
Tabelle 6-1:	Technische Beschreibung ausgewählter aktiver und intelligenter Systeme	I
Tabelle 6-2:	Experteninterviews (in alphabetischer Reihenfolge).....	V
Tabelle 6-3:	Teilnehmerliste Dialogveranstaltung (in alphabetischer Reihenfolge)	VII

Abkürzungsverzeichnis

Ca(OH)₂	Calciumhydroxid
CaCl₂	Calciumchlorid
CaO	Calciumoxid
CO₂	Kohlenstoffdioxid
EVOH	Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer
HDPE	Polyethylen hoher Dichte (Englisch: high density polyethylene)
LVP	Leichtverpackung
Na₂CO₃	Natriumcarbonat
Na₂SO₃	Natriumsulfit
NaCl	Natriumchlorid (Kochsalz)
NaOH	Natriumhydroxid
NIR	Nah-Infrarot (Sensorik)
O₂	Sauerstoff
PA	Polyamid
PA-MXD₆	Copolymer aus Polyamid und Meta-xylene diamine-adipic acid
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PP	Polypropylen
PPK	Papier, Pappe, Karton
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
RFID	Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen (Englisch: radio frequency identification)
TTI	Zeit-Temperatur-Indikator (Englisch: Time-temperature indicator)
URRC	Von der United Resource Recovery Corporation entwickelter PET-Recycling Prozess
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
UBA	Umweltbundesamt
IPR	intellectual property rights

Zusammenfassung

Einsatz aktiver und intelligenter Verpackungen

Durch den Einsatz aktiver und intelligenter Komponenten werden Verpackungen mit Funktionen ausgestattet, die über herkömmliche Verpackungsfunktionen hinausgehen. Ziel ist es, einen verbesserten Produktschutz und/oder eine verbesserte Information des Verbrauchers zu erreichen. Als Reaktion auf gestiegene Anforderungen an Produktsicherheit und -qualität waren in den letzten Jahren vielfältige Aktivitäten in Forschung und Entwicklung aktiver und intelligenter Verpackungen zu verzeichnen.

Mit dieser Untersuchung wurde ein Überblick zu aktiven und intelligenten Komponenten, die im Verpackungsbereich Anwendung finden, erstellt. Dabei wurden die Packstoffe Kunststoff, Metall, Glas und Papier betrachtet. Passive Barriersysteme (z.B. EVOH- oder Siliziumoxidschichten) waren nicht Gegenstand der Untersuchungen. Außerdem wurden die Einsatzgebiete aktiver und intelligenter Systeme ermittelt. Die mengenmäßige Relevanz wurde für die derzeitige und zukünftige Situation in Deutschland bewertet (bezogen auf die Jahre 2015 bzw. 2020).

Um den Dialog zwischen Akteuren der Entsorgungs- und Herstellungsbranche zu befördern, wurden von Beginn des Projektes an verschiedenste Akteure aus diesen Branchen in den Analyse- und Entwicklungsprozess zu aktiven und intelligenten Verpackungen mit eingebunden. Die intensive Akteursbeteiligung fand im Rahmen von Experteninterviews und einer Informations- und Dialogveranstaltung im Umweltbundesamt in Dessau statt. Die Erkenntnisse der Interviews sowie der Veranstaltung flossen kontinuierlich in die Ergebnisse zu potenziellen Herausforderungen beim Recycling sowie in die Erarbeitung der Handlungsempfehlungen zur Sicherstellung der hochwertigen Verwertung von Verpackungen mit ein.

Aktive Verpackungen enthalten gezielt Substanzen, die Stoffe an das Füllgut bzw. den Gasraum der Verpackung abgeben (freisetzen) oder diesen entziehen (absorbieren) können. Die freisetzenden Systeme umfassen u.a. antimikrobielle Systeme. Zu den absorbierenden aktiven Systemen zählen u.a. Sauerstoff-, Wasser(dampf)-, Ethylen- und Geruchsabsorber.

Unter den aktiven Verpackungen sind vor allem Sauerstoff- und Wasser(dampf)-Absorber relevant für den deutschen Markt. Dies ist durch die wichtige Schutzfunktion dieser Verpackungen für viele Füllgüter begründet. Für folgende aktive Systeme wurde die derzeitige und zukünftige Relevanz mit „mittel“ oder „hoch“ bewertet:

- ▶ Flaschenverschlüsse mit Natriumsulfit-Linern für Bier
- ▶ Kronkorken mit Natriumsulfit-Linern für Bier
- ▶ Menüschaalen mit eisenbasiertem Absorber für sterilisierbare Fertiggerichte
- ▶ PET-Flaschen mit PA-Copolymer und Kobalt-Katalysator für Bier und Fruchtsaft
- ▶ Sachets mit feuchteabsorbierenden Substanzen für Textilien, Schuhe, elektronische Geräte
- ▶ Saugelagen mit Zellstoff und/oder Superabsorber für Frischfleisch, Geflügel, Beerenobst

Zukünftig könnten außerdem polymerbasierte Sauerstoffabsorber (Polyoctenamer), eingesetzt in Schalen oder Folien z.B. für Wurstwaren, Marktrelevanz erhalten.

Die übrigen Gruppen von aktiven Systemen haben derzeit noch keine oder nur eine geringe Relevanz für den deutschen Markt; für die nächsten 5 Jahre ist keine erhebliche Veränderung zu erwarten. Dies ist z.T. durch die rechtlichen Rahmenbedingungen in der EU begründet, die ein vergleichsweise auf-

wendiges Zulassungsverfahren für aktive Materialien vorsehen. So sind auf dem Gebiet der antimikrobiellen Materialien viele Forschungsaktivitäten zu verzeichnen, Marktrelevanz konnten antimikrobielle Verpackungen jedoch bislang nicht erreichen.

Aktive Systeme sind vor allem in Kunststoffverpackungen verbreitet (siehe Beispiele oben), da sie dort wichtige Zusatzfunktionen erfüllen (z.B. Schutz des Füllguts vor Sauerstoff oder Feuchtigkeit, der durch Kunststoffe allein nicht gewährleistet ist). Entsprechend gering ist die Verbreitung in Verpackungen aus Glas oder Metall, da diese Materialien hervorragende Barriereigenschaften aufweisen. Im Bereich Papier, Pappe, Karton sind nur Einzelbeispiele aktiver Systeme bekannt, die jedoch keine Marktrelevanz haben.

Intelligente Verpackungen verfügen über die Funktion, zusätzliche Informationen für den Verbraucher (bzw. den Handel) bereitzustellen. Dabei kann es sich um Informationen über den Zustand einer Packung bzw. des Füllguts handeln oder aber auch um Informationen über den Zeitpunkt der Herstellung oder Bedingungen der Lagerung. Dies wird durch den Einsatz verschiedener Indikatoren (z.B. Gas-, Frische- oder Zeit-Temperatur-Indikatoren) und/oder RFID-Transponder („RFID-Tags“) erreicht.

Auf dem Gebiet der Indikatoren sind verschiedene Arten und Ausführungen kommerziell verfügbar. Dabei handelt es sich v.a. um Etiketten mit einem Indikatorfarbstoff, die innen oder außen mittels Klebstoff auf die Verpackung aufgebracht werden. Die Relevanz dieser Indikatoren für den deutschen Markt ist allerdings derzeit gering. Bezogen auf die nächsten 5 Jahre wird keine deutliche Zunahme der Verbreitung dieser Indikatoren erwartet.

Im Bereich RFID-Tags sind aus Kostengründen für Verpackungen vor allem passive RFID-Tags (ohne eigene Energieversorgung) relevant. Der Einsatz von RFID-Tags wurde 2009 in einer Studie zum „Einfluss von RFID-Tags auf die Abfallentsorgung“ (Erdmann 2009) untersucht. Die Hauptergebnisse der Studie konnten im Rahmen der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden. Wichtige Einsatzgebiete mit hohen erwarteten Wachstumsraten sind demnach:

- ▶ Postsendungen (Pakete, Briefe)
- ▶ Textilien

Im Bereich der Primär- und Sekundärverpackungen für Lebensmittel und Arzneimittel bleiben die Stückzahlen voraussichtlich hinter den ursprünglichen Prognosen zurück. Im Lebensmitteleinzelhandel ist der Barcode bei der Kennzeichnung weiterhin vorherrschend. In der Pharmabranche werden Systeme ohne RFID-Technik zur Rückverfolgbarkeit/Fälschungssicherheit erprobt.

Die beschriebenen intelligenten Systeme können mit Packmitteln aus unterschiedlichen Materialien kombiniert werden; dementsprechend sind intelligente Verpackungen auf Papier-, Kunststoff-, Glas- und auch Metallbasis denkbar. Im Bereich der RFID-Tags gibt es darüber hinaus Verwendungsarten, bei denen der Tag im oder am Produkt verbleiben kann, z.B. bei an der Kleidung angebrachten textilen Etiketten.

Auswirkungen aktiver und intelligenter Verpackungen auf die Verwertung von Verpackungsabfällen

Im Fokus der Analyse möglicher Herausforderungen stehen die Verwertungspfade und -prozesse, in denen aktuell eine hochwertige Verwertung von Verpackungen erfolgt. Hochwertige Verwertung bedeutet dabei, eine werkstoffliche Verwertung, deren Produkt materialgleiche Neuware ersetzt. Verpackungen, die in diesem Verständnis hochwertig verwertet werden können, werden als recyclingfähig bezeichnet.

Relevante Gestaltungen aktiver und intelligenter Verpackungen basieren auf Standardverpackungskunststoffen und werden vorrangig über die Sammelsysteme der dualen Systeme beziehungsweise

im Fall pfandpflichtiger Getränkeverpackungen über das Pfandsystem des Handels erfasst. Dementsprechend gehen die aktiven und intelligenten Verpackungen der Sortierung und dem Recycling für Leichtverpackungen (LVP) beziehungsweise den Getränkeverpackungen (PET) zu. Für die zugehörigen Trenn- / Sortierprozesse wird beleuchtet, ob aktuell und künftig durch den Einsatz von aktiven und intelligenten Verpackungen eine Beeinträchtigung erfolgt

- ▶ in Bezug auf die hochwertige Verwertung der aktiven und intelligenten Verpackungen selbst und
- ▶ den Prozesserfolg für bestehende Recyclingströme beispielsweise hinsichtlich Qualität und Ausbeute.

Prinzipiell treten beim Einsatz von aktiven und intelligenten Komponenten die folgenden Gruppen von Verpackungssystemen auf, die zur Beeinträchtigung der hochwertigen Verwertung führen können:

- ▶ Verbunde und Gemische: Multilayer-Verpackungen / Polymermischungen (Blends) / Feststoff-Polymer-Mischungen (Additive im Kunststoff)
- ▶ Feste Einlagen / mit der Verpackung verbundene Komponenten
- ▶ Labels / RFID-Tags

Bei der Verwertung dieser Verpackungssysteme können besonders die nachfolgenden Trenn- und Sortierkriterien beeinflusst werden:

- ▶ Oberfläche (chemische Zusammensetzung), z. B. bei der NIR-Sortierung
- ▶ Dichte, insbesondere bei der Schwimm-Sink-Trennung
- ▶ Unterschiedliche Schmelztemperaturen bei der Extrusion inkl. Schmelzefiltration

Die möglichen Auswirkungen auf die hochwertige Verwertung der derzeit relevanten aktiven und intelligenten Verpackungen sind nachfolgend skizziert.

Multilayer-Verpackungen / Polymermischungen (Blends) / Feststoff-Polymer-Mischungen

Die hochwertige Verwertung von Kunststoffverpackungen ist heute auf das Bereitstellen von Rezyklaten aus Standardverpackungskunststoffen (PE, PP, PET, PS) ausgerichtet. In Verpackungen mit Multilayern, Blends oder mit Additiven versetzten Kunststoffen sind oftmals nicht abtrennbare Spezialkunststoffe oder Nichtkunststoff-Anteile enthalten. Dadurch ist, unabhängig von einer aktiven und intelligenten Funktionalität, eine hochwertige Verwertung dieser Verpackungen häufig nicht gegeben.

In einem Mehrschichtverbund (Multilayer) befinden sich die aktiven Substanzschichten, z. B. Sauerstoff- oder Wasserdampfbarrieren, häufig zwischen anderen Schichten und können mit dem gängigen Oberflächenmesssystem der NIR-Sensorik kaum spezifisch detektiert und damit nicht aus dem Prozess ausgeschleust werden.

Auswirkungen auf das bestehende Recycling können grundsätzlich dann entstehen, wenn sich Verbunde, z. B. aus unterschiedlichen Kunststoffschichten (Multilayer), in den mechanischen Aufbereitungs- und Waschprozessen des Recyclings nicht voneinander trennen lassen. Die enthaltenen aktiven und intelligenten Komponenten können dann in der anschließenden Schwimm-Sink-Trennung oder in der Extrusion nicht von der Zielfraktion abgetrennt werden. Eine Trennung über Schwimm-Sink-Verfahren ist auch dann nicht möglich, wenn die spezifischen Dichten der Zielfraktion und der Störstoffe ähnlich sind.

Multilayer, Blends und Additive können im Recyclingprozess in die Rezyklate verschleppt werden, wenn die Schmelztemperatur dem des originären Verpackungskunststoffes ähnelt bzw. niedriger ist.

So können sie unter anderem eine Beeinträchtigung der Farbe, der mechanischen Eigenschaften sowie der Temperaturbeständigkeit verursachen. Dies kann zu Fehlstellen im Rezyklat führen und diese wiederum zu Beeinträchtigungen bei ihrem Einsatz in der Produktion beispielsweise zum Bruch der Preform bei der Herstellung von PET-Flaschen.

Probleme für den eigentlichen Recycling- bzw. Aufbereitungsprozess können zudem in der Extrusion entstehen, z.B. durch das Verstopfen der Düsen bzw. der Schmelzefilter und dem damit verbundenen größeren Reinigungsaufwand.

Feste Einlagen / mit der Verpackung verbundene Komponenten

Eine hochwertige Verwertung ist sowohl für feste als auch für lose Einlagen nicht gegeben. Lose Einlagen wie Sachets oder Saugeinlagen werden bereits bei der Sortierung abgetrennt und letztendlich energetisch verwertet. Feste Einlagen, die sich bei der Zerkleinerung vom Grundkörper abtrennen, werden i.d.R. ebenfalls über die Reste der mechanischen Aufbereitung ausgetragen.

Feste Einlagen, welche sich bei der Zerkleinerung nicht freilegen lassen, können bei der späteren Schwimm-Sink Trennung bzw. bei der Extrusion zu Qualitäts- und Ausbeuteverlusten der Zielfraktion führen.

Labels / RFID-Tags

Sich ablösende Labels / RFID-Tags werden überwiegend mit den Aufbereitungsresten ausgetragen und anschließend energetisch verwertet. Ein gezieltes Recycling für Labels / RFID-Tags findet somit nicht statt.

Bei einem Eintrag ins Rezyklat können Labels / RFID-Tags unter anderem eine Beeinträchtigung der Farbe, der mechanischen Eigenschaften sowie der Temperaturbeständigkeit verursachen. Kleberreste auf den Verpackungen können zu Verfärbungen der Rezyklate führen oder bei niedrig schmelzenden Klebern zur Gasbildung bei der Extrusion.

Die möglichen Konsequenzen für die jeweils betroffenen Stoffströme, die mit dem Einsatz von aktiven und intelligenten Verpackungen verbunden sind, können sehr unterschiedlich sein. Zudem werden sie erst dann wirksam, wenn der Anteil an aktiven und intelligenten Verpackungen im jeweiligen Materialstrom signifikant steigt. Mögliche Konsequenzen sind zusammenfassend:

- ▶ Höhere Material- bzw. Ausbeuteverluste und tendenziell größere Mengen, die einer hochwertigen Verwertung entzogen werden
- ▶ Mechanische und/oder optische Qualitätsminderung der Rezyklate, Veränderung der Produkteigenschaften (z. B. Verfärbung)
- ▶ Kostensteigerung für das Recycling durch höheren Aufbereitungsaufwand (z. B. durch zusätzliche Sortier- und / oder Waschstufen)

Der gegenwärtige Einsatz von aktiven und intelligenten Verpackungen stellt die derzeitigen Sortier-, Aufbereitungs- und Recyclingprozesse aufgrund ihres überwiegend geringen Marktanteils vor keine nennenswerten Herausforderungen. Generell sind Verunreinigungen der Rezyklate bzw. des Mahlgrundes unerwünscht, insbesondere wenn sich daraus eine Qualitätsverschlechterung ergibt. Viele der aufgeführten Problematiken, wie z. B. Dichteänderungen durch Zusatzstoffe, sind bereits heute unabhängig von aktiven und intelligenten Komponenten von Verpackungen beim Recycling bekannt.

Empfehlungen zur Sicherstellung der hochwertigen Verwertung

Auf Basis einer Analyse der möglichen Auswirkungen aktiver und intelligenter Verpackungen auf die hochwertige Verwertung und der Einbindung von Experten aus der Verpackungs- und Entsorgungsbranche über Interviews und eine Dialogveranstaltung wurden folgende Handlungsempfehlungen identifiziert.

Bewusstseinsbildung, Information und Kommunikation zwischen Entsorgungs- und Verpackungsbranche sowie Bildung und Forschung

Die Gestaltung von Verpackungen unterliegt diversen Anforderungen. Sie sollen vor allem das Produkt bestmöglich schützen, aber auch materialeffizient sein und zum Kauf animieren. Die Recyclingfähigkeit konkurriert häufig mit derartigen Anforderungen oder hat beim Verpackungsdesign von vornherein einen geringen Stellenwert. Oftmals scheitert ein recyclinggerechtes Design jedoch auch am fehlenden oder nicht ausreichenden Wissen der Verpackungsbranche z. B. über vorhandene Recyclingwege, über Schwierigkeiten und Anforderungen im Rahmen der Sortierung und des Recyclings oder insbesondere über Modifikationsmöglichkeiten der Verpackungsgestaltung, die ein verbessertes Recycling ermöglichen.

Die gegenseitige Information und der Wissensaufbau über die Bedarfe und die Erfordernisse der am Lebensweg einer Verpackung Beteiligten sind daher zentrale Hebel, die Recyclingfähigkeit von Verpackungen, die beispielsweise auch durch den Einsatz aktiver und intelligenter Komponenten zunehmend komplexer werden, auch in Zukunft sicherzustellen.

Das Initiieren und das Fördern des Dialogs zwischen den Beteiligten der Wertschöpfungskette und insbesondere zwischen der Entsorgungs- und Verpackungsbranche bilden daher einen wichtigen Handlungsschwerpunkt. Hier gilt es an bereits vorhandene Plattformen anzuknüpfen beziehungsweise eine geeignete Plattform für den Dialog ins Leben zu rufen. Als mögliche Plattformen für einen verstärkten Dialog kommen z. B. in Frage:

- ▶ Web-Plattformen
- ▶ Arbeitsgruppen
- ▶ Dialogveranstaltungen
- ▶ Gemeinsame Projekte

Abstimmen der Verpackungsentwicklung auf die Anforderungen des Recyclings

Grundsätzlich kennen Sortierer und Recycler die Herausforderungen spezifischer Verpackungsgestaltungen für das Recycling und haben diese in entsprechenden Gestaltungs-Guidelines, wie z. B. der „European PET Bottle Platform“ (epbp.org) oder des Netzwerks „Plastics Recyclers Europe“ (recyclclass.eu), formuliert und für die Anwender verfügbar gemacht.

Um in Zukunft die Recyclingfähigkeit von komplexer werdenden Verpackungen aufrecht zu erhalten bzw. diese zu verbessern, sollte daher ein Handlungsschwerpunkt darin liegen, die Gestaltungsgrundsätze, die eine hochwertige Verwertung sicherstellen, bereits im Rahmen der Verpackungsentwicklung zu berücksichtigen.

Für eine erfolgreiche und übergreifende Umsetzung der Maßnahme ist es wichtig, dass die Verpackungshersteller den Kreislaufgedanken in ihre Unternehmensphilosophie übernehmen und Verpackungsentwickler für das Thema gewinnen. Im Unternehmen sollten dafür Verantwortliche benannt werden, bei denen die Recyclingfähigkeit von Verpackungen explizit zu den Aufgabenschwerpunkten zählt.

Das Überdenken der Anforderungen an die Funktionalität der Verpackungen (z. B. an die maximale Haltbarkeit des Produktes) eröffnet ggf. Optionen mit Blick auf den Einsatz recyclingfreundlicher Materialien. Hier bedarf es insbesondere der internen und externen Überzeugungsarbeit (z. B. Entscheider im Unternehmen, Zulieferer bzw. Kunden), um recyclingfreundliche Lösungen zur Anwendung zu bringen.

Versuchsreihen für spezifische Produkte und Materialien zur Beurteilung der tatsächlichen Recyclingfähigkeit und Auswirkungen auf Sekundärprodukte

Über das Formulieren von grundsätzlichen Herausforderungen und prozesstechnischen Lösungen hinaus, ist es aufgrund der geringen Mengenrelevanz schwer, für spezifische Verpackungsgestaltungen die tatsächlich auftretenden Probleme beim Recycling auszuweisen. Um diese besser einschätzen zu können und mögliche Prozessanpassungen zu entwickeln, ist deshalb die Analyse der tatsächlichen Recyclingfähigkeit bzw. Prozessauswirkungen spezifischer aktiver, intelligenter Verpackungen und Materialien über Versuche in realen Sortier-/Recyclinganlagen zielführend.

Für die Versuchsdurchführung ist es wichtig, dass ein Anreiz bzw. die Bereitschaft zur Kooperation zwischen Verpackungsherstellern und Recyclern besteht. Es muss sichergestellt werden, dass für entsprechende Versuchsreihen die erforderlichen Verpackungsmaterialien zur Verfügung gestellt werden. Der Versuch selbst sollte schließlich anhand sich ändernder Parameter (z. B. Anteil der aktiven Verpackungen im Inputstrom) durchgeführt werden. Auf dieser Basis kann schließlich eine belastbare Auswertung und Bewertung der Versuche sowie die Ableitung von möglichen Prozessanpassungen und Empfehlungen für die Gestaltung erfolgen.

Die Ergebnisse aus Versuchsreihen können einen wichtigen Input für den Dialog zwischen den Akteuren entlang der Wertschöpfungskette bilden.

Marketing für die Nutzung recyclingfähiger Verpackungen

Die Anforderungen, die der Kunde und somit insbesondere der Handel an eine Verpackung stellen, bestimmen die Verpackungsentwicklung und -gestaltung maßgeblich. Dabei legen allerdings wenige Handelsunternehmen respektive Konsumenten heute dezidierten Wert auf die gute Recyclingfähigkeit einer Verpackung nach Gebrauch. Größere Bedeutung haben dagegen Aspekte des Produktmarketings und der Funktionalität.

Von Seiten der Recyclingbranche, der Hersteller und Abpacker gilt es, insbesondere den Handel von der Notwendigkeit bzw. den Vorteilen einer verbesserten Recyclingfähigkeit von Verpackungen zu überzeugen, mit dem Ziel, dass dieser Recyclingaspekte in die entsprechenden Anforderungsprofile seiner Verpackungen übernimmt. Auch sollte er darüber informiert werden, welche Wechselwirkungen bestimmte funktionelle Anforderungen (z. B. längere Haltbarkeiten) auf die Recyclingfähigkeit haben können (z. B. Einsatz von Multilayern). Gegebenenfalls sollten dem Handel alternative Gestaltungsmöglichkeiten vorgeschlagen werden. Des Weiteren sollten auch die Verbraucher verstärkt über recyclingfreundliche Verpackungen informieren werden, um indirekt den Handel für die Umsetzung zu motivieren.

Eine Möglichkeit, das Marketing konkret zu verbessern und die Bedeutung der Recyclingfähigkeit einer Verpackung bei der Kaufentscheidung zu erhöhen, wird in der Schaffung eines Siegels oder Zertifikats gesehen, das Aufschluss über die Recyclingfähigkeit einer Verpackung gibt. Hier könnte der Handel anknüpfen und die Vorteile recyclingfähiger Verpackungen für die Vermarktung seiner Produkte gegenüber dem Kunden nutzen.

Recyclingfähigkeit in der Lizenzentgeltbemessung der dualen Systeme berücksichtigen

Es fehlt aktuell ein starker, insbesondere ökonomischer Anreiz für Verpackungshersteller bzw. Inverkehrbringer, die Recyclingfähigkeit von Verpackungen stärker zu berücksichtigen. Mit den Lizenzentgelten der Inverkehrbringer von Verkaufsverpackungen an die Dualen Systeme ist zwar ein Instrument etabliert, das grundsätzlich Einfluss auf die Gestaltung von Verpackungen entfalten kann. Heute erfolgt die Entgeltbemessung allerdings auf Basis eines materialspezifischen Gewichtsentgelts. Die Lizenzentgeltbemessung könnte um den Aspekt der Recyclingfähigkeit ergänzt werden.

Gut recyclingfähige Verpackungen können im Vergleich zu stoffgleichen, aber nicht recyclinggerechten Lösungen leichter, in besserer Qualität der Produkte und dadurch in vielen Fällen kostengünstiger recycelt werden. Die sich so ergebenden ökonomischen Vorteile sollten sich in den Lizenzgebühren der Dualen Systeme widerspiegeln, um so einen Anreiz für die Verpackungsgestaltung bei den Inverkehrbringern zu schaffen.

Ausgangspunkt der Umsetzung bildet das bisherige Modell einer material- und gewichtsspezifischen Ermittlung der Entgelte. Die Lizenzentgeltbemessung obliegt grundsätzlich den dualen Systemen. Die zusätzliche Berücksichtigung der Recyclingfähigkeit erfordert deshalb die Abstimmung mit allen dualen Systemen. Einen Impuls zur Berücksichtigung der Recyclingfähigkeit durch die Dualen Systeme gibt der Entwurf des BMUB zum geplanten Verpackungsgesetz.

Summary

Application of active and intelligent packaging

Active and intelligent packaging systems provide extended functionality compared to traditional packaging. These technologies aim at improved product protection and/or enhanced information for the consumer. In recent years, increasing demands on product quality and safety could be noticed, accompanied by much R&D work on active and intelligent packaging systems.

The present study gives an overview of active and intelligent components used for packaging applications. Packaging systems based on plastics, metal, glass and paper were investigated. Passive barrier systems (e.g. EVOH layers or silicon oxide layers) were not included. The study investigated current and future application areas of active and intelligent systems. Their quantitative relevance for the German marketplace was estimated for the years 2015 and 2020, respectively.

Active packaging systems are systems which either deliberately emit (release) substances onto the packaging contents and/or into the packaging headspace or are systems which deliberately remove (absorb) specific substances. Examples of the former are antimicrobial systems. Examples of the latter include oxygen, moisture, ethylene, and odor absorbers.

Active packaging systems with oxygen and moisture absorbers are of particular relevance for the German marketplace. This is because of the importance of such packaging for many different products. The following active systems are considered to have medium or high relevance for the current and future German marketplace:

- ▶ Bottle closures with sodium sulfite liners for beer
- ▶ Crown caps with sodium sulfite liners for beer
- ▶ Trays with iron-based absorbers for sterilizable ready-to-eat meals
- ▶ PET bottles with PA copolymer and cobalt catalyst for beer and fruit juice
- ▶ Sachets with moisture-absorbing substances for textiles, shoes, and electronic devices
- ▶ Absorbent pads with cellulose fibers and/or super-absorbers for fresh meat, poultry and soft fruit

In addition, polymer-based oxygen absorbers (polyoctenamers) may become important in the future for application in trays and films, for example, for meat.

There are other groups of active systems which are currently not used or little used in the German marketplace; no significant change is expected here over the next 5 years. One reason for this is current EU legislation which prescribes a relatively complex approval procedure for active materials. Indeed, there is much ongoing R&D work on antimicrobial systems, yet packaging materials with these systems are still not in widespread commercial use.

Active systems are mostly used in plastic packaging (see examples above) where they provide important additional functions. These functions include protecting the contents from oxygen or moisture which is not guaranteed by the plastics alone. Active systems are not widely used in glass or metal packaging because these materials have excellent intrinsic barrier properties. Only a few active systems are known for packaging made of paper, paperboard and cardboard and they are not in widespread market use.

Intelligent packaging systems make additional information available for consumers (and/or retailers). This may be information about the state of the packaging or contents or about the production date or storage conditions. This is achieved using various indicators (e.g. gas, freshness, or time-temperature indicators) and/or RFID transponders ("RFID tags").

Various types and designs of indicators are commercially available. The majority are labels containing indicator pigments which are attached to the inside or outside of the packaging by adhesives. Such indicators are currently little used in the German marketplace but this is expected to change considerably over the next 5 years.

For cost reasons mostly passive RFID tags (without their own energy supply) are used for packaging. The use of RFID tags was investigated in 2009 in a study entitled "Impact of RFID tags on waste management" (Erdmann 2009). The main results of that study were confirmed by the present study. Accordingly, key future application areas with high expected growth rates are as follows:

- ▶ Postal items (parcels, letters)
- ▶ Textiles

With regards to primary and secondary packaging for foods and pharmaceuticals it is likely that volumes will be less than previous prognoses. The use of bar codes for identification continues to dominate in food retailing. For pharmaceuticals, systems without RFID technology are being trialed for traceability/protection against counterfeiting.

The mentioned intelligent systems can be combined with packaging made of various materials. Thus intelligent packaging systems based on paper, plastic, glass and metal are conceivable. Regarding the use of RFID tags, there are also applications in which the tag can remain in or on the product, for example textile labels attached to clothing

The effects of active and intelligent packaging on the recovery of packaging wastes

Analysis of possible challenges is focused on the recovery paths and processes in which high-quality recycling of packaging currently takes place. High-quality recycling means recycling, the product of which replaces virgin material of the same type. Packaging which can be recycled with a high quality in this way are called recyclable.

Relevant designs of active and intelligent packaging are based on standard packaging plastics and are primarily collected in Germany via the so-called dual collection systems or rather, in the case of most drinks packaging are subject to mandatory deposit, via the retail and wholesale deposit system. Accordingly, active and intelligent packaging are sorted and recycled in the same systems as for the recycling of lightweight packaging (LVP) or rather drinks packaging (PET). In this study it was examined whether current and future use of active and intelligent packaging has a negative effect on the corresponding separation / sorting processes

- ▶ in relation to high-quality recycling of the active and intelligent packaging themselves and
- ▶ the process success of existing recycling streams, for example, with regard to quality and yield.

Generally, where active and intelligent components are used, the following groups of packaging systems occur, which can have a negative effect on high-quality recycling:

- ▶ composites and mixtures: multilayer packaging / polymer mixtures (blends) / solid polymer mixtures (additives in the plastic),
- ▶ fixed inserts / components bonded with the packaging,
- ▶ labels / RFID tags.

Recovery of these packaging systems can influence the following separation and sort criteria in particular:

- ▶ surface (chemical composition), e.g. in NIR grading,
- ▶ density, especially in float-sink separation,
- ▶ different melting temperatures in extrusion, including melt filtration.

The possible effects on high-quality recycling of currently relevant active and intelligent packaging are outlined in the following.

Multilayer packaging / polymer mixtures (blends) / solid polymer mixtures

High-quality recycling of plastic packaging is at present focused on providing recyclate made from standard packaging plastics (PE, PP, PET, PS). Packaging with multilayers, plastic blends or plastics mixed with additives often contain inseparable special plastics or non-plastic materials. As a result, regardless of any active or intelligent functions they may have, high-quality recycling of these packaging frequently does not exist.

In a multilayer composite, the active substance layers, for example oxygen or moisture barriers, are frequently located between other layers and can hardly be specifically detected by the usual surface measurement systems (NIR-sensor), and thus are not ejected from the process.

Effects on existing recycling processes can basically occur if composites, e.g. made of different plastic layers (multilayers), cannot be separated in the mechanical treatment and washing steps. The active and intelligent components contained in these composites can then not be separated from the target fraction in subsequent float-sink separation or in extrusion. Separation via float-sink methods is also not possible if the specific densities of the target fraction and the interfering substances are similar.

In the recycling process multilayers, blends and additives can be carried into the recyclate if their melting temperature is similar or lower than that of the original packaging plastic. If disturbing constituents such as multilayers, blends and additives get into the recyclate, among other things, they can have negative effects on its colour, mechanical properties and temperature resistance. This can lead to imperfections in the recyclate and these in turn to impairments during their use in production, for example, fracture of the preform for the production of PET bottles.

Problems for the actual recycling or treatment process can also result in extrusion, e.g. due to blocking of the nozzles or the melt filter and the associated additional cleaning work.

Fixed inserts / components bonded with the packaging

There is no high-quality recycling, either of fixed or loose inserts. Loose inserts such as sachets or absorbent inserts are separated during sorting and are ultimately recovered energetically. Fixed inserts, which are separated from the packaging body during crushing, are usually also removed with the residual materials of mechanical treatment.

Fixed inserts which cannot be exposed by crushing, can lead to quality and yield losses of the target fraction in subsequent float-sink separation or in extrusion.

Labels / RFID tags

Labels / RFID tags which detach are mainly removed with the residual materials of the treatment process and are then recovered energetically. Targeted recycling of labels / RFID tags therefore does not take place.

If they are input into the recyclate, among other things, labels / RFID tags can cause negative effects on its colour, mechanical properties and temperature resistance. Adhesive residues on packaging can result in discolouration of recyclates or, in the case of adhesives with low melting points, the formation of gas during extrusion.

The possible consequences for the respective material streams, which are associated with the use of active and intelligent packaging, can be very different. In addition, they do not become effective until the fraction of active and intelligent packaging in the respective material stream increases significantly. Summarising, possible consequences are:

- ▶ Higher material and / or yield losses and a trend to larger quantities, which are excluded from high-quality recycling
- ▶ Mechanical and/or visual quality reduction in the recyclate, changes in the product properties (e.g. discolouration)
- ▶ Recycling cost increase due to higher treatment costs (e.g. due to additional sorting and / or washing stages)

Present day use of active and intelligent packaging does not create any noteworthy challenges for current sorting, treatment and recycling processes due to their predominantly small market share. In general, contamination e.g. of the recyclate is undesirable, especially if they result in a worsening of quality. Many of the problems listed, for example, density changes due to additives, are already a known problem in recycling, regardless of active and intelligent components of packaging.

Recommendations for ensuring high-quality recycling

Based on an analysis of the possible effects of active and intelligent packaging on high-quality recycling and the involvement of experts from the packaging and disposal industry in interviews and in a dialogue event, the following recommendations for action were identified.

Development of awareness, information and communication between the disposal and packaging industry and education and research

The design of packaging is subject to diverse requirements. Among other things, packaging should protect the product in the best possible way, be materially efficient and encourage people to buy. Recyclability frequently competes against such requirements or has a low priority from the outset in the packaging design. However, it often fails due to lack of or inadequate knowledge in the packaging industry, e.g. about existing recycling channels, about difficulties and requirements within the scope of sorting and recycling and especially about packaging design modification options, which enable improved recycling.

Two-way information and the development of knowledge about the demands and needs of participants in the life cycle of packaging are therefore central levers, which ensure the continued recyclability of packaging in the future which, for example, will also become increasingly more complex due to the use of active and intelligent components. It is essential to continue existing platforms or rather a suitable new platform for dialogue must be established. Possible platforms for increased dialogue are, for example:

- ▶ Web platforms
- ▶ Work groups
- ▶ Dialogue events
- ▶ Joint projects

Matching packaging development to recycling requirements

Sorters and recyclers are basically aware of the challenges posed by specific packaging designs for recycling and have described these in corresponding design guidelines, such as the "European PET Bottle Platform" (epbp.org) or the "Plastics Recyclers Europe" network (recyclclass.eu), and have made them available to users.

For successful and across-the-board implementation of action it is important for the packaging manufacturers to adopt the recycling idea in their corporate philosophy and to win over packaging developers to the topic. In the company responsible persons should be named whose explicit focal tasks include the recyclability of packaging.

Reassessing the functionality requirements of packaging (e.g. maximum shelf life of the product) may open up options with regard to the use of more recycling-friendly materials. In particular, this requires internal and external persuading (e.g. of decision makers in the company, suppliers and customers), in order to increase the use of recycling-friendly solutions.

Test series for specific products and materials to evaluate actual recyclability and effects on secondary products

Beyond the drafting of basic challenges and process solutions, the low quantity relevance makes it difficult to point out the problems which actually occur during recycling of specific packaging designs. In order to be able to assess these challenges better and to develop possible process adjustments, it is therefore constructive to analyse the actual recyclability or process effects of specific active or intelligent packaging and materials through tests in real sorting and recycling plants.

For implementation of these tests it is important that an incentive or the willingness to cooperation between packaging manufacturers and recyclers exists. It must be ensured that the required packaging materials are made available for appropriate test series. The test itself should be performed solely on the basis of changing parameters (e.g. fraction of active packaging in the input stream). On this basis reliable evaluation and assessment of the tests can be carried out and possible process adjustments and design recommendations can be deduced.

Marketing for the use of recyclable packaging

The packaging requirements set by customers and thus, in particular, the trade, determine the packaging development and design significantly. However, few commercial enterprises or rather consumers nowadays attach specific importance to the ease of recyclability of packaging after use. In contrast, product marketing and functionality aspects are more important.

From the view of the recycling industry, manufacturers and packers, it is the retail and wholesale trade in particular which needs to be convinced of the need or advantages of the recyclability of packaging, with the objective that it in turn adopts recycling aspects in the corresponding requirements profiles for its packaging. It should also be informed of the interactions which certain functional requirements (e.g. longer shelf lives) can have on recyclability (e.g. the use of multilayers). If necessary, alternative design options should be suggested to commerce. Furthermore, consumers should also be provided with more information about recycling-friendly packaging, so that they can in turn indirectly motivate commerce to implement solutions.

One possibility for improving marketing specifically and for increasing the importance of the recyclability of packaging in the purchase decision is considered to be the creation of a seal or certificate,

which provides information about the recyclability of packaging. Commerce could pick up on this and use the advantages of recyclable packaging for marketing its products to customers.

Taking recyclability into account when calculating the licence fee for dual systems

Packaging manufacturers and distributors currently have no strong respectively economic incentive to pay greater attention to the recyclability of packaging. The licence fees which the distributors of sales packaging have to pay to the dual systems (in Germany) are an instrument which can develop basic influence on the design of packaging. However, at present the fee is calculated on the basis of a material-specific weight charge. Licence fee calculation could be extended to include the aspect of recyclability.

Compared to packaging solutions made of the same material but not suitable for recycling, good recyclable packaging can be recycled more easily, with better quality products and as a result in many cases more cost effectively. The resulting economic advantages should be reflected in the licence fees of the dual systems, in order to create an incentive for the packaging design of distributors.

The starting point for implementation is the model of material and weight-specific determination of the charges applied to date. Licence fee calculation is basically the responsibility of the dual systems. Additional consideration of recyclability therefore requires consultation with and harmonisation of all dual systems. One incentive for consideration of recyclability by the dual systems is provided by the working draft of the planned packaging law.

1 Aufgabenstellung

Die Entwicklung und Verwertung neuartiger Verpackungen stellt sowohl die Entsorgungsbranche als auch die Verpackungshersteller vor neue Herausforderungen. Die Anforderungen an die Funktionalität von Verpackungen steigen zunehmend. Immer mehr neue, oftmals komplex aufgebaute Verpackungslösungen werden entwickelt. Aktive Barriere-Schichten schützen das Produkt, Smart-Labels sollen den Frischzustand von Produkten anzeigen, RFID-Tags dienen als Diebstahlsicherung und Informationsträger. Die Recyclingfähigkeit ist ein zusätzlicher Parameter, dessen Beachtung im Design die Umsetzung anderer Funktionen beeinträchtigen kann. Je nach Priorität der einzelnen Funktionen kann die Recyclingfähigkeit dabei ins Hintertreffen geraten. Aktive Systeme ergänzen heute bereits manche Anwendungen von Kunststoffverpackungen im Lebensmittelbereich, um z.B. den Inhalt vor Sauerstoff oder Feuchtigkeit zu schützen. Intelligente Materialien in Verpackungsanwendungen sind RFID-Tags und Indikatorenlabels, die Veränderungen in der Verpackung anzeigen.

Am Ende der Wertschöpfungskette liegen ganz andere Probleme, Bedürfnisse und Erfordernisse vor. Der komplexe Aufbau und die Materialzusammensetzung dieser aktiven und intelligenten Verpackungen haben Auswirkungen auf ihre Recyclingfähigkeit. In allen Prozessschritten von der Sortierung und dem Recycling der gebrauchten Verpackungen bis hin zum Einsatz der Sekundärprodukte kann es zu Behandlungs- und Zielkonflikten kommen, die einer hochwertigen Verwertung aktiver und intelligenter Verpackungen entgegenstehen. Entsorgungsunternehmen müssen gegebenenfalls ihre Sortier- und Recycling-Prozesse an veränderte Verpackungen anpassen, um effizient arbeiten und hochwertige Sekundärprodukte erzeugen zu können.

Vor diesem Hintergrund bearbeitete das bifa Umweltinstitut gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung aus Freising diese Untersuchung, um aktuelle und künftige Herausforderungen beim Recycling von aktiven und intelligenten Verpackungen zu analysieren. Die Untersuchung umfasst dabei die Charakterisierung, Clusterung und Prognose des Einsatzes von aktiven und intelligenten Verpackungen. Darauf aufbauend werden die potenziellen Wirkungen und Herausforderungen analysiert, die diese Verpackungen für die Verwertungsprozesse darstellen. Auf dieser Basis werden Empfehlungen zur Sicherstellung der hochwertigen Verwertung mit Blick auf Verpackungsgestaltung und Entsorgungstechnik erarbeitet. Die Recyclingfähigkeit einer Verpackung wird bereits bei ihrer Entwicklung festgelegt. Um deshalb den Austausch zwischen der Verpackungsindustrie, der Recycling-Branche und der Wissenschaft anzuregen, wurden in die Untersuchung Akteure aus diesen Branchen mit eingebunden. Die Einbindung der Akteure fand im Rahmen von Experteninterviews und einer Informations- und Dialogveranstaltung im Umweltbundesamt in Dessau statt. Die Ergebnisse der Interviews sowie der Veranstaltung flossen kontinuierlich in die Analyse der Herausforderungen beim Recycling von aktiven und intelligenten Verpackungen sowie in die Erarbeitung der Handlungsempfehlungen zur Sicherstellung der hochwertigen Verwertung von Verpackungen mit ein.

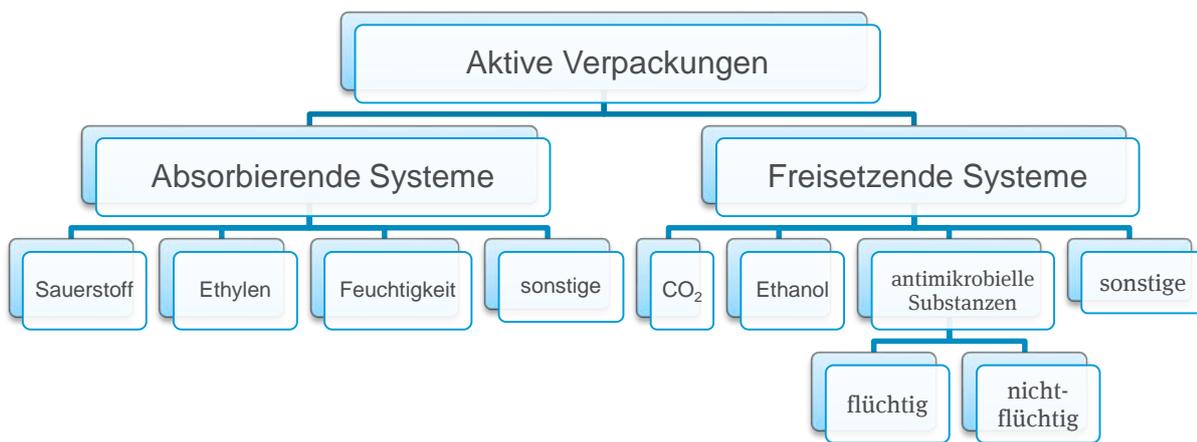
2 Einsatz aktiver und intelligenter Komponenten in Verpackungen

2.1 Definition und Einteilung aktiver und intelligenter Materialien

2.1.1 Aktive Verpackungen

Der englische Begriff „active packaging“ (dt.: „aktive Verpackung“) wurde bereits Ende der 80er Jahre verwendet, um Verpackungen zu bezeichnen, die über Funktionen verfügen, welche über eine passive Schutzfunktion hinausgehen (Rooney 1995, S.4; Labuza 1998, S.1)). In der europäischen Union sind aktive Verpackungen für Lebensmittel in der Verordnung (EG) 450/2009 definiert: Sie haben die Funktion, „die Haltbarkeit eines verpackten Lebensmittels zu verlängern oder dessen Zustand zu erhalten bzw. zu verbessern“. Dazu enthalten sie „gezielt Bestandteile [...], die Stoffe an das verpackte Lebensmittel oder die das Lebensmittel umgebende Umwelt abgeben oder diesen entziehen können“. Gemäß dieser Definition bietet sich eine Unterteilung aktiver Verpackungen nach der Funktionsweise an. Abbildung 2-1 zeigt die Einteilung aktiver Verpackungen in absorbierende (aufnehmende) und freisetzen (abgebende) Systeme. Weiterhin wird üblicherweise nach den absorbierten bzw. freigesetzten Substanzen wie z. B. Sauerstoff oder Ethylen unterschieden.

Abbildung 2-1: Einteilung aktiver Verpackungen



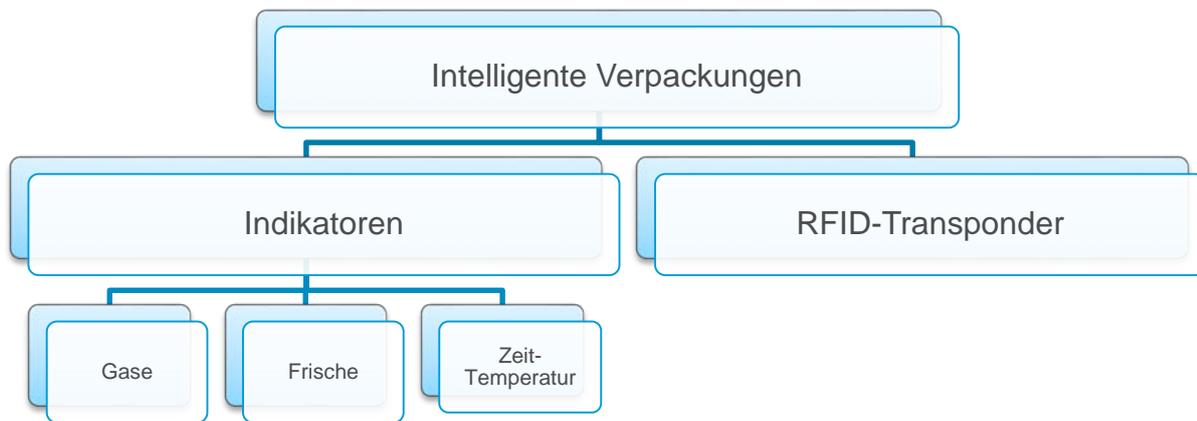
Als „aktive Barriere“ wird ein Absorber bezeichnet, der in einen Packstoff eingearbeitet ist, um das Eindringen von Gasen (z. B. Sauerstoff oder Wasserdampf) von außen ins Innere der Packung zu verhindern. Diese Anwendung absorbierender Substanzen fällt nicht in den Geltungsbereich der Verordnung (EG) 450/2009, stellt aber einen wichtigen Anwendungsbereich absorbierender Systeme dar und wird daher in die vorliegende Studie einbezogen. Ebenso werden antimikrobielle Oberflächenbeschichtungen betrachtet, die nicht dazu bestimmt sind ins Lebensmittel überzugehen, und dementsprechend ebenfalls nicht durch die Verordnung erfasst werden.

Aktive Verpackungen werden eingesetzt, wenn traditionelle, passive Verpackungskonzepte nicht ausreichend sind, um ein Füllgut zu schützen. Entsprechend der unterschiedlichen Anforderungen von Füllgütern wurden daher in den letzten Jahrzehnten vielfältige aktive Verpackungen entwickelt. Entscheidend für die Funktionsfähigkeit eines aktiven Systems sind dessen Reaktionsgeschwindigkeit und Kapazität in Abhängigkeit von den vorherrschenden Umgebungsbedingungen. Die verwendeten aktiven Systeme müssen daher auf die jeweiligen Füllgüter und Packstoffe bzw. Verpackungskonzepte abgestimmt werden. Zur Erfüllung derselben Funktion (z. B. Sauerstoffabsorption) werden dementsprechend völlig unterschiedliche aktive Substanzen (z.B. Eisenpulver, Natriumsulfit, Polyamid-Copolymere) eingesetzt.

2.1.2 Intelligente Verpackungen

Die ersten Beispiele intelligenter Verpackungen wurden bereits in den 1960er Jahren entwickelt. Dabei handelte es sich um Qualitätsindikatoren, die über Zeit-Temperaturverläufe der Lagerung informierten (Brody 2007, S.4). Die Gemeinsamkeit intelligenter Verpackungen besteht darin, dem Verbraucher (und ggf. dem Handel) einen zusätzlichen Nutzen durch Zusatzinformation bereitzustellen. Dabei handelt es sich um Informationen über den Zustand einer Packung bzw. eines Füllguts oder aber auch um Informationen über den Zeitpunkt der Herstellung oder Bedingungen der Lagerung (Brody 2007, S.4; Han 2005, S.139). Intelligente Verpackungen für Lebensmittel werden in der Verordnung (EG) 450/2009 definiert als „Materialien und Gegenstände, mit denen der Zustand eines verpackten Lebensmittels oder die das Lebensmittel umgebende Umwelt überwacht wird“. Zu diesen intelligenten Systemen werden im Allgemeinen Indikatoren sowie RFID-Transponder gezählt. Abbildung 2-2 zeigt eine Einteilung intelligenter Verpackungen. Bei den Indikatoren wird weiterhin unterschieden in Zeit-Temperatur-Indikatoren (engl. Time-temperature indicators, TTI), Gas-Indikatoren und Frischeindikatoren (Han 2005, S.140).

Abbildung 2-2: Einteilung intelligenter Verpackungen



RFID-Transponder bieten die Möglichkeit, Produktinformationen zu hinterlegen und den Weg einer Verpackung zu verfolgen. Daher werden sie im Verpackungsbereich u. a. zum Schutz vor Fälschungen und Diebstahl eingesetzt.

2.2 Status quo: Aktive Verpackungen

In der vorliegenden Studie werden Verpackungen und Verpackungsbestandteile für Produkte wie Lebensmittel, Pharmaka, Kosmetika und technische Produkte auf den Einsatz aktiver und intelligenter Systeme untersucht. Dabei werden die Packstoffe Kunststoff, Metall, Glas und Papier betrachtet. Passive Barriersysteme (z. B. EVOH- oder Siliziumoxidschichten) sind nicht Gegenstand der Untersuchungen.

Die folgenden Abschnitte liefern eine Übersicht aktiver und intelligenter Verpackungssysteme. Neben marktverfügbaren Systemen wurden auch Systeme betrachtet, die sich derzeit noch im Entwicklungs- bzw. Forschungsstadium befinden. Der derzeitige Status der Systeme wird entsprechend mit „Markt“, „Entwicklung“ bzw. „Forschung“ vermerkt. Unterteilt nach der Funktionsweise werden die Systeme zum einen hinsichtlich ihrer stofflichen Zusammensetzung (aktive bzw. intelligente Komponente) charakterisiert. Zum anderen wird beschrieben, in welcher Form die aktive bzw. intelligente Komponente

in die Verpackung integriert ist. Beide Faktoren sind wichtig, um die Recyclierbarkeit der aktiven und intelligenten Verpackungen bewerten zu können.

Außerdem wurden die Einsatzgebiete und die Relevanz der aktiven und intelligenten Systeme ermittelt. Ein Einsatzgebiet bezeichnet dabei eine Produktgruppe, für die das jeweilige System verwendet wird (z. B. „Bier“ oder „Fruchtsaft“). Für jedes Einsatzgebiet wurde eine Einschätzung der mengenmäßigen Relevanz des aktiven oder intelligenten Systems für den deutschen Markt formuliert. Dabei erfolgte eine Einteilung in 3 Kategorien: Als „gering“ wird die mengenmäßige Relevanz von aktiven bzw. intelligenten Systemen bewertet, die bei weniger als 10 % der verkauften Einheiten, bezogen auf ein definiertes Einsatzgebiet, vorzufinden sind. „Mittel“ bezeichnet den Bereich von 10 – 50 %; mit „hoch“ wird die Relevanz eines aktiven bzw. intelligenten Systems bezeichnet, das bei mehr als 50 % der in Deutschland verkauften Einheiten Anwendung findet. Die mengenmäßige Relevanz wurde für die derzeitige und zukünftige Situation in Deutschland bewertet (bezogen auf die Jahre 2015 bzw. 2020). Grundlage für die Einschätzung bildeten die Befragung von Fachleuten, Marktdaten sowie interne Untersuchungsergebnisse des Fraunhofer IVV.

2.2.1 Absorbierende Systeme¹

2.2.1.1 Sauerstoff

Sauerstoffabsorber zählen zu den am weitesten entwickelten Technologien unter den aktiven Verpackungen. Dies erklärt sich durch den qualitätsmindernden Einfluss von Sauerstoff auf zahlreiche Füllgüter. Bei Lebensmitteln können zahlreiche Verderbsreaktionen auf die Gegenwart von Sauerstoff zurückgeführt werden. Dazu gehören u. a. Farbverlust, Ranzigkeit oder Verlust von Nährstoffen. Bier, Fruchtsäfte, Wurst und Nüsse sind Beispiele für besonders sauerstoffempfindliche Lebensmittel (Realini 2014, S. 406; Singh 2011 S.251). Sauerstoffabsorbierende Substanzen erfüllen in Verpackungen zwei unterschiedliche Funktionen:

- ▶ Aufnahme von Sauerstoff aus dem Gasraum (engl. headspace) der Verpackung
- ▶ Verbesserung der Sauerstoffbarriere von Packstoffen („aktive Barriere“)

Tabelle 2-1 liefert eine Übersicht von Anwendungen von Sauerstoffabsorbieren. Sauerstoffabsorber können z. B. in Form von Sachets in Verpackungen eingelegt werden. Dabei handelt es sich um kleine sauerstoffdurchlässige Beutel, die die jeweilige absorbierende Substanz enthalten. Dieses Vorgehen ist jedoch vor allem außerhalb der EU (z. B. in Japan) anzutreffen, da die Verbraucherakzeptanz von Sachets in der EU vergleichsweise gering ist. Zudem können Sachets nicht für flüssige Produkte bzw. Produkte mit hohem Wassergehalt verwendet werden, da sich das Sachetmaterial im Kontakt mit Flüssigkeiten zersetzen kann. Als weiterer Nachteil wird der mögliche versehentliche Verzehr durch Verbraucher beschrieben. Daher werden sauerstoffabsorbierende Substanzen meist direkt in das Packmittel eingearbeitet und liegen dort als Partikel bzw. als Schicht vor. Kommerzielle Bedeutung in Europa haben Sauerstoffabsorber basierend auf oxidierbaren Metallen (z. B. Eisenpulver), Sulfite, sowie Polyamid-Copolymere. Forschungsaktivitäten werden für Systeme wie z. B. Palladium (zusammen mit Wasserstoff) oder Polyphenole beschrieben (Sängerlaub 2011, Pant 2014). Die Kommerzialisierung dieser Systeme ist allerdings noch nicht abzusehen.

¹ Unabhängig vom vorliegenden Sorptionsmechanismus (Absorption, Adsorption, Chemisorption) wird im Folgenden für aktive Systeme, die dem Produkt oder der Produktumgebung Substanzen entziehen, dem allgemeinen Sprachgebrauch entsprechend der Begriff „Absorber“ verwendet.

Tabelle 2-1: Anwendungen Sauerstoffabsorber

Anwendung	Beschreibung	Status	Einsatz-gebiet	Relevanz (zukünftig)
Flaschenverschluss	Verschluss aus PP oder HDPE, Natriumsulfit enthalten in Liner aus z. B. PE	Markt	Bier Fruchtsaft	mittel (mittel)
Kronkorken	Kronkorken aus Metall; Natriumsulfit enthalten in Linern aus z. B. PE	Markt	Bier, Fruchtsaft	mittel (mittel)
(Menü-) Schalen	Eisenpulver (ggf. kombiniert mit Salzen), eingearbeitet in Mehrschichtverbund aus Kunststoff	Markt	Fertigmenüs, Streichwurst	mittel (mittel)
PET-Flaschen	PA-Copolymer mit Kobalt-Salzen als Katalysator, enthalten in der (Monolayer)-Flasche als Blend mit PET oder als Schicht in Mehrschichtverbund PET//PA+Kobalt//PET	Markt	Bier Fruchtsaft	hoch (hoch)
Sachets	Sachets aus Tyvek® (PE-Vlies) mit Eisenpulver (ggf. kombiniert mit Salzen wie NaCl und CaCl ₂)	Markt	Nüsse	gering (gering)
Schalen oder Folien*	Polymerbasierter Absorber (Polyoctenamer) eingesetzt als Blend mit PE, enthalten in einem Mehrschichtverbund aus Kunststoff	Entwicklung	z. B. Schalen für Wurstwaren	nicht relevant (mittel)

* Beispiele für zukünftige Anwendungsmöglichkeiten

2.2.1.2 Feuchte

Der Schutz vor Feuchtigkeit, sei es in Form von Wasserdampf oder von flüssigem Wasser, spielt eine entscheidende Rolle bei der Auslegung von Verpackungen. Feuchteabsorber werden in verschiedenen Funktionen eingesetzt:

- ▶ Reduzierung der relativen Feuchtigkeit im Gasraum (engl. headspace) der Verpackung
- ▶ Verbesserung der Wasserdampfbarriere von Verbundfolien („aktive Barriere“)
- ▶ Aufnahme von Flüssigkeit, die aus dem Füllgut austritt

Entsprechend dieser Funktionen sind verschiedene Verpackungssysteme zur Feuchteabsorption erhältlich. **Sachets oder Kapseln**, die den jeweiligen Absorber in Pulverform enthalten, können der Verpackung beigelegt werden. Dies ist eine weit verbreitete Vorgehensweise im non-food Bereich, da dort die Sachets, im Gegensatz zum Lebensmittelbereich eher akzeptiert werden und auch die Gefahr des versehentlichen Verzehr gering ist. Abhängig vom Füllgut werden die Sachets in verschiedenen Größen und Aufnahmekapazitäten angeboten. Als aktive Substanzen werden hauptsächlich Silicagel, aber auch Molekularsieb oder Bentonit oder Mischungen dieser Substanzen verwendet.

Tabelle 2-2: Anwendungen Feuchteabsorber

Anwendung	Beschreibung	Status	Einsatz-ge-biet	Relevanz (zukünftig)
Sachets	Sachets aus Papier oder Tyvek® mit Silicagel, Molekularsieb oder Bentonit; lose eingelegt in Verpackung	Markt	u. a. Textilien, Schuhe, elektronische Geräte Trockenfleisch	hoch (hoch); Lebensmittel: gering (gering)
Saugeinlagen	Saugeinlagen lose eingelegt oder fixiert in Verpackungsschalen; Mehrschichtige Saugeinlage: Kunststoff // Zellstoff und/oder Superabsorber // Kunststoff	Markt	Frischfleisch Geflügel Beerenfrüchte	hoch (hoch)
Absorberschalen	Superabsorber (Polyacrylate) integriert in separate Kammern von Kunststoff-Schalen	Markt	Frischfleisch Geflügel	gering (gering)
Blisterverpackungen	CaO dispergiert in PE-Schicht in Mehrschichtverbund	Markt	Tabletten	keine Information verfügbar
Tablettenröhrchen („Vials“)	Molekularsieb, dispergiert in innerer Schicht der mehrschichtigen Wandungen	Markt	z. B. Tabletten, Brausetabletten	keine Information verfügbar
Verschluss für Tablettenröhrchen	Silicagel, Molekularsieb oder Bentonit enthalten in Kammer im Verschluss	Markt	z. B. Tabletten, Brausetabletten	hoch (hoch)
Kapseln	Silicagel, Molekularsieb oder Bentonit enthalten in Kapseln (z. B. HDPE), Kapseln eingelegt in Verpackung	Markt	Verpackungen von pharmazeutischen Produkten	keine Information verfügbar

Eine weit verbreitete Anwendung stellen **Saugeinlagen** dar. Sie nehmen austretende Flüssigkeit aus dem Füllgut auf, um so das Erscheinungsbild der Packung zu verbessern. Sie können entweder lose in die Verpackung eingelegt werden oder auch durch einen Klebepunkt fixiert werden. Die aktive Komponente dieser Saugeinlagen besteht aus Zellstoff und/oder sogenanntem Superabsorber (teilvernetzte Polyacrylate). Diese Substanzen ermöglichen, dass Saugeinlagen ein Vielfaches des Eigengewichts an Flüssigkeit aufnehmen (Realini 2014, S. 407; Singh 2011 S.253).

2.2.1.3 Weitere Systeme

Die in Tabelle 2-3 zusammengestellten Systeme sind weitere Beispiele für Absorbersysteme in Verpackungen; es handelt sich allerdings um Nischenprodukte.

CO₂-Absorber können verwendet werden, um CO₂ aus der Verpackung zu entfernen und so ein Aufblähen zu vermeiden. Dies ist für verpackte Produkte relevant, die während der Lagerung CO₂ freisetzen. Beispiele sind gerösteter Kaffee und fermentierte Produkte wie z. B. Kimchi (Brody 2001).

Ethylenabsorber werden eingesetzt, um das Reifegas Ethylen aus der Umgebung empfindlicher Früchte zu entfernen und so vorzeitige Reifung und Verderb zu verhindern. Diese Absorber basieren z. B. auf einer Reaktion von Ethylen mit Kaliumpermanganat oder auf einer Aufnahme von Ethylen durch Zeolithe, die durch Metalle der Palladium-Gruppe katalysiert werden kann. Bislang werden diese Systeme in Deutschland in Primärverpackungen noch nicht eingesetzt. Es sind allerdings Beispiele aus Großbritannien und den USA bekannt, dass ethylenabsorbierende Sachets in Verpackungen von Erdbeeren und Birnen eingesetzt werden (REID Database 2016, Vermeiren 1999).

Geruchsabsorber basieren ebenfalls auf Zeoliten und sind kommerziell verfügbar. Der Einsatz für Lebensmittelverpackungen ist aufgrund möglicher Täuschung der Verbraucher nicht zugelassen. Die Absorption störender Gerüche aus Pharmaverpackungen oder aus Verpackungen für technische Produkte ist jedoch möglich (Brody 2001).

Tabelle 2-3: Anwendungen weiterer Absorber

Anwendung	Beschreibung	Status	Einsatzgebiet	Relevanz (zukünftig)
CO ₂ -Absorber Sachets	Ca(OH) ₂ - oder NaOH-Pulver in Sachets aus Tyvek®	Markt	Kaffee, fermentierte Produkte (Kimchi)	gering (gering)
Ethylen-Absorber Sachets	Kaliumpermanganatpulver und/oder Zeolithpulver, ggf. kombiniert mit Palladium in Sachets aus Tyvek®	Markt	Früchte	gering (gering)
Ethylen-Absorber Folien	Zeolithpulver, eingearbeitet in Kunststoff-folien, z. B. aus PE	Markt	Früchte	gering (gering)
Geruchsabsorber Sachets	Zeolithpulver in Sachets	Markt	Pharmazeutika, technische Produkte	gering (gering)

2.2.2 Freisetzende Systeme

2.2.2.1 Antimikrobielle Substanzen

Mikrobieller Verderb ist für viele Lebensmittel relevant, da sie aufgrund ihrer Zusammensetzung und ihres hohen Wassergehalts ideale Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen (Bakterien, Hefen, Schimmelpilze) bieten. Entsprechend hoch ist die Forschungsaktivität in diesem Bereich; eine Vielzahl von Studien zu antimikrobiellen Systemen und möglichen Verpackungsanwendungen ist publiziert (Suppakul 2003; Han 2003). Prinzipiell gibt es verschiedene Ansätze für den Einsatz antimikrobieller Substanzen in Verpackungen:

- ▶ **Kontaktsysteme:** Antimikrobielle Wirkung an der Kontaktfläche zwischen Lebensmittel und Verpackung. Die Substanzen werden dazu als Lack auf die Folie aufgebracht

- ▶ **Gasphasensysteme:** Flüchtige antimikrobielle Substanzen werden in die Gasphase freigesetzt und gehen dann ins Lebensmittel über. Die Freisetzung kann dabei aus beigelegten Sachets oder direkt aus dem Packstoff erfolgen.

Aus Asien und den USA sind kommerzielle Umsetzungen von Verpackungen mit antimikrobiellen Substanzen bekannt, u. a. Folien, die Allylisothiocyanat freisetzen. Dies ist eine natürliche Substanz, die aus Senfölextrakt gewonnen wird. Ein Beispiel für antimikrobielle Oberflächen sind Beschichtungen, die Silberionen enthalten (Realini 2014, S.406).

Aktive und intelligente Materialien in Lebensmittelverpackungen sind in der EU durch die Verordnung (EG) 450/2009 geregelt. In vielen Fällen ist vor dem Inverkehrbringen ein Zulassungsprozess inklusive einer Sicherheitsbewertung durch die European Food Safety Authority (EFSA) notwendig. Außerdem müssen antimikrobielle Substanzen, die dazu bestimmt sind ins Lebensmittel überzugehen, als Lebensmittelzusatzstoff gemäß VO (EG) 1333/2008 zugelassen sein. Ist dies nicht der Fall, muss auch diese Zulassung beantragt werden.

Diese rechtlichen Hürden führen dazu, dass antimikrobielle Verpackungssysteme in EU Ländern noch keine kommerzielle Relevanz haben und auch die zukünftige Entwicklung nur langsam voranschreiten wird. Eine Abschätzung der zukünftigen Relevanz wäre zu vage, weswegen hier darauf verzichtet wird.

Tabelle 2-4: Anwendungen antimikrobieller Systeme

Anwendung	Beschreibung	Status	Einsatzgebiet	Relevanz
Schrumpffolien	Konservierungsstoffe, als Lack auf Folien aufgetragen	Forschung	potenziell: Käse, Wurst, Fleisch	nicht relevant
Verbundfolien	verkapseltes Allylisothiocyanat, enthalten in Lebensmittelkontaktschicht	Markt	potenziell: Obst, Gemüse	nicht relevant
Servicepapiere, Karton	Silberionenhaltige Beschichtung	Markt	Fleisch	nicht relevant

2.2.2.2 Weitere Systeme

Tabelle 2-5 liefert eine Übersicht weiterer freisetzender Systeme. Diese sind zwar kommerziell verfügbar und in wissenschaftlichen Studien beschrieben, haben aber noch keine Relevanz für den deutschen Markt.

Tabelle 2-5: Anwendungen weiterer freisetzender Systeme

Anwendung	Beschreibung	Status	Einsatzgebiet	Relevanz
Ethylen-Release	Zeolithpulver mit Ethylen in Sachets	Markt	Kartoffeln Zwiebeln	gering (gering)

Anwendung	Beschreibung	Status	Einsatzgebiet	Relevanz
CO ₂ -Release	Zitronensäure und Na ₂ CO ₃ eingebettet in Absorberpads, CO ₂ Freisetzung bei Kontakt mit Wasser	Markt	Frischfleisch, Fisch	gering (gering)

2.3 Status Quo: Intelligente Verpackungen

2.3.1 Indikatoren

Indikatoren sind entweder außen oder innen an der Verpackung angebracht und zeigen Veränderungen der Bedingungen (Gaszusammensetzung, Temperatur) in einer Lebensmittelpackung oder in deren Umgebung an. Die Indikatoren können potentiell auch mit RFID-Tags (Vgl. Kapitel 2.3.2), die die Übertragung der Sensorinformationen ermöglichen, kombiniert sein. Tabelle 2-6 listet einige Beispiele für Indikatoren mit verschiedenen Funktionen auf.

Gasindikatoren dienen zur Überwachung der Gaszusammensetzung in Verpackungen und zeigen z. B. erhöhte Sauerstoffkonzentrationen durch Leckagen an. **Frische- oder Verderbsindikatoren** reagieren mit Farbumschlag auf erhöhte Konzentrationen flüchtiger Substanzen (z. B. Amine), die durch Verderbsreaktionen entstehen. **Zeit-Temperatur-Indikatoren** zeigen die Temperaturhistorie eines Produktes durch Farbveränderungen an. Gemeinsam ist diesen Indikatoren, dass sie in Form von selbstklebenden Etiketten erhältlich sind. Neben intensiven Forschungsaktivitäten wurden in den letzten Jahren auch einige kommerzielle Systeme vorgestellt. Allerdings haben diese noch keine Verbreitung im Handel gefunden.

Tabelle 2-6: Anwendungen von Indikatoren

Anwendung	Beschreibung	Status	Einsatzgebiet	Relevanz
O ₂ -Indikatoren	z. B. Farbumschlag Redoxfarbstoffe oder Methylenblau, Einsatz als Etikett	Markt	Schutzgasverpackungen	gering (gering)
Frische- bzw. Verderbsindikatoren	z. B. Farbumschlag durch Reaktion mit Silber oder Kupfer Einsatz als Etikett	Forschung Entwicklung (Markt)	z. B. Geflügel, Fleisch,	gering (gering)
Zeit-Temperatur-Indikatoren	z. B. Farbumschlag durch Enzymreaktion Polymerreaktion photochemische Reaktion mikrobiologische Reaktion Einsatz als Etikett	Markt	gekühlte Produkte	gering (gering)

2.3.2 RFID-Tags

Radio frequency identification (RFID) bezeichnet eine Transponder-Technologie zur Funk-basierten Identifizierung von Objekten. Dabei besteht das Transponder-System aus zwei Komponenten, dem Transponder („Tag“) und dem Lesegerät. Abhängig von der Energieversorgung wird in aktive Tags

mit und passive Tags ohne eigene Energieversorgung unterschieden. Für den Einsatz in Verpackungen sind aus Kostengründen vor allem passive RFID-Tags relevant.

Bezogen auf Verpackungsanwendungen bieten RFID-Tags die Möglichkeit zur eindeutigen Produktidentifikation. Bei Lebensmittelverpackungen wird der Ersatz des Barcodesystems durch RFID Label diskutiert. Bisläng setzt der Einzelhandel auf Barcodes zur Produktidentifizierung. Bei weiter sinkenden Preisen wäre der flächendeckende Einsatz von RFID Labeln zukünftig denkbar. Bei höherpreisigen Produkten werden RFID-Label als Fälschungsschutz eingesetzt. Dazu sind vielfältige kommerzielle Systeme verfügbar.

Die stoffliche Zusammensetzung von RFID Tags wird einer Studie zum „Einfluss von RFID-Tags auf die Abfallentsorgung“ (Erdmann 2009) beschrieben. Außerdem geht diese Studie auch auf RFID-Anwendungen in anderen Bereichen als der Verpackung ein. Die Hauptergebnisse dieser Studie können im Hinblick auf Verpackungsanwendungen durch die vorliegende Untersuchung bestätigt werden.

- ▶ Einsatzgebiete: Pakete und Briefe sind ein wichtiges Einsatzgebiet mit hohen Steigerungsraten bis 2022. Auch für die Textilbranche wird eine hohe Steigerung erwartet, da sich mehrere große Textilhandelsketten in den letzten Jahren für die Einführung von RFID-Tags entschieden haben. Im Bereich der Primär- und Sekundärverpackungen für Lebensmittel und Arzneimittel bleiben die Stückzahlen voraussichtlich hinter den Prognosen zurück. Im Lebensmitteleinzelhandel ist der Barcode weiterhin vorherrschend bei der Kennzeichnung; in der Pharmabranche werden Systeme ohne RFID-Technik zur Rückverfolgbarkeit/Fälschungssicherheit erprobt (z.B. Data Matrix Code, securPharm 2013 – eine spezielle Codierung zur Überprüfung der Echtheit und Identifizierung von Einzelverpackungen).
- ▶ RFID-Tags werden meist als Etikett („Label“) auf ein Produkt oder eine Verpackung aufgebracht. Dabei kann das Etikett aus unterschiedlichsten Materialien bestehen, z. B. Papier, Kunststoff, Textilien. Daneben kann der RFID-Transponder auch direkt in das Packmittel integriert werden. Ein Beispiel sind Kanister für Spezialchemikalien.
- ▶ RFID-Tags können mittlerweile mit Sensorsystemen kombiniert werden, die auf Veränderungen in einer Packung reagieren (z. B. Gaskonzentration oder Feuchte). Derartige Systeme waren bereits zeitweise marktverfügbar, fanden aber noch keine Anwendung.
- ▶ Die beschriebenen intelligenten Systeme können mit Packmitteln aus unterschiedlichen Materialien kombiniert werden; dementsprechend sind intelligente Verpackungen auf Papier-, Kunststoff-, Glas- und auch Metallbasis denkbar. Im Bereich der RFID-Tags gibt es darüber hinaus Verwendungsarten, bei denen der Tag im oder am Produkt verbleiben kann, z. B. bei an der Kleidung angebrachten textilen Etiketten. Dadurch kann sich ggf. auch ändern, ob und über welchen Weg der Tag in die Entsorgungssysteme gelangt.

3 Effekte aktiver und intelligenter Verpackungen auf die werkstoffliche Verwertung

3.1 Vorgehensweise und Betrachtungsgrenzen

Im Folgenden werden die Effekte und die damit verbundenen, möglichen Herausforderungen beim Recycling intelligenter und aktiver Verpackungen aufgezeigt. Auf Grundlage der Ergebnisse des Status Quo aktiver und intelligenter Verpackungssysteme hinsichtlich Gestaltung, Einsatzgebieten beziehungsweise Relevanz (Kapitel 2) sowie einer Analyse der stoffstromspezifischen Prozessketten zur Entsorgung dieser Verpackungen werden die Implikationen, Hindernisse und Zielkonflikte identifiziert. Die Erkenntnisse wurden im Rahmen einer Expertenbefragung² validiert und spezifiziert. Auf diese Weise wurden das Wissen und die praktischen Erfahrungen der Experten aus der Entsorgungswirtschaft in die Bearbeitung eingebunden.

Im Fokus der Analyse standen die zu erwartenden Wirkungen in allen Teilschritten der Entsorgungsbzw. Verwertungskette: Sammlung / Erfassung, Sortierung bzw. Vorbehandlung, Aufbereitung und die Verarbeitung zu Sekundärprodukten.

Ausgangspunkt für die Analyse der Effekte auf die werkstoffliche Verwertung waren die derzeit bekannten aktiven Verpackungen, deren aktuelle bzw. künftige mengenmäßige Relevanz mit mittel oder hoch bewertet wurde (siehe Kapitel 2.2). Zusätzlich wurden aus dem Bereich der intelligenten Verpackungen die Indikatoren, welche vorwiegend in Form von Labels (z. B. als Verderbsindikator) und RFID-Tags³ zum Einsatz kommen, in der Analyse berücksichtigt (siehe Kapitel 2.3). In der folgenden Tabelle sind die entsprechenden Verpackungen bzw. Verpackungssysteme und die erwartete Integration der aktiven bzw. intelligenten Bestandteile in die Verpackungsgestaltung zusammengefasst.

² Übersicht der befragten Experten siehe Tabelle 6-2.

³ Bezüglich der Verwendung von RFID –Tags wurde ein Screening der Effekte auf die Verwertung durchgeführt, um zu ermitteln, ob Aktualisierungsbedarf für die Ergebnisse aus der Studie „Einfluss von RFID-Tags auf die Abfallentsorgung“ (Erdmann, Lorenz et al 2009) besteht.

Tabelle 3-1: Technische Beschreibung der für die Analyse berücksichtigten aktiven und intelligenten Verpackungen

Verpackungssystem	Erwartete Gestaltung zur Integration aktiver / intelligenter Funktionalität
PET-Flasche mit aktiver O ₂ -Barriere	PA-Copolymer + Co-Salz als Katalysator, enthalten in der Flasche als Blend mit PET oder als Schicht in Mehrschichtverbund PET//PA und Kobalt//PET
Kronkorken mit aktiver O ₂ -Barriere befestigt auf Glasflaschen	Na ₂ SO ₃ integriert in Liner aus Polyolefin (z. B. PE) eingepresst in Kronkorken
Kunststoff-Flaschenverschluss mit aktiver O ₂ -Barriere, verschraubt mit PET-Flaschen	Verschluss (PP, HDPE), Na ₂ SO ₃ integriert in Liner aus Polyolefin, eingepresst, eingelegt oder eingesiegelt
Menüschalen mit aktiver O ₂ -Barriere	Eisenpulver, kombiniert mit NaCl eingearbeitet in Mehrschichtverbund PP//EVOH//PP//Absorber+PP//PP
Deckelfolien oder Schalen mit aktiver O ₂ -Barriere auf Polymerbasis	Polymerbasierter Absorber (Polyoctenamer) eingesetzt als Blend mit PE, enthalten in Mehrschichtverbund (z.B. PA 40 µm//PE 85 % (w/w) + Polyoctenamer 15 % (w/w), 70 µm)//PE 25 µm
Saugeinlagen als Feuchte- oder Flüssigkeits-Absorber in Schalen	Saugeinlagen eingelegt, fixiert in Schale; mehrschichtige Saugeinlage: PE//Zellstoff bzw. (Super-)Absorber//PE
Sachets mit Absorber (Feuchte, O ₂ , Ethylen)	Sachets aus Papier oder Tyvek [®] (HDPE-Vlies) mit Silicagel, Molekularsieb oder Bentonit, Fe-, KMnO ₄ -Pulver
Trockenmittel in Verschluss, Wandung oder als Beilage im Behälter zur Absorption von Wasserdampf	Silicagel, Molekularsieb oder Bentonit enthalten in Kammer im Verschluss bzw. Molekularsieb, dispergiert in innerer Schicht der mehrschichtigen Wandung
Label, Aufdrucke mit Indikatoren (z. B. Zeit-Temperatur-Anzeige)	Farbstoffe (z. B. Methylenblau) Druck auf Mehrschichtlabel, Verpackungsaufdruck
RFID-Tags	Integriert, verklebt (Deckschicht: Papier, PP, Antenne: Cu, Al, Ag, Substrat: PET)

Im Fokus der Analyse standen die Verwertungspfade und -prozesse, in denen aktuell eine hochwertige Verwertung von Verpackungen erfolgt. Hochwertige Verwertung bedeutet dabei, eine werkstoffliche Verwertung, deren Produkt materialgleiche Neuware ersetzt. Verpackungen, die in diesem Verständnis hochwertig verwertet werden können, werden als recyclingfähig bezeichnet.⁴

⁴ Eine vergleichbare Konkretisierung der Recyclingfähigkeit findet sich ausführlich in (Institut cyclos-HTP 2015, S.2). „Recycling bedeutet [...] die stoffliche Verwertung ohne Veränderung der Molekülstruktur zu Recyclaten, Regeneraten, Blends oder Legierungen, die in Standardanwendungen jeweils korrespondierendes Neumaterial ersetzen können. [...] Das herkömmliche Verständnis eines closed-loop-recyclings, bei dem rezyklierte Werkstoffe nicht nur korrespondierendes Neumaterial ersetzen, sondern darüber hinaus erneut in der primären Anwendung zum Einsatz kommen können, wird hier durch eine zweite Ebene ergänzt, innerhalb derer ggf. geschlossene Recyclingkreisläufe auf einem qualitativ

Nicht analysiert wurde die Entsorgung von Fehlwürfen aktiver und intelligenter Verpackungen beispielsweise über den Restabfall sowie aktiver und intelligenter Verpackungen, die mit den Sortierresten abgetrennt werden.

Durch den Einsatz von aktiven und intelligenten Verpackungen oder Verpackungsbestandteilen ist es möglich, dass aus der hochwertigen Kunststoffsorten-Verwertung Verpackungen vermehrt in die Mischkunststoff-Verwertung abgesteuert werden. Eine weitergehende, explizite Analyse möglicher Auswirkungen aktiver und intelligenter Verpackungen auf die Prozessschritte der Mischkunststoff-Verwertung war nicht Gegenstand dieser Analyse.

Innerhalb der Betrachtungsgrenzen liegen die Auswirkungen auf die jeweiligen Prozessschritte bis zur Bereitstellung eines marktgängigen Sekundärproduktes. Dabei kann es sich je nach Prozesstiefe im Bereich des Kunststoffrecyclings um ein Mahlgut, ein Regranulat oder ein Regenerat, welches beim Umschmelzen mit weiteren Zusatzstoffen versehen wird, handeln. Im Fall der hochwertigen Verwertung von Kunststoffverpackungen werden somit diese Prozessschritte, inklusive des in der Regel erforderlichen Umschmelzens in die Betrachtung mit einbezogen.

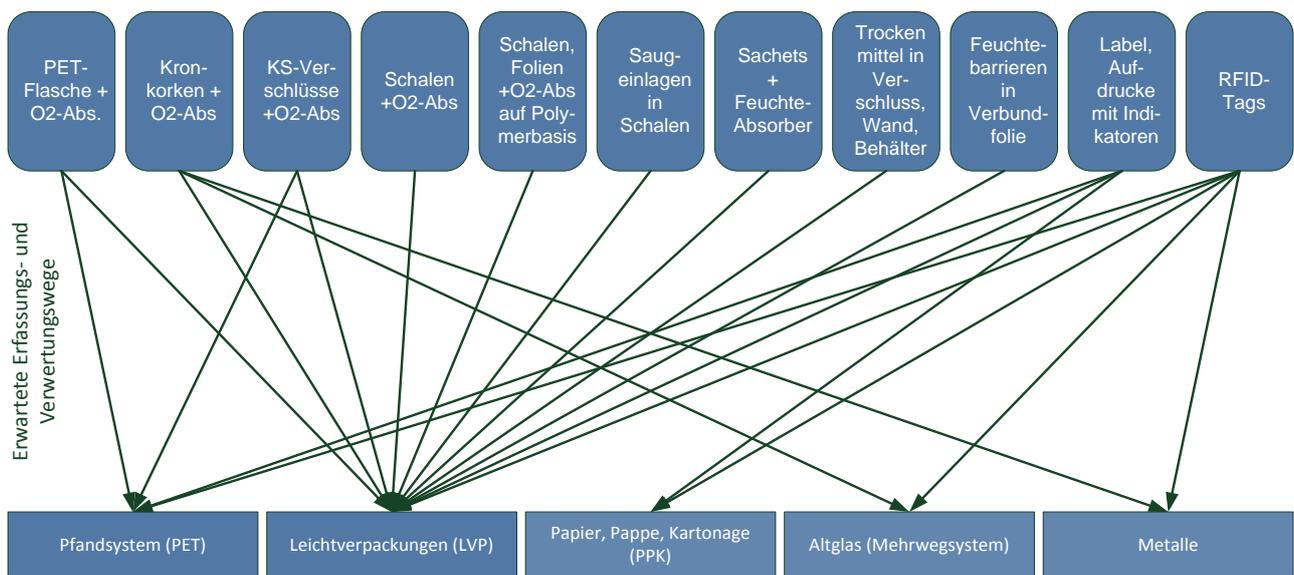
3.2 Verwertungswege und -prozesse

Die relevanten Anwendungen von aktiven und intelligenten Substanzen und Materialien finden vorrangig Anwendung als Ergänzung von Verkaufsverpackungen wie Folien, Flaschen oder Schalen. In der Regel werden diese aus Standardverpackungskunststoffen (PE, PP, PET, PS) hergestellt. Aktive und intelligente Systeme können grundsätzlich aber auch mit Packmitteln aus weiteren Materialien kombiniert werden. Dementsprechend sind Verpackungen auf Papier-, Glas- und auch Metallbasis ebenfalls grundsätzlich denkbar.

In der folgenden Abbildung sind die für die betrachteten aktiven und intelligenten Verpackungen erwarteten Verwertungswege exemplarisch dargestellt.

niedrigeren Niveau realisiert werden können. Als Beispiel hierfür kann die Produktion polyolefinischer Regranulate genannt werden. [...] Dagegen werden Verfahren der stofflichen Verwertung in diesem Bewertungskatalog nicht als Recycling bewertet, in denen zwar Sekundärrohstoffe in Erzeugnisse eingebunden werden, diese aber nicht das in der entsprechenden Anwendung typische Neumaterial ersetzen.“

Abbildung 3-1: Erwartete Verwertungswege relevanter Anwendungen aktiver und intelligenter Verpackungen



Die analysierten Anwendungen von aktiven und intelligenten Verpackungen werden vorrangig über die Sammelsysteme der dualen Systeme oder das Pfandsystem des Handels erfasst. Dabei sind Auswirkungen auf die eigentliche Sammlung oder Erfassung im Hol- oder Bringsystem nicht zu erwarten. Dementsprechend gehen die aktiven und intelligenten Verpackungen den Verwertungswegen für Leichtverpackungen (LVP) und dem Pfandsystem zu. Im Rahmen dieser Sammelfractionen wurden die Sortier- und weiteren Verwertungswege speziell für Kunststoffverpackungen betrachtet.

Bei der Erfassung und Verwertung von PET-Flaschen in Verbindung mit aktiven Substanzen (Sauerstoff-Absorber) sind sowohl die Verwertung im Rahmen des Pfandsystems des Handels (Getränkesegment Bier) als auch die LVP-Verwertung durch die dualen Systeme (Getränkesegment Fruchtsäfte) von Bedeutung.

Die Verwertungswege für Verpackungen aus Papier, Pappe, Kartonage (PPK) und Altglas sind nur dann relevant, wenn auf diesen Verpackungsarten RFID-Tags oder Labels angebracht sind. Im Vergleich zur Verwertung von Kunststoffverpackungen sind diese Verwertungswege von geringerer Relevanz, da abgesehen von RFID-Tags keine weiteren intelligenten oder aktiven Anwendungen am Markt vertreten sind.

Da Auswirkungen aktiver und intelligenter Verpackungen auf die Erfassung der Verpackungsabfälle im Hol- oder Bringsysteme nicht abzuleiten sind, bezieht sich die Analyse der Effekte im Folgenden auf die der Erfassung nachgelagerten Sortier- und Recyclingprozesse.

3.2.1 Werkstoffliche Verwertung von gemischt erfassten Kunststoffverpackungen

Die Erfassung von LVP im Siedlungsabfallbereich erfolgt überwiegend im Holsystem. An die Erfassung der Verpackungsabfälle schließt der Sortierprozess an. Das Sortierergebnis wird beeinflusst von vertraglichen und gesetzlichen Vorgaben sowie von Einflussgrößen, die der technischen Ausführung der Sortieranlage sowie deren Betriebsweise zuzuordnen sind. Die wesentlichen Schritte einer Sortierung des LVP-Sammelgemisches nach Stand der Technik sind:

- ▶ Aufschluss der Gebinde (beispielsweise gelber Sack) zur mechanischen Freilegung der Verpackungsabfälle

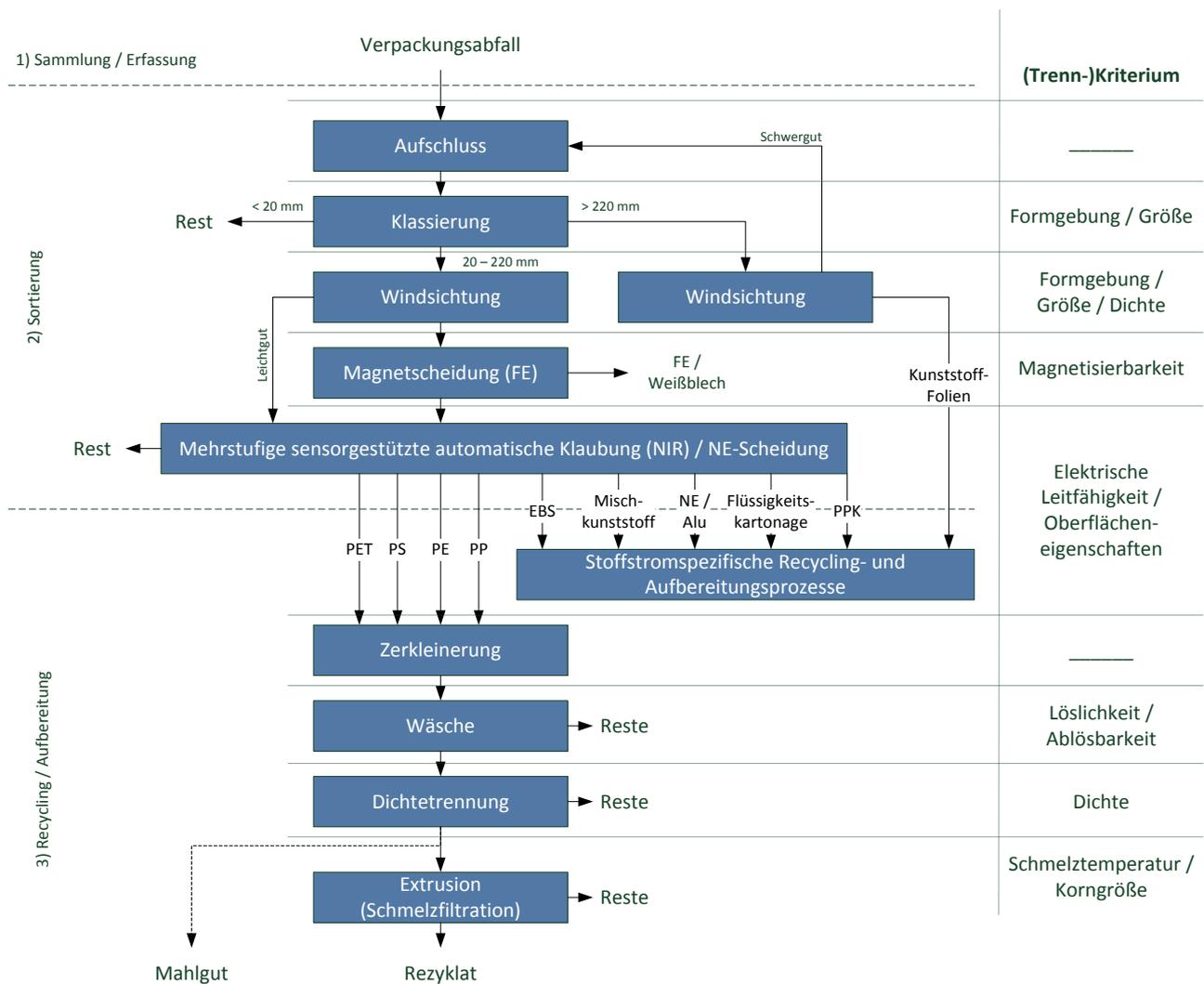
- ▶ Siebklassierung als vorbereitende Maßnahme für die größenabhängigen Sortierstufen
- ▶ Windsichtung der Größenfraktionen zur Abtrennung von Kunststofffolien und -hohlkörpern
- ▶ Magnetscheidung zur Gewinnung von Weißblech und Eisenmetallen
- ▶ Wirbelstromscheidung zur Gewinnung von Nichteisenmetallen
- ▶ Mehrfachsortierung der Kunststoffe mittels Nah-Infrarot-Sensorik (NIR). In der Regel werden vier Fraktionen an Kunststoffsorten (PET, PS, PE und PP) und eine Mischkunststofffraktion erzeugt.

Als Qualitätssicherungsmaßnahme für den Wiedereinsatz in Sekundärprodukten sind weitere stoffspezifische Recycling- bzw. Aufbereitungsprozesse erforderlich. Die Reinheit und die Zusammensetzung der Verpackungsmaterialien aus dem vorangegangenen Sortierprozess sind maßgeblich für die weiteren Aufbereitungsverfahren. Charakteristische Verwertungsschritte von Kunststoffen aus dem Verpackungsbereich sind:

- ▶ Zerkleinerung der jeweiligen Kunststofffraktion
- ▶ Mehrstufige Waschprozesse
- ▶ Dichtentrennschritt
- ▶ Trocknung
- ▶ Extrusion inklusive Schmelzefiltration zur Herstellung von Regranulaten

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht schematisch die Abläufe in der Prozesskette Sortierung und Recycling, sowie die je nach Prozessschritt angewendeten Trennkriterien.

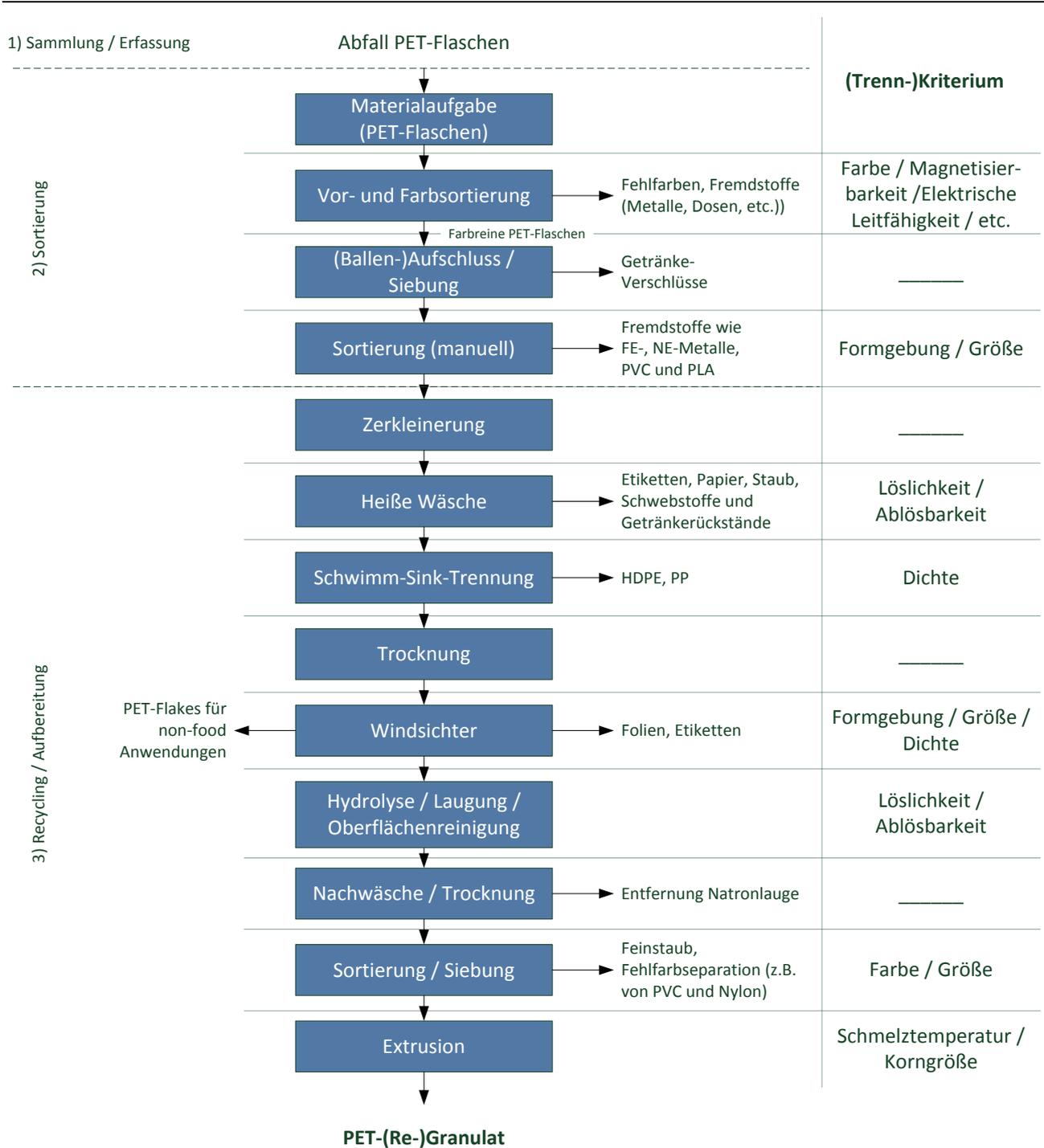
Abbildung 3-2: Prozessschema LVP Sortierung und Recycling inklusive relevanter Trennkriterien



3.2.2 Werkstoffliche Verwertung von PET-Flaschen aus dem Pfandsystem

Ein prinzipieller Recyclingprozess für PET-Flaschen aus dem Pfandsystem ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 3-3: Prozessschema PET-Flaschen Recycling inklusive der relevanten Trennkriterien (URRC-Verfahren).



Die gesammelten PET-Flaschen gelangen zu Beginn des Recyclingprozesses in eine Vorsortierung und werden bei Bedarf zu transportfähigen Pressballen verarbeitet. Nach diesem Sortierschritt erfolgt beim eigentlichen Aufbereitungsbetrieb zunächst ein Aufschluss dieser Ballen, sowie eine Siebung und manuelle Entfernung grober Bestandteile, z.B. von losen Getränkeverschlüssen. Die PET-Flaschen werden anschließend in einer Mühle zu sogenannten „Flakes“ zerkleinert und mit heißem Wasser und unter Zusatz von Lauge von Etiketten, Getränke rückständen und weiteren Schmutzpartikeln gesäubert.

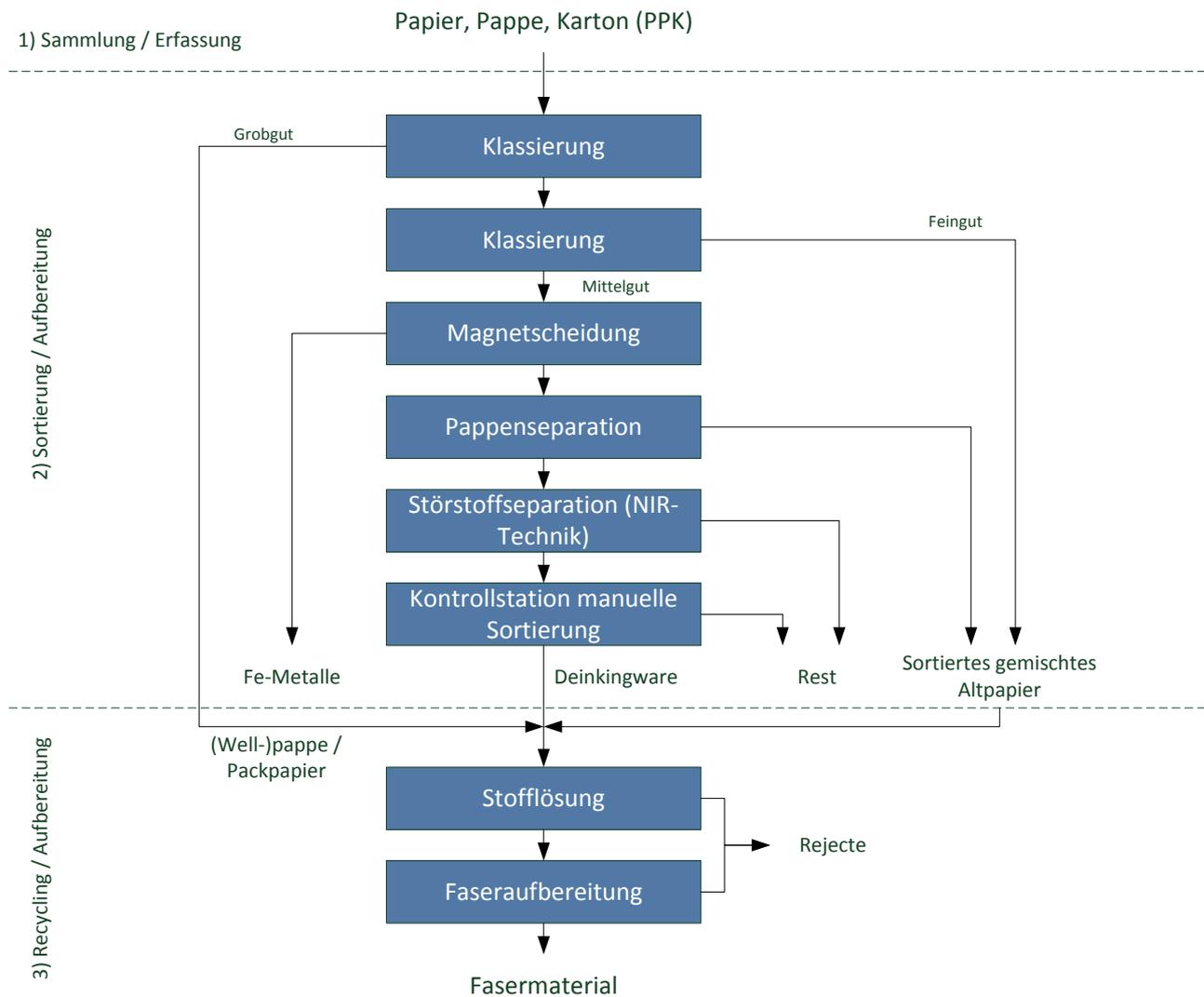
Verschlüsse, welche überwiegend aus PE bzw. PP bestehen, schwimmen bei der folgenden Schwimm-Sink Trennung auf und werden abgeschöpft. Die PET-Flakes verbleiben auf Grund ihrer höheren Dichte in der Sinkfraktion, werden getrocknet und in einem Windsichter von weiteren Störstoffen befreit. In der anschließenden Hydrolyse wird die Oberfläche der Flakes durch die Zugabe von Natronlauge benetzt und vollständig gereinigt. Nach dem Abwaschen der Lauge wird das PET getrocknet und verbleibende Fremdstoffe abgetrennt. In der abschließenden Extrusion werden die PET-Anteile bei einer Temperatur von 250°C in Regranulate bzw. bei der PET-Flaschenproduktion in eine „Preform“ umgeformt. Am Ende weist das Rezyklat bzw. die Preform i.d.R. eine Qualität auf, welche es ermöglicht, das Material wieder in Verpackungen mit Kontakt zu Lebensmitteln zu verwenden.

Bei dem hier dargestellten Verfahren handelt es sich um das sog. URRC (United Resource Recovery Corporation) Verfahren, welches vorzugsweise im Lebensmittelbereich eingesetzt wird (Veolia, 2016). Neben dem URRC-Verfahren existieren je nach Anwendungsgebiet und geforderter Reinheit des Rezyklates noch weitere Verfahren. Beispielsweise ist das Vacurema-Verfahren dem URRC-Verfahren sehr ähnlich, es findet jedoch keine Hydrolyse statt, sondern direkt eine Extrusion. Aus diesem Grund ist der Wiedereinsatz des zurückgewonnenen PET-Rezyklates nicht in der Lebensmittelindustrie möglich (Erdmann 2009).

3.2.3 Werkstoffliche Verwertung von Papier, Pappe, Karton (PPK)

Die wesentlichen Ausgangsmaterialien für das Recycling von PPK sind vor allem grafische Papiere, Wellpappe, Verpackungspapier beziehungsweise gemischte Altpapierfraktionen. Die bei der Verwertung eingesetzten Prozessschritte (siehe Abbildung 3-4) dienen dem Ziel, das Altpapier bzw. die Fasern von Verunreinigungen und Störstoffen zu separieren.

Abbildung 3-4: Prozessschema PPK-Recycling (Darstellung nach Institut cyclos-HTP 2015)



Die wesentlichen Schritte bei einer Altpapier-Sortierung und Aufbereitung sind nach Stand der Technik:

- ▶ Klassierung bzw. Abtrennung von Grob- und Feingut mittels Ballistikseparatoren
- ▶ Magnetscheidung – Separierung von Eisenmetallen aus dem Stoffstrom
- ▶ Mechanische Pappenseparation beispielsweise mithilfe eines Rotorsiebes
- ▶ Sortierung des Stoffstromes über Nah-Infrarot-Scansysteme (NIR)
- ▶ Manuelle händische Nachsortierung
- ▶ Anschließende stoffstromspezifische Verwertungsprozesse (stoffliche Verwertung im Papierwerk sowie energetische Verwertung von Rejecten / Spuckstoffen)

3.2.4 Werkstoffliche Verwertung von Altglasverpackungen

Glasverpackungen gelangen nach Gebrauch und der Sammlung, überwiegend im Bringsystem, in Aufbereitungsanlagen. Im Aufbereitungsprozess wird das Altglas zunächst einer Grob- und einer Farbsortierung unterzogen. Dann wird es in einem Prallbrecher in kleinere Scherben zerkleinert, um

für die nachgeschalteten Sortieraggregate einen optimalen und homogenen Abfallstrom zu gewährleisten. Mit Hilfe von Waschprozessen werden Etiketten sowie Beschichtungsreste abgelöst. Durch die damit verbundene Reinigung können die Glasanteile im späteren Prozessverlauf besser von den Keramik, Stein, Porzellan (KSP) Bestandteilen unterschieden werden. Für die Abtrennung von FE-Anteilen wird ein Magnetabscheider, für die Abtrennung der NE-Metalle ein Wirbelstromscheider eingesetzt. Mittels Luftabsaugung werden alle zuvor abgetrennten leichten und flächenhaften Verunreinigungen (beispielsweise Kunststoffe) erfasst. Keramik, Steine und Porzellan (KSP) sowie etwaige Fehlfarben werden über optoelektronische Systeme selektiert. In einer Nachsortierung werden die Scherben gesiebt und klassiert, um letzte Fehlfarben oder Fremdstoffe zu entfernen. Am Ende des Prozesses steht ein schmelzofenfertiges Glasgranulat zur Verfügung, das qualitativ den ursprünglichen Rohstoffen für die Behälterglasherstellung entspricht (bvse, 2016). In der anschließenden Verwertung in der Glashütte wird das aufbereitete Altglas mit den natürlichen Rohstoffen Sand, Soda, Kalk und Zuschlagstoffen vermischt erhitzt und geschmolzen.

3.2.5 Werkstoffliche Verwertung von metallischen Verpackungen

Bei metallischen Verpackungen sind im Zusammenhang mit aktiven und intelligenten Verpackungen lediglich Weißbleche und Aluminiumfraktionen zu nennen. Weißblech gelangt vorzugsweise über Getränkedosen oder Konserven in den Abfallstrom. Aluminium findet sich häufig in Folien und Verbundverpackungen wieder.

Die metallischen Verpackungen werden mittels FE- oder NE-Scheider zuverlässig aus dem jeweiligen Stoffstrom aussortiert. Anschließend erfolgt zumeist eine Verdichtung zu Ballen, die dann einer stoffspezifischen Verwertung zugeführt werden. Bei der Verwertung von Weißblech-Verpackungen werden die Metalle über einen Elektroofen oder im Sauerstoffkonverter behandelt. Organische Verunreinigungen werden dabei durch das Einblasen von Sauerstoff oxidiert. Andere anorganische Elemente gehen entweder als Legierungsbestandteile in das Metall mit ein oder werden über die Schlacke abgeführt.

Für die Aluminiumfraktionen werden in Abhängigkeit von Größe, Oxidgehalt und Art und Menge der organischen Kontamination der Verpackungen unterschiedliche Verfahren, Schmelzöfen und Flussmittel eingesetzt. Während nicht verschmutzte Fraktionen häufig in einem Induktionsofen verwertet werden, kann man bei Verpackungsabfällen aus Aluminium davon ausgehen, dass diese im Salzbadverfahren im Trommelofen eingeschmolzen werden.

3.3 Herausforderungen bei der Verwertung von Verpackungsabfällen

Im Hinblick auf die grundsätzliche Gestaltungscharakteristik der relevanten aktiven und intelligenten Verpackungen wurden folgende drei Kategorien für die weitere Analyse identifiziert:

- ▶ Verbunde und Gemische (Multilayer-Verpackungen, Kunststoff-Blends, Kunststoffe mit der Zugabe von Additiven)
- ▶ Ein- und Beilagen von Verpackungen
- ▶ Label / Tag

Die Zuordnung der derzeit relevanten Verpackungssysteme zu diesen Kategorien ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 3-2: Kategorisierung relevanter aktiver und intelligenter Verpackungen

Verpackungssystem sowie Funktion	Integration aktive/ intelligente Komponente in die Verpackungen					Label / Tag
	Verbunde und Gemische			Ein- und Beilagen		
	Multilayer (Mehrschichtsysteme)	Blend (mind. 2 Polymere)	Additiv (Polymer + Feststoff)	lose	fest	
PET-Flasche mit aktiver O ₂ -Barriere (Monolayer-Flasche)	X	X				
Deckelfolien oder Schalen mit aktiver O ₂ -Barriere auf Polymerbasis	X	X				
Menüschalen mit aktiver O ₂ -Barriere	X		X			
Trockenmittel in Verschluss, Wandung oder als Beilage im Behälter zur Absorption von Wasserdampf			X	X	X	
Saugeinlagen als Feuchte- oder Flüssigkeits-Absorber in Schalen				X	X	
Sachets mit Absorber (Feuchte, O ₂ , Ethylen)				X		
Kronkorken mit aktiver O ₂ -Barriere, befestigt auf Glasflaschen					X	
Kunststoff-Flaschenverschlüsse mit aktiver O ₂ -Barriere, verschraubt mit PET-Flaschen					X	
Label, Aufdrucke mit Indikatoren (z. B. Zeit-Temperatur-Anzeige)						X
RFID-Tags						X

Die Verpackungssysteme mit den aktiven und intelligenten Funktionen können, z.B. abhängig vom konkreten Anwendungsgebiet, unterschiedlich aufgebaut sein, weshalb eine abschließende Kategorisierung nicht möglich ist. Für die Integration von aktiven und intelligenten Komponenten in die Verpackungen bestehen somit mehrere Möglichkeiten. In jeder dieser Kategorien existieren bei Sortierung und Recycling spezifische Herausforderungen, die vom Aufbau und der Gestaltung des jeweiligen aktiven oder intelligenten Verpackungssystems abhängig sind und Einfluss auf den Sortier- bzw. Aufbereitungsprozess haben können.

Im Folgenden werden die möglichen Effekte und Herausforderungen von aktiven und intelligenten Verpackungen auf die Verwertungsprozesse unterteilt nach den genannten Kategorien spezifiziert.

Für jede Kategorie werden dazu die erwarteten Sortier- und Recycling- bzw. Aufbereitungsprozessschritte beschrieben, innerhalb derer Effekte auf den Prozess zu erwarten sind. Die Auswirkungen und möglichen Problemstellungen werden jeweils nach folgendem Schema diskutiert:

- ▶ Auswirkungen auf den Sortierprozess
- ▶ Auswirkungen auf den Recycling- / Aufbereitungsprozess
- ▶ Auswirkungen auf das Recycling des jeweiligen Stoffstromes (z. B. hinsichtlich Produktqualität und Ausbeute)
- ▶ Auswirkungen auf das Recycling der einzelnen Verpackung

Dabei sei angemerkt, dass diese Effekte nicht nur spezifisch für aktive und intelligente Systeme gelten, sondern auch beim Recycling von konventionellen Verpackungen mit ähnlichen Charakteristika in der Gestaltung auftreten können. Die Analyse fokussiert sich auf die Recyclingwege für Kunststoffverpackungen. Bei Verpackungsabfällen aus anderen Packstoffen wie z. B. Glas, Papier oder Metall haben aktive und intelligente Komponenten bislang nur eine untergeordnete bzw. keine Relevanz.

3.3.1 Multilayer-Verpackungen, Kunststoff-Blends und/oder Zugabe von Additiven

Beim Sortieren und dem anschließenden Recycling von Verpackungskunststoffen, die mit Multilayern, Blends und Additiven kombiniert sind, können vielfältige Herausforderungen auftreten.

Sortierprozess von Multilayern / Blends / Kunststoffen mit Additiven

Im Bereich der Sortierprozesse selbst sind kaum spezifische Effekte durch aktive und intelligente Verpackungen auf die bisherigen Prozessschritte und Trennabläufe zu erwarten. Auch eine Detektion solcher Verpackungen ist derzeit nicht sicher möglich. Die Gründe dafür liegen in folgenden Eigenschaften dieser Verpackungen:

- ▶ Durch den Einsatz von aktiven und intelligenten Komponenten wird kein Einfluss auf die Formgebung (Größe und Gestalt) einer Verpackung erwartet, weshalb die Prozessschritte Klassierung und Windsichtung nicht beeinträchtigt werden.
- ▶ Kleinere Dichteveränderungen im Sortiergut, z. B. durch die Zugabe von Additiven, haben auf trockenmechanische Dichtentrennverfahren, wie die Windsichtung, ebenfalls keinen Einfluss.
- ▶ In einem Mehrschichtverbund (Multilayer) befinden sich die aktiven Substanzschichten, z. B. Sauerstoff- oder Wasserdampfbarrieren, häufig zwischen anderen Schichten und können mit dem Oberflächenmesssystem der NIR-Sensorik kaum detektiert werden. Zwar dringen diese Infrarotstrahlen minimal in die Oberfläche der Verpackungen ein, eine gezielte und verlässliche Abtrennung, z. B. als Störstoff wäre damit jedoch kaum zu erreichen.
- ▶ Bei Blends und Additiven können die aktiven und intelligenten Bestandteile unter Umständen durch NIR Identifikation als potenzielle Störstoffe erkannt werden. Voraussetzungen dafür ist aber zum Einen, dass es sich um einen Monolayer handelt und zum Anderen, dass die eingesetzten Zusatzstoffe in ausreichender Konzentration vorliegen. Im Fall der PET-Flaschen mit PA-Copolymer liegen diese Anteile bei maximal 8 Gew.-%. Die Frage, welche Konzentrationen zur Detektion im NIR-Bereich erforderlich wären, um eine Unterscheidung zum reinen PET-Monomaterial sicher zu ermöglichen, lässt sich nicht pauschal beantworten. Nach Rücksprache mit einem Hersteller von NIR-basierter Sortiertechnik können neben der Stoffkonzentration auch die Farbe und die Gestalt der jeweiligen Verpackung für die Identifikation von Bedeutung sein. Die NIR Erkennung kann nach aktuellem Stand der Technik deshalb z.B. auch mit einer Farb- und Formerkennung kombiniert werden, um so eine bessere Identifikation zu ermöglichen. Auch der Einsatz von Markiersubstanzen könnte angedacht werden.

Diese Aspekte haben zur Folge, dass ein Eintrag von Störstoffen aus aktiven und intelligenten Verpackungen in die nachgelagerten Recycling- und Aufbereitungsprozesse nicht ohne hohen technischen Aufwand zu verhindern sein wird.

Aufbereitungs- bzw. Recyclingprozess von Multilayern / Blends / Kunststoffen mit Additiven

Herausforderungen können grundsätzlich entstehen, wenn sich Verbunde in den mechanischen Aufbereitungs- und Waschprozessen nicht voneinander trennen lassen. Die enthaltenen aktiven und intelligenten Komponenten können dann in der anschließenden Dichtesortierung durch die Schwimm-Sink-Trennung oder in der Extrusion nicht von der Zielfraktion bzw. vom Rezyklat abgetrennt werden. Aktive und intelligente Komponenten können aber z.B. auch eine Änderung der physikalischen Eigenschaften (Dichte) bewirken, was möglicherweise zur unerwünschten Ausschleusung von Kunststoffsorten aus der Recyclingfraktion führt.

Mögliche Beispiele für Herausforderungen, die beim Recycling bzw. Aufbereiten von Multilayern / Blends / Kunststoffe mit Additiven auftreten, sind:

- ▶ Die Veränderung der Dichte des originären Verpackungsmaterials, z. B. durch die Verwendung von Blends und Additiven, kann einen Eintrag von Verunreinigungen in die Zielfraktion oder eine Ausschleusung von eigentlich erwünschten Kunststoffsorten aus dieser zur Folge haben. Hiervon ist insbesondere das Verfahren der Schwimm-Sink-Trennung betroffen, welches, mithilfe von Wasser, Kunststoffsorten mit einer Dichte größer bzw. kleiner 1 g/cm^3 voneinander trennt.
- ▶ Im Rahmen der Schwimm-Sink-Trennung ist auch die Klassierung von Materialien mit sehr ähnlichen Dichten problematisch. Dies ist beispielsweise bei PET-Verpackungen, auf welchen RFID-Tags mit PET-Substrat aufgebracht wurden, der Fall (Erdmann 2009, S. 58).
- ▶ Ein weiteres Beispiel sind PE/PP-Schalen, die mit Eisenpulver als aktivem Sauerstoffabsorber kombiniert sind. Deren Dichte ist durch die zusätzlichen Komponenten u.U. größer 1 g/cm^3 (ca. $1,01$ bis $1,22 \text{ g/cm}^3$)⁵. Sie werden infolgedessen in der Schwimm-Sink-Trennung als Schwergut abgetrennt. Zum einen verringert sich somit die Ausbeute an PE/PP. Zum anderen unterstützt die Ausschleusung solcher Kunststoffverbunde die weitere Prozessführung, da Eisenpartikel im späteren Extrusionsprozess beispielsweise zur Verstopfung des Filters führen können.
- ▶ Unterschiedliche Schmelztemperaturen der Verbundkomponenten können bei der Extrusion zu Problemen führen. Höher schmelzende Bestandteile können mittels Schmelzefiltration zwar als Rückstand abgetrennt und ausgetragen werden, erhöhen allerdings den Reinigungsaufwand für das Filtersieb. Niedrig schmelzende Bestandteile gelangen hingegen ins Rezyklat und/oder zersetzen sich vorab, was zu einer Verschlechterung der mechanischen und optischen Eigenschaften des Rezyklates führt. Bei annähernd gleich schmelzenden Komponenten wie z. B. im Falle des PET-Flaschenrecyclings bei Verbunden aus PET, mit einer Schmelztemperatur von ca. $250 \text{ }^\circ\text{C}$, und PA-Copolymer, mit einer Schmelztemperatur von ca. $240 \text{ }^\circ\text{C}$, findet ebenfalls ein Eintrag in das Rezyklat statt. Dadurch verändern sich die Produkteigenschaften. So können beim Recycling von PET-Flaschen, die mit einem Polyamid-Copolymer vermischt sind, nur noch eingefärbte Flaschen hergestellt und in den Produktkreislauf zurückgeführt werden.

⁵ Ableitung auf Basis Ausführungsbeispiel siehe Tabelle 6-1: Menüschalen mit aktiver O_2 -Barriere, ca. 1-4 % Eisen pro Schale (20g)

Auswirkungen auf die Recyclingfähigkeit der aktiven, intelligenten Verpackung und das bestehende Recycling korrespondierender Stoffströme

Unabhängig von aktiven und intelligenten Verpackungen ist heute eine hochwertige Verwertung von Multilayern, Blends sowie mit Additiven versetzten Verpackungen häufig nicht gegeben. Aufgrund der oftmals nicht eindeutigen Bestimmbarkeit des Zielkunststoffes bei der NIR-Identifikation können z. B. bei Multilayern Oberflächenschichten angesprochen werden, die nur in einem geringen Massenanteil im Vergleich zum Hauptmaterial der Verpackung vorliegen. Somit ist eine Separierung in die gewünschte Fraktion bereits bei der Sortierung ggf. nicht möglich. Sollten diese Verpackungen allerdings in die Fraktion der Mischkunststoffe gelangen, so käme es zu Verlusten bei der Verwertung der Zielfraktionen (z. B. PE / PP / PET).

Sollten solche Verbund- oder auf Blends basierende Verpackungen aber in den Pfad für die hochwertige Verwertung der Zielfraktion eingebracht werden (z. B. PET-Flaschen mit einem aktiven Polyamid-Copolymer in den Pfad für die hochwertige Verwertung der PET-Fraktion), beeinflussen sie den Recyclingprozess und das Produkt der Verwertung.

Dies ist bspw. der Fall, wenn sich das spezifische Gewicht durch die Zuschlagsstoffe nicht deutlich verändert bzw. die Schmelztemperaturen nahe denen des originären Verpackungskunststoffs oder darunter liegen. Eine Abtrennung der aktiven und intelligenten Komponenten im Rahmen der weiteren Recyclingschritte ist kaum mehr möglich.

Probleme für den eigentlichen Aufbereitungs- bzw. Recyclingprozess können z. B. in der Extrusion durch das Verstopfen der Düsen bzw. der Schmelzefilter und den damit verbundenen häufigeren Reinigungsaufwand entstehen.

Im Endprodukt können sie so unter anderem eine Beeinträchtigung der Farbe, der mechanischen Eigenschaften sowie der Temperaturbeständigkeit verursachen. Dies kann zu Fehlstellen im Rezyklat führen und diese wiederum beispielsweise zum Bruch der Preform bei der Herstellung von PET-Flaschen. So kann anstatt der angestrebten hochwertigen Verwertung u. U. nur eine Verwertung mit geringeren mechanischen und optischen Anforderungen an das Rezyklat möglich sein.

Prinzipiell lässt sich festhalten, dass der Eintrag von aktiven und intelligenten Materialien in ein Rezyklat dessen Qualität verschlechtern kann. Dies wiederum schränkt die Vermarktungsfähigkeit der Rezyklate bzw. des Mahlgutes ein, da die mechanischen und optischen Eigenschaften schlechter und damit die potenziellen Anwendungsmöglichkeiten geringer werden.

3.3.2 Ein- und Beilagen in Verpackungen

Sortierprozess von Ein- und Beilagen in Verpackungen

Im Rahmen der LVP-Sortierung ist davon auszugehen, dass lose Einlagen (z. B. Sachets) problemlos abgetrennt werden können. Je nach Aufbau, Größe und Zerstörungsgrad der losen Einlage wird diese entweder bei der Siebung oder in der Windsichtung als Störstoff ausgetragen. Für diese als Siebreste abgetrennten Anteile findet anschließend keine werkstoffliche Verwertung statt.

Fest mit der Verpackung verbundene Beilagen werden hingegen bei der Sortierung in der Regel nicht abgetrennt. Somit gelangen diese festen aktiven Bestandteile in den jeweiligen verpackungsspezifischen Aufbereitungs- bzw. Recyclingprozess.

Einen Sonderfall in diesem Bereich stellen die festen Einlagen in Kronkorken dar. Diese Kronkorken (inkl. Liner) sind aus dem LVP-Sammelgemisch mittels Überbandmagnet leicht abtrennbar und werden über die Weißblechfraktion erfasst. Die oftmals fest in die Kronkorken eingearbeiteten Einlagen sind ohne Auswirkung auf den Prozessserfolg für das bestehende Metallrecycling (siehe Kapitel

3.2.5), da sich diese aktiven Komponenten im Schmelzprozess der Stahlherstellung zersetzen oder sie über die Schlacke abgetrennt werden.

Aufbereitungs- bzw. Recyclingprozess von Ein- und Beilagen in Verpackungen

Falls die Einlagen, z. B. Feuchteabsorber in Kunststoffschalen, in der Verpackung fixiert oder verklebt sind, können diese in die jeweils sortierten Kunststofffraktionen (z. B. PE / PP) gelangen. Insbesondere Papier und Zellstoff stellen dabei ein Problem dar, da diese in der Schwimm-Sink-Trennung aufschwimmen und mit Kunststoffen geringer Dichte, z. B. mit PE / PP, ausgetragen werden. In einem späteren Extrusionsprozess zersetzt sich das Papier bei den hohen Temperaturen und es kommt zur Geruchsbildung und einer Verunreinigung der entstehenden Rezyklate.

Ein weiteres Beispiel sind Liner in Kunststoff-Flaschenverschlüssen auf Basis von Polyolefinen und Natriumsulfit. Diese aktiven Komponenten haben keinen signifikanten Einfluss auf die Dichte des gesamten Verschlusses und somit erfolgt eine Verunreinigung der PE / PP Fraktion. Lösen sich die oftmals eingepressten Liner allerdings bei der Zerkleinerung vom Verschluss ab, könnten diese Bestandteile auf Grund der höheren Dichte von etwa $1,06 \text{ g/cm}^3$ über das Schwergut der Schwimm-Sink-Trennung ausgetragen und dem Sortierrest zugeführt werden.

Auswirkungen auf die Recyclingfähigkeit der aktiven, intelligenten Verpackung und das bestehende Recycling korrespondierender Stoffströme

Eine hochwertige Verwertung ist sowohl für feste als auch für lose Einlagen nicht gegeben. Lose Einlagen wie Sachets oder Saugelagen werden bereits bei der Sortierung überwiegend abgetrennt und letztendlich energetisch verwertet.

Feste Einlagen gelangen nach der Sortierung gemeinsam mit dem Grundkörper der Verpackung in die Aufbereitung. Dort werden sie in der Regel bei der Zerkleinerung vom Grundkörper abgetrennt, und bei der mechanischen Aufbereitung über die Reste ausgetragen. Feste Einlagen, welche sich bei der Zerkleinerung nicht freilegen lassen, können bei der späteren Schwimm-Sink Trennung bzw. bei der Extrusion zu Ausbeute- und Qualitätsverlusten z. B. der Polyolefinfraktion (PE /PP) führen. Feuchteabsorber-Einlagen auf Zellstoffbasis erhöhen zusätzlich den Feuchtegehalt im Input der Sortierung bzw. der Aufbereitung und sind selber nicht werkstofflich verwertbar. Dies führt zu einer Verringerung der Ausbeute und des Anteils werkstofflicher Verwertung im Gesamtprozess.

3.3.3 Labels / RFID-Tags

Sortierprozess von Labels / RFID-Tags

In der Sortierung werden Labels / RFID-Tags nicht spezifisch ausgesondert und gelangen deshalb in die nachfolgenden Verfahrensschritte des Recyclingprozesses. Grundsätzlich wäre eine Identifizierung dieser meist aufgeklebten Verpackungsbestandteile z. B. über eine entsprechende Sensorik denkbar. Die damit verbundene Aussortierung vor den weiteren Aufbereitungs- und Recyclingschritten würde allerdings die Ausschussquote von „Gut-Material“ massiv erhöhen. Ohne eine aufwändige Anpassung der Sortierung gelangen die Labels und RFID-Tags in die Folgeprozesse (Erdmann 2009, S. 46 f.).

Aufbereitungs- bzw. Recyclingprozess von Labels / RFID-Tags

Labels, Etiketten, RFID-Tags oder andere Aufkleber gelten generell, das heißt auch ohne intelligente Funktionalität, als tendenziell herausfordernd für das Recycling. Insbesondere das Ablösen kann sich als schwierig erweisen und erfordert ggf. einen zusätzlichen Laugungs- bzw. Waschprozess. Probleme treten z. B. dann auf, wenn sich die Klebeverbindungen nicht auflösen und die Etiketten,

Labels oder RFID-Tags an der Zielkomponente verbleiben und somit deren physikalische Eigenschaften (z.B. Dichte) beeinträchtigen. Hierbei sind insbesondere wasserunlösliche Kleber ein Problem. Aber auch Kleber auf wasserlöslicher Basis werden auf Grund der geringen Verweildauer im Waschprozess meist nicht vollständig auf- bzw. abgelöst (Scriba 2014, S. 13).

Des Weiteren können sich im Laufe des Aufbereitungs- bzw. Recyclingprozesses durch mechanische Beanspruchungen Komponenten von RFID-Tags (z. B. die Antenne) lösen. Deren ggf. höhere Dichte als 1 g/cm^3 kann dazu führen, dass der Zielstoffstrom verunreinigt wird, sofern dieser der Sinkfraktion entspricht (beispielsweise im PET-Recycling). Spätestens nach der Schmelzefiltration im Extruder sollten allerdings zumindest die festen Bestandteile abtrennt worden sein. Dies wiederum führt jedoch zu einem höheren Aufwand bei der Filterreinigung.

Ist dagegen die Schwimmfraktion die Zielfraktion (beim Recycling von z. B. PE / PP) sollten die abgelösten Bestandteile mit einer Dichte ($>1 \text{ g/cm}^3$) im Schwimm-Sink-Verfahren zuverlässig abgetrennt werden. Kleinere Bestandteile der Zielfraktion, die noch an den Labels, Tags oder anderen Etiketten haften, gehen über die Aufbereitungsreste verloren.

Auswirkungen auf die Recyclingfähigkeit der aktiven, intelligenten Verpackung und das bestehende Recycling korrespondierender Stoffströme

Sich im Rahmen der Sortierung ablösende Labels / RFID-Tags werden überwiegend mit den Sortierresten ausgetragen und anschließend energetisch verwertet. Ein gezieltes Recycling für Labels / RFID-Tags findet somit nicht statt. Im Fall von RFID-Tags würden sich die enthaltenen Metalle (Kupfer, Aluminium) aus der Antenne teilweise in der unbehandelten Verbrennungtasche wiederfinden.

Bei sich nicht ablösenden Labels / RFID-Tags treten in der Aufbereitung prinzipiell ähnliche Herausforderungen wie beim Recycling von Multilayer-Verpackungen auf. Bei einem Eintrag ins Endprodukt können Labels / RFID-Tags unter anderem eine Beeinträchtigung der Farbe, der mechanischen Eigenschaften sowie der Temperaturbeständigkeit verursachen. Kleberreste auf den Verpackungen können zu Verfärbungen der Rezyklate führen oder bei niedrig schmelzenden Klebern zur Gasbildung bei der Extrusion.

Falls das Material des Labels bzw. Tags mit dem Hauptverpackungsmaterial kompatibel ist, sind eher keine Beeinträchtigungen im Rezyklat zu erwarten. Farbstoffe und Pigmente in intelligenten Zeit-Temperatur-Labels gelten in geringen Konzentrationen auf den Verpackungen, abgesehen von möglichen Verfärbungen der Rezyklate, als eher unkritisch.

3.3.4 Weitere Verpackungen bzw. Packmittel

Papier, Pappe, Kartonage (PPK)

Altpapiersortieranlagen (siehe Kapitel 3.2.3) erfüllen heute die hohen Qualitätsanforderungen der Papierindustrie. Allerdings ist anzunehmen, dass bei einem zunehmenden Eintrag und wachsender Vielfalt von Störstoffen diese nicht vollständig ausgeschieden werden können und somit zu einer Verringerung der Papierqualität führen. Eingesetzte Klebstoffe, z. B. für die Befestigung von RFID-Tags und funktionellen Kunststoffschichten, können in den Produktionsprozess und somit in das Endprodukt gelangen. Gegenwärtig und in naher Zukunft sind mögliche Beeinträchtigungen durch aktive und intelligente Komponenten im Bereich der PPK nicht völlig auszuschließen (Erdmann 2009, S.45).

Altglasverpackungen

Der Einsatz von aktiven Verpackungskomponenten im Bereich der Glasbehälter ist nach derzeitigem Stand nicht zu erwarten. Intelligente Verpackungen z. B. in Form von RFID-Tags können bei einer deutlichen Zunahme auf dem Markt und einer gleichzeitig nicht vollständigen Aussonderung bei der Sortierung zu Beeinträchtigungen der Glasqualität führen. Insbesondere metallische Rückstände aus den Antennen der RFID-Tags können die Bruchfestigkeit des Glases verringern und zu Verfärbungen führen. Daraufhin wäre eine prozessuale Anpassung der Verwertungsprozesse notwendig (Erdmann 2009, S. 41).

Metallische Verpackungen

Sowohl für Weißblech als auch für Aluminium sind organische Verunreinigungen kein Problem. Die, durch intelligente Verpackungen eingetragenen mineralischen bzw. metallischen Bestandteile (z. B. Kupfer aus den Antennen der RFID-Tags) sind aufgrund des sehr geringen Anteils an der Gesamtschrottmenge bislang und in naher Zukunft zu vernachlässigen (Erdmann 2009, S. 62 ff.).

3.4 Zwischenfazit

Die Marktrelevanz von aktiven und intelligenten Verpackungen ist aktuell noch überwiegend gering. Deren Gestaltungsmerkmale und die sich daraus ergebenden Herausforderungen beim Recycling (z. B. Einsatz von Multilayern oder Blends) sind nicht spezifisch für aktive und intelligente Systeme, sondern vergleichbar mit Herausforderungen, die auch beim Recycling konventioneller Verpackungen auftreten können. Prinzipiell treten beim Einsatz von aktiven und intelligenten Komponenten folgende Verpackungssysteme auf, die zu einer Beeinträchtigung der hochwertigen Verwertung führen können:

- ▶ Verbunde und Gemische: Multilayer-Verpackungen / Polymermischungen (Blends) / Feststoff-Polymer-Mischungen (Additive im Kunststoff)
- ▶ Feste Einlagen / mit der Verpackung verbundene Komponenten
- ▶ Labels / RFID-Tags

Durch die Verwendung dieser Verpackungssysteme können besonders die nachfolgenden Trenn- und Sortierkriterien beeinflusst werden:

- ▶ Oberfläche (chemische Zusammensetzung), z. B. bei der NIR-Sortierung
- ▶ Dichte, insbesondere bei der Schwimm-Sink-Trennung
- ▶ Unterschiedliche Schmelztemperaturen bei der Extrusion inkl. Schmelzefiltration

Mögliche Konsequenzen für die hochwertigen Recyclingprozesse sind am Beispiel der derzeit relevanten aktiven und intelligenten Verpackungen in der folgenden Tabelle dargestellt. Eine hochwertige Verwertung der aktiven und intelligenten Komponenten selbst findet bei keinem der Verpackungssysteme statt.

Tabelle 3-3: Konsequenzen für die Recyclingprozesse von derzeit relevanten aktiven und intelligenten Verpackungen

Verpackungssystem sowie Funktion	Hochwertige Verwertung		Konsequenzen für die hochwertige Verwertung
	Ziel-komponente	Beeinträchtigung durch aktive und intelligente Komponenten möglich?	
PET-Flasche mit aktiver O ₂ -Barriere (Monolayer-Flasche)	PET	Ja	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Polyamid-Copolymer ist in der Extrusion nicht vom PET abtrennbar (ähnliche Schmelztemperaturen) und führt damit zu Qualitätseinbußen beim Rezyklat
Deckelfolien oder Schalen mit aktiver O ₂ -Barriere auf Polymerbasis	PE / PP	Hochwertige Verwertung auch ohne aktive, intelligente Komponente oftmals nicht gegeben	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Wird auch über die Fraktion der Mischkunststoffe verwertet ▶ Multilayer-Komponenten in der Extrusion nicht vom PP/PE abtrennbar; führt damit zu Qualitätseinbußen beim Rezyklat
Menüschalen mit aktiver O ₂ -Barriere	PE / PP	Ja	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Je nach technischer Ausführung (insb. hoher FE-Anteil) Erhöhung der Dichte denkbar und Austrag der eigentlichen Zielkomponente über die Aufbereitungsreste der Schwimm-Sink-Trennung
Trockenmittel in Verschluss, Wandung oder als Beilage im Behälter zur Absorption von Wasserdampf	PE / PP	Ja	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Erhöhung der Dichte durch Zusatz der aktiven Komponente möglich und Austrag über Sortierrest der Schwimm-Sink-Trennung ▶ Anderenfalls Eintrag ins Rezyklat aus der Extrusion möglich
Saugeinlagen als Feuchte- oder Flüssigkeits-Absorber in Schalen	PE / PP bzw. PET	Ja, wenn die Einlage fest fixiert ist	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Abtrennung in der Schwimm-Sink-Trennung problematisch (Veränderung der Dichte, hoher Faseranteil im Wasser) ▶ Geruchsbildung bei der Extrusion
Sachets mit Absorber (Feuchte, O ₂ , Ethylen)	Unterschiedliche Verpackungssysteme	Nein	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Werden bei der Sortierung bereits abgetrennt
Kronkorken mit aktiver O ₂ -Barriere, befestigt auf Glasflaschen	Weißblech	Nein	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Werden bei der Sortierung über die FE-Fraktion abgetrennt

Verpackungssystem sowie Funktion	Hochwertige Verwertung		Konsequenzen für die hochwertige Verwertung
	Ziel-komponente	Beeinträchtigung durch aktive und intelligente Komponenten möglich?	
Kunststoff-Flaschenverschlüsse mit aktiver O ₂ -Barriere, verschraubt mit PET-Flaschen	PE / PP	Ja, wenn der Liner sich nicht vom Verschluss löst	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Abtrennung in der Schwimm-Sink-Trennung nicht möglich ▶ Eintrag von Natriumsulfit in die Extrusion und ggf. ins Rezyklat
Label, Aufdrucke mit Indikatoren (z. B. Zeit-Temperatur-Anzeige)	Unterschiedliche Verpackungssysteme	Ja	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bei Kunststoffverpackungen: Eintrag bis in die Extrusion; ggf. Gasbildung
RFID-Tags	Unterschiedliche Verpackungssysteme	Ja	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bei Kunststoffverpackungen: Falls Metalle in die Extrusion gelangen: höherer Verschleiß der Schmelzefilter

Die möglichen Konsequenzen für die jeweils betroffenen Stoffströme, die mit dem Einsatz von aktiven und intelligenten Verpackungen verbunden sein können, werden erst dann wirksam, wenn der Anteil im jeweiligen Materialstrom signifikant wird. Mögliche Konsequenzen sind zusammenfassend:

- ▶ Höhere Material- bzw. Ausbeuteverluste und tendenziell größere Mengen, die einer hochwertigen Verwertung entzogen werden;
- ▶ Mechanische und/oder optische Qualitätsminderungen der Rezyklate, Veränderungen der Produkteigenschaften (z. B. Verfärbungen);
- ▶ Kostensteigerungen für das Recycling durch höheren Verwertungsaufwand (z. B. durch zusätzliche Sortier- und / oder Waschstufen).

Der gegenwärtige Einsatz von aktiven und intelligenten Verpackungen stellt die derzeitigen Sortier-, Recycling- und Aufbereitungsprozesse aufgrund ihres überwiegend geringen Marktanteils vor keine nennenswerten Herausforderungen. Generell sind Verunreinigungen der Rezyklate bzw. des Mahlgutes unerwünscht, insbesondere wenn sich daraus eine Qualitätsverschlechterung ergibt. Viele der aufgeführten Problematiken, wie z. B. die Dichteänderung durch Zusatzstoffe, sind bereits heute unabhängig von aktiven und intelligenten Komponenten beim Recycling von Verpackungen bekannt.

4 Empfehlungen zur Sicherstellung der hochwertigen Verwertung

4.1 Möglichkeiten und Grenzen zur Sicherung der Recyclingkreisläufe

Im Rahmen der Informationsveranstaltung „Aktive und intelligente Verpackungen – Recyclingkreisläufe sicherstellen“ am 15. März 2016 in Dessau wurden mit den am Lebenswege einer Verpackung involvierten Akteuren die Grenzen und Perspektiven von Bemühungen zur Sicherung der Recyclingkreisläufe diskutiert (siehe auch Anhang 6.3). Im Folgenden sind die zentralen Aspekte aus den Diskussionen zusammengefasst:

Was tun die Akteure entlang des Lebenswegs von Verpackungen heute dafür, um die Recyclingkreisläufe von Verpackungen sicherzustellen?

Bezüglich aktueller Bestrebungen, aktive und intelligente Verpackungen hochwertig zu recyceln bzw. sie als Störstoffe abzutrennen, um die Verwertung herkömmlicher Verpackungen nicht zu beeinträchtigen, waren einige Teilnehmer der Meinung, dass eigentlich zu wenig für dieses Thema getan werde. In der Zusammenschau der Meinungen konnte dennoch eine Reihe von Beispielen für Aktivitäten, die Recycling-Kreisläufe sicherstellen, identifiziert werden. Der Schwerpunkt liegt dabei heute tendenziell noch eher auf dem vermehrten Einsatz von Rezyklaten in der Verpackungsherstellung als in der recyclingfreundlichen Gestaltung der produzierten Verpackungen.

So fördert die „Gütegemeinschaft Wertstoffkette PET-Getränkeverpackungen e.V.“ mit entsprechenden Güte- und Prüfbestimmungen die nachhaltige Weiterentwicklung von PET-Flaschen. Auch die Rezyklat-Initiative des Unternehmens Werner und Mertz wurde angeführt. Diese hat zum Ziel, den Anteil an PET-Rezyklaten allgemein, speziell aber aus dem Sammelsystem Gelber Sack, in ihren Verpackungen zu erhöhen. So werden heute ausgewählte Verpackungen der Marke FROSCH vollständig aus PET-Rezyklaten (dabei Anteil Sammelware Duale Systeme 20%) hergestellt. Darüber hinaus arbeitet Werner und Mertz in weiteren Projekten am Einsatz recyclingfreundlicher Etiketten und Verschlüsse.

Zwar fokussieren sich die Aktivitäten zur Berücksichtigung der Recyclingfähigkeit in der Verpackungsentwicklung bisher noch auf Monolayer-Verpackungen, jedoch wurden solche Projekte als wichtige Schritte anerkannt, um die Möglichkeiten einer verbesserten Recyclingfähigkeit auch aktiver und intelligenter Verpackungen auszuloten.

Bemühungen, in der Recyclingpraxis die Produktqualitäten⁶ sicherzustellen, seien vorhanden, in ihren Möglichkeiten jedoch noch begrenzt: So trenne man als problematisch angesehene Materialien zwar ab (z. B. PET mit Additiven). Diese Trennung erfolge aber meist noch über improvisierte Prozesse und man müsse dabei noch „großzügigen“ Ausschuss akzeptieren. Weitergehend hat die Recyclingwirtschaft bereits verschiedene Angebote mit Empfehlungen zur recyclingfreundlichen Gestaltung von Verpackungen formuliert (vergleiche Kapitel 4.2.3).

Um den Rezyklateinsatz zu stärken und Rezyklatprodukte zu bewerben, werde einerseits bereits intensiv in Öffentlichkeitsarbeit investiert. Ein wichtiger Baustein sei der Dialog mit und zwischen den Akteuren entlang des Lebenswegs von Verpackungen. Ein Bewusstsein für die Problematik bei Herstellern sowie Abfüllern und -packern zu schaffen, gelinge immer besser, so einige Teilnehmer der Veranstaltung.

Es wurden aber auch Gegenstimmen laut, welche die Meinung vertraten, dass andererseits bislang in

⁶ z.B. Anforderungskriterien an die Rezyklatherstellung der Gütegemeinschaft Wertstoffkette PET-Getränkeverpackungen e.V.

der Breite nur wenige Unternehmen dieser Wertschöpfungsstufen für das Thema der eigentlichen Recyclingfähigkeit der produzierten Verpackung sensibilisiert seien.

Betonung fand in diesem Zusammenhang auch der Verbraucher als wichtiger Akteur, dessen Bewusstsein beispielsweise für die Recyclingfähigkeit von Verpackungen, aber auch für regionale Produkte gestärkt werden müsse, um so Verpackungsaufwand zu reduzieren. Ebenso sollte für die Folgen steigender Haltbarkeitsansprüche an Verpackungssysteme sensibilisiert werden.

Wo stoßen die Akteure dabei an ihre Grenzen?

Vielschichtig gestaltete sich auch die Diskussion der Frage nach der Wahrnehmung, wo Bestrebungen, die Recycling-Kreisläufe und die hochwertige Verwertung von Verpackungen zu sichern, an Grenzen stoßen.

Bewusstsein für die Recyclingfähigkeit von Verpackungen sowie für hochwertiges Recycling zu schaffen, wurde – wie bereits bei der Diskussion zu bestehenden Aktivitäten (s. oben) – als zentrales Instrument identifiziert. Hier mangle es aber an Informationstransparenz entlang der Wertschöpfungskette (intellectual property rights vs. Transparenz). Zu geringer Austausch über Anforderungen an Produkte und Prozesse sowie zu Bedürfnissen und Problemen der einzelnen Akteure wurde als Hürde bei der Sicherstellung der Recycling-Kreisläufe formuliert.

Die Perspektiven zur gleichzeitigen Entwicklung von Recyclinglösungen für Verpackungsgestaltungen, deren Recyclingfähigkeit sich nicht am Stand der Technik orientiert, sind mit Blick auf eine wirtschaftliche Realisierung – oftmals aufgrund einer geringen Mengenrelevanz – limitiert. Zudem sei es Kunden, für die Recyclingfähigkeit heute kein Image-Argument darstelle, nur schwer zu vermitteln, wenn sich Aufwand und Kosten für die Herstellung einer Verpackung durch die Beachtung seiner Recyclingfähigkeit erhöhen. Dass es zudem kein Anreizsystem gebe, das Bonusanreize für ein vorausschauendes Umweltmanagement setze, welches auch die Recyclingfähigkeit von Verpackungen beinhalte, erschwere die Einbindung der Recyclingfähigkeit in die Verpackungsgestaltung noch zusätzlich.

Wenn die Akzeptanz auf Kundenseite nicht vorhanden sei oder auch die Verpackungsgestaltung spezifischen Marketingvorstellungen des Handels entsprechen müsse, welche konträr zur Recyclingfähigkeit stehen, falle diese unter den Tisch. Hier seien aber nicht nur Abpacker, Abfüller und der Handel im Blick. Auch die Grundeinstellung der Endkunden, die mit immer höheren optischen und qualitativen Ansprüchen ihre Auswahl beim Einkauf treffen, dürfe nicht außer Acht gelassen werden.

Dennoch bleibe wesentliches Ziel einer Verpackung, das Produkt zu schützen. Vor allem im Lebensmittelbereich gerate deshalb Recyclingfähigkeit schnell ins Hintertreffen, da die lebensmittelrechtliche Unbedenklichkeit von Recyclingmaterial erst in sehr wenigen Bereichen wirtschaftlich und technisch etabliert sei.

Am Ende des Lebenswegs von Verpackungen seien nicht zuletzt die technischen Grenzen der Trenn- und Reinigungsverfahren beim Recycling selbst zu beachten. Beim aktuellen Stand der Technik führe eine hohe Reinheit der Sortierfraktionen, die im Rahmen einer hochwertigen Verwertung anzustreben ist, gleichzeitig zu höheren Verlusten an Gutmaterial, was sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit des Recyclings auswirke. Technische Anpassungen und Weiterentwicklungen scheiterten noch häufig an mangelnder ökonomischer Effizienz, da die anfallenden Mengen zu gering seien. Ohne die Investitionssicherheit ausreichender Stoffströme könnten v.a. mittelständische Recycling-Unternehmen nicht aktiv werden.

Beim Recycling von Multimaterialien wurde betont, dass dies bereits ohne aktive oder intelligente Verpackungskomponenten problematisch sei. In Kombination mit aktiven Zusatzstoffen bzw. Bestandteilen verschärfe sich diese Problematik zusätzlich.

Des Weiteren wurde angeführt, dass die hohen Ansprüche an Verwertungswege und Produkte - insbesondere im Bereich der Herstellung von Lebensmittelverpackungen - letztlich die Anwendbarkeit des Recyclingmaterials einschränken können und so die Realisierung geschlossener Recycling-Kreisläufe erschwert werde.

Wie können sich die Akteure gegenseitig unterstützen, damit die Recyclingkreisläufe sichergestellt werden können?

Große Einigkeit herrschte bei dem Gedanken, dass die Verbesserung und Weiterentwicklung der Stoffkreisläufe nur unter Beteiligung aller Akteure der Prozesskette erfolgreich sein könne. Dafür sei aber eine offene und unvoreingenommene Herangehensweise aller am Kreislauf Beteiligten wichtig, was nicht immer gegeben sei. Um das Zusammenspiel aller Akteure zu verbessern wurde beispielsweise vorgeschlagen, dass Produzenten von Verpackungen die Entsorger direkt in den Entwicklungsprozess einbinden sollten, wenn sie eine Verpackung designen, die recyclingfähig sein soll. So könnten die tatsächlichen Erfordernisse aus praktischer Recycling-Erfahrung berücksichtigt werden. Über die Umsetzbarkeit waren sich die Teilnehmer jedoch uneinig.

Große Zustimmung fanden Ideen aus den Bereichen Vernetzung und Kommunikation. So solle der Austausch zwischen Lehre und F&E der Industrie forciert werden. Sowohl die jeweiligen Ziele als auch Informationen zu Vorgehensweisen und Ergebnisse sollten kommuniziert werden. Des Weiteren sollte der Dialog zwischen Verpackungsherstellern, Anwendern, dem Handel und Recyclern gefördert, aber auch gefordert werden. Denn das Wissen um Materialien und deren Zusammensetzung, über Zusätze, Spurenelemente und Weichmacher auf der einen Seite und Sortier- und Recyclingfähigkeit auf der anderen Seite sei elementar, um zielführend und effizient Produkt- sowie Prozessentwicklungen vorantreiben zu können. Dafür müsse aber der Informationsfluss zwischen Verpackungsherstellern, -anwendern und -recyclern verbessert werden.

Auch gesetzliche Vorgaben in Form „konsistenter Spielregeln“ werden als Unterstützungsinstrument verstanden. Neben Recycling-Quoten seien ökonomische Konsequenzen für nicht-recyclingfähige Verpackungen sowie Belohnungsanreize für recyclingfähige Verpackungen wichtig, um die Handlungsspielräume für alle Akteure abzustecken. Die regulatorischen Vorgaben dürften jedoch nicht behindern, indem sie zu eng gefasst werden, sondern sollten im Einklang mit technischen Möglichkeiten sowie toxikologischen Erkenntnissen aufgestellt werden.

Weiterhin wurde vorgeschlagen, Recyclingfähigkeit als Qualitätskriterium einzuführen. Wobei jedoch immer zu beachten sei, dass eine recyclingfähige Verpackung zwar Ziel sein solle, jedoch nicht als Primär-Ziel bzw. alleiniges Ziel umsetzbar sei, da die Funktionalität originäre und zentrale Anforderung an eine Verpackung darstelle. So seien realistische Kriterien zu generieren, wie beispielsweise eindeutige und einfache Trennkriterien (z. B. Einfarbigkeit).

4.2 Identifikation und Beschreibung von Handlungsoptionen

Auf Basis der Vorarbeiten zu möglichen Auswirkungen aktiver und intelligenter Verpackungen auf die hochwertige Verwertung und der Interviews mit Experten aus der Verpackungs- und Entsorgungsbranche⁷ konnten verschiedene Maßnahmen identifiziert werden. Diese wurden zunächst als

⁷ Für Liste der durchgeführten Interviews siehe Kapitel 6.2

Ideen-Exposés skizziert und in der Dialogveranstaltung von den Experten aus Herstellung, Anwendung, Entsorgung und Wissenschaft bewertet, priorisiert und weiter ausgearbeitet. Die Maßnahmen werden anhand der folgenden Aspekte konkretisiert:

- ▶ **Intention:** Was sind Hintergrund und Inhalt der Maßnahme?
- ▶ **Umsetzung:** Was sind die erforderlichen wesentlichen Schritte bei der Umsetzung?
- ▶ **Chancen, Risiken und Hemmnisse:** Was wird durch die Maßnahme verändert und wo bestehen Hürden?

Die gesammelten Maßnahmen lassen sich zu den folgenden grundsätzlichen Bereichen gruppieren:

- ▶ **Bewusstseinsbildung, Information und Kommunikation zwischen Entsorgungs- und Verpackungsbranche sowie Bildung und Forschung**
Grundlage für Veränderungen sind der Wissensaustausch und die Kommunikation zwischen Herstellern, Abfüllern, Handelsunternehmen und Verwertern über die jeweiligen Bedarfe und Erfordernisse.
- ▶ **Abstimmen der Verpackungsentwicklung auf Anforderungen des Recyclings**
Berücksichtigung der Möglichkeit zur hochwertigen Verwertung bereits bei der Verpackungsentwicklung.
- ▶ **Entwicklung und Anpassen der Sortier- und Recyclingprozesse**
Anpassung der Recyclingprozesse an die Veränderungen in der Verpackungsgestaltung.
- ▶ **Höhere Priorisierung der Recyclingfähigkeit im Rahmen der Verpackungsgestaltung**
Externe Impulse, mit dem Potenzial zur Veränderung des Handelns der Akteure.

Die Aspekte zur Umsetzung der Empfehlungen sind dabei nicht trennscharf auf einzelnen Maßnahmen begrenzt. Vielmehr greifen die Empfehlungen als Ergänzung, Konkretisierung oder Erweiterung ineinander.

Eine denkbare Verlagerung der gesamten Lösungsfindung allein auf die Träger der Verpackungsent-sorgung, d.h. die Sortier- und Recyclingbetriebe würde, schon im Sinne der Produzentenverantwortung viel zu kurz greifen. Vielmehr ist der intensive, breit angelegte Dialog und Austausch zwischen den relevanten Akteuren letztendlich die Voraussetzung aller Maßnahmen zur Sicherstellung der hochwertigen Verwertung von Verpackungen. Die Konsensbildung und die Formulierung des Anspruchs an die Recyclingfähigkeit einer Verpackung im Sinne ihrer Eignung für die hochwertige Verwertung ist dabei ein bedeutender Aspekt zur Schärfung des Bewusstseins über die Herausforderungen bei den Akteuren.

Zusätzlich können externe Impulse, wie z.B. die kundenseitige Nachfrage nach recyclingfreundlichen Lösungen oder die Anpassung der Lizenzentgelte, helfen, die Recyclingfähigkeit im umfangreichen Anforderungsprofil, das eine Verpackung heute bereits erfüllen muss, entsprechend höher zu priorisieren. Die Recyclingfähigkeit einer Verpackung ist dabei ein sehr bedeutsames, aber nicht das alleinige Kriterium für eine umweltbezogene Bewertung einer Verpackungslösung. Im Sinne einer umweltbezogenen Bilanz des Gesamtlebensweges einer Einzel-Verpackung sind neben der Recyclingfähigkeit auch Aspekte wie der effiziente Einsatz von Verpackungsmaterialien von Bedeutung.

Die Gestaltungsmerkmale aktiver und intelligenter Verpackungen und die sich daraus ergebenden Herausforderungen beim Recycling (z. B. Einsatz von Multilayern oder Blends) sind nicht nur spezifisch für aktive und intelligente Systeme, sondern vergleichbar mit Herausforderungen, die auch beim Recycling konventioneller Verpackungen auftreten können. Die Handlungsoptionen beziehen sich deshalb nicht nur auf aktive und intelligente Verpackungen, sondern generell auf Verpackungsgestaltungen, die aufgrund spezieller Charakteristika zu Herausforderungen beim Recycling führen.

4.2.1 Bewusstseinsbildung, Information und Kommunikation zwischen Entsorgungs- und Verpackungsbranche sowie Bildung und Forschung

Intention

Die Gestaltung von Verpackungen unterliegt diversen Anforderungen. Sie sollen vor allem das Produkt bestmöglich schützen, aber auch materialeffizient sein und zum Kauf animieren. Die Recyclingfähigkeit konkurriert häufig mit derartigen Anforderungen oder hat beim Verpackungsdesign von vornherein einen geringen Stellenwert. Oftmals scheitert ein recyclinggerechtes Design jedoch auch am fehlenden oder nicht ausreichenden Wissen der Verpackungsbranche z. B. über vorhandene Recyclingwege, über Schwierigkeiten und Anforderungen im Rahmen der Sortierung und des Recyclings oder insbesondere über Modifikationsmöglichkeiten der Verpackungsgestaltung, die ein verbessertes Recycling ermöglichen.

Die gegenseitige Information und der Wissensaufbau über die Bedarfe und die Erfordernisse der am Lebensweg einer Verpackung Beteiligten sind daher ein zentraler Hebel, die Recyclingfähigkeit von Verpackungen, die beispielsweise auch durch den Einsatz aktiver und intelligenter Komponenten zunehmend komplexer werden, auch in Zukunft sicherzustellen. Das Initiieren und das Fördern des Dialogs zwischen den Beteiligten der Wertschöpfungskette und insbesondere zwischen der Entsorgungs- und Verpackungsbranche bilden daher einen wichtigen Handlungsschwerpunkt. Hier gilt es, an bereits vorhandene Plattformen anzuknüpfen beziehungsweise eine geeignete Plattform für den Dialog ins Leben zu rufen.

Aspekte zur Umsetzung

Zentraler Aspekt der Umsetzung ist es, sich zunächst über eine für alle Beteiligten geeignete Plattform zu verständigen, in deren Rahmen ein verstärkter Dialog stattfinden kann und die auch über die Zeit hinweg besteht, genutzt und gepflegt wird. Als mögliche Plattformen für einen verstärkten Dialog kommen z. B. in Frage:

- ▶ Web-Plattformen
- ▶ Arbeitsgruppen
- ▶ Dialogveranstaltungen
- ▶ Gemeinsame Projekte

Hier sollten sich die zu integrierenden Akteure über Art, Häufigkeit, Dauer und Inhalt verständigen, Verantwortlichkeiten (Initiatoren) definieren und Multiplikatoren für die Vermittlung gewinnen. Auch ist zu prüfen, ob nicht bereits an vorhandene Plattformen sinnvoll angeknüpft werden kann.

Eine Plattform, wie sie hier angedacht ist, sollte inhaltlich alle Bereiche des Verpackungslebenswegs – von der Entwicklung, Herstellung und Abfüllung bis zur Sortierung und Verwertung – umfassen und sich insbesondere mit daraus resultierenden übergreifenden Problemstellungen und Prozessen auseinandersetzen. Inhalte einer solchen Plattform können z. B. sein:

- ▶ gemeinsame Definitionen / gemeinsame Sprache (z. B. Recyclingfähigkeit, hochwertiges Recycling)
- ▶ gemeinsam identifizierte Problembereiche
- ▶ alternative Verpackungsmaterialien, Additive, Zusatzstoffe, etc. mit einer besseren Recyclingfähigkeit (unter Berücksichtigung der Ökobilanz)
- ▶ Anpassungen in der Verpackungsgestaltung zur Sicherung der bestehenden Recyclingkreisläufe

- ▶ Informationen über Verpackungstrends für Recycler
- ▶ Anpassungen bzw. Weiterentwicklungen der Sortier-/ Recyclingprozesse
- ▶ Sammlung von Fallbeispielen
- ▶ Integration vorhandener Guidelines und Internet-Angebote z. B. zur recyclingfreundlichen Verpackungsgestaltung (z. B. Verwendung von Klebstoffen)

Um die gegenseitige Information bzw. den Wissensaufbau über Bedarfe und Erfordernisse der jeweiligen Akteure und die Verständigung auf lebenswegübergreifende Lösungen zu erreichen, sollte der Dialog vor allem dafür genutzt werden, sich über alternative Verpackungsmaterialien, Additive oder Zusatzstoffe, etc. mit einer besseren Recyclingfähigkeit auszutauschen. Auch sollte er dazu anregen, sich über realistische Anpassungen in der Verpackungsgestaltung oder Anpassungen bzw. gemeinsame Weiterentwicklungen der Sortier- und Recyclingprozesse Gedanken zu machen. Ziel sollte die gegenseitige Knowhow-Einbindung sein sowie die Wissensvermittlung über Multiplikatoren (z. B. Verbände) und an Hochschulen.

Ein Element zur Förderung dieses Dialogs war die im Rahmen diese Vorhabens durchgeführte Dialogveranstaltung am 15.03.2016 im Umweltbundesamt, an der sowohl Vertreter der Verpackungs- als auch der Entsorgungsbranche und Wissenschaft teilnahmen. Gemeinsam wurden zentrale Problemstellungen und mögliche Handlungsansätze zur Sicherung der hochwertigen Verwertung von Verpackungen diskutiert (siehe Kapitel 4.1).

Eine Möglichkeit, den Dialog zu verstetigen und das Wissen der jeweils anderen auch für die eigenen Arbeiten zu mobilisieren, ist die Nutzung einer webbasierten Plattform, in der z. B. Materialien, gängige Recyclingtechnologien und -prozesse oder Anforderungen und rechtliche Regelungen für alle zugänglich dargestellt werden. Der Vorteil einer solchen Plattform ist es, dass sie relativ einfach und schnell umgesetzt werden kann und die Umsetzung übergreifender Standards ermöglicht.

Wichtige Erfolgskriterien einer solchen Plattform sind, dass sie über die Zeit hinweg besteht und auch für alle Seiten nutzbar ist. Bei einem Großteil der Inhalte kann auf bereits Vorhandenem aufgebaut werden. Bestehende Plattformen wie z. B. die European PET Bottle Plattform EPBP (www.epbp.org), RecyClass (www.recyclclass.eu) oder auch VerpackVkonkret (www.verpackv-konkret.de) beinhalten bereits wichtige Inhalte, sind aber bestimmungsgemäß inhaltlich auf einzelne Bereiche beschränkt und sprechen deshalb gegebenenfalls nicht alle Beteiligten entlang des Lebenswegs einer Verpackung gleichermaßen an.

Zentral für die Umsetzung sind die Einbindung der Akteure und die Klärung der Finanzierung. Empfohlen wird der Betrieb durch eine unabhängige Stelle, um die Neutralität der Plattform zu gewährleisten. Neutralität ist unerlässlich für die Akzeptanz der Plattform über alle Akteure hinweg. Als Finanzierer könnten z. B. die Dualen Systeme beziehungsweise die im Rahmen des Verpackungsgesetzes zu schaffende Zentrale Stelle durch den Gesetzgeber verpflichtet werden. Auch die Finanzierung über eine Stiftung wäre denkbar. Die Finanzierung über die Duale Systeme bzw. die Zentrale Stelle oder eine Stiftung könnte allerdings als inhaltlich nur begrenzt unabhängig angesehen werden. Die Finanzierung durch eine neutrale, staatliche Institution könnte eine zielführende Alternative darstellen.

Um die web-Plattform auf Basis der aktuellen Erkenntnisse aufzubauen und zu pflegen sowie das Ziel des Informations- und Wissensaufbaus über die Wertschöpfungskette hinweg zu erreichen, ist die Integration folgender Akteure von zentraler Bedeutung:

- ▶ Kunststoffverarbeiter / Hersteller von Verpackungen
- ▶ Hersteller / Handel
- ▶ Abfüller
- ▶ Recycler

- ▶ Systemträger
- ▶ Wissenschaft
- ▶ Verbände, insbesondere als Multiplikatoren

Chancen, Risiken und Hemmnisse

Der Dialog ist die Grundvoraussetzung zur Veränderung des Status Quo und Basis für die Umsetzung der hier beschriebenen Maßnahmen zur Sicherstellung der hochwertigen Verwertung. Erst das Wissen über Bedarfe und Erfordernisse des jeweils anderen Bereiches, über Modifikationsmöglichkeiten bei der Verpackungsgestaltung oder im Recyclingprozess und die Verständigung über einheitliche Definitionen und Problembereiche ermöglichen koordinierte und abgestimmte Veränderungen und in Konsequenz die Verbesserung der Recyclingfähigkeit bei herausfordernden Verpackungsgestaltungen.

Dem gegenüber steht, dass Verantwortlichkeiten meist gerne abgegeben werden im Sinne von „der andere muss machen“ und der Austausch allein, ohne den konkreten Anschluss in der Praxis, nicht zur Veränderung führt. Umso wichtiger ist es, dass die gewählte Plattform innerhalb des Tagesgeschäftes praktikabel ist und die Akteure eher den Nutzen als den Aufwand dahinter sehen. Auch sollte die Gruppe der am Dialog Beteiligten stetig ausgeweitet werden, um auch tatsächlich die erhofften Effekte zu erzielen.

4.2.2 Abstimmen der Verpackungsentwicklung auf die Anforderungen des Recycling

Intention

Bestimmte Gestaltungen von Verpackungen sind im Rahmen der aktuellen Sortier- und Recyclingprozesse nicht hochwertig zu verwerten oder beeinträchtigen die Qualität bestehender Produktströme. Um in Zukunft die Recyclingfähigkeit von komplexer werdenden Verpackungen aufrecht zu erhalten bzw. diese zu verbessern, sollte daher ein Handlungsschwerpunkt darin liegen, die Gestaltungsgrundsätze, die eine hochwertige Verwertung sicherstellen, bereits im Rahmen der Verpackungsentwicklung zu berücksichtigen.

Grundsätzlich kennen Sortierer und Recycler die Herausforderungen spezifischer Verpackungsgestaltungen für das Recycling und haben diese in entsprechenden Gestaltungs-Guidelines, wie z. B. der „European PET Bottle Platform“ (epbp.org) oder des Netzwerks „Plastics Recyclers Europe“ (recyclclass.eu), formuliert und für die Anwender verfügbar gemacht. Dennoch spielen Aspekte des Recyclings heute bei der Verpackungsgestaltung häufig noch eine untergeordnete Rolle. Anforderungen an die Funktionalität (z. B. längere Haltbarkeit) und Kostenaspekte stehen im Fokus. Mit Blick auf die Recyclingfähigkeit sollten u.a. die folgenden zentralen Gestaltungsgrundempfehlungen Berücksichtigung bei der Verpackungsentwicklung finden:

- ▶ Verwendung von Monomaterialien statt von Materialkombinationen
- ▶ Bei Mehrschichtverbunden möglichst geringe Anzahl verschiedener Materialien kombinieren und Materialien verwenden, die beim Recycling harmonieren
- ▶ Vermeidung des Einsatzes von Papier/Zellstoff in Kombination mit Kunststoffverpackungen
- ▶ Vermeidung eingefärbter Kunststoffe (insb. schwarz)
- ▶ Vermeidung vernetzender Substanzen (z. B. in Lacken)
- ▶ Standardisierung von Packmitteln und Packhilfsmitteln (wasserlösliche Kleber, abtrennbares Etikettenmaterial)

Auch gilt es zu prüfen, ob funktionsgleiche und gleichzeitig besser recyclingfähige Alternativen kritischer Gestaltungen zur Anwendung kommen können. Beispiele kritischer Gestaltungen und möglicher Alternativen sind:

- ▶ Schalen aus PET: Ersatz durch Schalen aus PP,
- ▶ Opake PET-Flaschen: Ersatz durch klare PET-Flaschen,
- ▶ Flaschen mit PET-Blend: Ersatz durch PET-Multilayer oder Silicat-Coatingsysteme,
- ▶ Etiketten aus PVC oder PS: Ersatz durch Etiketten auf Polyolefin-Basis,
- ▶ Dunkle/schwarze Kunststoffe: Ersatz durch hellere Farbgestaltungen.

Darüber hinaus gibt es auch Verpackungen bzw. Verpackungsbestandteile, die nicht durch recyclingfähige Verpackungen substituiert werden können. Diese sollten dann so gestaltet werden, dass eine Abtrennung vom Recyclingstrom sicher und eindeutig erfolgen und so das hochwertige Recycling anderer Verpackungen aufrechterhalten werden kann. Die Abscheidung in den Sortier- und Recyclingprozessen erfolgt in der Regel über Nahinfrarot-Detektion (NIR) der Oberfläche, Nichteisen- und Eisenabtrennung (Wirbelstromscheider und Überbandmagnet), Dichtentrennung und Schmelzefiltration. Hieran sollten sich die eingesetzten Trennmerkmale orientieren. Störstoffe lassen sich im Recycling im Schwimm-Sink-Verfahren vom weiteren Verwertungsstrom abtrennen, wenn ein Dichteunterschied zur Zielfraktion besteht (z. B. Aufschäumen von PO-Etiketten mit metallischen Aufdrucken für PET-Verpackungen). Weitere Modifikationen zur Abtrennung sind z. B.:

- ▶ vom PET-Strom abtrennbare Labels (z. B. durch wasserlösliche Kleber),
- ▶ Erkennbarkeit nicht recyclingfähiger Verpackungen und Verpackungssteile erhöhen durch Einsatz von sog. Markierungssubstanzen (z. B. spezielle Additive, chemische Substanzen),
- ▶ Bevorzugen von losen anstelle von geklebten, geschweißten Einlagen.

Aspekte zur Umsetzung

Die Umsetzung erfordert die Vorgabe eines anerkannten Anspruchs an die Recyclingfähigkeit einer Verpackung, die anhand von Kriterien operationalisiert werden kann. Eine solche Definition sollte dann in die Lehre integriert und über Netzwerkarbeit verbreitet werden und so nach und nach in die Unternehmen der Verpackungsentwicklung und des Handels gelangen. Dabei kann auf bereits bestehende Netzwerke, existierende Guidelines und Bewertungskatalogen oder auch best-practice-Gestaltungen am Markt aufgebaut werden. Darüber hinaus sollten finanzielle Impulse angedacht und gesetzt werden, die eine Umsetzung durch den Handel und die Verpackungshersteller befördern (z. B. Lizenzentgelte, siehe Kapitel 4.2.5).

Für eine erfolgreiche und übergreifende Umsetzung der Maßnahme ist es wichtig, dass die Verpackungshersteller den Kreislaufgedanken in ihre Unternehmensphilosophie übernehmen und Verpackungsentwickler für das Thema gewinnen. Im Unternehmen sollten dafür Verantwortliche benannt werden, bei denen die Recyclingfähigkeit von Verpackungen explizit zu den Aufgabenschwerpunkten zählt. Nur so kann gewährleistet sein, dass Unternehmen den aktuellen Stand der Forschung und Technik kennen und umsetzen können. Zudem kann unternehmensintern sukzessive die gesamte Abteilung der Verpackungsentwicklung z. B. über interne Fortbildungen darauf ausgerichtet werden, Recyclingfähigkeit mitzudenken und umzusetzen. Über die Unternehmensgrenzen hinaus gilt es, auch den Kunden (Handel und Verbraucher) über Aspekte und Möglichkeiten einer recyclingfreundlichen Verpackungsgestaltung aufzuklären und den Handel davon zu überzeugen, diese Möglichkeiten zu nutzen und in die Anforderungsdatenblätter der Verpackungen zu übernehmen. Die im Rah-

men dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse über Möglichkeiten, die Recyclingfähigkeit von Verpackungen zu gewährleisten, sollten schließlich in die Lehrpläne der Hochschulen bzw. in Ausbildungen von Verpackungsdesigner einfließen.

Das Überdenken der Anforderungen an die Funktionalität der Verpackungen (z. B. an die maximale Haltbarkeit des Produktes) eröffnet ggf. Optionen mit Blick auf den Einsatz recyclingfreundlicher Materialien. Hier bedarf es insbesondere der internen und externen Überzeugungsarbeit (z. B. Entscheider im Unternehmen, Zulieferer bzw. Kunden), um recyclingfreundliche Lösungen zur Anwendung zu bringen.

Chancen, Risiken und Hemmnisse

Die Beachtung der beschriebenen Gestaltungsgrundempfehlungen kann an Hemmnissen scheitern wie beispielsweise Informationsdefiziten (siehe Kapitel 4.2.1) oder Zielkonflikten im Anforderungsprofil (z. B. Funktionalität vs. Recyclingfähigkeit), insbesondere aber auch an Budgetzwängen. Auch sind die Produktentwicklungs- und -lebenszyklen („Time to market“) häufig sehr eng gesetzt, so dass das Berücksichtigen einer neuen, zusätzlichen Anforderung wie der Recyclingfähigkeit schwer zu realisieren ist. Häufig fehlt es an einer Motivation, die dafür erforderlichen Anstrengungen in Kauf zu nehmen, da In-Verkehr-Bringer bzw. Verpackungshersteller nicht unmittelbar von der Maßnahme profitieren, sondern im Gegensatz dazu eher mit Mehrkosten rechnen müssen. Die Umsetzung hängt insgesamt sehr stark davon ab, ob die Funktionalität der Verpackung aufrechterhalten werden kann, das Preis-/Leistungsverhältnis vertretbar ist und der Kunde von der Notwendigkeit überzeugt werden kann. Zu beachten ist außerdem, dass recyclingfreundliche Verpackungen nicht immer die material-effizienteren und ökologisch besseren sind.

Die Chancen der Maßnahme bestehen einerseits entsorgungsseitig in besseren Recyclingausbeuten und Rezyklatqualitäten. Andererseits bietet sich für die an der Verpackungsgestaltung Beteiligten die Chance, die Recyclingfähigkeit im Kontext nachhaltiger Entwicklung und Ressourcenschonung als Imagegewinn und Differenzierungsmerkmal im Wettbewerb zu nutzen.

4.2.3 Versuchsreihen für spezifische Produkte und Materialien zur Beurteilung der tatsächlichen Recyclingfähigkeit und Auswirkungen auf Sekundärprodukte

Intention

Das grundsätzliche Verständnis der Entsorger zu den Herausforderungen, die beim Recycling von komplexer werdenden Verpackungen auftreten können, ist, dass

- ▶ die Funktionalität und der Produktschutz bei der Entwicklung einer Verpackung den höchsten Stellenwert und in Konsequenz Vorrang vor der Recyclingfähigkeit genießen und
- ▶ es eine grundsätzliche Aufgabe der Entsorgungswirtschaft ist, die Sortier- und Recyclingprozesse an sich verändernde Verpackungsgestaltungen anzupassen.

Insbesondere bei einer deutlichen Zunahme von komplex gestalteten Verpackungen könnte es für bestehende Stoffströme zu einer Beeinträchtigung der Recyclingausbeuten sowie der Qualität der Granulate kommen. Herausforderungen können bei Sortierung und Recycling aktiver/intelligenter Verpackungen insbesondere mit Multilayern, Additiven, Blends, Verpackungsein-/beilagen und RFID-Tags auftreten. Prinzipielle prozesstechnische Maßnahmen, um den Herausforderungen entgegen zu wirken, können u. a. sein:

- ▶ Prozessadditive zugeben: zum Lösen von Mehrschichtverbunden, zur Neutralisierung reaktiver Komponenten und zur Erzeugung erwünschter Eigenschaften des Rezyklats,
- ▶ Veränderung der Dichte des Trennmediums, z. B. Erhöhung durch die Zugabe von Salzen,
- ▶ Weitere Abtrennschritte, um spezielle bzw. störende Verpackungen aus dem Hauptstrom abzutrennen (z. B. nach Schwimm-Sink-Trennung, Trocknung, FE-Abscheider),
- ▶ Evtl. Erzeugung weiterer Outputfraktion aus Sortierung bzw. Produkte aus dem Recycling.

Über das Formulieren von möglichen, grundsätzlichen Herausforderungen und prozesstechnischen Lösungen hinaus, ist es aufgrund der geringen Mengenrelevanz schwer, für spezifische Verpackungsgestaltungen die konkreten Herausforderungen beim Recycling zu benennen. Um die möglicherweise künftig auftretenden Herausforderungen besser einschätzen zu können und mögliche Anpassungen zu entwickeln, ist deshalb die Analyse der tatsächlichen Recyclingfähigkeit bzw. Prozessauswirkungen spezifischer aktiver, intelligenter Verpackungen und Materialien über Versuche in realen Sortier-/Recyclinganlagen zielführend.

Aspekte der Umsetzung

Ziel sollte es dabei sein, konkrete, praktisch belegte Erkenntnisse darüber zu ermitteln, in welchem Umfang eine hochwertige Verwertung erfolgt und/oder wie relevant Herausforderungen für den Prozess Erfolg bestehender Stoffströme (Qualität, Ausbeute, etc.) sind. Der Fokus könnte dabei darauf gerichtet sein, durch Versuchsreihen zunächst Verpackungsgestaltungen, die heute bereits zu Herausforderungen beim Recycling führen können, in Ihren Auswirkungen besser kennenzulernen und gegebenenfalls prozesstechnische Sortier- und Recycling-Lösungen zu entwickeln. Die Durchführung der Versuche könnte umfassen:

- ▶ Definition der Versuchsziele: u. a. Beschreibung des Verhaltens von Verpackungen im Prozess,
- ▶ Beschreibung des Verbleibs in der Sortierung,
- ▶ Beschreibung des Verbleibs bzw. Abtrennbarkeit in der Dichtentrennung,
- ▶ Beschreibung des Verhaltens bei der Schmelzefiltration,
- ▶ Beschreibung der Rezyklateigenschaften und
- ▶ Definition des Anteils im Inputstrom, der zu einer Beeinträchtigung führt.

Für die Durchführung ist es wichtig, dass ein Anreiz (z. B. höhere Produktausbeuten beim Recycler) bzw. die Bereitschaft zur inhaltlichen und ggfs. auch finanziellen Kooperation zwischen Verpackungsherstellern und Recyclern besteht. Es muss sichergestellt werden, dass für entsprechende Versuchsreihen die entsprechenden Verpackungsmaterialien zur Verfügung gestellt werden. Der Versuch selbst sollte schließlich anhand sich ändernder Parameter (z. B. Anteil der aktiven Verpackungen im Inputstrom) durchgeführt und dokumentiert werden. Auf dieser Basis kann schließlich eine belastbare Auswertung und Bewertung der Versuche sowie die Ableitung von möglichen Prozessanpassungen und Empfehlungen für die Gestaltung erfolgen.

Zunächst sollten bekannte wesentliche Herausforderungen durch zusätzliche Versuchsreihen analysiert und konkretisiert werden und darauf aufbauend Anpassungen bzw. Weiterentwicklungen an bestehenden Anlagen vorgenommen werden (z. B. Erprobung alternativer bzw. zusätzlicher Trennprozesse).

Die Ergebnisse aus Versuchsreihen können einen wichtigen Input für den Dialog zwischen den Akteuren entlang der Wertschöpfungskette bilden (siehe Kapitel 4.2.1). Übergreifend können beispiels-

weise Erkenntnisse aus verschiedenen Versuchsreihen für alle interessierten Akteure nutzbar gemacht und Anforderungen an die hochwertige Verwertung aktiver und intelligenter Verpackungen beziehungsweise nicht recyclingfähige Gestaltungen konkretisiert und verbreitet werden.

Chancen, Risiken und Hemmnisse

Grundsätzlich sollte eine einfache und rasche Realisierung von Versuchsreihen möglich sein, da sie zunächst keine Anpassungen der bestehenden Prozesse erfordern. Auch ist die Sortierung und das Recycling von Leichtverpackungen mit Blick auf die eingesetzten Prozesse vergleichsweise standardisiert und ermöglicht damit prinzipiell die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse. Der Vorteil besteht insbesondere in der Erarbeitung fundierter Aussagen zur Recyclingfähigkeit spezifischer Verpackungen und zum Einfluss auf bestehende Produktströme. Nur so lassen sich Maßnahmen gezielt und für alle nachvollziehbar ableiten und die hochwertige Verwertung aktiver und intelligenter Verpackungen sowie die erforderlichen Ausbeuten und Qualitäten der Rezyklate sicherstellen. Die Ergebnisse können schließlich auch für die Vermarktung der Produkte (vgl. Kapitel 4.2.4) genutzt werden.

Die Übertragbarkeit auf abweichende Verpackungsgestaltungen, Prozessweisen bzw. Sekundärprodukte ist aufgrund der Komplexität z. T. begrenzt und die Zusammensetzung des Inputmaterials und die Prozessgestaltung können anlagenspezifisch variieren (Momentaufnahmen und isolierte Aussagen sind mit einer gewissen Unsicherheit belegt). Die Durchführung in bestehenden und kontinuierlich betriebenen Sortier- und Recyclinganlagen ist nicht ohne organisatorischen Aufwand und damit betrieblichen Aufwendungen zu realisieren. Eine nachgelagerte Hemmschwelle mit Blick auf die Anpassung der Sortier- und Recyclingtechnik kann sein, dass aus den Versuchsreihen resultierende Anpassungsempfehlungen u. U. sehr kostenintensiv sind (z. B. Investitionen in neue Trennapparate oder zusätzliche Kosten z. B. durch die Zugabe von Additiven in den Prozess) und damit trotz fundierter Erkenntnisse die Umsetzung aus betriebswirtschaftlichen Überlegungen nicht stattfindet.

4.2.4 Marketing für die Nutzung recyclingfähiger Verpackungen

Intention

Die Anforderungen, die der Kunde und somit insbesondere der Handel an eine Verpackung stellen, bestimmen die Verpackungsentwicklung und -gestaltung maßgeblich. Dabei legen die wenigsten Kunden heute dezidierten Wert auf gute Recyclingfähigkeit einer Verpackung nach Gebrauch. Größere Bedeutung haben dagegen Aspekte des Produktmarketings und der Funktionalität. Zusätzlich spielen Kostenaspekte eine große Rolle. Um vor diesem Hintergrund die Nachfrage bezüglich der Recyclingfähigkeit von Verpackungen zu steigern und damit auch die Berücksichtigung dieses Aspektes bei der Verpackungsgestaltung zu priorisieren, gilt es, die Vorteile recyclinggerechter Verpackungen gegenüber den Kunden (Handel und Verbraucher) besser zu präsentieren.

Aspekte zur Umsetzung

Von Seiten der Recyclingbranche, der Hersteller und Abpacker gilt es, insbesondere den Handel von der Notwendigkeit bzw. den Vorteilen einer verbesserten Recyclingfähigkeit von Verpackungen zu überzeugen, mit dem Ziel, dass dieser Recyclingaspekte in die Anforderungsprofile seiner Verpackungen übernimmt. Auch sollte er darüber informiert werden, welche Wechselwirkungen bestimmte funktionelle Anforderungen (z. B. längere Haltbarkeiten) auf die Recyclingfähigkeit haben können (z. B. Einsatz von Multilayern). Gegebenenfalls sollten alternative Gestaltungsmöglichkeiten

vorgeschlagen werden. Des Weiteren sollten auch die Verbraucher verstärkt über recyclingfreundliche Verpackungen informiert werden, um indirekt den Handel für die Umsetzung zu motivieren.

Eine Möglichkeit, das Marketing konkret zu verbessern und die Bedeutung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen bei der Kaufentscheidung zu erhöhen, wird in der Schaffung eines Siegels oder Zertifikats gesehen, das Aufschluss über die Recyclingfähigkeit einer Verpackung gibt. Hieran könnte der Handel anknüpfen und die Vorteile recyclingfähiger Verpackungen für die Vermarktung seiner Produkte gegenüber dem Kunden nutzen.

Bei einem solchen Siegel sollte geprüft werden, inwiefern auf bereits bestehende Zertifikate wie z. B. Blauer Engel, bestehende Beratungsangebote oder das Marketing von Unternehmen aufgebaut werden kann. Neben der Einbindung der Akteure entlang des Lebensweges einer Verpackung sollten auch unabhängige Zertifizierungsstellen und Marketingagenturen in die Erarbeitung mit einbezogen werden.

Darüber hinaus bedarf es entsprechender Medienarbeit sowie Information und Aufklärung der Verbraucher, um z.B. zu verdeutlichen, welche Merkmale recyclingfähige Verpackungen aufweisen und welches die korrespondierenden Umwelt-Vorteile sind.

Grundlegend für die Umsetzung dieser Maßnahme ist es, die Definition von Recyclingfähigkeit zu konkretisieren und anhand konkreter Beispiele recyclingfähiger Verpackungen eine Marketingstrategie zu entwickeln und für die Öffentlichkeitsarbeit zu nutzen.

Chancen, Risiken und Hemmnisse

Eine Verstärkung des Marketings und insbesondere die Schaffung eines Siegels, das Auskunft über die Recyclingfähigkeit einer Verpackungen gibt, würden die Wahrnehmung beim Verbraucher und Handel beeinflussen und im besten Falle dazu beitragen, dass Recyclingaspekte bereits bei der Verpackungsentwicklung mit aufgenommen werden.

Da ein verstärktes Marketing oder auch die Schaffung eines Siegels nicht ohne Mehrkosten durchführbar sind, können solche Anstrengungen allerdings dazu führen, dass diese am Ende auf den Verbraucher umgelegt werden. Auch ist der Missbrauch eines solches Siegel nicht auszuschließen und der Aufwand für die Überprüfungen muss deshalb beachtet werden.

Ein weiteres Hemmnis für die Umsetzung kann sein, dass heute Recyclingfähigkeit als Marketingaspekt vergleichsweise nur bedingt attraktiv ist.

4.2.5 Recyclingfähigkeit in der Lizenzentgeltbemessung der dualen Systeme berücksichtigen

Intention

Es fehlt aktuell ein starker, insbesondere ökonomischer Anreiz für Verpackungshersteller bzw. Inverkehrbringer, die Recyclingfähigkeit von Verpackungen stärker zu berücksichtigen. Mit den Lizenzentgelten der Inverkehrbringer von Verkaufsverpackungen an die Dualen Systeme ist heute zwar ein Instrument etabliert, das grundsätzlich Einfluss auf die Gestaltung von Verpackungen entfalten kann. Heute erfolgt die Entgeltbemessung allerdings auf Basis eines materialspezifischen Gewichtsentgelts. Dadurch werden Impulse induziert in Richtung Gewichtsreduktion beziehungsweise Materialkombinationen unter Verwendung preisgünstigerer Verpackungsmaterialien (z. B. Papier-Kunststoff-Kombinationen).

Die Recyclingfähigkeit der Verpackung nach Gebrauch findet noch keine Abbildung. Die Lizenzentgeltbemessung könnte um diesen Aspekt ergänzt werden. Die Lizenzentgelte würden so anhand der Faktoren Gewicht, Material und Recyclingfähigkeit ermittelt. Bemessungsziel, das heißt Gegenstand der Lizenzentgeltermittlung bleibt dabei die Verpackung. Ein denkbarer Ansatz wäre, das Bemessungsziel auf das System aus Produkt und Verpackung zu erweitern, um so, durch eine lebenswegbezogene Bewertung, den originären Verpackungsfunktionen wie Produktschutz und -haltbarkeit Rechnung zu tragen. Dies erscheint auf Basis der bisherigen Erfahrungen mit Ökobilanzen in Verpackungsbereich aber nicht praktikabel, da in der Ausführung zu aufwendig, komplex und von den getroffenen Annahmen abgängig.

Aspekte zur Umsetzung

Ausgangspunkt der Umsetzung bildet das bisherige Modell einer material- und gewichtsspezifischen Ermittlung der Entgelte. Die Lizenzentgeltbemessung obliegt grundsätzlich den dualen Systemen. Die zusätzliche Berücksichtigung der Recyclingfähigkeit erfordert deshalb die Abstimmung mit allen dualen Systemen. Einen Impuls zur Berücksichtigung der Recyclingfähigkeit durch die dualen Systeme gibt der Entwurf des BMUB zum geplanten Verpackungsgesetz. In § 21 des Entwurfs wird eine grundsätzliche Verpflichtung an die Betreiber der Dualen Systeme zur Förderung der werkstofflichen Verwertbarkeit adressiert. Die Betreiber der dualen Systeme sollen verpflichtet werden

- ▶ Anreize zu treffen, um bei der Herstellung von Verpackungen und stoffgleichen Nichtverpackungen die Verwendung von Materialien zu fördern, die zu einem möglichst hohen Prozentsatz stofflich verwertet werden können.
- ▶ Fehlanreize zu vermeiden, indem sie bei der Lizenzentgeltbemessung wesentliche Besonderheiten von Materialkombinationen oder Materialeigenschaften im Hinblick auf die tatsächliche Praxis der Sortierung und Verwertung sowie der Vermarktungsfähigkeit der Rezyklate berücksichtigen.

Für die Berücksichtigung der Recyclingfähigkeit sollten z. B. mit Blick auf die erforderliche Konkretisierung des Anspruchs an das Recycling und die zugehörigen Bewertungskriterien weitere Interessengruppen wie BMUB/UBA bzw. die im Rahmen des Verpackungsgesetzes vorgesehene Zentrale Stelle, die Wissenschaft und die Verwerter eingebunden werden.

Gut recyclingfähige Verpackungen können im Vergleich zu stoffgleichen, aber nicht recyclinggerechten Lösungen leichter, in besserer Qualität der Produkte und dadurch in vielen Fällen kostengünstiger recycelt werden. Die sich so ergebenden ökonomischen Vorteile sollten sich in den Lizenzgebühren der Dualen Systeme widerspiegeln, um so einen Anreiz für die Verpackungsgestaltung bei den Inverkehrbringern zu schaffen.

Die Abbildung der Recyclingfähigkeit im Rahmen der Lizenzentgeltbemessung könnte in Form von Boni für recyclebare Verpackungen erfolgen. Die Vergütung von Boni könnte dabei die Akzeptanz der Maßnahme bei den Inverkehrbringern, als Ausdruck einer Würdigung für entsprechende Bemühungen, fördern. Außerdem könnte das Vergüten eines Bonus als Beleg für die Recyclingfähigkeit der eigenen Verpackung und somit als Marketing- bzw. Imageanreiz für den Inverkehrbringer interessant sein.

Vor diesem Hintergrund ist im Rahmen der Umsetzung zu konkretisieren, welcher Anspruch an das zu belohnende Recycling bzw. die Recyclingfähigkeit einer Verpackung gestellt werden soll. Bei der Formulierung des Anspruchs an das Recycling wird beispielsweise zu diskutieren sein, ob Recycling im Wesentlichen dadurch charakterisiert wird, dass aus Verpackungsabfällen Sekundärmaterialien erzeugt werden, die in entsprechenden Anwendungen materialgleich Primärware ersetzen.

Entsprechend sind die Kriterien für die Bewertung der Recyclingfähigkeit zu formulieren. Zur Sicherung der Akzeptanz und der Anwendbarkeit sollen die Kriterien möglichst klar und einfach formuliert werden. Die Kriterien sollen außerdem regelmäßig überprüft und bei Bedarf angepasst werden, um so Entwicklungen in den Bereichen Verpackungsgestaltung, Sortier- und Recyclingtechnik Rechnung zu tragen. Der Entwurf des BMUB zum geplanten Verpackungsgesetz sieht in § 21 Abs 3 vor, dass jährlich Mindeststandards für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von der Zentralen Stelle im Einvernehmen mit dem Umweltbundesamt veröffentlicht werden. Vorschläge für eine weitergehende Bewertung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen werden in (Institut cyclos-HTP 2015) vorgestellt. Der dort formulierte Bewertungskatalog berücksichtigt Kriterien, die sowohl die Zusammensetzung der Verpackung (z. B. Anteil rezyklierbarer Stoffe) als auch das Verhalten der Verpackung im Rahmen der Sortierung und des Recycling (z. B. Identifizierbarkeit bei NIR-Reflexionsmessung) umfassen.

Bei der Konkretisierung des Anspruchs und der Kriterien ist die Rückkopplung mit den Erfahrungen aus der Praxis der Sortierung und dem Recycling von Verpackungsabfällen erforderlich.

Alle dualen Systeme profitieren im Rahmen der Verwertung von recyclingfähigen Verpackungen. Dementsprechend könnte über ein Fondskonzept, in das alle Dualen System einzahlen, die Auszahlung der Boni an die Inverkehrbringer übergreifend geregelt werden.

Chancen und Risiken

Eine Chance bei der Berücksichtigung der Recyclingfähigkeit in den Lizenzentgelten der dualen Systeme liegt in der potenziell hohen Lenkungswirkung mit Blick auf die Verpackungsgestaltung, die ein finanzieller Anreiz bei entsprechender Höhe haben kann. Um eine Lenkungswirkung entfalten zu können, müssen die Kostenvorteile bei der Lizenzierung recyclinggerechter Produkte für den Hersteller eine anreizende Höhe erreichen. Die monetäre Bewertung der Recyclingfähigkeit im Rahmen der Lizenzentgeltbemessung obliegt dabei den unternehmerischen Strategien der jeweiligen dualen Systeme. Die Lizenzentgelte stellen ein wesentliches Merkmal zur Differenzierung im Wettbewerb der dualen Systeme dar. Die Bereitschaft zur Etablierung dieser Maßnahme bei den beteiligten Wirtschaftskreisen ist deshalb die Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung.

Die benötigten fachlich fundierten Kriterien zur Bemessung der Recyclingfähigkeit werden helfen, die Anforderungen an die recyclinggerechte Gestaltung für die Inverkehrbringer konkreter und transparenter zu machen und insbesondere bei den Inverkehrbringern den Anreiz setzen, sich mit den entsprechenden Anforderungen auseinander zusetzen.

Die Recyclingfähigkeit ist ein bedeutsames, aber nicht das alleinige Kriterium für eine umweltbezogene Bewertung einer Verpackungslösung. Bei Betrachtung einer umweltbezogenen Bilanz des Gesamtlebensweges einer Verpackung bzw. des Systems Verpackung und Produkt können neben der Recyclingfähigkeit auch Aspekte wie der effiziente Einsatz von Verpackungsmaterialien oder die Verlängerung der Produktlebensdauer durch aktive Verpackungen von größerer Bedeutung sein.

5 Quellenverzeichnis

- Brody, Aaron L. (2007): A chronicle of intelligent packaging. In: Wilson, Charles: Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables. Boca Raton, USA.
- Brody; Aaron L.; Strupinsky, Eugene R.; Kline, Lauri R. (2001): Active Packaging for Food Applications. Boca Raton, USA.
- bvse (2016): Glasrecycling – ein in sich geschlossener Materialkreislauf. www.bvse.de/342/491/4. aufgerufen am 24.02.2016
- Erdmann, Lorenz et al. (2009): Einfluss von RFID-Tags auf die Abfallentsorgung. Dessau-Roßlau
- Europäisches Parlament (2009): Verordnung (EG) Nr. 450/2009 über aktive und intelligente Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen. Amtsblatt der europäischen Union 30.05.2009
- Institut cyclos-HTP (2015): Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit. Anforderungs- und Bewertungskatalog des Institutes cyclos-HTP. Fassung 3.1. Stand 27.02.2015. [cyclos-htp.de/fileadmin/templates/pdf/ Pruefung_und_Testierung_der_Recyclingfaehigkeit_-_Anforderungs-_und_Bewertungskatalog_des_Instituts_cyclos-HTP_-_Stand_27_02_2015_-_Fassung_3_1.pdf](http://cyclos-htp.de/fileadmin/templates/pdf/Pruefung_und_Testierung_der_Recyclingfaehigkeit_-_Anforderungs-_und_Bewertungskatalog_des_Instituts_cyclos-HTP_-_Stand_27_02_2015_-_Fassung_3_1.pdf). Aufgerufen am 23.03.2016
- Han, Jun H. (2003): Antimicrobial food packaging. In: Novel food packaging techniques. Cambridge, Großbritannien.
- Han, Jun H (2005): Intelligent Packaging. Innovation in Food Packaging. San Diego, USA.
- Labuza, Theodore P., Breene, M.W (1989): Applications of “active packaging” for improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf-life foods. Journal of Food Processing and Preservation 13 (1).
- Pant, Astrid; Reinelt, Matthias; Dorn, Julia; Sänglerlaub, Sven; Stramm, Cornelia: Gallic acid as oxygen scavenger in food packaging materials. Advances in Food Processing – Challenges for the future. 5.-7. November 2014, Campinas, Sao Paulo, Brasilien.
- Realini, C. E.; Marcos, B. (2014): Active and intelligent packaging systems for a modern society. Meat Science 98 (3).
- REID Resource Efficient Innovations Database (2016): Ethylene remover with superior adsorption performance. <http://reid.wrap.org.uk/item.php?id=273>. Aufgerufen am 03.03.2016
- Rooney, Michael. L. (1995): Overview of active food packaging. In: Active food packaging. M. L. Rooney. Dordrecht, Netherlands
- Sänglerlaub, Sven (2011): Palladium based oxygen scavengers. Cornet AIP Final Conference – Active and Intelligent Packaging. 12.-13.10.2011, Freising, Deutschland.
- securPharm (2013): Regeln zur Codierung verifizierungspflichtiger Arzneimittel im deutschen Markt zum Schutz vor Arzneimittelfälschungen. Version 1.03. securPharm e.V.; <http://www.securpharm.de/pharma/codierungsregeln.html>; aufgerufen am 11.07.2016
- Scriba, Michael (2014): Recycling-compatible design and its effect on the recyclability of plastics. Düsseldorf
- Singh, Preeti; Abas Wani, Ali; Sänglerlaub, Sven (2011): Active packaging of food products: recent trends. Nutrition & Food Science 41 (4).
- Suppakul, Panuwat; Miltz, Joseph; Sonneveld, Kees; Bigger, Stephen W (2003): Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. Journal of Food Science 68 (2):408-420.
- Veolia (2016): URRC-Verfahren. <http://www.pet.veolia-umweltservice.de/urrc>
- Vermeiren, L., Devlieghere F., van Beest, M., de Kruijf, N., Debevere, J. (1999). Developments in the active packaging of foods. Trends in Food Science & Technology 10(3): 77-86.
- Werner & Mertz Gruppe (September 2013): Nachhaltigkeitsbericht mit integrierten Umwelterklärungen. http://www.business-and-biodiversity.de/fileadmin/user_upload/documents/The_Good_Companies/Nachhaltigkeitsberichte/Werner___Mertz_2013.2014_Nachhaltigkeitsbericht.pdf. aufgerufen am 04.04.2016

6 Anhang

6.1 Ergänzende Informationen zu ausgewählten Anwendungen für aktive und intelligente Verpackungen

Tabelle 6-1: Technische Beschreibung ausgewählter aktiver und intelligenter Systeme

Funktion	System	Aktive Substanz	Integration der aktiven Substanz	Ausführungsbeispiele	Quelle
Absorption von flüssigem Wasser / Absorption von Flüssigkeit aus Produkt	Saugeinlage, eingelegt oder durch Klebepunkt bzw. Siegelpunkt fixiert in Schalen aus PS, PP oder PET	Superabsorber (Polyacrylate); Zellstoff	Mehrschichtige Saugeinlage: PE // Zellstoff und/oder Superabsorber // PE	Schale aus Polystyrol, 14,2 x 25 cm; Gewicht: 9,7 g Saugeinlage, 7 x 12,5 cm,; Gewicht trocken 1,5 g; Gewicht nach Wasseraufnahme: 23,8g; Gesamtgewicht trocken: 11,2 g; Gesamtgewicht nass: 33,5 g	[1], [2], [3]
Absorption von Wasserdampf aus dem Kopfraum	Sachets, eingelegt in Verpackung	Silicagel Molekularsieb (ggf. Bentonit)	Sachet aus Papier oder Tyvek® (PE-Vlies) mit verschiedenen Mengen Absorber	Sachet aus Papier 6,7 x 5 x 0,5cm; 5 g Silicagel; absorbiert bis zu 36 % (w/w) Wasserdampf; → Gesamtgewicht Sachet nach Wasseraufnahme; 6,8 g Bentonit absorbiert bis zu 22 % (w/w), Molekularsieb bis 20 % (w/w) Wasserdampf	[3], [7], [9]
Aktive Barriere für Wasserdampf	Blisterverpackung	Calciumoxid (CaO)	CaO dispergiert in einer Polymerschicht (z. B. PE) der Verbundfolie	Folienaufbau: PA 25 µm // Al 45 µm // EAA 10 g/m ² // PE+CaO(50%) 35 g/m ² // HDPE 5 g/m ² → 17 g CaO pro m ² Folie	[4],[5]
Absorption von Wasserdampf aus dem Kopfraum	Verschluss („Stopfen“) für Tablettenröhrchen	Silicagel, Molekularsieb, Bentonit	Absorber(gemisch) in Kammer integriert in Stopfen	Verschluss z. B. aus LDPE, Masse Absorber nicht bekannt	[11], [12], [13]

Funktion	System	Aktive Substanz	Integration der aktiven Substanz	Ausführungsbeispiele	Quelle
Absorption Wasserdampf aus dem Kopfraum	Tablettenröhrchen	Molekularsieb	Molekularsieb dispergiert in innerer Schicht des Röhrchens	Röhrchen incl. Deckel (h=90 mm;, d=30mm): 20,5 g Mehrschichtaufbau des Röhrchens: PE oder PP // PE+Molekularsieb (Menge nicht bekannt)	[3], [6], [14],
Absorption Wasserdampf aus dem Kopfraum	Kapseln	Silicagel, Molekularsieb, Bentonit	Pulver enthalten in Kapsel	0,5 bis 3 g Absorber in Kapsel aus HDPE	[23], [24]
Aktive O ₂ -Barriere, O ₂ -Aufnahme aus dem Kopfraum	Flaschenverschluss, verschraubt mit PET-Flasche	Natriumsulfit (Na ₂ SO ₃)	Verschluss aus PP oder HDPE; Natriumsulfit integriert in Liner aus Polyolefin, z. B. PE, eingepresst /eingelegt/ingesiegelt	28 mm Verschluss, ca. 3g; davon ca. 0,1g bis 0,15 g Linermaterial; max. 7 % (w/w) des Liners Natriumsulfit → ca. 10 mg/Verschluss	[4], [6]
O ₂ -Barriere, O ₂ Aufnahme aus dem Kopfraum	Kronkorken, befestigt auf Glasflasche	Natriumsulfit (Na ₂ SO ₃)	Natriumsulfit integriert in Liner aus Polyolefin, z. B. PE, eingepresst in Kronkorken	26 mm Kronkorken, ca. 2.2 g, davon 0,1g bis 0,15 g Linermaterial; max. 7 % (w/w) des Liners Natriumsulfit →ca. 10 mg/Verschluss	[4],[10]
aktive O ₂ -Barriere	PET-Flaschen	Polyamid-Co-polymer PA-MXD ₆ (meta—xylene diamine-adipic acid)	Polymergemisch (Blend) aus PET und PA-MXD ₆	2 bis 5 % (max. 8) (w/w) MXD ₆ Anteil in der Flasche Flasche: 24 g → 0,5 bis 1,2 g MXD ₆ / Flasche Katalysator: Kobaltsalze, z.B., ca. 50-200 ppm	[4],[15]
aktive O ₂ -Barriere	Menüschalen	Eisenpulver	Aufbau der Schale: PP // EVOH // PP // Absorber+PP // PP Eisenpulver gemischt mit Natriumchlorid (NaCl)	Menüschale 20 g; Anteil Absorberschicht 10-20% (w/w); Eisengehalt in Absorberschicht ca. 10-20% (w/w) → ca. 1-4 % Eisen pro Schale, 0,1-0,4 % NaCl	[4], [6], [16]
aktive O ₂ -Barriere	Deckelfolien oder Schalen	Polyoctenamer	Polymerblend mit PE, eingesetzt als Schicht im Mehrschichtverbund	PA 40 µm // PE 85 % (w/w)+Polyoctenamer 15 % (w/w), 70 µm // PE 25 µm	[22]

Funktion	System	Aktive Substanz	Integration der aktiven Substanz	Ausführungsbeispiele	Quelle
Absorption von O ₂ aus dem Kopfraum	Sachets, eingelegt in Verpackung	Eisenpulver	Sachets: Tyvek® (PE-Vlies) Eisenpulver, je nach Anwendung kombiniert mit Salzen (NaCl, CaCl ₂)	ca. 10 g Polyoctenamer pro m ² Folie Sachet 40 x 40 mm, 2,2 g Gesamtgewicht. Sachets verfügbar mit 0,1 bis 10 g Absorber	[3], [6]. [17]
Ethylen-Absorption aus dem Kopfraum	Sachets, eingelegt in Verpackung	Kaliumpermanganat	Sachets: Tyvek® (PE-Vlies) Kaliumpermanganat aufgezogen auf Trägermaterial (Pulver)	Sachets verfügbar mit 4 bis 100 g Absorber	[20]
Ethylen-Absorption aus dem Kopfraum	Sachets, eingelegt in Verpackung	Zeolithe	Sachets: Tyvek® (PE-Vlies) Zeolithpulver	Sachets verfügbar mit 3, 10 oder 30 g Absorber	[6], [19]
Antimikrobielle Wirkung	Folie	z. B. Silberionen oder Konservierungsstoffe wie Sorbinsäure	Silberionen: dispergiert in Polymer, verwendet als Beschichtung Sorbinsäure: dispergiert in Lack, Verwendung als Beschichtung	nicht verfügbar	[3],[6], [18]
Zeit-Temperatur-Anzeige	Indikator-Label aufgeklebt auf Verpackung (innen oder außen)	Farbstoff	gedruckt auf Label, Label aufgeklebt auf Kunststoff-Verpackung	Farbstoff: Methylenblau Mehrschichtiges Label mit UV Schutzschicht Klebstoff nicht wasserlöslich	[6], [21]

- (1) McAirLaid (2015) <http://www.cryovac.com/NA/EN/food-packaging-products/driloc-meat-fish-poultry.aspx>, abgerufen am 28.08.2015
- (2) Cryovac (2015) <http://www.meatpads.info/en/#c948>, abgerufen am 28.08.2015
- (3) Fraunhofer IVV (2015); Ergebnisse eigener Untersuchungen (nicht veröffentlicht)
- (4) Persönliche Mitteilung Prof. K. Müller, Hochschule Kempten 03.08.2015
- (5) Amcor(2013): Produktinformation Formpack®
- (6) Persönliche Mitteilung Dipl.-Ing. S. Sänglerlaub, Fraunhofer IVV, 01.09.2015
- (7) Trockenmittel-Shop (2015) <http://www.trockenmittel-shop.de/shop/cgi-bin/shop.dll?SESSIO-NID=0462104547070339&AnbieterID=34>, abgerufen am 28.08.2015
- (8) Wisepack (2015) <https://www.silicagel.de/Produktwelten/>, abgerufen am 28.08.2015
- (9) Friedrich Sanner GmbH & Co. KG (2015): Produktinformationen AdPack®
- (10) W. R. Grace & Co.(2015): <https://grace.com/packaging/en-us/oxygen-scavenging-technology>, abgerufen am 01.09.2015
- (11) Verpacken-aktuell (2011) <http://verpacken-aktuell.de/artikel/2011/5/27/neue-trockenmittelverpackung-cr-fliptop/>, abgerufen am 01.09.2015
- (12) Packworld.com (1998) <http://www.packworld.com/package-component/closures/sud-chemie-performance-packaging-tablet-packaging>, abgerufen am 27.08.2015
- (13) Clariant (2015) <http://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2013/12/09/18/30/Tubes--Desiccant-Stopppers>, abgerufen am 01.09.2015
- (14) Clariant (2015) <http://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2013/12/09/18/27/HAT-HANDY-ACTIVE-TUBES>, abgerufen am 01.09.2015
- (15) Taub, I. A., & Singh, R. P. (Eds.). (1997). Food storage stability. CRC Press. S.287
- (16) Kunststoff-Magazin (2014) <http://www.kunststoff-magazin.de/spezialcompounds/mit-shelfplus-o2-ausgestattete-barriere-verpackungen-eignen-sich-fuer-lebensmittel.htm>, abgerufen am 30.07.2015
- (17) Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc (2011): Produktinformationen Ageless®
- (18) Realini, C. E. and B. Marcos (2014). "Active and intelligent packaging systems for a modern society." Meat Science 98(3): 404-419
- (19) Drypac Industries (2015) <http://www.drypak.com/ethyleneAbsorbers.html>, abgerufen am 01.09.2015
- (20) Everfresh (2015). Produktinformationen EthySachet
- (21) Bizerba GmbH & Co.KG (2015) Produktinformation OnVu™
- (22) Schwager, Florian (2013): Polyoctenamer – A possible solution for intelligent Food Packaging. Freisinger Tage 2013, 28.11.2013.
- (23) Clariant (2015) <http://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2013/12/09/18/25/DESICCANT-CANISTERS--CAPSULES>, abgerufen am 02.09.2015
- (24) Multisorb Technologies (2015) <http://www.multisorb.com/products-and-systems/sorbicap-desiccant-canisters/>, abgerufen am 02.09.2015

6.2 Experteninterviews

Gemeinsam mit dem Auftraggeber wurden potenzielle Gesprächspartner ausgewählt, die zum einen als im Themenfeld kenntnisreiche Experten, zum anderen aber auch als gut vernetzte Kenner und exemplarische Vertreter der wichtigsten Akteursgruppen ihr Wissen beisteuern konnten.

Die Interviewpartner kamen aus folgenden Bereichen:

- ▶ Verpackungsgestaltung und -herstellung
- ▶ Verpackungsanwender: Handel, Abfüller und Abpacker
- ▶ Fachverbände
- ▶ Sortierung, Aufbereitung, Recycling
- ▶ Beratung und Entwicklung

Neben der spezifischen Wahrnehmung der Auswirkungen von aktiven und intelligenten Verpackungen auf die Verwertungsprozesse wurden die individuellen Interessenlagen sowie erste Lösungsansätze gesammelt. Dafür wurden telefonisch 17 jeweils einstündige, leitfadengestützte Expertenexplorationen durchgeführt. Diese Methode wurde gewählt, um Offenheit und Raum für das Wissen und die Erfahrungen der Befragten zu lassen.

Der Leitfaden umfasste folgende Fragestellungen:

- ▶ Bedeutung und Problematik aktueller Trends in der Verpackungsgestaltung (allgemein sowie bezogen auf aktive und intelligente Verpackungen)
- ▶ Bekanntheit aktiver und intelligenter Verpackungen und Markbedeutung
- ▶ Probleme bei der Berücksichtigung von Recyclingfähigkeit bei der Gestaltung und Herstellung von Verpackungen (allgemein und bei aktiven und intelligenten Verpackungen)
- ▶ Bewusstsein über Probleme, die speziell beim Recycling von aktiven und intelligenten Verpackungen auftreten können
- ▶ Mögliche und bereits auftretende Probleme im Recyclingprozess (Verbleib der aktiven und intelligenten Verpackungen und dessen Konsequenz für nachfolgende Prozesse, Konsequenzen für Sekundärprodukte)
- ▶ Beleuchtung ausgewählter Verpackungssysteme bzw. -bestandteile hinsichtlich der Möglichkeiten zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit
- ▶ Konfligierende Ansprüche an Funktionalität sowie Informationsbedarfe der einzelnen Akteursgruppen
- ▶ Bestehender Kontakt bzw. Austausch mit anderen Akteuren entlang des Lebenswegs von Verpackungen
- ▶ Handlungsmöglichkeiten zur Sicherstellung der hochwertigen Verwertung aktiver und intelligenter Verpackungen und zur Vermeidung negativer Auswirkungen auf die bestehende hochwertige Verwertung

Die folgende Tabelle fasst die Interview-Partner zusammen.

Tabelle 6-2: Experteninterviews (in alphabetischer Reihenfolge)

Nr.	Titel	Name	Vorname	Institution
1		Augustin	Rolf	Augustin Entsorgung
2		Bentele	Hanns-Joerg	Reiling Kunststoffrecycling GmbH
3	Dr.	Bruder	Jürgen	IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V.

Nr.	Titel	Name	Vorname	Institution
4	Dr.	Bosewitz	Stefan	Ingenieurbüro Bosewitz
5	Dr.	Christiani	Joachim	HTP GmbH & Co. KG
6	Dr.	Heyde	Michael	DSD Resource GmbH
7		Jesdinszki	Marius	Fraunhofer IVV
8		Pescher	Georg	ALPLA Werke Alwin Lehner GmbH & Co KG
9		Rad	Niklas	RPC Bebo Plastik GmbH
10		Rauschenbach	Olaf	Holsten Brauerei AG
11	Dr.	Scriba	Michael	mtm plastics GmbH
12		Schultz	Roland M.	ALBIS PLASTIC GmbH
13	Dr.	Schmidt	Michael	Hochland SE
14		Snell	Herbert	MULTIPET Gesellschaft für PET Recycling mbH
15	Dr.	Textor	Dirk	Dr. Textor Kunststoff GmbH
16		Würz	Rainer	tegut... gute Lebensmittel GmbH & Co. KG
17		N.N.	N.N.	Recyclingunternehmen

Die Interviews wurden mit Einverständnis der Interviewpartner aufgezeichnet, transkribiert und inhaltsanalytisch mit Hilfe der Analysesoftware MAXQDA ausgewertet. Die Ergebnisse flossen anonymisiert in die ingenieurwissenschaftliche Analyse der Probleme und Herausforderungen bei der Verwertung aktiver und intelligenter Verpackungen sowie in die Erarbeitung der Handlungsempfehlungen zur Sicherstellung der Recycling-Kreisläufe ein.

6.3 Informations- und Dialogveranstaltung am 15.03.2016 am Umweltbundesamt in Dessau

Ziel der Informations- und Dialogveranstaltung war, Akteure entlang des Lebenswegs von Verpackungen in einen intensiven Diskurs zu bringen und einen Dialogprozess in Gang zu setzen, da die Lösung anstehender Probleme die Zusammenarbeit aller Beteiligten vom Beginn bis zum Ende des Lebenswegs einer Verpackung erfordert. Die Veranstaltung war als eintägiger Workshop konzipiert und hatte einen stark diskursiven Charakter. Am Ende sollten gemeinsame Handlungsoptionen zur Problemlösung stehen.

Zu Beginn der Veranstaltung wurden die Projektergebnisse zum Einsatz aktiver und intelligenter Materialien sowie den Herausforderungen beim Recycling aktiver und intelligenter Verpackungen vorgestellt. Anschließend wurden in Arbeitsgruppen zum Thema „Aktive und intelligente Verpackungen – Recyclingkreisläufe sicherstellen“ diskutiert, welche Aktivitäten es bisher gibt, wo Grenzen liegen und wie sich die Akteure entlang des Lebenswegs gegenseitig unterstützen könnten, um die Recyclingkreisläufe sicherzustellen. Die Ergebnisse der Gruppenarbeit wurden zusammengeführt und im Plenum vorgestellt.

Im zweiten Teil der Veranstaltung wurden Maßnahmenideen zur Sicherstellung der hochwertigen Verwertung von Verpackungen in einer Galerie ausgestellt und hinsichtlich ihrer Effektivität von den Teilnehmern bewertet. Aus dieser Priorisierung gingen die Maßnahmen hervor, die im Rahmen eines

„World Café“ ergänzt und ausgearbeitet wurden. Auch diese Ergebnisse flossen in die Erarbeitung der Handlungsempfehlungen mit ein.

Die Teilnehmer der Dialog-Veranstaltung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 6-3: Teilnehmerliste Dialogveranstaltung (in alphabetischer Reihenfolge)

Nr.	Titel	Name	Vorname	Institution
1		Altes	Peter	AIM-D e.V.
2	Dr.	Bosewitz	Stefan	Ingenieurbüro Bosewitz
3	Dr.	Christiani	Joachim	HTP GmbH & Co. KG
4		Désilets	Peter	Pacoon AG
5		Fliegau	Fritz	Neluplast Tiefzieh-Technik GmbH
6		Gericke	Ralf	Papiertechnische Stiftung
7	Dr.	Kaßmann	Monika	Deutsches Verpackungsinstitut
8		Köhler	Alexander	Fraunhofer-Arbeitsgruppe SCS
9		Kotschik	Gerhard	Umweltbundesamt
10		Kovacs	Daniel	Umweltbundesamt
11	Dr.	Krüger	Franziska	Umweltbundesamt
12		Pescher	Georg	ALPLA Werke Alwin Lehner GmbH & Co KG
13		Rad	Niklas	RPC Bebo Plastik GmbH
14		Schultz	Roland	ALBIS PLASTIC GmbH
15	Prof. Dr.	Seitz	Mathias	HS Merseburg
16		Schnepel	Christiane	Umweltbundesamt
17		Snell	Herbert	MULTIPET Gesellschaft für PET Recycling mbH