



Universität für Bodenkultur Wien

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

**Aluminiumverbunde – Wieviel, Worin, Wohin?
Eine Abschätzung des Aufkommens und
Rückgewinnungspotenzials von Aluminium in
Verbundverpackungen in Österreich**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

im Rahmen des Studiums

Umwelt und Bioressourcenmanagement

eingereicht von

Sabrina Lichtnegger, BSc

Matr. Nr.: 1008008

Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik

Institut für Verfahrens- und Energietechnik

Betreuer: Assoc. Prof. Dr. Johann Fellner

Mitbetreuer: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Tobias Pröll

Wien, August, 2017



Danksagung

Mein Dank gilt Assoc. Prof. Dr. Johann Fellner für die ausgezeichnete fachliche Betreuung meiner Abschlussarbeit. Ich möchte mich auch bei Dipl. Ing. Rainer Warrings für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung meiner Masterarbeit bedanken. Dank gilt auch dem Institut für Wassergüte, Ressourcengüte Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der TU Wien sowie dem Christian Doppler Labor für Anthropogene Ressourcen für die großzügige Unterstützung meiner Abschlussarbeit. Zudem möchte ich mich auch bei Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Tobias Pröll für die fachliche Unterstützung und Kooperation mit der TU Wien bedanken.

Vielen Dank möchte ich meiner Familie aussprechen, die mir durch ihre emotionale und finanzielle Unterstützung meine Ausbildung ermöglicht hat. Ein großer Dank gilt auch meinem Partner Christoph, der mich in allen Höhen und Tiefen unterstützt hat. Zu guter Letzt möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich während meiner Studienzeit begleitet haben.

Sabrina Lichtnegger, BSc

Kurzfassung

Aluminium wird aufgrund seiner einzigartigen Werkstoffeigenschaften vielfältig für Verbundverpackungen eingesetzt. Die Gewinnung und der Einsatz von Primäraluminium ist aus ökologischen Gründen kritisch zu betrachten, weshalb das Aufkommen sowie das Recycling des Metalls in den Fokus rücken. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde mittels intensiver Literaturrecherche, qualitativen Experteninterviews und einer Materialanalyse (ICP-OES), das Aufkommen von Aluminium in Verbundverpackungen in Österreich abgeschätzt. Des Weiteren wurde das stoffliche Rückgewinnungspotenzial von Aluminiumverbunden analysiert. Die optische Atomemissionsspektroskopie von Verbundverpackungen spezifischer Anwendungsbereiche, ergab einen durchschnittlichen Aluminiumgehalt von 0,17% bei Snackverpackungen und 15% bei Kaffeebeuteln. Das jährliche Aufkommen im Anwendungsbereich Snacks wird auf etwa 2 t Aluminium, jenes im Anwendungsbereich Kaffee auf etwa 220 t Aluminium und das bei Getränken (Getränkeverbundkarton) auf rund 570 t Aluminium eingeschätzt. Die österreichweite Abschätzung ergab ein Gesamtaufkommen von etwa 1.800 ± 340 t Al in Verbundverpackungen pro Jahr. Das stoffliche Rückgewinnungspotenzial dieses Aluminiums ist derzeit jedoch vernachlässigbar. Alle Materialverbunde werden gegenwärtig thermisch verwertet, wobei die Rückgewinnung von Aluminiumfolien aus der Schlacke der Müllverbrennung, aufgrund der hohen Oxidationsraten sowie kleinen Partikelgrößen, derzeit technisch nicht möglich ist. Es gibt Technologien im Pilotmaßstab, welche eine Auftrennung von Verbundschichten und somit eine stoffliche Verwertung von Verbundverpackungen ermöglichen. Im Rahmen der Masterarbeit konnte jedoch nicht eruiert werden, ob deren Einsatz auch ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist. Generell zeigen die durchgeführten Analysen, dass Forschungsbedarf zur Verbesserung der Datenlage über das Aufkommen von Aluminium in Verbundverpackungen sowie im Bereich der Metallrückgewinnung aus der Schlacke besteht. Eine stoffliche Verwertung von Aluminiumverbunden ist aus abfall- und ressourcenwirtschaftlichen Gründen wünschenswert, allerdings erlaubt es die aktuelle Datenlage kaum zu quantifizieren in welchem Ausmaß Aluminium aus Verbunden unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Kriterien tatsächlich rückgewinnbar ist.

Abstract

Due to the unique material properties of Aluminium, the metal is used for composite packaging. The production and use of (primary) Aluminium however is associated with severe environmental impacts (e.g., red mud, greenhouse gas emissions), which resulted in ever increasing recycling efforts, as the production of secondary Aluminium is more environmentally friendly. Within the present thesis, the use of aluminium in composite packaging in Austria has been estimated by an intensive literature research, qualitative expert interviews and a material analysis (ICP-OES) of selected packaging products. Furthermore, the material recycling potential of aluminium composites was analysed. The optical emission spectrometry of composite packaging in selected application areas devoted an average aluminium content of 0.17% for snack packages and 15% for coffee pouches. The yearly usage of aluminium in snack packaging is estimated to be 2 t, the one in coffee pouches 220 t and the one in beverage cartons 570 t in Austria. The estimation on the national level devoted an emergence of 1.800 ± 340 t aluminium in composite packaging per year. Currently the material recycling potential of aluminium in composites is negligible in Austria. All composites are utilized thermal, whereby Aluminium recovery from the bottom ash is broadly not possible, due to high oxidation rates and small particle sizes of aluminium foils. However, there are technologies on a pilot scale to separate the laminate layers of composite packaging that enable the recycling of aluminium. Within the present thesis it could not be evaluated if the usage of such technologies is ecological and economical reasonable. In general the results of the analysis highlight that there is a future research need with respect to the usage of aluminium in composites, as well as in the field of aluminium recovery from the bottom ash in Austria. The recycling of aluminium composites is desirable for waste and resource related reasons. However, the database available at present does not allow to quantify which amounts of aluminium from composite packaging might be recovered if economic and ecological criteria are considered.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Material und Methoden	3
3	Grundlagen zu Aluminiumverbunden	4
3.1	Definition von Materialverbunden	4
3.2	Funktion von Aluminiumverbunden.....	6
3.3	Aufbau von Aluminiumfolienverbunden	12
3.4	Aufbau von Aluminiumbeschichtungen.....	14
4	Packmittelarten im Bereich der Aluminiumverbunde	17
4.1	Beutel.....	19
4.2	Blister.....	23
4.3	Wickelfolien.....	24
4.4	Getränkeverbundkartons	26
4.5	Kapseln und Platinen	27
5	Aufkommen von Aluminium in Aluminiumverbunden in Österreich	29
5.1	Aufkommen von Aluminium in Aluminiumverbunden in ausgewählten Anwendungsbereichen	30
5.1.1	Anwendungsbereich Snacks.....	30
5.1.2	Anwendungsbereich Kaffee.....	33
5.1.3	Anwendungsbereich Getränke.....	40
5.2	Österreichweites Aufkommen von Aluminium in Aluminiumverbunden	43
6	Entsorgungswege und stoffliche Rückgewinnung von Aluminium aus Aluminiumverbunden im Packmittelbereich in Österreich	47
6.1	Entsorgungswege und Verwertungstechnologien von Aluminium in Verbundverpackungen	47
6.2	Oxidationsverhalten von Aluminium bei der thermischen Verwertung von Aluminiumverbunden	50
6.3	Stoffliches Rückgewinnungspotenzial von Aluminium in Aluminiumverbunden in Österreich.....	52
7	Diskussion und Schlussfolgerung	54
8	Literatur.....	61
9	Anhang.....	66

Anhangverzeichnis

Anhang 1: Protokoll Materialanalyse ICP-OES	66
Anhang 2: Standards für die Kalibrierung der ICP-OES	67
Anhang 3: Proben Materialanalyse ICP-OES	68
Anhang 4: Barriereigenschaften unterschiedlicher Materialverbunde (Mueller et al. 2012).....	69
Anhang 5: Packstoffzuordnung gemäß Verpackungsverordnung § 3 Z 26 (Verpackungsverordnung, 2015)	70
Anhang 6: Qualitatives Experteninterview 01	71
Anhang 7: Qualitatives Experteninterview 02	79
Anhang 8: Siegelrandbeutel und Verarbeitung (Braun, 2000)	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele für Materialverbunde(Altstoff Recycling Austria AG, 2015, 1)	4
Tabelle 2: Materialzusammensetzung eines Kaffeebeutels (Büsser und Jungbluth, 2009, 83)	20
Tabelle 3: Ergebnisse Materialanalyse ICP-OES Anwendungsbereich Snacks .	32
Tabelle 4: Ergebnisse Materialanalyse ICP-OES Anwendungsbereich Kaffee ..	38
Tabelle 5: Zahlen zum österreichweiten Aluminiumaufkommen im Packmittel- bereich	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Barriereeigenschaften von Verpackungen im Vergleich zu Barriereanforderungen von Lebensmitteln (Mueller et al., 2012)	11
Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau eines Aluminiumfolienverbundes (Kaßmann, 2014, 89).....	12
Abbildung 3: Vereinfachtes schematisches Kaschierverfahren (Fenn-Barrabaß, 2000, 43).....	14
Abbildung 4: Typischer Beutel aus Aluminiumverbunden (Kaßmann, 2014, 45)	20
Abbildung 5: Wetfood Pouch der Constantia Flexibles GmbH als Beispiel für den Materialaufbau eines standfähigen Siegelrandbeutels (Constantia Flexibles Group GmbH, o. J.)	22
Abbildung 6: Schlauchbeutel der Material Constantia Flexibles GmbH als Beispiel für den Materialaufbau eines Schlauchbeutels mit Aluminiumbeschichtung (Constantia Flexibles Group GmbH, 2017c)	23
Abbildung 7: Materialaufbau einer kindersicheren Blisterverpackung am Beispiel von "Peel and Push" (Constantia Flexibles International GmbH, 2015b, 1).....	24
Abbildung 8: Wickelfolie für Biskuits und Waffeln als Beispiel für Aluminiumfolienverbunde im Snackbereich (Constantia Flexibles International GmbH, 2015a)	25
Abbildung 9: „Chewing Gum Inner Wrapper“ als Beispiel für eine Wickelfolie mit Aluminium/Papier- Kaschierung (Constantia Flexibles International GmbH, 2015a)	25
Abbildung 10: Schematischer Materialaufbau eines Getränkeverbundkartons (Deutsche Umwelthilfe, 2014, 3).....	27
Abbildung 11: Proben Materialanalyse ICP-OES Anwendungsbereich Snacks	32
Abbildung 12: Materialzusammensetzung eines Kaffeebeutels (eigene Darstellung, 2017).....	35
Abbildung 13: Materialzusammensetzung eines Stick Packs (eigene Darstellung, 2017).....	36
Abbildung 14: Proben Materialanalyse ICP-OES Anwendungsbereich Kaffee .	37
Abbildung 15: Durchschnittliche Materialzusammensetzung eines aseptischen Getränkeverbundkartons, exkl. Verschluss (eigene Darstellung, 2017).....	42

Abkürzungsverzeichnis

BOPP	Biaxially Oriented Polypropylene
ECS	Eddy Current Separator
EVAL	Ethyl Vinylalkohol
GVK	Getränkeverbundkarton
HCL	Chlorwasserstoff
HDPE	High Density Polyethylen
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry
LDPE	Low Density Polyethylen
MBA	Mechanisch Biologische Abfallbehandlungsanlage
MVA	Müllverbrennungsanlage
OPET	Orientated Polyethylenerephthalat
OPP	Oriented Polypropylen
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenerephthalat
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid

1 Einleitung

Aluminium stellt mit einer jährlichen Produktion von 50Mt im Jahr 2016 (Alamdari, 2017) einen der wichtigsten Werkstoffe der heutigen Zeit dar. Das Metall kann aufgrund seiner Eigenschaften sehr vielseitig eingesetzt werden, wobei der wichtigste Sektor der Transport - mit einem Anteil von 39% - darstellt. Die zweitgrößte Hauptanwendung von Aluminium sind Verpackungen, welche einen Anteil von 17% an allen Sektoren ausmachen (European Aluminium Association, 2016). Im Bereich der Verpackungen haben Verbunde in Bezug auf die Funktionalität eine Sonderstellung. Durch die Kombination verschiedener Packstoffe, entstehen Synergieeffekte, welche Eigenschaften, wie Barrierefunktion, Temperaturbeständigkeit, gute Falt- und Wickeleigenschaften, Festigkeit usw. vereinen, die Monopackmittel nicht erreichen können. Aluminium ist aufgrund seiner Werkstoffeigenschaften hervorragend als Verbundpartner in Verpackungen geeignet. Im Packmittelbereich finden Aluminiumverbunde eine sehr breite Anwendung, wobei die Lebensmittelindustrie, Pharmaindustrie und Tiernahrungs-Industrie die Haupteinsatzbereiche darstellen. Aluminium zeichnet sich besonders durch die sehr gute Barrierefunktion gegenüber Sauerstoff, Wasserdampf, Aroma, Licht, Mineralölen und Mikroorganismen aus. Es hat aber auch andere positive Eigenschaften, wie Kaltverformbarkeit, Leichtigkeit und gutes Deadfold (Falteigenschaft). Diesen funktionellen Vorteilen, müssen jedoch auch diverse Nachteile des Aluminiumeinsatzes gegenübergestellt werden. Die Gewinnung von Bauxit, welches zur Produktion von Aluminium benötigt wird, führt zu erheblichen sozialen und ökologischen Folgen in jenen Ländern, in denen der Abbau betrieben wird. Der Abbau von Bauxit wird zu einem großen Teil in Ländern Südamerikas im Regenwaldgebiet betrieben. Die Produktion von Aluminium führt in diesen Gebieten zu Rodungen des Regenwaldes aufgrund des Tagebaus und den zur Produktion benötigten Wasserkraftwerken. Bei diesen Prozessen werden große Mengen an Treibhausgasen freigesetzt und die Biodiversität beeinträchtigt. Neben den Umweltauswirkungen hat die Primärproduktion von Aluminium auch gesundheitliche Auswirkungen, aufgrund der Luft- und Wasseremissionen der Aufbereitungsanlagen sowie der Stauseen, welche als Brutstätten für Krankheitsüberträger dienen (Rüttinger et al., 2016). Des Weiteren ist die

Herstellung des Werkstoffes äußerst energieintensiv, wobei die Schmelzelektrolyse mit 82%, den größten Anteil am Energieeinsatz zur Primärproduktion ausmacht (Fragner, 2017). Diese Aspekte machen sowohl das Aufkommen, als auch das Recycling von Aluminium relevant.

Während Informationen zum Einsatz von Aluminium in Materialverbunden auf qualitativer Ebene ausführlich verfügbar sind, ist die Datenlage zum Aufkommen von Aluminium in Verbundverpackungen mangelhaft. In Österreich gibt es hierzu keine zentrale Aufzeichnung und selbst wissenschaftliche Arbeiten sparen diesen Bereich überwiegend aus. Beim Recycling von Aluminium können durch den Einsatz von Sekundäraluminium bis zu 95% der Energie und Ressourcen, im Vergleich zu Primäraluminium, eingespart werden (Fragner, 2017). Aufgrund der bereits erläuterten sozialen und ökologischen Folgen der Primärproduktion, ist die stoffliche Verwertung des Werkstoffes zusätzlich von hoher Bedeutung. Des Weiteren erhöhen gesetzliche Vorschriften die Relevanz stofflicher Verwertungsprozesse, aufgrund von zunehmenden Recyclingquoten im Packmittelbereich. Die stoffliche Verwertung von Aluminium in Materialverbunden gestaltet sich jedoch äußerst schwierig und wird kontrovers diskutiert. In Österreich werden Materialverbunde derzeit ausschließlich thermisch verwertet, wobei das Aluminium aus den Rückständen der Müllverbrennung aufgrund der starken Oxidation und des Anteils in kleinen Korngrößen kaum zurückgewonnen werden kann.

Die gegenständliche Arbeit beschäftigt sich mit den Einsatzbereichen von Aluminiumverbunden im Packmittelbereich und stellt eine quantitative Abschätzung zum Aufkommen von Aluminium in Verbundverpackungen in Österreich vor. Hierdurch soll ein, aus Abfall- und Ressourcensicht wünschenswerter Anstoß für eine solide Datenbasis gegeben werden. Des Weiteren steht das Rückgewinnungspotenzial von Aluminium in Verbundverpackungen im Fokus der Arbeit. Hierbei wird, mithilfe der Ermittlung des Oxidationsverhaltens bei der thermischen Verwertung sowie anderen Verlusten entlang des Verwertungsprozesses, das Rückgewinnungspotenzial von Aluminium in Verbundverpackungen in Österreich abgeschätzt.

2 Material und Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde zunächst eine ausführliche Literaturrecherche in wissenschaftlichen Artikeln, Fachbüchern und Studien sowie themenbezogenen Internetquellen durchgeführt. Zusätzlich wurden Informationen aus der Verpackungsindustrie, in Form von schriftlichen Mitteilungen und Produktdatenblättern, für die Arbeit herangezogen. Ergänzend wurden halbstrukturierte qualitative Experteninterviews mit Personen der österreichischen Verpackungsbranche durchgeführt. Die Interviews haben zur Einholung praktischer Expertise und Erfahrung sowie zur Schließung qualitativer Datenlücken beigetragen. Die daraus entstandenen Transkripte wurden nach wissenschaftlichen Regeln erstellt und sind im Anhang beigefügt.

Zur Abschätzung des österreichweiten Aufkommens von Aluminium in Aluminiumverbunden wurden Abfallanalysen herangezogen. Zusätzlich wurde eine Materialanalyse, um die durchschnittlichen Massengehalte von Aluminium in Aluminiumverbunden ausgewählter Anwendungsbereiche zu ermitteln, durchgeführt. Die Aluminiumgehalte wurden zusammen mit den Verbrauchsdaten für eine zusätzliche Abschätzung des Aufkommens in den ausgewählten Anwendungsbereichen herangezogen.

Der Aluminiumgehalt von Aluminiumverbunden wurde mittels Atomemissionsspektroskopie erhoben. Hierbei wurde eine optische Atomspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP –OES) angewendet. Eine Beschreibung der Methode und der Probennahme ist in Anhang 1 angeführt.

Die Abschätzung des stofflichen Rückgewinnungspotenzials erfolgte mithilfe von wissenschaftlicher Literatur unterstützt durch Daten der österreichischen Abfallwirtschaft.

3 Grundlagen zu Aluminiumverbunden

3.1 Definition von Materialverbunden

Materialverbunde sind heutzutage aus dem Verpackungssektor nicht mehr wegzudenken. Verpackungen haben eine Reihe an Funktionen zu erfüllen, welche oft erst durch die Kombination unterschiedlicher Werkstoffe erreicht werden. Der Einsatz unterschiedlicher Monomaterialien in einer Verpackung, kann durch die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Werkstoffe, nützliche Synergieeffekte herbeiführen (Lamberti und Escher, 2007). Das österreichische Sammel- und Verwertungssystem Altstoff Recycling Austria AG definiert Materialverbunde folglich: „als Materialverbunde gelten generell dauerhafte, vom Letztverbraucher nicht leicht trennbare Kombinationen (z. B. verklebt, verleimt, verschweißt, vernietet, verpresst) von zwei oder mehreren unterschiedlichen Packstoffen“ (Altstoff Recycling Austria AG, 2015, 1). In Tabelle 1 sind verschiedene Beispiele von Materialverbunden angeführt.

Tabelle 1: Beispiele für Materialverbunde (Altstoff Recycling Austria AG, 2015, 1)

BEISPIELE FÜR MATERIALVERBUNDE

Materialverbunde	Verpackungsbeispiele
Kunststoff-Metall	Blister-Verpackungen (z. B. „Durchdrück-Packungen“ für Medikamente, Süßigkeiten); metallbeschichtete Beutel (insbesondere alu-beschichtet, z. B. Kaffeebeutel)
Papier-Kunststoff, Karton-Kunststoff, Pappe-Kunststoff und Wellpappe-Kunststoff	Ein- und zweiseitig beschichtete/laminierte/kaschierte Papiere, Kartons, Pappen und Wellpappen; Verbundkartons; Vakuumverpackungen; (geklebte) Blister-Verpackungen; Papphülsen oder Pappdosen mit Kunststoffboden oder -deckel; Schachteln mit eingeklebtem EPS-Formteil
Karton-Metall, Pappe-Metall und Karton-Kunststoff-Metall	Schachteln mit eingeklebtem Alu-Sack (Aromaschutz-Verpackungen); Papphülsen oder Pappdosen mit Kunststoff-(Metall-)boden und/oder -deckel
Beschichtete/imprägnierte Papiere, Kartons und Wellpappen	Wachspapiere, -kartons, -pappen bzw. -wellpappen; Paraffinpapiere, -kartons, -pappen bzw. -wellpappen; Ölpapiere, -kartons, -pappen bzw. -wellpappen
Holz-Metall, Holz-Kunststoff	Paletten oder Verschläge und andere Holzpackmittel mit Metallbewehrung; Paletten mit Kunststoffklötzen

Aluminiumfolien werden vielfach mit Werkstoffen wie Papier, Karton und Kunststofffolien in Verbundverpackungen eingesetzt. Neben Aluminiumfolienverbunden, besteht auch die Möglichkeit, Kunststofffolien im

Hochvakuum durch Bedampfen mit Aluminium zu veredeln (Bleisch et al., 2011). Diese Art von Verbund wird im Folgenden als Aluminiumbeschichtung bezeichnet.

Zur Unterscheidung von Materialverbunden und Monopackstoffen werden quantitative Untergrenzen für die Anteile der jeweiligen Packstoffe herangezogen. Die Kategorisierung der Verpackung hängt von dem gewichtsmäßigen Verhältnis der jeweiligen Packstoffe im Packmittel ab. Unterschreitet der Packstoff eine definierte massenbezogene Untergrenze, so wird der Packstoff als Materialverbund definiert. Im Fall von Aluminiumverpackungen muss der Anteil von Aluminium an der Verpackung über 80% betragen, andernfalls wird die Verpackung als Materialverbund kategorisiert (Altstoff Recycling Austria AG, 2015). Die Altstoff Recycling Austria AG versteht also unter Materialverbunden, zumindest zwei stoffungleiche Packstoffe, wobei der kleinere Anteil mindestens 20% betragen muss (Technisches Büro Hauer Umweltwirtschaft GmbH, 2015). Diese Untergrenze wird auch für die Lizenzierung von Verpackungen angewendet. In Österreich müssen alle in Verkehr gebrachten Verpackungen lizenziert werden. Im Fall von Haushaltsverpackungen, welcher der Haupteinsatzbereich von Aluminiumverbunden ist, haben sich Verpackungshersteller an ein Sammel- und Verwertungssystem anzuschließen. Dieses ist für die Sammlung und Verwertung der lizenzierten Haushaltverpackungen zuständig (Verpackungsverordnung, 2015). Die Untergrenzen zur Abgrenzung zwischen Monopackstoff und Materialverbund gemäß § 3 Z 26 der Verpackungsverordnung sind in Anhang 5 dargestellt. Die Mengen der lizenzierten Packmittel müssen an den Bund über das Elektronische Datenmanagement – Umwelt (EDM- Portal) des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft übermittelt werden.

Durch das EDM-Portal wird zentral aufgezeichnet, wie viele Packmittel österreichweit lizenziert werden. Hersteller, die Materialverbunde produzieren und gleichzeitig selbst abpacken, haben jedoch die Möglichkeit auch die Monopackstoffe aus dem Materialeinkauf zu lizenzieren. Bei dieser Vorgehensweise werden die Packstoffe als Monopackstoffe lizenziert, unabhängig davon, ob sie nachfolgend in einen Verbund eingearbeitet werden. Hierdurch gehen in der Lizenzierungspraxis wertvolle Daten zu den Packstoffen, die in

Materialverbunden eingesetzt werden, verloren (Technisches Büro Hauer Umweltwirtschaft GmbH, 2015).

Für die vorliegende Arbeit werden als Aluminiumverbunde, alle Materialverbunde, welche Aluminium enthalten, definiert. Zur Abgrenzung der Materialverbunde wird die oben genannte qualitative Definition der Altstoff Recycling Austria AG verwendet. Die quantitativen Untergrenzen werden im Rahmen der gegenständlichen Arbeit nicht herangezogen, damit auch Aluminiumverbunde, welche einen Aluminiumanteil unter 20% haben, berücksichtigt werden. Kern der Arbeit ist es, das gesamte Aluminium, welches mit anderen Werkstoffen in Packmitteln verbunden ist, und somit ohne Aufbereitungsschritte nicht trennbar und stofflich verwertbar ist, miteinzubeziehen.

3.2 Funktion von Aluminiumverbunden

Eine Verpackung kann als integrales System, das in Bezug auf Prozesse wie Produktion, Transport, Lagerung sowie in Bezug auf die Handhabbarkeit für Konsumenten optimiert sein muss, verstanden werden (Lamberti/Escher, 2007). Das wesentliche Ziel von Verpackungen ist die effiziente und geordnete Warenverteilung, die durch verschiedene Funktionen erfüllt wird (Kaßmann, 2014). Hierbei können grundsätzlich drei Funktionen unterschieden werden:

- Schutzfunktion
- Rationalisierungsfunktion
- Kommunikationsfunktion

Diese drei Funktionen sind als Komponenten zu betrachten, welche in den gesamten Lebenszyklus einer Verpackung einfließen (Bleisch et al., 2011).

Die primäre Anforderung an Verpackungen ist der Schutz des Packgutes vor Außeneinwirkungen sowie der Schutz der Umwelt vor bestimmten Füllgütern. Diese Anforderung wird durch die Schutzfunktion der Verpackung erfüllt. Hierbei wird die Qualitätssicherungs-, Haltbarkeits- und Hygienefunktion von Verpackungen miteinbezogen (Kaßmann, 2014). Die Wechselwirkungen zwischen Packgut und Umwelt sind sehr variabel und hängen unter anderem von

Zeitfaktoren (geforderte Mindesthaltbarkeit, Lager- und Transportdauer des Packgutes), Raumfaktoren (Transportentfernungen etc.), Rahmenbedingungen der Anwendung (Transportart, Klima etc.) und den Eigenschaften des Packgutes ab (Bleisch et al., 2011).

Die Rationalisierungsfunktion sichert die ökonomische und ökologische Gestaltung sowie Anwendung aller mit dem Packgut verbundenen Prozesse des gesamten Lebenszyklus. Hierbei werden Anforderungen für die Phase der Herstellung, der Distribution, des Gebrauchs sowie der Wiederverwendung, Verwertung oder Beseitigung an die Verpackung gestellt (Bleisch et al., 2011). Während beispielsweise beim Transport und der Lagerung von Verpackungen, die optimale Nutzung der Transport- und Lagerfläche eine zentrale Rolle spielt, steht während der Verbraucherphase die optimierte Handhabbarkeit (wie beispielsweise leichtes Wiederverschließen, Dosierung, Standfestigkeit, Format) im Vordergrund (Kaßmann, 2014). Die anwendungstechnischen Anforderungen von Verpackungen sollten über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigt werden, weshalb die wesentlichen Funktionen in der Entsorgungsphase nicht außer Acht gelassen werden sollten. Hierzu zählen beispielsweise Aspekte wie der Schadstoffgehalt oder die Rezyklierbarkeit eines Packstoffes, sowie das Oxidationsverhalten im Falle einer thermischen Verwertung von Verpackungen.

Die Kommunikationsfunktion sichert die Übermittlung von Informationen für die am Prozess beteiligten Personen entlang des Lebenszyklus einer Verpackung. Verpackungen zählen zu den wichtigsten Informationsträgern im Bereich der Konsumgüter und sind oftmals die alleinigen Informationsvermittler zwischen Herstellern und anderen Prozessbeteiligten, wie Transporteuren, Lager- und Handelseinrichtungen, VerbraucherInnen oder Entsorgern. Die Kommunikationsfunktion umfasst einerseits die Informationsfunktion und andererseits die Werbefunktion von Verpackungen (Bleisch et al., 2011). Hierbei werden Aspekte, wie die Ausweisung von Pflichtinformationen, freiwillige Informationen oder die Identifikation des Produktes bzw. der Marke verstanden (Kaßmann, 2014).

Wie bereits erläutert, stellt die primäre Funktion von Verpackungen den Schutz und Erhalt der Produktqualität sicher. Bei Produkten, deren Qualität leicht durch

äußerliche Einflüsse beeinträchtigt wird, gewährleistet die Schutzfunktion der Verpackung, dass Reaktionen welche die Produktqualität negativ beeinflussen, minimiert werden. Aluminiumfolien verfügen über eine außergewöhnlich gute Barrierefunktion gegenüber Feuchtigkeit, Gasen, Mikroorganismen und Licht. Daher eignen sie sich sehr gut als Barrierschicht für Verpackungen von Produkten, welche sensibel gegenüber äußeren Einflüssen wie Sauerstoff oder Licht sind, um eine Aufnahme oder Abgabe von Flüssigkeit oder Aromastoffen zu verhindern (Lamberti und Escher, 2007). Der Begriff „Barriere“ wird in diesem Kontext als die Funktion verstanden, welche den Transport von Substanzen durch die Verpackung, sowohl von innen nach außen, als auch von außen nach innen, verhindert (Kücükpinar und Langowski 2012). Die Barriereigenschaften werden weder durch Hitze, noch durch Kälte beeinträchtigt, weshalb sich Aluminiumverbunde beispielsweise sehr gut für Verpackungen von Fertiggerichten oder Speiseeis eignen (Lamberti und Escher, 2007).

Neben den Barriereigenschaften, ist Aluminium ein sehr starker, aber leichter Werkstoff, wodurch das Verpackungsgewicht reduziert und folglich Transportkosten eingespart werden können (Lamberti und Escher, 2007). Zusätzlich zur Einsparung bei den Transportkosten verringern sich durch das geringe Verpackungsgewicht auch die Umweltauswirkungen des Transports je Produkteinheit. Der Einsatz von Aluminium in Verbundverpackungen hat jedoch auch nachteilige Umweltauswirkungen, wie negative soziale und ökologische Folgen beim Abbau von Bauxit und hohe Energiekosten bei der Herstellung von Aluminium. Diese stehen den funktionalen Vorteilen des Werkstoffes gegenüber. In den meisten Fällen macht die Verpackung jedoch lediglich 2% des gesamten CO₂-Fußabdrucks entlang des Lebenszyklus eines Produktes aus (Tacker, 2017).

Ein weiterer Grund für den Einsatz von Aluminium im Packmittelbereich ist der optische Effekt des Werkstoffes. Wird Aluminium außen kaschiert, entsteht ein optischer Metallic-Effekt, welcher in Kombination mit der beschriebenen Barrierefunktion als Werbefunktion eingesetzt werden kann. (Österreichisches Unternehmen, 2017). Neben den genannten Eigenschaften weist Aluminium auch eine gute Faltbeanspruchung auf. Ein weiterer Vorteil des Metalls ist das gute

„Deadfold“, also geringe Rückstellkräfte, wodurch sich eine gute Faltbarkeit der Packmittel ergibt. Bei Packmittelarten wie beispielsweise Wickelfolien ist das ein maßgeblicher Vorteil (Österreichisches Unternehmen, 2017). Zusätzlich hat Aluminium als Werkstoff eine gute Temperaturbeständigkeit, was positiv auf die Verarbeitbarkeit des Packmittels und auf die Sterilisationsbeständigkeit wirkt (Kornfeld, 2017). Wird Aluminium in direkten Kontakt mit Lebensmitteln gebracht, wie es beispielsweise bei Wickelfolien von Schokoladentafeln der Fall ist, muss der Werkstoff mit einer Lackierung versehen werden. Salzige und säurehaltige Lebensmittel sollten jedoch nicht in direkten Kontakt mit Aluminium kommen. In diesem Fall dienen Zwischenschichten aus beispielsweise Kunststoff als Schutzschicht vor Korrosion des Aluminiums (Lamberti und Escher, 2007).

Aluminium wird oftmals in Form von Verbunden eingesetzt, wobei durch die Kombination spezifischer Eigenschaften von Werkstoffen Synergieeffekte entstehen, welche die Barrierefunktion von Verpackungen erhöhen (Lamberti und Escher, 2007). Neben der Barrierefunktion, die mittels Einsatz von Aluminiumfolien in Verbunden entsteht, sind die guten Siegelnahteigenschaften von Verbundfolien der größte Vorteil (Kaßmann, 2014). Der Prozess zur Herstellung von Verbundfolien aus zwei oder mehreren Substraten (Aluminium, Kunststoff, Papier) wird als Kaschieren bezeichnet und ist in Kapitel 3.3 genauer beschrieben. Reine Aluminiumfolien haben sehr gute Barriereigenschaften, können jedoch den hohen Anforderungen an die mechanische Stärke von Verpackungen nicht gerecht werden (Schubert, 2003). Durch sogenannte Nadelstiche kann die Barrierefunktion von Aluminium stark beeinträchtigt werden. Nadelstiche entstehen durch feine Verschmutzungen und Anhaftungen, wie Staub, während des Produktionsprozesses oder durch zu hohe mechanische Beanspruchung (Bishop und Mount, 2016). Falt- und Dehnungsbeanspruchungen können die Dichtheit von dünnen Aluminiumfolien, welche im weichgeglühten Zustand eine Bruchdehnung von 3 bis 3,5 % aufweisen, beeinträchtigen. Im Verbund mit anderen Werkstoffen, wie Kunststofffolien, erhöht sich die Bruchdehnung um das 7- bis 10-Fache. Aus diesem Grund, ist der Verbund von anderen Materialien mit Aluminium von wesentlicher Bedeutung für die mechanischen Eigenschaften der Verpackung (Kaßmann, 2014).

Neben dem Einsatz von Aluminiumfolien in Verbunden, besteht die Möglichkeit Aluminium auf Werkstoffe wie Kunststofffolien oder Papier aufzudampfen und eine Aluminiumbeschichtung aufzutragen. Durch die Bedampfung mit Aluminium entsteht eine verbesserte Barriereeigenschaft von Kunststofffolien bzw. Papier und die Werkstoffe bekommen einen optischen Metalleffekt (Kaßmann, 2014). Die Sauerstoff- und Wasserdampfdurchlässigkeit von Aluminiumbeschichtungen ist vergleichbar mit jenen von Aluminiumfolienverbunden (PET/Aluminium/LDPE), während die Lichttransmission bei Beschichtungen höher ist. Mit einer Erhöhung der Schichten eines Verbundes steigt generell die Barrierewirkung, aufgrund der verschiedenen Eigenschaften der einzelnen Werkstoffschichten sowie verringerten Spannungseffekten. Dennoch sind die Barriereeigenschaften von Aluminiumbeschichtungen für die Verpackung von den meisten Lebensmitteln und Tiernahrung ausreichend (Lamberti und Escher, 2007). In Anhang 4 sind die Barriereeigenschaften verschiedener Aluminiumverbunde angeführt. Die Barriereanforderungen an Verpackungen von empfindlichen Lebensmitteln liegen bei einer Sauerstofftransmissionsrate von 0,01 bis 100 $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{Tag}$ und einer Wasserdampftransmissionsrate von 0,01 bis 100 $\text{g}/\text{m}^2/\text{Tag}$ (Kääriäinen et al., 2011). Abbildung 1 zeigt die Barriereeigenschaften von unterschiedlichen teilweise metallisierten Kunststofffolienverbunden im Vergleich zu den Anforderungen verschiedener Lebensmittel.

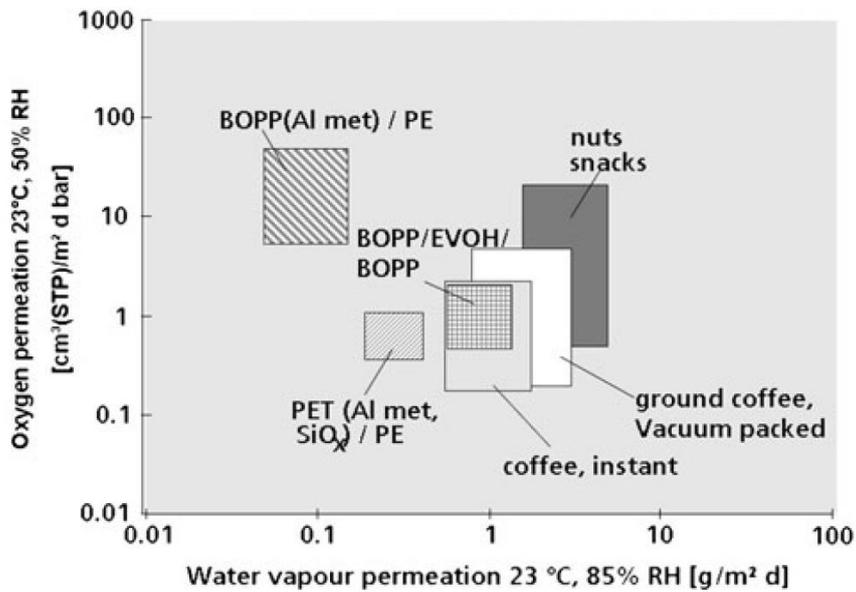


Abbildung 1: Barriereigenschaften von Verpackungen im Vergleich zu Barriereanforderungen von Lebensmitteln (Mueller et al., 2012)

Die Abbildung zeigt, dass alle dargestellten Packmittel, die Anforderungen der angeführten Lebensmittel, betreffend der Wasserdampftransmissionsrate, erfüllen. Die erforderlichen Sauerstofftransmissionsraten, können nicht von allen Verpackungen für die angeführten Lebensmittel erreicht werden. Vor allem im Fall von Pulverkaffee entspricht die Sauerstofftransmissionsrate von mit Aluminium bedampften BOPP Folien im Verbund mit PE- Folien nicht den Anforderungen des Kaffees an die Sauerstofftransmissionsrate. Zur Sicherstellung einer optimalen Sauerstofftransmissionsrate, sollte hierbei auf andere Aluminiumbeschichtungen bzw. Aluminiumfolienverbunde, welche über bessere Barriereigenschaften verfügen, zurückgegriffen werden.

Wie bereits erläutert, kann die Barrierefunktion von Aluminium durch sogenannte Nadelstiche und Risse beeinträchtigt werden. Bei Falтанwendungen haben Aluminiumbeschichtungen einen Vorteil gegenüber Aluminiumfolienverbunden, da diese weniger leicht zu Nadelstichen und Rissen in der Oberfläche neigen (Bishop und Mount, 2016).

3.3 Aufbau von Aluminiumfolienverbunden

Verbundfolien bestehen in ihrer einfachsten Form aus zwei bis drei Schichten. An der Außenseite der Verpackung befindet sich die sogenannte Trägerschicht bzw. Trägerfolie. Diese ist für die Gas-, und Aromabarriere, Steifigkeit, Festigkeit, Feuchtebeständigkeit, Bedruckbarkeit, Metallisierbarkeit und die Hitzebeständigkeit zuständig. Die Innenseite der Verpackung besteht aus einer Heißsiegelschicht, welche vorwiegend als Wasserdampfbarriere und als Medium zum Verschließen einer Verpackung dient. Die Schmelztemperatur der Heißsiegelschicht liegt gewöhnlich unter jener der Trägerschicht. Die Sperreigenschaften gegenüber Gasen, Aroma, Licht und Wasserdampf können durch eine zusätzliche Barrierschicht zwischen Träger- und Heißsiegelschicht verbessert werden (Kaßmann, 2014). Abbildung 2 zeigt den schematischen Aufbau einer Verbundfolie für Verpackungen.



Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau eines Aluminiumfolienverbundes (Kaßmann, 2014, 89)

Heute werden Verbunde aus zwei bis neun Schichten bzw. Substraten hergestellt und für Verpackungen eingesetzt. Aluminiumfolien werden sowohl für die Trägerschicht, als auch für die Barrierschicht, im Regelfall aber nicht für die Heißsiegelschicht eingesetzt. Die gängigsten Verbundfolien, welche Aluminium enthalten sind (Kaßmann, 2014):

- Aluminium – Polyethylen (PE)
- Polyethylenterephthalat (PET) – Aluminium - Polyethylen (PE)
- Polypropylen (PP) – Aluminium - Polyethylen (PE)
- Polyethylenterephthalat (PET) metallisiert - Polyethylen (PE)

Bei typischen Aluminiumverbundfolien fungiert die Aluminiumfolie als Trägerfolie und gleichzeitig als Barrierschicht. Diese bildet, wie bereits in Kapitel 3.2 erläutert, eine absolute Sperrschicht gegen Wasserdampf, Gase und Licht. Die Heißsiegelschicht besteht in den meisten Fällen aus ungestreckter Polypropylenfolie (UPP) oder Polypropylen. Diese Art von Aluminiumfolienverbund hat spezifische Eigenschaften wie eine hohe Steifigkeit, Tiefziehbarkeit, Hitzebeständigkeit sowie Undurchlässigkeit. Ein weiteres Beispiel für den Einsatz von Aluminiumfolien in Verbundverpackungen sind Papier- und Kartonverbunde. Hier werden Papier oder auch Karton in Verbindung mit Kunststoffolie als Siegelschicht und Aluminiumfolie als Sperrschicht eingesetzt (Kaßmann, 2014).

Die verschiedenen Komponenten bzw. Einzelschichten werden durch unterschiedliche Kaschierverfahren verbunden (Kaßmann, 2014). Zur Herstellung des Folienverbunds wird hierbei zunächst ein Klebstoff auf eines der Substrate aufgetragen. Sind im Kaschierverfahren Lösungsmittel beteiligt, wird das Substrat nach Auftragung des Klebers durch einen Trockenkanal geführt. Darauffolgend wird das Substrat im Kaschierwerk unter Druck und Wärme mit dem zweiten Substrat verbunden (Özgir, 2000). Je nachdem wie viele Schichten der Folienverbund haben soll, kann dieser Vorgang nachgeschaltet wiederholt werden. Grundsätzlich kann man folgende Kaschierverfahren unterscheiden (Özgir, 2000):

- Waschkaschierung
- Extrusionskaschierung
- Nasskaschierung
- Trockenkaschierung
- Lösemittelfreie Kaschierung
- Strahlenhärtende Kaschierung

Das eingesetzte Kaschierverfahren ist dabei von den jeweiligen Anforderungen der Verpackungen sowie den verfügbaren Verpackungsanlagen abhängig (Fenn-Barrabaß, 2000). Abbildung 3 zeigt das vereinfachte Schema eines Kaschierverfahrens.

Vereinfachtes Schema einer Kaschierung

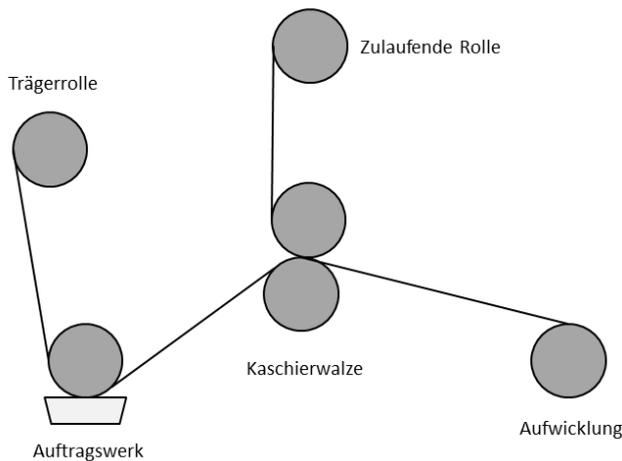


Abbildung 3: Vereinfachtes schematisches Kaschierverfahren (Fenn-Barrabaß, 2000, 43)

Die Dicke von Aluminiumfolien, welche in Verbundverpackungen eingesetzt werden, variiert je nach Verpackungsart und Hersteller. Es handelt sich jedoch um sehr dünne Folien im Bereich einer Foliendicke zwischen 6-30 μm (Slater und Critchton, 2011), wobei es auch Verbunde mit einer Aluminiumfoliendicke von 4 μm gibt (Bleisch et al., 2011). Mit einer geringeren Dicke der Folien reduziert sich der Ressourcenverbrauch und das Gewicht der Verpackungen, jedoch findet auch gleichzeitig eine Abnahme der Barriereigenschaften und eine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften von Aluminiumfolien statt (Mueller et al., 2012). Ein ausgezeichneter Barrierschutz ist bis zu einer Schichtdicke von >6 μm gewährleistet. Bei Schichtdicken darunter kommt es zu vermehrten Nadelstichen beim Walzprozess in der Aluminiumfolienherstellung, wodurch die Barrierefunktion des Werkstoffes beeinträchtigt wird (Tacker, 2017). In spezifischen Anwendungsbereichen sind höhere Schichtdicken gefordert. In der Pharmaindustrie werden beispielsweise Schichtdicken zwischen 9-12 μm eingesetzt, da es sich um einen sehr sensiblen Bereich mit hohen Produktanforderungen handelt (Österreichisches Unternehmen, 2017).

3.4 Aufbau von Aluminiumbeschichtungen

Neben Aluminiumfolienverbunden besteht auch die Möglichkeit Kunststofffolien oder Papier im Hochvakuum durch Bedampfen mit Aluminium zu veredeln.

Dadurch werden die Barriereigenschaften von Kunststofffolien bzw. Papier verbessert (Bleisch et al., 2011). Die bahnförmigen Werkstoffe werden in der Hochvakuumkammer kontinuierlich von der Rolle gewickelt und mit Aluminium bedampft. Diese Beschichtung ist in der Regel äußerst dünn, im Bereich von 3-40nm, wobei für einen guten Barrierschutz eine Schichtdicke von mindestens 30nm benötigt wird (Morris, 2017). Die geringen Schichtdicken im Gegensatz zu Aluminiumfolienverbunden, haben in den letzten Jahren zu einer vermehrten Substitution von Aluminiumfolienverbunden mit Aluminiumbeschichtungen geführt (Bishop und Mount, 2016).

Neben der sogenannten Metallisierung von Kunststofffolien und Papier, gibt es auch die Möglichkeit die Werkstoffe mit transparenten Vakuumbeschichtungen zu bedampfen. Als anorganische transparente Barrierschichten werden Aluminiumoxid und Siliziumoxid eingesetzt (Langowski, 2001). Diese Beschichtungen bieten Schutz vor Sauerstoff und Feuchtigkeit, sind jedoch aufgrund ihrer Transparenz lichtdurchlässig. Sie werden daher für Packmittel, bei denen das Packgut sichtbar sein soll und unempfindlich gegen Lichteinfluss ist eingesetzt (Morris, 2017). Eine Alternative zu den genannten anorganischen, aufgedampften Barrierschichten, ist das Copolymer Ethyl Vinylalkohol (EVAL) (Mueller et al., 2012). Die Metallisierung von Kunststoff- und Papierfolien mit Aluminium, ist jedoch mit einem weltweiten Anteil von 65 % aller bedampften Folien, die derzeit dominierende Anwendung (Bishop und Mount, 2016). Dennoch hat der Einsatz derartiger Materialien in den letzten Jahren, zum Nachteil von aluminiumhaltigen Verbunden, zugenommen (Kornfeld, 2017).

Polyester-Verbundfolien werden beispielsweise zur Verbesserung der Gasbarriereigenschaften mit einer dünnen Aluminiumschicht bedampft oder mit einer Aluminiumfolie als Barrierepartner verbunden (Kaßmann, 2014). Hierbei dienen oftmals Polyesterfolien (PE-folien) als Heißsiegschicht, Aluminiumfolien als Barrierschicht und biaxial gestreckte Polypropylenterephthalat (OPET)-folien als Trägerschicht (Mueller et al., 2012). Die gleiche Vorgehensweise findet sich auch bei Polypropylen-Verbundfolien. Hier wird Aluminiumfolie bzw. Aluminiumbedampfung als Barrierschicht in Verbunden mit gestrecktem Polypropylen (OPP) genutzt (Kaßmann 2014). Die Anwendung von gestrecktem

Polypropylen (OPP) ist mit einem Anteil von 56% an den metallisierten Folien weltweit dominant (Bishop und Mount, 2016).

Neben der Anwendung zur Verbesserung der Barriereigenschaften von Verpackungen, werden metallisierte Folien auch zu dekorativen Zwecken oder für antistatische Verpackungen eingesetzt (Bishop und Mount, 2016).

4 Packmittelarten im Bereich der Aluminiumverbunde

Grundsätzlich können drei verschiedene Gruppen von Packmitteln aus Aluminium unterschieden werden (Kaßmann, 2014):

1. Starre Packmittel
2. Halbstarre Packmittel
3. Flexible Packmittel

Starre Packmittel

Unter starren Packmitteln versteht man Verpackungen wie Dosen, Fässer Großbehälter etc., welche für Aluminiumverbunde großteils keine Rolle spielen. Aluminiumverbunde spielen im Bereich der halbstarren und besonders der flexiblen Packmittel eine wichtige Rolle, weshalb diese im Folgenden näher behandelt werden.

Halbstarre Packmittel aus Aluminium

Bei den halbstarren Packmitteln wird wiederum zwischen gefalteten und tiefgezogenen Leichtbehältern unterschieden. Tiefgezogene, halbstarre, glattwandige Leichtbehälter können durch Einsatz von Aluminiumverbunden veredelt werden. Hierbei werden die Leichtbehälter mit sterilisierfester Innenbeschichtung als Leichtkonserven eingesetzt. Solche Leichtkonserven zeichnen sich durch das geringe Gewicht, bei gleichem Füllvolumen, im Vergleich zu starren Aluminiumkonserven oder Weißblechkonservendosen aus. Aluminium-Leichtkonserven haben lediglich ein Fünftel des Gewichts einer Weißblechkonservendose und sind zudem leicht zu öffnen sowie geschmacksneutral. Diese halbstarren Packmittel werden durch die Kaschierung eines etwa 100 µm dicken Aluminiumbandes mit einer Polypropylenfolie hergestellt (Kaßmann, 2014).

Flexible Packmittel aus Aluminium

Die meisten Aluminiumverbunde sind im Bereich der flexiblen Verpackungen zu finden. Flexible Verpackungen aus Aluminium zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich dem Packgut anpassen (Kaßmann, 2014). Ein Beispiel der Anwendung von Aluminium als Monomaterial, ist heißsiegellackierte Aluminiumfolie, welche

beispielsweise als Wickelfolie für Schokolade eingesetzt wird, wobei es auch zahlreiche Wickelfolien mit Aluminium/Papier-Kaschierung für Schokoladen gibt (Constantia Flexibles International GmbH, 2015a). Flexible Verpackungen liegen in den meisten Fällen in Verbunden mit Papier und/oder Kunststoffen vor (Kaßmann, 2014).

Lambertini und Escher (2007) klassifizieren die drei Gruppen von Packmitteln nach der Dicke der eingesetzten Aluminiumschicht. Hierbei werden Verpackungen mit einer Aluminiumschicht von 9-50 µm als flexible Verpackung definiert. Unter den flexiblen Packmitteln gibt es Verpackungsarten mit besonders hohem technologischen Anspruch, auf welche folglich näher eingegangen wird.

Flexible Verpackungen als Vakuumverpackungen

Es gibt Packgüter deren Qualität selbst durch den Restsauerstoff, im Luftraum einer Verpackung, beeinträchtigt wird. In solchen Fällen werden Vakuumverpackungen eingesetzt. Aluminiumfolienverbunde können ein solches Vakuum über Monate und sogar Jahre bewahren. Beispiele für Packgüter, welche einer Vakuumverpackung bedürfen, sind gefriergetrocknete Produkte, Erdnüsse oder gemahlener Bohnenkaffee (Kaßmann, 2014).

Flexible Verpackungen als Schutzgasverpackungen

Packgüter wie getrocknete Erdäpfelprodukte (beispielsweise Püree) oder Instantsuppen werden durch Schutzgasverpackungen länger haltbar gemacht. Dies erfolgt durch intensives Spülen des Innenraumes der Verpackung mit einem sauerstofffreien Gas wie Stickstoff und / oder Kohlendioxid, wodurch der Restsauerstoffgehalt im Inneren der Verpackung bis unter 1 Volumenprozent absinkt. Aufgrund des leichten Unterdrucks in der Schutzgasatmosphäre, bleibt das pulverige Packgut rieselfähig (Kaßmann, 2014).

Flexible Verpackungen als sterilisierbare Packmittel

Für sterilisierbare oder auch aseptische Packmittel werden Verbunde aus Aluminiumfolie mit Polypropylen-, Polyester-, und Polyamidfolien eingesetzt. Hierbei werden meist Dreischicht- und Vierschichtaufbauten verwendet (Kaßmann, 2014). Sogenannte aseptische Verpackungen sorgen dafür, dass Lebensmittel in einem Zeitraum von bis zu sechs Monaten ohne Kühlung bzw.

Zusatz von Konservierungsstoffen gelagert werden können und dabei nicht an Qualität einbüßen. Eine aseptische Verarbeitung gewährleistet, dass sowohl die Packgüter als auch die Packmittel frei von schädlichen Mikroorganismen bleiben. Entlang des gesamten Lebenszyklus des Produktes muss daher steril gearbeitet werden. Die herkömmlichste Form der aseptischen Verpackung ist der aseptische Getränkeverbundkarton, welcher in zahlreichen Ausführungen produziert wird (Tetra Pak International S.A., 2017b).

Wie bereits angemerkt, finden sich Aluminiumverbunde hauptsächlich in flexiblen Verpackungen. Im Folgenden werden verschiedene Packmitteltypen, welche Aluminium im Verbund mit anderen Packmitteln wie Kunststoff oder Papier enthalten, genauer dargestellt. Hierfür wurden die Packmittelarten Beutel, Blister, Wickelfolien, Getränkeverbundkartons sowie Kapseln und Platinen ausgewählt.

4.1 Beutel

Der Beutel zählt zur Gruppe der flexiblen Packmittel und wird sowohl als Monopackmittel aus Papier, Kunststoff oder Aluminium, als auch als Verbundverpackung eingesetzt. Ein Beutel zeichnet sich durch seine meist rechteckige Form aus und kann im leeren Zustand durch Falten flachgelegt werden. Dieser Packmitteltyp kann für das Verpacken von Schüttgut aller Art eingesetzt werden. Auch pastöse und flüssige Packgüter können durch dieses Packmittel geschützt werden (Bleisch et al., 2011).

Beutel zählen zu den Einwegverpackungen und sind aufgrund des relativ geringen Packstoffverbrauchs kostengünstig (Bleisch et al., 2011). Es gibt verschiedene Anwendungsmöglichkeiten von Beuteln, für die unterschiedlichsten Packgüter, im Lebensmittel-, Tiernahrungs- und Drogeriebereich. Das herkömmliche Kaschierverfahren für Beuteln verschiedenster Art ist die Trockenkaschierung (Özgir, 2000).

Der Aufbau und die Materialzusammensetzung solcher Beutel ist ähnlich zu den allgemein beschriebenen Aluminiumverbunden in Kapitel 3.3. Die unten angeführte Abbildung 4 zeigt den Aufbau typischer Aluminiumverbundfolien im Bereich der Beutel. Die eingesetzten Aluminiumfolien wirken bei beiden Beuteln als Barrierschicht. Beim Kaffee-Vakuumbbeutel dient PET als Trägerschicht und

eine PE-Folie als Heißsiegelschicht. Im Fall des dargestellten Suppenbeutels fungiert gestrichenes Papier als Trägerschicht und ebenfalls PE als Heißsiegelschicht. Die Schichtdicke der Aluminiumfolie liegt bei dem Kaffeebeutel bei 9 µm und beim Suppenbeutel bei 7 µm.

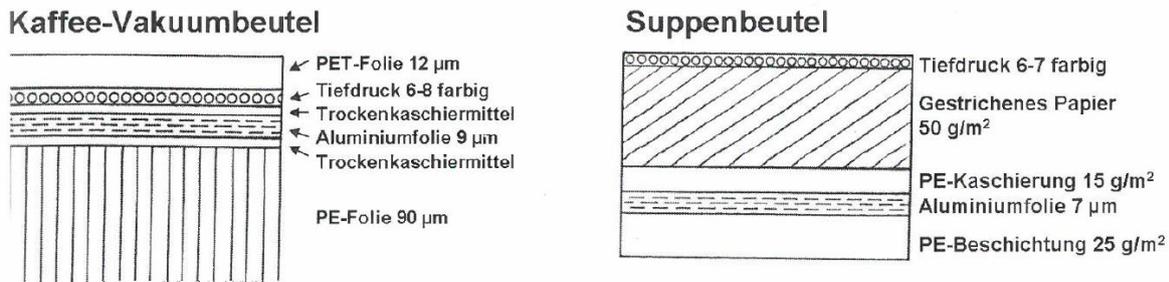


Abbildung 4: Typischer Beutel aus Aluminiumverbunden (Kaßmann, 2014, 45)

Büsser und Jungbluth (2009) ziehen, wie in

Tabelle 2 ersichtlich, für ihre Lebenszyklusanalyse eine ähnliche Materialzusammensetzung für Kaffeebeutel heran. Die Tabelle zeigt die Materialzusammensetzung eines Kaffeebeutels mit einer Füllmenge von 500 ml. Die Aluminiumfolie hat in diesem Beispiel eine Schichtdicke von 7 µm mit einem spezifischen Gewicht von 19 g/m².

Tabelle 2: Materialzusammensetzung eines Kaffeebeutels (Büsser und Jungbluth, 2009, 83)

Material	Aluminium foil bag		
	Thickness (µm)	Weight (g/m ²)	
Outer layer	PET	12	16
Middle layer	Aluminium foil	7	19
Inner layer	PE	100	94
Total		119	129
Source	Qingdao Yongchang Suye Co., Ltd. ^a		

Generell können Beutel in verschiedensten Formen produziert werden. Eine spezielle Form des Beutels ist der Schlauchbeutel, welcher auf vertikalen oder horizontalen Schlauchbeutelmaschinen verarbeitet wird, was ein Abpacken mit hohen Taktzahlen ermöglicht. Schlauchbeutelrollen werden für die Verpackung von Lebensmitteln wie beispielsweise Fleisch- und Wurstwaren, Kaffee, Gewürze

oder Snacks, aber auch Tiernahrung verwendet. Das österreichische Unternehmen Meier Verpackungen GmbH vertreibt beispielsweise Schlauchbeutelrollen mit Aluminium, im Verbund mit PET oder OPP als Trägerschicht und PE als Heißsiegelschicht (Meier Verpackungen GmbH, 2017b). Neben dem Schlauchbeutel, werden häufig sogenannte Siegelrandbeutel eingesetzt. Diese Art von Beutel kann für diverse flüssige, schüttfähige oder stückige Packgüter, vor allem im Lebensmittelbereich, eingesetzt werden. In Anhang 8 ist die Arbeitsweise einer Siegelrandbeutelmaschine, sowie verschiedene Formen von Siegelrandbeuteln dargestellt. Siegelrandbeutel können auf drei oder vier Seiten versiegelt sein. Zusätzlich besteht auch die Möglichkeit Öffnungen von Siegelrandbeuteln, für eine verbesserte Handhabbarkeit der EndkonsumentInnen, mit zum Beispiel einem Zip, zu modifizieren (Braun, 2000). Der Siegelrandbeutel kann durch eine spezielle Faltung, der „W-Faltung“, anstelle der „V-Faltung“ mit einem standfähigen Boden ausgestattet werden (Braun, 2000). Derartige Standbodenbeutel sind Beutel mit konstruktiv gestaltetem Bodenteil (Bleisch et al., 2011), welche im Lebensmittelhandel zunehmend Einsatz finden. Diese Art von Packmittel eignet sich sowohl für flüssige, als auch für pulverförmige Produkte und wird vielfältig eingesetzt. Der Standbodenbeutel hat einen geringen Verbrauch von Lager- und Transportfläche und erweist sich als praktisch in der Handhabung für den Endkunden. Je nach Anforderungen des Packgutes werden Aluminiumverbunde für Standbodenbeutel eingesetzt (Meier Verpackungen GmbH, 2017c). Abbildung 5 zeigt den schematischen Materialaufbau eines Siegelrandbeutels mit standfähigem Boden für flüssige bzw. feuchte Lebensmittel, wie Fertiggerichte oder Desserts. Die Trägerschicht des Beutels besteht aus einer PET Schicht, für die Heißsiegelschicht wird PP eingesetzt und Aluminiumfolie fungiert als Barrierschicht (Constantia Flexibles Group GmbH, o. J.). Neben standfähigen Siegelrandbeuteln, gibt es auch Formen von Schlauchbeuteln, welche selbststehend sind (Braun, 2000). Diese werden oftmals für Kaffee- und Teeprodukte eingesetzt.

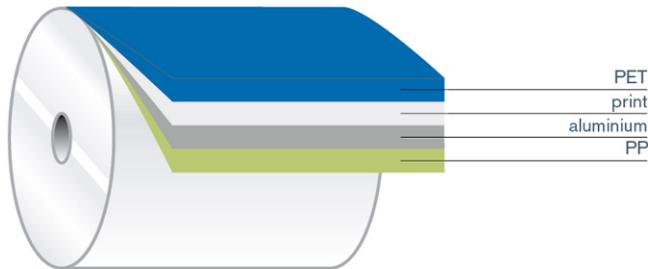


Abbildung 5: Wetfood Pouch der Constantia Flexibles GmbH als Beispiel für den Materialaufbau eines standfähigen Siegelrandbeutels (Constantia Flexibles Group GmbH, o. J.)

Eine spezielle Form des Siegelrandbeutels sind sogenannte Stick Packs. Unter Stick Packs versteht man Einzelpartionsverpackungen für Pulver, Granulate und auch pastöse (pharmazeutische) Präparate. Anwendungsgebiete reichen von Instantkaffee über Nahrungsergänzungsmittel wie Magnesium, bis hin zu pharmazeutischen Produkten. Der westliche Lebensstil führt zu einer vermehrten Nachfrage von Einzelpartionsverpackungen, weshalb Stick Packs in der vorliegenden Arbeit vorgestellt werden. Stick Packs werden in Folienverbunden aus Aluminium und Kunststoff, aber auch mit Verbundfolien, die aus einem Papier-Alu-Siegelmedium bestehen, hergestellt (Constantia Flexibles International GmbH, 2015c). Das Unternehmen Constantia Flexibles wendet bis zu 11 Stick Pack-Produktionslinien an, was wiederum die Vielfalt, auch innerhalb der einzelnen Packmittelarten, widerspiegelt.

Zusätzlich zu Beuteln aus Aluminiumfolienverbunden, gibt es auch zunehmend Beutel mit aluminiumbeschichteten Kunststofffolien am Verpackungsmarkt. Hierbei werden Aluminiumbeschichtungen, wie in Kapitel 3.4 beschrieben, eingesetzt. Aluminiumbedampfte, gestreckte Polypropylen (OPP) –Folien werden oftmals für Beutel mit hoher Barriereanforderung genutzt (Kaßmann, 2014). Beutel mit aluminiumbedampften Kunststofffolien werden besonders für trockene Lebensmittel, beispielsweise Snacks, eingesetzt. Abbildung 6 zeigt einen Schlauchbeutel mit einer aluminiumbeschichteten, biaxial gestreckten Polypropylen (BOPP) –Folie, welcher für Salzgebäck wie Kartoffelchips eingesetzt wird.

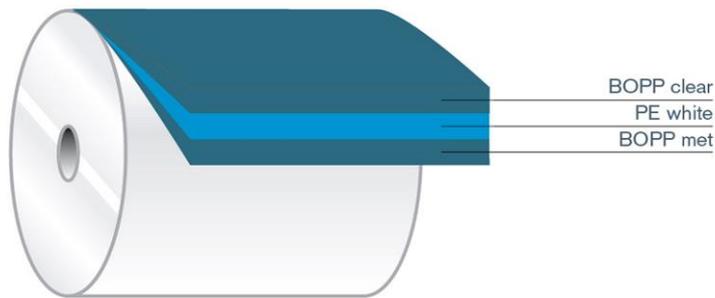


Abbildung 6: Schlauchbeutel der Material Constantia Flexibles GmbH als Beispiel für den Materialaufbau eines Schlauchbeutels mit Aluminiumbeschichtung (Constantia Flexibles Group GmbH, 2017c)

4.2 Blister

Die Blisterverpackung ist ein weitgehend formstabiles Packmittel mit einer Kunststofffolie aus PET oder PVC und einer aufgesiegelten Deckfolie aus Aluminium, Kunststoff oder beschichtetem Papier. Die Kunststofffolie wird entsprechend der Kontur des Packgutes thermogeformt. Es gibt aber auch modifizierte Ausführungen mit ausschließlich Aluminiumfolie (Bleich et al., 2011). Die Hauptanwendungsform sind Durchdrückverpackungen, die als Sammelpackungen für kleine und meist einzeln zu verbrauchende Stückgüter wie Arzneimittel (Tabletten, Kapseln oder Dragees) eingesetzt werden. Als Packgüter für Blisterverpackungen mit Aluminium im Verbund finden sich hauptsächlich Drogerieprodukte, welche empfindlich gegenüber äußeren Einflüssen sind. Ein weiterer Anwendungsbereich für Durchdrückverpackungen sind Kaugummis (Constantia Flexibles International GmbH, 2015a).

Aufgrund der großen Nachfrage nach einerseits zweckmäßigen und leicht zugänglichen Verpackungen und andererseits Kindersicherheit von Verpackungen im Medikamentenbereich, haben Verpackungshersteller die Bestrebung ein Gleichgewicht zwischen Kindersicherheit und zweckmäßiger Handhabung von Medikamentenverpackungen zu schaffen. Aus diesen Gründen sind kindersichere Blisterverpackungen in verschiedenen Varianten am Markt verfügbar. Bei allen Anwendungsmöglichkeiten ist der umfassende Schutz vor Feuchtigkeit, Sauerstoff und Licht von großer Bedeutung für den Erhalt der Medikamentenhaltbarkeit. Aus

diesem Grund wird Aluminium für diese Zwecke als Verbundpartner eingesetzt. Abbildung 7 zeigt den Materialaufbau der kindersicheren Blisterdeckfolie „Peel & Push“ von Constantia Flexibles (Constantia Flexibles International GmbH, 2015b).

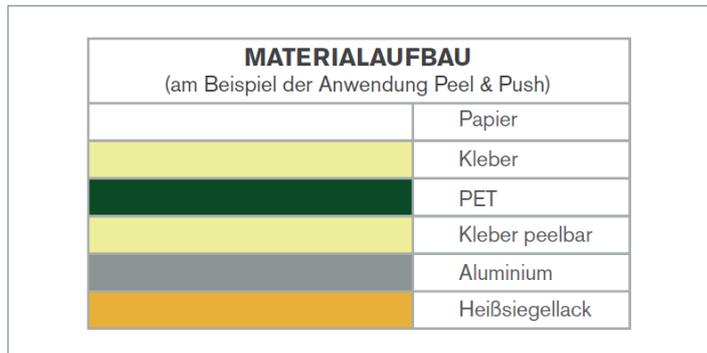


Abbildung 7: Materialaufbau einer kindersicheren Blisterverpackung am Beispiel von "Peel and Push" (Constantia Flexibles International GmbH, 2015b, 1)

4.3 Wickelfolien

Unter Wickelfolien werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit Aluminiumfolienverbunde, welche um das Packgut gewickelt werden und sich an die Form des Packgutes anpassen, verstanden. Diese Packmittelart ist besonders im Süßwarenbereich vorzufinden, wird aber auch für andere Anwendungsbereiche, wie Butter oder feste Fertigmischungen (beispielsweise Suppenbrühwürfel), im Lebensmittelbereich eingesetzt. Wickelfolien werden hauptsächlich im Verbund mit Papier, aber auch mit Kunststofffolien hergestellt. Schokoladentafeln zählen zu dem typischen Anwendungsbereich von Wickelfolien, welche in der Regel aus Aluminium/Papier-Kaschierungen bestehen (Meier Verpackungen GmbH, 2017a). Neben Schokoladentafeln werden Wickelfolien mit Aluminium/Papier-Kaschierung auch für andere Süßwaren, wie Biskuits und Waffeln, eingesetzt. Diese Produkte sind sehr empfindlich gegenüber Feuchtigkeit und anderen äußeren Einflüssen was den Schutz einer guten Barrierschicht erforderlich macht. Ein typisch österreichisches Beispiel hierfür sind Mannerschnitten. Diese werden, wie in Abbildung 8 ersichtlich, in einer Aluminium/Papier-Kaschierung mit einer zweifachen Aluminiumbeschichtung verpackt.

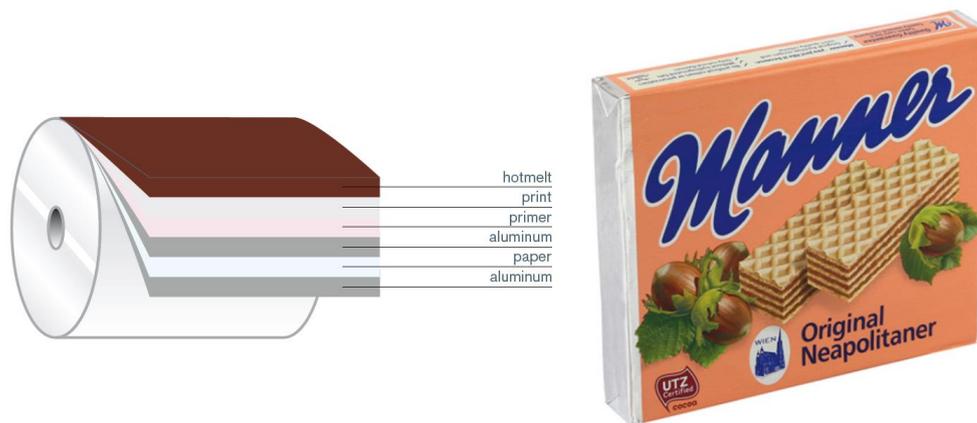


Abbildung 8: Wickelfolie für Biskuits und Waffeln als Beispiel für Aluminiumfolienverbunde im Snackbereich (Constantia Flexibles International GmbH, 2015a)

Ein weiteres Beispiel für Aluminium/Papier-Kaschierungen sind die, wie in Abbildung 9 dargestellten, Wickelfolien für die Innenverpackung von Kaugummis. Bei dieser Wickelfolie dient Aluminium als Träger- und Barrierschicht, wobei das Aluminium entweder lackiert oder bedruckt ist und Papier als Heißsiegelschicht fungiert. Die Kaschierung kann mit Wachs oder mit Kleber erfolgen (Constantia Flexibles International GmbH, 2015a).

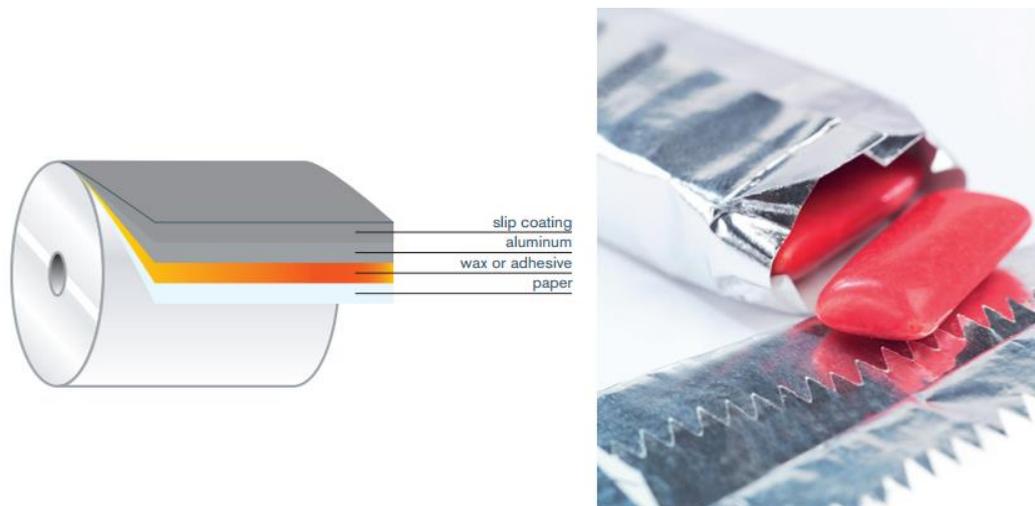


Abbildung 9: „Chewing Gum Inner Wrapper“ als Beispiel für eine Wickelfolie mit Aluminium/Papier-Kaschierung (Constantia Flexibles International GmbH, 2015a)

Aluminium kann aber auch für die Außenwickelfolie von Kaugummis eingesetzt werden. In diesem Fall ist keine Innenfolie nötig und das Produkt wird in einem Aluminiumfolienverbund mit Papier als Trägerschicht und Aluminium mit

Heißsiegellackierung als Barriere- und Heißsiegelschicht eingesetzt (Constantia Flexibles International GmbH, 2015a).

Unter festen Fertigmischungen werden beispielsweise Suppenbrühwürfel oder Hefe verstanden. Diese Packgüter werden im Aluminium-Verbund mit Kunststofffolien (gestreckte Polypropylen (OPP) –Folien) oder Papier verpackt. Die Kaschierung erfolgt hierbei ebenfalls mit Wachs oder Kleber (Constantia Flexibles International GmbH, 2017).

4.4 Getränkeverbundkartons

Getränkeverbundkartons (GVK) bestehen aus einem Verbund von Karton, Kunststoff und häufig Aluminium. Es handelt sich um Einwegverpackungen für Getränke, aber auch flüssige Nahrungsmittel. In der Umgangssprache wird häufig der Begriff „Tetra Pak“, als generalisierter Markenname, verwendet. Die drei größten Hersteller für GVKs sind Tetra Pak, Elopak und SIG Combibloc (Deutsche Umwelthilfe, 2014). GVKs mit Aluminium gehören zu den aseptischen Verpackungen und werden vor dem Befüllen, mit ultrahoherhitzten Lebensmitteln, sterilisiert. Die Produkte sind damit über mehrere Monate, teilweise auch ungekühlt, lagerfähig (Tetra Pak International S.A., 2017b).

Aluminium wird in GVKs hauptsächlich für Getränke wie Saft und Haltbarkeitsmilch, aber auch für Lebensmittel, welche die Barrierewirkung von Aluminium benötigen, eingesetzt. Frischmilch, mit einer Haltbarkeit von lediglich einigen Tagen, wird in GVKs ohne Aluminium abgefüllt (Deutsche Umwelthilfe, 2014).

Abbildung 10 zeigt den schematischen Materialaufbau eines GVKs. Die Trägerschicht besteht aus einem mit LDPE beschichteten Karton, der das Packmittel stabilisiert und als Druckoberfläche dient (Deutsche Umwelthilfe, 2014). Eine Zwischenschicht aus LDPE wird als Haftschrift zwischen Karton und Aluminiumfolie eingesetzt (Tetra Pak International S.A., 2017b). Die Barrierschicht bildet eine Aluminiumfolie und für die Heißsiegelschicht werden wiederum mehrere Schichten an LDPE eingesetzt. Die meisten GVKs werden, zur

Wiederverschließbarkeit und besseren Ausgusshilfe, mit Verschlüssen aus HDPE hergestellt (Deutsche Umwelthilfe, 2014).

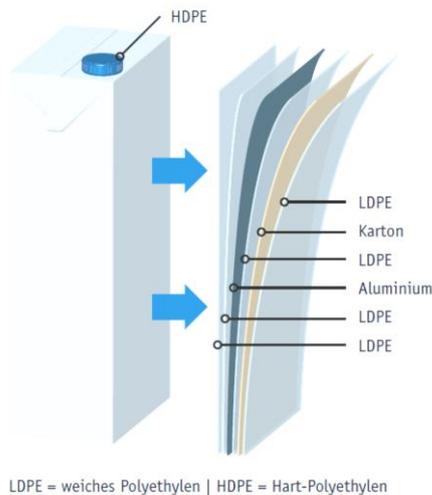


Abbildung 10: Schematischer Materialaufbau eines Getränkeverbundkartons (Deutsche Umwelthilfe, 2014, 3)

4.5 Kapseln und Platinen

Neben Beuteln sind Kapseln und Platinen in den letzten Jahren ein beliebtes Packmittel für Kaffee, aber auch für Tee geworden. In Österreich gelten laut Anhang 2 der Verpackungsverordnung „Getränkessystemkapseln, Kaffee - Folienbeutel und Kaffeepads aus Filterpapier, die zusammen mit dem verwendeten Kaffeeprodukt entsorgt werden“ nicht als Verpackung, da sie einen integralen Teil des Produkts darstellen (Verpackungsverordnung, 2015). Gleiches gilt für Einzelpartionsverpackungen im Teebereich. Aus diesem Grund fallen diese Packmittelarten nicht in das Regime der Verpackungsverordnung und unterliegen weder Sammel-, noch Verwertungsquoten.

Aufgrund des zunehmenden Aufkommens von Kapseln und Platinen am österreichischen Markt, werden Sie dennoch in der vorliegenden Arbeit als Packmittelart vorgestellt. Einzelpartionsysteme nehmen in Österreich mehr als die Hälfte aller österreichischen Haushalte ein. Hierbei sind Kapselmaschinen und Pad-Maschinen inbegriffen (Österreichischer Kaffee- und Tee-Verband et al., 2016). Für einige Kapseln werden gestanzte Platinen aus Aluminiumverbund eingesetzt. Diese Platinen werden beispielsweise als Verbund mit Kunststoff (PET)

ausgeführt und lackiert oder mit einer Koextrusionsbeschichtung hergestellt. Eine spezielle Siegellackierung ist wichtig, damit das Material auch beim Aufbrühen in der Maschine fest versiegelt ist (Constantia Flexibles Group GmbH, 2017a). Ein weiteres Beispiel für Kapseln aus Aluminiumverbunden sind die sogenannten „Businesskapseln“ von Nespresso. Diese werden im Verbund aus Aluminium und Kunststoff hergestellt und sind, im Gegensatz zu den Endverbraucher-Kapseln aus reinem Aluminium, für gewerbliche Kaffeemaschinen erhältlich (NESPRESSO ÖSTERREICH GMBH & Co OHG, 2017). Wie hoch der Anteil von Kapseln aus Aluminiumverbund an dem Verbrauch von Kaffeekapseln in Österreich insgesamt ist, konnte im Rahmen der gegenständlichen Arbeit nicht erhoben werden.

5 Aufkommen von Aluminium in Aluminiumverbunden in Österreich

Die quantitative Datenlage im Bereich von Aluminiumverbunden ist als unzureichend einzustufen. Dies liegt einerseits daran, dass die Anwendung von Aluminiumverbunden äußerst vielseitig und divers ist und andererseits wenige Daten zu Verbundverpackungen im Detail und noch weniger über das Aufkommen von Aluminium in Verbundverpackungen erhoben werden.

Wie in Kapitel 4 erläutert, gehören die meisten Aluminiumverbunde zu den flexiblen Verpackungen. Europaweit fällt 17% des gesamten Aluminiumverbrauchs auf Verpackungen, wovon 28% flexible Verpackungen ausmachen (European Aluminium Association, 2016). Nach Angaben der European Aluminium Foil Association e.V. (EAFA) werden europaweit (wirtschaftliches Europa inkl. Russland, Türkei und Ukraine) 400.000 t Aluminiumfolie pro Jahr für flexible Verpackungen eingesetzt. Wie viele Folien hiervon in Verbundverpackungen eingesetzt werden, konnte nicht abgeschätzt werden (European Aluminium Foil Association e.V. (EAFA), 2017). López et al. verweisen auf eine spanische Studie aus dem Jahr 2013, wonach in Spanien der Anteil an flexiblen Verpackungen etwa 10% der Aluminium-Verpackungsabfälle ausmacht (López et al., 2015). In Deutschland wurden im Jahr 2012 lediglich 7% des Gesamtverbrauchs an Aluminium für Verpackungen eingesetzt. Dies liegt einerseits an den dünnen Folien und Bändern mit geringer Masse, welche im Verpackungswesen Anwendung finden (Kaßmann, 2014) und andererseits an der starken exportorientierten Automobilindustrie, welche einen hohen Prozentsatz am Gesamtverbrauch an Aluminium in Deutschland einnimmt.

Aufgrund der beschränkten Datenlage wurden, zur Abschätzung des Aufkommens von Aluminium in Verbundverpackungen in Österreich, Verbrauchsdaten und Restmüllanalysen herangezogen. Diese Abschätzungen bieten einen Orientierungsrahmen, erheben jedoch keinen Anspruch auf absolute Richtigkeit.

5.1 Aufkommen von Aluminium in Aluminiumverbunden in ausgewählten Anwendungsbereichen

Die schlechte Datenlage über das Aufkommen von Aluminiumverbunden, und deren Aluminiumanteil, macht eine gesamthafte Abschätzung der Marktmenge in allen Anwendungsbereichen im Rahmen dieser Diplomarbeit unmöglich. Um dennoch einen Überblick in bestimmten Anwendungsbereichen von Aluminiumverbunden zu geben, wurden relevante Anwendungsbereiche mit guter Datenlage identifiziert und genauer betrachtet. Für die vorliegende Arbeit wurden folgende Anwendungsbereiche aus der Lebensmittelindustrie ausgewählt:

1. Snacks
2. Kaffee
3. Getränke

Es handelt sich hierbei um Anwendungsbereiche, welche sehr hohe Barriereanforderungen an Packmitteln haben, wodurch der Einsatz von Aluminiumverbundverpackungen dominiert. Aus diesem Grund kann die Verbrauchsmenge dieser Anwendungsbereiche, für eine Abschätzung des Aufkommens von Aluminiumverbunden herangezogen werden. Im folgenden Abschnitt werden die drei ausgewählten Anwendungsbereiche jeweils definiert, deren Verbrauchszahlen dargestellt und das Aufkommen von Aluminium in den Verbundverpackungen, mithilfe der durchschnittlichen Materialzusammensetzung der selbigen, abgeschätzt. In den Anwendungsbereichen Snacks und Kaffee wurde die durchschnittliche Materialzusammensetzung, aufgrund der schlechten Datenlage, mittels einer Materialanalyse ermittelt.

5.1.1 Anwendungsbereich Snacks

Unter dem Anwendungsbereich Snacks werden salzige und Lebensmittel, wie beispielsweise Kartoffelchips, Nüsse aber auch extrudierte und expandierte Erzeugnisse wie Erdnussflips und Tortilla Chips verstanden (Statista, 2017b).

5.1.1.1 Verbrauchszahlen von Snacks in Österreich

In Europa liegt der durchschnittliche Pro-Kopf-Verbrauch im Segment Snacks im Jahr 2016 bei rund 5,0 kg/EW.a. Hiervon fallen rund 40% auf Nüsse und 29% auf Kartoffelchips. Die restlichen 30% des europäischen Verbrauchs an Snacks werden durch sonstige Knabberartikel, wie extrudierte (z.B. Brezeln, Salzstangen oder Tortilla-Chips) oder expandierte (z.B. Erdnussflips, Zwiebelringe, Kartoffelpuffs) Snackwaren, gedeckt (Statista, 2017b). In Österreich liegt der Verbrauch mit 4,02 kg/EW.a, unter dem europäischen Pro-Kopf-Verbrauch. Dies entspricht, bei einer Einwohnerzahl von rund 8,6 Mio Menschen, einem österreichischen Gesamtabsatz von rund 35.000 t im Jahr 2016 (Kelly Gesellschaft m.b.H, 2017).

5.1.1.2 Materialzusammensetzung von Aluminiumverbundverpackungen für Snacks

Snacks werden hauptsächlich in Schlauchbeuteln aus Kunststofffolien mit Aluminiumbeschichtungen verpackt. Hierbei wird häufig, wie in Abbildung 6 dargestellt, metallisierte biaxial gestreckte Polypropylenfolie (BOPP-Folie) eingesetzt. Neben Schlauchbeuteln mit metallisierten Kunststofffolien, werden auch Aluminiumfolienverbunde für Snacks eingesetzt. Bei Nüssen wird beispielsweise LDPE als Heißsiegelschicht eingesetzt (Constantia Flexibles Group GmbH, 2017b). Dies ist aber eher selten der Fall, da die ausgezeichnete Wasserdampfbarriere in Kombination mit der guten Sauerstoffbarriere von Aluminiumbeschichtungen für Snacks ausreichend ist (Österreichisches Unternehmen, 2017). Aufgrund der schlechten Datenlage bezüglich des Massenanteils von Aluminium in Snackverpackungen, wurde im Rahmen der gegenständlichen Arbeit eine Materialanalyse mittels ICP-OES durchgeführt.

Ergebnisse der Materialanalyse ICP – OES

Im Rahmen der Atomemissionsspektroskopie wurden insgesamt 10 Packmittel analysiert und deren Aluminiumgehalt erhoben. Im Anhang 3 sind alle analysierten Proben zusammengefasst. Darunter waren drei Verpackungen aus dem Snackbereich. Abbildung 11 zeigt die Proben für den Anwendungsbereich Snacks.



Abbildung 11: Proben Materialanalyse ICP-OES Anwendungsbereich Snacks

Ausgewählt wurden Beutel der Produkte Kartoffelchips, Salzstangen und gesalzene Nüsse. Es handelt sich jeweils um Beutel mit einer aufgedampften Aluminiumbeschichtung, welche in diesem Anwendungsbereich sehr stark vertreten sind. Die aufgedampfte Aluminiumschicht ist äußerst dünn mit einer Schichtdicke zwischen 30-40nm, wodurch sich ein sehr geringer Aluminiumgehalt ergibt. Die Aluminiumgehalte liegen bei allen Beuteln zwischen 0,17-0,18%. Die Ergebnisse der Materialanalyse der Snackverpackungen sind in Tabelle 3 angeführt.

Tabelle 3: Ergebnisse Materialanalyse ICP-OES Anwendungsbereich Snacks

Ergebnisse Materialanalyse Anwendungsbereich Snacks			
Nr.	Verpackungs-art	Produkt	Aluminium-gehalt [%]
7	Beutel	Kellys Original Paprika	0,18%
8	Beutel	Soletti Salzstangerl	0,17%
9	Beutel	Nic Nacs	0,17%

5.1.1.3 Aufkommen von Aluminium in Aluminiumverbundverpackungen für Snacks

Das Aufkommen von Aluminiumverbundverpackungen wurde mit den österreichischen Verbrauchszahlen aus dem Jahr 2016 (siehe Kapitel 5.1.1.1 Verbrauchszahlen von Snacks in Österreich) und dem durchschnittlichen Aluminiumgehalt eines Beutels im Snackbereich abgeschätzt. Der durchschnittliche Aluminiumgehalt eines Snackbeutels wurde mit 0,17%, aus den Ergebnissen der Materialanalyse (siehe Tabelle 3) sowie der durchschnittlichen Füllmenge eines Beutels von rund 180g (ermittelt aus Anhang 3) berechnet. Hierbei ergibt sich ein geschätztes Aluminiumaufkommen von nur rund 2 t pro Jahr in Snackverpackungen in Österreich. Das Aufkommen von Aluminium in diesem Anwendungsbereich ist somit vernachlässigbar gering. Dies liegt an dem Einsatz von aluminiumbedampften Folien, wodurch sich der Aluminiumgehalt im Vergleich zu Aluminiumfolienverbunden drastisch verringert. Bei diesem Vorgehen wurde angenommen, dass alle in Österreich konsumierten Snacks in Beuteln mit Aluminiumbeschichtung verpackt sind. Tatsächlich gibt es jedoch auch andere Barrierebeschichtungen wie Siliziumoxid sowie eine größere Vielfalt an Packmitteln, wie zum Beispiel Dosen aus Karton mit Aluminiumkaschierung, welche aber keinen hohen Marktanteil haben und in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt wurden (Tacker, 2017). Aus diesem Grund stellt das Aufkommen von rund 2 t Aluminium in Snackverpackungen eine Abschätzung dar und sollte nicht als definitiver Wert betrachtet werden. Wichtig dabei ist allerdings, dass die Größenordnung an Aluminium in Snackverpackung mit der gewählten Vorgehensweise jedenfalls gut abgeschätzt werden kann.

5.1.2 Anwendungsbereich Kaffee

Unter dem Anwendungsbereich „Kaffee“ wird im Rahmen dieser Arbeit sowohl Röstkaffee, als auch löslicher oder Instant-Kaffee verstanden. Röstkaffee wird als ganze Bohne oder zu Pulver gemahlen verpackt, wobei letzteres noch höhere Barriereanforderungen an das Packmittel hat. „Instant-Kaffee“ beinhaltet löslichen Kaffee, in purer Form und in Form löslicher Kaffeespezialitäten (wie z.B. vermengt mit Milch als fertiger Cappuccino).

5.1.2.1 Verbrauchszahlen von Kaffee in Österreich

Kaffee zählt als Genussmittel mit hohen Barriereanforderungen zu einem wichtigen Anwendungsbereich von Aluminiumverbunden. In Österreich werden im Durchschnitt 7,8 kg/Ew.a Kaffee verbraucht. Dies entspricht einem täglichen Konsum von durchschnittlich 2,9 Tassen pro Kopf (Österreichischer Kaffee- und Tee-Verband et al., 2016) und einer österreichischen Gesamtverbrauchsmenge von rund 67.000 t Kaffee im Jahr 2015. Betrachtet man den österreichischen Kaffeemarkt nach Segmenten, dominiert Röstkaffee mit einem Anteil von 59%. Espresso- und Crema-Röstungen haben einen Anteil von 27% und Einzelportionsverpackungen (Kapseln und Pads) liegen mittlerweile bei 14% des österreichischen Kaffeeverbrauchs (Österreichischer Kaffee- und Tee-Verband et al., 2015). Dies macht einen österreichischen Verbrauch von 57.000 t Röstkaffee sowie Espresso- und Crema-Röstungen und 9.400 t Kaffee in Einzelportionsverpackungen aus. Österreich liegt damit im europäischen Spitzenfeld, was den Kaffeeverbrauch betrifft. Im Jahr 2015 lag der europäische Durchschnitt, laut dem österreichischem Kaffee- und Tee-Verband vergleichsweise bei 4,93 kg/EW.a (Österreichischer Kaffee- und Tee-Verband et al., 2015), wobei Statista sogar einen europäischen pro Kopf-Verbrauch von lediglich 3,3 kg/EW.a annimmt (Statista, 2017a).

5.1.2.2 Materialzusammensetzung von Aluminiumverbundverpackungen für Kaffee

Wie bereits in Kapitel 4.1 und 4.6 erläutert, wird Kaffee heutzutage hauptsächlich in Beuteln oder Einzelpartionsverpackungen wie Kapseln oder Pads verpackt. Des weiteren wird Kaffee auch in starren Packmitteln, wie Kombidosen oder Glasverpackungen, angeboten (Tacker, 2017). Instant-Kaffee wird auch oftmals in sogenannten Stick Packs (siehe Kapitel 4.1) verkauft. Die zentrale Verpackungsart im Bereich der flexiblen Verpackungen sind Beutel. Wobei hier größtenteils Aluminiumfolienverbunde eingesetzt werden, da bedampfte Aluminiumbeschichtungen in diesem Bereich, aufgrund der geringeren Barrierewirkung, keine langen Produkthaltbarkeiten bieten würden

(Österreichisches Unternehmen, 2017). Abbildung 12 zeigt die prozentuelle Materialzusammensetzung eines Kaffeebeutels, auf Basis von

Tabelle 2, welche in Kapitel 4.1 angeführt wird. Die Massenanteile der Packstoffe sind aus dem spezifischem Gewicht dieser errechnet, da davon ausgegangen wird, dass bei einem Folienverbund alle Substrate mit der gleichen Fläche in das Packmittel eingearbeitet sind. PE fungiert in diesem Beutel als Heißsiegelschicht und hat einen Massenanteil von 72,9%. Aluminium bildet die Barrierschicht des Packmittels und hat einen Massenanteil von 14,7%. PET hat als Trägerschicht einen Anteil von 12,4% an der Gesamtmasse des Packmittels.

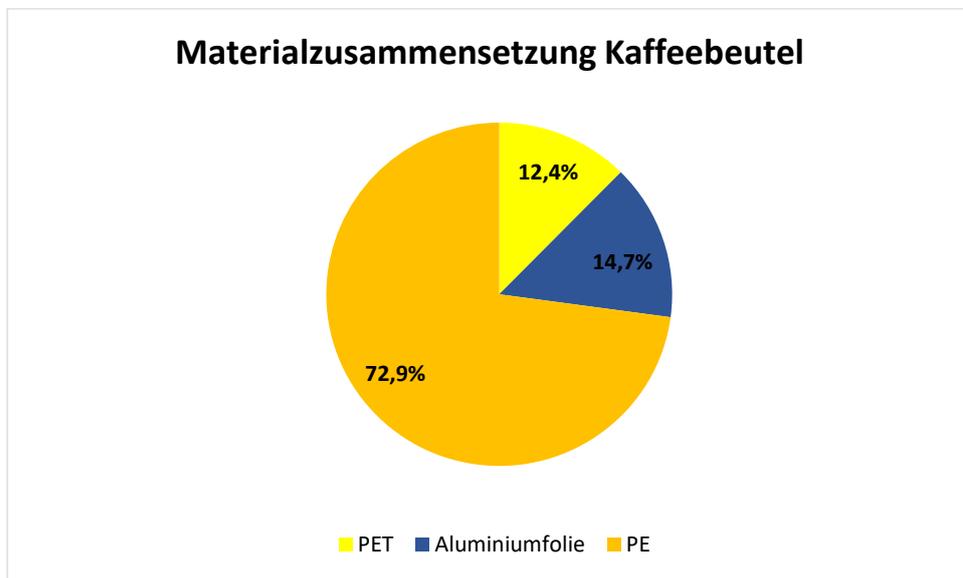


Abbildung 12: Materialzusammensetzung eines Kaffeebeutels (eigene Darstellung, 2017)

Neben den Beuteln, werden auch sogenannte Stick Packs für die Verpackung von Kaffee verwendet. In der folgenden Abbildung wird die Materialzusammensetzung eines Stick Packs, wie sie Büsser und Jungwirth beispielhaft anführen (Büsser und Jungbluth, 2009), dargestellt.

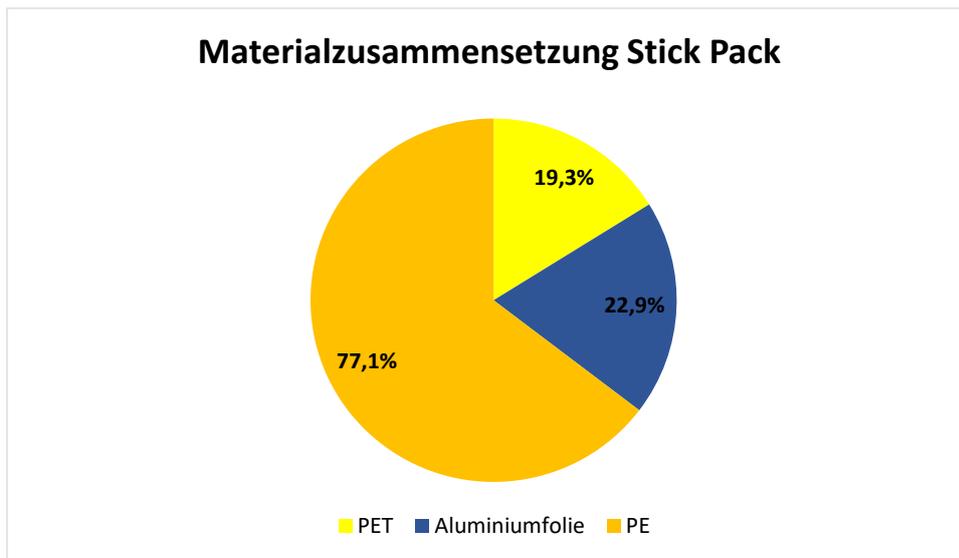


Abbildung 13: Materialzusammensetzung eines Stick Packs (eigene Darstellung, 2017)

Der dargestellte Stick Pack weist einen Aluminiumanteil von 22, 9% auf, was deutlich über jenem von Beuteln liegt. Hierbei muss jedoch erwähnt werden, dass dieses Packmittel im Gegensatz zu Beuteln und Kapseln nur marginale Anwendung findet und daher für das Aufkommen von Aluminiumverbunden im Kaffeebereich vernachlässigt werden kann. Wichtig ist es zu erwähnen, dass die Daten von Büsser und Jungwirth schon fast 20 Jahre alt sind und in den letzten Jahren starke Entwicklungen in Richtung einer Reduktion der Schichtdicke von Aluminium durchgeführt wurden. Aus diesem Grund wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit ähnliche Kaffeeverpackungen analysiert, um etwaige Veränderungen des Aluminiumgehalts in dem Packmitteln zu quantifizieren.

Immer häufiger werden im Kaffeebereich Einzelpartionsverpackungen, wie Kapseln und Kaffeepads, eingesetzt. In Österreich gelten jedoch laut Verpackungsverordnung: „Getränkessystemkapseln, Kaffee - Folienbeutel und Kaffeepads aus Filterpapier, die zusammen mit dem verwendeten Kaffeeprodukt entsorgt werden“, nicht als Verpackung, da sie einen integralen Teil des Produkts darstellen (Verpackungsverordnung 2015, Anhang 2). Aus diesem Grund fallen diese Packmittelarten nicht in das Regime der Verpackungsverordnung und unterliegen weder Sammel-, noch Verwertungsquoten. Aufgrund des zunehmenden Aufkommens von Kapseln und Platinen am österreichischen Markt, sowie der geringen Datenlage zur Zusammensetzung von Kaffeekapseln aus

Aluminiumverbunden, wurden diese dennoch im Rahmen der Arbeit beispielhaft analysiert.

Ergebnisse der Materialanalyse ICP – OES

Im Rahmen der Atomemissionsspektroskopie wurden insgesamt 10 Packmittel analysiert und deren Aluminiumgehalt erhoben. Im Anhang 3 sind alle analysierten Proben zusammengefasst. Darunter waren sechs Verpackungen aus dem Kaffeebereich. Abbildung 14: Proben Materialanalyse ICP-OES Anwendungsbereich Kaffee zeigt die untersuchten Packmittel für den Anwendungsbereich Kaffee.



Abbildung 14: Proben Materialanalyse ICP-OES Anwendungsbereich Kaffee

Ausgewählt wurden vier Beutel, wobei drei davon vakuumiert und mit gemahltem Kaffee befüllt waren. Der Inhalt des vierten Beutels (Probe 2) waren ganze Kaffeebohnen. Einer der vakuumierten Kaffeebeutel (Probe 1) bestand aus einem Außenbeutel (1a) und einem aluminiumhaltigen Innenbeutel (1b), wobei lediglich der Innenbeutel vakuumiert war. Zusätzlich wurden ein Stick Pack und ein Kaffeepad (herstellerspezifische Bezeichnung „Businesskapsel“) herangezogen. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Materialanalyse ICP-OES für Kaffeeverbundverpackungen angeführt. Die vakuumierten Kaffeebeutel weisen einen Al-Gehalt zwischen 15,3-16,4% auf, wogegen der nicht vakuumierte Beutel einen Massengehalt von etwa 14% Aluminium hat. Der Unterschied ist sehr gering und darin begründet, dass vakuumierte Verpackungen für gemahlten Kaffee

eingesetzt werden, welcher einen höheren Barriereanspruch als Kaffee in ganzer Bohne hat. Der Stick Pack hat einen höheren Aluminiumanteil von etwa 22,7% an der Verpackungsmasse. Diese Ergebnisse stimmen gut mit den oben angeführten Ergebnissen von Büsser und Jungwirth überein. Das Pad hat mit 61% den weitaus höchsten Aluminiumgehalt, wobei erwähnt werden sollte, dass dieses Ergebnis nicht als Durchschnittswert für Kaffeepads und -kapseln angenommen werden kann, da es sich in den meisten Fällen um Kunststoffkapseln ohne Aluminium im Verbund handelt. Ausnahme besteht bei dem Unternehmen Nespresso, welches Kapseln für EndverbraucherInnen aus reinem Aluminium vertreibt. Bei dem analysierten Pad (Probe 5) handelt es sich um die „Businesskapsel“ des oben genannten Unternehmens, die nur im gewerblichen Bereich Anwendung findet. Aus diesen Gründen ist die Identifikation des Anteils an Kapseln mit Aluminiumverbund äußerst schwierig und im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

Tabelle 4: Ergebnisse Materialanalyse ICP-OES Anwendungsbereich Kaffee

Ergebnisse Materialanalyse Anwendungsbereich Kaffee			
Nr.	Verpackungsart	Produkt	Aluminiumgehalt [%]
1a	Außenbeutel	Dallmayr prodomo	0,05%
1b	Innenbeutel vakuumiert	Dallmayr prodomo	16,05%
2	Beutel	Dallmayr prodomo	13,75%
3	Beutel vakuumiert	Julius Meinl Jubiläum Mahlkaffee	16,42%
4	Stick Pack	Tschibo Instant	22,69%
5	Kapsel	Nespresso Businesskapsel Lungo Forte	61,08%
6	Beutel vakuumiert	Spar Natur Pur Biokaffee	15,25%

5.1.2.3 Aufkommen von Aluminium in Aluminiumverbundverpackungen für Kaffee

Das Aufkommen von Aluminiumverbundverpackungen wurde mit den österreichischen Verbrauchszahlen aus dem Jahr 2015 (siehe Kapitel

Verbrauchszahlen von Kaffee in Österreich) und dem durchschnittlichen Aluminiumgehalt sowie der durchschnittlichen Füllmenge von 500 g (ermittelt aus Anhang 3) eines Beutels abgeschätzt. Der durchschnittliche Aluminiumgehalt eines Kaffeebeutels wurde mit 15,4% aus den Ergebnissen der Materialanalyse (siehe Tabelle 4) berechnet. Einzelpartionsverpackungen wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt, da in diesem Bereich keine ausreichende Datenlage verfügbar war. Fehlende Informationen über den Marktanteil von Stick Packs und den Anteil an Kapseln mit Aluminiumverbund im Vergleich zu Kapseln ohne Aluminium bzw. reinen Aluminiumkapseln (z.B.: Nespresso Endverbraucher kapsel), verhinderten eine Berücksichtigung dieses Segments in der vorliegenden Abschätzung. Der Marktanteil von Einzelpartionsverpackungen insgesamt, beträgt etwa 14% des Gesamtverbrauchs an Kaffee in Österreich (Österreichischer Kaffee- und Tee-Verband et al., 2015), weshalb für die Abschätzung des Aluminiumgehalts in Kaffeebeuteln 86% des österreichischen Verbrauchs 2015 herangezogen wurden. Hierbei ergibt sich ein Aufkommen von etwa 220 t Aluminium in Kaffeebeuteln in Österreich.

Bei diesem Vorgehen wurde angenommen, dass der gesamte in Österreich konsumierte Kaffee (exkl. jener in Einzelpartionsverpackungen) in Beuteln mit Aluminiumverbund verpackt ist. Tatsächlich gibt es jedoch auch starre Packmittel, wie zum Beispiel Dosen aus Karton mit Aluminiumkaschierung oder Glasverpackungen. Die Marktanteile von starren und flexiblen Verpackungen sind leider nicht bekannt, weshalb sie in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt wurden. Aus diesem Grund stellt das Aufkommen von rund 220 t Aluminium in Kaffeebeuteln eine Obergrenze der durchgeführten Abschätzung dar.

5.1.3 Anwendungsbereich Getränke

Unter Getränken werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit, die Segmente Fruchtsaft (inkl. Nektaren und sonstigen Saftgetränken wie Eistee) und Milch subsumiert.

5.1.3.1 Verbrauchszahlen von Getränken in Österreich

Der Fruchtsaftverbrauch in Österreich ist rückläufig. Im Jahr 2016 wies der österreichische Fruchtsaftmarkt einen Rückgang von -7,4% im Vergleich zum Jahr 2015 auf. Der Fruchtsaftmarkt wird vom Verband der Getränkehersteller Österreichs unter den Segmenten Saft, Nektar, Fruchtsaftgetränke und gespritzte Fruchtsäfte zusammengefasst. Insgesamt wurden im Jahr 2016 in Österreich 2,2 Mio hl verbraucht. Dies entspricht einem pro Kopf Verbrauch von 25 l/EW.a, bei einer Einwohnerzahl von rund 8,6 Mio Menschen (Verband der Getränkehersteller Österreichs, 2017). Aseptische GVKs werden jedoch, außer für klassische Fruchtsaftgetränke, auch für sonstige Saftgetränke wie Eistee eingesetzt. Um bei der Abschätzung des Aufkommens von GVKs im Getränkebereich so ganzheitlich wie möglich vorzugehen, werden die sonstigen Fruchtsaftgetränke auch miteingerechnet. Hierbei ergibt sich ein Verbrauch von nahezu 2,5 Mio hl im Jahr 2016 von Fruchtsäften und sonstigen Fruchtsaftgetränken in Österreich (Matyk, 2017b).

Der Anteil an aseptischen GVKs beim Fruchtsaftabsatz beträgt bei Fruchtsäften etwa 70% und bei Nektaren sowie sonstigen Fruchtsaftgetränken etwa 60%. Die restlichen Mengen werden in PET Flaschen, Glasflaschen und Getränkecontainern in der Gastronomie, sowie Standbodenbeuteln aus Aluminiumverbund abgefüllt, wobei der Marktanteil von Letzteren lediglich <1% beträgt (Matyk, 2017b).

Im Bereich der Milch wird zwischen Frischmilch, Haltbarkeitsmilch und Milchlischgetränken unterschieden. Der österreichische Milchverbrauch ist in den letzten Jahren konstant. Hierbei wurden in den letzten Jahren jährlich 3,6 Mio hl Frischmilch und 1,1 Mio hl Haltbarkeitsmilch verbraucht. Der Konsum von

Milchmischgetränken liegt konstant bei etwa 500.000 hl. Insgesamt liegt der jährliche Milchverbrauch also bei etwa 5,2 Mio hl in Österreich.

Während Frischmilch in GVKs ohne Aluminium abgefüllt wird, sind für Haltbarkeitsmilch aseptische GVKs nötig. Aufgrund des hohen Verbrauchs an Frischmilch im Gegensatz zu Haltbarkeitsmilch in Österreich, ergibt sich der niedrige Marktanteil von etwa 20% für aseptische GVKs.

5.1.3.2 Materialzusammensetzung von Aluminiumverbundverpackungen für Getränke

Ein Beispiel für einen gängigen aseptischen Getränkeverbundkarton ist der Verpackungstyp „Tetra Prisma Aseptic Square“ des Unternehmens Tetra Pak International S.A. Bei einem Füllvolumen von 1l hat das Packmittel ein Gesamtmasse von 36 g (exkl. Verschluss). Der Anteil an Karton beträgt, mit einer Masse von 25 g, 70,5% des gesamten GVKs. Mit einer Masse von 11,7g beträgt der Kunststoffanteil des Packmittels 32,5%. Aluminium hat einen Massenanteil von 5,3%, was einer Masse von 1,9 g Aluminium entspricht (Tetra Pak International S.A., 2017a). Der Aluminiumanteil an der Verpackungsmasse steigt mit abnehmendem Füllvolumen, so hat beispielsweise der gleiche Verpackungstyp (Tetra Prisma Aseptic Square) mit einem Füllvolumen von 500ml, ohne Verschluss, einen Aluminiumanteil von 6,4% (Tetra Pak International S.A., 2017a).

Neben den Werten von der Industrie, gibt es auch zahlreiche Angaben zum Aluminiumanteil an GVKs in der wissenschaftlichen Literatur. In einer Studie der „Mehrweg- und Recyclingsysteme für ausgewählte Getränkeverpackungen aus Nachhaltigkeitssicht“ von Pricewaterhouse Coopers (PwC) wird ein Aluminiumanteil zwischen 0 und 6,2 % angegeben und ein Durchschnittswert von 3,1% angenommen (Albrecht et al., 2011). Robertson gibt einen Aluminiumanteil von 6,2% bei aseptischen GVKs an (Robertson, 2012) und die European Aluminium Association (EAA) weist den Anteil von Aluminium an der Gesamtmasse eines GVKs mit 5,3% aus (European Aluminium Association, 2016). Der Verein Getränkekarton Austria gibt einen durchschnittlichen Aluminiumanteil von 6% an. Abbildung 15 zeigt die durchschnittliche

Materialzusammensetzung eines aseptischen GVKs (exkl. Verschluss) (Matyk, 2017a).



Abbildung 15: Durchschnittliche Materialzusammensetzung eines aseptischen Getränkeverbundkartons, exkl. Verschluss (eigene Darstellung, 2017)

Die Angaben aus der Literatur unterscheiden sich teilweise, wobei in den meisten Fällen von einem Aluminiumanteil >5% ausgegangen wird. Für die gegenständliche Masterarbeit werden die Werte von Getränkekarton Austria mit einem durchschnittlichen Massenanteil eines aseptischen Getränkeverbundkartons von 6% Aluminium angenommen, da es sich hierbei um aktuelle Zahlen des österreichischen Gesamtverbandes handelt.

5.1.3.3 Aufkommen von Aluminium in Aluminiumverbundverpackungen für Getränke

Das Aufkommen von Aluminium im Anwendungsbereich Getränke wurde mithilfe der aktuellen Verbrauchsdaten (siehe Kapitel 5.1.3.1), zusammen mit der durchschnittlichen Materialzusammensetzung (siehe Kapitel 5.1.3.2) eines aseptischen GVKs von etwa 6% Aluminium, abgeschätzt. Es wurde eine Füllmenge von 1 l angenommen. Hierbei ergibt sich ein jährliches Aufkommen von etwa 570 t Aluminium in aseptischen GVKs für Getränke. Hiervon stammen 220 t Aluminium aus dem Milchbereich und 350 t aus dem Fruchtsaftbereich (Matyk, 2017b).

5.2 Österreichweites Aufkommen von Aluminium in Aluminiumverbunden

In Österreich fallen derzeit jährlich rund 1,3 Mio t Verpackungsabfälle (inkl. Gewerbemüll) bei einem Gesamtaufkommen von 4,2 Mio t Siedlungsabfällen an. Dies entspricht einem Anteil von etwa 30% Verpackungsabfällen am Siedlungsabfall. Das Aufkommen von Verbundverpackungen wird im österreichischen Bundesabfallwirtschaftsplan nicht ausgewiesen (BMLFUW, 2017). Es gibt österreichweit hierzu keine zentralen Daten, welche veröffentlicht werden. Ein Grund für die schlechte Datenlage, in Bezug auf das Aufkommen von Verbundverpackungen und deren eingesetzten Packstoffe, ist die Entscheidungsfreiheit der Produzenten bei der Lizenzierung von Materialverbunden. Durch das EDM-Portal wird zentral aufgezeichnet, wie viele Packmittel österreichweit lizenziert werden. Hersteller, die Materialverbunde produzieren und gleichzeitig selbst abpacken, haben jedoch die Möglichkeit auch die Monopackstoffe aus dem Materialeinkauf zu lizenzieren. Bei dieser Vorgehensweise werden die Packstoffe als Monopackstoffe lizenziert, unabhängig davon, ob sie nachfolgend in einen Verbund eingearbeitet werden. Hierdurch gehen in der Lizenzierungspraxis wertvolle Daten zu den Packstoffen, die in Materialverbunden eingesetzt werden, verloren (Technisches Büro Hauer Umweltwirtschaft GmbH, 2015). Die Daten aus dem EDM-Portal können daher nicht für eine Abschätzung der Mengen an unterschiedlichen Packstoffen, welche in Materialverbunden eingesetzt werden, herangezogen werden.

Aufgrund der kurzen Lebensdauer von Verpackungen ist das Abfallaufkommen dieser, vergleichbar mit der Marktmenge dergleichen. Hierzu kommt, dass Aluminiumverbunde als Einwegverpackungen nicht mehrmals im Umlauf sind und daher direkt vom Endverbraucher entsorgt werden. Aus diesen Gründen dient das Abfallaufkommen von Verbundverpackungen als guter Indikator für das Gesamtaufkommen dieser. Hierbei können Restmüllanalysen Aufschluss zu der Abfallzusammensetzung und den quantitativen Mengen von Verbundverpackungen im Siedlungsabfall geben. Es gibt wenige Abfallanalysen, die eine Quantifizierung des Aufkommens von Verbundverpackungen vornehmen. Noch seltener ist eine detaillierte Untersuchung dieser Fraktion bzw. eine

Quantifizierung der Anteile einzelner Packstoffe in den analysierten Verbunden. Bei der Restmüllanalyse „Produktbezogene Stoffflussanalyse von Abfällen in der Wiener Restmüllanalyse“ (PROSFA) (Taverna et al., 2010) wurde das Aufkommen von Aluminium im Wiener Restmüll erhoben. Hierbei wurden die Frachten von Aluminium in Verbunden (Verbundverpackungen wie Kunststoff-Aluminium-Verbundfolien, aluminium-kaschiertes Papier, Blister etc.) mit 280 t pro Jahr identifiziert. Diese Zahl bezieht sich auf das Wiener Restmüllaufkommen und beinhaltet keine Getränkeverbundkartons. In Wien werden Materialverbunde ausschließlich über den Restmüll gesammelt, weshalb von dem Aufkommen im Restmüll direkt auf die Marktmenge geschlossen werden kann. Die 280 t Aluminium aus Verbundverpackungen, machten 10,4% der Aluminiumverpackungen (2.700 t) aus (Taverna et al., 2010).

Warrings und Fellner (2017) haben die Ergebnisse der Studie „Produktbezogene Stoffflussanalyse von Abfällen in der Wiener Restmüllanalyse“ (ProSFA) herangezogen und auf das österreichische Restmüllaufkommen angewendet. Als Basis wurde eine Analyse zum Verpackungsaufkommen in Österreich (Technisches Büro Hauer Umweltwirtschaft GmbH, 2015) herangezogen. Nach dieser Analyse beträgt das österreichische Aufkommen von Aluminiumverpackungen im Restmüll 11.000 t (exkl. Gewerbeabfällen). In dieser Masse sind jedoch Aluminiumverbunde nicht berücksichtigt und fehlen daher in der Gesamtfracht von Aluminiumverpackungen. Warrings und Fellner haben für die Einrechnung dieser Fraktion den Anteil von 10,4% an Aluminiumverpackungen aus der Studie „Produktbezogene Stoffflussanalyse von Abfällen im Wiener Restmüll (ProSFA) angenommen. Geht man davon aus, dass die 11.000 t Aluminium 89,6% der Aluminiumverpackungen ausmachen, ergibt sich ein Aufkommen von 1.280 ± 340 t Aluminium aus Verbundverpackungen (ohne GVKs) pro Jahr im Restmüll in Österreich. Die Schwankungsbreite wurde mithilfe eines Bewertungstools zur Charakterisierung von Datenunsicherheiten auf Basis von fünf Qualitätsindikatoren (Zuverlässigkeit, Vollständigkeit, zeitliche Korrelation, geographische Korrelation und andere Korrelationen) ermittelt und mit rund 27% (340t) angenommen (Warrings und Fellner, 2017). Dieses Ergebnis spiegelt sich auch bei der Hochrechnung der Aluminiumfracht aus dem Wiener Restmüll

(Taverna et al., 2010) auf den österreichischen Restmüll über den aktuellen Einwohnerschlüssel (Stand 2016) wieder. Hierbei ergibt sich ein Aufkommen von 1.330 t Aluminium aus Verbundverpackungen im Restmüll in Österreich, was im Bereich der oben genannten Schwankungsbreite liegt. Daher werden die Ergebnisse von Warrings und Fellner für diese Arbeit herangezogen. Es wird ein Aufkommen von 1.280 ± 340 t Aluminium aus Verbundverpackungen (ohne GVKs) pro Jahr in Österreich angenommen.

Zur Abschätzung des gesamten Aufkommens von Aluminium in Verbundverpackungen, ist das Aufkommen von Aluminium in aseptischen Getränkeverbundkartons miteinzubeziehen. Bei einem Aluminiumanteil von durchschnittlich 6% an der Verpackungsmasse (Matyk, 2017a), ergibt sich ein Aufkommen von 570 t Aluminium in aseptischen GVKs in Österreich für das Jahr 2016 (siehe Kapitel 5.1.3.3.) Hierdurch ergibt sich ein Gesamtaufkommen von 1.840 ± 340 t Aluminium in Verbundverpackungen. Tabelle 5 zeigt die Zahlen zum Aufkommen von Aluminium in Verbundverpackungen gegenüber dem gesamten Aufkommen von Aluminiumverpackungen in Österreich.

Tabelle 5: Zahlen zum österreichweiten Aluminiumaufkommen im Packmittelbereich

	Al-Aufkommen in Verbundverpackungen (exkl. GVK)	Al-Aufkommen in GVK	Al-Aufkommen in Verbundverpackungen	Al-Aufkommen in Verpackungen
Aluminiumaufkommen [t]	1.280 ± 340	570	1.840 ± 340 t	18.000-18.200 ¹

Das abgeschätzte Aufkommen von 1.840 t macht etwa 10% des gesamten Aluminiumaufkommens in Aluminiumverpackungen aus. Insgesamt werden in Österreich jährlich 269.000 t Rohaluminium importiert und 60.000 t Aluminium Schrott produziert (Buchner et al., 2014). Das Aufkommen von Aluminium in Verbundverpackungen spielt somit im Verhältnis zum gesamten österreichischen

¹ Technisches Büro Hauer Umweltwirtschaft GmbH, 2015

Aluminiumhaushalt nur eine marginale Rolle. Zum österreichischen Endverbrauch an Aluminium von 200.000 t/a tragen Verbundverpackungen rund 1% bei.

6 Entsorgungswege und stoffliche Rückgewinnung von Aluminium aus Aluminiumverbunden im Packmittelbereich in Österreich

In diesem Kapitel werden zunächst die derzeitigen Entsorgungswege von Materialverbunden in Österreich erläutert und stoffliche Verwertungsverfahren von Aluminiumverbunden vorgestellt. Nachfolgend wird das Oxidationsverhalten von Aluminium bei der thermischen Verwertung von Aluminiumverbunden, als Limitationsfaktor für die stoffliche Rückgewinnung des Metalls, analysiert. Im letzten Teil des Kapitels wird die Oxidationsrate zusammen mit anderen Verlusten entlang des Verwertungsprozess betrachtet, um Schlüsse auf das derzeitige stoffliche Rückgewinnungspotenzial von Aluminium in Verbundverpackungen in Österreich zu ziehen.

6.1 Entsorgungswege und Verwertungstechnologien von Aluminium in Verbundverpackungen

In Österreich werden Materialverbunde entweder über die Leichtverpackungssammlung (Kunststoffe und Materialverbunde gemeinsam mit Holz-, Textil- und Keramikverpackungen sowie Verpackungen auf biologischer Basis) in der gelben Tonne bzw. im gelben Sack oder über den Restmüll gesammelt. Die getrennte Sammlung von Materialverbunden über die Leichtverpackungssammlung betrifft 60% des Bundesgebietes. In den restlichen 40% werden die Materialverbunde über den Restmüll erfasst (Altstoff Recycling Austria AG, 2016). Getränkeverbundkartons werden teilweise über die Ökobox (in Wien) oder auch mit anderen Leichtverpackungen zusammen getrennt gesammelt (Technisches Büro HAUER Umweltwirtschaft GmbH, 2014). Die gesetzlich verpflichtende Sammelquote für Materialverbunde liegt bei 40% für Haushaltsverpackungen (Verpackungsverordnung, 2015). Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass aufgrund der in Kapitel 5.2 beschriebenen Lizenzierungspraxis nur ein Teil der Materialverbunde auch tatsächlich als

Materialverbund lizenziert wird. Daher wird davon ausgegangen, dass die reale Sammelquote deutlich unter 40% liegt.

Materialverbunde die über die Leichtverpackungssammlung getrennt erfasst werden, dienen in industriellen Anlagen als Ersatzbrennstoffe (Altstoff Recycling Austria AG, 2016). Hierbei werden die Materialverbunde zusammen mit anderen heizwertreichen Materialien thermisch verwertet, wobei das Aluminium zu 100% oxidiert. Eine stoffliche Verwertung des metallischen Aluminiums ist daher bei der getrennten Erfassung von Materialverbunden auszuschließen. In der Zementindustrie kann das Aluminiumoxid jedoch andere Aluminiumträger, wie Tone oder Mergel, ersetzen.

Über den Restmüll erfasste Materialverbunde werden in Österreich zu 73% thermisch verwertet und zu 27% einer mechanisch biologischen Behandlung zugeführt (Warrings und Fellner, 2017). Im Fall der Verwertung in der MBA wird die heizwertreiche Fraktion ebenfalls als Ersatzbrennstoff eingesetzt. Es werden also in Österreich alle Materialverbunde (ausgenommen GVKs), unabhängig vom Sammelsystem, thermisch verwertet. In der MVA werden die Verbundverpackungen verbrannt und die Rückstände, auch Schlacke genannt, werden vor der Endlagerung auf der Deponie mehreren Aufbereitungsschritten zugeführt. Das nicht oxidierte Aluminium kann über Wirbelstromabscheider aus der Schlacke zurückgewonnen werden. Über diesen Entsorgungsweg wird Aluminium also erst nach dem thermischen Prozess in der MVA aus der Schlacke zurückgewonnen. Problematisch an diesem Entsorgungsweg ist, dass auf diesem Wege ein beträchtlicher Teil des Aluminiums durch Oxidationsverluste verloren geht. Dieses Phänomen wird in Kapitel 6.2 näher erläutert.

Getrennt erfasste GVKs werden direkt einer stofflichen Verwertung zugeführt. Hierbei werden die GVKs zerkleinert und in einer Auflösetrommel gewaschen. Bei diesem Prozess werden die Papierfasern von dem sogenannten Reject (Verbund aus Aluminium und Kunststoff) getrennt. Die Papierfasern werden anschließend stofflich verwertet, während der Reject thermisch verwertet wird (Deutsche Umwelthilfe, 2014). Somit wird das Aluminium auch bei der Verwertung von GVKs derzeit nicht recycelt.

Stoffliche Verwertungstechnologien für Aluminiumverbunde

Die stoffliche Verwertung von Aluminiumverbunden gestaltet sich technisch sehr aufwendig, da die einzelnen Packstoffe gut verklebt sind, in geringen Mengen pro Packmittel eingesetzt werden und dadurch nur schwer voneinander getrennt werden können. Es gibt jedoch technologische Innovationen, die eine Trennung der einzelnen Verbundpartner ermöglichen. Ein Beispiel hierfür ist die Technologie des deutschen Unternehmens Saperatec. Bei Saperatec werden hochspezialisierte Mikroemulsionen eingesetzt, welche auf Tensiden basieren und eine Reduktion der Oberflächenspannung des Aluminiumverbundes bewirken. Hierdurch kann die Mikroemulsion zwischen die Schichten des Verbundes eindringen und die Schichten auftrennen. Die einzelnen Verbundpartner können dann einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Diese Technologie wird derzeit erst im Rahmen einer Pilotanlage durchgeführt (Saperatec GmbH, 2017).

Eine weitere Möglichkeit im Bereich der stofflichen Verwertung von Verbundverpackungen, ist die mikrowelleninduzierte Pyrolyse. Bei der Pyrolyse werden die Verbundverpackungen mithilfe von Mikrowellen in der Abwesenheit von Sauerstoff erhitzt und aufgebrochen. Hierdurch wird der Kunststoff zu Pyrolyseöl abgebaut, welches zur Stromerzeugung und als Rohstoff für chemische Prozesse eingesetzt werden kann. Das Aluminium bleibt unbeschädigt zurück und kann als Sekundärrohstoff eingesetzt werden. Der Vorteil der Pyrolyse ist, dass bei der Erhitzung ohne Sauerstoff keine Oxidation des Aluminiums erfolgt und somit keine Materialverluste entstehen. Die Rückgewinnungsrate des Aluminiums liegt hier bei 70-75% (Slater und Critchton, 2011). Das Unternehmen Enval Ltd. betreibt in Großbritannien eine Anlage mit dieser Technologie. Die Anlage hat eine Kapazität von 2000 t Verbundverpackungen pro Jahr und hat, laut Angaben des Unternehmens, eine Amortisationsdauer von drei bis vier Jahren (Enval Ltd., 2017).

Im Bereich von GVKs gibt es ebenfalls Technologien, die es ermöglichen, den derzeit in Österreich thermisch verwerteten Reject (Verbund aus Aluminium und Kunststoff), aufzutrennen und stofflich zu verwerten. Yan et al. haben Methansäure als optimales Reagenzmittel zur Auftrennung von Aluminium und PE identifiziert.

Hierbei werden Rückgewinnungsraten von über 72% angegeben. Die Auftrennung der Verbundpartner soll, innerhalb von 30 min möglich sein. Zudem soll die Technologie auf industriellen Niveau, wirtschaftlich effektiv durchführbar sein (Yan et al., 2015).

Derartige Technologien zeigen potenzielle Entsorgungswege für Österreich in Zukunft. Derzeit werden sie, wie bereits erläutert, in Österreich jedoch nicht eingesetzt.

6.2 Oxidationsverhalten von Aluminium bei der thermischen Verwertung von Aluminiumverbunden

Das Oxidationsverhalten von Aluminium ist wichtig, um Rückschlüsse auf das Rückgewinnungspotenzial von Aluminiumverbunden zu ziehen. Grund hierfür ist, dass Aluminium nur in metallischer Form zu recyceln ist. Aluminiumverbunde werden in Österreich einer thermischen Verwertung zugeführt.

In Österreich werden elf Anlagen zur thermischen Behandlung von Abfällen betrieben, welche eine Gesamtkapazität von 2,5 Mio t aufweisen. Hiervon sind sieben Anlagen mit Rostfeuerung und vier mit Wirbelschichtfeuerung. In der Rostfeuerung werden hauptsächlich gemischte Siedlungsabfälle bzw. Sperrmüll thermisch behandelt, während in der Wirbelschichtfeuerung hauptsächlich Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung, wie beispielsweise der Altpapieraufbereitung sowie Klärschlamm, thermisch verwertet werden. Aluminiumverbunde werden demnach größtenteils in Rostfeuerungen behandelt. Die, durch die getrennt festgehaltene Leichtverpackungssammlung, erfassten Aluminiumverbunde werden, als heizwertreiche Fraktion, gemeinsam mit Mischkunststoffen in industriellen Anlagen (zumeist Zementindustrie) als Ersatzbrennstoff genutzt (Altstoff Recycling Austria AG, 2016). In diesen Anlagen werden Drehrohröfen eingesetzt, wobei Aluminium zu 100% oxidiert und das Aluminiumoxid nachfolgend verwertet wird (als Bestandteil des erzeugten Klinkers). Hierbei ist also kein stoffliches Rückgewinnungspotenzial von metallischem Aluminium gegeben.

Da Aluminium ab einer Temperatur von 660°C zu schmelzen beginnt und MVAs mit einer durchschnittlichen Temperatur von 880°C gefahren werden, geht ein gewisser Anteil des Aluminiums bei der thermischen Verwertung immer in die Schmelze und oxidiert (Calder/Stark, 2010). Bei der Verbrennung verflüchtigen sich zunächst die dünnen Bestandteile und konzentrieren sich in der Flugasche. Das restliche Aluminium oxidiert an der Oberfläche. Hierbei handelt es sich um eine exotherme Reaktion mit Bestandteilen im Verbrennungsgas wie beispielsweise Sauerstoff, Schwefeldioxid oder Salzsäure (López et al., 2015). Das Aluminium wird während des Oxidationsprozesses von einer Aluminiumoxidschicht (Al_2O_3) teilweise oder sogar gänzlich umhüllt. Während sich die Raten des verflüchtigten Aluminiums in der Flugasche zwischen verschiedenen Verpackungsarten nicht auffallend unterscheiden, gibt es bei der Oberflächenoxidation große Unterschiede. Der Anteil an Aluminium in der Flugasche liegt, unabhängig von der Verpackungsart, bei unter 7%. Die Oxidationsrate hängt von der Verpackungsart, der Legierung und der Prozessführung ab und steigt mit abnehmender Schichtdicke. Grund hierfür ist, dass bei dickeren Verpackungen ein geringerer Anteil des Aluminiums an der Oberfläche liegt und mit Oxidationsgasen in Berührung kommt (Biganzoli et al., 2012). Der Nassaustrag der Schlacke, welcher in Österreich derzeit fokussiert wird, verstärkt den Oxidationsprozess von Aluminium zusätzlich (Biganzoli et al., 2012). Es gibt viele Studien zum Oxidationsverhalten von Aluminium, wobei die meisten auf Labormaßstab durchgeführt wurden. Hierbei ist zu bedenken, dass die obere Oxidationsschicht (welche das weitere Oxidieren des darunterliegenden Aluminiums verhindert), durch die unterschiedlichen Abfälle und Massenbewegungen in einer MVA, während des Verbrennungsprozesses immer wieder aufgebrochen wird und dadurch mehr Aluminium oxidiert, als im Laborversuch. Laborversuche können daher die Realbedingungen einer MVA nur beschränkt aufweisen. Biganzoli et al. hat Oxidationsversuche in einer MVA in Italien durchgeführt. Hierbei wurden Oxidationsraten von 9,2% für Aluminiumdosen, 14,4% für Trays und 58,8% für Folien wie Aluminiumverbunde erhoben (Biganzoli et al., 2012). Die hohe Oxidationsrate von Aluminiumverbunden wird durch die Angaben des CEN Standards "EN

13431:2004 Requirements for packaging recoverable in the form of energy recovery, including specification of minimum inferior calorific value” gestützt, wonach dünne Aluminiumfolien (bis 50 µm) als rein energetisch verwertbar, und nicht stofflich verwertbar, eingestuft werden (Biganzoli und Grosso o. J.). Mit Schichtdicken zwischen 6-30 µm fallen alle Aluminiumfolien in Verbundverpackungen in diesen Standard (Slater und Critchton, 2011). Dies liegt daran, dass durch die vollständige Oxidation von Aluminiumverbunden kein metallisches Aluminium in der Schlacke verbleibt und somit dem Stoffkreislauf verloren geht. Ziel ist es also, die Oxidationsrate so gering wie möglich zu halten, um Aluminium in metallischer Form zu erhalten, damit eine nachträgliche stoffliche Verwertung möglich ist.

6.3 Stoffliches Rückgewinnungspotenzial von Aluminium in Aluminiumverbunden in Österreich

Das stoffliche Rückgewinnungspotenzial der getrennt erfassten Materialverbunde (z.B. über den gelben Sack) kann vernachlässigt werden, da die Aluminiumverbunde in der Mitverbrennung als Ersatzbrennstoffe vollständig oxidieren. Gleiches gilt für den Anteil des Restmülls, welcher mechanisch biologisch behandelt wird. Dies macht österreichweit in etwa 27% des Restmülls aus. Die restlichen 73% werden thermisch behandelt. Das stoffliche Rückgewinnungspotenzial im Bereich der MVA ist stark durch das Oxidationsverhalten im Feuerraum begrenzt. Untersuchungen in China haben einen Anteil von 60-70% Aluminiumoxid am Gesamtaluminium in der Schlacke festgestellt (Xia et al., 2017). Diese Werte decken sich mit der, in Kapitel 6.2 vorgestellten, Oxidationsrate von 58,8% bei Aluminiumverbunden (Biganzoli et al., 2012), wenn man berücksichtigt, dass Aluminiumoxid auch über den Input in die MVA gelangen kann. Die Verluste von Aluminium in Verbundverpackungen im Verbrennungsprozess der MVA belaufen sich somit auf rund 66% (7% Verlust in der Flugasche, 58,8% Oxidationsverluste). Ein weiterer limitierender Faktor des stofflichen Rückgewinnungspotenzials von Aluminium aus Verbundverpackungen sind technologische Grenzen der Schlackenaufbereitung. Die heutige ECS (Eddy Current Separator) Technologie in Österreich ermöglicht eine effiziente

Rückgewinnung von Metallen ab einer Partikelgröße >3-4mm (Warrings und Fellner, 2017). Kleinere Partikel können mit der eingesetzten Technologie nicht rückgewonnen werden. Aluminiumfolien fallen in der Schlacke, aufgrund ihrer Fragilität, zu einem großen Teil in der Feinfraktion an, weshalb davon ausgegangen wird, dass Aluminium aus Verbundverpackungen mit der derzeit eingesetzten Technologie aus der Schlacke nicht abgeschöpft werden kann.

Nach Angaben der Stadt Wien – Magistratsabteilung 48 in Wien beträgt die aus der Schlacke rückgewonnene Al-Menge rund 1% der Schlacke (Stadt Wien MA48, 2017), d.h. pro Tonne Schlacke werden 10 kg an Al über NE-Abscheider abgetrennt. Hierbei ist jedoch das gesamte Aluminium, welches im Abfall vorkommt, berücksichtigt. Man kann davon ausgehen, dass das rückgewonnene Aluminium aus starren Aluminiumverpackungen, wie Dosen oder anderen Nichtverpackungen, stammt. Diese liegen in höherer Schichtdicke vor und haben dadurch geringere Verflüchtigungs- und Oxidationsraten. Des Weiteren liegen sie aufgrund ihrer höheren Stabilität in größeren Partikelgrößen in der Schlacke vor. Die generell geringe Rückgewinnungsrate spricht ebenfalls dafür, dass der Anteil an Aluminium aus Verbundverpackungen, welcher rückgewonnen werden kann, zu vernachlässigen ist. Es wird daher davon ausgegangen, dass Aluminium in Verbundverpackungen in Österreich derzeit nicht stofflich zurückgewonnen wird.

Durch den hohen Anteil an metallischen Rückständen in der Schlacke ergeben sich zudem Probleme bei der Deponierung. Das Aluminium, welches bei der Schlackenaufbereitung nicht abgeschöpft werden kann, wird mit den anderen Reststoffen deponiert. Mit zunehmender Metallfracht verschlechtern sich die Eigenschaften der Schlacke für die Deponierung (Wasserstoffgasbildung auf der Deponie durch die Oxidation des metallischen Aluminiums), weshalb eine Abtrennung der Metalle auch aus diesem Grund forciert werden sollte (Kahle et al., 2015).

7 Diskussion und Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, wie vielfältig Aluminium in Verbundverpackungen einsetzbar ist. Der Werkstoff erfüllt zentrale Funktionen, um Produkte, wie Lebensmittel oder Medikamente zu schützen. Wichtig ist es, neben all den funktionellen Vorteilen von Aluminium, auch die negativen Folgen welche durch die Herstellung von Aluminium entstehen zu beachten. Die hohe Relevanz von Aluminium im Verbundbereich in Kombination mit der einhergehenden Umweltwirkung des Werkstoffes, macht eine Beurteilung des Einsatzes von Aluminium in Verbundverpackungen aus ressourcenwirtschaftlicher Sicht bedeutungsvoll. Aus diesen Gründen beschäftigt sich die gegenständliche Arbeit mit dem Aufkommen und dem Rückgewinnungspotenzial von Aluminium in Verbundverpackungen.

Wie bereits erläutert, ist die derzeitige Datenlage über das Aufkommen von Aluminium in Verbundverpackungen als unzureichend einzustufen. Weder die wissenschaftliche Literatur, noch ExpertInnen aus der Industrie, können hierzu konkrete quantitative Aussagen treffen. Eine zentrale Herausforderung an der Gewinnung von Daten in diesem Bereich ist sicherlich, dass es sich hierbei teilweise um sensible Daten handelt, welche oftmals als Unternehmensgeheimnis geführt werden. Ein weiterer Grund, der die Einschätzung des Aufkommens in diesem Bereich erschwert, ist die hohe Vielfalt im Packmittelbereich, insbesondere im Bereich von Verbundverpackungen. Hierbei würden sowohl marktbasierende Studien, als auch Abfallanalysen, die einen Fokus auf die in Materialverbunden eingesetzten Packstoffe legen, helfen. Ein zusätzlicher Aspekt, der bei der schlechten quantitativen Datenlage bezüglich des Einsatzes von Aluminium in Verbundverpackungen in Österreich eine Rolle spielt, ist die Lizenzierungspraxis. Eine Straffung der Lizenzierungspraxis in Richtung einer klaren Ausweisung aller Packstoffe, welche in Materialverbunden eingesetzt werden, würde die zentrale Datenlage maßgeblich verbessern.

Die zuvor erwähnten Herausforderungen haben eine quantitative Abschätzung des Aufkommens von Aluminium in Verbundverpackungen in Österreich erschwert.

Aus diesen Gründen musste für die österreichweite Abschätzung, welche in Kapitel 5.2 vorgestellt wird, auf Abfallanalysen zurückgegriffen werden, da die marktseitige Datenlage nicht ausreichend war. Die hierbei durchgeführte Hochrechnung von Daten aus dem Bundesland Wien auf das gesamte Bundesgebiet ist durchaus kritisch zu betrachten. Grund hierfür ist, dass man davon ausgehen muss, dass die Restmüllzusammensetzung in den verschiedenen Regionen unterschiedlich ist. Dies liegt unter anderem daran, dass das Restmüllaufkommen in den verschiedenen Bundesländern sowie zwischen urbanen und ruralen Regionen stark variiert. Es ist anzunehmen, dass das Aufkommen von Verbundverpackungen in urbanen Regionen wie Wien höher ist als im ländlichen Bereich, da beispielsweise ein Mehrverbrauch bei Einzelportionsverpackungen und „Convenience-Produkten“ gegeben ist. Diese Unsicherheiten wurden einerseits durch den Bezug auf das Verhältnis von Verbunden zu Aluminiumverpackungen und andererseits durch die Einrechnung einer entsprechend hohen Schwankungsbreite minimiert. Im Fall der Abschätzung des Aufkommens innerhalb spezifischer Anwendungsbereiche ist anzumerken, dass aufgrund von fehlenden Informationen zur Marktlage der Packmittel auch einige Unsicherheiten zu berücksichtigen sind. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse als Obergrenzen zu betrachten. Zudem war beim Anwendungsbereich Kaffee der Bereich der Einzelportionsverpackungen nicht transparent. Weder von Seiten der HerstellerInnen, noch seitens des Verbandes oder der zuständigen Verwerter, war es möglich Informationen über den Anteil an Aluminiumverbunden im Kapselbereich zu erheben. Aus diesem Grund wurden Einzelportionsverpackungen in der Abschätzung von Kapitel 5.1.2.3 nicht berücksichtigt. Ein weiterer Grund für die Vernachlässigung von Kaffeekapseln ist, dass diese rechtlich in Österreich nicht als Packmittel gelten. Aus diesem Grund unterliegen sie weder Sammel- und Recyclingquoten, noch greift in diesem Bereich die Produzentenverantwortung, welche in der Verpackungsverordnung definiert wird. In Hinsicht auf den steigenden Verbrauch von Kaffeekapseln, wäre jedoch eine diesbezügliche Novellierung seitens der Gesetzgebung förderlich. Die quantitativen Abschätzungen, welche im Rahmen der gegenständlichen Arbeit durchgeführt wurden, bieten trotz der erläuterten Unsicherheiten, einen guten

Orientierungsrahmen und können einen wesentlichen Ausgangspunkt für zukünftige Forschungen in diesem Bereich darstellen.

Zusätzlich zum Aufkommen von Aluminium in Verbundverpackungen, ist die Beurteilung des Rückgewinnungspotenzials ein wesentlicher Fokus der gegenständlichen Arbeit. Im Fall von Aluminium können durch den Einsatz von Sekundäraluminium bis zu 95% an Energie und Ressourcen im Vergleich zu Primäraluminium eingespart werden (Fragner, 2017). Aus diesen Gründen ist, neben den gesetzlichen Vorgaben, die stoffliche Verwertung von Aluminium von zentraler ökologischer und ökonomischer Bedeutung. Im Bereich der Verbunde ist die stoffliche Verwertung der eingesetzten Packstoffe eine große Herausforderung. Aufgrund der Fragilität von Aluminiumfolien kann man davon ausgehen, dass das Aluminium nach der Verbrennung in zu kleinen Partikelgrößen vorliegt, um es mit derzeitig eingesetzter Technologie rückzugewinnen. Durch eine Verbesserung der eingesetzten Technologie, könnte die Möglichkeit bestehen auch kleinere Partikelgrößen abzuschöpfen und rückzugewinnen. Gleichzeitig würden sich die Deponierungseigenschaften der Schlacke verbessern, da die Qualität der Schlacke durch die Reduktion von Metallen steigt (Kahle et al., 2015). Eine Verbesserung des Rückgewinnungspotenzials von Aluminium aus der Schlacke, durch eine Verringerung der Oxidationsrate im Feuerraum der MVA, ist eher unwahrscheinlich. Potenziale liegen hierbei jedoch bei dem Austrag der Schlacke. Derzeit wird in Österreich der Nassaustrag von Schlacke fokussiert. Der Nassaustrag verstärkt jedoch die Oxidation von Aluminium in der Schlacke. Ein Umstieg auf einen Trockenausstrag, wie er in der Schweiz praktiziert wird, würde den Gehalt an metallischem Aluminium in der Schlacke erhöhen (Kahle et al., 2015). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass selbst bei einem höheren Anteil an metallischen Aluminium und verbesserter Abschöpfung dessen, davon auszugehen ist, dass ein Großteil nicht für einen Recyclingprozess geeignet ist. Die Annahme ist darin begründet, dass die dünnen Aluminiumschichten in Verbundverpackungen, aufgrund ihrer Feinkörnigkeit nach dem Verbrennungsprozess, nicht den qualitativen Anforderungen eines Recyclingprozesses genügen.

Neben Verbesserungen der derzeitig eingesetzten Prozesse, könnte somit eine Abtrennung von Aluminium vor der thermischen Verwertung das stoffliche Rückgewinnungspotenzial wesentlich erhöhen. Es gibt bereits Technologien, welche eine Auftrennung von Verbundschichten ermöglichen, diese werden derzeit jedoch nicht in Österreich eingesetzt. Das Circular Economy Package der Europäischen Union könnte, aufgrund erhöhter Recyclingquoten, derartige Entwicklungen beeinflussen. Im Vorschlag zur Änderung der Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle wird die Anpassung von Artikel 6 wie folgt angeführt: *„spätestens bis 31. Dezember 2030 werden für die nachstehend aufgeführten Materialien, die in Verpackungsabfällen enthalten sind, die folgenden Mindestgewichtsvorgaben für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling erreicht: 85 Gewichtsprozent bei Aluminium“* (Vorschlag Verpackungsrichtlinie, 2015, 13). Hieraus lässt sich ableiten, dass sich die Quote auch auf Aluminium, welches in Verbundverpackungen eingesetzt wird, bezieht, wobei dies nicht explizit erwähnt wird. In diesem Fall würden die gesetzlichen Änderungen oben genannte Recyclingprozesse zunehmend in den Fokus rücken. Zusätzlich sind hierdurch Veränderungen in der Wahl der Packgüter sowie der Verwertungsprozesse zu erwarten (Tacker, 2017). Wichtig ist jedoch immer zu beachten, wie ökologisch und ökonomisch sinnvoll derartige Recyclingverfahren im Endeffekt sind.

Abgesehen von den sozialen und ökologischen Aspekten, die für einen bewussten und effizienten Umgang mit Aluminium sprechen, gibt es auch ökonomische Gründe, Aluminium nicht nur zu recyceln, sondern auch den Einsatz von Aluminium in Verbunden zu reduzieren. Aluminium ist ein sehr wertvolles Metall, was sich auch in den Materialkosten widerspiegelt. Dies ist einer der Gründe, weshalb die Schichtdicken von Aluminium in Verbundverpackungen innerhalb der letzten Jahre sukzessive reduziert wurden. War die durchschnittliche untere Schichtdicke von Aluminiumschichten im Folienverbund bis vor wenigen Jahren bei etwa 9µm, liegt sie heutzutage bereits bei ca. 6µm. Die Schichtdicke von 6µm stellt derzeit eine technologische Grenze dar. Beim Walzprozess der Aluminiumfolienherstellung entstehen aufgrund der mechanischen Kräfte Poren, welche die Barrierefunktion der Folie beeinträchtigen. Je dünner die Folien sind, desto mehr Nadelstiche entstehen, weshalb man eine gewisse Schichtdicke bei

Folienverbunden derzeit nicht unterschreiten kann (Tacker, 2017). Diese Grenze ist durch den heutigen Stand der Technik gegeben und könnte daher theoretisch in Zukunft, aufgrund von Innovationen in der Aluminiumverarbeitung weiter minimiert werden. Ein weiterer Trend in diese Richtung ist der vermehrte Einsatz von metallisierten Folien. Im Vergleich zu Aluminiumfolienverbunden haben Aluminiumbeschichtungen eine Schichtdicke von 30-40nm, was zu einer drastischen Reduktion des Werkstoffes im Verbund führt. Die Materialanalyse hat gezeigt, dass Beutel mit aluminiumbedampften Folien einen durchschnittlichen Massenanteil von 0,17% aufweisen, während Aluminiumfolienverbunde durchschnittlich 15% Aluminiumanteil enthalten. Dieser Aspekt hat in den letzten Jahren zu einer vermehrten Substitution von Aluminiumfolienverbunden mit Aluminiumbeschichtungen geführt (Bishop und Mount, 2016). Derartige Aluminiumbeschichtungen können jedoch die Barriereigenschaften von Aluminiumfolien nicht erreichen. Vor allem in Bezug auf die Lichtbarriere liegen Aluminiumbeschichtungen hinter dem klassischen Folienverbund. Aus diesem Grund können Beschichtungen nicht in allen Anwendungsbereichen eingesetzt werden, was den Einsatz von Aluminiumfolienverbunden in manchen Bereichen unverzichtbar macht (Tacker, 2017). Neben den Barriereanforderungen des jeweiligen Packgutes, kommt es auch auf Aspekte wie Lagerbedingungen oder Mindesthaltbarkeit des Packgutes bzw. die Dauer bis zur Konsumation des Produktes an. Diese Aspekte müssen in der Entscheidung über den Einsatz der Form des Aluminiumverbundes individuell abgewogen werden. Aluminium ist jedoch nicht der einzige Werkstoff, der als Barrierschicht in Verbundverpackungen eingesetzt werden kann (Österreichisches Unternehmen, 2017). Materialien wie Siliziumoxid oder EVAL stellen alternative Verbundpartner dar und werden von den Herstellern oftmals aufgrund des besseren Images von „aluminiumfreien“ Verpackungen nachgefragt. Ein weiterer Grund für aluminiumfreie Verbunde, ist die Möglichkeit Metalldetektoren in der Qualitätskontrolle von Produkten einzusetzen (Österreichisches Unternehmen, 2017). Der Einsatz derartiger Materialien hat in den letzten Jahren, zum Nachteil von aluminiumhaltigen Verbunden, zugenommen (Kornfeld, 2017). Eine zunehmende Substitution von Aluminium als Verbundpartner mit alternativen

Barrierepartnern ist auch in Zukunft zu erwarten (Österreichisches Unternehmen, 2017).

Der Einsatz von Aluminium in Verbundverpackungen ist, aus bereits genannten Gründen, durchaus kritisch zu betrachten. Trotzdem ist es wichtig zu betonen, dass die wohl wichtigste Funktion einer Verpackung den Schutz des Packgutes darstellt. In den meisten Fällen macht die Verpackung lediglich 2% des gesamten CO₂-Fußabdrucks entlang des Lebenszyklus eines Produktes aus (Tacker, 2017). Somit ist der Einsatz von Aluminium durchaus gerechtfertigt, um wertvolle und ressourcenintensive Produkte zu schützen. Im Fall von Lebensmitteln, tragen Verbundverpackungen beispielweise wesentlich zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen bei. Entwicklungen der westlichen Gesellschaften, in Richtung der Steigerung von Einzelpartionsverpackungen sowie von sogenannten Convenience-Produkten, sind dagegen eine Folge von Konsumentenverhalten und Bequemlichkeit und nicht von Notwendigkeit. Derartige Entwicklungen, welche mitunter zu einer Zunahme des Verpackungsaufkommens geführt haben, sind daher kritisch zu betrachten. Der Einsatz von Aluminium in Verbundverpackungen sollte so effizient wie möglich gestaltet werden und dort wo die Möglichkeit besteht, reduziert werden. Hierbei ist es wichtig zu betonen, dass das der Einsatz von Aluminium in Verbundverpackungen etwa 10% des Aufkommens in Aluminiumverpackungen und unter einem 1% des jährlichen Aluminiumimports von Rohaluminium in Österreich ausmachen. Ein reduzierter Einsatz von Aluminium in Verbunden hat somit nur einen marginalen Einfluss auf den gesamten österreichischen Aluminiumhaushalt. Aussagen darüber, in welchen konkreten Bereichen Aluminium als Verbundpartner durch andere Materialien ersetzt werden könnte, bedarf einer genauen Analyse alternativer Barrierschichten. Diese wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt, woraus sich ein weiterer Forschungsbedarf ergibt.

Zukünftig wird es zudem nötig sein weitere Forschung zur Erhebung des Aufkommens von Aluminium in Verbundverpackungen zu betreiben. Des Weiteren gibt es Forschungsbedarf im Bereich der Partikelgrößen unterschiedlicher Verpackungsarten von Aluminium in der Schlacke und der daraus resultierenden Abschöpfungsrate. Eine verbesserte wissenschaftliche Datenlage würde in

Kombination mit nationalen gesetzlichen Anreizen zu einer effizienteren Nutzung von Aluminium in Verbundverpackungen und Innovationen im Recycling, im Sinne einer Kreislaufwirtschaft, beitragen.

8 Literatur

Alamdari, H. (2017): Aluminium Production Process: Challenges and Opportunities. In: Metals, (7/4), 133.

Albrecht, P., Brodersen, J., Horst, D.W., Scherf, M. (2011): Mehrweg- und Recyclingsysteme für ausgewählte Getränkeverpackungen aus Nachhaltigkeitssicht. Eine Analyse der ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen sowie Lösungsansätze zur Weiterentwicklung von Mehrweg- und Recyclingsystemen. PricewaterhouseCoopers AG WPG.

Altstoff Recycling Austria AG (2016): TRANSPARENZBERICHT DER ARA GRUPPE NACHHALTIGKEITSBERICHT. Wien: Altstoff Recycling Austria AG.

Altstoff Recycling Austria AG (2015): Materialverbunde. Technische Definition von Materialverbunden. Merkblatt.

Biganzoli, L., Gorla, L., Nessi, S., Grosso, M. (2012): Volatilisation and oxidation of aluminium scraps fed into incineration furnaces. In: Waste Management, (32), 2266–2272.

Biganzoli, L., Grosso, M. (o. J.): Aluminium recovery from waste incineration bottom ash, and its oxidation level. In: Waste Management & Research, (31/9), 654–959.

Bishop, C., Mount, E. (2016): Multilayer Flexible Packaging. Vacuum Metallizing for Flexible Packaging. Cambridge: William Andrew.

Bleisch, G., Majschak, JP, Weiß, U. (2011): Verpackungstechnische Prozesse. Lebensmittel-, Pharma- und Chemieindustrie. 1. Auflage. Hamburg: B. Behr's Verlag GmbH & Co. KG.

BMLFUW (2017): ENTWURF BUNDES-ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN 2017 TEIL 1. Wien: Bundesministerium für Land- Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft.

Braun, H. (2000): Die Vielseitigkeit von Verpackungssystemen für flexible Packungen (VDI-Verpackungsforum No. 1512). VDI Berichte Fernwald.

Buchner, H., Laner, D., Rechberger, H., Fellner, J. (2014): In-depth analysis of aluminum flows in Austria as a basis to increase resource efficiency. In: Resources, Conservation and Recycling, 93, 112–123.

Büsser, S., Jungbluth, N. (2009): The role of flexible packaging in the life cycle of coffee and butter. In: Int J Life Cycle Assess. (Springer-Verlag 2009), (14), 80–91.

Calder, G., Stark, T. (2010): Aluminum Reactions and Problems in Municipal Solid Waste Landfills. In: Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management, (14/4), 258–165.

Constantia Flexibles Group GmbH (2017a): Gestanzte Platinen für Kaffeekapseln - Constantia Flexibles. Online im Internet unter: <http://www.cflex.com/de/produkte/packaging/food/kaffee/gestanzte-platinen/gestanzte-platinen-fuer-kaffeekapseln/> (Stand: 2017; Abfrage: 17.05.2017).

Constantia Flexibles Group GmbH (2017b): Nüsse und Samen - Constantia Flexibles. Online im Internet unter: <http://www.cflex.com/de/produkte/packaging/food/snacks/nuts-seeds/nuesse-und-samen/> (Stand: 2017; Abfrage: 24.05.2017).

Constantia Flexibles Group GmbH (2017c): Salzgebäck - Constantia Flexibles. Online im Internet unter: <http://www.cflex.com/de/produkte/packaging/food/snacks/snacks-salted/salzgebaeck/> (Stand: 2017; Abfrage: 24.05.2017).

Constantia Flexibles Group GmbH (o. J.): Wetfood Pouches - Constantia Flexibles. Online im Internet unter: <http://www.cflex.com/de/produkte/packaging/food/fertiggerichte-desserts/wetfood-pouches/wetfood-pouches/> (Abfrage: 27.04.2017).

Constantia Flexibles International GmbH (2017): Brühwürfel, einschl. Hefe - Constantia Flexibles. Online im Internet unter: <http://www.cflex.com/de/produkte/packaging/food/trockennahrung/processed-food/bruehwuerfel-einschl-hefe/> (Stand: 2017; Abfrage: 27.04.2017).

Constantia Flexibles International GmbH (2015a): Confectionery.

Constantia Flexibles International GmbH (2015b): CONSTANTIA Child Resistant. Lidding Foil for child resistant blister.

Constantia Flexibles International GmbH (2015c): CONSTANTIA Stick Pack Packaging Foil for stick packs.

Deutsche Umwelthilfe (2014): Das Märchen vom umweltfreundlichen Getränkekarton (Hintergrundpapier).

Enval Ldt. (2017): Plant. Enval. Online im Internet unter: <http://www.enval.com/plant/> (Stand 2017; Abfrage: 29.05.2017).

European Aluminium Association (2016): ALUMINIUM PACKAGING: CONVENIENT, SAFE AND INFINITELY RECYCLABLE. Brüssel: European Aluminium Association.

European Aluminium Foil Association e.V. (EAFA) (2017): Schriftliche Kommunikation: Masterthesis Aluminium Compounds.

Fenn-Barrabaß, C. (2000): Kaschierung von Folien für flexible Verpackungen (No. 1512). VDI-Verpackungsforum Ronsberg: Verein deutscher Ingenieure (VDI).

Fragner, W. (2017): Die Bedeutung von Aluminiumprimärproduktion und -recycling in der Wachstumsphase der Lebenszykluskurve betreffend

Ressourcenverbrauch.

Gey, Manfred H. (2008): Instrumentelle Analytik und Bioanalytik. 2. Auflage. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Kääriäinen, T., Maydannik, P., Cameron, D., Lahtinen, K., Johansson, P., Kuusipalo, J. (2011): Atomic Layer deposition on polymer based flexible packaging materials: Growth characteristics and diffusion barrier properties. In: Thin Solid Films, (519), 3146–3154.

Kahle, K., Kamuk, B., Fleck, E., Lamers, F., Jacobsson, L., Sahlén, J. (2015): BOTTOM ASH FROM WTE PLANTS METAL RECOVERY AND UTILIZATION. Kopenhagen, Dänemark: ISWA International Solid Waste Association.

Kaßmann, M. (2014): Grundlagen der Verpackung. Leitfaden für die fächerübergreifende Verpackungsausbildung. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Beuth Verlag GmbH Berlin Wien Zürich.

Kelly Gesellschaft m.b.H (2017): United Snacks - Über uns - Daten & Fakten. Online im Internet unter: http://www.unitedsnacks.net/html/index.aspx?page_url=Daten___Fakten&mid=254 (Stand: 2017; Abfrage: 24.05.2017).

Kornfeld, M. (2017): Schriftliche Mitteilung: Aluminiumverbunde Constantia Teich GmbH.

Kücükpinar, E., Langowski, H.C. (2012): Adhesion Aspects in Packaging. In: Journal of Adhesion Science and Technology, (26:20-21), 2317–2324.

Lamberti, M., Escher, F. (2007): Aluminium Foil as a Food Packaging Material in Comparison with Other Materials. In: Food Reviews International, (23:4), 407–433.

Langowski, H. (2001): Der Markt für flexible Packmittel - Gegenwart und Zukunft (No. 1589). VDI-Verpackungsforum Freising: Verein deutscher Ingenieure (VDI).

López, F., Román, C., García-Díaz, I., Alguacil, F. (2015): Oxidation and waste-to-energy output of aluminium waste packaging during incineration: A laboratory study. In: Waste Management, (43), 162–167.

Matyk, G. (2017a): Schriftliche Mitteilung: Aseptische Verpackungen 2016 in t und Gewicht Österreich.

Matyk, G. (2017b): Schriftliche Mitteilung: Anwendungsbereich Getränke GVK.

Meier Verpackungen GmbH (2017a): Produktdatenblatt Folien für Süßwaren.

Meier Verpackungen GmbH (2017b): Produktdatenblatt Schlauchbeutelfolien FFS (Aluverbunde).

Meier Verpackungen GmbH (2017c): Produktdatenblatt Standbodenbeutel mit Ausguss.

Morris, B.A. (2017): The Science and Technology of Flexible Packaging. Multilayer Films from Resin and Process to End Use. Oxford: Elsevier Inc.

Mueller, K., Schoenweitz, C., Langowski, HC (2012): Thin Laminate Films for Barrier Packaging Application. Influence of Down Gauging and Substrate Surface Properties on the Permeation Properties. In: Packaging Technology and Science, (25), 137–148.

NESPRESSO ÖSTERREICH GMBH & Co OHG (2017): The Positive Cup | Nachhaltigkeit | Nespresso Pro. Online im Internet unter: <https://www.nespresso.com/pro/at/de/pages/nachhaltigkeit> (Stand: 2017; Abfrage: 17.05.2017).

Österreichischer Kaffee- und Tee-Verband, Wirtschaftskammer Österreich, Fachverband der Nahrungs- und Genussmittelindustrie (2016): Österreichischer Kaffeemarkt. Am liebsten aus der Kapsel. Wien.

Österreichischer Kaffee- und Tee-Verband, Wirtschaftskammer Österreich, Fachverband der Nahrungs- und Genussmittelindustrie (2015): Kaffeemarkt 2014/2015 Hohe Qualitätsansprüche und Wunsch nach Individualität. Wien.

Österreichisches Unternehmen (2017): Aluminiumverbunde – Wieviel, Worin, Wohin? - Qualitatives Interview 01.

Özkir, I. (2000): Klebstoffe in der flexiblen Verpackung (No. 1512). VDI-Verpackungsforum Hamburg: Verein deutscher Ingenieure (VDI).

Robertson (2012): Food packaging: Principles and practice. o.O.

Rüttinger, L., Treimer, R., Tiess, G., & Griestop, L. (2016): Fallstudien zu Umwelt- und Sozialauswirkungen der Bauxitgewinnung und Aluminiumherstellung in Pará, Brasilien. Berlin: adelphi.

Saperatec GmbH (2017): Saperatec. Online im Internet unter: <http://www.saperatec.de/> (Stand: 2017; Abfrage: 29.05.2017).

Schubert, G. (2003): Adhesion of Aluminium Foil to Coatings – Stick With it. Bonn: Hydro Aluminium Deutschland GmbH.

Slater, S., Critchton, T. (2011): Recycling of laminated packaging. WRAP project report (No. MDP037). Oxon: Oakdene Hollins Ltd.

Stadt Wien MA48 (2017): Schriftliche Mitteilung: Metallrückgewinnung.

Statista (2017a): Kaffee - Europa | Statista Marktprognose. Statista. Online im Internet unter: <https://de.statista.com/outlook/30010000/102/kaffee/europa> (Stand: 2017; Abfrage: 24.05.2017).

Statista (2017b): Snacks - Europa | Statista Marktprognose. Statista. Online im Internet unter: <https://de.statista.com/outlook/40110000/102/snacks/europa> (Stand: 2017; Abfrage: 24.05.2017).

Tacker, M. (2017): Aluminiumverbunde – Wieviel, Worin, Wohin? - Qualitatives Interview 02.

Taverna, R., Frühwirth, W., Skutan, S. (2010): Produktbezogene Stoffflussanalyse von Abfällen in der Wiener Restmüllanalyse Produktbezogene Stoffflussanalyse von Abfällen in der Wiener Restmüllanalyse. Wien: Technische Universität Wien, GEO Partner AG, Denkstatt GmbH.

Technisches Büro Hauer Umweltwirtschaft GmbH (2015): Verpackungsaufkommen in Österreich 2013. Korneuburg: Technisches Büro Hauer Umweltwirtschaft GmbH.

Technisches Büro HAUER Umweltwirtschaft GmbH (2014): Clusterung von Sammeltypen für Leicht-, Metall- und Glasverpackungen aus Haushalten (Ist-Zustand). Korneuburg.

Tetra Pak International S.A. (2017a): Carton CO₂e footprint and carbon calculator. Online im Internet unter: <http://www.tetrapak.com:80/sustainability/managing-our-impact/climate-impact/carton-co2e-footprint> (Stand: 2017; Abfrage: 15.05.2017).

Tetra Pak International S.A. (2017b): Lebensmittelsicherheit und Frische dank aseptischer Lösungen. Online im Internet unter: <http://www.tetrapak.com:80/at/packaging/aseptic-solutions/> (Stand: 2017; Abfrage: 06.04.2017).

Verband der Getränkehersteller Österreichs (2017): Österreichischer Fruchtsaftmarkt 2016. Online im Internet unter: <http://getraenkeverband.at/fruchtsaft/zahlen-und-daten-fruchtsaft/1642-oesterreichischer-fruchtsaftmarkt-2016.html> (Stand: 2017; Abfrage: 24.05.2017).

Verpackungsverordnung (2015): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten (Verpackungsverordnung 2014). StF: BGBl. II Nr. 184/2014 StF: BGBl. II Nr. 184/2014/2015.

Vorschlag Verpackungsrichtlinie (2015): Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Änderung der Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle

Warrings, R., Fellner, J. (2017): Where packaging aluminum gets lost – gaps on the way to a circular economy. In: Paper presented at the 16th International Waste Management and Landfill Symposium Sardinia 2017. Forte Village / S. Margherita di Pula (Italy).

Xia, Y., He, P., Shao, L., Zhang, H. (2017): Metal distribution characteristic of MSWI bottom ash in view of metal recovery. In: Journal of Environmental Sciences, (52), 178–189.

Yan, Dahai, Peng, Zheng, Liu, Yuqiang, Li, Li, Huang, Qifei, Xie, Minghui, Wang, Qi (2015): Optimizing and developing a continuous separation system for the wet process separation of aluminum and polyethylene in aseptic composite packaging waste. In: Waste Management, 35, 21–28.

9 Anhang

Anhang 1: Protokoll Materialanalyse ICP-OES

Datum	28.06.2017
Methode	Atomspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP –OES)
Untersuchungsziel	Ermittlung des Al-Gehalts in ausgewählten Aluminiumverbunden aus dem Packmittelbereich

Die Atomspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP –OES) gehört zu den Multielementanalysen und weist, aufgrund der Verwendung von sehr heißem Plasma (ca. 10 000 K), einen sehr hohen Atomisierungsgrad auf. Daraus resultieren eine lange Verweilzeit, gute Temperaturhomogenität, höhere Präzision und Reproduzierbarkeit sowie sehr niedrige Nachweisgrenzen (NWG). ICP-OES ermöglicht eine simultane Bestimmung von bis zu 70 Elementen (Gey, 2008), wobei im Rahmen der gegenständlichen Arbeit rein die Aluminiumanteile der Proben herangezogen werden. Zur Anwendung kam der optische Atomemissionsspektrometer Horiba Jobin Yvon ULTIMA 2. Die Kalibrierung wurde durch Standards mit Konzentrationen im Bereich 0,5 mg/l ,1,5 mg/l, 3 mg/l und 5 mg/l durchgeführt. Die Standards wurden aus einer Stammlösung mit einer Konzentration von 1000mg/l in einem 100ml Kolben verdünnt und mit 1ml Salpetersäure stabilisiert. Anhang 2 zeigt die Menge an Stammlösung je Standard. Zur Aufrechterhaltung des Plasmas wurde das Arbeitsgas Argon eingesetzt. Aus den Proben wurden jeweils Teilproben von 100 mg gezogen. Der Probenaufschluss erfolgte mit 10ml HCL bei Erhitzung im Sandbad für etwa 30 min. Anschließend wurde die aufgeschlossene Probe durch dekantiertes Filtrieren (Weißband) in die feste und flüssige Phase getrennt. Um die gewünschte Konzentration zu erreichen, wurden die Teilproben jeweils zehnfach und hundertfach verdünnt. Untersucht wurde eine 50 ml Lösung mit einer Konzentration von 0,5-5 mg/L. Das Gerät misst auf zwei Linien (394 nm und 308 nm), wobei Erstere als Primärlinie herangezogen wurde und Letztere als Kontrolllinie berücksichtigt wurde.

Anhang 2: Standards für die Kalibrierung der ICP-OES

Standards für ICP-OES				
Standard Nr.	Standard1	Standard2	Standard3	Standard4
Konzentration [mg/l]	0,5	1,5	3	5
Zugabe Stammlösung [µl]	50	150	300	500

Anhang 3: Proben Materialanalyse ICP-OES

Proben ICP-OES					
<i>Kaffee</i>					
Nr.	Verpackungsart	Füllmenge [g]	Marke	Anmerkungen	Verpackungsmasse [g]
1a	Außenbeutel	500	Dallmayr prodomo	gemahlen, vakuumverpackt	8,37
1b	Innenbeutel	500	Dallmayr prodomo	gemahlen, vakuumverpackt	9,73
2	Beutel	500	Dallmayr prodomo	ganze Bohne	15,16
3	Beutel	500	Julius Meinl Jubiläum Mahlkaffee	vakuumverpackt	12,49
4	Stick Pack	1,80	Tschibo Instant		0,61
5	Kapsel	6,44	Nespresso Businesskapsel Lungo Forte		0,55
6	Beutel	500	Spar Natur Pur Biokaffee	gemahlen, vakuumverpackt	12,55
<i>Snacks</i>					
Nr.	Verpackungsart	Füllmenge [g]	Marke	Anmerkungen	Verpackungsmasse [g]
7	Beutel	175	Kellys Original Paprika	Schlauchbeutel	10,92
8	Beutel	250	Soletti Salzstangerl		6,30
9	Beutel	125	Nic Nacs	Nüsse	4,19

Anhang 4: Barriereigenschaften unterschiedlicher Materialverbunde (Mueller et al. 2012)

Table 5
Structure, area of application and barrier properties as well as advantages and disadvantages of typical food packaging laminates⁽⁹⁷⁾

Layer structure	Area of application	Permeability ¹	Pro and contra
Paper	60 g/m ²	water vapour: O ₂ : aroma:	- wide spread - low cost - maximum tightness
Al foil	8 µm		
PE	40 µm	high	- free of aluminium - limited light barrier - opening notch needed
Paper	60 g/m ²	water vapour: O ₂ : aroma:	- low cost
PET _{SIOx}	12 µm	medium	- transparent
PE	40 µm		- medium protection
PET	12 µm	water vapour: O ₂ : aroma:	- high barrier to gases - high barrier to moisture
PE	75 µm	poor	- no barrier to light
PET _{SIOx}	12 µm	water vapour: O ₂ : aroma:	- high barrier to gases - high barrier to moisture
PE	75 µm	medium	- no barrier to light
PET	12 µm	water vapour: O ₂ : aroma:	- high barrier to gases - high barrier to aroma - sensitive to moisture
PE _{EVOH}	75 µm	high	- barrier to light
PET	12 µm	water vapour: O ₂ : aroma:	- low cost
Al foil	8 µm		
PE	75 µm	high	- maximum tightness
OPP _{transparent}	20 µm	water vapour: O ₂ : aroma:	- low cost
OPP _{metallised}	20 µm	medium	- light barrier - sealing is difficult

¹Data at 25°C, quantity of water vapor at 85 → 0 % relative humidity, volume of oxygen at STP.

Anhang 5: Packstoffzuordnung gemäß Verpackungsverordnung § 3 Z 26 (Verpackungsverordnung, 2015)

Anteil des Packstoffes	zu lizenzieren als	
	jeweiliger Monopackstoff	sonstiger Materialverbund
Papier, Karton, Pappe und Wellpappe ¹⁾	≥ 80 % ²⁾	< 80 %
Kraftpapiersäcke mit einem Füllgutinhalt von mindestens 15 kg ³⁾	≥ 70 %	< 70 %
Holz	≥ 80 %	< 80 %
Keramik	≥ 80 %	< 80 %
Aluminium	≥ 80 %	< 80 %
Ferrometall	≥ 80 %	< 80 %
Textilien	≥ 80 %	< 80 %
Kunststoff	≥ 95 %	< 95 %
Glas	Bei Glasverpackungen sind derzeit keine Materialverbunde bekannt	
Packstoffe auf biologischer Basis	≥ 95 %	< 95 %

¹⁾ Grundsätzlich gelten alle **beidseitig beschichteten Papiere** als Materialverbunde, unabhängig von der Relation ihrer Masseanteile. **Ein- und beidseitig mit Paraffin oder Wachs** beschichtete/imprägnierte Papiere gelten jedenfalls als Materialverbunde.

²⁾ Lizenziert der Lizenzpartner eine Verpackung, die neben Papier, Karton, Pappe und Wellpappe auch aus anderen Packstoffen besteht, aber im Sinne der obigen Definition für die Lizenzierung als „Monopackstoff“ zu klassifizieren ist, gilt folgende Regelung: Der Lizenzpartner ist verpflichtet, durch einen entsprechenden **Hinweis auf der Verpackung** (z. B. „gereinigt und gefaltet zum Altpapier“) dem Letztverbraucher klar ersichtlich zu machen, in welches Sammelsystem diese Verpackungen einzubringen sind. Die Kennzeichnungspflicht entfällt für Kleinstverpackungen, bei denen es aus Gründen der Lesbarkeit technisch nicht möglich ist, einen entsprechenden Hinweis anzubringen.

³⁾ Kraftpapiersäcke sind flexible Papierverpackungen und werden insbesondere für das Verpacken und den Transport von staubförmigen und körnigen Füllgütern eingesetzt. Kraftpapiersäcke können je nach erforderlicher Reißfestigkeit aus einer oder mehreren Papierlagen bestehen oder mit einer Kunststoff(PE)-beschichteten Papierlage bzw. einer PE-Folie ausgestattet sein. Tragetaschen sind keine Kraftpapiersäcke im Sinne der Regelung.

Anhang 6: Qualitatives Experteninterview 01

Interviewnummer	01
Datum	30.06.2017
Name	anonym
Position	Österreichisches Unternehmen, anonymisiert

1 I: Aluminium wird in vielen Materialverbunden eingesetzt. Was ist die Funktion von
2 Aluminium in Verbundverpackungen und für welche Produkte werden diese
3 eingesetzt? #0:38

4 IP: Genau, also hauptsächlich geht es da um Barrieren, um Barrieren zu erzielen
5 gegen Wasserdampf, Sauerstoff natürlich Licht, Aroma, Mineralöle, das wären so
6 ziemlich die Hauptfunktionen. Und manchmal kann es auch ein bisschen einen
7 optischen Effekt auch haben, wenn das Aluminium zum Beispiel dann außen
8 kaschiert wird, dass man dann diesen Metallikeffekt hat in Kombination auch mit
9 Barriere, da kann dann auch sozusagen die Optik eine Rolle spielen. #1:10

10 I: Mhm. #1:13

11 IP: Interessant kann auch sein kann ist der dead fold. Da ist Aluminium drinnen,
12 neben der Barrierefunktion, auch um eine gewisse Faltbarkeit festzustellen. Wenn
13 man so denkt an Butterwickler, Butterverpackungen und da brauch ich natürlich
14 Barriere aber ich brauch natürlich damit dann das Packerl gut zusammenhält einen
15 guten dead fold, das heißt geringe Rückstellkräfte. #1:38

16 I: Okay, verstehe. #1:40

17 IP: Da ist das Aluminium natürlich auch sehr gut, ja. #1:43

18 I: Und Sie haben beispielsweise schon die Butter genannt, also #1:48

19 IP: Das ist zum Beispiel ein klassischer Verbund wo Aluminiumfolie drinnen ist, wo
20 außen Aluminium ist, das dann noch lackiert ist und bedruckt wird und dann zum
21 Beispiel PE kaschiert wird mit einem Pergamentersatzpapier innen das kann dann
22 noch einmal beschichtet sein und dann kommt praktisch schon die Butter innen,
23 ja. #2:10

24 I: Mhm. Aluminium, wenn es als Heißsiegelschicht eingesetzt wird, wird ja speziell
25 lackiert oder? #2:23

26 IP: Wie meinen Sie Heißsiegelschicht? #2:24

27 I: Also, ich meine jetzt die innerste Schicht zum Produkt hin, also im
28 Lebensmittelbereich, wie ist das mit dem Kontakt zu Aluminium, muss das speziell
29 durch eine Lackierung geschützt werden? #2:40

30 IP: Sollte eigentlich eine Lackierung draufhaben. Nur eben in unserem Fall ist es
31 eben so, dass das dann extrusionsbeschichtet ist, also das Alu ist da niemals im
32 direkten Kontakt mit dem Lebensmittel, sondern immer dann zum Beispiel durch
33 eine Extrusionsbeschichtung die dazwischen ist zum Beispiel eine
34 Polyethylenbeschichtung. #2:58

35 I: Okay, verstehe. Gut, Sie haben auch schon Beispiele für die Verarbeitung von
36 solchen Verbundverpackungen genannt, also wie was sind so die häufigsten
37 Verarbeitungsformen von Verbundverpackungen, also Kaschierung mit Kleber?
38 #3:20

39 IP: Sehr oft natürlich Kaschierung, also es gibt die klassische Kleberkaschierung
40 oder was wir ganz stark machen, ist die Extrusionsbeschichtung, wo man zwei
41 bahnförmige Materialien, oft ist es Papier und Aluminiumfolien, mittels eines
42 Polyethylenfilmes sozusagen zusammenkaschiert und quasi zusammenklebt und
43 dann als weiterer Schritt, das kann man mit den Extrusionsbeschichtungsanlagen
44 in einem Durchgang machen, kommt dann noch zum Beispiel eine
45 Polyethylenschicht drauf, dann habe ich den klassischen und sehr wichtigen
46 Verbund Papier als Außenlage, Polyethylen, Aluminiumfolie und dann noch einmal
47 Polyethylen drauf. Und das ist natürlich ein Klassiker in der Verpackung, weil damit
48 habe ich alle Funktionen. Das Papier als Steifigkeit, sozusagen auch
49 Basisträgermaterial für den Druck und für die Haptik nach außen und dann die
50 Verbindung sozusagen zu Aluminiumfolie mit dem PE, das auch dann die
51 Geschmeidigkeit gibt und die Alufolie zusätzlich schützt, dann eben das Aluminium
52 als wichtige Barriere gegen Wasserdampf, Sauerstoff, Licht, Aroma, Mineralöle
53 und innen dann noch einmal das Polyethylen als Schutz zum Füllgut hin und als
54 wichtiges Medium zum Siegeln. Das ist der Siegelwerkstoff, denn in den meisten
55 Packstoffanlagen wird ja dann der Verbund, muss ja dann irgendwie zu einem
56 Packerl geformt werden und dann versiegelt werden und das passiert mit der
57 Siegelschicht, die da oben drauf ist mit Wärmekontaktsiegeln oder oft auch mit
58 Ultraschall versiegeln, wie auch immer, ja. #5:15

59 I: Okay, also die Beschreibungen, die Sie da gebracht haben, das betrifft jetzt den
60 Aluminiumfolienverbund und wie sieht das dann bei Aluminiumbeschichtungen,
61 also bei Vakuumbeschichtungen aus, also wenn Aluminium bedampft wird? #5:33

62 IP: Das ist dann wieder was anderes. Da brauche ich natürlich ein Substrat, das
63 wird oft eine Folie sein, ja. Zum Beispiel eine Polyesterfolie sehr häufig oder eine

64 OPP-Folie. Und auf diese Polyester- und OPP-Folie wird eine dünne Schicht
65 aufgedampft. Da gibt es wieder spezielle Hersteller die das machen und ich habe
66 dann praktische eine Folie Polyester plus eine sehr dünne Aluminium
67 aufgedampfte Schicht oder OPP. Hier kann dann wieder sein, dass das Ganze in
68 einem Verbund integriert und sagt man hat dann zum Beispiel ein Papier plus
69 Polyethylen, plus metallisierte PET-Folie oder metallisierte OPP-Folie, plus PE
70 dann als Siegelwerkstoff. Da gibt's dann die unterschiedlichsten Kombinationen
71 und im Prinzip ist dann das metallisierte PET oder das metallisierte OPP dann
72 wieder die Barrierschicht. #6:36

73 I: Verstehe. Weil sie gesagt haben, das machen dann wieder andere
74 Unternehmen, also die Beschichtungen die machen Sie nicht in Ihrem Werk. #6:48

75 IP: Also wir bedampfen nicht. Wir verarbeiten aber die metallisierte OPP- und PET-
76 Folien, aber dieses Bedampfen praktische mit dieser dünnen Aluschicht, ist wieder
77 ganz ein eigener Prozessschritt und dafür gibt es wieder eigene Spezialisten, ja
78 die oft natürlich die Folie herstellen das wird ja biaxial verstreckt und dann wird das
79 über spezielle Vakuumbedampfung sozusagen wird dann eine dünne
80 Metallisierung aufgebracht. Das machen wir hier aber im Werk nicht, aber wir
81 verarbeiten dann die fertig bedampfte Folie. #7:21

82 I: Mhm. Und gibt es da Unternehmen die das in Österreich machen oder müssen
83 Sie die dann importieren? #7:27

84 IP: Die werden dann sehr oft importiert ja. #7:31

85 I: Okay. In der Funktion, weil Sie eben gesagt haben hauptsächlich ist ja die
86 Barrierefunktion schlaggebend für Aluminiumverbunde, was ist denn hier der
87 Unterschied bezogen auf die Funktion, wenn man Aluminiumfolienverbund und
88 Aluminiumbeschichtung vergleicht. #7:52

89 IP: Es gibt natürlich schon wesentliche Unterschiede. Die Aluminiumfolie ist
90 letztendlich, die beste Barriere muss man sagen. Natürlich auf Grund der Dicke.
91 Es gibt natürlich verschiedene μ -Stärken von Aluminiumfolie und da gibt's auch
92 eine Norm wie viele Pinholes dann drinnen sein dürfen. Je dünner eine
93 Aluminiumfolie, desto mehr Pinholes. Wobei in der praktischen Anwendung dann
94 das, überhaupt wenn es dann gut kaschiert ist, dann gar nicht dann so eine Rolle
95 spielt für die meisten Anwendungen. Das heißt die Aluminiumfolie ist nochmal von
96 der Barriere für lange Haltbarkeiten, denke ich noch immer das Mittel der Wahl.
97 Aber sagen wir mal für kürzere Umschlagzeiten, kann es dann durchaus sein, dass
98 auch eine Metallisierung ausreichend ist. Das ist dann wirklich immer eine Frage
99 was ist für ein Füllgut drinnen, was sind die Lagerbedingungen das spielt natürlich
100 eine wesentliche Rolle, damit meine ich jetzt Temperatur und Luftfeuchte.
101 Transport sozusagen, also im Prinzip die ganze Kette und wie schnell erfolgt der
102 Umschlag, also sprich wie schnell wird das Packerl dann konsumiert, nicht. Das

103 hat ja eine wesentliche Auswirkung. Dauert das jetzt 24 Monate oder ist das
104 innerhalb von wenigen Monaten dann konsumiert und damit erledigt. Und dann
105 habe ich natürlich auch die Möglichkeit Bedampfungen einzusetzen. Aber das
106 muss wirklich immer abgewogen werden, also über die ganze Kette betrachtet, wie
107 sieht die Verpackung aus, wie integer ist die überhaupt, weil ein Thema ist ja die
108 Barriere sozusagen an der Fläche eines Packstoffes aber das zweite ist ja die
109 Barriere im Packerl selbst und da kommt es nicht immer nur auf die Fläche drauf
110 an, sondern auch wie gut sind sind die Siegelnähte ausgeführt, ist es während der
111 Verarbeitung zu irgendwelchen Microcracks oder sonstigen Schäden gekommen
112 und das wird ja dann auch die Gesamtbarriere des Packmittels beeinflussen. #9:50

113 I: Können Sie jetzt im generellen sagen, welche der beiden Formen hauptsächlich
114 eingesetzt wird? Weil Sie ja gesagt haben es kommt natürlich auf das Füllgut drauf
115 an, aber wenn man jetzt einen Gesamtüberblick macht, reicht es bei vielen
116 Füllgütern aus eine Beschichtung zu machen oder ist der Folienverbund noch
117 dominant? #10:17

118 Also bei uns jetzt zum Beispiel bei den Anwendungen, die wir haben, ist die
119 Aluminiumfolie noch stärker drinnen, also das hat einfach mit den Füllgütern zu
120 tun. Das hängt aber wirklich tatsächlich davon ab, was wird abgepackt, für welche
121 Anwendungen, wie sind die Lagerbedingungen. Wir zum Beispiel setzen noch sehr
122 viel Aluminiumfolie ein, weil das eben in Märkte geht, wo Hochbarrieren gefordert
123 sind und auch lange Lebensdauern für das Lebensmittel gefordert sind, also lange
124 shelf lives ja. Das kann aber in anderen Märkten wieder anders sein, ja. #10:55

125 I: Ich nehme mal an, wir reden hier hauptsächlich von Lebensmitteln? #11:02

126 IP: Genau, das geht sehr stark in die Consumerindustrie, aber nicht nur, wir haben
127 ja auch ein weiteres wichtiges Standbein nämlich die Bauindustrie. Und da gibt's
128 einen wichtigen Bereich, für foam phaser nämlich so Polyurethanplatten und da
129 haben wir auch entwickelt und produzieren Prozessliner. Diese Foam phaser,
130 diese Prozessliner haben ja zum Beispiel die Aufgabe das Penthangas was da
131 drinnen ist in diesem Polyurethanschaum in der Isolierplatte drinnen zu halten und
132 eben auch die MICBD zu steuern nach außen hin und auch in diesem Foam
133 Phaser sind zum Beispiel Aluminiumfolien drinnen einkaschiert, also auch ein
134 wichtiger Bereich. Und der zweite wichtige Bereich sind natürlich die ganzen
135 Consumerverpackungen in verschiedensten Ausführungen in Sachets, in Beuteln
136 für eben hauptsächlich dehydrated, also Trockennahrungsmitteln, aber auch viele
137 andere. Auch für die Kosmetikindustrie, für die Pharmaindustrie nicht zu vergessen
138 auch hier benötigt man natürlich auf Grund der sehr sensiblen langen
139 Lagerungsdauern und Umschutzfunktionen Aluminiumfolie, also im
140 Prinzip eine sehr breite Palette. Lebensmittel dehydrated, aber auch Kosmetik
141 Brillenputztücher wäre zum Beispiel ein Bereich, wo man sehr gute Barrieren
142 braucht. Pharmeindustrie diese ganzen Sachets für Pulver für Tabletten und so

143 weiter brauchen das Aluminium, aber auch eben diese Foam Phaser im
144 Baubereich wo auch Aluminiumfolie eingesetzt wird. #12:45

145 I: Okay und gibt es Alternative Materialien, welche eine vergleichbare
146 Barrierefunktion, wie Aluminium aufweisen? #12:57

147 IP: Sowas gibt es. Allerdings muss man sagen auch wieder mit Einschränkungen.
148 Wir haben zum Beispiel hier eine Beschichtung entwickelt, das „High Protex
149 Natural“, wie wir das nennen, also high so wie hoch, protex eben vom englischen
150 protect abgeleitet eben mit ex für Extrusion, also high protex natural, das nennen
151 wir deswegen natural, weil da kein Alu drinnen ist, trotzdem aber sehr hohe
152 Barrierewirkungen erreicht werden. Da gibt es zum Beispiel einige Kunden, die
153 daran interessiert sind das Alu auch wegzulassen, weil ja das Alu natürlich,
154 aufgrund der Herstellung sehr viel Energie braucht und damit auch der Carbon
155 Food Print natürlich relativ hoch ist. Und mit diesem High Protex Natural gelingt es
156 für einige Anwendungen das Alu zu ersetzen. Man muss aber sagen, es ist von
157 den Barrierewirkungen ein bisschen, eine Stufe vielleicht noch unter dem
158 Aluminium, aber schon relativ nahe daran. Und damit kann es natürlich sein, dass
159 auch die Haltbarkeitsdauer dann am Packerl dann ein bisschen reduziert werden
160 muss. Das gelingt dann natürlich, wenn man die ganze Logistik umstellt. Da ist
161 dann immer die Abwägung, schaffe ich es, dass ich die Logistik so hinbekomme,
162 den ganzen Umschlag, dass das Ganze in kürzeren Zeiten konsumiert wird und
163 dann kann ich natürlich bei der Verpackung was machen. Aber ja diese Alternative
164 gibt es, wie gesagt mit Einschränkungen, man muss natürlich schauen, an das Alu
165 selbst kommen wir nicht ganz heran, aber schon sehr nahe ja. #14:34

166 I: Mhm und welche Materialien sind das oder ist das Patent? #14:40

167 IP: Polymere sind das und zwar eine sehr geschickt aufgebaute Koextrusion aus
168 polaren und unpolaren Kunststofflagen, ja. #14:53

169 I: Mhm, okay also mit Kunststoff. 14:56

170 IP: Das ist wirklich Kunststoff in Koextrusion. Das sind verschiedene Lagen sehr
171 geschickt kombiniert, die dann diese herausragende Barriereleistung zur
172 Verfügung stellen können. #15:10

173 I: Und gibt es Produkte, wo Sie sagen, da kann man einfach nicht auf Aluminium
174 verzichten, weil eben der Barriereanspruch so hoch ist, oder kann man das durch
175 die Haltbarkeit regulieren? #15:20

176 IP: Es gibt sicher zum Beispiel in der Pharmaindustrie. Die Pharmaindustrie ist
177 sehr konservativ, es dauert sehr lange bis man es qualifiziert und da wird niemand
178 das Risiko eingehen, da eine Umstellung zu tun, ja. Pharma ist klar, also das ist
179 ein sehr sensibler Bereich, wo ich denke da geht das Alu so schnell nicht weg.
180 Auch dort wo sehr lange Haltbarkeiten gefordert sind, also auch im militärischen

181 Bereich, da gibt es ja auch so Packer, da wird wahrscheinlich das Alu auch drinnen
182 bleiben, im Bereich Foam Phaser Building da brauche ich es auch, wegen
183 herausragender Barriere über viele Jahre zum Beispiel im Haus ist natürlich diese
184 Isolierplatte 30, 40, 50 Jahre drinnen und da brauche ich es auch wegen der
185 MICVD, wegen der ausgezeichneten Rückstrahlwirkung. #16:08

186 I: Okay. Machen Sie nur Verbundmaterialien in Ihrem Werk? 17:00

187 IP: Ja wir sind ja Extrusionsbeschichter. Das heißt da entstehen eigentlich immer
188 Verbundmaterialien. Wir haben immer ein Substrat sozusagen, das kann sein
189 Papier, das kann sein Karton, das kann sein Folie, das kann sein ein Fleece und
190 darauf wird zumindest einmal eine Schicht aufextrudiert und somit habe ich schon
191 ein Verbundmaterial oder natürlich in vielen Fällen, weit komplexer mit mehreren
192 Schichten, oder wir kaschieren verschiedene Materialien sozusagen haben wir
193 dann am Ende des Tages immer ein Verbundverbundmaterial, ja. #18:10

194 I: Und wie oft kommt hier dann Aluminium zum Einsatz, also jetzt nur so eine
195 prozentuelle Abschätzung? #18:18

196 IP: Da sagen wir der Anteil bei uns, das dürfte so geschätzt um die 60% sein, was
197 dann Aluminiumverbunde an den Materialverbunden ausmacht. Also wir haben
198 doch einen hohen Anteil #18:40

199 I: Aber ich nehme mal an, davon kann man keine Rückschlüsse auf den Markt
200 ziehen, oder? #18:46

201 IP: Wahrscheinlich schwer, weil wir sind da natürlich schon sehr stark in dem
202 Bereich drinnen, also da kann man jetzt wahrscheinlich auf den am Gesamtmarkt
203 nicht so leicht Schlüsse ziehen. Der Gesamtmarkt ist dann wieder ein anderes
204 Thema, wo ich jetzt selber da auch keine Zahlen vorliegen habe für Österreich, ja.
205 #19:07

206 I: Okay, verstehe. Ja leider hat die niemand oder zumindest überall wo ich bis jetzt
207 gefragt habe, ist es irrsinnig schwer einen Gesamtüberblick zu bekommen. #19:22

208 IP: Ja das wird schwierig sein. Da muss man wahrscheinlich, ich weiß nicht ob es
209 da irgendwelche Studien oder sowas gibt, aber das wird schwierig sein, ja. #19:28

210 I: Ja also es gibt schon Studien auch über Verbundverbundverpackungen, aber
211 dann der Anteil von Aluminium in Verbunden in diesen Verbunden, das ist dann
212 schon wieder sehr rar. Da gibt es am ehesten noch über Abfallanalysen
213 Informationen. Auf die habe ich mich jetzt auch daweil gestützt, weil eben das war
214 das einzige quantitative bis jetzt, was ich gefunden habe. Zum Aufkommen wollte
215 ich noch fragen, weil ich versuche auch, also ich habe verschiedene
216 Anwendungsbereiche, die ich mir genauer ansehe und ich wollte fragen im Bereich

217 Kaffee und Snacks. Wie ist das bei Kaffee, also jetzt nicht im Kapselbereich,
218 sondern eher bei den Beuteln, sind da Aluminiumverbunde oder
219 Aluminiumfolienverbunde bzw. Aluminiumbeschichtungen vorherrschend? #20:29

220 Da sind meines Wissens nach, das machen wir zum Teil auch, aber das ist
221 natürlich eine Domäne der Folienkaschierer, also die Kaffeeverpackung wie Sie
222 jetzt sagen, gell. Bei den Beuteln ist es schon noch sehr stark Aluminium drinnen,
223 weil da brauch ich natürlich auch ausgezeichnete Barrieren. Das sind dann
224 meistens Verbunde aus zum Beispiel Polyesterfolie plus Kleber plus
225 Aluminiumfolie plus Kleber plus PE-folie. Das wäre jetzt der klassische
226 Kaffeebeutelverbund. Natürlich brauche ich da meistens schon Aluminiumfolie,
227 weil der braucht ausgezeichnet, insbesondere bei gemahlten Kaffee da ist ja die
228 Oberfläche, das Füllgut ist noch höher als bei anderem Kaffee und da brauche ich
229 wirklich super Sauerstoffbarriere und Wasserdampfbarriere und natürlich auch
230 Lichtbarriere. Also da sind noch sehr viel Aluminiumfolie drinnen, ja. Da wäre
231 wahrscheinlich so eine Bedampfung für längere Haltbarkeit zu schwach ja. #21:28

232 I: Mhm. Und im Bereich Snacks also zum Beispiel Kartoffelchips oder so. Da habe
233 ich beobachtet, dass sehr viele Beschichtungen vorkommen. #21:40

234 IP: Hier ganz völlig richtig, da arbeitet man sehr stark mit metallisierten OPP.
235 Warum ist das so, sagen wir bei den Chips, weil da haben wir eine ausgezeichnete
236 Wasserdampfbarriere und da ist natürlich die metallisierte OPP-folie super. Und
237 mäßig gute Sauerstoffbarriere, die muss nicht ausgezeichnet sein, aber gut und
238 die metallisierte OPP-folie bietet das. Die hat zwar keine ausgezeichnete
239 Sauerstoffbarriere, aber eine gute und das ist wirklich maßgeschneidert für den
240 Chipsbereich, ja. Also da arbeitet man mit Metallisierungen, da sind eigentlich
241 selten Alufolien zu finden. #22:18

242 I: Mhm. Okay, dankeschön. Dann komme ich eh schon zum letzten Themenfeld.
243 Da wollte ich eben fragen, wie weit man die Schichtdicke in etwa reduzieren kann
244 von Aluminium, ohne die Barrierefunktion zu stark zu beeinträchtigen? #22:39

245 IP: Genau, also Sie meinen da jetzt von der Aluminiumfolie? #22:41

246 I: Mhm #22:41

247 IP: Sagen wir so klassisch, es gibt ja eine breite Palette, aber bei den flexiblen
248 Verpackungen geht das natürlich immer weiter runter, aus Kostengründen und aus
249 Umweltgründen und man kann ungefähr bis zu 6 μ gehen und hat dann für die
250 meisten Anwendungen noch ausreichend Barriere. Das mag im Pharma anders
251 sein. Da hat man natürlich aus Sicherheitsgründen oft 9-12 μ drinnen, aber solche
252 klassischen Consumerverpackungen kommt man doch bis 6 μ sogar runter, ja. Des
253 reicht eigentlich für die üblichen Haltbarkeitsdauern aus, ja. #23:20

254 I: Die nächste Frage haben Sie mir eigentlich eh schon beantwortet, dass Sie auch
255 alternative Barrierschichten einsetzen und auch anbieten Aluminium zu
256 substituieren. Und wie entwickelt sich der Einsatz von Aluminiumfolienverbunden
257 und Aluminiumbeschichtungen im Vergleich? #23:46

258 IP: Da kann ich jetzt auch nur für uns sprechen, also bei uns ist schon noch die
259 Aluminiumfolie das dominierende Thema und diese Aluminiumbedampfungen gibt
260 es auch für gewisse Fälle wie zum Beispiel im Chipsbereich ist natürlich die
261 metallisierte OPP-folie da und es gibt für ja manche Anwendungen auch diese
262 Bedampfungen, aber ich würde sagen von der Entwicklung her, sicher der
263 dominante Teil ist sicher die Aluminiumfolie. Es gibt dann einen Bereich mit
264 Bedampfungen und es entwickelt sich da ähnlich eigentlich, ja. Es ist aber jetzt
265 nicht so, dass die Bedampfung groß Marktanteile von Aluminiumfolie anknabbert
266 würde, zumindest in unserem Bereich hier ja. #24:30

267 I: Und generell, wenn man jetzt eben Aluminium und die alternativen
268 Barrierebeschichtungen oder Barrierematerialien betrachtet knabbern die am
269 Bereich der Aluminiumfolie? #24:46

270 IP: Die knabbern sehr wohl. Weil wie gesagt, die Hersteller, die großen
271 Lebensmittelkonzerne die überlegen sich natürlich schon, wie kann man da die
272 Logistikkette optimieren bzw. ist ja immer das Thema was für eine Barriere brauche
273 ich wirklich, gell. Das schwierige ist das heraus zu finden. Man muss natürlich
274 aufwendige Lagertests machen anders geht es nicht. Das ich wirklich herausfinde,
275 ist nach einer gewissen Lagerdauer, nach gewissen Bedingungen das
276 Lebensmittel noch so in Ordnung wie ich mir das vorstelle. Aber diese alternativen
277 Beschichtungen definitiv kommen und knabbern ein bisschen an der
278 Aluminiumfolie ja. Eben ja aus Umweltgründen natürlich, das man sagt weniger
279 Carbonfootprint, dann natürlich auch aus genau ökologischen Aspekten für den
280 Kunden, wenn der die Verpackung sieht und bemerkt aha da ist kein Aluminium
281 drinnen, es gibt aber auch andere Gründe. Man kann mit aluminiumfreien
282 Verpackungen Metalldetektoren einsetzen beim Abpacken. Es könnte ja immer
283 wieder sein, dass zum Beispiel irgendwo eine Schraube oder was hineinfällt. Und
284 dann kann ich das mit dem Metalldetektor erkennen, das ist dann natürlich mit den
285 Aluminiumverpackungen schwierig. Also es gibt schon ein paar Gründe warum das
286 in die Richtung geht. Also bisschen wird sicher angeknabbert, ja. #26:05

287 I: Okay, sehr spannend. Vielen Dank. #26:10

288 IP: Sehr gerne. #26:10

289 I: War sehr hilfreich für mich. #26:11

Anhang 7: Qualitatives Experteninterview 02

Interviewnummer	02
Datum	06.07.2017
Name	Dr. Manfred Tacker
Position	Studiengangsleiter Verpackungstechnologie, FH Campus Wien

1 I: Also Sie haben ja schon sehr viel Vorweg gegriffen. Und haben eben auch den
 2 Unterschied und die verschiedenen Schichtdicken von Aluminiumfolienverbunden
 3 und Aluminiumbeschichtung beschrieben. Wie würden Sie den funktionellen
 4 Unterschied dieser zwei Verbundformen beschreiben? Also welchen Unterschied
 5 macht das in der Funktion, da sich die Schichtdicke ja schon unterscheidet? #0:27

6 IP: Also in der Funktion, ist es so, dass die Sauerstoffbarriere natürlich besser ist
 7 bei Folienmaterialien als bei Bedampften. Bedampfte Folien sind noch sehr
 8 empfindlich zum Beispiel auf Zug, ja. Das heißt wenn man bedampfte Folien zum
 9 Beispiel über eine Verpackungsmaschine hier laufen lässt, da ist ja doch ziemlich
 10 starker Zug der da drauf wirkt. Da können diese bedampften Schichten einfach
 11 aufreißen und es kann signifikant die Sauerstoffpermeabilität dadurch steigen,
 12 dadurch verliert man dann natürlich an Funktionalität und an Barrierewirkung. Das
 13 ist bei Folienmaterialien natürlich besser. Bei den Folienmaterialien hängt die
 14 Funktion natürlich sehr stark von der Verarbeitung und auch von der Schichtdicke
 15 der Folie zusammen. Also da wird jetzt versucht ziemlich stark zu reduzieren, die
 16 Schichtdicken also da kommt man jetzt schön langsam an die Grenze beim
 17 Walzen. Da beim Walzen immer wieder Poren entstehen und da kann dann
 18 natürlich Sauerstoff durchtreten, also das heißt es ist immer so eine
 19 Gradwanderung wo kann ich technisch noch hin. #1:50

20 I: Mhm. Sie haben von einer Grenze gesprochen. Bei wie viel μ würden Sie die
 21 sehen, bei welcher Schichtdicke? #1:58

22 IP: Ja derzeit liegt man bei etwa $6,5\mu\text{m}$. Darunter ist das eigentlich nicht technisch
 23 handelbar derzeit, ja. Vor wenigen Jahren war die Grenze noch $9\mu\text{m}$, also da ist
 24 jetzt sozusagen dieses abspecken auf $6,5\mu\text{m}$, das jetzt Sache der letzten zwei
 25 Jahre würde ich sagen, also das ist jetzt erst eine sehr neue Entwicklung. #2:25

26 I: Okay, verstehe. Sie haben eben das Beispiel gebracht bei der
 27 Aluminiumbeschichtung von Chipsverpackungen, also im Snackbereich. Kann
 28 man grundsätzlich sagen welche Produkte eher für Aluminiumbeschichtungen

29 geeignet sind und welche nicht? Das hängt ja wahrscheinlich auch vom
30 Barriereanspruch ab? #2:49

31 IP: Genau. Hängt eigentlich vom Barriereanspruch ab, den ich habe. Bei
32 Süßwaren, Snacks ist das sozusagen, wenn die Verarbeitung gut ist, das heißt,
33 wenn ich nicht zu hohe Abzugskräfte habe auf der Maschine, die Gleitreibung
34 niedrig genug ist auf der Formschulter wo ich das abziehe, dann kann ich das so
35 im Griff haben, dass ich mit bedampften Materialien hier das auskommend finde.
36 Man ist gerade im Chipsbereich oft an der Grenze, wenn man hier etwas höhere
37 Sauerstoffdurchlässigkeiten hat, wird das am Ende der MHD einfach schon ranzig,
38 also da ist man dann schon an der Grenze. Aber Sie sind natürlich um einiges
39 billiger als Materialien mit Folienzwischen-schichten, deswegen setzt man sie
40 natürlich ein wo es geht. Man sieh auch den Unterschied, sie sind auch nicht ganz
41 lichtdicht diese bedampften Folien. Also das sieht man, wenn man sie ganz nah
42 ans Auge hält und durchschaut gegen eine starke Lichtquelle, dann kann man
43 durchschauen durch bedampfte Folien, durch eine Folienzwischen-schicht geht das
44 nicht, also das ist wirklich total lichtdicht. Also hängt einfach wirklich total von der
45 speziellen Anwendung ab. #4:14

46 I: Okay verstehe. Und Sie haben eben auch schon die transparenten
47 Barrierschichten angesprochen. Gibt es generell Materialien mit denen man
48 Aluminium substituieren kann, die eine ähnliche Barrierefunktion aufweisen oder
49 schafft man das eben nur mit Aluminium im Verbund? #4:35

50 IP: Ja das hängt jetzt eben wirklich davon ab, für welche Anwendungen. Wenn ich
51 jetzt den Getränkeverbundkarton ersetzen will, wo im aseptischen ja Aluminium in
52 der Zwischenschicht drinnen ist, dann kann ich natürlich Glas verwenden. Glas hat
53 eine Sauerstoffpermeabilität von 0 ist undurchlässig, das passt. Man kann
54 Aluminium in anderen Bereichen bei Dosen zum Beispiel natürlich durch Stahl
55 ersetzen, also durch Stahldosen, Konserven. Im bedampften Bereich, kann man
56 Aluminium und Aluminiumoxid natürlich durch SiO₂ ersetzen. Das ist ein Material,
57 das oft verwendet wird, man kann die Aluminiumzwischen-schichten auch durch
58 EVAL ersetzen, oder durch andere Barrierematerialien. Es gibt nicht nur EVAL,
59 sondern es gibt auch andere wie zum Beispiel NxC₆ das ist sozusagen ein neues,
60 naja neu, ein Polyamid, das von Mitsubishi entwickelt wurde und so gibt es einige
61 Ersatzmaterialien, die preismäßig aber mindestens genauso hoch liegen, wie
62 Aluminium das heißt es gibt keinen wirklichen Unterschied im Preis,
63 möglicherweise sind sie sogar ein bisschen teurer. Man kann Barrieren auch
64 maßschneidern, in dem man Sauerstoffabsorber einsetzt. Das heißt, da geht zwar
65 der Sauerstoff durch, wird aber dann absorbiert an der Innenschicht der Folie oder
66 eines Verschlusses wo ein Einleger drinnen ist. Und dann gibt es auch Additive die
67 man einsetzen kann zum Beispiel Nanoclays. Das sind Nanoadditive,
68 Atommineralien die man zusetzt, die auch die Sauerstoffbarriere sehr stark

69 reduzieren. Und diese Barrieren haben halt unterschiedliche Vor- und Nachteile,
70 also man kann nicht sagen, das ist ein 100% Ersatz oder nicht, das hängt eben
71 von der Anwendung ab. Wenn ich zum Beispiel sterilisierbare Verbunde
72 anschau, zum Beispiel Katzenfutter. Wenn ich Katzenfutter in Beuteln hier
73 verpacke, Katzen sind sensorisch sehr gut, das heißt die merken das sofort, wenn
74 das irgendwie oxidiert ist und das schmeckt ihnen dann nicht. Die sind sehr heikel
75 diese Viecher, ich habe selbst zwei. #7:17

76 I: Eigene Erfahrungen also. #7:18

77 IP: Eigene Erfahrungen, ja. Das heißt, wenn ich da jetzt zum Beispiel EVAL anstatt
78 Aluminiumzwischenicht. EVAL hat doch eine messbare
79 Sauerstoffpermeabilität, bisschen höher als Aluminium, aber EVAL ist auch
80 feuchteempfindlich, das heißt wenn ich hier eine Autoklavierung durchführe des
81 gesamten Verbundes, das heißt 121°C erhitze 30 min, habe ich hohe
82 Luftfeuchtigkeit, das heißt unter Dampf, dann gibt einen sogenannten
83 Autoklavierschock oder Sterilisationsschock von EVAL, das feuchtet auf. Verliert
84 dann eine Zeit lang die Sauerstoffbarriere und gerade nach dem sterilisieren geht
85 dann was rein und wenn das wieder ausgedampft ist, dann ist die
86 Sauerstoffbarriere wieder gut. Also das heißt, das muss man dann wirklich
87 spezifisch anschauen für die jeweiligen Verwendungen, was dann möglich ist oder
88 nicht. Es hat eben jeder Verbund seine Vor- und Nachteile. #8:29

89 I: Okay, verstehe. Und weil Sie eben auch die ökonomischen Aspekte im Vergleich
90 angesprochen haben, dass das sehr ähnlich ist. Von den ökologischen Aspekten
91 her, gibt es da Unterschiede, dass eben das eine oder das andere vorteilhafter ist?
92 Oder sind sie im Endeffekt alle ähnlich einzuschätzen, also dass das jetzt keinen
93 Unterschied ausmacht? #8:58

94 IP: Sie wissen eh, ökologische Einschätzung wie machen Sie das? Welche
95 Kriterien ziehen Sie heran, wenn Sie zum Beispiel eine Lebenszyklusanalyse
96 machen. Haben Sie ja nicht nur den CO₂-Ausstoß, Sie haben ja viele andere
97 Environmental Impacts, die Sie da betrachten. Und wie es halt so ist, einige sind
98 besser bei anderen Materialien und einige sind wieder schlechter. Das heißt so, ich
99 weigere mich immer zu sagen, das ist ökologisch besser als das andere, weil das
100 einfach nicht wissenschaftlich korrekt ist. #9:38

101 I: Okay, verstehe. #9:40

102 IP: Das heißt was aber sicher sehr wichtig ist, ob ein Verbund recyclingfähig ist
103 oder nicht nachher, weil es da jetzt durch die circular economy, also durch das
104 circular economy package der EU, gibt es da sehr große Herausforderungen in
105 diese Richtung. Im Bereich von Kunststoffverbunden, müssen dann 60% der
106 Materialien der Menge stofflich rezykliert werden. Das ist eine riesen

107 Herausforderung gerade bei Verbunden. Hmm. Sagen wir so, es ist eine
108 Herausforderung, die Industrie weiß nicht genau wie sie es löst. #10:20

109 I: Okay ja. #10:21

110 IP: Und da haben zum Beispiel bedampfte Folien oft einen Vorteil, weil wenn man
111 die richtig gestaltet, können die dann stofflich rezykliert werden, weil das was
112 bedampft ist, eigentlich so wenig an Gewicht ausmacht, dass das meistens geht
113 ja. Wenn man Aluminiumzwischen-schichten hat, geht das natürlich nicht. Wenn
114 man EVAL-Zwischen-schichten hat geht das oft auch nicht. Da brauche ich dann
115 sehr aufwendige stoffliche Recyclingverfahren, dass ich das wieder in die
116 Monomere zerlege und dann die Monomere wieder weiterverwende. Das ist, also,
117 es ist jedenfalls ein wichtiger Punkt, den man sich anschauen muss bei jedem
118 Verbund, ob er jetzt stofflich rezyklierbar ist oder nicht. Wenn man in diese
119 Richtung das entwickeln möchte. Bezüglich CO₂-Ausstoß, bei den
120 Convenienceverpackungen zum Beispiel, grad bei den Verpackungen für die
121 Verbunde eingesetzt werden, macht der CO₂-Ausstoß der Verpackung nur wenige
122 Prozent des Gesamtproduktes aus. Also wenn ich da 2% habe, was so typische
123 Zahlen sind, für den CO₂-Ausstoß durch die Verpackungen, dann weiß ich, wenn
124 ich sozusagen verhindere, dass ich nur wenige Prozente von meinen
125 Lebensmitteln nicht wegschmeißen muss, bin ich sowieso Kaiser. #11:50

126 I: Ja, ja. #11:50

127 IP: Also sozusagen genau das, auf das man immer schaut, nämlich der CO₂-
128 Ausstoß ist meiner Meinung nach, nicht der relevante Environmental Impact, dem
129 man eigentlich optimieren sollte bei der Verpackung. #12:06

130 I: Okay, und Sie haben eben auch schon gesagt, dass bei der Beschichtung, dass
131 das einen sehr geringen Massenanteil ausmacht, haben Sie da auch
132 durchschnittliche Zahlen, wie hoch so der Massenanteil an Aluminium in solchen
133 Beschichtungen ist? #12:18

134 IP: Das ist jetzt Teil der Masterarbeit sich das auszurechnen. Ganz einfach, Sie
135 haben üblicherweise Schichtdicken, nehmen Sie einen typischen Verbund der 60-
136 100µ an Schichtdicke und nehmen Sie 50nm Aluminium, ja also das heißt, Sie sind
137 da bei etwa einem Tausendstel der Dicke, sogar wenn Sie annehmen, dass Sie
138 die doppelte Dichte haben, sind Sie irgendwo bei 0,5% Prozent und darunter. Nein,
139 jetzt habe ich es schon wieder verraten. #12:57

140 I: Also eigentlich vernachlässigbar. #12:58

141 IP: Eigentlich sehr wenig ja. #12:59

142 I: Und bei Aluminiumfolienverbunden ist das schon ein bisschen höher. #13:07

-
- 143 IP: Genau. Da ist man jenseits von 10%, üblicherweise. Jedenfalls signifikant
144 höher ja. #16:16
- 145 I: Mhm. Und allgemein das Aufkommen von Aluminiumverbunden im Vergleich zu
146 Materialverbunden, also kann man sagen, wie hoch der Anteil an
147 Materialverbunden ist, in denen Aluminium enthalten ist? #13:30
- 148 IP: Kann man sicher. Nur ich kann es nicht, also ich habe keine Zahlen, nein.
149 #13:35
- 150 I: Weil Sie sagen kann man sicher, also ich habe schon sehr viele Leute gefragt
151 und das hat mir bis jetzt noch niemand beantworten können. Das ist nicht so
152 einfach herauszufinden. #14:08
- 153 IP: Also das wäre eigentlich. Also wenn ich das machen müsste, herauszufinden.
154 Ich würde einfach schauen, wer der Marktführer in diesem Bereich ist und würde
155 schauen aus dem heraus zu kitzeln wie viel Aluminiumfolie oder
156 Aluminiumverbund dieser herstellt und würde das dann mit dem, also wenn ich
157 den Marktanteil habe, kann ich sozusagen, den Gesamtmarkt dann hochschätzen.
158 Marktführer ist Constantia, also ich würde einfach auch die fragen. #14:47
- 159 I: Ja mit denen bin ich eh schon in Kontakt. Ich hoffe, dass ich da Zahlen
160 bekomme, weil es wurde mir im Vorhinein schon gesagt, dass eben quantitative
161 Werte, kann er mir schlecht geben. #15:01
- 162 IP: Ich verstehe es auch, weil es eben Geschäftsgeheimnisse sein könnten. #15:07
- 163 I: Ich habe jetzt einmal den Ansatz genommen, dass ich es über Abfallanalysen
164 mir ein bisschen angeschaut habe. Aber das ist halt dann auch wieder schwierig,
165 weil halt nicht Alles über den Restmüll entsorgt wird, sondern auch teilweise über
166 die Leichtverpackungssammlung. Aber da nehme ich jetzt eh was vorweg. #15:23
- 167 IP: Aber wo Sie es relativ leicht glaube ich, also relativ leicht, wo man es doch
168 herausfinden könnte, das ist bei den Getränkverbundkartons. #15:34
- 169 I: Ja, da hat mit der Herr Matyk eh schon gute Zahlen gegeben. #15:36
- 170 IP: Okay. #15:36
- 171 I: Also das ist der einzige Bereich wo ich wirklich keine Probleme habe, jetzt was
172 das Aufkommen betrifft. #15:43
- 173 IP: Okay, ja. Und bei den anderen ist es natürlich schwer ja. #15:46
- 174 I: Aber ich tu mein Bestes. Also dann allgemein zum Aufkommen, also ich habe ja
175 dann noch ein paar andere Fragen zum Aufkommen. Aluminiumverbunde im
176 Verhältnis zu Verpackungen, aber das wird dann wahrscheinlich ähnlich schwer

177 einschätzbar sein oder? Oder haben Sie Informationen zum Aufkommen von
178 Aluminiumverbunden wie hoch das ist? #16:15

179 IP: Ja es gibt eine Verpackungsstudie wo man ungefähr weiß, welche Mengen an
180 unterschiedlichen Werkstoffen zumindest da sind. Also das heißt, das ist die Studie
181 vom ÖIV, der hat eigentlich die genauesten Zahlen was das
182 Verpackungsaufkommen in Österreich betrifft, der hat es natürlich nicht so im
183 Detail aufgegliedert, ja aber man kann zumindest ein bisschen was, ein Gefühl
184 bekommen, ja. Weil das ist gar nicht so leicht diese Zahlen zu eruieren. #17:02

185 I: Okay. Ja die Studie habe ich eh. 17:05

186 IP: Ah haben Sie eh. Na dann, also ich glaube, es wird einem nichts anderes über
187 bleiben aus solchen Teilbereichen das einfach nur abzuschätzen. #17:15

188 I: Mhm. Okay. Ich habe mir jetzt noch verschiedene Anwendungsbereiche genauer
189 angesehen. Einer davon ist der Snackbereich und einer der Kaffeebereich. Also
190 jetzt bei der Beobachtung ist mir eben aufgefallen, dass ein Großteil im
191 Snackbereich mit Aluminiumbeschichtung ist. Gibt es auch Packmitteln, die auch
192 ohne Aluminiumbeschichtung oder auch ohne Aluminium im Verbund. Wie hoch
193 ist der Anteil an Aluminiumverbunden im Snackbereich? Können Sie das? #17:53

194 IP: Was Sie mich alles fragen. #17:53

195 I: Ja ich weiß. Aber ich probiere es halt einfach immer und mehr als dass Sie es
196 nicht wissen, kann ha nicht passieren. #18:00

197 IP: Ja natürlich gibt es andere Materialien auch im Snackbereich, als
198 Aluminiumverbunde. Es gibt natürlich gerade in dem Bereich sehr viel bedampfte
199 Folien die eingesetzt werden. Aber es gibt natürlich Alles andere auch. Das heißt
200 man hat EVAL Zwischenschichten dabei, es gibt Polyamid das als Barriere
201 verwendet wird, es gibt SiOx für Folien, das ist halt meistens eine Preisfrage.
202 #18:36

203 I: Okay und im Kaffeebereich. Sind eher die Aluminiumfolienverbunde? #18:39

204 IP: Im Kaffeebereich hat man wieder Glas, die Aluminiumfolienverbunde, es gibt
205 die Kartondose die Kombidose, die auch Aluminium hat. Die Kombidose hat ein
206 bisschen ein Comeback jetzt, weil die gegenüber starren Aluminium oder
207 Metallverpackungen, in einigen Umweltfaktoren besser abschneidet. Deshalb setzt
208 sich das durch, aber in den flexiblen Verpackungen für Mahlkaffee zum Beispiel,
209 sind fast ausschließlich Aluminiumzwischenschichten eingesetzt. Es gibt dann
210 zwar ein paar Anbieter, die dann SiOx bedampfte Folien unter Öko versuchen zu
211 verkaufen, wo kein Aluminium drinnen ist, das ist aber sicher eine winzige
212 Marktnische, also da sind die Aluminiumzwischenschichten eindeutig Marktführer.

213 Wenn man es aber im flexiblen Bereich. Wenn man es vergleicht mit den starren
214 Gebinden, da müsste es Zahlen geben, dass Sie zumindest vergleichen können,
215 was der Unterschied zwischen starren Gebinden und flexiblen ist, um einschätzen
216 zu könne wie das Volumen ist. Da gibt es zum Beispiel ganz große Unterschiede
217 im Verbraucherverhalten, also wenn man sich zum Beispiel den Marktführer Nestle
218 anschaut, dann ist dieser Nescafe in Österreich ja praktisch ausschließlich in
219 dieser Glasverpackung zu erhalten. In vielen anderen Ländern ist eben der
220 Folienverbund Marktführer. Und das wäre zum Beispiel was, was man sich aus
221 ökologischen Gründen durchaus überlegen könnte, ob man nicht diese starre
222 Glasverpackung, Einweg Glasverpackung eben durch so einen Verbund ersetzt,
223 der einfach hier in sehr vielen Kennzahlen besser ist. #21:08

224 I: Mhm. Wir haben über schon die stoffliche Verwertung von solchen Verbunden
225 kurz gesprochen und auch über die Entsorgungswege, aber gehen wir es vielleicht
226 trotzdem noch einmal konkret durch. Wie werden Aluminiumverbunde, jetzt
227 abgesehen von den Getränkeverbundkartons, in Österreich gesammelt und
228 verwertet? #21:39

229 IP: Ja also Kunststoffverbunde sind dann meistens über die entsprechende
230 Sammelschiene von ARA und Co also das heißt gelbe Tonne, gelber Sack
231 ähnliches ja. Wien ist anders. In Wien geht natürlich da fast alles in die
232 Müllverbrennung. Aber auch in den Bundesländern wird das zwar gesammelt, aber
233 nicht stofflich verwertet, da heißt es geht dann erst recht in die Verbrennung, weil
234 deponiert darf es ja nicht werden, das ist natürlich ein Nachteil. #22:21

235 I: Und was ich bis jetzt recherchiert habe, die getrennt gesammelten Verbunde
236 gehen in die Mitverbrennung als heizwertreiche Fraktion oder gehen die auch
237 teilweise in die Müllverbrennungsanlage? #22:34

238 IP: Also die Frage war die getrennt gesammelten? #22:40

239 I: Ja genau, also die die über Leichtverpackungssammlung gesammelt werden,
240 wie werden die dann verwertet? Weil Sie haben gesagt die werden verbrannt, aber
241 gehen die dann alle in die Mitverbrennung oder geht da auch teilweise was, wie
242 beim Restmüll in die Müllverbrennungsanlage? #22:56

243 IP: Also ich denke, das hängt ganz von den regionalen Gegebenheiten ab, also ich
244 mein die haben ja in Dürnrohr ja auch eine Müllverbrennung und ich denke, dass
245 da ein signifikanter Anteil der niederösterreichischen des niederösterreichischen
246 gelben Sacks reingeht. Ich habe im Detail keinen Überblick, aber es wird sicher
247 ein größerer Teil in die Müllverbrennung laufen aus meiner Sicht, wenn die
248 jeweiligen Länder sowas haben. #23:34

249 I: Okay. Ich frage nur deswegen, weil bei der Mitverbrennung oxidiert ja das
250 Aluminium zu 100% und bei der normalen Müllverbrennungsanlage ist es ja
251 eigentlich nicht gewünscht das 100% oxidieren, weil ja dann noch aus der

252 Schlacke versucht wird Aluminium rückzugewinnen und von dem her versuche ich
253 auch Zahlen herauszufinden, wie viel in die Mitverbrennung geht und sowieso
254 stofflich vernachlässigbar und wie viel ist dann noch vielleicht von der Schlacke.
255 #24:16

256 IP: Okay und das kann man so steuern in der Müllverbrennung? Das zwar der
257 Verbrennungsprozess gut abläuft, aber trotzdem Aluminium nicht oxidiert wird?
258 #24:24

259 I: Da gibt es unterschiedliche Meinungen darüber. Aber im Verbundbereich geht
260 man eh davon aus, dass so gut wie alles, weil es eben in so geringer Schichtdicke
261 vorliegt oxidiert. #24:39

262 IP: Eben. Weil haben die nicht ein Wirbelschichtbett oder sowas. #24:43

263 I: In der Wirbelschichtfeuerung am ehesten, in der Rostfeuerung bleibt noch mehr.
264 Ich habe bis jetzt nur aus Studien zahlen und da habe ich jetzt zum Beispiel eine
265 Oxidationsrate bei flexiblen Verpackungen, also bei Aluminiumfolien für 58,8%,
266 also es bleibt dann anscheinend doch noch was da ja. #25:10

267 IP: Interessant, ja. #25:11

268 I: Aber das sind halt nur die Daten, die ich aus der Literatur habe. Ja deswegen
269 frage ich so neugierig nach. #25:19

270 IP: Naja, sehr spannend, ja #25:19

271 I: Ja, und eine Frage die ich noch habe ist, ob es Technologien gibt Verbunde vor
272 der thermischen Verwertung aufzutrennen und dann eben die einzelnen
273 Materialien noch stofflich zu verwerten, die jetzt auch schon marktreif sind? #25:39

274 I: Gibt es natürlich schon. Marktreif ist immer so eine Frage, wie viel Förderung
275 dann dahintersteckt. Also es gibt natürlich die Möglichkeit, dass man die
276 Kunststoffe depolymerisiert und sozusagen und hier Monomere gewinnt und da
277 kann man dann alle möglichen Kunststoffe reinschmeißen und braucht sie nicht
278 mehr sortenrein haben und dann bleibt natürlich das Metall auch über in diesem
279 Bereich. Also das geht, sonst ist es eigentlich nicht sinnvoll. #26:20

280 I: Und wo wird das schon umgesetzt? #26:23

281 IP: In Deutschland. Die schwarze Pumpe glaube ich heißt das dort, es schon seit
282 vielen Jahren. Das sind einfach chemische Recyclingverfahren, die man
283 wahrscheinlich in Zukunft sehr viel stärker entwickeln muss, weil man ja irgendwas
284 mit den Verbundmaterialien tun muss, wenn das circular economy package in Kraft
285 tritt ja. Es ist aber sehr energieintensiv und es ist die Frage, ob das wirklich so viel
286 bringt. Also Recycling und Recycling, da gibt's ja so einen starken Unterschied

287 zwischen den verschiedenen Verfahren und der Sinnhaftigkeit und ökonomisch,
288 wäre das wenn man ohne Förderung und ohne Zwang vorgeht, sind die alle nicht
289 marktreif. Weil es natürlich viel billiger ist das einfach neu zu synthetisieren bevor
290 man das mühsam zerklaut. Es ist auch das Getränkeverbundkarton Recycling
291 ökonomisch total sinnlos und ökologisch meines Erachtens nach auch. Es muss
292 halt einfach nur gemacht werden aufgrund der Verordnung. #27:33

293 I: Diese Aufbereitungsverfahren, die Sie beschrieben haben, ist das realistisch,
294 dass das auch in Österreich irgendwann umgesetzt wird, eben aufgrund der
295 circular economy? #27:49

296 IP: Ja ich meine, wenn es Vorgaben gibt, dass es stofflich rezykliert werden muss
297 und das wird dann vom Gesetzgeber anerkannt als stoffliches Recycling, dann
298 müssen sie was tun, die Industrie, das ist jetzt genau dieses Nachdenken das
299 derzeit im Gange ist, wie geht man mit diesen Vorgaben um. Die ja dann 2025,
300 dann schlagend werden sollen, das ist sehr kurz die Zeit und es wird natürlich den
301 Markt sehr verändern. Auf der einen Seite im Mai bei der Interpack haben Sie
302 schon einige Verbundmaterialien präsentiert, die sozusagen
303 Monomaterialbarrieren darstellen mit Aluminium zum Beispiel oder Aluminiumoxid
304 als Zwischenschicht, die dann außen und innen aus PP bestehen und wo an dann
305 versuchen kann das Monomaterial mit ein paar Verunreinigungen, dann zu
306 rezyklieren, wo man sich das erspart. Aber mit EVAL Verbunden, wo Haftvermittler
307 drinnen sind, mit denen kann man sonst wirklich nichts anfangen, als genau diesen
308 Weg der Depolymerisation zu gehen, also es wird kommen, wenn es Vorgabe ist,
309 es wird den Preis verteuern, es wird ökologisch wahrscheinlich nur zum Teil
310 sinnvoll sein, aber es ist halt wieder eine Vorgabe und es wird sehr viel Druck auf
311 die Entwicklung alternativer Barrieren dann ausüben, was natürlich positiv ist.
312 #29:24

313 I: Wir haben eh schon jetzt eben die Entwicklung angesprochen. Wie und auch das
314 Aluminium in letzter Zeit sehr reduziert wurde und Sie haben gesagt es hat sich
315 von etwa 9 μ auf 6,5 μ reduziert, kann man da noch weitere Entwicklungen erwarten
316 oder kann man da keine technologischen weiteren Veränderungen mehr
317 erwarten? #29:59

318 IP: Ja, das also vor einiger Zeit hat man nicht gedacht, dass man nicht auf 6,5
319 kommen kann, also ich glaub man soll die Hoffnung nie aufgeben, bei solchen
320 Dingen. Es wird natürlich immer schwerer weil man natürlich. Man kann sich
321 vorstellen, wenn das gewalzt wird, das muss ja über riesen Bänder gezogen
322 werden, dass es dann zu Rissen kommt auf diesen Bändern. Die Barriere wäre
323 schon okay, aber die schafft man sicher auch mit 4 μ , aber die Verarbeitung wird
324 immer komplexer und dann muss man sich überlegen, muss ich da zum Beispiel
325 vorher einen Lack aufsprühen oder sonst was damit das besser verarbeitbar ist.

326 Das sind eher technologische Fragen der Verarbeitung und eher nicht der Barriere.
327 Also wundern würde es mich nicht. #30:52

328 I: Okay verstehe. Und jetzt im Bereich Aluminiumfolienverbunde und
329 Aluminiumbeschichtungen, dass es da noch Verschiebungen geben wird in
330 Zukunft ist das zu erwarten oder ist das aufgrund der verschiedenen
331 Anforderungen und Vor- und Nachteile in den Bereichen nicht zu erwarten? #31:09

332 IP: Ja ich kann mir schon vorstellen, dass die Aluminiumbeschichtung in Zukunft
333 weiter Marktanteile gewinnt. Also das ist für viele Anwendungszwecke, ist da sicher
334 eine Aluminiumbeschichtung ausreichend. Man braucht nicht unbedingt eine
335 Aluminiumzwischenicht. #31:30

336 I: Okay. Ja haben uns jetzt eh schon viel und intensiv unterhalten. Jetzt habe ich
337 noch eine Abschlussfrage. Ein bisschen Gesamthaft wie Sie, obwohl wir jetzt
338 schon die ökologischen Aspekte angesprochen haben, aber wie Sie so die
339 Umweltrelevanz von Aluminium in Verbunden einschätzen? #31:51

340 IP: Ja, die stoffliche Rezyklierbarkeit ist sehr schwer. Aluminium in
341 Verbundmaterialien in flexiblen Verpackungen hat natürlich den wirklichen Vorteil
342 eines sehr guten Produktschutzes und der gute Produktschutz, wenn man es
343 schafft, dass dann weniger Lebensmittel verderben, dann hat es seine
344 Berechtigung, ja. Wie jedes Verbundmaterial und ich glaube es müssen in Zukunft
345 weitere Verbunde entwickelt werden, die Barrieren haben und weitere
346 Verpackungen noch in Richtung Barriereverpackungen umgestellt werden, weil
347 das einfach eine ökologische Notwendigkeit ist. Aus meiner Sicht, Sie kennen eh
348 die Zahlen sehr gut, weil sie ja die BOKU auch entwickelt hat zum Teil, wie viel
349 Prozent der Lebensmittel weggeworfen werden und wie viel Prozent des CO2-
350 Ausstoßes weltweit durch Landwirtschaft und Lebensmittelverarbeitung hier
351 hervorgerufen wird, also wenn wir hier von 30% jeweils ausgeht, was durchaus
352 realistisch ist, dann muss man um diese Zahl senken zu können muss man
353 natürlich unter anderem auch in verbesserte Verpackungen investieren und da hat
354 natürlich Aluminium auch in Verbunden eine sehr wichtige Rolle und ich glaube
355 das wird auch weiterhin haben. #33:22

356 I: Okay, dann sage ich vielen Dank. #33:25

Anhang 8: Siegelrandbeutel und Verarbeitung (Braun, 2000)

