



universität  
wien

# MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Vergleich verschiedener Verpackungsmaterialien für portionierten Kaffee im Hinblick auf Umweltauswirkungen, Kreislaufwirtschaft und Produktqualität am Beispiel des Nespresso Systems“

verfasst von / submitted by

Sigrid Mally Bakk.rer.nat.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of  
Master of Science (MSc)

Wien, 2022 / Vienna, 2022

Studienkennzahl lt. Studienblatt /  
degree programme code as it appears on  
the student record sheet:

UA 066 838

Studienrichtung lt. Studienblatt /  
degree programme as it appears on  
the student record sheet:

Masterstudium Ernährungswissenschaften

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Doz. Mag. Dr. Manfred Tacker



## **Danksagung**

Ich möchte mich bei allen Personen bedanken, die mich in den Jahren meines Studiums als auch während der Erstellung meiner Masterarbeit unterstützt haben.

Ein großer Dank geht hierbei an Herrn Univ.-Doz. Mag. Dr. Manfred Tacker, der diese Arbeit betreut und mir so die Möglichkeit geboten hat, die Masterarbeit zu verfassen.

Besonderer Dank geht an meine Familie und meinen Lebensgefährten, die mich während des Studiums stets unterstützt haben und mir stets zur Seite gestanden sind.



## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet wurden. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Informationen sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit ist noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden und verletzt in keiner Weise die Rechte von Dritten.

Wien, 28.02.2022

---

Ort, Datum



---

Unterschrift  
(Sigrid Mally)

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurden in der vorliegenden Arbeit auf die gleichzeitige Verwendung geschlechtsspezifischer Formulierungen verzichtet. Es soll hiermit aber ausdrücklich erwähnt werden, dass bei der Angabe der maskulinen Form alle Geschlechter gemeint sind.

## A. Inhaltsverzeichnis

|       |                                                                                             |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Einleitung.....                                                                             | 1  |
| 2     | Überblick der österreichischen Marktsituation .....                                         | 3  |
| 3     | Materialübersicht .....                                                                     | 7  |
| 3.1   | Aluminium.....                                                                              | 12 |
| 3.1.1 | Aluminiumherstellung .....                                                                  | 13 |
| 3.1.2 | Aluminiumrecycling.....                                                                     | 14 |
| 3.2   | Kunststoffe.....                                                                            | 15 |
| 3.2.1 | Arten von Kunststoff .....                                                                  | 16 |
| 3.2.2 | Konventionelle Kunststoffe .....                                                            | 17 |
| 3.2.3 | Biokunststoffe .....                                                                        | 20 |
| 3.2.4 | Kunststoffrecycling .....                                                                   | 23 |
| 4     | Einfluss auf Umweltparameter.....                                                           | 32 |
| 4.1   | Entsorgung und Recycling von Kaffeekapseln .....                                            | 32 |
| 4.1.1 | Abfallhierarchie .....                                                                      | 32 |
| 4.1.2 | Verpackungsverordnung.....                                                                  | 33 |
| 4.1.3 | Überblick österreichische Abfallwirtschaft.....                                             | 33 |
| 4.1.4 | Sammlung und Verwertung von Kaffeekapseln im öffentlichen System<br>.....                   | 38 |
| 4.1.5 | Sammlung und Verwertung von Kaffeekapseln in privaten<br>Kompostanlagen (Heimkompost) ..... | 41 |
| 4.1.6 | Eigene Sammel- und Verwertungssysteme.....                                                  | 41 |
| 4.2   | Kreislaufwirtschaft .....                                                                   | 43 |
| 4.2.1 | Eignung von Aluminiumkapseln zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft<br>.....             | 44 |

|       |                                                                                                                                |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.2 | Eignung von nicht biologisch abbaubaren Kunststoffkapseln zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft .....                      | 46 |
| 4.2.3 | Eignung von biologisch abbaubaren Kunststoffkapseln zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft .....                            | 47 |
| 4.3   | Lebenszyklusanalysen und Bewertung von Materialien für Kaffeekapseln                                                           | 49 |
| 4.3.1 | Lebenszyklusanalysen gemäß den Standards ISO 14040:2006 und ISO 14044:2006 .....                                               | 50 |
| 4.3.2 | LCA von Kaffeekapseln .....                                                                                                    | 52 |
| 4.3.3 | Einfluss von Aluminiumkapseln auf den Lebenszyklus.....                                                                        | 58 |
| 4.3.4 | Einfluss von nicht biologisch abbaubaren Kunststoffkapseln auf den Lebenszyklus.....                                           | 58 |
| 4.3.5 | Einfluss von biologisch abbaubaren Kapseln auf den Lebenszyklus                                                                | 58 |
| 4.3.6 | Vergleich der Materialien im Lebenszyklus.....                                                                                 | 60 |
| 4.4   | Diskussion: Finale Betrachtung des Materials für Kaffeekapseln aufgrund von Kreislaufwirtschaft und Lebenszyklusanalysen ..... | 68 |
| 5     | Einfluss auf die Produktqualität .....                                                                                         | 72 |
| 5.1   | Subjektive Qualitätsfaktoren .....                                                                                             | 73 |
| 5.2   | messbare Qualitätskriterien .....                                                                                              | 74 |
| 5.2.1 | Einfluss des Klimas und der Kaffeebohnen-Art auf die Qualität ....                                                             | 74 |
| 5.2.2 | Einfluss von Rösten und Mahlen auf die Produktqualität und Haltbarkeit .....                                                   | 75 |
| 5.2.3 | Einfluss der Lagerung auf die Produktqualität und Haltbarkeit .....                                                            | 76 |
| 5.3   | Einfluss der Verpackung auf Qualitätsindikatoren .....                                                                         | 80 |
| 5.3.1 | Verwendung von modifizierten Atmosphären .....                                                                                 | 81 |
| 5.3.2 | Verpackungsmaterial .....                                                                                                      | 81 |
| 5.4   | Diskussion: Finale Betrachtung des Materials für Kaffeekapseln aufgrund der Produktqualität .....                              | 85 |

|    |                                                                      |    |
|----|----------------------------------------------------------------------|----|
| 6  | Diskussion .....                                                     | 88 |
| 7  | Conclusio.....                                                       | 93 |
| 8  | Zusammenfassung .....                                                | 95 |
| 9  | Abstract .....                                                       | 96 |
| 10 | Literaturverzeichnis ..... <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b> |    |

## B. Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1 Anteil der Kaffeekapseln nach Hauptbestandteil der Kapsel .....                                                                   | 4  |
| Abbildung 2 Aufbau einer Nespresso Kapsel (Nestlé Nespresso S.A. o.D.c).....                                                                  | 9  |
| Abbildung 3 Unterscheidung von Kunststoffen nach Materialherkunft und Abbaubarkeit (mod. nach European Bioplastics (2021)).....               | 17 |
| Abbildung 4 weltweite Produktion von Biokunststoffen 2021 (European Bioplastics 2021) .....                                                   | 21 |
| Abbildung 5 weltweite Produktion von biologisch abbaubaren Kunststoffen, getrennt in Verwendungszwecks 2021 (European Bioplastics 2021) ..... | 21 |
| Abbildung 6 Systematik der Kunststoffe nach Umweltbundesamt Deutschland (2009) .....                                                          | 22 |
| Abbildung 7 Behandlungsarten von Kunststoffabfällen (Stoifl et al. 2017) .....                                                                | 24 |
| Abbildung 8 Verteilung der Zertifizierungen zur Kompostierung der betrachteten biologisch abbaubaren Kaffeekapseln .....                      | 29 |
| Abbildung 9 Abfallhierarchie (mod. nach Burgstaller et al. (2018)).....                                                                       | 32 |

|                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 10 Anteile an Verwertung und Beseitigung von Abfällen in Österreich im Jahr 2019 (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a) ..... | 34 |
| Abbildung 11 Restmüllanalyse Steiermark - Zusammensetzung in Massen-% (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2019; Technisches Büro für Umweltschutz Ges.m.b.H. 2019) .....                     | 35 |
| Abbildung 12 Schweiz: Recyclingwand in einem Migros für gebrauchte Aluminium-Kapseln (Migros-Genossenschafts-Bund 2020) .....                                                                      | 43 |
| Abbildung 13 Schematische Darstellung Kreislaufwirtschaft (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021b) .....                                  | 44 |
| Abbildung 14 Theoretischer Kreislauf einer Aluminium-Kapsel sowie sonstige Entsorgungswege .....                                                                                                   | 45 |
| Abbildung 15 theoretischer Kreislauf einer nicht biologisch abbaubaren Kunststoff-Kapsel sowie sonstige Entsorgungswege .....                                                                      | 46 |
| Abbildung 16 theoretischer Kreislauf biologisch abbaubarer Kunststoffe (mod. nach European Bioplastics (2021)) .....                                                                               | 47 |
| Abbildung 17 Konzept von Wirkungsindikatoren (ISO 14044:2006) .....                                                                                                                                | 51 |
| Abbildung 18 Kreislauf einer Tasse Kaffee (mod. nach Quantis Suisse (2011)) .....                                                                                                                  | 52 |
| Abbildung 19 Vergleich von Entsorgungswegen für biobasierte Materialien auf Basis von 1 kg Material (Hermann et al. 2011) .....                                                                    | 60 |
| Abbildung 20 Vergleich der Lebenszyklusschritte Verpackungsproduktion und Entsorgung verschiedener LCAs .....                                                                                      | 63 |
| Abbildung 21 Treibhausgasemissionen einer Tasse Espresso Kaffee (Quantis Suisse 2011) .....                                                                                                        | 64 |
| Abbildung 22 Energieverbrauch der Lebenszyklusschritte Verpackung und Entsorgung verschiedener Kaffeekapseln .....                                                                                 | 67 |

|                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 23 Anteil an biobasierten Materialien in den in der Marktanalyse behandelten Kaffeekapseln gem. Qualitätsstufen angelehnt an (DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH o.D.)..... | 69 |
| Abbildung 24 Abbau flüchtiger Verbindungen (Nicoli und Savonitto 2005).....                                                                                                                              | 79 |
| Abbildung 25 Reaktionsschema von Methionin zu Methanthiol und Dimethyl-Disulfid (mod. nach Yeretjian et al. (2017)) .....                                                                                | 79 |
| Abbildung 26 Einfluss der Verpackung auf ausgewählte Frischeindikatoren, Ergebnis (mod. nach Glöss et al. (2014)) .....                                                                                  | 85 |
| Abbildung 27 Mindesthaltbarkeiten gemäß durchgeführter Marktanalyse 2021/2022 .....                                                                                                                      | 87 |

## C. Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1 Übersicht der in Österreich bei mehreren Lokalaugenscheinen (12.08.21, 13.08.21, 05.02.22, 07.02.22) erhältlichen Nespresso-kompatiblen Kaffeekapseln ...                                                                                                                                                                       | 5  |
| Tabelle 2 Verpackungseigenschaften und Zutreffen dieser auf Kaffeekapseln (mod. nach Nicoli und Savonitto (2005)).....                                                                                                                                                                                                                    | 8  |
| Tabelle 3 Übersicht der Materialien für Kapseln und Sekundärverpackung in Österreich (Meinl Internet Commerce GmbH o.D; Minges Kaffeerösterei GmbH o.D; Golden Compound GmbH 2022; FABICO Coffee GmbH o.D; Unicaps GmbH o.D; REWE Eigenmarken Team 19.08.2021; Billa Kundenservice 25.08.2021; rezemo GmbH o.D; Caffé Vergnano o.D.)..... | 10 |
| Tabelle 4 Vor- und Nachteile von Aluminium als Verpackungsmaterial (mod. nach (Nicoli und Savonitto 2005; European Aluminium 2020)) .....                                                                                                                                                                                                 | 13 |

|                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 5 umweltrelevante Einsparungen durch Aluminiumrecycling im Vergleich zur Primärproduktion (mod. nach Bureau of International Recycling (o.D); European Aluminium (2020)) .....                                                               | 14 |
| Tabelle 6 Vor- und Nachteile von Kunststoffverbunden als Verpackungsmaterial (mod. nach Nicoli und Savonitto (2005); Robertson (2016)) .....                                                                                                         | 17 |
| Tabelle 7 Kunststoffbarrieren und ihre Materialeigenschaften (mod. nach Kirwan et al. (2011)) .....                                                                                                                                                  | 19 |
| Tabelle 8 Vergleich Barriereigenschaften Kunststoff zu Aluminium (mod. nach Kirwan et al. (2011)) .....                                                                                                                                              | 20 |
| Tabelle 9 Relevante Normen im Hinblick auf Biokunststoffe und Kompostierbarkeit (mod. nach (European Bioplastics 2016; Burgstaller et al. 2018)) .....                                                                                               | 26 |
| Tabelle 10 Übersicht der Logos und ihrer Verwendung auf den in Österreich erhältlichen Kaffeekapseln (mod. nach (European Bioplastics 2016; TÜV Austria Belgium NV/SA o.D; DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH o.D.)) .....        | 30 |
| Tabelle 11 Vorteile sowie Herausforderungen von biologisch abbaubaren Kunststoffen (mod. nach (Stoifl et al. 2017; Baier et al. 2016; Zafiu et al. 2019)) .....                                                                                      | 48 |
| Tabelle 12 Lebenszyklusphasen einer Kaffeekapsel (nach (Quantis Suisse 2011; Quantis Suisse 2019; Tonelli et al. 2018; Nespresso Österreich GmbH & Co OHG 2020; Figueiredo Tavares und Mourad 2020; Brommer et al. 2011; Quantis Suisse 2021)) ..... | 54 |
| Tabelle 13 Wirkungskategorie Klimawandel - Überblick der relevanten Lebenszyklusabschnitte der betrachteten Kaffeekapseln .....                                                                                                                      | 62 |
| Tabelle 14 Wirkungskategorie Erschöpfung abiotischer Ressourcen - Überblick der relevanten Lebenszyklusabschnitte der betrachteten Kaffeekapseln .....                                                                                               | 66 |
| Tabelle 15 Effekte der Verarbeitungsschritte (mod. nach Manzocco et al. (2011)) ..                                                                                                                                                                   | 75 |

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 16 Übersicht der Angaben zu Mindesthaltbarkeit und Schutzatmosphäre der KaffEEKapseln gem. durchgeführter Marktanalyse ..... | 82 |
| Tabelle 17 auf Frischeparameter untersuchte Kapseln der Studie von Glöss et al. (2014) .....                                         | 84 |

## D. Abkürzungsverzeichnis

|                       |                                                                   |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| CO <sub>2</sub> ..... | Kohlendioxid                                                      |
| EVOH .....            | Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer                                    |
| k.A. ....             | keine Angabe                                                      |
| LCA .....             | Life Cycle Assessment                                             |
| LEH .....             | Lebensmitteleinzelhandel                                          |
| MeSH.....             | Methanthiol                                                       |
| PBAT .....            | Polybutylenadipat-Terephthalat                                    |
| PLA.....              | Polymilchsäure                                                    |
| PP.....               | Polypropylen                                                      |
| PVdC .....            | Polyvenylidenchlorid                                              |
| RH .....              | Relative Luftfeuchtigkeit (relative humidity)                     |
| TOC.....              | Total Organic Carbon (Gesamtgehalt an<br>organischem Kohlenstoff) |



# 1 Einleitung

Kaffee ist nach Wasser und Fruchtsäften das am dritthäufigsten konsumierte und verkaufte Getränk in Deutschland, der durchschnittliche Verbrauch liegt sowohl in Österreich als auch in Deutschland bei etwa 3 Tassen am Tag. Bei der Vielzahl an Zubereitungsmöglichkeiten spielt das Kapsel- bzw. Pad-System eine wesentliche Rolle. So haben sowohl in Deutschland als auch in Österreich fast jeder zweite Haushalt unter anderem eine Kapsel- oder Padmaschine zuhause und jeder vierte Kaffeetrinker konsumiert mindestens monatlich Kaffee aus ebensolch einer Maschine (Österreichischer Kaffeeverband 2020; Tchibo und Liedtke 2020). Die Vorteile portionierter Maschinen liegen in der einfachen, schnellen Zubereitung, der standardisierten Qualität des Ergebnisses in der Tasse als auch in der Produktvielfalt, die durch unterschiedliche Geschmacksrichtungen und Kaffeevarietäten gegeben ist.

Bei diesem lukrativen Markt ist es nicht verwunderlich, dass neben dem Marktführer Nespresso bereits eine Vielzahl kompatibler Kapseln aus unterschiedlichen Materialien erhältlich sind. So konnten bei einem Lokalaugenschein im August 2021 sowie Februar 2022 in zehn Wiener Supermärkten und Drogerien sowie einer anschließenden Internetrecherche kompatible Kapseln von 26 Herstellern aus drei wesentlichen Materialgruppen (Aluminium, Kunststoff, „kompostierbar“) gezählt werden (vgl. Tabelle 1).

Vor allem in den letzten Jahren wurden zunehmend kompostierbare Kapseln auf den Markt gebracht. Kein Wunder, da nachhaltige Verpackung und die Bereitschaft diese zu nutzen für zwei Drittel der Konsumenten vorstellbar ist, allerdings nur, wenn das Produkt dadurch nicht teurer wird (Tchibo und Liedtke 2020).

Das Verpackungsmaterial des Kaffees spielt vor allem im Bereich portionierter Kaffee eine wesentliche Rolle, werden diese Systeme häufig als „Müllproduzent“ und „nicht nachhaltig“ wahrgenommen. Hauptgrund dafür ist die Kapsel, die nach jedem zubereiteten Kaffee als Abfall zurückbleibt. Kaffeekapseln sind zudem keine Verpackungen im Sinne der Verpackungsverordnung und müssen daher ungeachtet ihres Materials im Restmüll entsorgt werden (Verordnung des Bundesministers für Land- und

Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten). Kapselhersteller haben daher teilweise eigene Recyclingsysteme aufgebaut oder im Falle kompostierbarer Kapseln werben diese Hersteller je nach Material mit der Möglichkeit industrieller oder häuslicher Kompostierung. Doch kaschieren diese Entsorgungssysteme und Werbungen lediglich einen großen ökologischen Fußabdruck im Vergleich zu anderen Systemen? Haben alle Kapselmaterialien den gleichen Impact in ihrem Lebenszyklus und sind kompostierbare Kapseln wirklich eine nachhaltigere Alternative? Die Stadt Hamburg etwa hat Kaffeekapselmaschinen auf die Negativliste ihrer Beschaffung gesetzt, Begründung dazu war das Abfallaufkommen aufgrund Nutzung solcher Maschinen (Behörde für Umwelt und Energie 2019).

Der Grundgedanke des Kapselkaffees war, jeder Person zu Hause Kaffee in der Qualität zu ermöglichen, wie bei Kaffee, der von einem professionellen Barista zubereitet wird (Nestlé Nespresso S.A. o.D.b). Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit neben den Umweltauswirkungen auch die Eigenschaften der einzelnen Materialien im Hinblick auf den Erhalt der Produktqualität bewertet, welche nachfolgend als Haltbarkeit und der Erhalt bestimmter Frischeparameter, wie dem Abbau flüchtiger Verbindungen, gesehen wird.

In dieser Arbeit werden daher folgende Annahmen auf ihre Richtigkeit untersucht:

- Kaffeekapseln aus Aluminium sind im Hinblick auf den Produktschutz die beste Wahl.
- Kaffeekapseln aus kompostierbarem Material haben im Hinblick auf Kreislaufwirtschaft und Umweltauswirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus die geringsten Auswirkungen.

Um Einflüsse durch unterschiedliches Verpackungsdesign, Herstellungs- und Extraktionsprozesse als Unterschiede, die aufgrund der technischen Voraussetzungen von Kaffeemaschinen möglicherweise gegeben sind, unberücksichtigt zu lassen, werden nachfolgend ausschließlich Kaffeekapseln, welche mit dem Nespresso System kompatibel sind, verglichen und bewertet.

Diese Arbeit stellt keinen Anspruch an eine vollständige Bewertung aller am Markt erhältlichen Materialien, sondern wird sich auf jene konzentrieren, die den Hauptanteil der in Österreich erhältlichen Kapselmaterialien ausmachen.

## **2 Überblick der österreichischen Marktsituation**

Portionierter Kaffee wird in verschiedenen Materialien verpackt. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit im Hinblick auf Größe, Maße und Masse der Verpackungen werden ausschließlich für das Nespresso System erhältliche Kapseln betrachtet.

Am 12.08.21, 13.08.21, 05.02.22 als auch 07.02.22 wurde ein Lokalaugenschein in Wiener Supermärkten, Drogerien sowie einer Nespresso Boutique durchgeführt. Alle Marken wurden durch eine weitere Internet-Recherche auf ihre Verfügbarkeit auf einem eigenen Webshop des Herstellers bzw. die Verfügbarkeit in drei großen Online-Portalen (amazon.de, shoeping.at, gurkerl.at) geprüft. Die Online-Shops der beiden großen österreichischen Supermarktketten wurden bewusst ausgeklammert, da angenommen wurde, dass das Online-Sortiment nicht wesentlich vom In-Store Sortiment abweicht.

Die für das Nespresso System kompatiblen Kapseln lassen sich nach dieser Recherche in drei Kategorien einteilen:

- Aluminium-Kapseln
- Kapseln aus nicht-kompostierbarem Kunststoff – diese werden nachfolgend als Kunststoff-Kapseln bezeichnet
- Kapseln aus kompostierbarem Kunststoff – diese werden nachfolgend als kompostierbare Kapseln bezeichnet

Tabelle 1 gibt einen Überblick der Kapseln, der Sortenvielfalt des permanenten Sortiments, sowie deren Zuteilung in die drei genannten Materialkategorien. Der Markt wird mittlerweile „kompostierbaren Kapseln“ dominiert, 16 Hersteller sind mit diesen Kapseln vertreten. Aluminiumkapseln und Kunststoffkapseln sind mit 11 bzw. 9 Herstellern vertreten, wie in Abbildung 1 dargestellt. Zwischen August 2021 und Februar 2022 wich das Sortiment lediglich marginal ab. 2 Hersteller waren zusätzlich zum bisherigen

Sortiment mit Aluminium-Kapseln vertreten, ein Hersteller biobasierter Kapseln wurde neu aufgenommen, da beim zweiten Termin auch die größte Bio-Supermarktkette aufgesucht wurde, die beim ersten Termin nicht Teil der Analyse war.

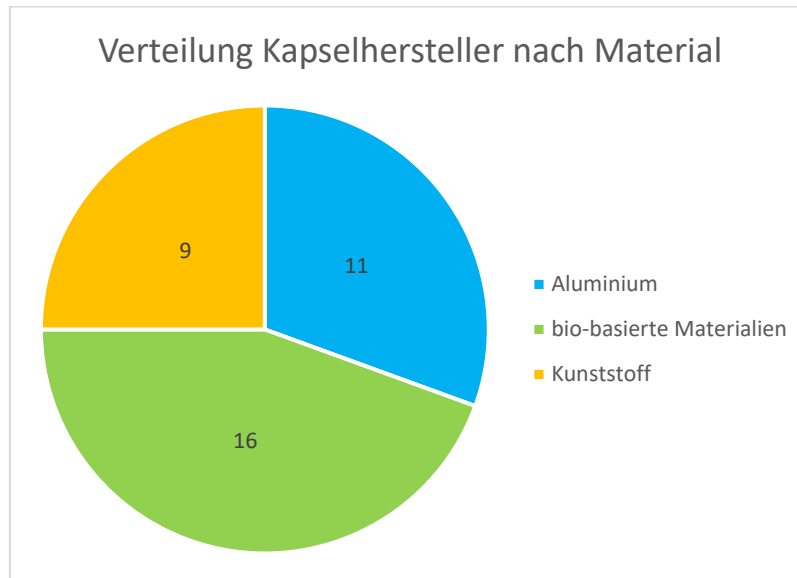


Abbildung 1 Anteil der Kaffee kapseln nach Hauptbestandteil der Kapsel

Es sei jedoch erwähnt, dass Hersteller in den letzten Monaten von Kunststoff auf Aluminium bzw. auf kompostierbare Kapseln umgestellt haben. Bei den Besuchen in den Supermärkten sowohl im August 2021 als auch Februar 2022 waren die Sortimente teilweise noch nicht komplett auf das neue Kapselmaterial umgestellt, dies bleibt hier allerdings unberücksichtigt. Die Kapseln werden hier so bewertet, als wäre das gesamte Sortiment bereits auf das neue Material umgestellt worden. Lediglich bei den Kapseln des Herstellers von Bio-6 und Kun-9 finden sich beide Materialien in der Tabelle, da bisher ausschließlich Kunststoff-Kapseln im Lebensmitteleinzelhandel verfügbar waren. Aus diesem Grund beziehen sich die Informationen zu Kapsel Bio-6 ausschließlich auf Informationen der Website.

**Tabelle 1 Übersicht der in Österreich bei mehreren Lokalaugenscheinen (12.08.21, 13.08.21, 05.02.22, 07.02.22) erhältlichen Nespresso-kompatiblen Kaffeekapseln**

| Kurz-name | Kategorie                | Hersteller                                  | Markenname              | Sorten-Anzahl | erhältlich im...  |                  |                   |
|-----------|--------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|------------------|-------------------|
|           |                          |                                             |                         |               | eigenen Web-shop? | Internet-handel? | LEH / Droge-rien? |
| Alu-1     | Aluminium                | Alois Dallmayr Kaffee OHG                   | Capsa                   | 12            | ja                | ja               | ja                |
| Alu-2     | Aluminium                | Coca-Cola HBC Austria GmbH                  | Costa Coffee            | 3             | n/a               | ja               | ja                |
| Alu-3     | Aluminium                | Delica AG                                   | Café Royal              | 18            | ja                | ja               | ja                |
| Alu-4     | Aluminium                | Hofer (Hersteller: NewCoffee GmbH & Co OHG) | Amaroy Alu              | 1             | nein              | nein             | ja                |
| Alu-5     | Aluminium                | illycaffè S.p.A.                            | illy                    | 5             | ja                | ja               | ja                |
| Alu-6     | Aluminium                | Jacobs Douwe Egberts                        | Jacobs                  | 4             | n/a               | ja               | ja                |
| Alu-7     | Aluminium                | Jacobs Douwe Egberts                        | L'Or                    | 32            | ja                | ja               | ja                |
| Alu-8     | Aluminium                | Luigi Lavazza S.p.A.                        | Lavazza Alu Caps        | 3             | n/a               | ja               | ja                |
| Alu-9     | Aluminium                | Nestlé Nespresso S.A.                       | Nespresso               | 31            | ja                | nein             | nein              |
| Alu-10    | Aluminium                | Nestlé Österreich GmbH                      | Starbucks für Nespresso | 8             | n/a               | ja               | ja                |
| Alu-11    | Aluminium                | SPAR Österreichische Waren-handels-AG       | S Budget                | 2             | ja                | nein             | ja                |
| Bio-1     | bio-basierte Materialien | Alois Dallmayr Kaffee OHG                   | Capsa                   | 3             | ja                | ja               | ja                |
| Bio-2     | bio-basierte Materialien | Alvorada                                    | Alvorada                | 4             | n/a               | ja               | ja                |
| Bio-3     | bio-basierte Materialien | Amann Kaffee GmbH                           | Compresso               | 2             | ja                | nein             | ja                |

| Kurz-<br>name | Kategorie                   | Hersteller                                                    | Markenname           | Sorten-<br>Anzahl | erhältlich im...         |                      |                          |
|---------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
|               |                             |                                                               |                      |                   | eigenen<br>Web-<br>shop? | Internet-<br>handel? | LEH /<br>Droge-<br>rien? |
| Bio-4         | bio-basierte<br>Materialien | Billa AG                                                      | Billa Bio            | 3                 | ja                       | nein                 | ja                       |
| Bio-5         | bio-basierte<br>Materialien | Barista vom Berg<br>GmbH Biokaffee<br>Manufaktur              | Barista vom<br>Berg  | 3                 | ja                       | nein                 | ja                       |
| Bio-6         | bio-basierte<br>Materialien | Casa del Caffè<br>Vernano S.p.A.                              | Caffè<br>Vernano     | 6                 | n/a                      | ja                   | nein                     |
| Bio-7         | bio-basierte<br>Materialien | Fabico Coffee<br>GmbH                                         | Fabico               | 15                | ja                       | ja                   | nein                     |
| Bio-8         | bio-basierte<br>Materialien | J. Hornig GmbH                                                | Hornig               | 5                 | ja                       | ja                   | ja                       |
| Bio-9         | bio-basierte<br>Materialien | Julius Meinl Aus-<br>tria GmbH                                | Inpresso<br>Capsules | 7                 | ja                       | ja                   | ja                       |
| Bio-<br>10    | bio-basierte<br>Materialien | Lidl                                                          | Bellarom             | 2                 | n/a                      | nein                 | ja                       |
| Bio-<br>11    | bio-basierte<br>Materialien | Luigi Lavazza<br>S.p.A.                                       | eco Caps             | 5                 | n/a                      | ja                   | ja                       |
| Bio-<br>12    | bio-basierte<br>Materialien | m2 Kaffeemanu-<br>faktur und Ver-<br>triebsges.m.b.H.         | Bieder &<br>Maier    | 2                 | ja                       | ja                   | ja                       |
| Bio-<br>13    | bio-basierte<br>Materialien | Müller Drogerie<br>(Hersteller: Func-<br>tional Food<br>GmbH) | Hoch Ge-<br>nuss     | 4                 | ja                       | nein                 | ja                       |
| Bio-<br>14    | bio-basierte<br>Materialien | Procaffé S.p.A                                                | Bristot              | 5                 | n/a                      | ja                   | ja                       |
| Bio-<br>15    | bio-basierte<br>Materialien | Segafredo Austria<br>Ges.m.b.H.                               | Segafredo            | 4                 | n/a                      | ja                   | ja                       |
| Bio-<br>16    | bio-basierte<br>Materialien | UniCaps GmbH                                                  | My Coffee<br>Cup     | 11                | ja                       | ja                   | ja                       |

| Kurz-name | Kategorie  | Hersteller                                  | Markenname      | Sorten-Anzahl | erhältlich im...  |                  |                   |
|-----------|------------|---------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------|------------------|-------------------|
|           |            |                                             |                 |               | eigenen Web-shop? | Internet-handel? | LEH / Droge-rien? |
| Kun-1     | Kunststoff | Billa AG                                    | Clever          | 4             | ja                | nein             | ja                |
| Kun-2     | Kunststoff | EDUSCHO (Austria) GmbH                      | Eduscho         | 6             | ja                | nein             | nein              |
| Kun-3     | Kunststoff | Hofer (Hersteller: NewCoffee GmbH & Co OHG) | Amaroy          | 5             | nein              | nein             | ja                |
| Kun-4     | Kunststoff | Lidl                                        | Bellarom        | 6             | n/a               | nein             | ja                |
| Kun-5     | Kunststoff | Naber Kaffee Manufaktur GmbH                | Marco Salvatore | 1             | ja                | nein             | ja                |
| Kun-6     | Kunststoff | Naber Kaffee Manufaktur GmbH                | Naber           | 2             | ja                | nein             | ja                |
| Kun-7     | Kunststoff | Procaffé S.p.A                              | Bristot         | 2             | ja                | ja               | nein              |
| Kun-8     | Kunststoff | SPAR Österreichische Warenhandels-AG        | Spar Natur Pur  | 2             | ja                | nein             | ja                |
| Kun-9     | Kunststoff | Casa del Caffè Vergnano S.p.A.              | Caffè Vergnano  | 5             | nein              | nein             | ja                |

### 3 Materialübersicht

Kaffee kapseln werden aus verschiedenen Materialien gefertigt, grundlegend ist allen Verpackungsmaterialien, dass sie den Inhalt, hier gerösteten und gemahlten Kaffee, vor äußeren Einflüssen schützen und die Qualität und Haltbarkeit erhalten bzw. verlängern sollen (Nicoli und Savonitto 2005). Neben diesen produkttechnischen Eigenschaften bringen die unterschiedlichen Kapselvarianten und Farben Vorteile hinsichtlich Marketing und Produktvermarktung.

Nicoli und Savonitto (2005) haben verschiedene Verpackungseigenschaften definiert, welche in Tabelle 2 auf ihr Zutreffen für Kaffeekapseln bzw. den Kapselmaterialien bewertet werden können. Es ist hier jedoch festzuhalten, dass die Antworten je verwendetem Kapselmaterial unterschiedlich ausfallen können und die Beantwortung dieser Fragen zum großen Teil Gegenstand der nachfolgenden Kapitel.

**Tabelle 2 Verpackungseigenschaften und Zutreffen dieser auf Kaffeekapseln (mod. nach Nicoli und Savonitto (2005))**

| <b>Eigenschaft einer Verpackung</b>                             | <b>Trifft dies auf Kaffeekapseln zu?</b> |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Barriere gegen Wasser und Feuchtigkeit                          | JA                                       |
| Barriere gegen atmosphärischen Sauerstoff                       | teilweise                                |
| Schutz des Aromas und Fernhalten externer Aromen                | JA                                       |
| Lichtundurchlässig                                              | JA                                       |
| Dicht gegenüber Fetten                                          | JA                                       |
| Erlaubt CO <sub>2</sub> während des Entgasens zu entweichen     | teilweise                                |
| Chemisch inert                                                  | JA                                       |
| Hygienisch sicher und für den Kontakt mit Lebensmittel geeignet | JA                                       |
| Lange haltbar                                                   | JA                                       |
| Stabil und hält Druckänderungen aus                             | JA                                       |
| Kostengünstig                                                   | teilweise                                |
| Praktisch in der Anwendung                                      | JA                                       |
| Umweltfreundlich                                                | Betrachtung in nachfolgenden Kapiteln    |
| Konsumentenfreundlich                                           | JA                                       |

Allen Kapseln ist gemein, dass sie nicht aus einem einzigen Material gefertigt sind, sondern aus mehreren Materialschichten bestehen. Abbildung 2 zeigt schematisch den Aufbau einer Nespresso Kapsel, welche neben dem bekannten Bestandteil Aluminium noch aus Farben, einer Beschichtung an der Innenseite, einem Filter und Versiegelungsring besteht.

Tabelle 3 beschreibt die am österreichischen Markt erhältlichen Kapseln hinsichtlich ihres Kapselmaterials als auch der gewählten Sekundärverpackung. Die Bewertung ergab sich aus Informationen auf der Verpackung selbst, den Websites der Hersteller oder aufgrund von Anfragen an die jeweiligen Hersteller. Sofern keine detaillierte Information vorlag, wird dies entsprechend markiert. Der Einfachheit halber werden ausschließlich die Hauptmaterialien, wie bei der Nespresso Kapsel Aluminium, behandelt und beschrieben. Lacke oder andere gering vertretene Bestandteile bleiben unberücksichtigt.



**Abbildung 2 Aufbau einer Nespresso Kapsel (Nestlé Nespresso S.A. o.D.c)**

Die Materialzusammensetzung ist bei Kunststoffkapseln, unabhängig davon ob konventionell oder Biokunststoff, diverser, da lediglich zwei der am österreichischen Markt erhältlichen Kunststoffkapseln, wie bei Aluminium, zu einem wesentlichen Bestandteil aus einem Stoff besteht, hier Polypropylen (Kun-1, Kun-2). Diese Kapseln hatten jedoch beide eine Aluminiummembran, waren somit nicht vollständig aus einem Material gefertigt. Im Nachstehenden werden daher die wesentlichsten Materialien im Hinblick auf ihre Eigenschaften sowie Unterscheidungen umrissen, sowie deren Herstellungsprozess beschrieben.

**Tabelle 3 Übersicht der Materialien für Kapseln und Sekundärverpackung in Österreich (Meinl Internet Commerce GmbH o.D; Minges Kaffeerösterei GmbH o.D; Golden Compound GmbH 2022; FABICO Coffee GmbH o.D; Unicaps GmbH o.D; REWE Eigenmarken Team 19.08.2021; Billa Kundenservice 25.08.2021; rezemo GmbH o.D; Caffé Vergnano o.D.)**

| <b>Bezeichnung</b> | <b>Kapselmaterial<br/>(Hauptkomponente)</b>                                                                                     | <b>Material Sekundärverpackung</b> |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Alu-1              | Aluminium                                                                                                                       | Karton                             |
| Alu-2              | Aluminium                                                                                                                       | Karton                             |
| Alu-3              | Aluminium                                                                                                                       | Karton                             |
| Alu-4              | Aluminium                                                                                                                       | Karton                             |
| Alu-5              | Aluminium                                                                                                                       | Karton                             |
| Alu-6              | Aluminium                                                                                                                       | Karton                             |
| Alu-7              | Aluminium                                                                                                                       | Karton                             |
| Alu-8              | Aluminium                                                                                                                       | Karton                             |
| Alu-9              | Aluminium<br>(80 % des Aluminiums in der Kapsel sind recycelt)                                                                  | Karton                             |
| Alu-10             | Aluminium<br>(80 % des Aluminiums in der Kapsel sind recycelt)                                                                  | Karton                             |
| Alu-11             | Aluminium                                                                                                                       | Karton                             |
| Bio-1              | biobased: 50-85 %                                                                                                               | Karton                             |
| Bio-2              | biobased: 100 %                                                                                                                 | Karton                             |
| Bio-3              | biobased: 35 %<br>(Herstellerangabe: Rohstoff-<br>mix aus den Schalen der Sonnenblumenkerne, mineralischem Füllstoff, BioPBSTM) | Karton                             |
| Bio-4              | biobased: 100 %                                                                                                                 | Karton                             |

| <b>Bezeichnung</b> | <b>Kapselmaterial<br/>(Hauptkomponente)</b>                                                                              | <b>Material Sekundärverpackung</b>                                                    |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Bio-5              | biobased: 100 %<br>(Herstellerangabe: Holz [Holzspäne] + PLA [Bindemittel])                                              | Karton                                                                                |
| Bio-6              | k.A.                                                                                                                     | Single-Packed Beutel (Verbund mit Hauptbestandteil LDPE)<br>Tertiärverpackung: Karton |
| Bio-7              | biobased: k.A.<br>größtenteils Maisstärke, Palmblatt, Bagasse                                                            | Karton                                                                                |
| Bio-8              | biobased: 60-80 %                                                                                                        | Karton                                                                                |
| Bio-9              | k.A.                                                                                                                     | Karton                                                                                |
| Bio-10             | biobased: 70 %<br>stärkebasierter Biokunststoff aus Schalen von Sonnenblumenkernen, mineralischem Füllstoff und BioPBSTM | Karton                                                                                |
| Bio-11             | k.A.                                                                                                                     | Karton                                                                                |
| Bio-12             | k.A.                                                                                                                     | Karton                                                                                |
| Bio-13             | k.A.                                                                                                                     | Karton                                                                                |
| Bio-14             | k.A.                                                                                                                     | Karton                                                                                |
| Bio-15             | biobased: 50-85 %<br>Hauptbestandteil PLA                                                                                | Karton                                                                                |
| Bio-16             | biobased: 50-85 %<br>Website: min. 62 % aus nachwachsenden Rohstoffen wie Lignin, natürlicher Stärke, Glukose            | Karton                                                                                |

| <b>Bezeichnung</b> | <b>Kapselmaterial<br/>(Hauptkomponente)</b> | <b>Material Sekundärverpackung</b>                |
|--------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Kun-1              | PP-Kapsel + Alu-Membran                     | Karton                                            |
| Kun-2              | PP-Kapsel + Alu-Membran                     | Karton                                            |
| Kun-3              | Kunststoff + Alu-Membran                    | Karton                                            |
| Kun-4              | Kunststoff + Alu-Membran                    | Karton                                            |
| Kun-5              | Kunststoff + Alu-Membran                    | Karton                                            |
| Kun-6              | Kunststoff + Alu-Membran                    | Karton                                            |
| Kun-7              | k.A.                                        | Karton                                            |
| Kun-8              | k.A.                                        | Karton                                            |
| Kun-9              | k.A.                                        | Single-Packed Beutel<br>Tertiärverpackung: Karton |

### 3.1 Aluminium

Aluminium ist eines der am meistgenutzten Metalle der Welt, ist es doch nach Sauerstoff, Silicium und Eisen das am viert-häufigsten vorkommende Element der Erde (Page et al. 2011; Milovanoff et al. 2021). Aluminiumverpackungen werden in vielen Bereichen aufgrund ihrer Barriereeigenschaften genutzt, da das Produkt vor Licht, Luft und Wasser geschützt wird, bei vergleichbar dünner Materialstärke (Page et al. 2011; Tonelli et al. 2018).

**Tabelle 4 Vor- und Nachteile von Aluminium als Verpackungsmaterial (mod. nach (Nicoli und Savonitto 2005; European Aluminium 2020))**

| Vorteile                                                                                                                                        | Nachteile                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollständige Barriere</li> <li>• Druckbeständig</li> <li>• Recyclingfähig</li> <li>• Leicht</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• teuer</li> <li>• fest, daher kann Platz beim Transport tendenziell nicht optimal genutzt werden</li> <li>• schwer von anderen Abfällen zu trennen</li> <li>• hohe Umweltauswirkungen bei der Produktion von Primäraluminium</li> </ul> |

### 3.1.1 Aluminiumherstellung

Aluminium kommt in der Natur, durch seine Reaktivität, stets in Verbindungen vor, weshalb die Herstellung mit dem Bauxitabbau beginnt (Capuzzi und Timelli 2018). Bauxitvorkommen finden sich am häufigsten in tropischen Regionen, es werden hier jährlich rund 50 km<sup>2</sup> an neuen Standorten gefördert. Aus Umweltschutzgründen wird bei der Erschließung neuer Abbaugelände eine gleich große Fläche renaturiert. Nach dem Abbau kommt es in der Raffinierung zunächst zu einem Verdauungsprozess, bei dem unter Zusatz von Natronlauge Aluminiumhydroxid von Bauxitrückständen getrennt wird. Anschließend wird Aluminium mit einem Elektrolyse-Prozess geschmolzen und mittels elektrischem Strom Wasserstoff gelöst. Im finalen Schritt wird das Aluminium in Schmelzhütten anschließend in die gewünschte Form gebracht. (European Aluminium Association o.D.)

Die Herstellung von Aluminium ist sehr energieintensiv, die Klimaauswirkungen einer Tonne Primäraluminium lagen 2018 im Durchschnitt bei 16,1 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent, wobei dieser Wert nach Milovanoff et al. (2021) zwischen 4,5 bis 33,6 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent liegt. Die Umweltauswirkungen der Primärherstellung werden vor allem deutlich, wenn die gesamte Umweltauswirkung des Aluminiumsektors, von der Mine bis zum Recycling, herangezogen wird. Elektrolyse und Raffination sind hier für 75 % bzw. 15 % der Gesamtemissionen verantwortlich (The International Aluminium Institute 2018).

### 3.1.2 Aluminiumrecycling

Aluminium wird, wie andere Metalle, auf atomarem Level recycelt, was es ermöglicht das Metall unendlich oft zu recyceln. Dies bedeutet, dass zwischen Primär- und Sekundäraluminium kein Unterschied festgestellt werden kann (Page et al. 2011). Es ist somit nicht verwunderlich, dass noch 75 % des seit 1886 abgebauten Aluminiums noch immer im Umlauf sind (European Aluminium Association o.D.).

Es zeigt sich trotz steigender Zahlen der weltweiten Aluminiumproduktion einen Rückgang in der Verwendung von Primäraluminium, derzeit liegt die Verwendung von recyceltem Aluminium bei etwa einem Drittel der verarbeiteten Aluminiummenge (The International Aluminium Institute 2021). Die quantifizierbaren umweltrelevanten Vorteile von Aluminiumrecycling werden in Tabelle 5 dargestellt. Neben den Energieeinsparungen in der Herstellung wird bei der Berücksichtigung der Emissionen auch die Vermeidung von Transporten mitberücksichtigt, da die EU derzeit etwa 30 % des benötigten Primäraluminiums importiert (European Aluminium 2020).

**Tabelle 5 umweltrelevante Einsparungen durch Aluminiumrecycling im Vergleich zur Primärproduktion (mod. nach Bureau of International Recycling (o.D); European Aluminium (2020))**

|                         | <b>Einsparungen bis zu...</b>                                                      |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Energieverbrauch        | 14.000 kWh (entspricht bis 95 %)                                                   |
| Ausgangsmaterial        | 8 Tonnen Bauxit                                                                    |
| Öl                      | 6.300 Liter                                                                        |
| Landfläche              | 7,6 m <sup>3</sup>                                                                 |
| Treibhausgas-Emissionen | 19,5 t CO <sub>2</sub> -Äquivalent pro Tonne produziertem Aluminium (gate-to-gate) |

Recyceltes Aluminium kann aus verschiedenen Quellen stammen, es wird daher in folgende Materialströme geteilt:

- Pre-Consumer Material
- Post-Consumer Material

Pre-Consumer Material entspricht Materialien, die aus der Industrie selbst anfallen, etwa übrig gebliebene Stanzreste. Post-Consumer Material stammt hingegen aus den Recyclingkreisläufen etwa der Verpackungsindustrie (The International Aluminium Institute 2021).

Herausforderungen beim Recycling von Aluminium sind vor allem im Bereich des Post-Consumer Materials gegeben. Durch die Sammlung verschiedener Aluminiumprodukte in unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen ist das Level an Verunreinigungen für die Herstellung eines Produkts aus Post-Consumer Material schwierig. Um trotz dieser Herausforderung das gewünschte Material zu erhalten, werden derzeit hauptsächlich Materialien einer geringeren Reinheit aus Post-Consumer Material hergestellt, oder dem recycelten Material Primäraluminium beigemischt (Capuzzi und Timelli 2018). Um die Verwendung von recyceltem Aluminium zu erhöhen und die Nutzung für gleichwertige Produkte zu ermöglichen, sollen laut European Aluminium neben der Erhöhung der Sammelquoten auch die Einschmelzverluste verringert, Sortieranlagen adaptiert und geschlossene Systeme zur sortenreinen Erfassung und Verwertung von Wertstoffen geschaffen werden (European Aluminium 2020).

### **3.2 Kunststoffe**

Die heute vorwiegenden Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen wurden erst nach Ende des zweiten Weltkriegs vorherrschend, bis in die 1930er Jahre wurden ausschließlich Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt (Umweltbundesamt Deutschland 2009). Diese aus fossilen Ressourcen erzeugten Kunststoffe werden seit den 1950er Jahren in großen Mengen eingesetzt, da sie günstig, leicht, gut formbar sind und eine lange Lebensdauer haben (Hopewell et al. 2009; Geyer et al. 2017; Kirwan et al. 2011). Kunststoffe, die für den direkten Kontakt mit Lebensmitteln und damit für Lebensmittelverpackungen verwendet werden dürfen, werden gemäß Verordnung (EU) Nr. 10/2011 als *„Polymer, dem möglicherweise Zusatzstoffe oder andere Stoffe zugesetzt wurden und das als Hauptstrukturbestandteil von fertigen Materialien und Gegenständen dienen kann“* verstanden (Verordnung (EU) Nr. 10/2011 der Kommission vom 14. Januar 2011 über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen vom 2020). In Europa, herangezogen wurden die EU28, Norwegen und die Schweiz, wurden 2019 knapp 40 %

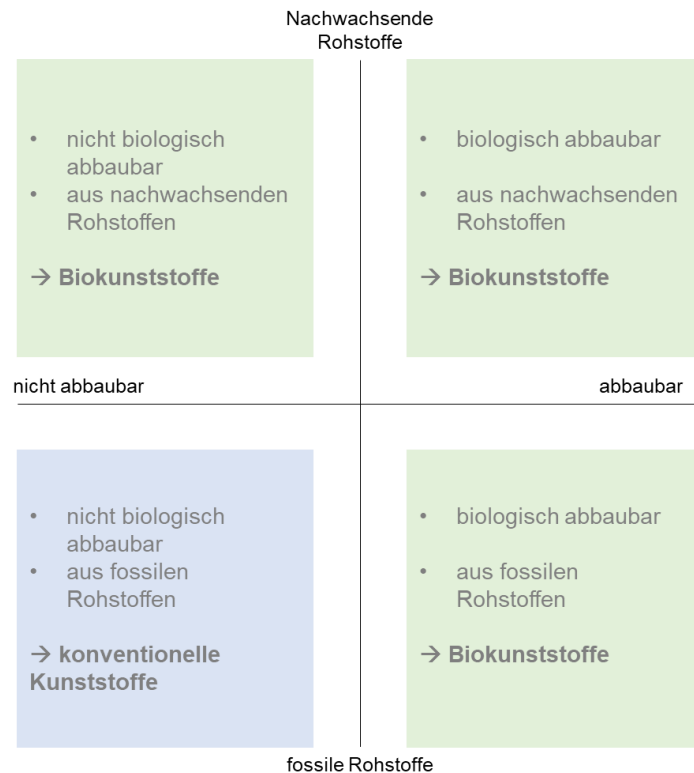
des industriellen Kunststoffbedarfs für Verpackungsmaterialien verwendet (Plastics-Europe 2020).

### 3.2.1 Arten von Kunststoff

Kunststoffe werden hinsichtlich ihrer chemischen Eigenschaften, aber auch nach ihrem Verhalten am Ende des Lebenszyklus unterschieden. Wie in Abbildung 3 dargestellt, lassen sich Kunststoffe zunächst nach ihrem Materialursprung unterscheiden. Vergleicht man diese Einteilung nun mit den in Österreich erhältlichen Kapseln (vgl. Tabelle 1) ergibt sich nachfolgendes Bild der in Österreich erhältlichen Kunststoff-Kaffeekapseln von 20 Herstellern.

- Nicht kompostierbare Kapseln von 8 unterschiedlichen Hersteller
  - davon aus nachwachsenden Rohstoffen: 0 Hersteller
  - davon aus fossilen Rohstoffen: 8 Hersteller
- Kompostierbare Kapseln von 16 unterschiedlichen Herstellern
  - davon ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt: 3 Hersteller
  - davon ausschließlich aus fossilen Rohstoffen hergestellt: 0 Hersteller
  - davon aus einem Mix aus nachwachsenden und fossilen Rohstoffen hergestellt: 13 Hersteller

Manche Hersteller hatten sowohl nicht kompostierbare, als auch kompostierbare Kapseln im Angebot, daher sind in Summe mehr Hersteller als 20 genannt. Fand sich keine Angabe auf der Verpackung, der Website des Herstellers oder nach Anfrage bei eben-diesem, wird davon ausgegangen, dass die kompostierbare Kapsel aus einem Mix aus nachwachsenden und fossilen Rohstoffen hergestellt wird. Aufgrund dieser Aufstellung wird sich die Bewertung nachfolgend auf fossile, nicht kompostierbare Kapseln sowie kompostierbare Kapseln ohne Unterscheidung des Ausgangsmaterials beschränken.



**Abbildung 3 Unterscheidung von Kunststoffen nach Materialherkunft und Abbaubarkeit (mod. nach European Bioplastics (2021))**

### 3.2.2 Konventionelle Kunststoffe

Konventionelle Kunststoffe werden aus fossilen Rohstoffen, Erdöl oder Erdgas, hergestellt und stellen heute die Mehrheit der produzierten Kunststoffe dar (PlasticsEurope 2020).

In der Verpackungsindustrie werden Kunststoffe wegen einer Reihe von Vorteilen verwendet, die bereits zu Beginn dieses Kapitels (vgl. Kapitel 3.2) kurz beschrieben wurden und in Tabelle 6 noch weiter erläutert werden.

**Tabelle 6 Vor- und Nachteile von Kunststoffverbunden als Verpackungsmaterial (mod. nach Nicoli und Savonitto (2005); Robertson (2016))**

| Vorteile                                                                                                                                                             | Nachteile                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• kostengünstig</li> <li>• einfach in der Herstellung</li> <li>• zufriedenstellende CO<sub>2</sub>-Durchlässigkeit</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entsorgung oft ausschließlich über Restmüll</li> <li>• Teilweise durchlässig gegenüber äußeren Einflüssen</li> </ul> |

### *3.2.2.1 Kunststoffherstellung*

Für die Herstellung von Kunststoffprodukten, werden aus dem Rohmaterial, sogenannten Harzen, Pellets geformt und diese an den Hersteller geliefert. In einem Extruder werden diese durch hohen Druck, Hitze und Reibung in eine flüssige Phase übergeführt oder geschmolzen und können so für die Herstellung verschiedener Produkte verwendet werden (Kirwan et al. 2011).

### *3.2.2.2 verwendete Materialien und Beschichtungen zur Herstellung von Kaffeekapseln*

Nachfolgend wird der am öftesten genannte Kunststoff Polypropylen sowie relevante Beschichtungen beschrieben. Vor allem die Daten hinsichtlich der Beschichtung ergeben sich aus Studien zur Dichte und Materialeigenschaften von Kunststoffen.

#### *3.2.2.2.1 Polypropylen*

Polypropylen ist einer der am häufigsten verwendeten Kunststoffe und im Vergleich zu Polyethylen härter und dichter, mit relativ geringen Kosten (Kirwan et al. 2011; Stoifl et al. 2017). PP wird in vielen Bereichen als Lebensmittelverpackung eingesetzt, sowohl als flexible Folie, aber auch in festen Gebinden (Kirwan et al. 2011). Für Kaffeekapseln eignet es sich besonders, da es einen hohen Schmelzpunkt (160°C) aufweist und daher für den Einsatz in Kaffeemaschinen bei hohen Wassertemperaturen geeignet ist (Kirwan et al. 2011).

PP ist gegenüber chemischen Substanzen weitgehend inert, verfügt über eine Barriere gegen Wasserdampf und ist bei Raumtemperatur gegenüber Fetten, Ölen und organischen Lösungsmitteln resistent (Stoifl et al. 2017; Kirwan et al. 2011). Aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe können in PP lösen und so zu Verformung und Anschwellen der Verpackung führen (Kirwan et al. 2011).

#### *3.2.2.2.2 Beschichtungen*

Kunststoffe weisen keine ausreichenden Barriereigenschaften auf und sind zu unterschiedlichen Teilen durchlässig gegenüber Gas-, Wasser-, organischen Dampf und anderen Molekülen (Robertson 2016). Eine verbesserte Barrierefunktion wird mit

Beschichtungen aus PVdC oder EVOH erzielt. Beide verbessern die Barriereigenschaften gegenüber Gasen und Wasserdampf (Kirwan et al. 2011). Tabelle 7 beschreibt die Eigenschaften dieser beiden Materialien.

**Tabelle 7 Kunststoffbarrieren und ihre Materialeigenschaften (mod. nach Kirwan et al. (2011))**

| <b>Kunststoff</b> | <b>Materialeigenschaften</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EVOH              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exzellenter Schutz gegen Öl, Fett, organische Lösungsmittel und Sauerstoff</li> <li>• Schützt vor Absorption und Permeation von Aromen und Geruchsstoffen</li> <li>• als Folie in Wasser löslich → wird daher oft zwischen Schichten anderer Kunststoffe gesetzt, etwa PP/EVOH/PP</li> </ul> |
| PVdC              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heiß versiegelbar</li> <li>• Exzellenter Schutz gegen Wasserdampf, Gase, fette und ölige Produkte</li> <li>• Verwendung um sensible Lebensmittel vor Aromaverlust und Eindringen flüchtiger Kontaminanten zu schützen</li> </ul>                                                             |

Werden die Eigenschaften von PP, EVOH und PVdC mit jenen von Aluminium verglichen, so zeigt sich, wie in Tabelle 8 dargestellt, dass die Materialien einzeln wesentlich schlechtere Barriereigenschaften aufweisen. Um ähnliche Effekte hinsichtlich Dichte gegenüber Sauerstoff und Wasserdampf wie Aluminium zu erzielen ist die Kombination von PP mit einem der Barrierematerialien notwendig. Aus diesem Grund werden häufig Verbunde aus Kunststoffen eingesetzt, um die gewünschten Eigenschaften der Verpackung zu erzielen.

**Tabelle 8 Vergleich Barriereigenschaften Kunststoff zu Aluminium (mod. nach Kirwan et al. (2011))**

| <b>Folienstärke<br/>25 µm</b> | <b>Wasserdampftransmission<br/>(in g/m<sup>2</sup>/24 h bei 90 % RH)</b> | <b>Sauerstofftransmissionsrate<br/>(in cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h)</b> |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| PP                            | 10-12                                                                    | 3500-4500                                                                     |
| EVOH                          | 1000                                                                     | 0,5                                                                           |
| PVdC                          | 0,5-1,0                                                                  | 2-4                                                                           |
| Aluminium                     | 0                                                                        | 0                                                                             |

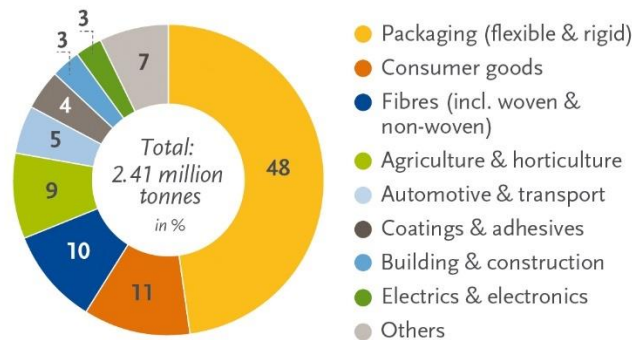
### **3.2.3 Biokunststoffe**

Biokunststoffe sind in den letzten Jahren verstärkt in allen Bereichen zum Einsatz gekommen, von Tragetaschen, Campinggeschirr bis hin zu Verpackungsmaterialien für Lebensmittel. Die Definition „Biokunststoff“ sorgt dabei oft für Verwirrung, da für Konsumenten nicht klar ist, was das genau bedeutet, und durch die Nutzung von Mischungen unterschiedlicher Kunststoffe noch komplexer gestaltet wird (Olivia van der Reijden 2020; Stoifl et al. 2017).

Unter Biokunststoffen werden Kunststoffe zusammengefasst, die entweder biologisch abbaubar sind und/oder zumindest zum Teil aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen wurden (Burgstaller et al. 2018; European Bioplastics 2020). In Österreich war bei den Lokalausgaben im August 2021 und Februar 2022 keine Nespresso-kompatible Kapsel als solche erkennbar, die zwar aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt, aber nicht kompostierbar ist. Nicht kompostierbare Bio-Kunststoffe finden häufiger in anderen Bereichen ihre Anwendung, bei denen eine Kompostierbarkeit nicht erwünscht ist, beispielsweise sind Blumentöpfe oder Zahnbürsten aus Biokunststoffen erhältlich. Dies wird auch durch Abbildung 4 sowie Abbildung 5 verdeutlicht. So werden nur 48 % der weltweiten Produktionsmenge an Biokunststoffen für Verpackungen verwendet, bei biologisch abbaubaren Kunststoffen sind es 50 % (European Bioplastics 2021). Ergänzt man diesen Wert noch um den Anteil der landwirtschaftlichen Nutzung, hierzu zählen etwa Bodenfolien, die am Feld verbleiben und dort abgebaut werden, werden knapp zwei Drittel der weltweiten Produktion von biologisch abbaubaren Kunststoffen für Produkte verwendet, die am Ende ihres Kreislaufs weggeworfen

werden und damit die Entsorgung eine große Rolle spielt oder in der Natur verbleiben und dort keine nachteiligen Eigenschaften herbeiführen sollen.

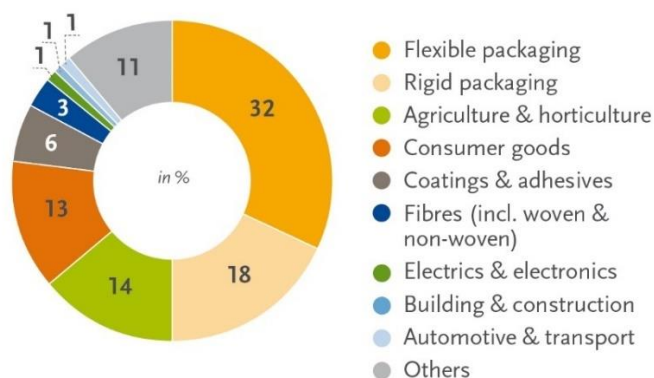
### *Global production capacities of bioplastics in 2021 (by market segment)*



Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021). More information:  
[www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market) and [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets)

**Abbildung 4 weltweite Produktion von Biokunststoffen 2021 (European Bioplastics 2021)**

### *Biodegradable plastics (by market segment) 2021*

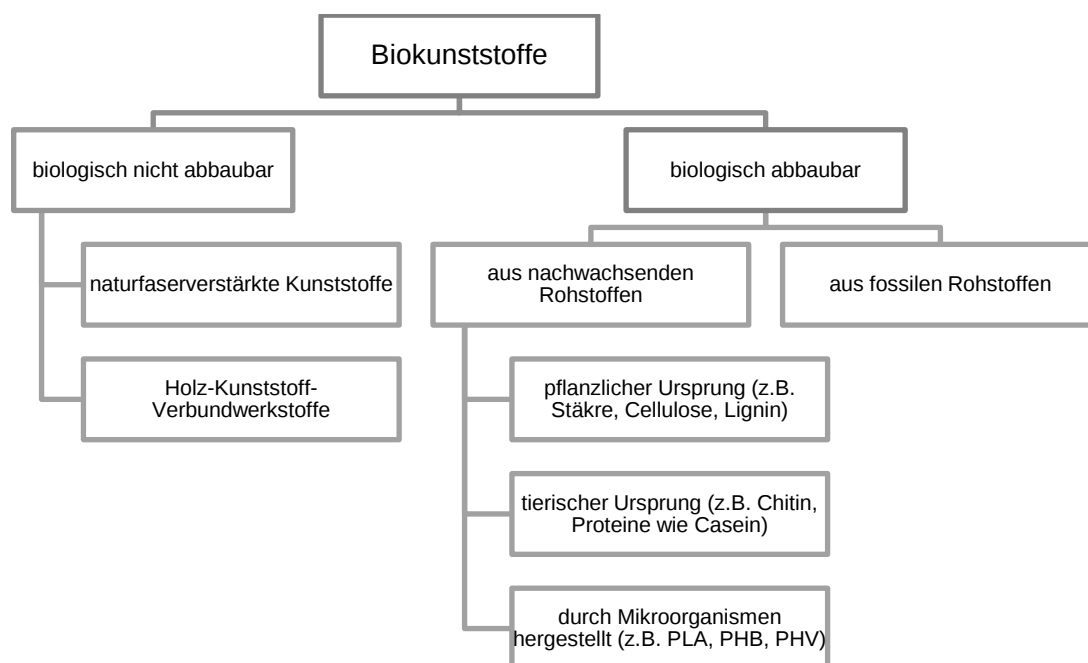


Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021). More information:  
[www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market) and [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets)

**Abbildung 5 weltweite Produktion von biologisch abbaubaren Kunststoffen, getrennt in Verwendungszwecke 2021 (European Bioplastics 2021)**

Diese Daten und Betrachtungen bedeuten jedoch nicht, dass kompostierbare Kapseln ausschließlich aus biobasierten, abbaubaren Kunststoffen bestehen. Es gibt auch konventionelle Kunststoffe, die die Anforderungen an die Abbaubarkeit erfüllen (Olivia van

der Reijden 2020). In Abbildung 6 werden Biokunststoffe gemäß ihrer potenziellen Herkunft inkl. Angabe von Beispielen für diese Kunststoffarten abgebildet, getrennt in biologische Abbaubarkeit. Kompostierbare Kaffee kapseln werden aus konventionellen als auch biobasierten Kunststoffen hergestellt. Dies ist größtenteils anhand der Kennzeichnung ersichtlich, ebenso wurden Anfragen an alle Hersteller hinsichtlich der verwendeten Materialien gestellt. Von den gestellten Anfragen an 18 Hersteller wurden lediglich 4 weiterführend beantwortet. Zu den anderen Anfragen kam entweder keine Rückmeldung oder lediglich in dem Ausmaß, wie bereits durch die Recherche auf der jeweiligen Hersteller-Homepage oder der Verpackung ersichtlich war.



**Abbildung 6 Systematik der Kunststoffe nach Umweltbundesamt Deutschland (2009)**

Nach Anfragen bei den in Tabelle 1 erwähnten Herstellern, wurden die Biokunststoffe Lignin, Bagasse und PLA am häufigsten genannt und daher nachfolgend kurz beschrieben. Kunststoffe tierischen Ursprungs wurden nicht genannt. Diese Antwort spiegelt sich ebenso in den Marktanteilen biologisch abbaubarer Kunststoffe wider, bei denen Stärke-Blends, PLA und PBAT den größten Anteil an biologisch abbaubaren Kunststoffen ausmachen (Burgstaller et al. 2018). Von den 16 kompostierbaren Kapseln, bestehen lediglich die Kapseln von drei Herstellern zu 100 % aus nachwachsenden Rohstoffen. Petrochemische Kunststoffe werden allgemein vor allem als Hilfs- und Zusatzstoffe zugegeben, um relevante Materialeigenschaften zu erhalten (Umweltbundesamt Deutschland 2009).

### 3.2.3.1 Bagasse

Bagasse ist ein Nebenprodukt der Zuckergewinnung aus Zuckerrohr und beschreibt die festen Rückstände nach der Pressung und Zerkleinerung des Zuckerrohrs. Bagasse besteht aus Cellulose, Pentosanen und Lignin und wird vorwiegend als Brennstoff in der Zuckerindustrie, direkt vor Ort, verwendet (RÖMPP-Redaktion 2002).

### 3.2.3.2 Lignin

Lignin ist ein Nebenprodukt aus der Papierindustrie bzw. Zellstoffgewinnung und zu 30-40 % ein Bestandteil des Holzes (Lehner 2019; Peter und Kamm 2017). Lignin ist Teil der Zellwände in den Zellen mehrjähriger Pflanzen, wie etwa Bäume, Sträucher, Bambus, Ratten, Gräser oder Getreide. Damit sorgt es für Stabilität und ist für die Verholzung der Zelle verantwortlich (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten o.D.).

Der Stoff wird vielseitig verwendet, neben der Produktion von Biokunststoff etwa auch als Füllstoff für Böden oder Straßenbeläge, Bindemittel bei Tierfutterpellets oder Zusatzstoff in Zement (Peter und Kamm 2017).

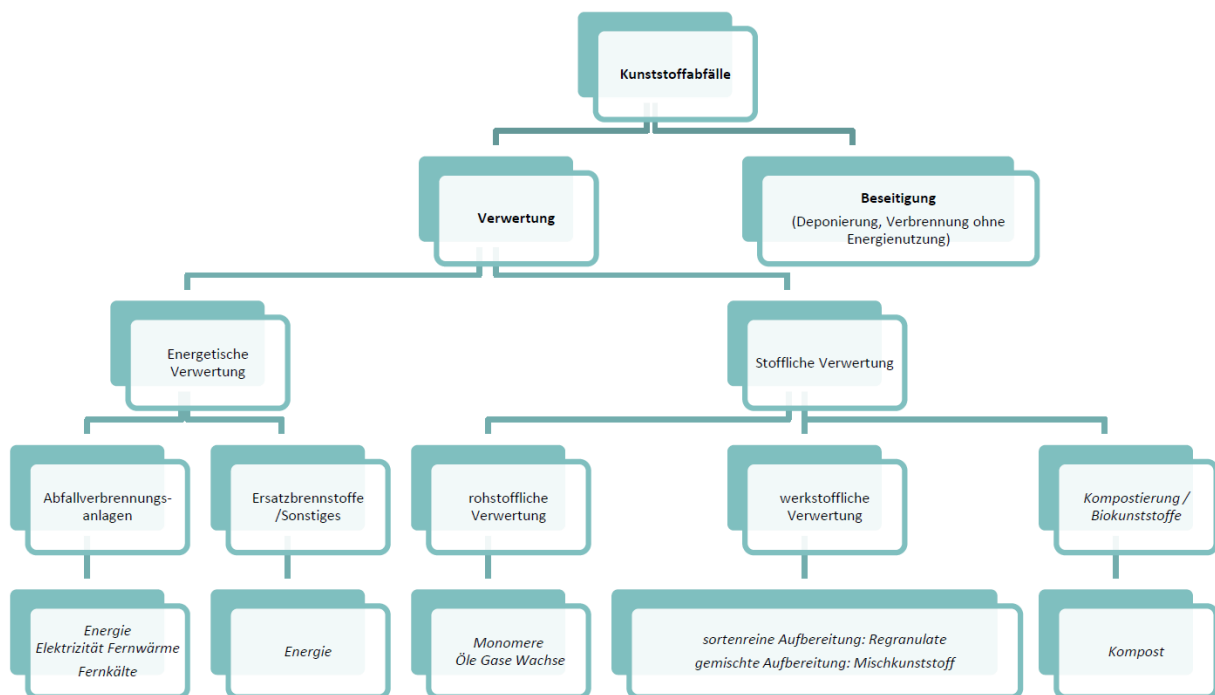
### 3.2.3.3 Polylactid – Polymilchsäure

PLA wird vorwiegend unter Nutzung von Maisstärke aus Milchsäure polymerisiert. Es weist gute Verarbeitungsmöglichkeiten auf, sowie eine hohe Festigkeit, weshalb es neben der Verpackungsindustrie etwa auch im medizinischen Bereich eingesetzt wird (Stoifl et al. 2017; Umweltbundesamt Deutschland 2009).

## 3.2.4 Kunststoffrecycling

Recycling von Kunststoffen ist in Europa divers, ebenso in Österreich gibt es derzeit keine einheitliche Sammlung von Kunststoffen (PlasticsEurope 2020; Neubauer et al. 2021; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a). Die Behandlungsverfahren werden in Abbildung 7 dargestellt, wobei zu beachten ist, dass die thermische Verwertung (in der Abbildung als „energetische Verwertung“ titulierte) derzeit am häufigsten für Kunststoffe angewandt wird

(Stoifl et al. 2017; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a).



**Abbildung 7 Behandlungsarten von Kunststoffabfällen (Stoifl et al. 2017)**

Deponierung ist in Österreich gem. der Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien für alle Abfälle mit einem TOC-Gehalt von > 5 % ohne vorherige Behandlung verboten. Dies trifft somit auch Kunststoffabfälle.

#### 3.2.4.1 Recycling nicht abbaubarer Kunststoffe

Kaffee kapseln zählen nicht als Verpackung, sind daher nicht vom Sammelsystem für Kunststoffverpackungen erfasst. Sie sind in Österreich im Restmüll zu entsorgen und werden dort der thermischen Verwertung zugeführt. Eine Studie von van Eygen et al. (2018) hat die österreichische Recyclinglandschaft hinsichtlich Plastikverpackungen untersucht. Hier zeigt sich deutlich, dass thermische Verwertung für rund 70 % der Kunststoffverpackungen, kommend aus der Industrie oder den post-consumer Abfällen, angewandt wird. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass auch Kunststoffkapseln bei einer Sammlung im öffentlichen System nicht regranuliert, sondern der thermischen Verwertung zugeführt würden.

Die stoffliche Verwertung stellt generell eine Herausforderung dar, da der Anstieg an unterschiedlichen Kunststoffen in den letzten Jahren diese wesentlich komplizierter gestaltet (Stoifl et al. 2017).

#### *3.2.4.2 Biologisch abbaubare und kompostierbare Kunststoffe*

Zunächst bedarf es einer Begriffsdefinition, da biologisch abbaubar und kompostierbar zwei unterschiedliche Verhalten hinsichtlich Abbaubarkeit eines Produktes beschreiben (Burgstaller et al. 2018).

##### ***Biologisch Abbaubar***

Die biologische Abbaubarkeit kann sowohl unter aeroben als auch unter anaeroben Bedingungen stattfinden (Burgstaller et al. 2018):

- Aerobe Bedingungen: Abbau durch Mikroorganismen in CO<sub>2</sub>, Wasser, mineralische Salze und Biomasse
- Anaerobe Bedingungen: Abbau durch Mikroorganismen in CO<sub>2</sub>, Methan, mineralische Salze und Biomasse

##### ***Kompostierbar***

Der Begriff „kompostierbar“ wird vorwiegend für die Zertifizierung eines Stoffes gemäß bestimmten Normen definiert. Weltweit existieren verschiedene Normen zur Feststellung, ob ein Kunststoff kompostierbar ist, diese Arbeit beschränkt sich jedoch auf die Anforderungen gem. EN 13432 und EN 14995. Diese besagen, dass ein Kunststoff in Bedingungen einer industriellen Kompostierung ( $58 \pm 2^\circ\text{C}$  in max. 6 Monaten) zu mind. 90 % abgebaut werden muss (Burgstaller et al. 2018; Jördening und Weiland 2011). Diese und weitere Normen werden in Tabelle 9 kurz dargestellt.

Erst nach bestandenen Prüfungen darf sich ein Produkt entsprechend zertifizieren lassen und mit der Kompostierbarkeit gem. den entsprechenden Normen werben (Jördening und Weiland 2011). Die wichtigsten Logos, die zur Kennzeichnung verwendet werden können, werden in Tabelle 10 erläutert.

Eine Abbaubarkeit unter anaeroben Bedingungen, etwa zur Verwertung in einer Biogasanlage, wird derzeit nicht gefordert (Burgstaller et al. 2018). PLA etwa wird unter anaeroben Bedingungen erst ab einer Temperatur von  $> 50^{\circ}\text{C}$  abgebaut, andere Polyester werden anaerob nicht abgebaut (Burgstaller et al. 2018). Die kann im Hinblick eines anaeroben Abbaus von Biomüll dazu führen, dass dieser nicht ordnungsgemäß vergären kann.

Neben der industriellen Kompostierbarkeit existiert auch die Möglichkeit einen Kunststoff als heim-kompostierbar zu zertifizieren. Es existieren derzeit keine internationalen Standards für die Heim-Kompostierung. Die derzeit für diese Zertifizierung verwendeten australischen bzw. französischen Standards sind in Tabelle 9 beschrieben.

**Tabelle 9** Relevante Normen im Hinblick auf Biokunststoffe und Kompostierbarkeit (mod. nach (European Bioplastics 2016; Burgstaller et al. 2018))

| Standard / Norm | Inhalt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EN 16640        | <p><i>Biobasierte Produkte - Gehalt an biobasiertem Kohlenstoff - Bestimmung des Gehalts an biobasiertem Kohlenstoff mittels Radiokarbonmethode</i></p> <p>Diese Norm beschreibt die Methode zur Feststellung des Gehalts an biobasiertem Material unter Verwendung des Kohlenstoff-Isotops C14. Je nach Gehalt an biobasiertem Material wird ein entsprechendes Zertifikat ausgestellt.</p> |
| EN 16785-1      | <p><i>Biobasierte Produkte - Biobasierter Gehalt - Teil 1: Bestimmung des biobasierten Gehalts unter Verwendung der Radiokarbon- und Elementaranalyse</i></p> <p>Diese Norm wurde ergänzend erstellt, um die Analyse anderer bio-basierter Elemente zu standardisieren.</p>                                                                                                                  |
| EN 16785-2      | <p><i>Biobasierte Produkte - Biobasierter Gehalt - Teil 2: Bestimmung des biobasierten Gehalts unter Verwendung der Materialbilanzmethode</i></p> <p>Diese Norm beschreibt die Methode zur Feststellung des biobasierten Gehalts anhand einer Materialbilanz.</p>                                                                                                                            |

| Standard / Norm | Inhalt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EN 13432        | <p><i>Verpackung - Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau - Prüfschema und Bewertungskriterien für die Einstufung von Verpackungen</i></p> <p>Sie besagt, dass eine Desintegration des Materials von mehr als 90 % innerhalb von 12 Wochen erfolgen muss, ebenso wie ein Abbau von 90 % in max. sechs Monaten. Sie beinhaltet Tests hinsichtlich Ökotoxizität und Schwermetallgehalt.</p> <p>Die Norm ist für die Verwertung in industrielle Kompostieranlagen sowie bei anaerobem Abbau anwendbar.</p> |
| EN 14995        | <p><i>Kunststoffe - Bewertung der Kompostierbarkeit - Prüfschema und Spezifikationen</i></p> <p>Sie beschreibt dieselben Anforderungen wie die Norm EN 13432, ist allerdings für jegliche Kunststoffe und nicht nur für Verpackungen gültig.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ISO 18606       | <p><i>Packaging and the environment - Organic recycling</i></p> <p>Sie beschreibt dieselben Anforderungen wie die Norm EN 13432, ist allerdings für jegliche Kunststoffe und nicht nur für Verpackungen gültig.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| ISO 17088       | <p><i>Plastics. Organic recycling. Specifications for compostable plastics</i></p> <p>Sie beschreibt dieselben Anforderungen wie die Norm EN 13432, ist allerdings für jegliche Kunststoffe und nicht nur für Verpackungen gültig.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| AS 5810         | <p><i>Biodegradable plastics - Biodegradable plastics suitable for home composting</i></p> <p>Diese Norm wird in Australien angewandt und beschreibt die Anforderungen hinsichtlich Heimkompostierbarkeit eines Materials.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

| Standard / Norm | Inhalt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NFT T 51-800    | <p><i>Plastics - Specifications for plastics suitable for home composting</i></p> <p>TÜV Austria (ehemals das belgische Institut Vincotte) hat eine Zertifizierung für Heimkompostierbarkeit entwickelt, bei der 90 % Desintegration innerhalb von 12 Monaten unter Umgebungsbedingungen erreicht werden muss. Anhand dieses Prüfschemas wurde dieser französische Standard entwickelt, der dieselben Anforderungen enthält.</p> |
| prEN 17427      | <p><i>Verpackung - Anforderungen an und Prüfmethoden für heimkompostierbare Tragetaschen</i></p> <p>Bei dieser im Entwurf befindlichen Norm handelt es sich um eine Ableitung der Prüfverfahren für die Heimkompostierbarkeit von Biokunststoffen für Tragetaschen. Eine Anwendbarkeit für Verpackungen ist daher nicht gegeben.</p>                                                                                             |

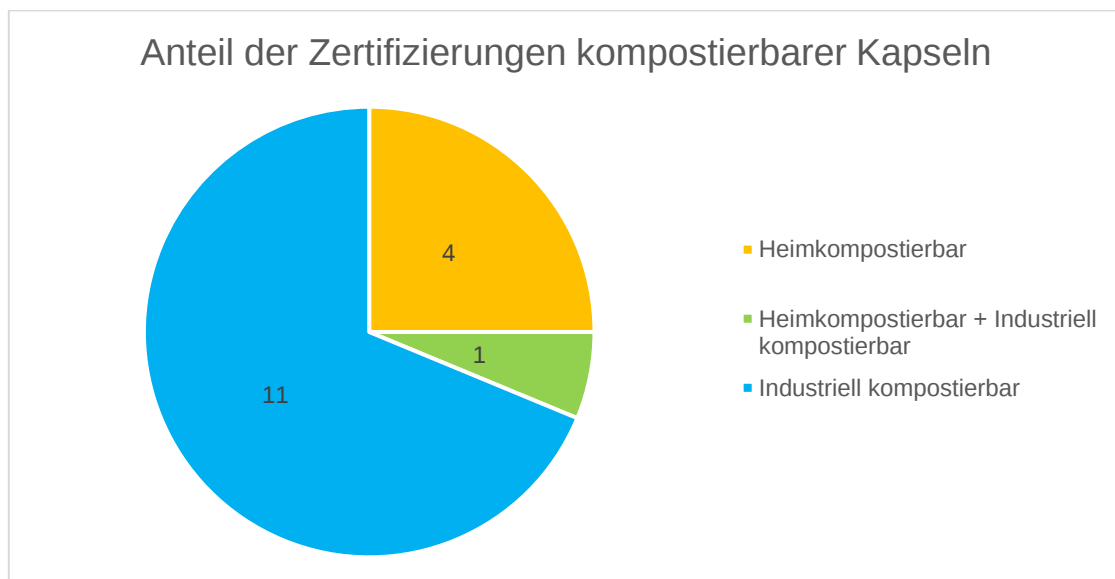
Neben den genannten Normen existieren noch eigene für die biologische Abbaubarkeit im Boden oder in mariner Umgebung. Da diese Entsorgungswege für Kaffeekapseln keine Rolle spielen, werden sie hier auch nicht näher beschrieben.

#### 3.2.4.2.1 Siegel zur biologischen Abbaubarkeit

Bei Erlangen einer Zertifizierung externer Prüfinstitute können Unternehmen zur Kennzeichnung ihrer Produkte Label auf der Verpackung anbringen, die den Konsumenten in einfacher Weise zeigen, welche Prüfungen das Produkt erreicht hat. Es ist hier jedoch im Sinne der Grundsätze des Lebensmittelrechts darauf zu achten, dass der Konsument nicht durch die Aufmachung getäuscht wird und etwa der Anschein erweckt wird, ein Produkt, das für industrielle Kompostierung geeignet ist, sei auch für Heimkompostierung geeignet ohne entsprechende Prüfung. Ebenso empfiehlt der Kommunikations-Guide von European Bioplastics den Konsumenten eine klare Empfehlung zur Entsorgung ihres Produkts zu liefern (European Bioplastics 2017).

Nicht alle Hersteller kompostierbarer Kapseln verwenden auch die potenziell möglichen Logos. Tabelle 10 gibt einen Überblick der gängigsten Logos der in Tabelle 9 genannten Normen für kompostierbare Kapseln und wie viele der in der Marktanalyse

betrachteten Kapseln dieses auch verwendeten. Im Gegenzug dazu zeigt Abbildung 8 die Zertifizierungen der betrachteten Kapseln. Bei Kapsel Bio-14 wurde das Logo für industrielle Kompostierung nicht korrekt angegeben, dies wird trotzdem gewertet, als wäre es korrekt angebracht worden. Der Hersteller von Kapsel Bio-5 gibt zwar an, dass die Kapsel im Heimkompost entsorgt werden kann, führt allerdings keine TÜV-Zertifizierung am Produkt oder seiner Homepage an. Die Kapsel wurde trotzdem als „heimkompostierbar“ gewertet.



**Abbildung 8 Verteilung der Zertifizierungen zur Kompostierung der betrachteten biologisch abbaubaren KaffEEKapseln**

**Tabelle 10 Übersicht der Logos und ihrer Verwendung auf den in Österreich erhältlichen Kaffeekapseln (mod. nach (European Bioplastics 2016; TÜV Austria Belgium NV/SA o.D; DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH o.D.))**

| Logo                                                                                                                                                                       | Bedeutung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Nutzung gem. Lokalaugenschein |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|                                                                                           | <p><b>Seedling</b></p> <p>Das Seedling-Logo bestätigt eine Einhaltung der Standards EN 13432 bzw. EN 14995 und bestätigt damit die industrielle Kompostierung unter den geforderten Bedingungen.</p> <p>Das Logo ist eine Trademark der European Bioplastics.</p>                                                                                                                      | 5                             |
| <br>   | <p><b>OK compost INDUSTRIAL / DIN-Geprüft industriell kompostierbar</b></p> <p>Produkte, die gemäß EN 13432 industriell kompostierbar sind, und von der vergebenden Zertifizierungsstelle geprüft wurden, dürfen das Logo tragen.</p>                                                                                                                                                  | 7                             |
|                                                                                         | <p><b>OK compost HOME</b></p> <p>Diese Zertifizierung bezieht sich auf keine bestimmte Norm, sondern war Grundlage für etwa die französische Norm NF T 51800 und die derzeit im Entwurf erhältliche prEN 17427.</p>                                                                                                                                                                    | 4                             |
| <br> | <p><b>OK biobased</b></p> <p>Dieses Logo dürfen Produkte tragen, deren Kohlenstoffgehalt mit der C14-Methode ermittelt wurde. Je nach Gehalt werden anschließend bei der TÜV-Bewertung 1-4 Sterne vergeben bzw. bei DIN Bereiche (20-50 %, 50-85 %, &gt; 85 %) an der linken Oberseite des Logos angeführt. Mindestanforderung ist dabei ein Gesamtkohlenstoffgehalt von min. 30 %</p> | 6                             |

| Logo              | Bedeutung                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Nutzung gem. Lokalaugenschein |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|                   | <p>sowie ein Kohlenstoffgehalt an nachwachsenden Rohstoffen von min. 20 %.</p> <p>Die Bestimmung des biobasierten Kohlenstoffanteils erfolgt gem. ISO 16620, ASTM 6866 und/oder CEN/TS 16137. Alternativ kann der organische Anteil auf Basis des Glühverlusts ermittelt werden, gem. DIN 18128 oder EN 13039.</p> |                               |
| <b>biobased %</b> | Anhand der EN 16785-1 wird der biobasierte Anteil gemessen. Es erfolgt eine Elementaranalyse von Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff.                                                                                                                                                              | <b>0</b>                      |

## 4 Einfluss auf Umweltparameter

### 4.1 Entsorgung und Recycling von Kaffeekapseln

#### 4.1.1 Abfallhierarchie

Die EU-Abfallrahmenrichtlinie (RL2008/98/EG) beschreibt die Abfallhierarchie, nach der Abfallwirtschaft betrieben werden soll. An oberster Stelle steht stets die Abfallvermeidung, die darunter folgenden Stufen sind jeweils dann in Erwägung zu ziehen, sollte die darüber liegende Stufe nicht möglich sein.

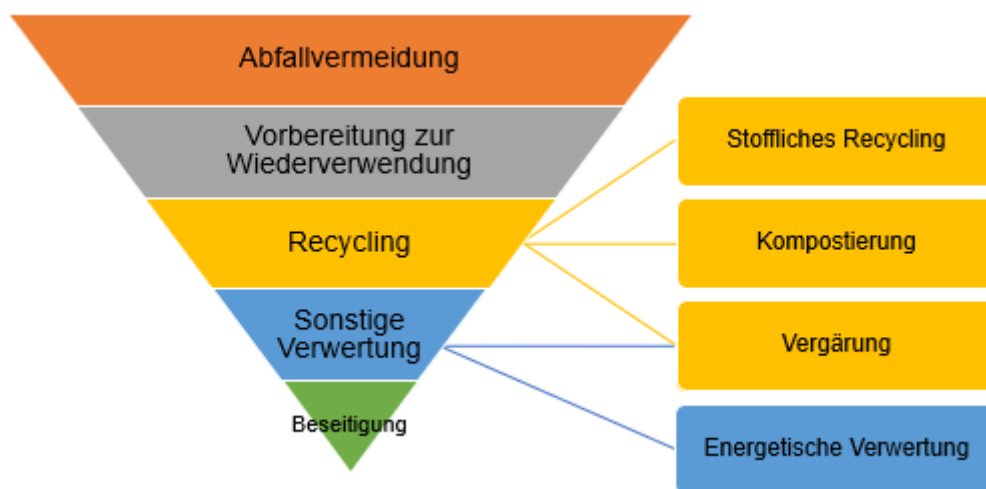


Abbildung 9 Abfallhierarchie (mod. nach Burgstaller et al. (2018))

Zur Stufe der Abfallvermeidung kann etwa durch die Adaptierung des Produktdesigns und damit einhergehende Materialeinsparungen beigetragen werden (Burgstaller et al. 2018). Wiederverwendung ist bei Kaffeekapseln im Sinne dieser Arbeit ausgeschlossen; der Vollständigkeit halber sei jedoch erwähnt, dass wiederbefüllbare Kapseln am Markt erhältlich sind.

Die Entsorgung von Kaffeekapseln fällt aufgrund ihrer Beschaffenheit und den potenziellen Entsorgungsmöglichkeiten in die Stufen Recycling bzw. sonstige Verwertung. Welche Möglichkeiten gegeben sind, hängt zum einen von der Abfallstruktur in Österreich, den Trennverfahren, aber auch dem Verhalten der Konsumenten ab.

#### **4.1.2 Verpackungsverordnung**

Die Verpackungsverordnung 2014 (Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten) regelt in Österreich, wie in Verkehr gesetzte Verpackungen und Verpackungsabfälle, herzustellen bzw. in Verkehr zu bringen sind, sowie relevante Kennzeichnungsvorschriften und Hinweise hinsichtlich Recyclingquoten.

In dieser wird ebenso festgehalten, welche Produkte als Verpackung und welche als Nicht-Verpackung gelten. Inverkehrbringer von Haushaltsverpackungen müssen an einem Sammel- und Verwertungssystem für Haushaltsverpackungen teilnehmen. Diese Systeme entsprechen der Sammlung über öffentliche Container zur Müllsammlung und Trennung.

Kaffeekapseln sind nicht Teil des Sammel- und Verwertungssystems, da sie zu den Nicht-Verpackungen zählen. Anhang 2 der Verpackungsverordnung listet Beispiele für Verpackungen gem. § 3 Z 1 der Verordnung auf. *„Getränkessystemkapseln, Kaffee-Folienbeutel und Kaffeepads aus Filterpapier, die zusammen mit dem verwendeten Kaffeeprodukt entsorgt werden“* zählen demnach gem. Verpackungsverordnung nicht als Verpackungen (Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten).

#### **4.1.3 Überblick österreichische Abfallwirtschaft**

Das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie gibt regelmäßig Statusberichte über die Abfallsituation in Österreich heraus. Der letzte Bericht betrachtet das Referenzjahr 2019, etwaige Effekte durch die COVID-19 Pandemie sind daher in den nachfolgenden Zahlen unberücksichtigt, sollten für die Betrachtung und Annahmen für Kaffeekapseln allerdings ebenso unerheblich sein.

Das Abfallaufkommen lag im Jahr 2019 bei ca. 71,26 Mio. Tonnen, wobei der größte Teil auf Aushubmaterialien, wie etwa vom Brenner Basistunnel, zurückzuführen ist

(Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a). Siedlungsabfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen (Restmüll) hatten ein moderates Wachstum von 8 % im Vergleich zu 2015, Verpackungsabfälle stiegen im selben Zeitraum um ca. 10 % (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a).

Die Zusammensetzung des Restmülls, wie diese Fraktion landläufig genannt wird, ist dabei stark von den bestehenden Sammelsystemen, der sozioökonomischen Struktur der Bevölkerung oder der Lage der Haushalte abhängig (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a). Eine 2018/2019 durchgeführte Analyse des Restmülls in der Steiermark hat ergeben, dass sich 1,6 % Metall-Nichtverpackungen sowie 3,9 % Kunststoff-Nichtverpackungen im Restmüll finden (Technisches Büro für Umweltschutz Ges.m.b.H. 2019). Eine weitere Detailanalyse dieser Fraktionen im Hinblick auf Recyclingfähigkeit dieser Abfälle, aus der eventuell eine Ableitung der Masse-Prozent für KaffEEKapseln möglich wäre, wurden nicht durchgeführt.

Abbildung 10 zeigt die grafische Darstellung der Verwertung und Beseitigung von Abfällen im Jahr 2019 ohne Aushubmaterialien. 39 % der gesammelten Siedlungsabfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen entsprachen gemischtem Siedlungsabfall und Sperrmüll, die restlichen 61 % sind auf die getrennte Sammlung zurückzuführen.

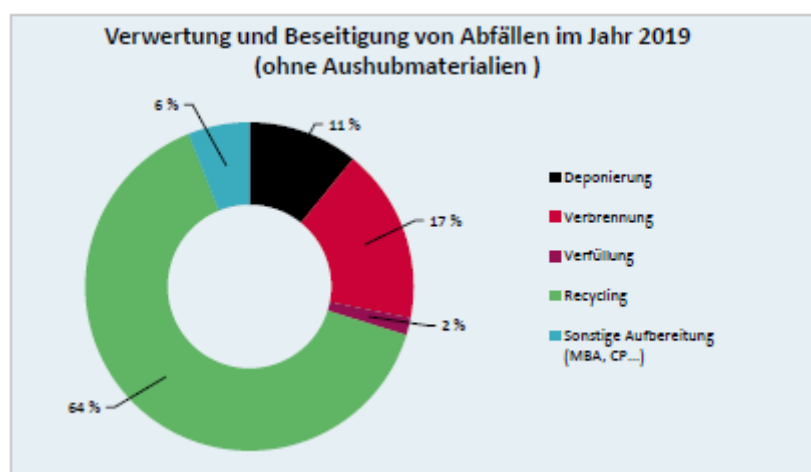
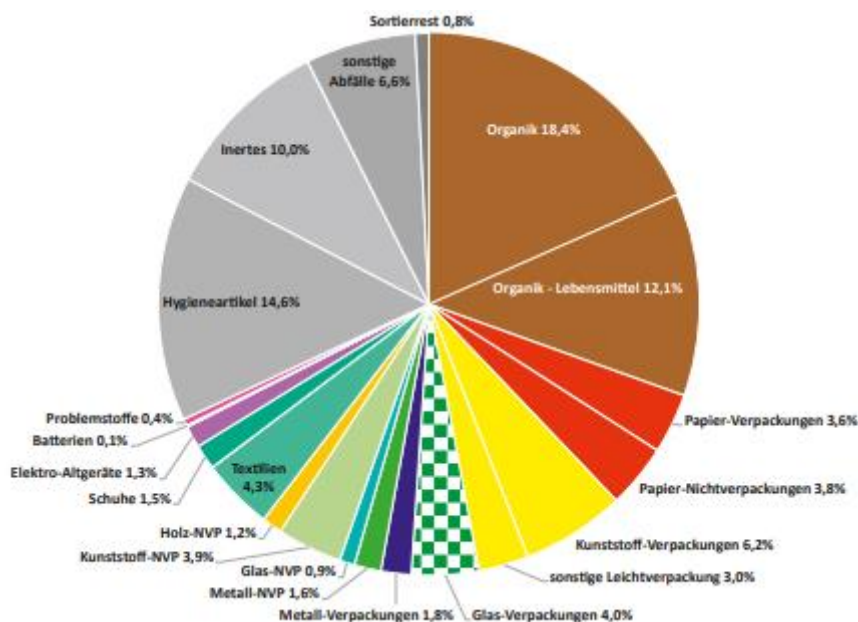


Abbildung 10 Anteile an Verwertung und Beseitigung von Abfällen in Österreich im Jahr 2019 (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a)

KaffEEKapseln werden nachfolgend der Fraktion des Siedlungsabfalls zugeordnet, da dies der rechtlich konforme Entsorgungsweg, sofern keine anderen Sammlungsverfahren existieren (vgl. Kapitel 4.1.4).



**Abbildung 11 Restmüllanalyse Steiermark - Zusammensetzung in Massen-% (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2019; Technisches Büro für Umweltschutz Ges.m.b.H. 2019)**

Sowohl der Landes-Abfallwirtschaftsplan Steiermark als auch eine von Nespresso Österreich durchgeführte Studie zeigen, dass die Trennmoral in der Stadt geringer ist als etwa am Land (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2019; Nespresso Österreich GmbH & Co OHG 2019). Die Frage der Trennmoral kann daher auch für die weitere Betrachtung im Hinblick auf das verwendete Material und die potenzielle getrennte Sammlung von KaffEEKapseln relevant sein.

#### *4.1.3.1 Behandlung von Siedlungsabfällen in Österreich*

2019 verfügte Österreich über elf Anlagen zur thermischen Behandlung von Restmüll, wobei sieben mittels Rostfeuerung und die restlichen mittels Wirbelschichtfeuerung arbeiteten. Es sei hier erwähnt, dass die Anlagen mit Rostfeuerung vor allem für den gemischten Siedlungsabfall verwendet werden, Wirbelschichtfeuerung wird vorwiegend bei der Aufbereitung von Rückständen der mechanischen Abfallaufbereitung bzw. von Klärschlamm eingesetzt (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a).

Bei der Verbrennung von Siedlungsmüll entsteht Sekundärabfall, der anschließend deponiert wird. Dieser Sekundärabfall bietet jedoch die Möglichkeit Aluminium zurückzugewinnen und wird von als eine der Zukunftsmaßnahmen für eine gesteigerte Kreislaufwirtschaft gesehen (European Aluminium 2020).

#### *4.1.3.2 Behandlung von Aluminium- und Kunststoffabfällen in Österreich*

Bei beiden Abfallfraktionen ist hier nochmals festzuhalten, dass Kaffeekapseln keine Verpackungen im Sinne der Verpackungsverordnung darstellen und daher nicht in der getrennten Sammlung zu entsorgen sind (vgl. Kapitel 4.1.2). Der Vollständigkeit halber werden die Sammlung und Behandlung, vor allem aufgrund gewisser Ausnahmen von dieser Regel, etwa in Wien oder Graz (vgl. Kapitel 4.1.4.1), trotzdem kurz behandelt.

##### *4.1.3.2.1 Aluminiumabfälle*

Aluminiumabfälle werden im Zuge der Behandlung von Metallverpackungen sortiert und abgeschieden. Je nach Bundesland bzw. Abfallverband ist die Sammlung anders geregelt, es existieren von reinen Metallsammlungen bis hin zu Mixed-Sammlungen mit Kunststoffemballagen verschiedene Methoden in Österreich (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a).

Aluminium wird von eisenhaltigen Metallen durch Wirbelstromabscheider oder Hand-sortierung getrennt und anschließend rezykliert (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a).

##### *4.1.3.2.2 Kunststoffabfälle*

Kunststoffverpackungen werden je nach Region bzw. Abfallverband in unterschiedlichem Ausmaß gesammelt. In einigen Regionen, etwa Wien, werden ausschließlich PET-Flaschen und Hohlkörper aus Kunststoff, aber keine Verpackungsfolien gesammelt (Stadt Wien o.D.b).

Die gesammelten Kunststoffarten werden sortiert und von Störstoffen befreit. Die verwertbaren Kunststoffe werden nach einigen Verarbeitungsschritten zu Granulat und somit als Rohstoff wieder eingesetzt. Eine genaue Sortierung ist aufgrund der unterschiedlichen Schmelztemperaturen für eine stoffliche Verwertung wesentlich. Ist diese

nicht möglich, kann das Granulat für „geringwertigere“ Kunststoffprodukte, beispielsweise Platten oder Rinnen, verwendet werden oder als Ersatzbrennstoff dienen (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a).

#### *4.1.3.3 Behandlung von biogenem Abfall in Österreich*

Kompostierbare Kapseln sind je nach Materialzusammensetzung und Prüfung für eine industrielle und/oder eine Heimkompostierung geeignet. Details zu diesen Begriffsdefinitionen sowie den zugrundeliegenden Normen siehe Kapitel 3.2.4.2.

Anschluss an eine Biotonne bzw. Verfügbarkeit von Eigenkompostanlagen sowie die Trennmoral sind ebenfalls zu berücksichtigen und werden nachfolgend anhand der österreichischen Gegebenheiten beleuchtet.

##### *4.1.3.3.1 Sammlung und Entsorgung über die Biotonne*

Unter Berücksichtigung der bereits zitierten Studien hinsichtlich Trennmoral, dem steiermärkischen Landes-Abfallwirtschaftsplan als auch der von Nespresso Österreich durchgeführten Studie, wird Bio-Müll bei etwa 2/3 der Haushalte getrennt bzw. ist der Anteil biogener Abfälle vor allem im städtischen Bereich im Restmüll, in Graz liegt dieser bei 38 %, höher im Vergleich zu ländlichen Regionen (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2019; Nespresso Österreich GmbH & Co OHG 2019). Eine Erhöhung der Sammelraten dieser Fraktion soll jedoch durch Ausweitung der Infrastruktur im städtischen Bereich ermöglicht werden (Magistratsabteilung 48-Abfallwirtschaft Straßenreinigung und Fuhrpark 2018; Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2019).

Bei Kompostierungsanlagen handelt es sich um eine kontrolliert durchgeführte aerobe Kompostierung. Kompost, das Rotteprodukt dieser Anlagen, wird je nach Qualität gem. Kompost-Verordnung landwirtschaftlich verwendet, an die Bevölkerung abgegeben bzw. verkauft, für die Düngung der Grünanlagen oder anderweitig genutzt. Österreich verfügte 2019 über 405 Anlagen, wobei unterschiedliche Qualitäten der Komposte erzeugt wurden (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a). Eine Anfrage beim Kompost & Biogas Verband Österreich im September 2021 hat zudem ergeben, dass zwar die Mehrheit der

KaffEEKapseln in die Rotte gelangen kann, es aber unterschiedliche Anlagen in Österreich gibt, bei denen es vorkommen kann, dass die Kapseln bereits vor der Rotte aussortiert werden und daher nicht in den Kompostierungsprozess gelangen (Kompost & Biogas Verband Österreich 2021a).

Neben der Kompostierung werden biogene Abfälle auch in Biogasanlagen eingebracht, hier wird aus dem Biogas Energie gewonnen und damit Strom und Wärme erzeugt. Rückstände werden kompostiert oder in der Landwirtschaft eingesetzt. Zu beachten ist jedoch, dass ligninreiche Materialien für die Vergärung nicht geeignet sind, da dieses nicht anaerob abgebaut werden kann (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a). Es ist daher fraglich, ob KaffEEKapseln, die aus ligninhaltigem Biokunststoff hergestellt werden, für Biogasanlagen geeignet sind.

Beide Verfahren haben gemein, dass Störstoffe, die im Zuge der Vorsortierung oder am Ende der Behandlung abgetrennt werden, einer thermischen Verwertung zugeführt werden (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a).

#### 4.1.3.3.2 Sammlung und Entsorgung über den Heimkompost

Für die Kompostierung in Hausgärten gibt es lediglich Schätzungen und keine fundierten Zahlen, weshalb diese Abfallart nicht ins Gesamtabfallaufkommen gerechnet wird (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021a).

Die Behandlung erfolgt hier beim Endkonsumenten zuhause oder in Gemeinschaftskompostanlagen, etwa beim Zusammenschluss mehrerer Einfamilienhäuser. Der anfallende Kompost wird dabei auf den eigenen Gartenflächen wieder ausgebracht.

### 4.1.4 Sammlung und Verwertung von KaffEEKapseln im öffentlichen System

#### 4.1.4.1 Verpackungssammlung

Aufgrund der Gesetzeslage sind KaffEEKapseln aus Aluminium oder Kunststoff über den Restmüll zu entsorgen. Ausnahme bilden hier einige Regionen in Österreich, die

Aluminiumkapseln in der Metallsammlung akzeptieren (Nespresso Österreich GmbH & Co OHG 2021; Stadt Wien o.D.a; Stadt Graz o.D.). Marianne Neumüller-Klapper, Head of Sustainability bei Nespresso Österreich GmbH & Co OHG, bestätigte im Zuge eines Interviews, dass für die Erlaubnis in der Öffentlichen Sammlung Verträge mit den jeweiligen Abfallverbänden geschlossen werden, die die Sammlung akzeptieren und ermöglichen. Ebenso wurde jeweils vorab Studien durchgeführt, die ein Recycling der Kapseln in den relevanten Sortier- und Verwertungsanlagen sicherstellen (Interview mit Marianne Neumüller-Klapper am 01.02.2022).

#### *4.1.4.2 Entsorgung in der Biotonne*

Die Entsorgung kompostierbarer Kunststoffe in Österreich ist dezentral organisiert und nicht einheitlich geregelt. Während etwa in Wien jegliche Art von kompostierbaren Kunststoffen im Restmüll zu entsorgen sind, findet sich in Graz im Abfall-ABC lediglich ein Eintrag zu Einkaufssäcken aus biologisch abbaubaren Materialien, welche über die Leichtverpackungssammlung entsorgt werden können (Stadt Graz o.D; Stadt Wien o.D.a). Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen fehlen im Grazer ABC etwa völlig.

Kapseln aus kompostierbarem Kunststoff könnten zwar bei entsprechendem Nachweis über die Biotonne entsorgt werden, praktisch ist dies meist nicht erlaubt. Ebenso spricht sich der Kompost & Biogas Verband in seinem Positionspapier deutlich gegen eine Entsorgung von biologisch abbaubaren Kunststoffen über die Biotonne aus sowie deren Bewerbung als „kompostierbar“ oder „biologisch abbaubar“ (Kompost & Biogas Verband Österreich 2021b). Auf Beantwortung meiner Anfrage im September 2021 wurde zudem darauf hingewiesen, dass sich aufgrund von Beobachtungen in den Kompostanlagen die Kapseln nicht vollständig abbauen. Eine Vermutung war, dass das Material wenig Fläche für die Mikroorganismenaktivität liefert bei gleichzeitig hoher Dichte (Kompost & Biogas Verband Österreich 2021a). Ein Test der BOKU Wien zur Kompostierbarkeit von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen hat ergeben, dass die geprüften Vorsammelhilfen innerhalb des Versuchszeitraums den Anforderungen der EN 13432 entsprachen (Zafiu et al. 2019). Es ist allerdings zu erwähnen, dass es sich bei diesem Versuch um eine Rottezeit von 84 Tagen handelte, was sowohl österreich- als auch EU-weit nicht dem Standard entspricht. Ebenso haben Vorsammelhilfen eine

wesentlich geringere Materialdicke im Vergleich zu Kaffeekapseln, weshalb dieser Versuch ebenfalls nur begrenzt umgelegt werden kann. Der Trend, wie in einem Gutachten im Auftrag des deutschen Bundesumweltamtes von 2018 festgestellt wurde, geht hin zu kürzeren Rottezeiten von etwa 3 Wochen (Burgstaller et al. 2018). Auch ein Versuch im Rahmen einer Masterarbeit an der BOKU Wien kam zu dem Ergebnis, dass bei den sechs untersuchten Kapseln aus PLA zwar ein Abbau ersichtlich war, allerdings das Kompostausgangsmaterial stärker abgebaut wurde, während bei den Kapseln nur oberflächliche Materialauflösung ersichtlich war (Rameder 2018).

In der Schweiz stehen Verwerter den kompostierbaren Kunststoffen ebenso kritisch gegenüber, da sie nicht vollständig abgebaut werden und so zu Problemen in der weiteren Verarbeitung führen können, wobei sich diese vor allem in der mangelnden Akzeptanz niederschlagen (van der Reijden 2020). In Biogasanlagen können sie zu Verstopfungen führen, vor allem bei Akkumulation (van der Reijden 2020).

Auch etwa in Deutschland ist eine Entsorgung über die Biotonne nicht möglich bzw. werden biologisch abbaubare Kunststoffe als Störstoffe gesehen, die über den Restmüll zu entsorgen sind (Umweltbundesamt Deutschland 2009). Ebenso wurde bei einem Gutachten des deutschen Umweltbundesamtes keine Empfehlung zur Aufnahme von Lebensmittelverpackungen in die Bio-Abfallverordnung gegeben, da der ökologische Vorteil nicht ersichtlich ist (Burgstaller et al. 2018).

Eine Verwertung der gesammelten Kapseln über Biogasanlagen anstelle einer Kompostierung ist zudem ebenso fraglich, da die Zertifizierung der Kompostierbarkeit auf aerobe Bedingungen abzielt, es daher nicht sicher gegeben ist, dass die am Markt erhältlichen Kaffeekapseln überhaupt anaerob abgebaut werden können (Kompost & Biogas Verband Österreich 2021a). Cazaudehore et al. (2021) untersuchten die anaerobe Abbaubarkeit von unterschiedlichen als industriell kompostierbar zertifizierten Kaffeekapseln gem. EN 13432. Unter mesophilen Bedingungen (38°C) erreichten die Kapseln innerhalb von 100 Tagen keinen vollständigen Abbau, bei 58°C war die Abbaubarkeit etwa drei-Mal höher (Cazaudehore et al. 2021).

#### **4.1.5 Sammlung und Verwertung von KaffEEKapseln in privaten Kompostanlagen (Heimkompost)**

Rechtliche Rahmenbedingungen zur Heimkompostierung gibt es, da es sich hier um private Kompostanlagen am Grund des Konsumenten handelt, keine. Heimkompostierung unterliegt, verglichen mit industriellen Kompostierungsanlagen, schwankenden und unsicheren Bedingungen, weshalb der Abbau auch länger dauert (European Bioplastics 2017; Scharf und Carus 2019). Durch den Abbau der Kapseln in Wasser, CO<sub>2</sub> und Biomasse entstehen im Kompost keine Mikropartikel, andererseits sei hier auch erwähnt, dass der Beitrag der Kapsel zum Kompost neutral ist, somit keine positiven, aber auch keine negativen Veränderungen der Kompostqualität mit sich bringt (Jördening und Weiland 2011; Zafiu et al. 2019; Scharf und Carus 2019; Okamoto et al. 2019). Der Kaffeesatz liefert hingegen wertvollen Input für den Kompost in Form von Kalium, Stickstoff oder Phosphor (Scharf und Carus 2019).

#### **4.1.6 Eigene Sammel- und Verwertungssysteme**

Aufgrund der in Kapitel 4.1.1 beschriebenen Situation rund um die Verpackungsverordnung und der damit nicht möglichen Nutzung des öffentlichen Entsorgungs- und Verwertungssystems haben einige Kapselhersteller eigene Sammel- und Verwertungssysteme etabliert, welche nachfolgend vorgestellt werden. Die Sammlung und Verwertung bezieht sich hier stets, mit Ausnahme von Kapitel 4.1.6.4, auf Österreich, da die Entsorgungs- und Verwertungswege je Land unterschiedlich sein können.

##### *4.1.6.1 Nespresso*

Nespresso hat 1999 in Österreich ein eigenes Recyclingsystem für gebrauchte Kapseln etabliert. Bei diesem System werden die Kapseln von der ARA (Altstoff Recycling Austria) gesammelt und anschließend zum Aufbereitungsunternehmen Höpferger GmbH & Co. KG in Tirol gebracht. Nach Trennung von Aluminium und Kaffeesud wird letzterer zur Energiegewinnung vergoren. Das Aluminium wird wieder in den Aluminiumkreislauf eingebracht. (Nespresso Österreich GmbH & Co OHG 2021)

Laut Angabe auf der Unternehmens-Website stehen den Konsumenten in Österreich die Nespresso Boutiquen sowie über 2.000 Sammelstellen zur Verfügung. Zudem

wurden mit verschiedenen Regionen, darunter die Landeshauptstädte Wien, Graz, Innsbruck und Linz, Vereinbarungen getroffen, die den Bürgern ebenso eine Sammlung über die öffentliche Metallverpackungssammlung ermöglichen (Nespresso Österreich GmbH & Co OHG 2021).

Gemäß dem Creating Shared Values Report 2014-2020 werden weltweit bereits mehr als 32 % der Kapseln von Konsumenten dem Recyclingkreislauf zugeführt (Nestlé Nespresso S.A. Juni 2021). Österreich liegt mit ca. 33 % auf dem weltweiten Niveau (Interview mit Marianne Neumüller-Klapper am 01.02.2022).

#### *4.1.6.2 JDE – L'Or und Jacobs*

Kapseln können in einer Recyclingbox, welche bei 250 DPD-Pickup-Paketshops abgeholt werden kann, gesammelt werden und anschließend bei rund 1.200 Pickup-Paketshops abgegeben werden. In einem österreichischen Unternehmen werden Kaffee und Kapsel voneinander getrennt, der Aluminiumanteil wird wiederverwertet, der Kaffeesatz zu Biogas vergoren (Jacobs Douwe Egberts o.D.).

#### *4.1.6.3 Eduscho*

Das von Eduscho etablierte Programm ist gemäß Anfrage vom 22.11.2021 nicht für die mit dem Nespresso System kompatiblen Kapseln geeignet, sondern ausschließlich für die anderen Kapseln der Marken Qbo und Cafissimo.

Bei diesem System werden die Kapseln, ebenso wie beim System von Nespresso, beim Aufbereitungsunternehmen Höpperger GmbH & Co. KG getrennt. Der Kunststoff wird anschließend zu PP-Granulat zerkleinert und für die Herstellung neuer Produkte verwendet, der Kaffeesud wird zu Biogas vergoren und damit für die Energieerzeugung genutzt (Eduscho (Austria) GmbH 2017).

#### *4.1.6.4 Sammlung und Verwertung außerhalb Österreichs*

2019 hat Nespresso in einem Statement veröffentlicht sein System für andere Kapselhersteller öffnen zu wollen. Bisher wurden in Frankreich, der Schweiz und Großbritannien unternehmensübergreifende Systeme etabliert (Nestlé Nespresso S.A. o.D.a; Po-dback Ltd. o.D.).

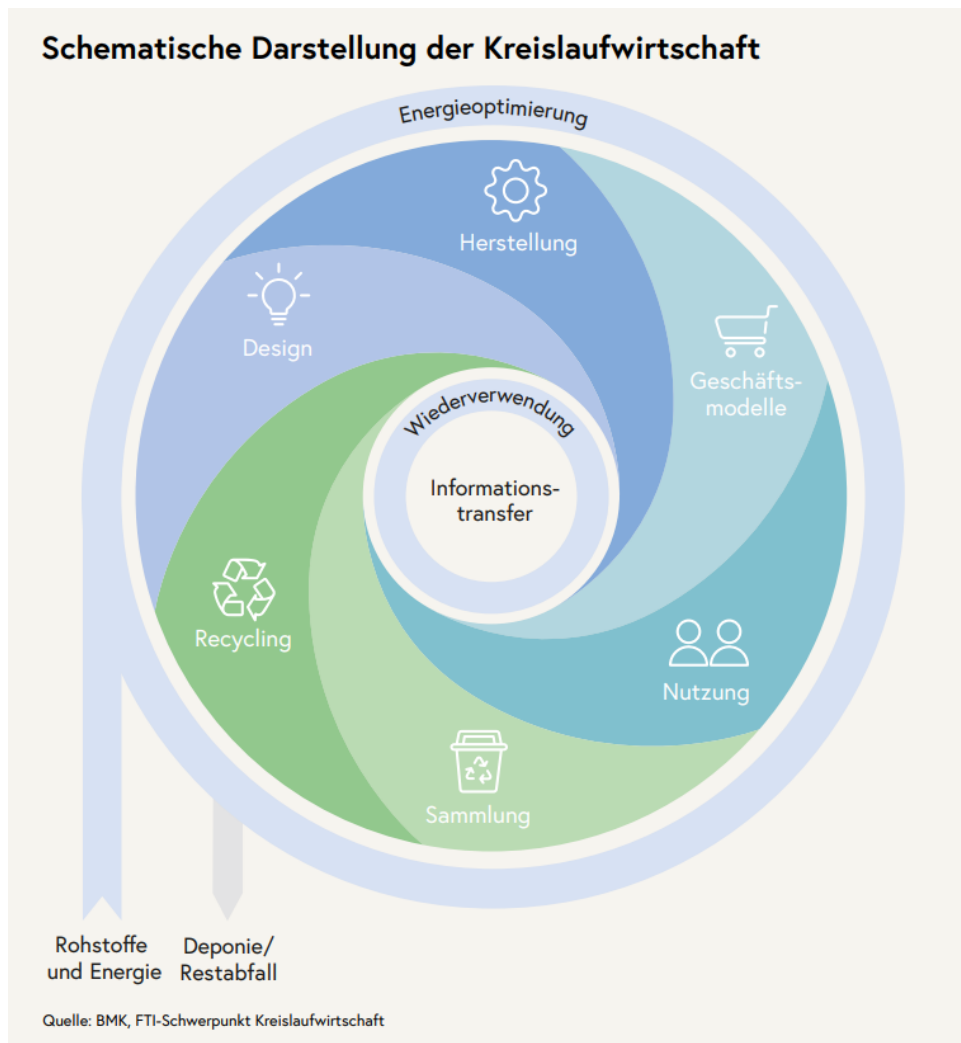
Jenes in Frankreich wurde gemeinsam mit der Konzernmutter Nestlé und dem Hersteller JDE, der auch in Österreich Kapseln unter den Marken Jacobs und L'Or vertreibt, als System zur Sammlung gebrauchter Aluminiumkapseln eingeführt (international Comunicaffe 2019). In der Schweiz kooperieren Nespresso und Migros und ermöglichen so die Sammlung von Nespresso und Café Royal-Kapseln aus Aluminium (Migros-Genossenschafts-Bund 2020). 2020 wurde in Großbritannien das Unternehmen Podback von Nestlé, Nespresso und JDE gegründet. Dies ist das erste System, bei dem Kapseln sowohl aus Aluminium, als auch Kunststoffkapseln, die nicht mit dem Nespresso System kompatibel sind, mitgesammelt werden (Podback Ltd. o.D.).



**Abbildung 12 Schweiz: Recyclingwand in einem Migros für gebrauchte Aluminium-Kapseln (Migros-Genossenschafts-Bund 2020)**

## 4.2 Kreislaufwirtschaft

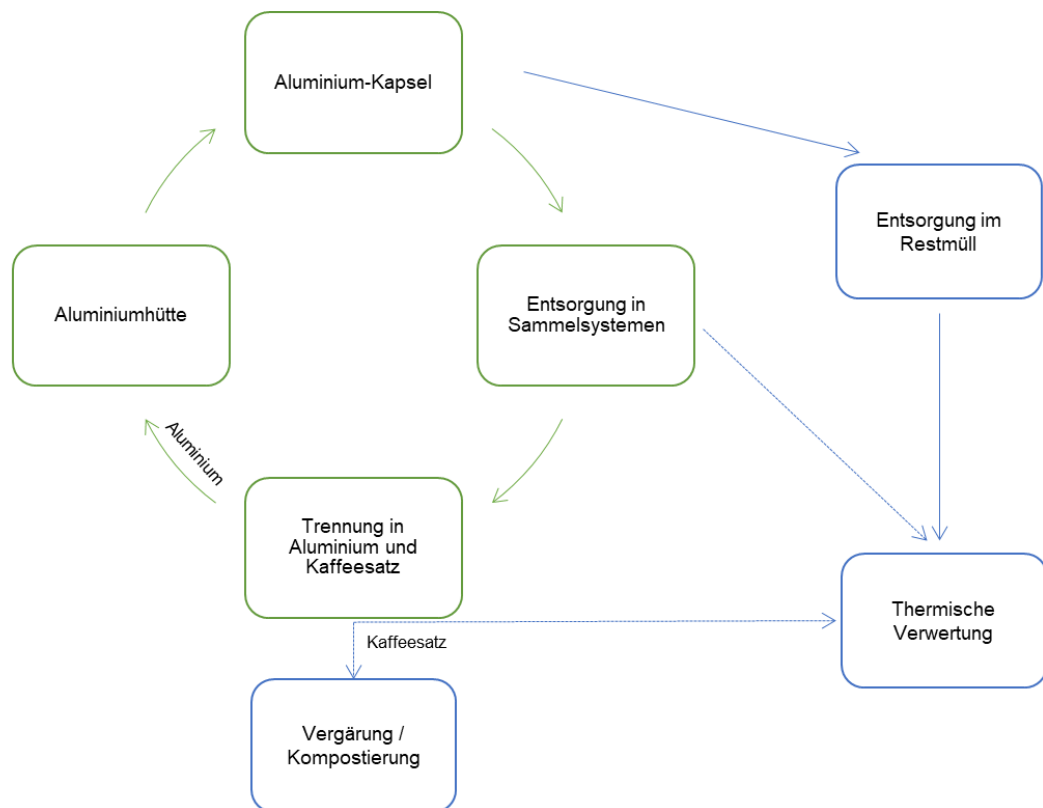
Mit dem europäischen Kreislaufwirtschaftspaket und der gerade in Erstellung befindlichen Adaptierung der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie wird der Fokus auf die Abfallhierarchie (vgl. Abbildung 9) gelegt. Neben der Abfallvermeidung wird der Fokus auf die Wiederverwertung von Materialien und den erhöhten Einsatz von Sekundärrohstoffen gelegt (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021b). Inwiefern Kaffee kapseln die Kreislaufwirtschaftsstrategien unterstützen, ist dabei stark von ihrem Material und der Art der Verwertung abhängig.



**Abbildung 13 Schematische Darstellung Kreislaufwirtschaft (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021b)**

#### **4.2.1 Eignung von Aluminiumkapseln zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft**

Aluminium kann unendlich recycelt werden, weshalb Aluminiumkapseln hier eine gute Grundlage zur Erfüllung eines Materialkreislaufs bieten. Zu beachten ist jedoch, dass für die optimale Nutzung und Verwertung eine Trennung des Kaffees von der Aluminiumkapsel notwendig ist, da ansonsten eines der beiden Materialien verloren geht. Abbildung 14 zeigt schematisch alle möglichen Kreisläufe sowie Entsorgungswege, die bei einer Aluminium-Kapsel möglich sind. Der in Abbildung 14 grün hinterlegte Kreislauf wird angestrebt, da es hier zu einer Verwertung des Aluminiums kommt und so der Wertstoff im Kreislauf gehalten wird.



**Abbildung 14 Theoretischer Kreislauf einer Aluminium-Kapsel sowie sonstige Entsorgungswege**

Dies bedeutet, dass derzeit ausschließlich eigene Sammelsysteme der Kapselhersteller (vgl. Kapitel 4.1.6) geeignet sind, einen vollständigen Produktkreislauf zu ermöglichen. Bei einer Sammlung im öffentlichen System erfolgt keine Trennung von Kaffee und Aluminium. Der Kaffee wird einer thermischen Verwertung am Ende der Aufbereitung zugeführt (Interview mit Marianne Neumüller-Klapper am 01.02.2022).

Derzeit werden Kaffee kapseln auch noch nicht vollständig aus recycelten Materialien hergestellt, wobei dies vorwiegend mit der am Markt erhältlichen Qualität des Sekundäraluminiums zusammenhängt (Interview mit Marianne Neumüller-Klapper am 01.02.2022). Hier ist zu berücksichtigen, dass es derzeit zu wenig Sekundäraluminium am Markt gibt, weshalb der Fokus zunächst auf der Schaffung eines größeren Marktes für Sekundäraluminium liegen sollte (European Aluminium 2020). Dabei ist auch zu erwähnen, dass Nespresso bei Einführung von Kapseln mit Sekundäraluminium zeitgleich das Verpackungsmaterial verringern konnte und so neben den Energieeinsparungen durch die Nutzung von Sekundärmaterial ebenso einen geringeren Materialeinsatz erzielen konnte (Interview mit Marianne Neumüller-Klapper am 01.02.2022).

#### 4.2.2 Eignung von nicht biologisch abbaubaren Kunststoffkapseln zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft

Das Schließen eines Stoffkreislafs bei Kunststoffkapseln erweist sich als schwieriger im Vergleich zu Aluminiumkapseln. Derzeit gibt es ein Sammelsystem für Kunststoffkapseln, welches allerdings nicht für Nespresso-kompatible Kapseln geeignet ist (vgl. Kapitel 4.1.6.3). Bei diesem System kann theoretisch aufgrund des Monomaterials der Kapseln eine stoffliche Verwertung erfolgen. Abbildung 15 beschreibt den theoretischen Kreislauf sowie sonstige Entsorgungswege einer Kunststoff-Kapsel. Hierbei ist zu beachten, dass die Sammlung über eigene Systeme derzeit für keine Nespresso-kompatible Kapseln in Österreich möglich ist und es sich damit um einen rein theoretischen Kreislauf handelt. Ebenso ist chemisches Recycling derzeit in Österreich lediglich in einer Pilotanlage möglich, die weiterführend auch verschiedene Kunststoffe wieder auftrennen könnte (Neubauer et al. 2021).

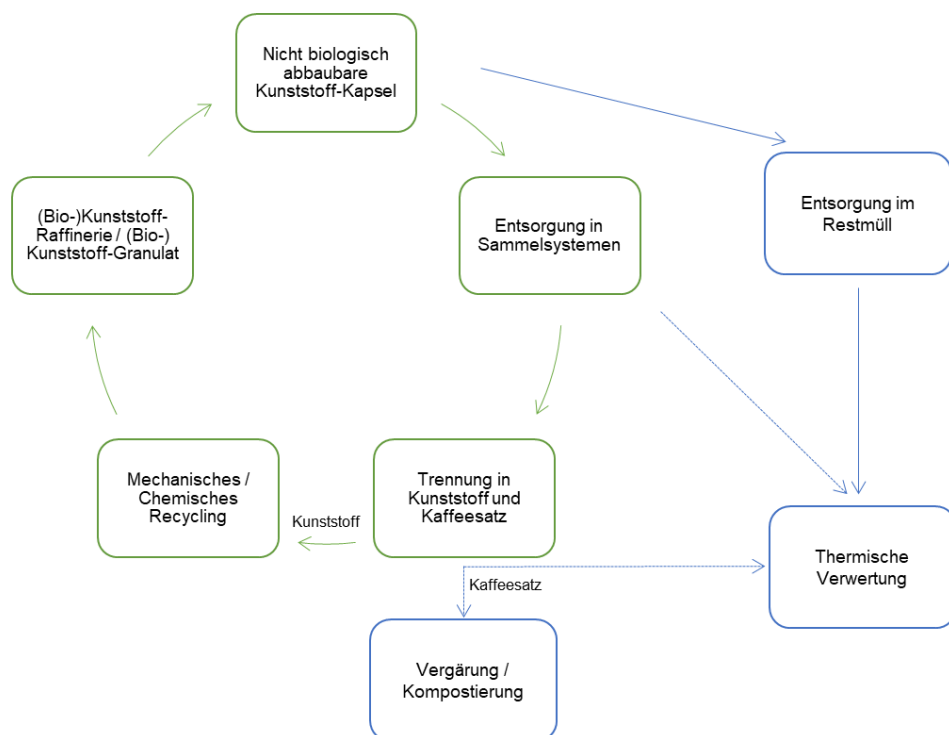


Abbildung 15 theoretischer Kreislauf einer nicht biologisch abbaubaren Kunststoff-Kapsel sowie sonstige Entsorgungswege

Da Anfragen der Hersteller zum Kapselmateriel bis auf zwei Anfragen nicht beantwortet wurden, kann derzeit nicht beurteilt werden, ob es sich bei den Kunststoffkapseln um Monomaterialien handelt oder nicht. Geht man daher davon aus, dass es sich bei

den Kapseln aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften von Kunststoff um Materialverbunde in einer Kapsel handelt, ist eine stoffliche Verwertung derzeit nicht möglich. Bis dahin wäre bei einer Sammlung und Verwertung Downcycling des Kapselmaterials möglich, somit die Nutzung des Kunststoffes zur Herstellung „minderwertigerer“ Produkte wie Blumentöpfe oder Gießkannen.

Rein aus Sicht der Kreislaufwirtschaft sind Kunststoffkapseln mit einer Aluminium-Membran nicht zu favorisieren, da die Trennung in die einzelnen Bestandteile während der Verwertung nicht möglich ist und somit zumindest ein Teil nicht recycelt werden kann. Gemäß einer Studie von Brommer et al. (2011) kann das unterschiedliche Material ebenso dazu führen, dass die Kapseln in Abfallbehandlungsanlagen je nach Sensor zu Kunststoff oder Aluminiumströmen sortiert werden und somit für die andere Fraktion der Wertstoff verloren geht.

#### 4.2.3 Eignung von biologisch abbaubaren Kunststoffkapseln zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft

Bei biologisch abbaubaren Kunststoffen ist zunächst zu berücksichtigen, dass der Kreislauf nicht durch die direkte Nutzung des Materials als Sekundärrohstoff geschlossen wird, sondern über den Umweg des Komposts oder nach Vergärung über den dort entstehenden Kompost.

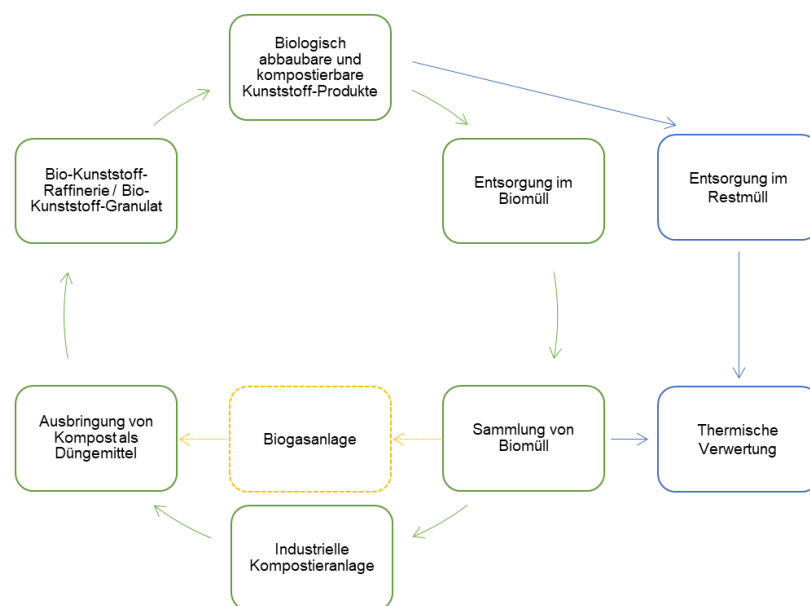


Abbildung 16 theoretischer Kreislauf biologisch abbaubarer Kunststoffe (mod. nach European Bioplastics (2021))

Kunststoffe, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden, haben den Vorteil, dass sie bei thermischer Verwertung oder Kompostierung nur jene Menge CO<sub>2</sub> freisetzen, die die Pflanze während des Wachstums der Atmosphäre entnommen hat (Stoifl et al. 2017). Dieser Vorteil ist für den Kompost selbst allerdings auch der größte „Nachteil“, da der Kunststoff lediglich zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut wird und daher dem Kompost selbst keinen Mehrwert liefert (Jördening und Weiland 2011; Zafiu et al. 2019). Weitere Vorteile als auch Herausforderungen sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Das Deutsche Umweltbundesamt sieht zudem die Nutzung kompostierbarer Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen kritisch, da der Vorteil im Hinblick auf Ressourcenschonung und CO<sub>2</sub>-Einsparungen bei diesen nicht gegeben sind (Umweltbundesamt Deutschland 2009).

**Tabelle 11 Vorteile sowie Herausforderungen von biologisch abbaubaren Kunststoffen (mod. nach (Stoifl et al. 2017; Baier et al. 2016; Zafiu et al. 2019))**

| Vorteile                                                                                                       | Herausforderungen                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Freisetzung von CO <sub>2</sub> bei der Verwertung entspricht beim Wachstum aufgenommenen CO <sub>2</sub>      | Bildung der Bürger notwendig, um Entsorgung von konventionellem Kunststoff in nicht geeigneten Abfällen zu verhindern    |
| Landwirtschaftliche Nebenprodukte oder Reststoffe können verwendet werden                                      | Kompostierung im Feld funktioniert nicht gleich wie unter Laborbedingungen, Nano- oder Mikropartikel im Boden            |
| Geringere Entsorgungskosten etwa in der Landwirtschaft, wenn Folien nicht gesammelt und entsorgt werden müssen | Sicherstellung, dass Kunststoffe auch bis in die Rotte gelangen und nicht vorher ausgesiebt werden nicht überall gegeben |
| Kompostierung über Kompostanlagen oder Heimkompost theoretisch möglich                                         |                                                                                                                          |
| Steigerung der Sammelmengen an biogenem Abfall                                                                 |                                                                                                                          |

Aus Sicht der Kreislaufwirtschaft können biologisch abbaubare KaffEEKapseln einen Vorteil bringen, da sie die Sammelmenge des Biomülls erhöhen und somit als Substrat

zum Heranwachsen neuer Ausgangsmaterialien einen erweiterten Kreislauf ermöglichen. Für eine vollständige Ermöglichung des Kreislaufs müssten jedoch ausreichend lange Rottezeiten sichergestellt und eventuell Anlagen umgebaut werden, damit die Kapseln auch tatsächlich vollständig abgebaut werden können. Sie stellen daher eine gute Alternative zu Aluminium-Kapseln dar, vor allem in Regionen, in denen es keine Sammelmöglichkeiten für Aluminium-Kapseln gibt.

#### **4.3 Lebenszyklusanalysen und Bewertung von Materialien für Kaffeekapseln**

Lebenszyklusanalysen, oder auch Ökobilanzen genannt, sind systematische Analysen, die die Umweltauswirkungen eines Produkts über den gesamten Lebensweg beschreiben („von der Wiege bis zur Bahre“). Im Falle von Kaffeekapseln beschreibt eine Ökobilanz den Weg vom Anbau des Grünkaffees über die Produktion bis zur Entsorgung der Kapsel nach Zubereitung des Kaffees zu Hause (Quantis Suisse 2019). LCAs bewerten stets mehrere Wirkungskategorien, wobei diese gemäß der Produktart und der zu treffenden Aussage gewählt werden können. Bereits 2013 wurde eine Empfehlung der Europäischen Kommission veröffentlicht, um die Methoden zur Messung von Produkt-Lebenszyklusanalysen einheitlich zu gestalten (Europäische Kommission 2013). Weiters gibt es auf EU-Ebene die Norm EN 16760 „Bio-based products – Life Cycle Assessment“, die spezifische Anforderungen an Biobasierte Kunststoffe und Guidelines zur Erfassung einer LCA anhand der ISO 14040-Standards enthält (European Bioplastics 2016).

Für die Erstellung dieser Analysen wird im Optimalfall auf die ISO Standards 14040:2006 und ISO 14044:2006 zurückgegriffen, da sie eine objektive und umfassende Analyse der Umweltauswirkungen von Produkten und ihren Produktionsprozessen sicherstellen (Umweltbundesamt Deutschland 2009). Ebenso wird über einen unabhängigen Expertenreview sichergestellt, dass es zu keiner Verzerrung von Daten und somit zu einer besseren Vergleichbarkeit kommt.

In der Regel besteht eine LCA aus vier Schritten (Umweltbundesamt Deutschland 2009):

- **Zieldefinition und Absteckung des Untersuchungsrahmens**  
Im Zuge dieser Phase wird festgelegt, welchen Rahmen die LCA betrachtet. Im Fall der LCA von einer Tasse Kaffee wäre dies etwa die Anzahl an Tassen pro Haushalt pro Jahr bzw. pro Nutzungsdauer einer Kaffeemaschine sowie die gewählte Tassengröße, da hiervon in vielen Fällen auch die verwendete Menge gerösteter und gemahlener Kaffee abhängt.
- **Sachbilanz**  
Die Sachbilanz beschreibt den Einsatz der verwendeten Rohstoffe und Energieströme während aller Schritte des Produktlebenszyklus. In die Sachbilanz können je nach vorhandener Datenlage direkt erfasste Daten oder standardisierte Daten aus anerkannten Datenbanken oder Studien einfließen.
- **Wirkungsabschätzung**  
Die Wirkungsabschätzung beschreibt die Auswirkungen der Stoff- und Energieströme auf vorab definierte oder der Methode vorgeschriebene Wirkungskategorien. Ob es sich um wählbare oder definierte Wirkungskategorien handelt, ist von der gewählten Durchführungsmethode abhängig.
- **Auswertung**  
In der Auswertung werden die vorab präsentierten Ergebnisse geschlussfolgert und weitere Empfehlungen beschrieben.

Die oben genannte Empfehlung der Europäischen Kommission weicht in manchen Bereichen von den ISO-Normen ab, ebenso wurde keine der nachfolgend beschriebenen LCAs gemäß dieser durchgeführt, weshalb sie in weiterer Folge keine Anwendung in dieser Arbeit findet.

#### **4.3.1 Lebenszyklusanalysen gemäß den Standards ISO 14040:2006 und ISO 14044:2006**

Der Standard ISO 14040:2006 beschreibt grundlegende Anforderungen an die Lebenszyklusanalyse sowie die notwendigen Schritte zur Durchführung einer eben solchen. Es ist hier zu erwähnen, dass ein Critical Review, somit eine kritische

Auseinandersetzung der Studie durchgeführt werden sollte, von den gewählten Parametern bis hin zu den Empfehlungen, durch externe Personen; wobei hier ein Panel von 3 Personen zu wählen ist.

Die Wahl der Wirkungskategorien für eine LCA gemäß der genannten ISO-Standards ist nicht vorgeschrieben. Es ist jedoch in der LCA zu begründen, weshalb gewisse Kategorien gewählt wurden und auf welcher Datenlage sie beruhen. Es ist zudem der Zusammenhang zur Umweltrelevanz bei der gewählten Wirkungskategorie zu beschreiben. Abbildung beschreibt das Konzept der Wirkungsindikatoren gem. ISO 14044:2006. In den betrachteten Studien wurden jedoch bis auf die Kategorie Klimawandel fast ausschließlich unterschiedliche Kategorien betrachtet, was den Vergleich mehrerer Studien erschwert hat. Um aussagekräftig einen Vorteil eines Materials gegenüber eines anderen bestätigen zu können, reicht es nicht aus in ein bis zwei Kategorien besser abzuschneiden, nachfolgend wurde daher versucht so weit als möglich die Wirkungskategorien über mehrere Studien zu vergleichen. (Umweltbundesamt Deutschland 2009)

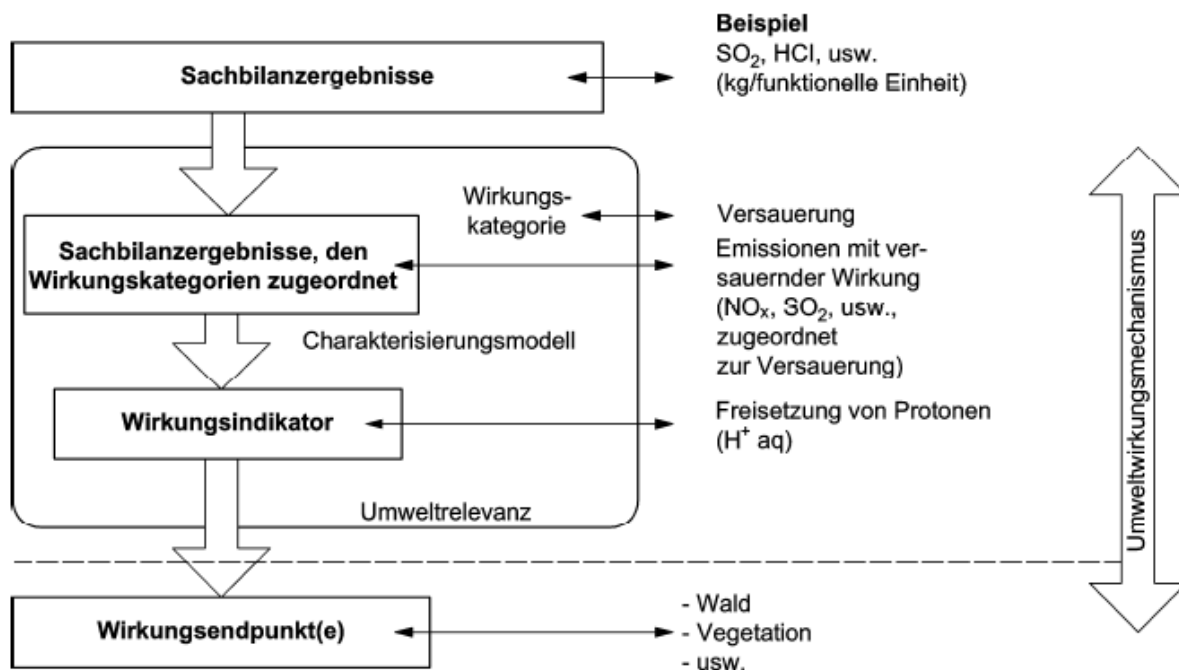


Abbildung 17 Konzept von Wirkungsindikatoren (ISO 14044:2006)

### 4.3.2 LCA von Kaffeekapseln

Der Lebenszyklus einer Kaffeekapsel erstreckt sich vom Kaffeeanbau bis hin zur Entsorgung des Kaffeesuds bzw. in diesem Fall der Kaffeekapsel (vgl. Abbildung 18). Je nach durchgeführter LCA werden unterschiedliche Parameter berücksichtigt, etwa wird die Herstellung und Reinigung von Tassen nicht in jeder LCA behandelt. Tabelle 12 beschreibt die unterschiedlichen Annahmen der betrachteten LCAs. LCAs und Aussagen anderer Kaffeekapseln, die nicht für das Nespresso System konzipiert sind, wurden explizit ausgeklammert, um unterschiedliche Bedingungen etwa durch andere Verhältnisse von Verpackung zu Kaffee unberücksichtigt zu lassen. Ebenso werden für die finale Betrachtung ausschließlich die beiden Lebenszyklusschritte Verpackungsproduktion und Entsorgung betrachtet, da alle anderen Kategorien des Lebenszyklus für diese Arbeit irrelevant sind.

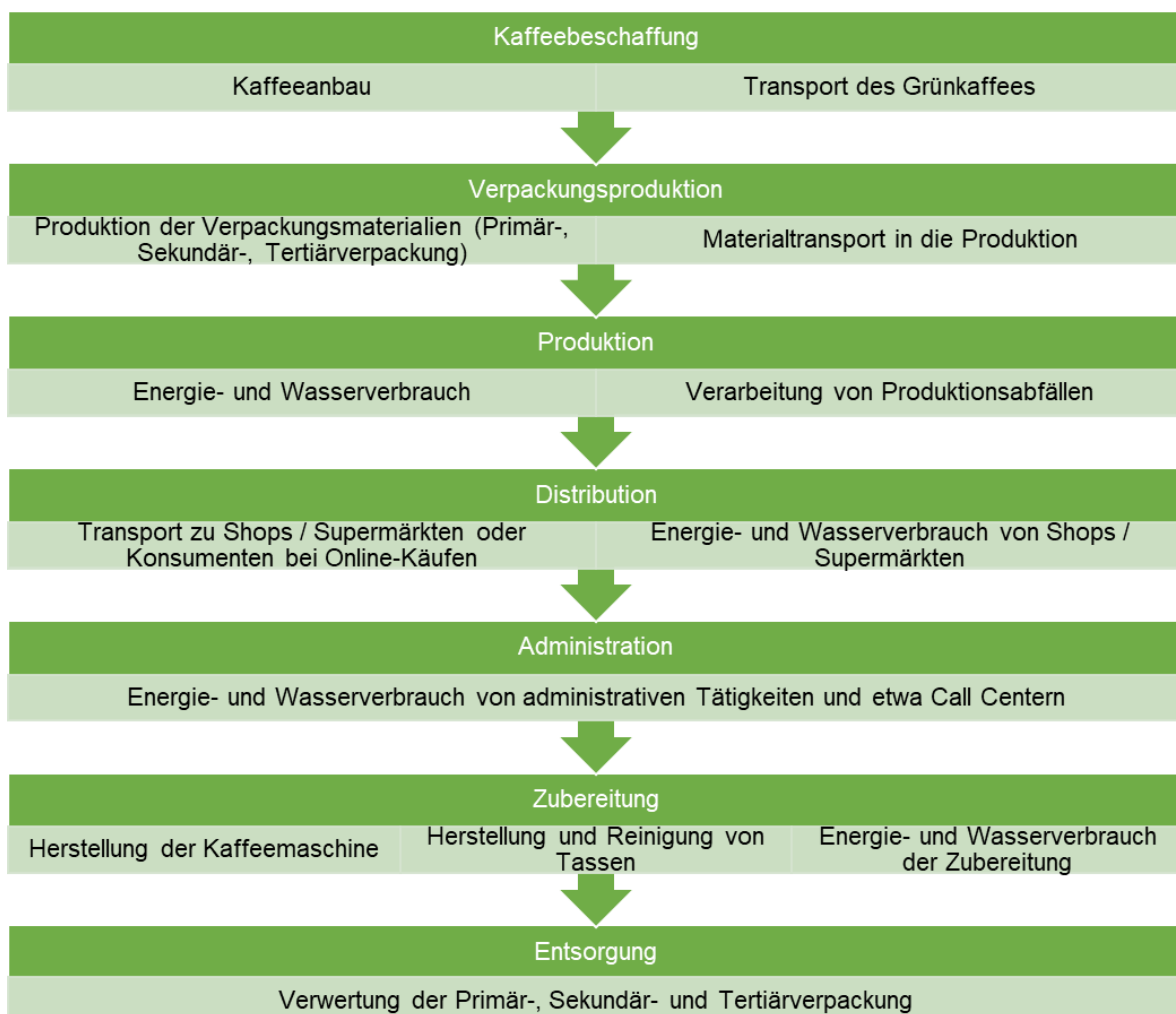


Abbildung 18 Kreislauf einer Tasse Kaffee (mod. nach Quantis Suisse (2011))

Die größten Umweltauswirkungen einer Tasse Kaffee haben die Stufen der Kaffeebeschaffung als auch die Zubereitung beim Konsumenten, unabhängig von der Zubereitungsmethode (Brommer et al. 2011). Die Verpackung, somit die Kaffeekapsel, spielt je nach Wirkungskategorie eine größere Rolle, trägt allerdings nicht den wesentlichen Beitrag im Lebenszyklus bei (Quantis Suisse 2019). Es wird jedoch festgehalten, dass innerhalb des Bereichs „Verpackungsproduktion & -distribution“ die Herstellung der Kapsel im Vergleich zu Umverpackungen den Hauptanteil ausmacht (Quantis Suisse 2011).

**Tabelle 12 Lebenszyklusphasen einer KaffEEKapsel (nach (Quantis Suisse 2011; Quantis Suisse 2019; Tonelli et al. 2018; Nespresso Österreich GmbH & Co OHG 2020; Figueiredo Tavares und Mourad 2020; Brommer et al. 2011; Quantis Suisse 2021))**

|                                                                                               | <b>Quantis Suisse, 2011</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Quantis Suisse, 2011</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LCA Methode                                                                                   | ISO 14044:2006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <i>ISO 14044:2006</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Land                                                                                          | Frankreich                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Schweiz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| ml / Portion Kaffee                                                                           | 40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <i>40</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Gewicht KaffEEKapsel                                                                          | Alu-Kapsel: 1,1 g<br>PP-Kapsel mit PE-Membran: 1,5 g<br>PP Kapsel mit PET-Membran: 1,7 g<br>PLA/Stärke-Mix-Kapsel mit Papierfilter und Laminat-Membran: 4,4 g                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <i>Alu-Kapsel: 1,1 g<br/>PP-Kapsel mit PE-Membran: 1,5 g<br/>PP Kapsel mit PET-Membran: 1,7 g<br/>PLA/Stärke-Mix-Kapsel mit Papierfilter und Laminat-Membran: 4,4 g</i>                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>relevante Annahmen der Lebenszyklusphasen, die für die Kapselmaterialien relevant sind</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Verpackungsproduktion                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Entsorgung                                                                                    | verschiedene Entsorgungswege:<br>Alu-Kapsel:<br>Restmüll (51 % thermische Verwertung, 49 % Deponie), Thermische Verwertung mit Energiegewinnung (20 % Wärme, 10 % Strom), Deponie, Recycling<br>Kunststoff-Kapseln:<br>Restmüll, thermische Verwertung mit Energiegewinnung, Deponie, Direct Fuel Substitution (z.B. thermische Verwertung mit hoher Energiegewinnung)<br>Kapsel aus biologisch abbaubarem Kunststoff:<br>Restmüll, Thermische Verwertung mit Energiegewinnung, Deponie, Vergärung, Industrielle Kompostierung | verschiedene Entsorgungswege:<br>Alu-Kapsel:<br>Thermische Verwertung mit Energiegewinnung (20 % Wärme, 10 % Strom), Recycling<br>Kunststoff-Kapseln:<br>thermische Verwertung mit Energiegewinnung, Direct Fuel Substitution (z.B. thermische Verwertung mit hoher Energiegewinnung)<br>Kapsel aus biologisch abbaubarem Kunststoff:<br>Thermische Verwertung mit Energiegewinnung, Vergärung, Industrielle Kompostierung |
| betrachtete Wirkungskategorien                                                                | - Klimawandel / Climate Change oder Global Warming Potential<br>- Ressourcennutzung / Non-renewable resources depletion<br>- Wasserverbrauch / Water Withdrawal<br>- Biodiversität / Ecosystem Quality<br>- toxische Schädigung von Menschen durch Feinstaub / Human Health<br>- Water turbined                                                                                                                                                                                                                                | - Klimawandel / Climate Change oder Global Warming Potential<br>- Ressourcennutzung / Non-renewable resources depletion<br>- Wasserverbrauch / Water Withdrawal<br>- Biodiversität / Ecosystem Quality<br>- toxische Schädigung von Menschen durch Feinstaub / Human Health<br>- Water turbined                                                                                                                            |

|                                                                                               | <b>Brommer et al., 2011</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Tonelli et al., 2018</b>                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LCA Methode                                                                                   | ISO 14044:2006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ISO 14044:2006                                                                                                                                                                                                          |
| Land                                                                                          | Deutschland                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Italien                                                                                                                                                                                                                 |
| ml / Portion Kaffee                                                                           | 125                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                         |
| Gewicht Kaffeekapsel                                                                          | Alu-Kapsel: 1,13 g<br>PP-Kapsel: 3,32 g PP + 0,3 g Alu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>relevante Annahmen der Lebenszyklusphasen, die für die Kapselmaterialien relevant sind</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                         |
| Verpackungsproduktion                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | inkludiert Produktion und Transport der Verpackungsmaterialien; für den Transport wurden Daten aus Ecoinvent herangezogen                                                                                               |
| Entsorgung                                                                                    | Alu-Kapsel: 100 % Entsorgung über Duales System Deutschland und damit mechanische Verwertung des Aluminiums<br>PP-Kapsel: Duales System Deutschland, wobei es von der Kapselfarbe abhängt, ob sie als PP oder Alu erkannt wird. Dunkle werden eher thermisch verwertet, helle Kapseln werden zu 80-85 % als PP erkannt. Durch fehlende wurde thermische Verwertung angenommen, Alu-Lids werden stofflich verwertet<br>Kaffeessatz: thermische Verwertung in beiden Fällen | kompostierbare Kapseln in PET-Tray: industrielle Kompostierung bzw. Vergärung, PET-Tray mechanisches Recycling<br>Alu-Kapsel: 7 % Recyclingquote<br>PP-Kapsel: Deponierung                                              |
| betrachtete Wirkungskategorien                                                                | - Klimawandel / Climate Change oder Global Warming Potential                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | - Klimawandel / Climate Change oder Global Warming Potential<br>- Acidification<br>- Eutrophication<br>- photochemical oxidation<br>- Ozone Layer Depletion<br>- Abiotic depletion<br>- abiotic depletion, fossil fuels |

|                                                                                                      | <b>Quantis Suisse, 2019</b>                                                                                                                                                                                 | <b>Nespresso Österreich GmbH &amp; Co OHG, 2020</b>          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| LCA Methode                                                                                          | ISO 14044:2006                                                                                                                                                                                              | nicht erwähnt                                                |
| Land                                                                                                 | Schweiz                                                                                                                                                                                                     | Österreich                                                   |
| ml / Portion Kaffee                                                                                  | 110                                                                                                                                                                                                         | 120                                                          |
| Gewicht Kaffeekapsel                                                                                 | 1 g                                                                                                                                                                                                         | n/a                                                          |
| <b><i>relevante Annahmen der Lebenszyklusphasen, die für die Kapselmaterialien relevant sind</i></b> |                                                                                                                                                                                                             |                                                              |
| Verpackungsproduktion                                                                                | inkludiert Produktion der Primär-, Sekundär- und Tertiärverpackung.                                                                                                                                         |                                                              |
| Entsorgung                                                                                           | inkludiert Sammlung, Sortierung und Recycling des Verpackungsmaterials, der Kapseln und des Kaffeesatzes.<br>Annahme für Nespresso-Kapseln: 50 % Recycling, 50 % thermische Verwertung mit Energiegewinnung | 31 % Recyclingquote                                          |
| betrachtete Wirkungskategorien                                                                       | - Klimawandel / Climate Change oder Global Warming Potential                                                                                                                                                | - Klimawandel / Climate Change oder Global Warming Potential |

|                                                                                               | <b>Figueiredo Tavares und Mourad, 2020</b>                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Quantis Suisse, 2021</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LCA Methode                                                                                   | nicht erwähnt                                                                                                                                                                                                                                                                 | ISO 14044:2006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Land                                                                                          | Brasilien                                                                                                                                                                                                                                                                     | Frankreich                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| ml / Portion Kaffee                                                                           | 50                                                                                                                                                                                                                                                                            | 110                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Gewicht Kaffeekapsel                                                                          | Alu-Kapsel: 1,15 g<br>Kunststoff-Kapsel: 3,25 g                                                                                                                                                                                                                               | 1 g                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| relevante Hinweise                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                               | Adaptierung der Studie aus 2019 für den französischen Markt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>relevante Annahmen der Lebenszyklusphasen, die für die Kapselmaterialien relevant sind</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Verpackungsproduktion                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                               | inkludiert Produktion der Primär-, Sekundär- und Tertiärverpackung.<br><br>9 g CO <sub>2</sub> -eq. der Alukapsel zuzuschreiben, 80 % recyceltes Alu würde CO <sub>2</sub> -Fußabdruck um 1,5 g CO <sub>2</sub> -eq./Tasse senken                                                                                                                                                       |
| Entsorgung                                                                                    | Recovery-Rate: 20 %<br>Ansonsten: 59,1 % Deponierung, 22,9 % kontrollierte Deponierungsmaßnahmen, 18 % unkontrollierte Müllhalden                                                                                                                                             | inkludiert Sammlung, Sortierung und Recycling des Verpackungsmaterials, der Kapseln und des Kaffeesatzes. Annahme für Nespresso-Kapseln: 20% Recycling, 50 % thermische Verwertung mit Energiegewinnung, 33 % Deponierung - dadurch kein Benefit im EOL, 100 % Recyclingquote würde den Fußabdruck um 8 g CO <sub>2</sub> -eq./Tasse senken                                             |
| betrachtete Wirkungskategorien                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Klimawandel / Climate Change oder Global Warming Potential</li> <li>- Wasserverbrauch / Water Withdrawal</li> <li>- abiotic depletion, fossil fuels</li> <li>- non biodegradable packaging residues - NBPR into Landfills</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Klimawandel / Climate Change oder Global Warming Potential</li> <li>- Ressourcennutzung / Non-renewable resources depletion</li> <li>- Wasserverbrauch / Water Withdrawal</li> <li>- Biodiversität / Ecosystem Quality</li> <li>- toxische Schädigung von Menschen durch Feinstaub / Human Health</li> <li>- Landnutzung / Land Use</li> </ul> |

### **4.3.3 Einfluss von Aluminiumkapseln auf den Lebenszyklus**

Wie in Tabelle 13 dargestellt, nimmt die Verpackungsproduktion je nach Studiendesign 13-22 % des gesamten Lebenszyklus' ein. Die Entsorgung führt zu einem positiven Effekt, welcher auf das Recycling des Aluminiums, aber auch auf das bei Nespresso Schweiz verwendete Recyclingverfahren zurückzuführen ist, bei dem Kaffee zu Biogas vergoren wird und dort Wärme als auch Strom generiert werden (Quantis Suisse 2019). Bei jeder Kapselart ergeben sich aufgrund des Recyclings der Sekundärverpackung positive Effekte, die jedoch wesentlich geringer als jene des Aluminiumrecyclings sind.

Eine 2011 durchgeführte vergleichende LCA, die unterschiedliche Entsorgungsszenarien ebenso untersucht hat, hat gezeigt, dass eine Aluminiumkapsel mit Recycling des Aluminiums den geringsten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aufweist (Quantis Suisse 2011). Diese Studie verglich dabei die Entsorgungswege von der Schweiz und Frankreich, es ist daher anzunehmen, dass das Ergebnis auch für Österreich aufgrund der unmittelbaren Nähe nicht wesentlich anders ausfallen würde.

### **4.3.4 Einfluss von Kunststoffkapseln auf den Lebenszyklus**

Die Verpackung hat bei Kunststoffkapseln einen wesentlich höheren Anteil an verschiedenen Wirkungskategorien der LCA, im Vergleich zu anderen Kapselarten. Dies liegt vor allem an der Nutzung von Erdöl und der energieintensiven Herstellung. Auch im Vergleich zur ebenfalls energieintensiven Herstellung von Aluminium, zeigt Kunststoff einen größeren Effekt, da das Verpackungsgewicht bei den betrachteten Kapseln etwa doppelt so hoch ist (Figueiredo Tavares und Mourad 2020; Tonelli et al. 2018).

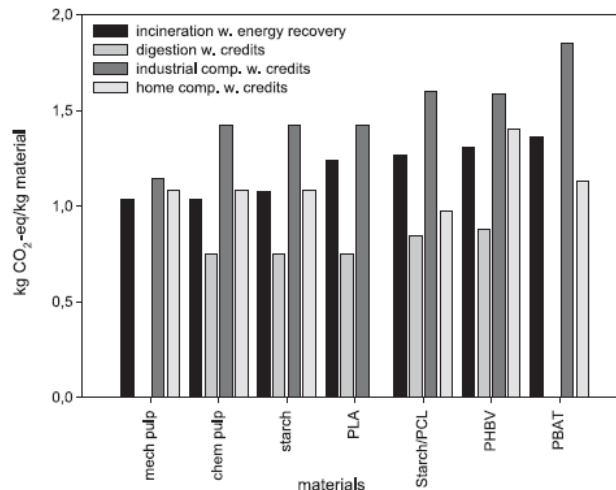
Ebenso spielt die Materialwahl und die Möglichkeiten in Bezug auf Recycling eine wesentliche Rolle. Kunststoffrecycling ist für KaffEEKapseln derzeit noch schwer umsetzbar und führt hier zu keinen positiven Effekten durch das Recycling.

### **4.3.5 Einfluss von biologisch abbaubaren Kapseln auf den Lebenszyklus**

Es wurden bereits einige vergleichende Ökobilanzen durchgeführt, die keinen generellen Vorteil von biologisch abbaubaren Kunststoffen im Vergleich zu konventionellen

Kunststoffen feststellen konnten (Umweltbundesamt Deutschland 2009). Es ist jedoch festzuhalten, dass bei vielen LCAs die Entsorgung bewusst ausgeklammert wird, was möglicherweise auf unterschiedliche Standards in verschiedenen Ländern oder mangelnde Daten zurückzuführen ist (Hermann et al. 2011). Die Kompostierung von Kunststoffen zeigt erst dann Vorteile, wenn durch den biologischen Abbau ein Zusatznutzen entsteht (Burgstaller et al. 2018). Dies könnte gegeben sein, sollte Kohlenstoff im Boden ein limitierender Faktor werden, dann wäre eine biologische Aufbereitung, entweder durch Vergärung oder durch Kompostierung, jedenfalls zu favorisieren (Hermann et al. 2011). Bei der Entsorgung von Kaffeekapseln im Biomüll wird zudem auch sichergestellt, dass der Kaffeesatz kompostiert bzw. vergärt wird und nicht etwa im Restmüll landet.

Eine LCA, die die unterschiedlichen Entsorgungsmöglichkeiten von PLA bewertet, kam dabei zu dem Schluss, dass die Kompostierung die höchsten Umwelteinflüsse in den Wirkungskategorien Klimaänderung, Humantoxizität und Verknappung fossiler Energien, verglichen mit chemischem und mechanischem Recycling, mit sich bringt (Cosate de Andrade et al. 2016). Eine andere LCA, die die Entsorgung verschiedener kompostierbarer Kunststoffe verglich, kam dabei zu dem Schluss, dass eine Vergärung mit Energiegewinnung im Bereich Klimaänderung den geringsten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck verursache (Hermann et al. 2011). Abbildung 19 zeigt das Ergebnis für die Entsorgungswege in der Wirkungskategorie Klimaänderung (Hermann et al. 2011). PLA ist für eine Heimkompostierung nicht geeignet, da es nicht unter diesen niedrigen Bedingungen abgebaut werden kann, ebenso sind Holzstoff und PBAT nicht für eine Vergärung in der Biogasanlage geeignet (Hermann et al. 2011).



**Abbildung 19 Vergleich von Entsorgungswegen für biobasierte Materialien auf Basis von 1 kg Material (Hermann et al. 2011)**

Die Erkenntnisse der LCAs können damit begründet werden, dass bei einer Kompostierung kein neues Ausgangsmaterial geschaffen wird und bei einer Vergärung zumindest noch Energiegewinnung und somit ein größerer Vorteil im Hinblick auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß erzielt werden kann (Hermann et al. 2011; Cosate de Andrade et al. 2016; Quantis Suisse 2011). Ebenso kann hier nach der Vergärung der Rückstand wiederum als Kompost genutzt werden und bietet somit einen doppelten Nutzen.

Weitere LCAs zur Nutzung von kompostierbaren Kunststoffen sind ebenso zu dem Schluss gekommen, dass Kompostierung gegenüber Vergärung und thermischer Verwertung lediglich wenige Vorteile mit sich bringt (Finnveden et al. 2007; Rossi et al. 2015). Es ist jedoch bei all den genannten LCAs zu berücksichtigen, dass diese oft an den Rohmaterialien, somit ohne starke Produktanhaftungen durchgeführt wurden, wie sie etwa bei Kaffeekapseln zu erwarten wären (Rossi et al. 2015). Diese Limitierung kann bei Durchführung von LCAs mit dem Produkt andere Ergebnisse liefern.

#### 4.3.6 Vergleich der Materialien im Lebenszyklus

Quantis hat 2011 eine vergleichende LCA zu Nespresso-kompatiblen Kapseln durchgeführt. Es wurden hier unterschiedliche Materialien betrachtet, als auch die verschiedenen Entsorgungsmöglichkeiten in Frankreich und der Schweiz (Quantis Suisse 2011). Abbildung 21 zeigt die Ergebnisse für Auswirkungen einer Tasse Espresso Kaffee auf die Treibhausgasemissionen. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass die

Kategorie „Trash“ in Frankreich, somit die Entsorgung im Restmüll, zu 49 % eine direkte Deponierung vorsieht und daher nicht mit Österreich zu vergleichen ist. Es ist hier jedoch zu beachten, dass das Recycling-Szenario der Nespresso Kapsel bedeutet, dass alle Kapseln recycelt werden, was nicht der Realität entspricht und auch nicht realisierbar ist (Quantis Suisse 2011).

Ebenso wurde bei dieser LCA ausschließlich Primärmaterial herangezogen, die Nutzung von recycelten Materialien wurde für keine der Kapseln berücksichtigt. Unter heutigen Voraussetzungen, würde das Ergebnis daher ggf. anders aussehen.

In den betrachteten Studien wurden verschiedene Wirkungskategorien (vgl. Tabelle 12) betrachtet. Lediglich die Wirkungskategorie Klimawandel kam in allen Studien vor. Trotzdem werden nachfolgen ebenso exemplarisch zwei andere Wirkungskategorien betrachtet, etwaige Limitierungen werden entsprechend erwähnt.

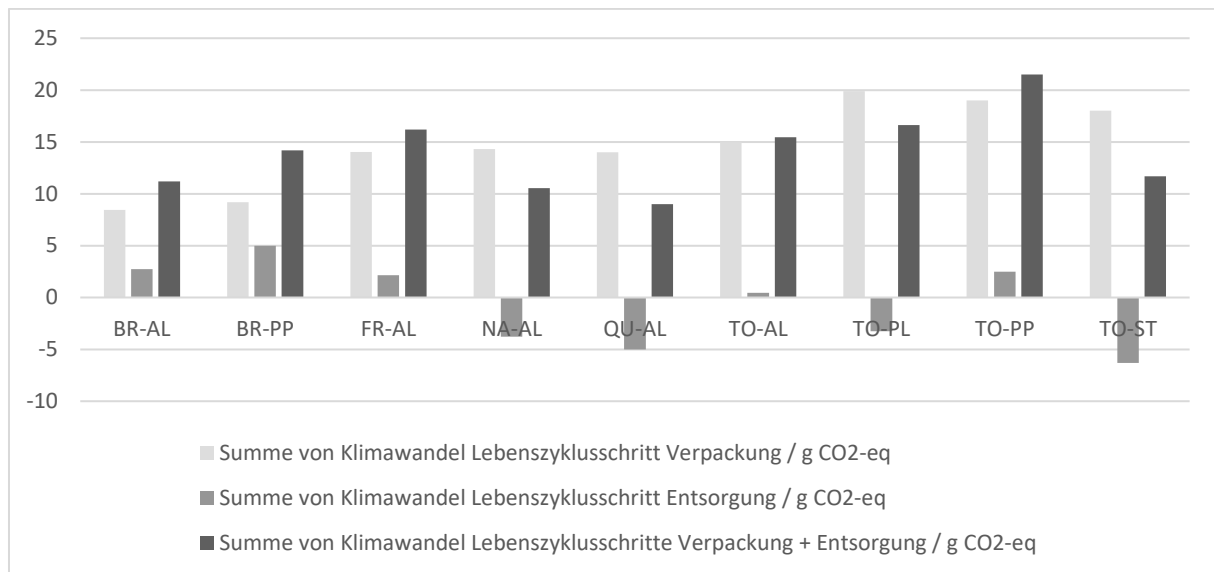
#### *4.3.6.1 Vergleich in der Wirkungskategorie „Klimawandel“*

Die bereits zitierten Studien wurden anhand des vorliegenden Datenmaterials verglichen, wobei es nicht möglich war, für alle LCAs die einzelnen Lebenszyklusabschnitte zu berechnen, da teilweise lediglich Grafiken zur Verfügung standen. Tabelle 13 zeigt die einzelnen Werte der herangezogenen LCAs, welche in Abbildung 20 grafisch aufbereitet wurden. In dieser Abbildung wurden allerdings ausschließlich jene Kapseln dargestellt, bei denen aufgrund der vorhandenen Daten ein Vergleich der Lebenszyklusphasen Verpackungsproduktion und Entsorgung möglich war.

**Tabelle 13 Wirkungskategorie Klimawandel - Überblick der relevanten Lebenszyklusabschnitte der betrachteten Kaffeekapseln**

| Quelle                              | Kapseltyp                 | Entsorgung                                                                                                      | Kurzname | Klimawandel Lebenszyklusschritt Verpackung |      | Klimawandel Lebenszyklusschritt Entsorgung |       | Klimawandel Lebenszyklusschritte Verpackung + Entsorgung |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------|------|--------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------|
|                                     |                           |                                                                                                                 |          | g CO <sub>2</sub> -eq                      | %*   | g CO <sub>2</sub> -eq                      | %*    |                                                          |
| Brommer et al. 2011                 | Alu-Kapsel                | 100 % mechanisches Recycling Kaffeesatz; thermische Verwertung                                                  | BR-AL    | 8,45                                       | 21 % | 2,75                                       | 7 %   | 11,20                                                    |
| Brommer et al. 2011                 | PP-Kapsel mit Alu-Membran | thermische Verwertung des PP, Alu-Membran wird mechanisch recycelt                                              | BR-PP    | 9,20                                       | 21 % | 5,00                                       | 12 %  | 14,20                                                    |
| Tonelli et al. 2018                 | PLA-Kapsel                | Industrielle Kompostierung                                                                                      | TO-PL    | 19,90                                      | 43 % | -3,26                                      | -7 %  | 16,64                                                    |
| Tonelli et al. 2018                 | Stärke-Kapsel             | Vergärung                                                                                                       | TO-ST    | 18,00                                      | 44 % | -6,30                                      | -15 % | 11,70                                                    |
| Tonelli et al. 2018                 | Alu-Kapsel                | 7 % Recyclingquote                                                                                              | TO-AL    | 15,00                                      | 33 % | 0,46                                       | 1 %   | 15,46                                                    |
| Tonelli et al. 2018                 | PP-Kapsel                 | Deponie                                                                                                         | TO-PP    | 19,00                                      | 31 % | 2,50                                       | 4 %   | 21,50                                                    |
| Quantis, 2019                       | Alu-Kapsel                | 50 % Recycling, 50 % thermische Verwertung mit Energiegewinnung                                                 | QU-AL    | 14,00                                      | 14 % | -5,00                                      | -5 %  | 9,00                                                     |
| Nespresso Österreich, 2020          | Alu-Kapsel                | 31 % Recyclingquote                                                                                             | NA-AL    | 14,30                                      | 22 % | -3,77                                      | -6 %  | 10,53                                                    |
| Figueiredo Tavares und Mourad, 2020 | Alu-Kapsel                | 20,0 % Recycling, 47,3 % Deponie, 18,3 % kontrollierte Deponierungsmaßnahmen, 14,4 % unkontrollierte Müllhalden | FI-AL    | n/a                                        | n/a  | n/a                                        | n/a   | n/a                                                      |
| Figueiredo Tavares und Mourad, 2020 | Kunststoff-Kapsel         | 20,0 % Recycling, 47,3 % Deponie, 18,3 % kontrollierte Deponierungsmaßnahmen, 14,4 % unkontrollierte Müllhalden | FI-KU    | 12,82                                      | 36 % | n/a                                        | n/a   | n/a                                                      |
| Quantis, 2021                       | Alu-Kapsel                | 20 % Recycling, 50 % thermische Verwertung mit Energiegewinnung, 33 % Deponierung                               | FR-AL    | 14,04                                      | 13 % | 2,16                                       | 2 %   | 16,20                                                    |
| Quantis, 2021                       | Alu-Kapsel                | 100 % Recyclingquote                                                                                            |          | n/a                                        | n/a  | n/a                                        | n/a   | n/a                                                      |

\* Anteil am gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Tasse Kaffee über den gesamten Lebenszyklus



**Abbildung 20 Vergleich der Lebenszyklusschritte Verpackungsproduktion und Entsorgung verschiedener LCAs**

BR-AL = Alu-Kapsel bzw. BR-PP = PP-Kapsel, Werte der LCA nach Brommer et al. (2011)  
 FR-AL = Alu-Kapsel, Werte der LCA nach Quantis Suisse (2021)  
 NA-AL = Alu-Kapsel, Werte der LCA nach Nespresso Österreich GmbH & Co OHG (2020)  
 QU-AL = Alu-Kapsel, Werte der LCA nach Quantis Suisse (2019)  
 TO-AL = Alu-Kapsel, TO-PL = PLA-Kapsel, TO-PP = PP-Kapsel, TO-ST = Stärke-Kapsel, Werte der LCA nach Tonelli et al. (2018)

Es wird hier klar deutlich, dass der Entsorgungsweg für die Betrachtung der einzelnen Verpackungsmaterialien essentiell ist. Sowohl bei der betrachteten Kapsel in Österreich (NA-AL) als auch jener in der Schweiz (QU-AL) wird keine Deponierung angenommen, wie etwa bei jener in Frankreich (FR-AL). Bei Kapsel TO-AL wurde lediglich von einer Recyclingquote von 7 % ausgegangen, weshalb der positive Effekt des Recyclings nicht in ausreichendem Maß greift. Zusätzlich wurde von einer potenziellen Deponierung (vgl. Entsorgung Kapsel TO-PP) ausgegangen, welche ebenso zu einem höheren CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Wert beiträgt. Die Kapseln in DE von Brommer erzielen trotz mechanischem Recycling keinen positiven Effekt. Der Hintergrund dafür kann nicht genannt werden, es wird hier jedoch davon ausgegangen, dass dies mit dem Recyclingmarkt 2009 und den bis heute adaptierten Verwertungsmethoden zu tun hat, die einen positiven Effekt in der LCA erzielen lassen.

Wie auch bereits in dem Vergleich von Hermann et al. (2011) deutlich wurde, zeigt auch hier die Stärke-Kapsel (TO-ST), welche zu Biogas vergoren wird, einen Vorteil gegenüber jener aus PLA (TO-PL), die in einer industriellen Kompostierungsanlage verwertet wird.

Das beschriebene Ergebnis der Vergleiche unterschiedlicher LCAs wird auch bei Betrachtung der Ergebnisse, des 2011 durchgeführten Vergleichs von Quantis deutlich (Quantis Suisse 2011). Wie in Abbildung 21 ersichtlich, zeigt auch hier die Kunststoffkapsel hohe Umweltauswirkungen im Vergleich zur Alukapsel. Bei biologisch abbaubaren Kapseln schneiden Kapseln, die anaerob abgebaut werden, besser ab als jene mit industrieller Kompostierung. Ebenso kommt es nur beim anaeroben Abbau als auch bei einer thermischen Verwertung zu einem positiven Effekt der Kapsel selbst in der Entsorgungsphase. Es ist zu erwähnen, dass diese Studie jeweils die Annahme einer 100 %-igen Sammlung der entsprechenden Verwertungsmethode angenommen hat, somit z.B. auch die Recyclingrate von Nespresso-Kapseln im angenommenen Szenario 100 % betrug. Dieses Szenario ist in keinem der Fälle realistisch, erlaubt allerdings eine übersichtliche Darstellung ausschließlich auf Basis der Entsorgungswege ohne Unterschiede in den einzelnen Sammel- und Verwertungsquoten zu berücksichtigen.

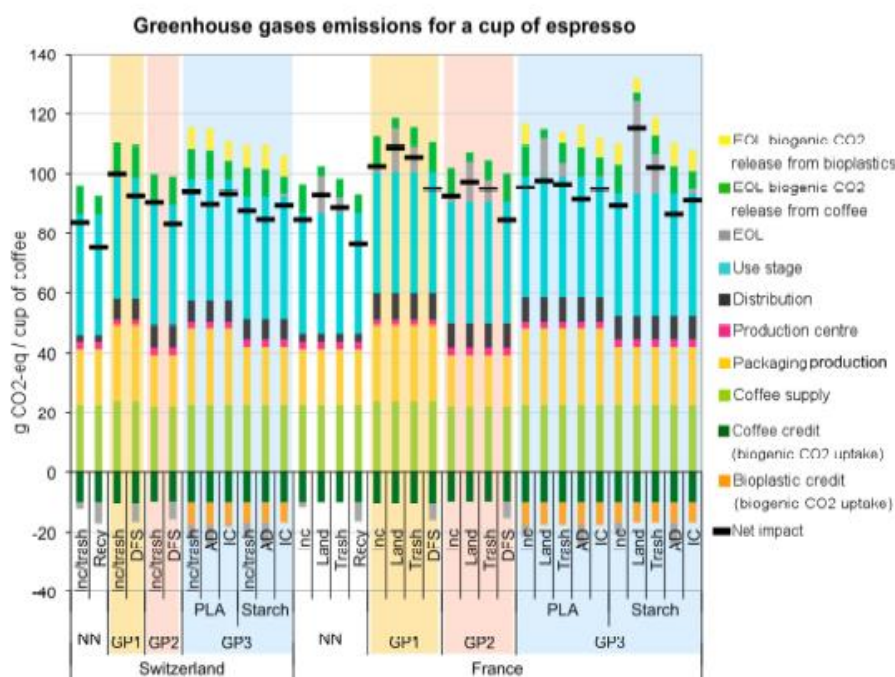


Abbildung 21 Treibhausgasemissionen einer Tasse Espresso Kaffee (Quantis Suisse 2011)

NN = Nestlé Nespresso; GP1 = Generic Product 1 / nicht biologisch abbaubar; GP2 = Generic Product 2 / nicht biologisch abbaubar; GP3 = Generic Product 3 / biologisch abbaubar  
Inc = thermische Verwertung, Recy = stoffliche Verwertung, Land = Landfill, DFS = Direct Fuel Substitution, AD = Vergärung, IC = Industrielle Kompostierung

#### 4.3.6.2 Vergleich anderer Wirkungskategorien

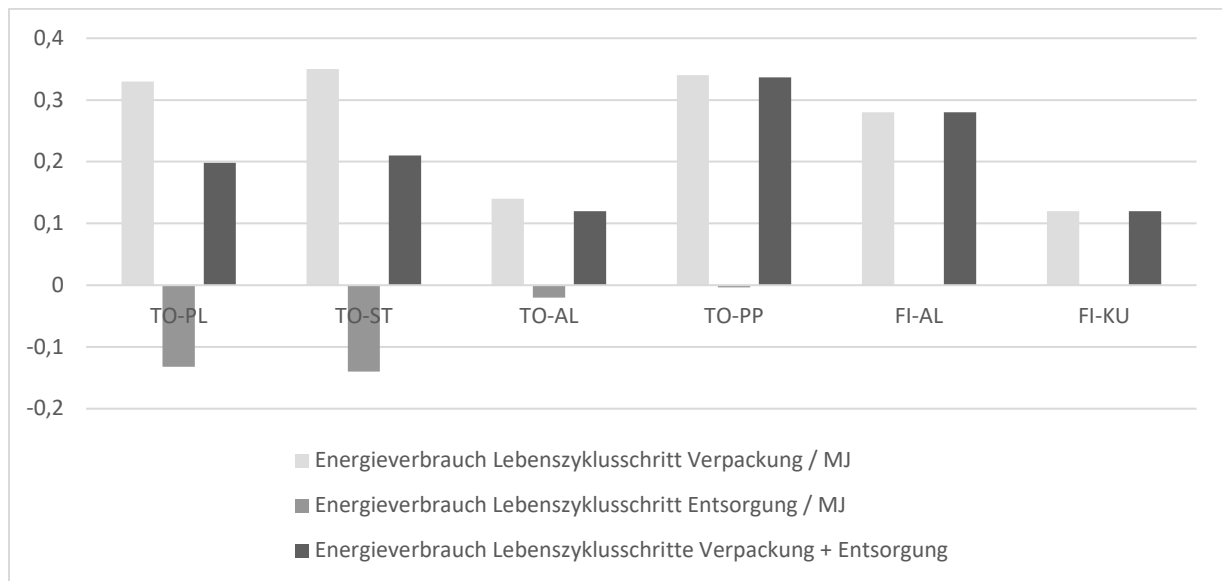
Der Vergleich anderer Wirkungskategorien über mehrere Studien hinweg, war aufgrund der unterschiedlich gewählten Wirkungskategorien nur bei den Kategorien „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“ (fossile Energieträger) sowie beim Wasserverbrauch möglich.

Betrachtet man die Wirkungskategorie „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“, so zeigt sich bei Figueiredo Tavares und Mourad (2020) ein anderes Bild als bei Tonelli et al. (2018), wie in Tabelle 14 bzw. Abbildung 22 dargestellt wird. Während bei Tonelli et al. (2018) die PP-Kapsel einen höheren Einfluss im Lebenszyklus hat und auch in der Entsorgungsphase keinen wesentlichen Vorteil bringt, hat bei der LCA von Figueiredo Tavares und Mourad (2020) die Aluminium-Kapsel einen wesentlich höheren Impact. Die Unterschiede können sich daraus ergeben, dass bei Tonelli et al. (2018) ebenso die Sekundärverpackung betrachtet wurde und sich daraus wesentlich schlechtere Daten für die Kunststoffkapsel ergeben. Jedenfalls ist der geringe Energieverbrauch der Aluminiumkapsel bei Tonelli et al. (2018) zu hinterfragen, da die Produktion von Aluminium sehr energieintensiv ist, was sich hier ebenfalls niederschlagen müsste und es in der Arbeit keinen Hinweis darauf gab, dass für die Kapselherstellung Sekundäraluminium verwendet wird. Hier wäre bis zu 95 % weniger Energie im Vergleich zur Herstellung von Primäraluminium nötig und könnte den geringen Wert erklären. Da Kaffeekapseln 2018 noch nicht mit Sekundäraluminium hergestellt wurden, wird es sich auch bei dieser LCA um Primäraluminium handeln.

**Tabelle 14 Wirkungskategorie Erschöpfung abiotischer Ressourcen - Überblick der relevanten Lebenszyklusabschnitte der betrachteten Kaffeekapseln**

| Quelle                                      | Kapsel-<br>typ             | Kurz-<br>name | Energie-<br>verbrauch<br>/ MJ pro<br>Tasse | Energieverbrauch<br>Lebenszyklusschritt<br>Verpackung |      | Energieverbrauch<br>Lebenszyklusschritt<br>Entsorgung |       | Energieverbrauch<br>Lebenszyklusschritte<br>Verpackung + Entsor-<br>gung |
|---------------------------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------|
|                                             |                            |               |                                            | MJ                                                    | %    | MJ                                                    | %     | MJ                                                                       |
| Tonelli et al. 2018                         | PLA-<br>Kapsel             | TO-PL         | 0,42                                       | 0,33                                                  | 79 % | -0,132                                                | -31 % | 0,198                                                                    |
| Tonelli et al. 2018                         | Stärke-<br>Kapsel          | TO-ST         | 0,43                                       | 0,35                                                  | 81 % | -0,14                                                 | -33 % | 0,21                                                                     |
| Tonelli et al. 2018                         | Alu-<br>Kapsel             | TO-AL         | 0,36                                       | 0,14                                                  | 39 % | -0,02                                                 | -6 %  | 0,12                                                                     |
| Tonelli et al. 2018                         | PP-<br>Kapsel              | TO-PP         | 0,66                                       | 0,34                                                  | 52 % | -0,0034                                               | -1 %  | 0,3366                                                                   |
| Figueiredo Tava-<br>res und Mourad,<br>2020 | Alu-<br>Kapsel             | FI-AL         | 0,38                                       | 0,28                                                  | 74 % | n/a                                                   | n/a   | 0,28                                                                     |
| Figueiredo Tava-<br>res und Mourad,<br>2020 | Kunst-<br>stoff-<br>Kapsel | FI-KU         | 0,29                                       | 0,12                                                  | 41 % | n/a                                                   | n/a   | 0,12                                                                     |

Weiters ist zu erwähnen, dass aus den Daten von Figueiredo Tavares und Mourad (2020) die Werte für den Lebenszyklusschritt Entsorgung lediglich grafisch verfügbar waren. Es handelt sich bei dieser Lebenszyklusbetrachtung allerdings nicht um einen positiven Effekt, ebenso konnte anhand der dargestellten Grafiken kein Unterschied in der Auswirkung der Entsorgung zwischen Aluminium und Kunststoff festgestellt werden.



**Abbildung 22 Energieverbrauch der Lebenszyklusschritte Verpackung und Entsorgung verschiedener KaffEEKapseln**

TO-AL = Alu-Kapsel, TO-PL = PLA-Kapsel, TO-PP = PP-Kapsel, TO-ST = Stärke-Kapsel, Werte der LCA nach Tonelli et al. (2018)

FI-AL = Alu-Kapsel, FI-KU = Kunststoff-Kapsel, Werte der LCA nach Figueiredo Tavares und Mourad (2020); Daten für den Lebenszyklusschritt Entsorgung nicht verfügbar

Allen Kapseln ist gemein, dass die Verpackung einen wesentlichen bzw. den Hauptanteil in dieser Wirkungskategorie ausmacht. Einzig bei der Alu-Kapsel von Tonelli et al. (2018) ist der Lebenszyklusschritt der Kaffeebereitstellung vor der Verpackung gereiht.

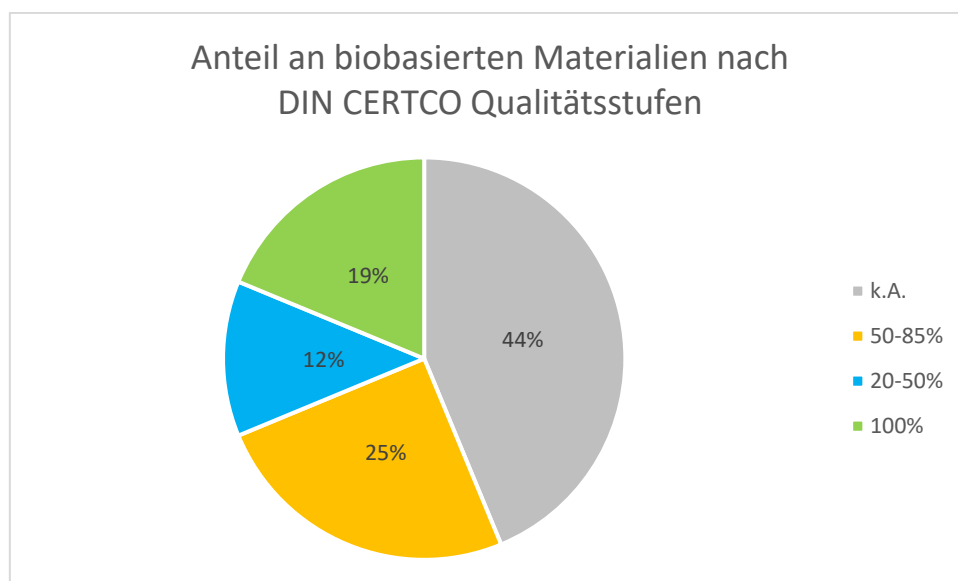
In der Wirkungskategorie Wasserverbrauch ergeben sich aus den von Quantis Suisse (2011) und Figueiredo Tavares und Mourad (2020) zwar komplett unterschiedliche Ergebnisse, die Tendenz der einzelnen Kapselmaterialien ist jedoch in beiden Studien gleich. Der Wasserverbrauch des Lebenszyklusschrittes Verpackung von Kunststoffkapseln ist größer als jener von Aluminiumkapseln. In der vergleichenden LCA von Quantis Suisse (2011) zeigt sich zudem, dass der Schritt Verpackung von biologisch abbaubaren Kapseln dem von nicht biologisch abbaubaren Kunststoffkapseln ähnlich ist.

#### 4.4 Diskussion: Finale Betrachtung des Materials für Kaffeekapseln aufgrund von Kreislaufwirtschaft und Lebenszyklusanalysen

**Aluminiumkapseln** können im Sinne der Kreislaufwirtschaft stofflich recycelt werden. Aluminium ist unendlich oft recycelbar, was eine gute Grundlage zur Erfüllung des Materialkreislaufs darstellt. Dies zeigt sich auch in den Kapseln des Herstellers Nespresso, deren Aluminiumanteil in den Kapseln bereits aus 80 % recyceltem Aluminium besteht. Für einen 100 %-igen Kreislauf müsste allerdings noch der Markt für Sekundäraluminium ausgebaut werden, wie es auch gemäß dem Aktionsplan der European Aluminium Association geplant ist als auch durch die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie erreicht werden soll (European Aluminium 2020; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021b). Es wird dafür allerdings nötig sein, das Ausmaß an Verunreinigungen durch unterschiedliche chemische Zusammensetzung des Aluminiumschrotts zu regulieren als auch geschlossene Systeme zur sortenreinen Erfassung von Aluminium geschaffen werden (Capuzzi und Timelli 2018; European Aluminium 2020). Dies würde eine größere Vielfalt an recycelten Produkten ermöglicht werden. Zeitgleich müssten jedoch auch die Sammelquoten von Aluminiumprodukten erhöht werden, um den Bedarf an Sekundäraluminium zu decken (European Aluminium 2020).

**Kunststoffkapseln** in der derzeitigen am Markt erhältlichen Form sind nicht im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu empfehlen. Selbst bei den beiden Kapseln, deren Kapselkörper aus PP besteht, war eine Membran aus Aluminium angebracht. Durch diese zusätzliche Komponente sind sie für ein stoffliches Recycling und damit für die Kreislaufwirtschaft nicht geeignet, da bei den derzeitigen Recyclingverfahren zumindest ein Werkstoff dem Materialkreislauf verloren gehen würde. Bei den anderen erhältlichen Kapseln konnte das Material der Kapsel nicht eruiert werden. Es ist aufgrund der Produkteigenschaften von Kunststoff jedoch davon auszugehen, dass es sich um Materialverbunde und keine Monomaterialien handelt und sie damit nicht stofflich recycelt, sondern im besten Falle für Downcycling, etwa die Herstellung von Gießkannen, verwendet werden können.

**Kompostierbare Kapseln** ermöglichen keinen direkten Materialkreislauf, dieser wird über den Umweg der Kompostierung ermöglicht. Der Umweg über die Kompostierung erlaubt es, wieder Kompost für die Pflanzung neuer Rohstoffe zu verwenden. Es ist hier allerdings klar zu erwähnen, dass dies nur für Materialien gilt, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Kompostierbare Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen entsprechen nicht dem Sinne der Kreislaufwirtschaft, da der Rohstoff Erdöl so dem Kreislauf entzogen wird. Die Marktanalyse hat ergeben, dass derzeit ausschließlich die Kapseln von 3 Herstellern zu 100 % aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen und damit die Anforderungen an den erweiterten Materialkreislauf erfüllen. Eine Auswertung des Anteils an biobasierten Materialien in den Kapseln angelehnt an die von DIN CERTCO verwendete Klassifizierung ist in Abbildung 23 dargestellt (DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH o.D.). Die Klasse „>85 %“ wurde durch „100 %“ ersetzt, da es keine Kapseln gab, die mehr als 85 %, aber weniger als 100 % aus biobasierten Rohstoffen bestehen.



**Abbildung 23 Anteil an biobasierten Materialien in den in der Marktanalyse behandelten Kaffeekapseln gem. Qualitätsstufen angelehnt an DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH (o.D.)**

Es zeigt sich hier, dass bei mehr als 2/3 der am Markt erhältlichen Kapseln kein erweiterter Materialkreislauf möglich ist, da es im Falle einer Kompostierung zum Verlust von fossilen Rohstoffen für den Materialkreislauf kommt.

Bei der Betrachtung der Kreislaufwirtschaft ist jedoch zu erwähnen, dass Kaffeekapseln gemäß Verpackungsverordnung als „Nicht-Verpackung“ gewertet werden. Dies

bedeutet, dass sie nicht über die Sammlung und Verwertung für Metall- bzw. Kunststoffverpackungen entsorgt werden dürfen und daher vorher behandelte Materialkreisläufe in der öffentlichen Verpackungssammlung rein theoretischer Natur sind. Rechtlich wäre der korrekte Entsorgungsweg über den Restmüll. Nespresso, JDE und Eduscho haben deshalb private Sammelsysteme für gebrauchte Kaffeekapseln etabliert, wobei jenes von Eduscho nicht für die Nespresso-kompatiblen Kapseln geeignet ist. Sowohl bei dem System von Nespresso als auch bei dem von JDE werden Aluminiumkapseln stofflich verwertet und der Kaffeesatz zu Biogas vergoren (Nespresso Österreich GmbH & Co OHG 2021; Jacobs Douwe Egberts o.D.). Nespresso hat zudem mit einigen Abfallverbänden in Österreich Vereinbarungen getroffen, die eine Mitsammlung im öffentlichen System erlauben (Nespresso Österreich GmbH & Co OHG 2021). Es wird hier somit ein Materialkreislauf aufgrund von Initiativen einzelner Hersteller theoretisch möglich. Kompostierbare Kapseln sind ebenso über den Restmüll zu entsorgen, eine Entsorgung über die Biotonne und damit die industrielle Kompostierung sind in Österreich nicht zulässig. Einzig Kapseln, die als heimkompostierbar klassifiziert sind, dürfen einer Kompostierung zugeführt werden, dienen so allerdings auch nicht direkt dem Materialkreislauf, da Heimkompost nicht wieder in die industrielle Landwirtschaft einfließt.

Würden für alle Kapselarten geeignete und flächendeckende Sammel- und Verwertungsmöglichkeiten bestehen, die einen Stoffkreislauf ermöglichen, so wären Aluminiumkapseln oder kompostierbare Kaffeekapseln aus Sicht der Kreislaufwirtschaft zu favorisieren. Um die relevanten Vorteile jedoch nutzen zu können, wäre eine Erweiterung der Sammelstruktur für Aluminiumkapseln nötig, als auch eine Adaptierung der Kompostieranlagen, sodass kompostierbare Kapseln sowohl erlaubt werden, aber auch die Rottezeiten entsprechend lang wären, dass eine industrielle Kompostierung vollständig ablaufen könnte.

Unter Berücksichtigung der **Umweltauswirkungen** anhand von Lebenszyklusanalysen zeigt sich ein ähnliches Bild im Vergleich zur Betrachtung anhand der Kreislaufwirtschaft.

**Nicht biologisch abbaubare Kaffeekapseln** schneiden in den betrachteten LCAs in der Wirkungskategorie Klimawandel schlechter ab als die anderen Kapselmaterialien.

Dies liegt vor allem daran, dass für die Herstellung Erdöl und dessen energieintensive Herstellung einen wesentlichen Beitrag dazu leisten. Außerdem kann es im Vergleich zur energieintensiven Herstellung mit Aluminium darauf zurückzuführen sein, dass für die Herstellung einer Kunststoffkapsel mehr Material eingesetzt werden muss im Vergleich zur Aluminiumkapsel (vgl. Figueiredo Tavares und Mourad (2020) mit 3,25 g Verpackungsgewicht der Kunststoffkapsel im Vergleich zu 1,15 g für die Aluminiumkapsel). Zeitgleich kommt es durch die fehlende Recyclinginfrastruktur zu keinem positiven Effekt durch stoffliches Recycling, wie es etwa bei den Aluminiumkapseln möglich ist. In der Wirkungskategorie „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“, dem Energieverbrauch in MJ, ergibt sich in den betrachteten Studien ein differenziertes Bild. Während in der Studie von Figueiredo Tavares und Mourad (2020) Kunststoffkapseln mit 0,12 MJ für die Verpackungsherstellung angeführt werden, wurden in der Studie von Tonelli et al. (2018) 0,34 MJ herangezogen, somit fast der dreifache Wert. Eine mögliche Erklärung wäre die Sekundärverpackung, welche bei Figueiredo Tavares und Mourad (2020) nicht erwähnt wird, während bei Tonelli et al. (2018) eine Sekundärverpackung aus einem Materialverbund mit Aluminiumbeschichtung angenommen wurde, welche ebenfalls zu einem hohen Verbrauchswert beiträgt. Es sollten daher für weitere LCAs sowohl Primär- als auch Sekundärverpackung betrachtet und explizit erwähnt werden, um einen Vergleich zwischen den einzelnen Kapseln zu ermöglichen.

Auch bei **Aluminiumkapseln** nimmt die Verpackung an der Auswirkung des gesamten Lebenszyklus einen wesentlichen Teil ein. Es kommt jedoch durch Aluminiumrecycling sowie die Nutzung des Kaffeesuds etwa zur Biogasproduktion zu positiven Effekten, die durch die Erhöhung von Sammel- und Verwertungsquoten noch weiter gesteigert werden können. Ebenso ließen sich durch die Nutzung von recyceltem Aluminium die Auswirkungen der Verpackungsherstellung verringern, was sich wiederum positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz einer Kapsel auswirkt. In der Betrachtung der Wirkungskategorie „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“ nach Figueiredo Tavares und Mourad (2020) zeigt sich, dass die Herstellung von Aluminium sehr energieintensiv ist und zu 74 % am gesamten Energieverbrauch pro Tasse Kaffee verantwortlich ist. Auch dieser Wert könnte durch Recycling reduziert werden, verbraucht das Recycling von Aluminium doch wesentlich weniger Energie im Vergleich zur Nutzung von Primäraluminium.

Aluminiumkapseln schneiden in der Kategorie Wasserverbrauch zudem besser ab, im Vergleich zu Kunststoff- oder kompostierbaren Kapseln.

Im Fall von **kompostierbaren Kapseln** spielt die Entsorgung die Hauptrolle. Das Material allein liefert keinen wesentlichen Vorteil im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen, die Auswirkungen in den Wirkungskategorien Klimawandel und Erschöpfung abiotischer Ressourcen sind sehr ähnlich (vgl. Abbildung 20, Abbildung 21, Abbildung 22). Erst durch die Entsorgung kann im Vergleich zu nicht biologisch abbaubaren Kaffee kapseln ein Vorteil erzielt werden. Dieser kommt jedoch nicht vom Kapselmaterial, sondern dem Kaffeesud. Die Auswirkungen in der Kategorie Klimawandel sind zudem je nach Kapselmaterial unterschiedlich, wie in einer Studie von Hermann et al. (2011) dargestellt wird. So schneidet bei allen Materialien eine Verwertung über Biogasanlagen am besten ab, da der Zusatznutzen der Energiegewinnung sich ebenfalls positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz auswirkt. Der Gärrest kann anschließend ebenso als Dünger ausgebracht werden. Heimkompostierung ist nicht für alle Kapselmaterialien möglich, zeigte jedoch in der Kategorie Klimawandel geringere Auswirkungen im Vergleich zur industriellen Kompostierung, wobei nicht alle Materialien für die Heimkompostierung geeignet sind.

## 5 Einfluss auf die Produktqualität

Neben der Betrachtung der Umweltparameter spielt auch der Produktschutz und der Erhalt der Qualität eine wichtige Rolle bei der Wahl des Verpackungsmaterials.

Qualität und Qualitätskaffee haben in den letzten Jahren an Wichtigkeit gewonnen. Ebenso haben der Begriff des Qualitätskaffees und die zugehörige Community in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung zugenommen. Grundlegend dabei ist jedoch, dass es keine einheitliche Definition dafür gibt, was eigentlich die Qualität eines Kaffees beschreibt, bzw. wird diese auch je nach Abteilung, von der Produktion bis hin zu Marketing, unterschiedlich interpretiert (Yeretzian et al. 2017; Oude Ophuis und van Trijp 1995). Kaffeebohnen als landwirtschaftliches Produkt sind in ihren Eigenschaften abhängig von vielen Faktoren, wie der Anbauregion, klimatischen Bedingungen, Bodenzusammensetzung, Sorte des Kaffees (Genetik) sowie landwirtschaftlichen Praktiken. Eine einheitliche Definition von Qualität ist daher schwer umsetzbar und wird am

häufigsten als Zusammenspiel von physikalischen, chemischen und sensorischen Eigenschaften beschrieben (Mori et al. 2003; Deliza 2019).

## 5.1 Subjektive Qualitätsfaktoren

Neben der „Erfüllung des Kundenwunsches“, wie Qualität gem. ISO 9000 ff. im klassischen Qualitätsmanagement definiert wird, spielen noch andere Faktoren einen Einfluss auf die wahrgenommene Qualität des Kunden. Diese subjektiven Kriterien wurden auch die vier „P“ genannt – Perception, Product, Person, Place (Oude Ophuis und van Trijp 1995):

- Perception – Wahrnehmung  
Bei der Wahrnehmung werden einem Produkt anhand geglaubter oder bereits vorhandener Erfahrungen Eigenschaften zugeschrieben, die die wahrgenommene Qualität beeinflussen.
- Product – Produkt  
Das Produkt bzw. die Produktkategorie selbst beeinflussen die Qualitätsfaktoren. So spielt der Fettgehalt bei Obst und Gemüse keine Rolle, bei anderen Lebensmitteln, etwa Milchprodukten, zählt dies zu wesentlichen Qualitäts- und Produkteigenschaften.
- Person  
Qualität ist oft sehr subjektiv. Die urteilende Person legt Qualität für sich selbst u.a. aus Erfahrungen, Präferenzen, Geschmacksempfinden fest.
- Place – Kontext  
Ein Lebensmittel kann je nach Kontext von hoher oder geringer Qualität sein, so werden grüne Nüsse für die Herstellung von Nussschnaps von hoher Qualität gesehen, für den Konsum allerdings nicht.

Eine weitere Reihe von Faktoren wie etwa Produktverfügbarkeit, Preis, Gütesiegel (z.B. Bio- oder Fairtrade-Logos), sozialer Status aber auch die Umgebung spielen ebenso eine Rolle bei der Bewertung von Qualität (Kim et al. 2016; Steenkamp 1990). So schmecken Lebensmittel im Urlaub am Strand häufig anders, meist besser, als wieder zu Hause in gewohnter Umgebung – dies liegt ganz klar am Kontext der Konsumation und wohl weniger an tatsächlichen Qualitätsverlusten eines Produkts.

## 5.2 messbare Qualitätskriterien

Neben sehr individuellen Qualitätskriterien, wie in Kapitel 5.1 präsentiert, gibt es eine Reihe von Faktoren und Produkteigenschaften, die messbar und daher objektive Qualitätskriterien darstellen. Neben den Produkteigenschaften der Kaffeebohnen selbst, die vorrangig durch Sorte, aber auch die Anbaubedingungen, beeinflusst werden, gibt es auch eine Reihe von Indikatoren, die die „Frische“ des Kaffees bewerten und so direkt von der Verpackung beeinflusst werden können. Unter Frische wird der kürzeste Weg vom Rösten der Kaffeebohnen bis zur Konsumation verstanden (Yeretzian et al. 2017). Hier wird der Begriff weiter gefasst und als Haltbarkeit generell, das Erreichen des Mindesthaltbarkeitsdatums, gesehen.

### 5.2.1 Einfluss des Klimas und der Kaffeebohnen-Art auf die Qualität

Die klimatischen Anbaubedingungen, vorrangig Temperatur und Luftfeuchtigkeit am gewählten Standort, beeinflussen sowohl Dichte der Kaffeebohne, als auch ihre sensorischen Eigenschaften (Lambot et al. 2017; Borém et al. 2019). Niedrige Durchschnittstemperaturen führen zu einem verspätetem Wachstum der Bohnen, was wiederum zur vermehrten Speicherung chemischer und biochemischer Stoffe und so zu einer Verbesserung des Kaffeearomas führt, wie auch eine Studie bestätigt, die in Costa Rica durchgeführt wurde (Vaast et al. 2006; Avelino et al. 2005).

*Coffea arabica* Bohnen, weithin bekannt als Arabica, weisen einen aromatischen, ausgewogenen und süß-fruchtigen Geschmack auf, welcher häufiger als bevorzugt wahrgenommen wird. Es gibt zudem bei Arabica-Bohnen keine typischen Geschmacksdefekte, wobei hier Getränke, die aus qualitativ minderen Bohnen hergestellt werden, häufiger einen höheren Säuregehalt und Geschmacksnoten enthalten, die als Defekt empfunden werden, wie das Vorhandensein von Phenol oder einem kartoffelartigen Geschmack (Krug et al. 1950).

*Coffea canephora*, dessen bekanntester Vertreter Robusta ist, wird vor allem mit holzigen, erdigen Noten in Verbindung gebracht (Teixeira et al. 2005).

Während Arabica-Bohnen in konstanten Klimabereichen über 1500 m Seehöhe die gewünschten Eigenschaften entfalten, wachsen Robusta-Bohnen vorwiegend in kühleren, nasseren Gegenden (Lambot et al. 2017).

## 5.2.2 Einfluss von Rösten und Mahlen auf die Produktqualität und Haltbarkeit

Sowohl die Röstung der grünen Kaffeebohnen als auch das Mahlen haben durch die ablaufenden physikalischen und chemischen Prozesse und Verarbeitungsschritte einen direkten Einfluss auf die Haltbarkeit und damit die Produktqualität, etwa durch die Entwicklung und Freisetzung der typischen Aromen und anorganischen Gase, vor allem CO<sub>2</sub> (Manzocco et al. 2011; Yeretizian et al. 2017). Tabelle 15 gibt einen schematischen Überblick über die Prozesse sowie deren finale Effekte auf den Kaffee.

Beim Rösten werden die Kaffeebohnen in Röstern auf Temperaturen von min 190°C bis zu 250°C erhitzt. Dabei werden Wasser entzogen, aber auch die Textur und Farbe der Kaffeebohnen geändert, um Aromen entstehen zu lassen und die Porosität der Kaffeebohnen zu erreichen, die für die weitere Verarbeitung notwendig sind (Schenker und Rothgeb 2017; Manzocco et al. 2011).

**Tabelle 15 Effekte der Verarbeitungsschritte (mod. nach Manzocco et al. (2011))**

| Verarbeitungsschritt | Prozesse                                                                                                                    | Effekte                                                                                                                                                                              |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rösten               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserentzug</li> <li>• Nicht-enzymatische Bräunung</li> <li>• Pyrolyse</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Farbänderung (Bräunung) und Vergrößerung der Bohne</li> <li>• Bildung und Freisetzung flüchtiger Verbindungen und CO<sub>2</sub></li> </ul> |
| Mahlen               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion der Partikelgröße</li> </ul>                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenvergrößerung</li> <li>• Freisetzung von CO<sub>2</sub> und flüchtigen Verbindungen</li> </ul>                                    |

Beim Mahlen werden die gerösteten Kaffeebohnen in kleinere Bestandteile zerkleinert. Dies dient der Oberflächenvergrößerung, um wasserlösliche Bestandteile bei der Extraktion schneller und in größerer Anzahl lösen zu können (Petracco 2005).

#### 5.2.2.1 Chemische Veränderungen

Beim Rösten der Kaffeebohnen laufen eine Vielzahl von Reaktionen ab, am wesentlichsten sind aber Maillard-Reaktion, Strecker-Abbau, Pyrolyse und Karamellisierung der Bohnen (Schenker und Rothgeb 2017). Sowohl aus der Pyrolyse als auch aus der Maillard-Reaktion entstehen eine Reihe von Gasen, am dominantesten ist hier  $\text{CO}_2$ , welches teilweise noch während des Röstvorgangs freigesetzt wird, aber auch in der nun porösen Struktur der Kaffeebohnen gespeichert wird (Yeretzian et al. 2017). Die in der Struktur gespeicherten Gase werden während der Lagerung langsam freigesetzt, man spricht hier von der Entgasung des Kaffees (vgl. Kapitel 5.2.3.1).

Kaffee besteht aus etwa 1000 flüchtigen Aromen, die vorwiegend von reaktionsfreudigen Verbindungen mit Thiolen, Dionen, Aldehyden und Vinyl Derivaten gebildet werden (Glöss et al. 2014; Schenker und Rothgeb 2017; Yeretzian et al. 2017). Es sei hier aber auch erwähnt, dass neben den reaktiven Komponenten auch jene mit antioxidativen Eigenschaften gebildet werden, der Einfluss dieser Substanzen als auch die gesamten oxidativen Reaktionen, die während des Kaffeeröstens von statten gehen, sind bis jetzt allerdings noch nicht komplett untersucht (Manzocco et al. 2011). Melanoide sind vorwiegend für ihre antioxidativen Eigenschaften bekannt, hingegen haben farblose Verbindungen, welche während früher Phasen der Maillard-Reaktion gebildet werden, eher pro-oxidative Eigenschaften und sind in den meisten Fällen Radikale (Nicoli und Savonitto 2005; Namiki 1990).

### 5.2.3 Einfluss der Lagerung auf die Produktqualität und Haltbarkeit

Grundlegend sind geröstete Kaffeebohnen ein durchwegs stabiles Produkt, das, aufgrund der geringen Wasseraktivität und die hohen Temperaturen während der Röstung, keinen enzymatischen oder mikrobiell bedingten Verderb erleidet (Nicoli und Savonitto 2005; Anese et al. 2006). 2014 wurde Kaffee daher neben anderen Lebensmitteln seitens der Europäischen Union als ein Lebensmittel vorgeschlagen, bei dem das Mindesthaltbarkeitsdatum entfernt werden sollte. Dies wurde, auch aufgrund verschiedener Statements von Konsumentenschutzorganisationen, jedoch nicht umgesetzt (Ver-  
ein für Konsumenteninformation 2014).

Auch wenn Kaffee nicht im klassischen Sinn verdirbt, kommt es bei der Lagerung zu verschiedenen Abläufen, die die Qualität und Akzeptanz der Konsumenten beeinflussen (Nicoli und Savonitto 2005):

- Oxidation
- Verlust flüchtiger Verbindungen, die für das Aroma verantwortlich sind
- Freisetzung flüchtiger Verbindungen, die den Geschmack negativ beeinflussen und so Geschmacksfehler verursachen
- Freisetzung von CO<sub>2</sub>
- Migration von Öl an die Oberfläche

Durch Einflüsse wie Sauerstoff, Temperatur und Feuchtigkeit werden diese Prozesse begünstigt, die Wahl des richtigen Verpackungsmaterials oder auch die Nutzung von sogenannten Schutzatmosphären während des Verpackungsvorgangs sind daher essentiell, um sie zu verhindern bzw. hinauszuzögern (Manzocco et al. 2011; Yeretjian et al. 2017).

#### *5.2.3.1 Externe Einflüsse – Licht, Temperatur, Feuchtigkeit*

Die Lagertemperatur beeinflusst den Ablauf von Reaktionen, so konnte gezeigt werden, dass die Freisetzung von flüchtigen Verbindungen pro Temperatursprung um 10°C um das 1,5-fache anstieg (Nicoli und Savonitto 2005). Somit zeigt sich, dass die Lagerung bei geringeren Temperaturen Reaktionen verringern und so eine Geschmacksveränderung hinauszögern kann (Yeretjian et al. 2017).

Gerösteter und gemahlener Kaffee hat durch die größere Oberfläche eine wesentlich größere Wasseraufnahmefähigkeit im Vergleich zu ganzen Bohnen (Nicoli und Savonitto 2005). Sollte Wasser aufgenommen werden und der Wassergehalt zu stark ansteigen, kann es wiederum zu mikrobiellem Verderb kommen. Die Verpackung sollte daher die Aufnahme von Wasser verhindern.

Eine Studie von Cardelli und Labuza (2001) hat gezeigt, dass die Temperatur im Vergleich zur Feuchtigkeit eine geringere Rolle spielt. Es sollte lediglich darauf geachtet werden, dass die Temperatur konstant gehalten wird und keine regelmäßigen

Temperatursprünge, etwa durch Temperaturunterschiede von Tag und Nacht, zustande kommen (Nicoli und Savonitto 2005).

Licht spielt bei vielen chemischen Reaktionen eine katalytische Rolle, so auch beim Qualitätsverlust von Kaffee (Nicoli und Savonitto 2005). Kaffee wird daher stets vor Licht geschützt verpackt, um Reaktionen nicht noch zu begünstigen.

#### *5.2.3.2 Entgasung*

Das während des Röstens gebildete CO<sub>2</sub> wird in der porösen Struktur der Bohne gespeichert und anschließend kontinuierlich über Wochen während der Lagerung freigesetzt (Nicoli und Savonitto 2005). Dieser Vorgang läuft bei geröstetem und gemahltem Kaffee wesentlich schneller ab im Vergleich zu ganzen Bohnen, so ist die Konzentration an CO<sub>2</sub> bereits nach 20 Tagen von 40 % auf unter 10 % abgefallen (Nicoli et al. 1993). Es kann somit verallgemeinert gesagt werden, dass ein hoher CO<sub>2</sub>-Gehalt in den Bohnen darauf hindeutet, dass der Röstprozess erst kurz vorbei ist (Yeretzian et al. 2017).

Die kontinuierliche Freisetzung von CO<sub>2</sub> kann ein Problem bei der Lagerung in einer Verpackung darstellen, da diese gesprengt oder deformiert werden kann (Nicoli und Savonitto 2005). Um dies zu verhindern, werden in Packungen von ganzen Bohnen häufig kleine Ventile eingebaut oder nach dem Röstvorgang die Bohnen in speziellen Silos zur Entgasung gelagert (Schenker und Rothgeb 2017; Manzocco et al. 2011).

#### *5.2.3.3 Oxidationsprozesse*

Kommt gerösteter Kaffee mit Sauerstoff in Verbindung laufen verschiedene Oxidationsprozesse ab, die wiederum zu Geschmacksfehlern führen können (Nicoli und Savonitto 2005; Yeretzian et al. 2017). Diese Reaktionen nehmen mit steigendem Sauerstoffdruck, Temperatur und Wassergehalt zu (Nicoli und Savonitto 2005; Cardelli und Labuza 2001).

#### *5.2.3.4 Entstehung und Abbau flüchtiger Verbindungen*

Die für das Aroma verantwortlichen Verbindungen sind nicht stabil und können daher durch verschiedene Stufen der Oxidation beeinflusst werden (Nicoli und Savonitto

2005). Der Qualitätsverlust bezieht sich allerdings nicht ausschließlich auf den Verlust dieser Verbindungen, es spielt auch die Entstehung neuer Verbindungen eine Rolle, die als Geschmacksfehler empfunden werden (Yeretzian et al. 2017; Steinhart und Holscher 1991; Nicoli et al. 1993). Bei Steinhart und Holscher (1991) wurde als wesentlichster Faktor Methanthiol festgelegt, da es flüchtig und äußerst reaktiv ist, daher schnell oxidiert. Abbildung 24 zeigt den Abbau von flüchtigen Verbindungen über einen Lagerzeitraum von 100 Tagen, wobei gezeigt wird, dass die meisten Verbindungen bereits nach 20-30 Tagen stark abgenommen haben (Nicoli und Savonitto 2005).

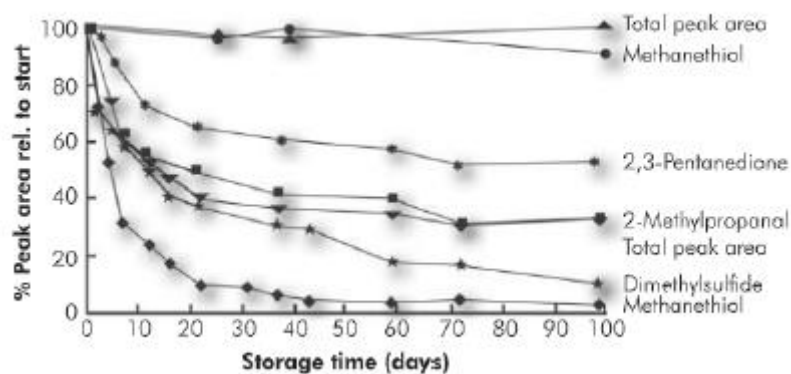


Abbildung 24 Abbau flüchtiger Verbindungen (Nicoli und Savonitto 2005)

Methanthiol wird häufig in Studien als Frischeindikator herangezogen (Yeretzian et al. 2017; Marin et al. 2008; Glöss et al. 2014). Dies liegt vor allem daran, dass es schnell mit anderen Stoffen reagiert und als sehr flüchtig gilt (Yeretzian et al. 2017).

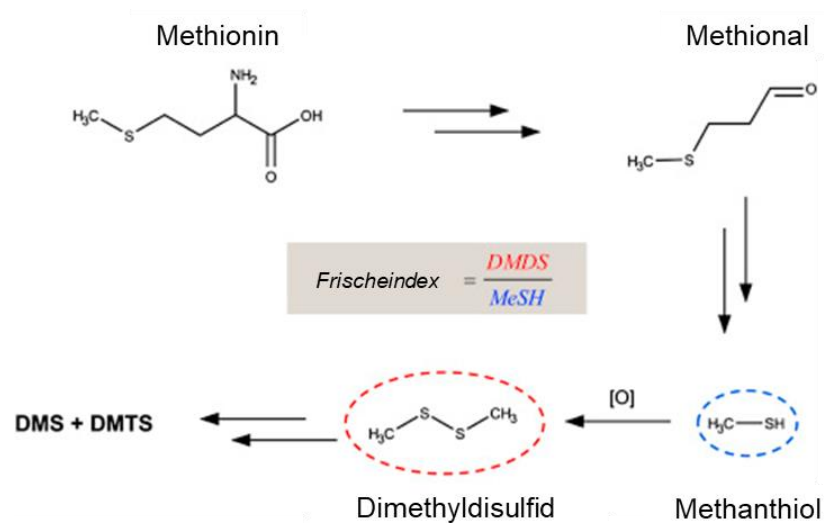


Abbildung 25 Reaktionsschema von Methionin zu Methanthiol und Dimethyl-Disulfid (mod. nach Yeretzian et al. (2017))

Der Verlust von flüchtigen Verbindungen ist allerdings nicht allein auf Oxidation und ihre Instabilität zurückzuführen, sondern auch darauf, wie sie in den Zellen gebunden sind (Nicoli und Savonitto 2005).

#### *5.2.3.5 Lipidabbau*

Kaffeebohnen enthalten von Natur aus Fett, weshalb eine Spaltung der Fette unweigerlich zum Ranzig-werden von Kaffeebohnen führen kann. Durch das beim Rösten entstehende CO<sub>2</sub> wird zunächst eine Barriere gebildet, die den Abbau von Fettsäuren verhindert und diese in den Bohnen festhält (Nicoli und Savonitto 2005). Mit zunehmendem Fortschreiten der Entgasung können die antioxidativen Elemente den Abbau ungesättigter Fettsäuren nicht mehr verhindern, was am Ende dazu führt, dass die Kaffeebohnen ranzig werden (Steinhart et al. 2001; Nicoli und Savonitto 2005).

### **5.3 Einfluss der Verpackung auf Qualitätsindikatoren**

Wie in den vorigen Kapiteln beschrieben, laufen sowohl beim Rösten als auch während der Lagerung eine Reihe von Prozessen ab, die die verschiedenen Eigenschaften des Kaffees beeinflussen. Werden die Entgasung als auch die Entwicklung des Aromaprofils nicht entsprechend kontrolliert, kommt es zu unerwünschten Aromaveränderungen des Kaffees, Imbalancen im Aroma und somit zu einem wahrgenommenen „Qualitätsverlust“ (Yeretzian et al. 2017).

Sowohl die Verflüchtigung der Aromen als auch die Oxidation können durch die Wahl des Verpackungsmaterials und dessen Barriereigenschaften direkt beeinflusst werden. Um Oxidation zu verhindern spielt zudem die Atmosphäre im Verpackungsmaterial eine Rolle. Bei geröstetem und gemahlenem Kaffee laufen Prozesse, die zum Qualitätsverlust führen, im Regelfall schneller ab, da die Oberfläche im Vergleich zu ganzen Bohnen wesentlich größer ist; es kann hier bereits nach wenigen Stunden zu ersten Änderungen im Geruch kommen (Nicoli und Savonitto 2005). Bei portioniertem Kaffee ist daher besonderes Augenmerk auf die Verpackung und die Verpackungskonditionen zu legen, da nur geringe Mengen von Kaffee verpackt werden und daher Qualitätsverluste schneller bemerkbar werden.

### 5.3.1 Verwendung von modifizierten Atmosphären

In der Kaffeeindustrie ist es aufgrund der geringen Haltbarkeit von geröstetem und gemahlenem Kaffee unter normalen Luftverhältnissen üblich, diesen unter sogenannter Schutzatmosphäre zu verpacken (Manzocco et al. 2011). Dies zeigt sich auf bei der durchgeführten Marktanalyse, da 27 von 36 KaffEEKapseln die Angabe hinsichtlich Verpackung unter Schutzatmosphäre trugen (vgl. Tabelle 16). Interessant ist hierbei, dass ausschließlich biologisch abbaubare oder Kunststoffkapseln keinen Hinweis dazu tragen bzw. nicht unter Schutzatmosphäre verpackt wurden. Beim Verpacken unter Schutzatmosphäre werden die ursprünglich in der atmosphärischen Luft enthaltenen Anteile an Sauerstoff, Kohlendioxid und Stickstoff adaptiert, um folgende Eigenschaften zu erzielen (Floros und Matsos 2005):

- Reduktion unerwünschter physiologischer, chemischer, biochemischer und physikalischer Änderungen in Lebensmitteln
- Verhinderung der Kontamination des Produkts
- Kontrolle des Wachstums von Mikroorganismen

Hierzu wird unter Erzeugung eines Vakuums die vorhandene Luft entfernt, bevor das gewünschte Gasgemisch eingeströmt wird und es so bei einer dichten Verpackung zu keiner weiteren Änderung der packungsinternen Atmosphäre kommt (Floros und Matsos 2005). In der Kaffeeproduktion wird der Anteil von Sauerstoff in den KaffEEKapseln reduziert, um Oxidationsvorgänge im Endprodukt zu limitieren und so negative sensorische Einflüsse zu verhindern (Spanu et al. 2016; Yeretizian et al. 2017).

Nespresso fügt etwa den Kapseln  $N_2$  und  $CO_2$  anstelle des  $O_2$  zu, um Oxidation des Kaffees zu verhindern (Quantis Suisse 2011). Auch 26 andere in Österreich erhältlichen Kapseln trugen den gem. Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 verpflichteten Hinweis bei der Nutzung von Packgasen zur Verlängerung der Haltbarkeit.

### 5.3.2 Verpackungsmaterial

Das gewählte Material und dessen Barriere-Eigenschaften spielen einen wesentlichen Faktor für die Frische und Haltbarkeit des gerösteten und gemahlenen Kaffees in der

Kapsel, um den Zustrom von Sauerstoff zu verhindern bzw. das Entweichen von Aroma- oder Duftstoffen zu verhindern (Spanu et al. 2016).

Bei den Kapseln gem. Tabelle 1 wurde ebenso die Angabe zu Mindesthaltbarkeitsdatum als auch Verpackung unter Schutzatmosphäre geprüft, wie in Tabelle 16 dargestellt. Bei einigen Kapseln war es nicht möglich, das tatsächliche Haltbarkeitsdatum ab Produktion festzulegen, dies wurde dann anhand des Mindesthaltbarkeitsdatums auf den Verpackungen geschätzt. Schätzungen sind ebenso in der Tabelle als solche vermerkt. Das Ergebnis ist insofern überraschend, da die nachstehend beschriebene Studie von Glöss et al. (2014) klar gezeigt hat, dass Kunststoffkapseln bereits nach wenigen Monaten klare Verluste der Kaffeequalität mit sich bringen.

**Tabelle 16 Übersicht der Angaben zu Mindesthaltbarkeit und Schutzatmosphäre der KaffEEKapseln gem. durchgeführter Marktanalyse**

| <b>Kurzname</b> | <b>Haltbarkeit</b> | <b>Haltbarkeit anhand Mindesthaltbarkeitsdatum auf der Verpackung geschätzt</b> | <b>Unter Schutzatmosphäre verpackt?</b> |
|-----------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Alu-1           | 18 Monate          | NEIN                                                                            | JA                                      |
| Alu-2           | 24 Monate          | NEIN                                                                            | JA                                      |
| Alu-3           | 12 Monate          | JA                                                                              | JA                                      |
| Alu-4           | 24 Monate          | NEIN                                                                            | JA                                      |
| Alu-5           | 12 Monate          | JA                                                                              | JA                                      |
| Alu-6           | 12 Monate          | JA                                                                              | JA                                      |
| Alu-7           | 12 Monate          | JA                                                                              | JA                                      |
| Alu-8           | 12 Monate          | JA                                                                              | JA                                      |
| Alu-9           | 12 Monate          | NEIN                                                                            | JA                                      |
| Alu-10          | 12 Monate          | NEIN                                                                            | JA                                      |
| Alu-11          | 14 Monate          | JA                                                                              | JA                                      |
| Bio-1           | 18 Monate          | NEIN                                                                            | JA                                      |

| Kurzname | Haltbarkeit | Haltbarkeit anhand Mindesthaltbarkeitsdatum auf der Verpackung geschätzt | Unter Schutzatmosphäre verpackt? |
|----------|-------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Bio-2    | 18 Monate   | NEIN                                                                     | k.A.                             |
| Bio-3    | 9 Monate    | JA                                                                       | JA                               |
| Bio-4    | 12 Monate   | JA                                                                       | k.A.                             |
| Bio-5    | 9 Monate    | NEIN                                                                     | k.A.                             |
| Bio-6    | k.A.        | k.A.                                                                     | k.A.                             |
| Bio-7    | 18 Monate   | NEIN                                                                     | JA                               |
| Bio-8    | 12 Monate   | JA                                                                       | JA                               |
| Bio-9    | 12 Monate   | NEIN                                                                     | JA                               |
| Bio-10   | 13 Monate   | NEIN                                                                     | k.A.                             |
| Bio-11   | 12 Monate   | JA                                                                       | JA                               |
| Bio-12   | 18 Monate   | NEIN                                                                     | JA                               |
| Bio-13   | 18 Monate   | NEIN                                                                     | JA                               |
| Bio-14   | 18 Monate   | NEIN                                                                     | JA                               |
| Bio-15   | 18 Monate   | NEIN                                                                     | JA                               |
| Bio-16   | 18 Monate   | NEIN                                                                     | k.A.                             |
| Kun-1    | 18 Monate   | JA                                                                       | k.A.                             |
| Kun-2    | 12 Monate   | JA                                                                       | JA                               |
| Kun-3    | 24 Monate   | NEIN                                                                     | JA                               |
| Kun-4    | 12 Monate   | JA                                                                       | JA                               |
| Kun-5    | 12 Monate   | JA                                                                       | k.A.                             |
| Kun-6    | 12 Monate   | JA                                                                       | k.A.                             |

| Kurzname | Haltbarkeit | Haltbarkeit anhand Mindesthaltbarkeitsdatum auf der Verpackung geschätzt | Unter Schutzatmosphäre verpackt? |
|----------|-------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Kun-7    | 24 Monate   | NEIN                                                                     | JA                               |
| Kun-8    | 12 Monate   | JA                                                                       | JA                               |
| Kun-9    | 24 Monate   | NEIN                                                                     | JA                               |

Glöss et al. (2014) untersuchten als Frischeindikatoren in geröstetem und gemahltem Kaffee in Kaffee kapseln das Verhältnis Dimethyldisulfid zu Methanthiol sowie jenes von 2-Butanon zu Methanthiol. Bei diesem Versuch wurden handelsübliche Kaffee kapseln 46 Wochen bei Raumtemperatur gelagert. Untersucht wurden 4 unterschiedliche Kapseltypen, wie in Tabelle 17 dargestellt. Bei beiden untersuchten Parametern war Methanthiol die dominierende Substanz. Im Vergleich hierzu reagieren die anderen beiden Stoffe wesentlich geringer, weshalb jeweils das Verhältnis gemessen wurde.

**Tabelle 17 auf Frischeparameter untersuchte Kapseln der Studie von Glöss et al. (2014)**

| Kapsel   | Aufbau                                                                                                                                                       | Barriereeigenschaften durch:                               |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Kapsel A | PP/EVOH/PP Kapsel als auch Membran                                                                                                                           | EVOH                                                       |
| Kapsel B | PP/EVOH/PP Kapsel als auch Membran                                                                                                                           | EVOH                                                       |
| Kapsel C | PP-Kapsel, Papiermembran mit Aluminiumbeschichtung (0,03-0,05 mm)                                                                                            | Sekundärverpackung (Kapseln einzeln in Aluminium verpackt) |
| Kapsel D | Kapsel zu 99 % aus Aluminium mit dünner Schellack-Beschichtung, die für den Lebensmittelkontakt geeignet ist. Membran ebenfalls aus Aluminium (0,03-0,05 mm) | Aluminiumkapsel                                            |

Die Studie hat gezeigt, dass der Einfluss der Verpackung auf die Frische-Indikatoren erheblich ist, wie in Abbildung 26 dargestellt wird. Während bei Kapsel D fast keine

Veränderungen auftraten, veränderte sich bei den anderen Kapseln das Verhältnis der Substanzen signifikant. Lediglich Kapsel C, die als Sekundärverpackung Aluminium verwendet, zeigte bei der Messung des Verhältnisses 2-Butanon zu Methanthiol eine geringere Änderung verglichen mit den Kapseln A und B. Alle Messungen bei dem Versuch wurden 5-fach durchgeführt, wobei die Varianz bis zu 68 % betrug. Beachtenswert ist hierbei, dass Kapsel D die geringste Varianz zeigte, was darauf schließen lässt, dass hier die geringsten geschmacklichen Abweichungen von Kapsel zu Kapsel zu erwarten sind. (Glöss et al. 2014)

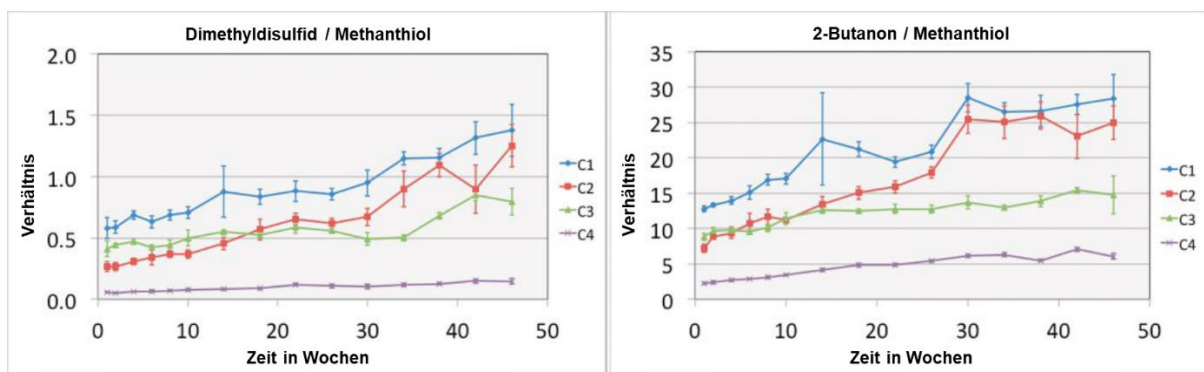


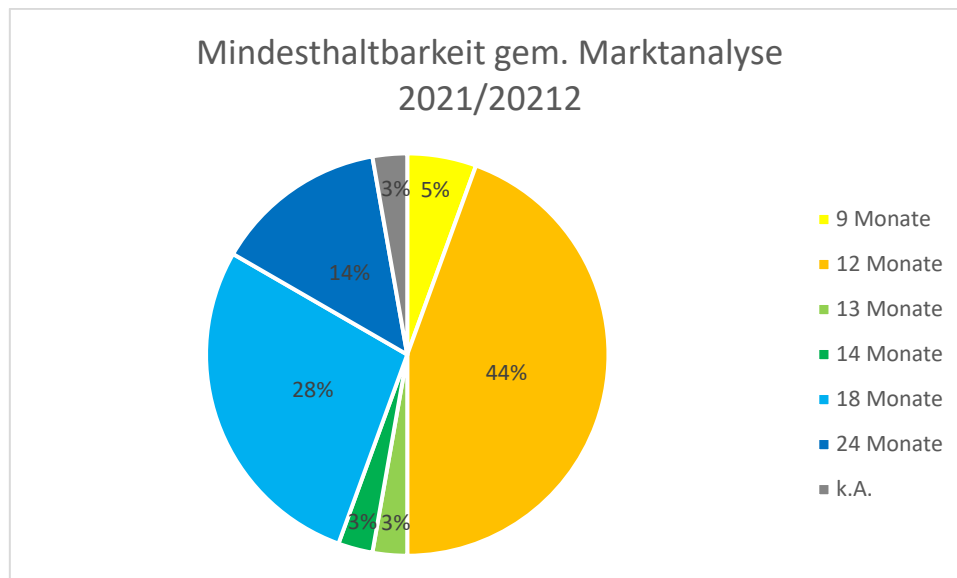
Abbildung 26 Einfluss der Verpackung auf ausgewählte Frischeindikatoren, Ergebnis (mod. nach Glöss et al. (2014))

## 5.4 Diskussion: Finale Betrachtung des Materials für KaffEEKapseln aufgrund der Produktqualität

Die oberste Prämisse bei der Wahl des Verpackungsmaterials ist die Verhinderung von Oxidation. Ein Mittel der Wahl ist hier die Verpackung unter einer veränderten Luftzusammensetzung, wie sich auch in der Marktanalyse gezeigt hat. So wurden 27 am Markt erhältliche Kapseln unter Schutzatmosphäre verpackt (vgl. Tabelle 16). Weiters wird über das verwendete Verpackungsmaterial der Produktschutz garantiert. Im Zuge dieser Arbeit wurde festgestellt, dass wenige Versuche zum Produktschutz im Hinblick auf KaffEEKapseln veröffentlicht wurden, weshalb sich die Ergebnisse vorwiegend auf einen von Glöss et al. (2014) durchgeführten Versuch beziehen. Zu kompostierbaren Kapseln konnten keine Studien gefunden werden, ebenso konnten lediglich von Kapsel Bio-4 Angaben hinsichtlich Sauerstofftransmissionsrate eruiert werden (Capsul'in Pro S.A. o.D.). Da nicht bekannt ist, welches Material genau zu Grunde liegt, können diese Daten nicht verifiziert werden und auch nicht mit jenen eines Reviews

von Peelman et al. (2013) verglichen werden, bei dem verschiedene Materialverbunde von Biokunststoffen unter anderem hinsichtlich Sauerstoff- und Wasserdampftransmissionsrate untersucht wurden. Während etwa eine PLA-Verpackung mit einer Wasserdampftransmission von 3,8 g/m<sup>2</sup>/24 h im Vergleich zu PP besser abschneidet (vgl. Tabelle 8; 10-12 g/m<sup>2</sup>/24 h), schneiden andere Materialverbunde hier schlechter ab (Kirwan et al. 2011; Peelman et al. 2013). Hinsichtlich Sauerstofftransmission kommt es ebenfalls stark auf den Materialverbund an, PLA wies bei dem zitierten Review 46,8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h auf und schneidet somit besser als PP ab (Peelman et al. 2013; Kirwan et al. 2011). Limitierend ist hier jedoch die unterschiedliche Folienstärke der beiden Studien, bei Kirwan et al. (2011) wurden 25 µm angenommen, bei Peelman et al. (2013) handelte es sich um einen Tray mit 200-300 µm Materialstärke. Einzig eine metallisierte PLA-Folie wies bei Peelman et al. (2013) eine Dicke von 20 µm auf, hatte allerdings ebenso eine Sauerstofftransmissionsrate von 25,4 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h und würde somit ebenfalls schlechter abschneiden im Vergleich zu einem Materialverbund aus PP und EVOH oder PVdC (Peelman et al. 2013; Kirwan et al. 2011). Für eine weitere Bewertung von kompostierbaren Kapseln und aufgrund der häufigen Nutzung von PLA in ebensolchen, wird daher nachfolgend angenommen, dass die Eigenschaften ähnlich zu jenen der bewerteten Kunststoffkapseln sind.

Die zitierte Studie von Glöss et al. (2014) hat gezeigt, dass Kunststoffkapseln alleine keine ausreichenden Barriere aufweisen, um die Frische von Kaffee über einen längeren Zeitraum zu garantieren. Umso erstaunlicher ist die Tatsache, dass Mindesthaltbarkeiten von 12 Monaten oder länger, wie in Abbildung 27 dargestellt, 92 % der am österreichischen Markt erhältlichen Haltbarkeit ausmachen. Lediglich zwei Kapseln, die nicht aus Aluminium hergestellt wurden, hatten dabei eine Sekundärverpackung mit Aluminiumbeschichtung, welche auch gem. der Studie von Glöss et al. (2014), einen guten Produktschutz liefert (vgl. Daten für Kapsel C in Abbildung 26).



**Abbildung 27 Mindesthaltbarkeiten gemäß durchgeführter Marktanalyse 2021/2022**

Anhand der Ergebnisse der Studie von Glöss et al. (2014) zeigt sich, dass, wie in Abbildung 26 dargestellt, Kunststoffkapseln erst ab einem Zeitraum von 15-20 Wochen signifikante Anstiege im Verhältnis der Frischeparameter zeigen. Aluminium ist daher vor allem dann zu wählen, wenn der Produktschutz über einen langen Zeitraum gegeben sein soll. Ist die Zeitspanne vom Rösten des Produktes bis zum Verzehr gering, etwa durch direkte Lieferketten und damit verbundene kurze Lagerzeiten, können auch andere Materialien den benötigten Produktschutz gewährleisten.

Bei dieser Betrachtung sei jedoch auch zu beachten, welche Kaffeevarietät verpackt wird. So hat eine Studie von Cincotta et al. (2020) gezeigt, dass Arabica Kaffee weniger reaktiv im Vergleich zu Robusta ist.

Unter Betrachtung handelsüblicher Liefer- und Lagerzeiten, trotz der langen Mindesthaltbarkeitsdaten wie in Tabelle 16 dargestellt, ist die Aluminiumkapsel das Mittel der Wahl. Sie ermöglicht ohne zusätzliche Barriere in der Sekundärverpackung einen Produktschutz von mindestens einem Jahr bei gleichbleibender Qualität des Kaffees in der Tasse.

## 6 Diskussion

Die Ergebnisse der Marktanalysen an KaffEEKapseln, die für das Nespresso-System kompatibel sind, im August 2021 sowie Februar 2022 zeigen, dass derzeit Kapseln aus industriell und/oder heim-kompostierbarem Material (kurz „kompostierbare Kapseln“) den größten Marktanteil ausmachen, mit knapp 45 % (vgl. Abbildung 1). Gefolgt werden sie von Aluminiumkapseln, die von 11 Marken angeboten werden. Kapseln aus nicht biologisch abbaubarem Kunststoff (kurz „Kunststoffkapseln“) spielen mit 9 Marken zwar numerisch noch eine wichtige Rolle, werden allerdings vorwiegend bei Eigenmarken oder Discounter verwendet.

In den Kapiteln 4.4 und 5.4 wurden bereits die Ergebnisse je Kapselart diskutiert. Die nachfolgende Diskussion beschäftigt sich daher ausschließlich mit dem direkten Vergleich aller Materialien.

Im Sinne der **Kreislaufwirtschaft** sind die entscheidenden Faktoren die vorhandene Sammel- und Verwertungsinfrastruktur sowie das verwendete Kapselmaterial. Lediglich Aluminiumkapseln oder zu 100 % aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Kapseln eignen sich, unter Berücksichtigung der gem. Marktanalyse erhältlichen Kapseln, grundlegend für einen Materialkreislauf. Die am Markt erhältlichen Kunststoffkapseln als auch 84 % der erhältlichen kompostierbaren Kapseln eignen sich nicht für einen Materialkreislauf. Bei den Kunststoffkapseln ist dies darauf zurückzuführen, dass sie aus Materialverbunden und/oder einem Kunststoffkörper mit Aluminiummembran bestehen und daher nicht stofflich verwertet werden können. Bei kompostierbaren Kapseln ergibt sich der Wert aus dem Anteil der Kapseln, die nicht zu 100 % aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen bzw. bei denen diesbezüglich keine Angabe gemacht wurde (vgl. Abbildung 23).

Unter Berücksichtigung der derzeit in Österreich vorhandenen Sammel- und Verwertungsstruktur ist die Bewertung noch differenzierter, da industriell kompostierbare Kapseln, trotz ihrer theoretischen Eignung, nicht in der Biotonne entsorgt werden dürfen und ebenso Aluminiumkapseln nur in bestimmten Regionen in die öffentliche Metallsammlung dürfen. Ansonsten ist die Entsorgung von Aluminiumkapseln nur über Sammel- und Verwertungssysteme, die von Herstellern ins Leben gerufen wurden, möglich

und ermöglichen so einen Stoffkreislauf von Aluminium. Dieser wird allerdings, trotz Nutzung von recyceltem Aluminium beim Marktführer Nespresso in seinen Kapseln, noch nicht geschlossen. Die Schließung des Stoffkreislaufs bei Aluminium ist jedoch anzustreben, da der Werkstoff unendlich oft recycelt werden kann und sich daher optimal für die Kreislaufwirtschaft eignet. Würde ein flächendeckendes Sammel- und Verwertungssystem für Aluminiumkapseln existieren, so wären Aluminiumkapseln im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu favorisieren.

Ist weder ein flächendeckendes Verwertungssystem noch die Schließung des Stoffkreislaufs möglich, wären heimkompostierbare Kapseln aus 100 % nachwachsenden Rohstoffen im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu empfehlen. Hier geht der entstehende Kompost zwar nicht direkt in die industrielle Landwirtschaft ein, allerdings ist dieser offene Kreislauf besser zu bewerten als eine thermische Verwertung. Zusätzlich könnten heimkompostierbare Kapseln als Ergänzung angeboten werden, um zu verhindern, dass Aluminium bei Entsorgung der Kapseln im Restmüll aus dem Wertstoffkreislauf entzogen wird.

Bei Betrachtung der Kapseln auf die **Umweltauswirkungen** zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Betrachtung der Kreislaufwirtschaft. So sind nicht biologisch abbaubare Kunststoffkapseln nicht zu favorisieren. Bei Aluminium- und kompostierbaren Kapseln kommt es wieder wesentlich auf die lokalen Rahmenbedingungen an, welches der beiden Materialien zu favorisieren ist.

Es sind zunächst die Materialien zu berücksichtigen, die für die Herstellung der Kapsel selbst verwendet werden. Primäraluminium hat hier höhere Auswirkungen als etwa die Nutzung von Sekundäraluminium, sowohl in den Kategorien Klimawandel als auch Nutzung abiotischer Ressourcen. Ebenso sind Kapseln aus kompostierbarem Material häufig nicht aus einem Werkstoff gefertigt, weshalb die Ergebnisse der betrachteten LCAs nicht 1:1 übernommen werden können. In keiner der betrachteten Studien wurden Sekundäraluminium noch am Markt tatsächlich erhältliche kompostierbare Kapseln bewertet, daher wäre auch dies in Zukunft zu erforschen, um bessere Vergleiche ziehen zu können.

Neben dem verwendeten Material spielt die Entsorgungsinfrastruktur ebenso eine entscheidende Rolle für die Betrachtung der Umweltauswirkungen in der Wirkungskategorie Klimawandel. Für Aluminiumkapseln ist das Vorhandensein eines Recyclingsystems essentiell, was sich bei den betrachteten Kapseln QU-AL und NA-AL zeigt. Diese erhalten u.a. durch das eigene Recycling System einen Wert von -5,0 g (QU-AL, 50 % Recyclingquote) bzw. -3,77 g (NA-AL, 31 % Recyclingquote) Benefit (Quantis Suisse 2019; Nespresso Österreich GmbH & Co OHG 2020). Eine Steigerung der Recyclingquote würde sich ebenso positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz des Produktes auswirken und ist daher von den Kapselherstellern anzustreben. Im Fall von kompostierbaren Kapseln handelt es sich bei den Betrachtungen hinsichtlich industrieller Kompostierung um theoretische Möglichkeiten, da dies keine Entsorgungsoption in Österreich darstellt. Würde es jedoch möglich sein, kompostierbare Kapseln über Biogasanlagen zunächst zu vergären und anschließend den Kompost der Landwirtschaft zuzuführen, wären die Umweltauswirkungen in der Wirkungskategorie Klimawandel ähnlich zu jenen der Aluminiumkapsel (vgl. Tabelle 13; Kapsel TO-ST mit 11,70 g CO<sub>2</sub>-eq im Vergleich zu NA-AL mit 10,53 g CO<sub>2</sub>-eq).

Weitere Wirkungskategorien waren in der Arbeit, wie in Kapitel 4.3.6.2 erläutert, nicht immer einheitlich gewählt. Es waren daher nur Vergleiche in den Wirkungskategorien „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“ als auch „Wasserverbrauch“ möglich. Die Vergleiche im Bereich „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“ haben verdeutlicht, dass kompostierbare Kapseln hier, unabhängig davon ob sie industriell kompostiert oder vergoren werden, einen größeren Benefit aus der Entsorgung generieren können im Vergleich zu Aluminiumkapseln oder Kunststoffkapseln (vgl. Tabelle 14). Hier sei jedoch zu berücksichtigen, dass bei TO-AL lediglich von einer Recyclingquote von 7 % ausgegangen wurde. Der Effekt wird für die in Österreich erzielte Recyclingquote von 33 % höher und damit ähnlich den Werten der kompostierbaren Kapseln TO-PL bzw. TO-ST des Energieverbrauchs im Lebenszyklusschritt Entsorgung sein.

In der Wirkungskategorie Wasserverbrauch schneiden Aluminiumkapseln im Bereich der Verpackung am besten ab. Sowohl Kunststoffkapseln als auch kompostierbare Kapseln haben hier einen höheren Verbrauch, welcher für beide Kapselarten ähnlich

ist. Ein Hauptgrund im Bereich der kompostierbaren Kapseln wird der Wasserverbrauch in der Landwirtschaft sein, der zum Wachstum der Pflanzen benötigt wird.

Somit sollten anhand der Umweltauswirkungen Aluminiumkapseln oder kompostierbare Kapseln gewählt werden. Wie bereits bei der Betrachtung der Kreislaufwirtschaft spielen die Sammlungs- und Verwertungsstruktur für Aluminium sowie die Nutzung von Sekundäraluminium eine wesentliche Rolle, um die Vorteile im Zuge der LCA im Vergleich zu den anderen Materialien geltend zu machen. Kompostierbare Kapseln können bei der Wahl des richtigen Materials und dem besten Entsorgungsweg besser abschneiden im Vergleich zu Aluminiumkapseln. Um diese Theorie jedoch gezielter oder mit größeren Datenmengen zu belegen, müssten zusätzliche Studien mit Kapseln, die tatsächlich am Markt erhältlich sind, durchgeführt werden, da die hier zitierten Studien ausschließlich theoretische Zusammensetzungen behandelt haben.

Wird der **Produktschutz** bewertet, spielt vor allem die angestrebte Haltbarkeit bei gleichbleibender Qualität die entscheidende Rolle. Trotz der langen Haltbarkeiten, die auf den am Markt erhältlichen Kaffeekapseln angebracht sind (vgl. Tabelle 16), bietet, unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Studie von Glöss et al. (2014), Aluminium den besten und längsten Produktschutz. Aluminium weist hier bereits zu Beginn der Produktlebensdauer die geringsten Verhältnisse der Frischeparameter Dimethyldisulfid / Methanthiol sowie 2-Butanon / Methanthiol auf und zeigt im Vergleich über knapp 50 Wochen lediglich beim Verhältnis von 2-Butanon zu Methanthiol einen signifikanten, wenn auch nur leichten Anstieg (Glöss et al. 2014). Rein unter Betrachtung des Produktschutzes wird daher die angestrebte Haltbarkeit der wesentliche Faktor für die Wahl des Materials sein, wobei auch bei einer kurzen Haltbarkeit zum Schutze des Produktes Aluminium zu favorisieren ist.

Werden nun alle Parameter – Kreislaufwirtschaft, Umweltauswirkungen als auch Produktschutz – gemeinsam betrachtet, sollten Aluminium- oder heimkompostierbare Kapseln aus 100 % nachwachsenden Rohstoffen bevorzugt werden. Kaffeekapseln aus nicht biologisch abbaubarem Kunststoff sind anhand der derzeit erhältlichen Materialien als auch der Sammel- und Verwertungsstruktur nicht zu bevorzugen. Beim Produktschutz spielt die angestrebte Mindesthaltbarkeit das wesentliche Kriterium, bei handelsüblichen Haltbarkeiten von 12 Monaten oder länger, ist es jedoch fraglich, ob

ein Monomaterial den Produktschutz gewährleisten könnte, da kein derzeit standardmäßig für KaffEEKapseln verwendeter Kunststoff bei Nutzung als Monowerkstoff dieselben Eigenschaften wie Aluminium aufweist (vgl. Tabelle 7). Ebenso sind industriell kompostierbare Kapseln derzeit nicht zu empfehlen, da sie nicht entsprechend über den Biomüll entsorgt und verwertet werden können. Ebenso können auch bei einer Entsorgung im Restmüll keine Vorteile anhand der Umweltauswirkungen gegenüber Aluminiumkapseln, die stofflich verwertet werden, gezeigt werden.

Für Hersteller sollten daher folgende Kriterien für die Wahl zwischen Aluminium oder heimkompostierbarem, zu 100 % aus nachwachsenden Rohstoffen hergestelltem Kunststoff als Kapselmaterial herangezogen werden:

- Entsorgungs- und Verwertungsstruktur  
Ist bereits eine geeignete Struktur vorhanden? Wäre der Hersteller bereit eine eigene aufzubauen? Ist die geplante Verwertung technisch möglich und kann dies durch Feldversuche bestätigt werden?
- heimkompostierbarer Kapseln: Heimkompostierung nachgewiesen und zertifiziert
- Haltbarkeitsdauer bei gleichbleibender Produktqualität  
Je länger ein Produkt ohne Qualitätsverlust haltbar sein soll umso eher ist Aluminium zu bevorzugen bzw. eine kreislauffähige Sekundärverpackung mit Aluminium.

In Zukunft sollten dennoch weitere Schritte unternommen werden, um die Sammlung und Verwertung von KaffEEKapseln auszubauen. So empfiehlt sich die Öffnung der bestehenden Sammel- und Verwertungssysteme für Aluminiumkapseln anderer Hersteller, ähnlich den Systemen in Frankreich oder Großbritannien (vgl. Migros-Genossenschafts-Bund 2020; Podback Ltd. o.D.). Dies würde sicherstellen, dass der Werkstoff Aluminium im Kreislauf gehalten werden kann und so die Entsorgung über den Restmüll reduzieren. So könnte ein geschlossener Stoffkreislauf mit Aluminium in der benötigten Qualität zur Kapselherstellung geschaffen werden, was für die Nutzung im Sinne der Kreislaufwirtschaft nötig ist. Bei einer Öffnung für alle Kapselarten, wären entweder die Adaptierung von Kunststoffkapseln hin zur Verwendung von Monomaterialien nötig oder die Adaptierung der Verwertungslandschaft hin zu chemischem Recycling, um die einzelnen Materialien voneinander trennen zu können und so ein stoffliches Recycling zu ermöglichen.

Im Hinblick auf industriell kompostierbare Kapseln wäre eine Änderung der Kompostverordnung in Österreich nötig, ebenso wie die Adaptierung der Rottezeiten in den industriellen Kompostieranlagen, um diese im erweiterten Kreislauf über die Kompostproduktion halten zu können. Es wäre hier ebenso zu überlegen, ob eine anaerobe Verwertung möglich wäre, da diese neben dem Kompost noch den Vorteil der erneuerbaren Energie mit sich bringt, wodurch das Material einen Mehrwert generieren könnte.

## **7 Conclusio**

Portionierte Kaffeesysteme haben in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen und werden wohl auch in Zukunft erhalten bleiben. Aus diesem Grund sind die verwendeten Materialien und deren Auswirkungen auf die Umwelt und den Produktschutz von wesentlicher Bedeutung.

Die zu Beginn getroffene Annahme, dass Aluminiumkapseln hinsichtlich Produktschutz die beste Wahl sind, konnte im Zuge dieser Arbeit, trotz einiger Limitierungen, vor allem durch die geringe Anzahl an durchgeführten Studien und die fehlenden Belege hinsichtlich Biokunststoffen, bestätigt werden. Die Annahme, dass kompostierbare Kapseln die geringsten Auswirkungen entlang des Lebenszyklus haben, ist dabei nicht so einfach zu beantworten. Hier kommt es vor allem auf das verwendete Material, aber auch die vorhandene Recyclinginfrastruktur an. So sind bei den derzeitigen Gegebenheiten Aluminiumkapseln und heimkompostierbare Kapseln, die zu 100 % aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, ähnlich zu bewerten.

Für die Zukunft bedarf es jedoch weitere Analysen. Die betrachteten LCAs wiesen unterschiedlichen Ergebnisse auf, welche auf verschiedene Annahmen, Berücksichtigung von Primär- und Sekundärverpackung oder Nutzung unterschiedlicher Datenbanken zurückzuführen sind. In weiteren Analysen sollten sowohl Primär- als auch Sekundärverpackung explizit bewertet und in die Methodik und Analyse aufgenommen werden, um vergleichende Aussagen präzise treffen zu können. Weiters wäre zu empfehlen tatsächlich am Markt befindliche Produkte, vor allem im Bereich der kompostierbaren Kapseln als auch Aluminiumkapseln mit Sekundäraluminium, zu verwenden, um die Vergleichbarkeit an die tatsächliche Marktsituation anzupassen. Eine

Vereinheitlichung der zu wählenden Wirkungskategorien bei LCAs für Kaffee wären ebenso anzuraten, um eine bessere Vergleichbarkeit über mehrere Studien hinweg zu ermöglichen.

Ebenso sollten zusätzlich Studien zur Materialdichte durchgeführt werden, da die derzeitigen Haltbarkeiten der in Österreich erhältlichen Kapseln nicht den Ergebnissen des in dieser Arbeit behandelten Versuchs von Glöss et al. (2014) entsprechen.

Um auch in Zukunft das beste Material für portionierten Kaffee zu wählen, wird daher die Beobachtung der Entwicklung der österreichischen Abfallsammel- und -verwertungslandschaft notwendig sein, ebenso wie deren Adaptierung, um die Sammlung und Verwertung der Wertstoffe auch entsprechend zu ermöglichen.

## 8 Zusammenfassung

Portionierter Kaffee ist aus den heutigen Haushalten nicht mehr wegzudenken. Während auf der einen Seite die Abfallproduktion durch KaffEEKapseln kritisch gesehen wird, besticht das System durch eine Vielzahl unterschiedlicher Sorten und dem Versprechen Kaffee in Barista-Qualität auf Knopfdruck zu ermöglichen.

Bei einer Marktanalyse der österreichischen für das Nespresso-System geeigneten KaffEEKapseln wurden im August 2021 bzw. Februar 2022 36 verschiedene Kapseln eruiert, die aus Aluminium, biologisch abbaubarem oder nicht biologisch abbaubarem Kunststoff bestehen.

Im anschließenden Literaturvergleich wurden Parameter der Kreislaufwirtschaft, Umweltauswirkungen gemäß Lebenszyklusanalysen sowie der Produktschutz bewertet. Bei den betrachteten Szenarien zeigte sich, dass Aluminiumkapseln oder jene aus biologisch abbaubarem Kunststoff zu favorisieren sind, wobei das Ergebnis von der Abfallsammel- und -verwertungsstruktur als auch der angestrebten Mindesthaltbarkeit des Produktes abhängt.

Aluminium wäre bei einem möglichen geschlossenen Materialkreislauf auch im Hinblick auf eine lange Haltbarkeit zu bevorzugen. Dies würde die Lagerlogistik erleichtern und die Vernichtung abgelaufener KaffEEKapseln im Supermarktregal verringern. Ist die Verwertungsstruktur nicht darauf ausgelegt und Kapseln werden im Restmüll entsorgt, so wird heimkompostierbares, zu 100 % aus nachwachsenden Ressourcen hergestelltes Material bevorzugt. Industrielle Kompostierung wird aufgrund der derzeitigen Infrastruktur in Österreich nicht empfohlen, da eine Entsorgung im Biomüll nicht erlaubt ist und Limitierungen in industriellen Kompostierungsanlagen bestehen, da Rottezeiten kürzer sind, als für gem. EN 13432 zertifiziertes Material vorgeschrieben.

Welches Material für die Produktion herangezogen wird, sollte daher jeweils anhand der Abfalllandschaft als auch von der gewünschten Produkthaltbarkeit abhängen. In jedem Fall sind jedoch Maßnahmen zu treffen, die die Erhöhung der Recyclingquoten sowohl von biologisch abbaubaren als auch Aluminium-Kapseln erhöhen.

## 9 Abstract

Portioned coffee became an integral part of today's households. While on one side the waste production of capsules is seen critically, the system impresses with a variety of tastes and the promise of excellent coffee quality at the touch of a button.

In a market analysis in August 2021 and February 2022 of Austrian coffee capsules compatible with the Nespresso system, 36 different aluminum, biodegradable plastic or fossil plastic capsules were identified.

The subsequent literature research evaluated parameters of circular economy, environmental impact based on life cycle analyses and product protection. The considered scenarios showed that aluminum capsules or those made of biodegradable plastic should be favored, whereas the result strongly depends on the waste collection and recycling structure as well as the targeted minimum shelf life.

Aluminum would be preferred in terms of long shelf life in a possible closed material cycle. This would also facilitate storage logistics and reduce the destruction of expired coffee capsules on supermarket shelves. If the recycling structure is not supporting this and capsules would be disposed in residual waste, home compostable material made from 100 % renewable resources is preferable. Industrial compostable material is not recommended due to the current infrastructure in Austria, where industrial compostable capsules are not accepted in the biowaste and limitations exist due to rotting times in industrial composting plants which are shorter than prescribed for material certified in accordance with EN 13432.

Which material is used for production should therefore depend in each case on the waste landscape as well as on the desired product shelf life. In any case, however, measures should be taken to increase the recycling rates of both biodegradable and aluminum capsules.

## 10 Literaturverzeichnis

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2019). Landes-Abfallwirtschaftsplan Steiermark 2019. Planungsperiode 2019 bis 2024. Abteilung 14 - Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit, Referat Abfall- und Ressourcenwirtschaft.

Anese, Monica/Manzocco, Lara/Nicoli, Maria Cristina (2006). Modeling the secondary shelf life of ground roasted coffee. *Journal of agricultural and food chemistry* 54 (15), 5571–5576. <https://doi.org/10.1021/jf060204k>.

Avelino, Jacques/Barboza, Bernardo/Araya, Juan Carlos/Fonseca, Carlos/Davrieux, Fabrice/Guyot, Bernard/Cilas, Christian (2005). Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitudeterroirs of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85 (11), 1869–1876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2188>.

Baier, Urs/Haubensak, Mike/Grüter, Reto/Ulmer, Stefan (2016). Schlussbericht „BAW VERGÄREN & KOMPOSTIEREN? - Produkt- und sortenspezifische Beurteilung der Eignung von biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAW) zur Verwertung in Schweizer Biogas- & Kompostieranlagen“. Online verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home.html> (abgerufen am 24.11.2021).

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (o.D.). Was ist eigentlich Lignin? Waldwissen zum Hören. Online verfügbar unter <https://www.lwf.bayern.de/wissenstransfer/forstcastnet/232375/index.php> (abgerufen am 06.01.2022).

Behörde für Umwelt und Energie (2019). Leitfaden umweltverträgliche Beschaffung der Freien und Hansestadt Hamburg. Umweltleitfaden 2019. 2019. Aufl. Behörde für Umwelt und Energie Hamburg. Hamburg.

Billa Kundenservice (2021). Kontaktanfrage: BI#Produkte. E-Mail, 25.08.2021.

Borém, Flávio Meira/Alves, Helena Maria Ramos/Ribeiro, Diego Egídio/Giomo, Gerson Silva/Volpato, Margarete Marin Lordelo/Borém, Rosângela Alves Tristão/da

- Silva Taveira, José Henrique (2019). CHAPTER 16. Influence of Genetics, Environmental Aspects and Post-harvesting Processing on Coffee Cup Quality. In: Adriana Farah (Hg.). Coffee. Cambridge, Royal Society of Chemistry, 387–417.
- Brommer, Eva/Stratmann, Britta/Quack, Dietlinde (2011). Environmental impacts of different methods of coffee preparation. International Journal of Consumer Studies 35 (2), 212–220. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2010.00971.x>.
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Hg.) (2021a). Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2021. Statusbericht 2021 (Referenzjahr 2019).
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Hg.) (2021b). Österreichische Kreislaufwirtschafts-Strategie (Entwurf). Wien. Online verfügbar unter [https://www.bmk.gv.at/themen/klima\\_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html) (abgerufen am 28.01.2022).
- Bureau of International Recycling (o.D.). Non-Ferrous Metals. Extract BIR Annual Report 2020. Recycling Facts. Online verfügbar unter <https://www.bir.org/the-industry/non-ferrous-metals> (abgerufen am 22.11.2021).
- Burgstaller, Maria/Potrykus, Alexander/Weißenbacher, Jakob/Kabasci, Stephan/Merrettig-Bruns, Ute/Sayder, Bettina (2018). Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. Dessau-Roßlau.
- Caffé Vergnano (o.D.). Die Verpackung. Online verfügbar unter <https://www.caffevergnano.de/trink-kompostierbar/die-verpackung/> (abgerufen am 07.02.2022).
- Capsul'in Pro S.A. (o.D.). Oxygen Barrier & Top Lid. Fully Oxygen Protection. Online verfügbar unter <https://www.capsul-in-pro.com/home-compost-capsule/> (abgerufen am 28.02.2022).
- Capuzzi, Stefano/Timelli, Giulio (2018). Preparation and Melting of Scrap in Aluminum Recycling: A Review. Metals 8 (4), 249. <https://doi.org/10.3390/met8040249>.

- Cardelli, C./Labuza, T. P. (2001). Application of Weibull Hazard Analysis to the Determination of the Shelf Life of Roasted and Ground Coffee. *LWT - Food Science and Technology* 34 (5), 273–278. <https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0732>.
- Cazaudehore, G./Monlau, F./Gassie, C./Lallement, A./Guyoneaud, R. (2021). Methane production and active microbial communities during anaerobic digestion of three commercial biodegradable coffee capsules under mesophilic and thermophilic conditions. *The Science of the total environment* 784, 146972. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146972>.
- Cincotta, Fabrizio/Tripodi, Gianluca/Merlino, Maria/Verzera, Antonella/Condurso, Concetta (2020). Variety and shelf-life of coffee packaged in capsules. *LWT - Food Science and Technology* 118, 108718. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108718>.
- Cosate de Andrade, Marina F./Souza, Patrícia M. S./Cavalett, Otávio/Morales, Ana R. (2016). Life Cycle Assessment of Poly(Lactic Acid) (PLA): Comparison Between Chemical Recycling, Mechanical Recycling and Composting. *Journal of Polymers and the Environment* 24 (4), 372–384. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0787-2>.
- Deliza, Rosires (2019). CHAPTER 14. Coffee – Sensory Aspects and Consumer Perception. In: Adriana Farah (Hg.). *Coffee*. Cambridge, Royal Society of Chemistry, 361–379.
- DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH (Hrsg.) (o.D.). Biobasierte Produkte. Engagement für Nachhaltigkeit dokumentieren mit unseren Zertifizierungen für biobasierte Produkte. Online verfügbar unter <https://www.dincertco.de/din-certco/de/main-navigation/products-and-services/certification-of-products/verpackungswesen/biobased-products/> (abgerufen am 15.01.2022).
- Eduscho (Austria) GmbH (2017). Sinnvolle Wiederverwertung von Kaffeekapseln. Gut Gemacht, Pressemitteilung vom 2017. Online verfügbar unter

<https://blog.tchibo.at/aktuell/sinnvolle-wiederverwertung-von-kaffEEKapseln/>  
(abgerufen am 07.01.2022).

Europäische Kommission (Hg.) (2013). Empfehlung der Kommission für die Anwendung gemeinsamer Methoden zur Messung und Offenlegung der Umweltleistung von Produkten und Organisationen. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013H0179&from=EN> (abgerufen am 30.01.2022).

European Aluminium (2020). Circular Aluminium Action Plan. a strategy for achieving aluminium's full potential for circular economy by 2030, Pressemitteilung vom 2020.

European Aluminium Association (o.D.). Production Process. from mine to market. Online verfügbar unter <https://european-aluminium.eu/about-aluminium/production-process/> (abgerufen am 22.11.2021).

European Bioplastics (2016). Bioplastics - Industry standards & labels. Relevant standards and labels for bio-based and biodegradable plastics. Online verfügbar unter [https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP\\_fs\\_standards.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_standards.pdf) (abgerufen am 09.01.2022).

European Bioplastics (2017). Environmental Communication Guide for Bioplastics. Accountability is key. European Bioplastics. Online verfügbar unter [https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP\\_Environmental\\_communications\\_guide.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Environmental_communications_guide.pdf) (abgerufen am 25.02.2022).

European Bioplastics (2020). Bioplastics - facts and figures. Online verfügbar unter [https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP\\_Facts\\_and\\_figures.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf) (abgerufen am 25.02.2022).

European Bioplastics (2021). Photos, graphics & videos. Online verfügbar unter <https://www.european-bioplastics.org/news/multimedia-pictures-videos/#> (abgerufen am 25.02.2022).

FABICO Coffee GmbH (o.D.). Unsere Fabico Kapseln. sind frei von Kunststoff, Aluminium und Mikroplastik! Online verfügbar unter <https://fabricocoffee.com/Kapselmaterialien> (abgerufen am 06.02.2022).

Figueiredo Tavares, Maria Paula de/Mourad, Anna Lúcia (2020). Coffee beverage preparation by different methods from an environmental perspective. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 25 (7), 1356–1367.  
<https://doi.org/10.1007/s11367-019-01719-2>.

Finnveden, Göran/Björklund, Anna/Reich, Marcus Carlsson/Eriksson, Ola/Sörbom, Adrienne (2007). Flexible and robust strategies for waste management in Sweden. *Waste management* (New York, N.Y.) 27 (8), S1-8.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.017>.

Floros, John D./Matsos, Konstantinos I. (2005). Introduction to modified atmosphere packaging. In: *Innovations in Food Packaging*. Elsevier, 159–172.

Geyer, Roland/Jambeck, Jenna R./Law, Kara Lavender (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances* 3 (7), e1700782.  
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>.

Glöss, Alexia N./Schönbächler, Barbara/Rast, Markus/Deuber, Louis/Yeretzian, Chahan (2014). Freshness indices of roasted coffee: monitoring the loss of freshness for single serve capsules and roasted whole beans in different packaging. *Chimia* 68 (3), 179–182. <https://doi.org/10.2533/chimia.2014.179>.

Golden Compound GmbH (2022). Zertifizierungen & Auszeichnungen. Details zur Zertifizierung biobasierter Anteile. Online verfügbar unter <https://sun-circle.com/zertifizierungen-auszeichnungen/> (abgerufen am 06.02.2022).

Hermann, B. G./Debeer, L./Wilde, B. de/Blok, K./Patel, M. K. (2011). To compost or not to compost: Carbon and energy footprints of biodegradable materials' waste treatment. *Polymer Degradation and Stability* 96 (6), 1159–1171.  
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.026>.

- Hopewell, Jefferson/Dvorak, Robert/Kosior, Edward (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 364 (1526), 2115–2126.  
<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>.
- international Comunicaffe (2019). Nespresso and JDE launch alliance for recycling aluminium coffee capsules in France. Online verfügbar unter <https://www.comunicaffe.com/nespresso-and-jde-launch-alliance-for-recycling-aluminium-coffee-capsules-in-france/> (abgerufen am 22.11.2021).
- ISO 14044:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines, 07/2006.
- Jacobs Douwe Egberts (Hrsg.) (o.D.). Umwelt. Online verfügbar unter [https://www.lorespesso.com/de\\_at/umwelt](https://www.lorespesso.com/de_at/umwelt) (abgerufen am 15.01.2022).
- Jördening, Hans-Joachim/Weiland, Peter (2011). biologisch abbaubare Polymere. Hg. von F. Böckler/B. Dill/G. Eisenbrand et al. Thieme Gruppe.
- Kim, Soo-Eon/Lee, Soh Min/Kim, Kwang-Ok (2016). Consumer acceptability of coffee as affected by situational conditions and involvement. *Food Quality and Preference* 52, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.04.008>.
- Kirwan, Mark J./Plant, Sarah/Strawbridge John W. (2011). Plastics in Food Packaging. In: Richard Coles (Hg.). *Food and beverage packaging technology*. 2. Aufl. Oxford, Wiley-Blackwell, 157–212.
- Kompost & Biogas Verband Österreich (2021a). Anfrage zum Positionspapier "Umgang mit biologisch abbaubaren Kunststoffen". E-Mail, 2021.
- Kompost & Biogas Verband Österreich (Hg.) (2021b). Position des KBVÖ zum Umgang mit biologisch abbaubaren Kunststoffen. Online verfügbar unter <https://www.biosackerl.at/wp-content/uploads/2021/05/2021-05-27-KBVOe-Position-biologisch-abbaubare-Kunststoffe.pdf> (abgerufen am 05.02.2022).

- Krug, C. A./Mendes, J. E. T./Carvalho, A./Mendes, A. J. T. (1950). Uma nova forma de Coffea. *Bragantia* 10 (1), 11–25. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051950000100002>.
- Lambot, Charles/Herrera, Juan Carlos/Bertrand, Benoit/Sadeghian, Siavosh/Benavides, Pablo/Gaitán, Alvaro (2017). Cultivating Coffee Quality—Terroir and Agro-Ecosystem. In: *The Craft and Science of Coffee*. Elsevier, 17–49.
- Lehner, Ludwig (2019). Bioproduktewerk CH. Schlüssel zur biologischen Transformation industrieller Fertigung. Online verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/suche.html#lignin>.
- Magistratsabteilung 48-Abfallwirtschaft Straßenreinigung und Fuhrpark (2018). Wiener Abfallwirtschaftsplan und Wiener Abfallvermeidungsprogramm. Planungsperiode 2019-2024, 61–62 2018.
- Manzocco, L./Calligaris, S./Nicoli, M. C. (2011). The stability and shelf life of coffee products. In: *Food and Beverage Stability and Shelf Life*. Elsevier, 615–640.
- Marin, Kresimir/Pozrl, Tomaz/Zlatic, Emil/Plestenjak, Andrej (2008). A new aroma index to determine the aroma quality of roasted and ground coffee during storage. *Food Technology and Biotechnology* 46, 442+. Online verfügbar unter <https://link.gale.com/apps/doc/A193183737/AONE?u=43wien&sid=bookmark-AONE&xid=03dd8274>.
- Meinl Internet Commerce GmbH (o.D.). Webshop: Kapseln Ristretto Intenso 10x5,6g. Details. Online verfügbar unter [https://shop.meinl.com/euro\\_de/coffee/capsules/nespresso-system/bio-kapseln-ristretto-intenso-box-10x5-6g.html](https://shop.meinl.com/euro_de/coffee/capsules/nespresso-system/bio-kapseln-ristretto-intenso-box-10x5-6g.html) (abgerufen am 06.02.2022).
- Migros-Genossenschafts-Bund (2020). Nespresso und Migros bündeln ihre Kräfte im Recycling von Aluminium-Kaffeekapseln. Online verfügbar unter <https://www.migros.ch/de/unternehmen/medien/mitteilungen/show/news/medienmitteilungen/2020/alukapseln.html> (abgerufen am 22.11.2021).

- Milovanoff, Alexandre/Posen, I. Daniel/MacLean, Heather L. (2021). Quantifying environmental impacts of primary aluminum ingot production and consumption: A trade-linked multilevel life cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology* 25 (1), 67–78. <https://doi.org/10.1111/jiec.13051>.
- Minges Kaffeerösterei GmbH (o.D.). Wissenswertes zu unseren Kapseln. Online verfügbar unter <https://minges-kaffee.de/qualitaet/kapsel-faq/> (abgerufen am 06.02.2022).
- Mori, E.E.M./Bragagnolo, N./Morgano, M. A./Anjos, V.D.A./Yotsuyanagi, K./Faria, E. V./Iyomasa, J. M. (2003). Brazil coffee growing regions and quality of natural, pulped natural and washed coffees. *Foods Food Ingredients Journal of Japan* 2003 (208), 416–423.
- Namiki, M. (1990). Antioxidants/antimutagens in food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 29 (4), 273–300. <https://doi.org/10.1080/10408399009527528>.
- Nespresso Österreich GmbH & Co OHG (2019). Zehn Jahre Nespresso Recycling in Österreich. Wien, Pressemitteilung vom 2019. Online verfügbar unter [https://www.ots.at/presseaussendung/OTS\\_20190605\\_OTS0164/zehn-jahre-nespresso-recycling-in-oesterreich-bild](https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20190605_OTS0164/zehn-jahre-nespresso-recycling-in-oesterreich-bild) (abgerufen am 07.01.2022).
- Nespresso Österreich GmbH & Co OHG (2020). CO<sub>2</sub>-Ausstoß einer Tasse Kaffee: Zubereitungs-Systeme im Faktencheck. Kommunal vom 2020, 91. Online verfügbar unter <https://gemeindebund.at/website2020/wp-content/uploads/2020/12/kommunal-12-2020.pdf> (abgerufen am 30.01.2022).
- Nespresso Österreich GmbH & Co OHG (2021). Nespresso Recycling. Online verfügbar unter <https://www.nespresso.com/at/de/kapseln-recyceln> (abgerufen am 22.11.2021).
- Nestlé Nespresso S.A. (2021). Creating Shared Value Report. 2014-2020 Achievements. Nestlé Nespresso S.A. Online verfügbar unter <https://nestle-nespresso.com/sites/site.prod.nestle->

- nespresso.com/files/Nespresso%20CSV%20Report%20The%20Positive%20Cup%202014-2020%20Achievements\_1.pdf (abgerufen am 25.02.2022).
- Nestlé Nespresso S.A. (o.D.a). Enabling industry-wide capsule recycling. Online verfügbar unter <https://www.sustainability.nespresso.com/enabling-industry-wide-capsule-recycling> (abgerufen am 22.11.2021).
- Nestlé Nespresso S.A. (o.D.b). Our Story. Online verfügbar unter [https://nestle-nespresso.com/about\\_us/story](https://nestle-nespresso.com/about_us/story) (abgerufen am 03.07.2021).
- Nestlé Nespresso S.A. (o.D.c). Why Aluminium? Online verfügbar unter <https://www.sustainability.nespresso.com/why-aluminium> (abgerufen am 13.08.2021).
- Neubauer, Christian/Stoifl, Barbara/Tesar, Maria/Thaler, Peter (2021). Sortierung und Recycling von Kunststoffabfällen in Österreich: Status 2019. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0744\\_hauptteil.pdf](https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0744_hauptteil.pdf) (abgerufen am 24.11.2021).
- Neumüller-Klapper, Marianne (2022). Recycling bei Nespresso Österreich. Interview durch Sigrid Mally am 01.02.2022.
- Nicoli, M. C./Innocente, N./Pittia, P./Lerici, C. R. (1993). Staling of roasted coffee: volatile release and oxidation reactions during storage. 15th International Scientific Colloquium on Coffee, 557–566.
- Nicoli, M. C./Savonitto, O. (2005). Storage and packaging. In: Andrea Illy/Rinantonio Viani (Hg.). Espresso coffee. The science of quality. 2. Aufl. Amsterdam, Elsevier Acad. Press, 230–255.
- Okamoto, Kelvin/Narayan, Ramani/Mason, Stephany/Gershon, Haley (2019). captured carbon vs. biobased. Can products made from captured/recycled CO2 be called biobased? Bioplastics Magazine (3), 48–49.

- Olivia van der Reijden (2020). Faktenblatt Biokunststoffe. Online verfügbar unter <https://kunststoff.swiss/Nachhaltigkeit/Fakten/Biokunststoffe> (abgerufen am 13.08.2021).
- Österreichischer Kaffeeverband (2020). Österreichischer Kaffeemarkt in Zahlen. Online verfügbar unter <https://kaffeeverband.at/oesterreichischer-kaffeemarkt-in-zahlen/> (abgerufen am 25.02.2022).
- Oude Ophuis, Peter A.M./van Trijp, Hans C.M. (1995). Perceived quality: A market driven and consumer oriented approach. *Food Quality and Preference* 6 (3), 177–183. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(94\)00028-T](https://doi.org/10.1016/0950-3293(94)00028-T).
- Page, Bev/Edwards, Mike/May, Nick (2011). Metal Packaging. In: Richard Coles (Hg.). *Food and beverage packaging technology*. 2. Aufl. Oxford, Wiley-Blackwell, 111–113.
- Peelman, Nanou/Ragaert, Peter/Meulenaer, Bruno de/Adons, Dimitri/Peeters, Roos/Cardon, Ludwig/van Impe, Filip/Devlieghere, Frank (2013). Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology* 32 (2), 128–141. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.003>.
- Peter, Martin G./Kamm, Birgit (2017). Lignin. Hg. von F. Böckler/B. Dill/G. Eisenbrand et al. Thieme Gruppe.
- Petracco, M. (2005). Grinding. In: Andrea Illy/Rinantonio Viani (Hg.). *Espresso coffee. The science of quality*. 2. Aufl. Amsterdam, Elsevier Acad. Press, 215–229.
- PlasticsEurope (2020). *Plastics - the Facts 2020*. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Online verfügbar unter [https://plasticseurope.org/de/wp-content/uploads/sites/3/2021/11/Plastics\\_the\\_facts-WEB-2020\\_versionJun21\\_final-1.pdf](https://plasticseurope.org/de/wp-content/uploads/sites/3/2021/11/Plastics_the_facts-WEB-2020_versionJun21_final-1.pdf) (abgerufen am 24.11.2021).
- Podback Ltd. (o.D.). About Podback. Online verfügbar unter <https://www.podback.org/> (abgerufen am 22.11.2021).

Quantis Suisse (2011). Comparative full life cycle assessment of B2C cup of espresso made using a packaging and distribution system from Nespresso Espresso and three generic products. Lausanne. Online verfügbar unter <https://nestle-nespresso.com/sites/site.prod.nestle-nespresso.com/files/Quantis%20-%20Comparative%20LCA%20Study%20on%20Four%20Capsules%20Systems%20-%20Executive%20Summary%202011.pdf> (abgerufen am 14.08.2021).

Quantis Suisse (2019). Life Cycle Assessment (LCA) of a Lungo Cup of Coffee made from a Nespresso Original Capsule compared with other coffee systems in Switzerland. Executive Summary. Lausanne.

Quantis Suisse (2021). Life Cycle Assessment (LCA) of a Lungo Cup of coffee made from a Nespresso Original Capsule compared with other coffee systems in France. Lausanne. Online verfügbar unter <https://www.nespresso.com/agit/app/uploads/2021/05/ACV-comparative-des-diff%C3%A9rentes-façons-de-pr%C3%A9parer-un-café-B2C-Quantis-France-Avril-2021.pdf> (abgerufen am 25.02.2022).

Rameder, Anton (2018). Untersuchung der Kompostierbarkeit von Kaffeekapseln aus biologisch abbaubaren Werkstoffen mittels FTIR-Spektroskopie. Masterarbeit. Wien, Universität für Bodenkultur Wien. Online verfügbar unter [https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.hochschulschriften\\_info?sprache\\_in=de&menue\\_id\\_in=107&id\\_in=&hochschulschrift\\_id\\_in=18539](https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.hochschulschriften_info?sprache_in=de&menue_id_in=107&id_in=&hochschulschrift_id_in=18539) (abgerufen am 05.02.2022).

REWE Eigenmarken Team (2021). Clever Kapseln Kapselmaterialien. E-Mail, 19.08.2021.

rezemo GmbH (o.D.). Die nachhaltige Rezemo Kaffeekapsel. Online verfügbar unter <https://rezemo.de/die-kapsel/> (abgerufen am 07.02.2022).

Robertson, G. L. (2016). Packaging and Food and Beverage Shelf Life. In: Persis Subramaniam (Hg.). The Stability and Shelf Life of Food (Second Edition) :

Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.  
Woodhead Publishing, 77–106.

RÖMPP-Redaktion (2002). Bagasse. Hg. von F. Böckler/B. Dill/G. Eisenbrand et al.  
Thieme Gruppe.

Rossi, Vincent/Cleeve-Edwards, Nina/Lundquist, Lars/Schenker, Urs/Dubois,  
Carole/Humbert, Sebastien/Jolliet, Olivier (2015). Life cycle assessment of end-  
of-life options for two biodegradable packaging materials: sound application of  
the European waste hierarchy. *Journal of Cleaner Production* 86, 132–145.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.049>.

Scharf, Andreas/Carus, Michael (2019). HOMEcap: Müllvermeidung durch Heimkom-  
postierung. Vergleich verschiedener Entsorgungsoptionen handelsüblicher Kaf-  
feekapseln. nova-Institut GmbH. Hürth (Deutschland).

Schenker, Stefan/Rothgeb, Trish (2017). The Roast—Creating the Beans' Signature.  
In: *The Craft and Science of Coffee*. Elsevier, 245–271.

Spanu, Simone/Mosna, David/Vignali, Giuseppe (2016). CFD Analysis of Coffee  
Packaging in Capsules using Gas Flushing Modified Atmosphere Packaging. *Inter-  
national Journal of Food Engineering* 12 (9), 875–887.  
<https://doi.org/10.1515/ijfe-2016-0047>.

Stadt Graz (Hrsg.) (o.D.). Abfall-ABC. Online verfügbar unter  
[https://www.graz.at/cms/beitrag/10331334/9575765/Abfall\\_ABC.html](https://www.graz.at/cms/beitrag/10331334/9575765/Abfall_ABC.html) (abgeru-  
fen am 09.01.2022).

Stadt Wien (Hrsg.) (o.D.a). Das Trenn-ABC - Müll richtig entsorgen. Abfallwirtschaft,  
Straßenreinigung und Fuhrpark. Online verfügbar unter  
<https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/beratung/muelltrennung/mistabc> (abgeru-  
fen am 09.01.2022).

Stadt Wien (Hrsg.) (o.D.b). Sammlung von Plastikflaschen, Getränkekartons und  
Dosen im Behälter. Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark. Online

verfügbar unter <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/beratung/muelltrennung/plastikflaschen/plastikflaschen.html> (abgerufen am 07.01.2022).

Steenkamp, Jan-Benedict E.M. (1990). Conceptual model of the quality perception process. *Journal of Business Research* 21 (4), 309–333.  
[https://doi.org/10.1016/0148-2963\(90\)90019-A](https://doi.org/10.1016/0148-2963(90)90019-A).

Steinhart, H./Holscher, W. (1991). Storage-related changes of low-boiling volatiles in whole coffee beans. ASIC: Paris, France, 156–164 1991.

Steinhart, H./Luger, A./Piost, J. (2001). Antioxidative effect of coffee melanoidins. In: 19ème Colloque Scientifique International sur le Café, Trieste, Italy, 14-18 mai 2001, Paris. Paris, Association Scientifique Internationale du Café (ASIC), 1–8.

Stoifl, Barbara/Bernhardt, Antonia/Karigl, Brigitte/Lampert, Christoph/Neubauer, Mila/Thaler, Peter (2017). Kunststoffabfälle in Österreich Aufkommen & Behandlung. Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017.

Tchibo/Liedtke, Arnd (Hg.) (2020). Kaffee in Zahlen. Hamburg. 9. Online verfügbar unter <https://www.tchibo.de/newmedia/document/f419228c764cc89/kaffeereport-2020.pdf> (abgerufen am 06.02.2022).

Technisches Büro für Umweltschutz Ges.m.b.H. (2019). Restmüllanalysen im Land Steiermark 2018/2019. Endbericht i.A. Land Steiermark. Innsbruck. Online verfügbar unter [https://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/12737874\\_152083829/b3ad7d9f/Restm%C3%BCllanalysen%20Steiermark%202018\\_19%20Endbericht.pdf](https://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/12737874_152083829/b3ad7d9f/Restm%C3%BCllanalysen%20Steiermark%202018_19%20Endbericht.pdf) (abgerufen am 06.02.2022).

Teixeira, R./Teixeira, A. A./Brando C.H.J. (2005). Classification: Physical and Sensorial Analysis. In: Andrea Illy/Rinantonio Viani (Hg.). Espresso coffee. The science of quality. 2. Aufl. Amsterdam, Elsevier Acad. Press, 134–141.

The International Aluminium Institute (2018). Statistics. Online verfügbar unter <https://international-aluminium.org/statistics/greenhouse-gas-emissions-aluminium-sector/> (abgerufen am 22.11.2021).

- The International Aluminium Institute (2021). IAI Material Flow Model - Update 2021. Online verfügbar unter <https://international-aluminium.org/resource/iai-material-flow-model-2021-update/> (abgerufen am 22.11.2021).
- Tonelli, Annachiara/Mosna, David/Vignali, Giuseppe (2018). Comparative Life Cycle Assessment of different packaging systems for coffee capsules. In: Proceedings of the 4th International Food Operations and Processing Simulation Workshop (FoodOPS 2018), the 4th International Food Operations and Processing Simulation Workshop, 17-19 September 2018. CAL-TEK srl, 1–9.
- TÜV Austria Belgium NV/SA (Hrsg.) (o.D.). EN13432? Kompostierbar? Biologisch abbaubar? Biobasiert? Zertifiziert durch TÜV Austria. Weltmarktführer bei der Zertifizierung von Bioplastik. Online verfügbar unter <https://www.tuv-at.be/de/green-marks/> (abgerufen am 09.01.2022).
- Umweltbundesamt Deutschland (2009). Biologisch abbaubare Kunststoffe. Hintergrund. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3834.pdf> (abgerufen am 06.02.2022).
- Unicaps GmbH (o.D.). Kann Bio-Kaffee oder Bio-Tee aus Kapseln nachhaltig sein? Online verfügbar unter <https://www.my-cups.at/de/sustainability> (abgerufen am 06.02.2022).
- Vaast, Philippe/Bertrand, Benoit/Perriot, Jean-Jacques/Guyot, Bernard/Génard, Michel (2006). Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86 (2), 197–204.  
<https://doi.org/10.1002/jsfa.2338>.
- van der Reijden, Olivia (2020). Faktenblatt Biokunststoffe. Online verfügbar unter [https://kunststoff.swiss/Downloads/Nachhaltigkeit/Faktenblatt\\_Biokunststoffe\\_web.pdf](https://kunststoff.swiss/Downloads/Nachhaltigkeit/Faktenblatt_Biokunststoffe_web.pdf) (abgerufen am 06.02.2022).

- van Eygen, Emile/Laner, David/Fellner, Johann (2018). Circular economy of plastic packaging: Current practice and perspectives in Austria. Waste management (New York, N.Y.) 72, 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.040>.
- Verein für Konsumenteninformation (2014). Mindesthaltbarkeit: Ende nie? „Aufmachen, riechen, kosten“. Online verfügbar unter <https://www.konsument.at/essen-trinken/mindesthaltbarkeit-ende-nie> (abgerufen am 11.09.2021).
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien.
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten.
- Verordnung (EU) Nr. 10/2011 der Kommission vom 14. Januar 2011 über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen vom 2020.
- Yeretzian, Chahan/Blank, Imre/Wyser, Yves (2017). Protecting the Flavors—Freshness as a Key to Quality. In: Britta Folmer/Imre Blank (Hg.). The craft and science of coffee. Amsterdam [u.a.], Elsevier, 329–353.
- Zafiu, Christian/Binner, Erwin/Huber-Humer, Marion (2019). Kompostierbarkeit von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen. Institut für Abfallwirtschaft. Wien.