

## **Einflussfaktoren auf das Leichtverpackungsabfall-Aufkommen**

**Abstract:** Für die Untersuchung des Abfallaufkommens von Leichtverpackungen (LVP) wurden in einem zweiwöchigen Zeitraum im Jahr 2019 deutschlandweit in ausgewählten Haushalten LVP-Abfälle im Rahmen einer Feldstudie gesammelt. Die gewonnenen Daten zu insgesamt 254.032 g an LVP bzw. 25.762 Einzelteilen aus 249 Haushalten bzw. 639 Personen wurden mit soziodemographischen (z. B. Haushaltsgröße) und abfallwirtschaftlichen (z. B. den lokalen Entsorgungssystem) Angaben ausgewertet. 70 % der LVP wurden für Lebensmittel und 30 % für nicht Lebensmittel (z. B. Medikamente und Waschmittel) eingesetzt. Das jährliche Pro-Kopf-LVP-Abfallaufkommen der Studienteilnehmer (639 Personen) liegt mit 9,5 kg deutlich unterhalb des durchschnittlichen Pro-Kopf-LVP-Abfallaufkommen von 32 kg aus dem Jahr 2019. Weiter nimmt das Pro-Kopf-Abfallaufkommen mit abnehmender Haushaltsgröße zu (z.B. werden in Ein-Personen-Haushalten im Vergleich zu fünf und mehr Personen-Haushalten fast dreimal mehr Pro-Kopf-Abfälle produziert). Bei Holsystemen konnte bezogen auf den zweiwöchigen Sammelzeitraum mit 420 g ein um 45 % höheres Pro-Kopf-Abfallaufkommen im Vergleich zu Bringsystemen mit 289 g festgestellt werden.

### **1 Einleitung**

Kurzlebige Verpackungen machen heute mehr als 50 % der Kunststoffabfälle in Deutschland aus (Mellen und Becker 2018). Im Zeitraum von 1991 (1,64 Mio. t) bis 2020 (3,21 Mio. t) führte dies fast zu einer Verdopplung der Kunststoffverpackungsabfälle (Burger et al. 2022). Entsprechend stehen Kunststoffe auf der europäischen und deutschen Agenda zur Weiterentwicklung kreislaufwirtschaftlicher Ansätze: Auf europäischer Ebene hat die EU 2018 die „Europäische Strategie für Kunststoffe in einer Kreislaufwirtschaft“ vorgestellt, welche vorsieht, dass alle in der EU in Verkehr gebrachten Kunststoffverpackungen bis 2030 entweder wiederverwendbar oder kostengünstig recycelbar sind (European Commission 2018). Mit diesem Ansatz soll der derzeit vorherrschende lineare Fluss (offener Kreislauf) von Kunststoffen entlang der Wertschöpfungskette von der Produktion bis zur Verwendung und Entsorgung durchbrochen werden und sich zu einer echten Kreislaufwirtschaft weiterentwickeln (Blomsma und Brennan 2017). In Deutschland musste durch das im Jahr 2019 in Kraft getretene Verpackungsgesetz (VerpackG) bis zum Jahr 2022 eine werkstoffliche („mechanische“) Recyclingquote von 63 % erreicht werden (VerpackG 2017).

Die Zentrale Stelle Verpackungsregister verfügt in Deutschland über detaillierte Informationen zu den innerhalb des deutschen Marktes in Verkehr gebrachten Mengen an Kunststoffverpackungen. Dieser Detaillierungsgrad wird auf der Seite des anfallenden Kunststoff-Verpackungsabfalls durch Abfallanalysen üblicherweise nicht erreicht. Veröffentlichte Analysen stellen den Verpackungsabfallanfall i.d.R. als absolute

Gesamt mengen z.B. der Kategorien Kunststoffe, Aluminium und Papier (Burger et al. 2022), nach Post-Consumer- und Post-Industrial-Abfällen (Lindner et al. 2022) dar, oder gehen nicht über den Verpackungs- und Packstofftyp hinaus bzw. beziehen sich auf den Sortieranlagenoutput, aus dem der Input abgeschätzt wird (Christiani und Beckamp 2020). Genaue Sortieranlageninput-Analysen über die Eigenschaften der Verpackungen (z.B. Verpackungstyp und -größe und Füllguttyp) sind für Prognosen von Abfallmengen und deren Zusammensetzung jedoch unabdingbar, ebenso wie für die Entwicklung zukunftsfähiger Aufbereitungs- und Recyclingverfahren. Eine zentrale Rolle spielt der Verbraucher, der als Abfallerzeuger die grundsätzliche Entscheidung über den Entsorgungsweg trifft. Dabei wird diese Entscheidung von sozioökonomischen Faktoren wie Alter, Bildungsgrad und Haushaltsgröße beeinflusst, aber auch von der Struktur des Entsorgungsgebietes (städtische oder ländliche Region), dem Umweltbewusstsein, von saisonalen Einflüssen wie Jahreszeiten, von den bereits erwähnten rechtlichen Rahmenbedingungen oder dem kommunenspezifischen Entsorgungssystem (Clauß 2017). Die Entsorgung liegt in der Verantwortung der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger, sodass sich über die Jahre Bringsysteme (Wertstoffhof und -insel und Depotcontainer) und Holsysteme (gelber Sack, gelbe Tonne, Wertstofftonne und -Sack) herausgebildet haben. Durch Holsysteme, d. h. die Abholung der Abfälle an der Grundstücksgrenze der Haushalte, können hohe Erfassungsquoten der Abfälle erzielt werden, und dem Erzeuger entsteht wenig Aufwand für die Entsorgung (Hesse und Clausen 2019). Bringsysteme, d. h. das Transportieren der gesammelten Abfälle durch den Verbraucher zu definierten Sammelstellen finden Anwendung, da hierbei eine höhere Trennqualität erreicht werden kann (Wagner et al. 2018). In Deutschland wurden im Jahr 2015 1,22 Mio. t durch Tonnen (48,0 %), 1,22 Mio. t durch Säcke (48,0 %), 0,02 Mio. t über Wertstoffhöfe (0,8 %) und 0,08 Mio. t über andere Systeme wie Depotcontainer gesammelt (3,2 %) (Wagner et al. 2018).

Mangelnde öffentliche Datengrundlagen dieser LVP-Ströme sowie quantitativer Analysen des Einflusses der Einstellungen der Verbraucher auf deren LVP-Abfallaufkommen behindern den abfallwirtschaftlichen Fortschritt. Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Quantifizierung der Einflüsse unterschiedlicher Haushalts- und Gemeindegrößen und von Hol- und Bringsystemen auf das LVP-Abfallaufkommen.

## 2 Methodik

Für die Generierung eines Datensatzes (Primärdatenerhebung) zum Leichtverpackungsabfall-Aufkommen wurde eine deutschlandweite Feldstudie (Schmidt et al. 2021) im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts MaReK (Markerbasiertes Sortier- und Recyclingsystem für Kunststoffverpackungen) (Lang-Koetz et al. 2021) in Kooperation mit dem Forschungsprojekt VerPlaPoS (Verbraucherreaktionen auf Kunststoffe und deren Vermeidungsmöglichkeiten am Point of Sale) der Stadt Straubing (Decker et al. 2021) durchgeführt. Aus 500 Teilnehmern, die in einer ersten Online-Befragung teilnahmen und unter anderem zu ihren Einkaufsgewohnheiten, zum Vermeidungsverhalten bzgl. Kunststoffverpackungen, zum lokalen Entsorgungssystem und zu demografischen Daten befragt wurden, wurden 350 aus dem gesamten Bundesgebiet u.a. anhand der Haushaltsgröße und der Einwohnerzahl ihres Wohnortes für die Teilnahme an der Feldstudie ausgewählt. Die Studie zur Primärdatenerhebung fand zwischen August und November 2019 statt. Hierzu sammelten die teilnehmenden Haushalte ihre LVP-Abfälle in einem bereitgestellten transparenten 80-Liter-Polyethylen-Sack innerhalb eines variablen zweiwöchigen Zeitraums. Insgesamt 249 Teilnehmer (639 Personen, unter Berücksichtigung der Haushaltgröße) schickten ihre gesammelten LVP-Abfälle zurück an die Hochschule Pforzheim. So wurden insgesamt 207 kg LVP bzw. ca. 21.380 Einzelteile einer Tiefencharakterisierung unterzogen. Die Ergebnisse dieser Charakterisierung

wurden bereits publiziert (Schmidt et al. 2021; Schmidt et al. 2022; Woidasky et al. 2021). Ergänzende Charakterisierungsarbeiten führten insgesamt zu einer untersuchten Gesamtmasse von 254 kg bzw. 25.762 Einzelteilen. Dieser erweiterte Datensatz wird für die vorliegende Arbeit verwendet.

Für das Sicherstellen einer statistisch auswertbaren Studienteilnehmeranzahl (und damit auch Masse) wurde eine Mindestanzahl von zwei teilnehmenden Haushalten pro Kombination aus Haushalts- und Gemeindegrößenkategorie (s. Tabelle 1) festgelegt. Die Mindestanzahl von zwei Teilnehmern wird von den Matrixfeldern G4H4 (**G4**: Gemeindegröße 100.000 bis unter 200.000 Einwohner; **H4**: Vier-Personen-Haushalt), G4H5 und G5H5 unterschritten und von G1H5 gerade erfüllt. Für die quantitative Beschreibung linearer Zusammenhänge wurde die Methode der Regressionsanalyse verwendet sowie für Mittelwertvergleiche der t-Test und der Mittelwertvergleich nach Kruskal-Willis. Für beide Testverfahren wurde ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  festgelegt.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 1 stellt das Pro-Kopf-Abfallaufkommen unterschiedlicher Haushalts- und Gemeindegrößenklassen der Studienteilnehmer, normiert auf das mittlere Pro-Kopf-Abfallaufkommen von 398 g dar. Die Daten in der Matrix sind in Form zweier Heatmaps dargestellt, in denen die Farbintensität bei größeren Zahlen zunimmt. Grün hinterlegte Zahlen repräsentieren das Verhältnis des Pro-Kopf-Abfallaufkommens zum mittleren Pro-Kopf-Abfallaufkommen je Matrixfeld, wohingegen blau hinterlegte Zahlen dieses Verhältnis innerhalb einer Haushaltsgrößen- oder Gemeindegrößenkategorie repräsentieren. Rot markierte Zahlen unterschreiten die Mindestanzahl von zwei teilnehmenden Haushalten je Matrixfeld und können daher als Ausreißer interpretiert werden.

Tabelle 1: Heatmap des (normierten) Pro-Kopf-Abfallaufkommens nach Gemeinde- und Haushaltsgrößen

Haushalts- größe (HH)	Gemeinde- größe (GG)	unter	5.000	20.000	100.000	200.000	500.000	*PKA je HH
		5.000 Ew (G1)	bis unter 20.000 Ew (G2)	bis unter 100.000 Ew (G3)	bis unter 200.000 Ew (G4)	bis unter 500.000 Ew (G5)	und mehr Ew (G6)	
1		1,93	2,47	1,49	2,12	1,53	1,77	1,70
2		1,10	1,37	1,43	1,14	1,15	1,14	1,24
3		1,04	1,25	0,87	0,75	0,97	1,03	0,98
4		0,70	0,78	0,67	1,11	0,63	1,23	0,77
5 und mehr		0,96	0,71	0,60	-	1,86	0,27	0,60
*PKA je GG		0,94	1,06	0,94	1,11	1,15	0,95	1,00

\*PKA: Pro-Kopf-Abfallaufkommen; Wertebereich von 0,27 - 2,47

Die Verteilung aus Tabelle 1 zeigt, dass das Pro-Kopf-Abfallaufkommen mit abnehmender Haushaltsgröße zunimmt (Spalte „PKA je HH“). In Ein-Personen-Haushalten werden im Vergleich zu fünf und mehr Personen-Haushalten fast dreimal mehr Pro-Kopf-Abfälle produziert. Eine Regressionsanalyse ( $R^2 = 0,96$ ,  $p = 0,004$ ) bestätigt hierbei eine sehr starke lineare Korrelation. Ein Mittelwertvergleich der mittleren Pro-Kopf-

Abfallaufkommen mittels Kruskal-Wallis-Test zeigt, dass alle Mittelwerte  $\alpha = 0,05$  unterschreiten und sich damit signifikant voneinander unterscheiden, mit der Ausnahme der Mittelwerte H3 zu H4 ( $p = 0,114$ ). Eine Regressionsanalyse des Pro-Kopf-Abfallaufkommens je Gemeindegrößenkategorie zeigt keinen linearen Zusammenhang ( $R^2 = 0,0921$ ,  $p = 0,559$ ). Der Mittelwertvergleich zeigt, dass fast alle Mittelwerte des Pro-Kopf-Abfallaufkommens  $\alpha = 0,05$  überschreiten, lediglich mit Ausnahme der Gemeindegrößenkombinationen G5 - G6 ( $p = 0,010$ ), G4 - G6 ( $p = 0,037$ ), G3 - G5 ( $p < 0,001$ ) und G3 - G4 ( $p = 0,035$ ). Zudem konnte ein um 45 % höheres mittleres Pro-Kopf-Abfallaufkommen im Holsystem mit 420 g im Vergleich zum Bringsystem mit 289 g festgestellt werden. Ein t-Test zeigt einen signifikanten Unterschied des mittleren Pro-Kopf-Abfallaufkommens ( $t(227) = -5,835$ ,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 2 stellt die Lebensmittelgruppen unterschiedlicher Haushaltsgrößen dar. Der Datensatz teilt sich in 70 % Lebensmittel- und 30 % nicht Lebensmittel-Verpackungen (z. B. Medikamente und Waschmittel). Milch u. Milchprodukte (23,8 %), Obst und Gemüse (11,2 %) und Getränke (9,6 %) werden unabhängig der Haushaltsgröße am häufigsten konsumiert. Beispielsweise werden Fertiggerichte insbesondere in Haushalten mit ein,- zwei und fünf und mehr Personen konsumiert.

Tabelle 2: Produktkategorien der Packgüter in Abhängigkeit der Haushaltsgröße (HH)

Packgut (Angaben in Gew.-%)	1P-HH	2P-HH	3P-HH	4P-HH	5P und mehr HH	Gesamt
Keine Lebensmittel	32,2	29,7	29,9	30,3	25,9	29,8
Milch u. Milchprodukt	20,3	24,8	22,1	25,9	26,4	23,8
Obst/Gemüse	12,6	11,2	11,7	9,1	11,3	11,2
Getränke	10,1	9,3	12,0	7,1	9,1	9,6
Sonstige Lebensmittel	4,6	4,5	3,7	4,1	5,0	4,3
Trockene Prod.	3,7	3,8	4,0	5,5	3,0	4,0
Fertiggericht	4,6	4,1	2,9	3,0	4,1	3,7
Fleisch/Geflügel/Fisch	2,5	2,3	3,1	3,0	3,8	2,9
Backware	2,3	2,7	2,3	3,6	3,4	2,8
Süßwaren	2,5	3,2	2,7	2,6	2,4	2,7
Wurstware	2,2	1,3	1,7	2,8	3,2	2,1
Ersatz tierischer Prod.	0,5	1,5	1,5	0,9	1,0	1,1
Salzgebäck	1,1	0,9	1,1	1,1	0,6	1,0
Teigwaren	0,7	0,7	1,3	1,2	0,7	0,9
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

## 4 Diskussion

Zusammen produzierten die 249 Haushalte bzw. 639 Personen 254.032 g an LVP-Abfällen, was einem durchschnittlichen Pro-Kopf-Abfallaufkommen von 398 g im zweiwöchigen-Sammelzeitraum gleichkommt. Dies entspricht bei linearer Hochrechnung einem jährlichen Pro-Kopf-Abfallaufkommen von 9.552 g, welches deutlich unterhalb des durchschnittlichen Pro-Kopf-LVP-Abfallaufkommens von 32 kg eines Deutschen aus dem Jahr 2019 liegt (Statistisches Bundesamt). Bereits durch die Auswahl der Probanden durch einen Anmeldeprozess für die Studie kann ein überdurchschnittliches Verpackungs-Vermeidungsverhalten, zumindest aber ein bewusster Umgang bzgl. Kunststoffverpackungen vermutet werden. Dies wird vermutlich durch das Wissen der Teilnehmer um die detaillierte Analyse ihrer Verpackungsabfälle verstärkt. Zudem stammen 70 % der Verpackungen aus dem Lebensmittelbereich. Weiter werden Fertiggerichte insbesondere in Ein-, Zwei- und Fünf- und größeren Personen-Haushalten konsumiert, wobei in der Hälfte der Haushalte mit fünf und mehr Personen keine unter 18-jährigen Personen leben. Es handelt sich demnach wohl nicht um die klassische Familienstruktur, sondern um z.B. Wohngemeinschaften, was den erhöhten Verzehr von Fertiggerichten erklärt und zeigt, dass Fertiggerichte vermehrt in Ein- und Zweipersonen-Haushalten konsumiert werden.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass das Pro-Kopf-Abfallaufkommen mit zunehmender Haushaltsgröße abnimmt, die Gemeindegröße jedoch keinen entsprechenden Einfluss besitzt. Eine Zunahme des Pro-Kopf-Abfallaufkommens bei kleineren Haushalten deckt sich mit den Aussagen früherer Veröffentlichungen (Hoffmeister 2008; Umweltbundesamt 2022). Dies liegt letztlich am Trend hin zu kleineren Gebindegrößen von Verkaufsverpackungen und der damit einhergehenden nicht proportionalen Verringerung der Füllmenge im Verhältnis zur Verpackung. Weiter führen die Urbanisierung und der soziodemographische Wandel zur Zunahme kleinerer Haushalte, sodass zukünftig mit einem weiter steigenden Verpackungsabfallaufkommen zu rechnen ist.

Weiter wurde das Pro-Kopf-Abfallaufkommen der Studienteilnehmer nach Hol- und Bringsystem untersucht. Hierbei konnte ein um 45 % erhöhtes Abfallaufkommen bei Holsystemen im Vergleich zu Bringsystemen festgestellt werden. Dies kann daran liegen, dass Haushalte in Bringsystemen aus Bequemlichkeitsgründen vermehrt Abfälle im Restmüll entsorgen und damit dem LVP-Wertstoffkreislauf entziehen oder eine gründlichere Restentleerung zu geringeren Pro-Kopf-Abfallaufkommen führt, da die Abfälle oft in der Wohnung vor der Entsorgung zwischengelagert werden. Weiter kann auch ein geringerer Fehlwurfanteil die Massedifferenz erklären, da in Bringsystemen (z.B. Wertstoffhof) eine Informationsbereitstellung durch Mitarbeiter erfolgen kann.

## 5 Fazit

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass der Pro-Kopf-Abfallanfall mit abnehmender Haushaltsgröße zunimmt, die Gemeindegröße jedoch keinen entsprechenden Einfluss besitzt. Holsysteme weisen ein um ca. 45 % höheres Pro-Kopf-Abfallaufkommen als Bringsysteme auf. Zudem führt ein ausgeprägtes Umweltbewusstsein der Teilnehmer in Form eines Reduktionsverhalten von Kunststoffabfällen zu einer massiven Reduktion (ca. 70 % weniger als im Durchschnitt in Deutschland). Dies ist ein deutliches Indiz für das verhaltensbedingte Einsparungspotential von Leichtverpackungen. Unter Berücksichtigung des Füllguttyps

konnte eine Verteilung von 70 % Lebensmittel- und 30 % nicht Lebensmittel-Verpackungen festgestellt werden. Weitere Untersuchungen zu Einflussfaktoren auf das LVP-Abfallaufkommen, auf Restfüll- und Fehlwurfanteile sowie die erneute Durchführung der Studie sind in Planung.

## Literatur

- Blomsma, F.; Brennan, G. (2017): The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. In: *Journal of Industrial Ecology* 21 (3), S. 603–614. DOI: 10.1111/jiec.12603.
- Burger, A.; Cayé, N.; Schüler, K. (2022): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2020. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-09-29\\_texte\\_109-2022\\_aufkommen-verwertung-verpackungsabfaelle-2020-d.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-09-29_texte_109-2022_aufkommen-verwertung-verpackungsabfaelle-2020-d.pdf), zuletzt geprüft am 17.12.2022.
- Christiani, J.; Beckamp, S. (2020): Was können die mechanische Aufbereitung von Kunststoffen und das werkstoffliche Recycling leisten? In: Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Peter Quicker und Alexander Gosten (Hg.): *Energie aus Abfall*, Bd. 17. Neuruppin: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, S. 139–152, zuletzt geprüft am 03.11.2021.
- Clauß, D. (2017): Abfallmenge und Abfallzusammensetzung. In: Martin Kranert (Hg.): *Einführung in die Kreislaufwirtschaft*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 65–110.
- Decker, T.; Lippl, M.; Albrecht, S.; Bauer, K.D.; Drechsel, P.; Frommeyer, B. et al. (2021): Verbraucherreaktionen bei Plastik und dessen Vermeidungsmöglichkeiten am Point of Sale (VerPlaPoS). Abschlussbericht. Online verfügbar unter [https://bmbf-plastik.de/sites/default/files/2021-06/Abschlussbericht%20\\_VerPlaPoS\\_2021.pdf](https://bmbf-plastik.de/sites/default/files/2021-06/Abschlussbericht%20_VerPlaPoS_2021.pdf), zuletzt geprüft am 02.09.2022.
- European Commission (2018): *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy*. European Commission. Brussels, Belgium. Online verfügbar unter [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF), zuletzt geprüft am 14.04.2022.
- Hesse, K.; Clausen, U. (2019): *Entsorgung und Kreislaufwirtschaft*. In: Kai Furmans und Christoph Kilger (Hg.): *Betrieb von Logistiksystemen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 239–303.
- Hoffmeister, J. ((2008)): *Demografie und Abfall – Wechselwirkungen zwischen sozio-demografischen Einflussfaktoren und dem spezifischen Abfallaufkommen*. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Andrea Versteyl (Hg.): *Planung und Umweltrecht*. Neuruppin: TK, S. 15–28.
- Lang-Koetz, C.; Woidasky, J.; Schmidt, J.; Auer, M.; Kusch, A.; Gasde, J. et al. (2021): *Markerbasiertes Sortier- und Recyclingsystem für Kunststoffverpackungen*. Schlussbericht des BMBF-Forschungsvorhabens „MaReK“. Hg. v. Technische Informationsbibliothek. Pforzheim, Germany. Online verfügbar unter <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT:1777963265/Markerbasiertes-Sortier-und-Recyclingsystem-f%C3%BCr?cHash=dd74a446d37fa737fc852e56bc425726>, zuletzt geprüft am 19.08.2022.
- Lindner, C.; Schmitt, J.; Fischer, E.; Hein, J. (2022): *Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2021: Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen*. Conversio GmbH. Online verfügbar unter [https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/01-Nachrichten/03-Kunststoff/2022/Kurzfassung\\_Stoffstrombild\\_2021\\_13102022\\_1\\_.pdf](https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/01-Nachrichten/03-Kunststoff/2022/Kurzfassung_Stoffstrombild_2021_13102022_1_.pdf), zuletzt geprüft am 23.11.2022.
- Mellen, D.; Becker, T. (2018): *Kunststoffe*. In: Peter Kurth, Anno Oexle und Martin Faulstich (Hg.): *Praxishandbuch der Kreislauf- und Rohstoffwirtschaft*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 327–345.

- Schmidt, J.; Auer, M.; Moesslein, J.; Wendler, P.; Wiethoff, S.; Lang-Koetz, C.; Woidasky, J. (2021): Challenges and Solutions for Plastic Packaging in a Circular Economy. In: Chemie Ingenieur Technik 93 (11), S. 1751–1762. DOI: 10.1002/cite.202100110.
- Schmidt, J.; Grau, L.; Auer, M.; Maletz, R.; Woidasky, J. (2022): Multilayer Packaging in a Circular Economy. In: Polymers 14 (9). DOI: 10.3390/polym14091825.
- Statistisches Bundesamt: Verpackungsmüll 2019: Pro Kopf 4 Kilogramm mehr eingesammelt als im Vorjahr. Wiesbaden. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/03/PD21\\_132\\_321.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/03/PD21_132_321.html), zuletzt geprüft am 03.11.2022.
- Umweltbundesamt (2022): Verpackungsabfälle, zuletzt aktualisiert am <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/verpackungsabfaelle#grunde-fur-den-anstieg-der-verpackungsabfalle>.
- VerpackG (2017): Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 45 / Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (Verpackungsgesetz–VerpackG), S. 2234–2261. Online verfügbar unter [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=%2F%2F\\*%5B@attr\\_id%3D%27bgbl117s2234.pdf%27%5D#\\_\\_bgbl\\_\\_%2F%2F\\*%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl117s2234.pdf%27%5D\\_\\_1581674018469](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=%2F%2F*%5B@attr_id%3D%27bgbl117s2234.pdf%27%5D#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl117s2234.pdf%27%5D__1581674018469), zuletzt geprüft am 15.02.2021.
- Wagner, J.; Günther, M.; Rhein, H.-B.; Meyer, P. (2018): Analyse der Effizienz und Vorschläge zur Optimierung von Sammelsystemen der haushaltsnahen Erfassung von Leichtverpackungen und stoffgleichen Nichtverpackungen auf der Grundlage vorhandener Daten. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/analyse-der-effizienz-vorschlaege-zur-optimierung>, zuletzt geprüft am 25.11.2022.
- Woidasky, J.; Auer, M.; Schmidt, J.; Kusch, A.; Gasde, J.; Lang-Koetz, C. et al. (2021): „Tracer-Based-Sorting“ in der Verpackungs-Abfallwirtschaft. In: Müll und Abfall (7). DOI: 10.37307/j.1863-9763.2021.07.05.

## Kontakt

*M.Sc., Jannick Schmidt, wissenschaftlicher Mitarbeiter*

Hochschule Pforzheim, Fakultät für Technik, Arbeitsgruppe Nachhaltige Produktentwicklung

Tel.-Nr. +49-7231-28-6119

E-Mail: [Jannick.schmidt@hs-pforzheim.de](mailto:Jannick.schmidt@hs-pforzheim.de)

