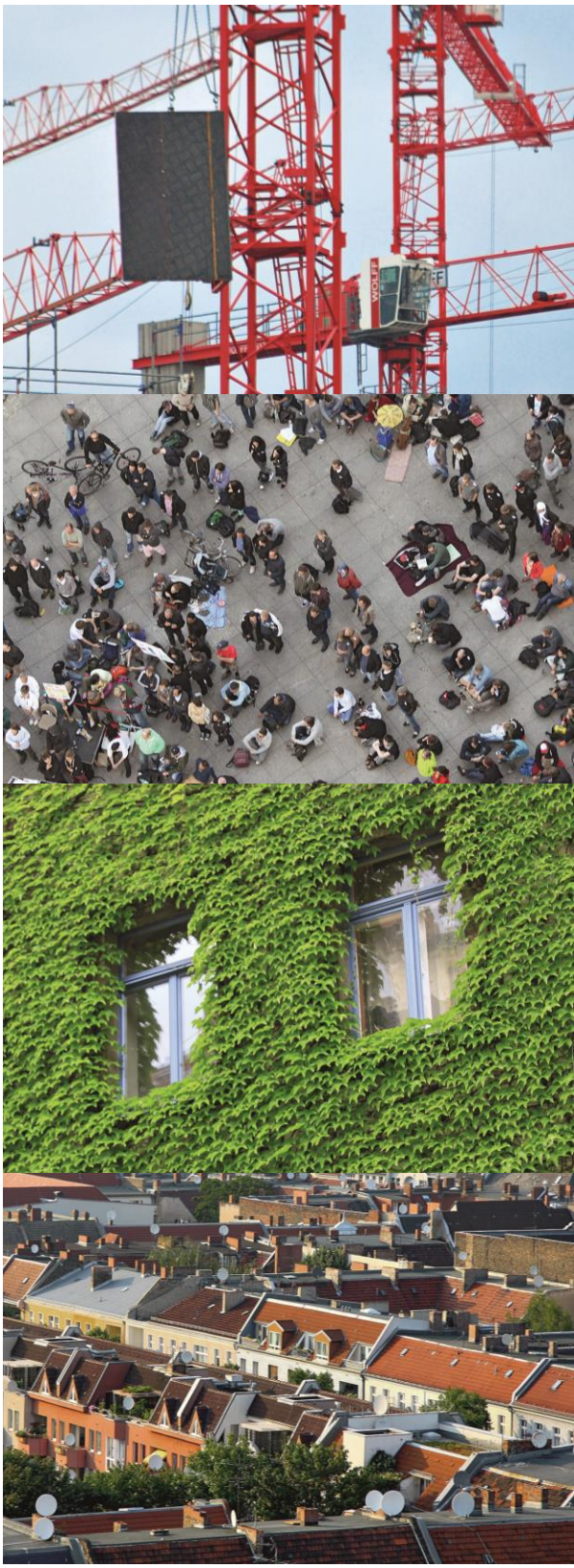
Difu Impulse
2/2025

Deutsches Institut
für Urbanistik



Projektverbund reGIOcycle

Nachhaltige Kunststoffkreisläufe: regionale Vermeidungs- und Substitutionsstrategien

Das Projekt „reGIOcycle“ – 2. Teil Umsetzungsphase (2023–2025)

reGIOcycle

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

STADT LAND PLUS

Maic Verbücheln
Viktor Klein
Stephanie Manis
Christina Zegowitz
Lukas Zeiler
Melanie Dörfler
Felix Assies
Andrea Thorenz
Stefan Hanstein
Malte Vogelgesang
Irina Mostovenko
Michael Schweizer

Nachhaltige Kunststoffkreisläufe: regionale Vermeidungs- und Substitutionsstrategien

Das Projekt „reGIOcycle“ – 2. Teil Umsetzungsphase (2023–2025)

Impressum

Herausgeber:

Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu)
Zimmerstraße 13–15 10969 Berlin
+49 30 39001-0 difu@difu.de https://difu.de/

Autorinnen und Autoren:

Maic Verbücheln (Difu), Dr. Viktor Klein, Stephanie Manis, Christina Zegowitz, (Umweltcluster Bayern), Lukas Zeiler, Melanie Dörfler (Abfallwirtschafts- und Stadtreinigungsbetrieb der Stadt Augsburg), Felix Assies, Dr. Andrea Thorenz (Universität Augsburg), Dr. Stefan Hanstein, Malte Vogelgesang (Fraunhofer IWKS), Irina Mostovenko (Universität Stuttgart), Dr. Michael Schweizer (Tecnaro)

Unter Mitarbeit von

Prof. Dr.-Ing. Christian Bonten (Universität Stuttgart), Christian Schulze (Abfallwirtschafts- und Stadtreinigungsbetrieb der Stadt Augsburg)

Gefördert durch

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Förderrichtlinie Stadt-Land-Plus

Redaktion:

Patrick Diekelmann (Difu)

Layout:

Petra Hettich (Difu) | Jessika Sahr-Pluth (Difu)

Gestaltungskonzept Umschlag:

3pc GmbH Neue Kommunikation

Bildnachweis (Umschlag):

1. v. oben: Busso Grabow | 2., 3., 4. v. oben: Wolf-Christian Strauss

Erscheinungsjahr

2025

Schriftenreihe:

Difu Impulse 2/2025 ISSN 1863-7728

DOI 10.34744/difu-impulse_2025-2

Der Text dieser Publikation, bis auf Zitate, sowie selbst erstellte Abbildungen und Tabellen, wird unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0) veröffentlicht. Den vollständigen Lizenztext finden Sie unter: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de

Zitierempfehlung (APA7):

Verbücheln, M., Klein, V., Manis, S., Zegowitz, C., Zeiler, L., Dörfler, M., Assies, F., Thorenz, A., Hanstein, S., Vogelgesang, M., Mostovenko, I. & Schweizer, M. (2025). Nachhaltige Kunststoffkreisläufe: regionale Vermeidungs- und Substitutionsstrategien". Das Projekt „reGIOcycle“ – 2. Teil Umsetzungsphase (2023–2025) (Difu Impulse 02/2025). Berlin. Deutsches Institut für Urbanistik (Difu). https://doi.org/10.34744/difu-impulse_2025-2

Inhalt

1. Einführung 7

1.1 Hintergrund 7

1.1.1 reGIOcycle – das Projekt 9

1.1.2 Forschungsphase: 2020–2023 10

1.1.3 Umsetzungsphase: 2023–2025 10

1.1.4 Vorgehen und Methoden 11

2. reGIOcycle – Umsetzung in die Praxis 14

2.1 Abfallvermeidung: Der Augsburger Becher – Umsetzung eines lokalen Mehrwegsystems für Kaltgetränke 14

2.1.1 Testphase in der Gastronomie 14

2.1.2 Testphase auf Veranstaltungen 15

2.1.3 Marktreife des Augsburger Bechers – Systemtransfer in die Privatwirtschaft 16

2.1.4 Bewertung der Systeme zur Etablierung des Augsburger Bechers 18

2.1.5 Empfehlungen für die Umsetzung bei Veranstaltungen 19

2.2 Substitution: Kreislauforientierte Wertschöpfungskette von Biokunststoffen 20

2.2.1 Biokunststoffe als Alternative – eine Einführung 20

2.2.2 Augsburger Becher aus Biokunststoff 21

2.2.3 Vorsortierbehälter für Bioabfall aus naturfaserverstärktem Biokunststoff 23

2.2.4 Zellstoff und Apfeltrester als Rohstoffe 27

2.2.5 Lebenszyklusanalyse 28

2.3 Kreislaufoptimierung: Reduzierung von Kunststofffehlwürfen in Biotonnen und auf dem Stadtmarkt 29

2.3.1 Reduzierung der Kunststofffehlwürfe im Bioabfall 29

2.3.2 Stoffstrommanagement von Kunststoffen: Analyse in Augsburg und Optimierung auf dem Stadtmarkt 38

3. Handlungsempfehlungen 43

3.1 Einführung von Mehrwegsystemen 43

3.2 Substitution von fossilen Kunststoffen 45

3.3 Stoffstrommanagement 46

3.4 Reduzierung Kunststofffehlwürfe im Bioabfall 47

4. Stadt-Land-Bezug in der Umsetzungsphase 49

5. Fazit und Ausblick 50

6. Projektpartner 54

7. Literatur 56

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Linearer Lebenszyklus von Kunststoffen.	9
Abb. 2:	Übersicht Projektpartner, Methoden und Vorgehen	11
Abb. 3:	Biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe	21
Abb. 4:	Der Augsburger Becher aus Biokunststoff	22
Abb. 5:	Spritzguss einer Gärschale aus dem neu entwickelten Material mit vorbehandelten Zellstoff-Fasern	24
Abb. 6:	3D-Druck mit Materialien, die in reGIOcycle entwickelt wurden	25
Abb. 7:	Von der Forschung in die Praxis – die entwickelten BiOTONis in drei Farben	26
Abb. 8:	Von der Forschung in die Praxis – Informationen zum BiOTONi aus biogenem Material auf der BiOTONi-Webpage	27
Abb. 9:	Rohstoffkette nach dem Cradle-to-Grave-Prinzip	28
Abb. 10:	Fehlwürfe in einer Biotonne in Augsburg- Oberhausen (2022)	30
Abb. 11:	Nutzung des BiOTONi in einer GWA	32
Abb. 12:	Informationsflyer zu den Bildungsboxen	34
Abb. 13:	Überreichung der Urkunde von Frau Dr. Hoffmann (BMUV) an Frau Tremmel (Lkr AIC-FDB) und Frau Zegowitz (Umweltcluster Bayern)	35
Abb. 14:	reGIOcycle-Stand auf dem Stadtfest in Oberhausen	36
Abb. 15:	reGIOcycle-Stand auf dem Nachhaltigkeitsfest in Aichach	37
Abb. 16:	Verpackung, Nicht-Verpackung und Fehlwürfe	39
Abb. 17:	Wertstoffabfall vor der Sortierung	40
Abb. 18:	Nutzbares bzw. verkaufsfähiges Obst und Gemüse aus der Biotonne	41
Abb. 19:	Übergabe von BiOTONis für die Bioabfallsammlung auf dem Stadtmarkt Augsburg	42
Abb. 20:	Akteur*innen bei der Übergabe der Bildungsboxen „Mehrweg“ und „Bioabfall“ an das Umweltbildungs-zentrum Augsburg	52
Abb. 21:	Ergebnisse der Zukunftswerkstatt Region Augsburg 2050	53

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Ergebnisse 1. Chargenanalyse der Biotonnen	31
Tab. 2:	Aktivitäten im Kindergarten zum Bioabfall	33
Tab. 3:	Ergebnisse 2. Chargenanalyse der Biotonnen	35

1. Einführung

Mit dem Forschungsprojekt **reGIOcycle** wurden die Möglichkeiten der **Vermeidung, Substitution und die Entwicklung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe auf der regionalen Ebene** untersucht. Hierzu wurden verschiedene Ansätze zur regionalen Steuerung von Kunststoffen in der **Region Augsburg** beleuchtet. Akteure aus Kommunen, Forschungseinrichtungen und lokal agierenden Unternehmen waren an reGIOcycle beteiligt. Das Projekt teilte sich in eine **Forschungsphase** (2020–2023) und eine Umsetzungsphase (2023–2025) auf. In diesem Difu-Impulse-Band werden die Ergebnisse aus der **Umsetzungsphase** vorgestellt.

reGIOcycle wurde als Verbundprojekt mit acht Partnern und fünf assoziierten Partnern umgesetzt – diese sind im Kapitel 6 aufgeführt.

1.1 Hintergrund

In diesem einleitenden Abschnitt wird auf die Relevanz des Stoffstroms der Kunststoffe für die Kreislaufwirtschaft eingegangen.

Entwicklung, Produktion und Aufkommen

Im 19. Jahrhundert wurden die ersten Kunststoffe entwickelt, die zunächst auf natürliche Rohstoffe wie z.B. Cellulose basierten (Caterbow & Speranskaya, 2019). Schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden jedoch mit Bakelit, Polyvinylchlorid (PVC) und Polystyrol (PS) die ersten vollständig synthetischen Kunststoffe entwickelt. Die Nachfrage nach Kunststoffen – hier vor allem PVC – stieg in der Zeit des Zweiten Weltkriegs stark an. Mit der Entwicklung von Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) und der Markterschließung für Alltagsprodukte aus diesen Materialien begann dann der rasante Anstieg der Kunststoffproduktion.

Die Produktion von Kunststoffen ist seit 1950 weltweit von 1,5 Mio. t auf über 400 Mio. t im Jahr 2022 angestiegen (Statista, 2024b). In Europa allein wurden im Jahr 2022 über 58 Mio. t Kunststoffe im Jahr produziert (ebenda). Der weltweite Produktionsanstieg ist auf eine große Nachfrage in Asien zurückzuführen, wohingegen der Anstieg in Europa moderat ausfällt. Festzuhalten ist, dass Kunststoffe im alltäglichen Leben omnipräsent und kaum noch wegzudenken sind.

Kunststoffe basieren in der großen Mehrheit auf fossilen Rohstoffen wie Erdöl, welches nach der Förderung in der Petrochemie bearbeitet wird. In Raffinerien werden beispielsweise mittels eines Reinigungsprozesses Monomere hergestellt, die als Materialbasis für Kunststoffe dienen. Die Monomere werden zu Ketten zusammengefügt, woraus Polymere entstehen (u.a. Ethylen, Propylen). Diese synthetisch oder halbsynthetisch erzeugten Polymere werden Kunststoffe genannt. Etwa 99 % der Kunststoffe werden auf Basis fossiler Rohstoffe produziert (Heinrich-Böll-Stiftung 2019). Biobasierte Kunststoffe machen mit weniger als 1 % nur einen kleinen Anteil an der globalen Kunststoffproduktion aus (euopeanbioplastice, 2023).

Nutzungen von Kunststoffen

Kunststoffe werden für verschiedenste Anwendungen in unterschiedlichsten Arten und Formen hergestellt und eingesetzt – sie sind leicht, vielfältig, haltbar und leicht verfügbar. Kunststoffe finden eine Anwendung u.a. in der Bauwirtschaft, in der Automobil- und Elektroindustrie oder der Agrarwirtschaft. Vor allem die Nutzung von Kunststoffen für Verpackungen (Flaschen, Folien, Beutel etc.) ist in Deutschland mit 4,334 Mio. t sehr hoch (Statista, 2024a).

Problemstellung und Herausforderung

Rohstoffgewinnung, Produktion, Nutzung sowie Entsorgung von Kunststoffen sind mit verschiedenen Problemen für die globale Umwelt verbunden. Nachfolgend wird auf die wichtigsten eingegangen:

- Klimaschutz: Materialbasis für Kunststoffe sind in der Regel fossile Rohöle, deren Exploration und Förderung energieaufwändig ist. Zur Erstellung von Kunststoffen werden in sehr energieintensiven Aufbereitungsprozessen zudem fossile Energien verbraucht (z.B. Steamcrackingverfahren). Insgesamt werden bei der Gewinnung, Herstellung, Verarbeitung und dem Transport von Kunststoffen erhebliche CO_2-Emissionen verursacht. Kunststoffe zeichnen für 4,5 % der weltweiten Treibhausgasemissionen (THG) verantwortlich (Stegmann et al., 2022). Kunststoffe sind somit ein Treiber des Klimawandels.

- Vermüllung/Littering: Die Nutzungsphase ist im Bereich der Verpackungen häufig sehr kurz, etwa im To-Go-Bereich. Ein Problem ist hier das Littering – das achtlose Wegwerfen der Verpackungen (z.B. von Einwegkunststoffprodukten) im öffentlichen Raum. Littering ist für Kommunen mit hohen Kosten etwa für die Reinigung des öffentlichen Raums verbunden. Dieser Müll ist häufig auch Quelle von Mikroplastik und des Marine Litterings, d.h. die Vermüllung von Gewässern und der Meere mit negativen Auswirkungen auf unsere Nahrungsketten (siehe Mikroplastik unten).

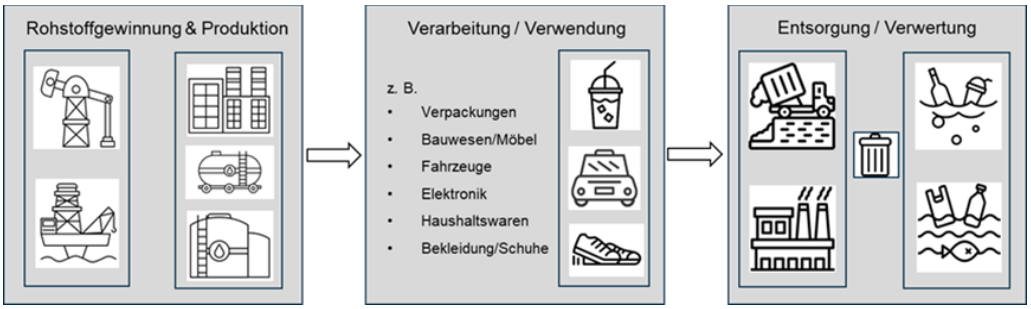
- Entsorgung/Verwertung: Nach der Nutzungsphase werden Kunststoffprodukte i.d.R. der Entsorgung zugeführt, wobei die getrennte Erfassung von Kunststoffen für das Recycling sehr wichtig ist. Standardkunststoffe wie Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polyethylenterephthalat (PET) lassen sich bei Sortenreinheit gut recyceln. Die Kunststoffvielfalt ist jedoch sehr hoch, was für das Recycling ein Hemmnis ist. Zum Teil ist auch die Trennung der Materialien – etwa bei Verbundstoffen – schwierig. Zudem werden Verpackungsmaterialien nicht immer richtig getrennt. Hier kommt es in Haushalten unter anderem zu Fehlwürfen. Eingesammelte Kunststoffe werden zum allergrößten Anteil verwertet, wobei jedoch die energetische Verwertung mit 64 % den größten Anteil ausmacht (Umweltbundesamt [UBA], 2023).

- Mikroplastik: Eine lange wenig beachtete Problematik ist die Entstehung von Mikroplastik. Hierbei handelt es sich um Plastikpartikel mit einem Wert zwischen 1 µm und 5 mm (Hartmann et al., 2019). Mikroplastik wird im menschlichen Körper, in Tieren und in der Natur (z.B. Boden, Wasser) lokalisiert. Bereits 1972 wurde in einer Publikation auf Mikroplastik in der Saragossasee hingewiesen (Carpenter & Smith, 1972). Mikroplastik lässt sich in vielen Nahrungsmitteln wie z.B. Muscheln feststellen (Ferreira et al 2023). Sie gelangen über Nahrung, Luft etc. in den menschlichen Körper und wurden unter anderem in Lungen (Amato-Lourenço L. F., et al et al., 2021), Mägen, Zellen (Ramsperger et al., 2020) und im Blut (Leslie et al., 2022) lokalisiert. Es gibt Hinweise auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen etwa

durch Verengung der Halsschlagader (Marfella et al., 2024). Die Auswirkungen von Mikroplastik auf Flora, Fauna und menschlicher Gesundheit sind derzeit noch zu wenig erforscht.

Die oben aufgeführten Punkte zeigen deutlich, dass die Herstellung und der Konsum von Kunststoffen mit Problemen für die Umwelt und die Gesundheit der Menschen verknüpft sind. Der Sektor der Kunststoffwirtschaft ist überwiegend linear ausgerichtet und noch weit von einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft entfernt (vgl. Abb. 1). Der Übergang zu einem nachhaltigen Umgang mit Kunststoffen in der Produktion, beim Konsum und der Entsorgung ist eine zentrale Herausforderung für ein postfossiles Zeitalter.

Abb. 1:
Linearer Lebenszyklus von Kunststoffen



Quelle: Difu

Weitere und detailliertere Informationen zur Problemstellung sind in der ersten reGIOcycle-Veröffentlichung (Difu-Impulse, Bd. 11/2023, www.difu.de/18189) mit Ergebnissen aus der Forschungsphase von 2023 zu finden (vgl. auch Kapitel 1.2.1).

1.1.1 reGIOcycle – das Projekt

Ausgehend von den heutigen linearen Produktlebenszyklen „konventioneller" Kunststoffe sowie von der innovativen Entwicklung von Ersatzstoffen wie biobasierte Kunststoffe und deren Einsatz sowie den Optimierungsmöglichkeiten der Stoffströme stellen sich Fragen nach den Zukunftsperspektiven von Kunststoffen. Vor diesem Hintergrund wurden für reGIOcycle folgende Forschungsfragen ausgewählt:

a) Welche nachwachsenden Ressourcen sind in der Region vorhanden?

b) Welche regionalen Ansatzpunkte für die Steuerung von Kunststoffen gibt es?

c) Wie kann die Vermeidung von Kunststoffprodukten funktionieren?

d) Mit welchen Materialien können fossilbasierte Kunststoffe ersetzt werden?

e) Wie können Kunststofffehlwürfe vermieden werden, um die Sortenreinheit der Sammlung zu erhöhen und das Recycling zu verbessern?

f) Wie können die Projektergebnisse aus dem Untersuchungsraum Augsburg auf andere Kommunen bzw. Regionen übertragen werden?

Diese Forschungsfragen wurden in der Region Augsburg, d.h. Stadt Augsburg, Landkreis Augsburg und Landkreis Aichach-Friedberg, untersucht.

1.1.2 Forschungsphase: 2020–2023

Die Ergebnisse aus der Forschungsphase wurden im Jahr 2023 in dem Difu-Impulse-Band „Vermeidung, Substitution und nachhaltige Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen. Das Projekt „reGIOcycle“ – 1. Teil Forschungsphase (2020–2023)“ veröffentlicht (www.difu.de/18189). In diesem Abschnitt werden die Inhalte dieser ersten Veröffentlichung zusammengefasst.

Im ersten Kapitel wurde auf die verschiedenen Herausforderungen von Kunststoffmaterialen eingegangen und das Projekt reGIOcycle mit Blick auf Ziele, Untersuchungsgebiet, Projektpartner etc. detailliert vorgestellt. Im zweiten Kapitel wurde die Problematik der Kunststoffstoffströme auf der regionalen Ebene im Kontext von Stadt-Land-Beziehungen dargestellt. Das dritte Kapitel stellt die Organisation der Kunststoffstoffströme in Deutschland und auf der regionalen Ebene in Augsburg dar. Die Ergebnisse der Rohstoffanalyse zeigen auf, welche Potenziale im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe (NawaRo) in der Region liegen. Die im Projekt entwickelte Datenbank ist frei verfügbar und unter folgenden Link zu finden: https://zenodo.org/records/5027440#.YUAycxlxeCg. Im vierten Kapitel wurden neben den Akteuren aus der Region Augsburg auch potenzielle Ansätze zur Vermeidung und Optimierung von Kreisläufen vorgestellt. Auf Basis der Rohstoffpotenzialanalyse wurden mögliche Ansatzpunkte in der Region Augsburg für eine optimierte Kreislaufwirtschaft und zur Substitution von Kunststoffprodukten diskutiert und hierzu Ideen entwickelt. Kreisläufe für ein Mehrwegsystem aus NawaRo, für Mehr- und Einwegverpackungen und Bioabfall sind im Detail beschrieben und in Grafiken dargestellt. Das fünfte Kapitel beschreibt, neben den Projektideen, die praxisorientierten Vorarbeiten und Analysen sowie erste Schritte zur Umsetzung der ausgewählten Ansätze. Die weiter fokussierten Ansätze sind die Abfallvermeidung durch ein Mehrwegsystem, die Substitution durch Biokunststoffe oder Alternativen und die Kreislaufoptimierung durch Reduzierung von Fehlwürfen in Biotonnen. Die angewandten Methoden, auf die zurückgegriffen wurde, wie etwa Reallabore, Citizen Innovation Labs in Experimentierräumen (Pilotierungen), werden dargestellt, ebenso erste Ergebnisse mit Bezug auf die Umsetzung der ausgewählten Ansätze. Im sechsten Kapitel werden Handlungsempfehlungen aus der Forschungsphase abgeleitet. Der Band I endet mit einem Fazit im siebten Kapitel.

1.1.3 Umsetzungsphase: 2023–2025

In diesem Difu-Impulse-Band sind die Ergebnisse aus der zweijährigen Umsetzungsphase von 2023 bis 2025 aufgeführt. Die in der vorherigen Forschungsphase festgelegten Schwerpunkte wurden in der Umsetzungsphase weiterverfolgt, dies waren:

(1) Etablierung eines Mehrwegsystems für Kaltgetränke in der Stadt Augsburg für die lokale Gastronomie sowie für Veranstaltungen. Überführung des entwickelten Systems in die private Wirtschaft.

(2) Entwicklung von Materialien für die Substitution von fossilen Kunststoffen in Produkten. Aufbereitung eines Umsetzungskonzepts für kreislauforientierte Wertschöpfungsketten eines Biokunststoffs und eines al-

ternativen Grundstoffes auf NawaRo-Basis. Nutzbarmachung der entwickelten Materialien für Marktteilnehmer der privaten Kunststoffwirtschaft.

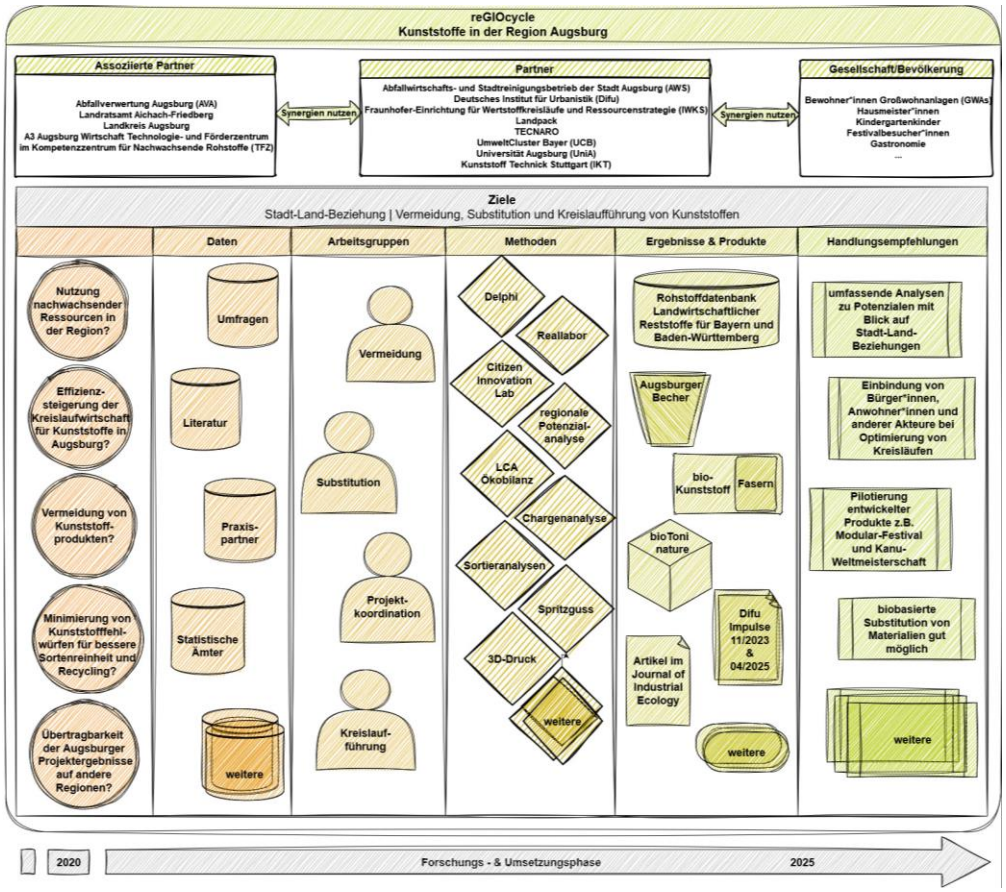
(3) Optimierung des regionalen Bioabfallkreislaufs, indem die Fehlwurfquoten mit Blick auf Kunststoffen in Biotonnen reduziert werden. Verstetigung der Maßnahmen in den Kommunen.

Ziel war es, diese drei Ansätze in der Region Augsburg in die Praxis umzusetzen und mit Leben zu füllen. Wie dabei vorgegangen wurde und welche Ergebnisse dabei erzielt wurden, wird in diesem Difu-Impulse-Band aufgeführt.

1.1.4 Vorgehen und Methoden

Um die oben formulierten Forschungsfragen mit Blick auf die regionale Umsetzung umfassend und praxisnah zu beantworten, kamen im Rahmen des Projekts verschiedene empirische Methoden zum Einsatz. Die ausgewählten Methoden stützen sich stark auf kooperative Prozesse zwischen den Projektpartnern, assoziierten Partnern sowie der Zivilgesellschaft und der Bevölkerung vor Ort. Ebenso kamen systematische Analysen zum Einsatz. In der Abbildung 2 sind diese Vernetzung und die kollaborative Vorgehensweise, etwa in Reallaboren, die das Projekt auszeichneten, verdeutlicht.

Abb. 2: Übersicht Projektpartner, Methoden und Vorgehen



Quelle: Difu

Für die Umsetzung der Methoden wurden vier Arbeitsgruppen gebildet: 1. Vermeidung, 2. Substitution, 3. Kreislaufführung und 4. Projektkoordination. Jede dieser Arbeitsgruppen verfolgt spezifische Schwerpunkte, deren Analyse durch den Einsatz empirischer Methoden gezielt unterstützt wurde.

Methoden für die Umsetzung in der Praxis

Eine wichtige Grundlage für die Bewertung regionaler Möglichkeiten bot die Potenzialanalyse, die vor allem in der Arbeitsgruppe „Substitution“ zur Anwendung kam. Diese Analyse zielte darauf ab, vorhandene lokale Ressourcen zu identifizieren und Chancen zur Förderung einer regionalen Kreislaufwirtschaft mit Blick auf die Substitution von fossilen Rohstoffen aufzuzeigen.

Ein zentraler methodischer Ansatz lag in der Einbindung relevanter Akteure aus Kommunalpolitik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft. Die Beteiligung war zentraler Bestandteil eines durchgeführten Reallabors sowie eines Citizen Innovation Labs. Diese Methoden ermöglichen wertvolle qualitative Einblicke in bestehende Herausforderungen und zeigten Möglichkeiten zur Reduktion und Substitution von Kunststoffen auf. In der Arbeitsgruppe „Vermeidung“ lag ein besonderes Augenmerk auf dem Reallabor, indem die Erprobung eines neu konzipierten Mehrwegbechers – des Augsburger Bechers – ausprobiert wurde. In enger Zusammenarbeit mit lokalen Gastronomiebetrieben und bei Veranstaltungen der Stadt Augsburg wurden Pilotierungen (Testung des Konzepts) in der Praxis durchgeführt, um die Marktfähigkeit dieses neuen, nachhaltigen Produkts zu testen. Diese Praxisphasen erlaubten es, nicht nur das Produkt selbst, sondern auch dessen Akzeptanz und Handhabung unter realen Bedingungen zu evaluieren. Die Ergebnisse aus diesen Pilotprojekten flossen direkt in die Weiterentwicklung des Bechers ein, wodurch wichtige Erkenntnisse für den Einsatz in der Gastronomie und bei Großveranstaltungen gewonnen werden konnten. In diesem Zusammenhang wurden auch gemeinsam mit Verbänden (z.B. DEHOGA) Informationsveranstaltungen für die Wirtschaft durchgeführt. Im Rahmen des Citizen Innovation Labs wurden Informations-, Beteiligungs- und Diskussionsformate umgesetzt (z.B. Stände in Wohnquartieren und auf Veranstaltungen), um die breite Bevölkerung ausgewählter Gebiete direkt anzusprechen, aufzuklären und diese in den Diskurs einzubeziehen. Dies war insbesondere ein Bestandteil der Arbeitsgruppe „Kreislaufführung“ und zielte darauf ab, die Akteure von Großwohnanlagen (GWA), wie etwa die Bewohnerschaft oder Hausmeister etc., proaktiv zu informieren und einzubinden. Zusätzlich wurde in dem Citizen Innovation Lab die Delphi-Methode eingesetzt, um Sachverständige und die Bewohnerschaft in einem mehrstufigen Verfahren systematisch zu befragen. Somit konnten zukunftsweisende Szenarien für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft in GWA entwickelt, umgesetzt und bewertet werden.

Workshops ermöglichen den intensiven Austausch zwischen den Projektpartnern, anderen Sachverständigen und der Zivilgesellschaft. Diese partizipativen Formate, die in allen Arbeitsgruppen stattfanden, brachten Fachwissen und praktische Erfahrungen zusammen, um gemeinsam Lösungen – etwa für die Umsetzung von Maßnahmen – zu entwickeln.

in der Arbeitsgruppe „Substitution“ wurden durch die Anwendung der Lebenszyklusanalyse (LCA) die Umweltauswirkungen von Kunststoffprodukten über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg beurteilt. Dies ermöglichte eine detaillierte Betrachtung der ökologischen Vorteile von Vermeidungs- und Substitutionsmaßnahmen.

Im Hinblick auf die Analyse optimierter Materialströme wurden Chargenanalysen von Abfällen durchgeführt, insbesondere im Reallabor und dem Citizen Innovation Lab. Diese Analysen erfassten systematisch die Zusammensetzung und Verwertungsmöglichkeiten von Abfällen. Diese Analysen waren wichtig, um die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Optimierung von Stoffströmen zu prüfen.

Ein wichtiger technischer Bestandteil des Projekts war in der Arbeitsgruppe „Substitution“ die Prüfung der neu entwickelten Kunststoffe – biobasierte Kunststoffe mit regionalen Fasern. Hierbei kamen Spritzguss und 3D-Druck zum Einsatz, um die Tauglichkeit und Qualität der neu entwickelten Kunststoffe unter realen Produktionsbedingungen zu testen. Diese Verfahren ermöglichten es, die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der Kunststoffe zu bewerten und deren Anwendungspotenziale zu bestimmen. Zusätzlich wurden durch Sortieranalysen der neuen faserverstärkten Kunststoffe deren Recyclingfähigkeit sowie die Möglichkeiten zur Substitution herkömmlicher Kunststoffe untersucht. So konnten Rückschlüsse auf die Einbindung in zukünftige Recyclingprozesse gezogen und Ansätze zur Optimierung der Materialströme entwickelt werden.

Einordnung des Instrumentenmixes

Die angewandten empirischen Methoden lassen sich als integrative und auf Kooperation basierende Ansätze beschreiben, die sowohl technische als auch gesellschaftliche Dimensionen berücksichtigen. Sie boten eine fundierte Grundlage, um die Herausforderungen der Kunststoffvermeidung und -substitution zu untersuchen und gleichzeitig eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft in der Region zu fördern. Die enge Verzahnung zwischen den verschiedenen Arbeitsgruppen – Vermeidung, Substitution, Projektkoordination und Kreislaufführung – gewährleistete eine ganzheitliche Betrachtung der Thematik und die Nutzung von Synergien auf allen Ebenen des Projekts.

2. reGIOcycle – Umsetzung in die Praxis

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus der praxisnahen Umsetzung der reGIOcycle-Projektansätze in den Themenfeldern „Vermeidung", „Substitution" und „Kreislaufwirtschaft" in der Region Augsburg beschrieben. Es wird auf das Vorgehen, die zentralen Ergebnisse, die gemachten Praxiserfahrungen und mögliche Wege zur Verstetigung eingegangen.

2.1 Abfallvermeidung: Der Augsburger Becher – Umsetzung eines lokalen Mehrwegsystems für Kaltgetränke

In der Forschungsphase (2020–2023) wurde der Augsburger Becher als kommunales Mehrwegsystem für Kaltgetränke (z.B. Cocktails, Bier) konzipiert. Ziel war es, den Abfall in der Augsburger Innenstadt, insbesondere durch Littering mit Einwegbechern, was in der Corona-Zeit stark zugenommen hatte, zu reduzieren. Der Augsburger Becher wurde im Rahmen des Projekts entwickelt, designt und auch produziert. Zudem wurden für den Augsburger Becher biobasierte Materialien entwickelt (vgl. hierzu Kapitel 2.2).

Für die Etablierung des Augsburger Bechers in der Praxis wurden Testphasen in der Gastronomie und auf Veranstaltungen durchgeführt. Die Organisation des Systems „Augsburger Becher" (Lagerung, Abholungen etc.) verantwortete der Abfallwirtschaft- und Stadtreinigungsbetrieb Augsburg (AWS).

2.1.1 Testphase in der Gastronomie

Im August 2022 wurde in der Gastronomie der Augsburger Innenstadt ein Testbetrieb zur Einführung des Augsburger Bechers gestartet. Der Zeitpunkt wurde vor dem Hintergrund der bundesweiten Mehrwegangebotspflicht, die seit Anfang 2023 für die Gastronomie gilt, ausgewählt. Mit dem Augsburger Becher wurde der Augsburger Gastronomie ein System angeboten, mit dem sie die Mehrwegangebotspflicht erfüllen kann. Die Testphase sollte zeigen, ob ein solches Mehrweggetränkesystem für Kaltgetränke in einer urbanen Umgebung wie Augsburg erfolgreich funktionieren kann.

Konzeption und Durchführung des Testbetriebs

An der Testphase beteiligten sich zehn Gastronomiebetriebe. Sieben von ihnen boten neben ihren bisherigen Einwegbechern nun auch den Augsburger Becher als umweltfreundliche Alternative an. Die übrigen drei Betriebe verkauften zuvor hauptsächlich Getränke in Originalflaschen und Dosen, wobei zwei dieser Betriebe kaum Take-Away-Geschäft hatten. In der Testphase wurden den Gastronomiebetrieben die Becher durch das Projekt kostenlos zur Verfügung gestellt. Es wurde mit den Gastronomiebetrieben vereinbart, für jeden Becher ein Pfand von 2 € zu erheben, um die Rückgabe zu fördern. Die Becher konnten in allen teilnehmenden Betrieben – die allesamt fußläufig zueinander liegen – zurückgegeben werden. Die Testphase startete im August 2022 und endete im Jahr 2023.

Die Marketingaktivitäten für den Augsburger Becher wurden anfangs von den reGIOcycle-Projektbeteiligten übernommen und ab März 2023 von zwei beauftragten Agenturen professionalisiert.

Beurteilung des Systems durch Nutzende nach der Testphase

Befragung der Kundschaft: Vier Wochen nach Einführung des Bechers wurde vor den Kneipen und Bars eine Umfrage unter 25 Personen durchgeführt, die den Augsburger Becher nutzten. Die Ergebnisse zeigten eine hohe Zustimmung zum Konzept Augsburger Becher. Mit Ausnahme einer Person bewerteten alle Teilnehmenden die Nutzung des Bechers in Augsburg als gut oder sehr gut. Insgesamt 21 Befragte konnten sich vorstellen, den Becher bei Großveranstaltungen einzusetzen, 18 im Fußballstadion und 9 in Nachtclubs (Verbücheln et al., 2023).

Befragung Gastronomie: Die Befragung von Gastronomiebetreibenden nach Abschluss des Testbetriebs im März 2024 ergab ein differenzierteres Bild. Der Becher selbst fand durchweg positive Resonanz. Die Befragten lobten insbesondere die Haltbarkeit und Spülfähigkeit. Auch die Organisation des Testbetriebs wurde als gut bewertet. Die Integration der Becher in die bestehenden Abläufe gestaltete sich für alle Beteiligten als unproblematisch. Das Pfandsystem wurde entweder über die vorhandene Kassensoftware oder parallel dazu verwaltet. Auch Lagerung und Spülung funktionierten reibungslos, wenngleich die geringen Umsätze eine aussagekräftige Bewertung erschwerten. Dennoch wurde der Mehrwegbecher in den meisten Betrieben nur selten eingesetzt. Drei der sieben teilnehmenden Betriebe verzeichneten seit Ende der Corona-Pandemie einen stark rückläufigen To-Go-Verkauf. Ein Befragter gab an, im Durchschnitt lediglich einen Becher pro Monat ausgegeben zu haben. Die anderen vier Befragten berichteten von geringem Interesse der Kundschaft an Mehrwegbechern. Obwohl die Kundschaft dem Konzept gegenüber grundsätzlich positiv eingestellt sei, würde sie nur selten nach Mehrwegbechern fragen. Lediglich ein Gastronom der vorwiegend eine junge und studentische Klientel bedient, schätzte die Nachfrage nach Mehrwegbechern als hoch ein.

Die Befragten gaben unterschiedliche Gründe für die Bereitstellung von Mehrwegbechern an. Ein Befrager gab an, er erfülle lediglich die gesetzliche Verpflichtung, während eine Gastronomin zusätzlich von einer persönlichen Motivation für Umweltschutz angetrieben wurde. Wirtschaftliche Vorteile durch die Teilnahme am Pilotprojekt wurden von keinem der Befragten genannt.

2.1.2 Testphase auf Veranstaltungen

Nach dem Einsatz in der Augsburger Gastronomie wurde der Augsburger Becher von Februar bis Dezember 2023 für Veranstaltungen wie Musikfestivals und Stadtfeste zur Verfügung gestellt und getestet. Das Becherpfand betrug auch hier 2 €. In dem Zeitraum wurden knapp 80.000 Augsburger Becher an 30 Veranstaltende verliehen. Ein großes Event war das dreitägige Musikfestival Modular (ca. 25.000 Besucherinnen und Besucher) mit einem Einsatz von rund 28.000 Bechern. Ebenso kam der Augsburger Becher beim dreitägige Stadtfest „Augsburger Sommernächte“ (ca. 100.000 Besucherinnen und Besucher) zum Einsatz, 16 Gastronomiebetriebe übernahmen das Mehrwegsystem und nutzten insgesamt 16.500 Becher. Da auf einen externen Dienstleister verzichtet wurde, übernahmen die Veranstalter selbst die Spülung und den Transport der Becher.

Bei den Veranstaltungen wurden ausschließlich Mehrwegbecher genutzt. Ein Grund hierfür liegt darin, dass in der Stadt Augsburg für innerstädtische Veranstaltungen ein Mehrweggebot gilt. Zudem müssen die Veranstaltenden auf privatem Gelände im Gegensatz zu Gastronomiebetrieben der Innenstadt selbst für die Kosten der Abfallentsorgung aufkommen.

Im Gegensatz zur Testphase in der Gastronomie erwies sich der Augsburger Becher bei Veranstaltungen als großer Erfolg. Betriebe, die den Becher nutzten wollten, mussten weniger intensiv angeworben werden und meldeten sich oft eigenständig. Die meisten erfuhren von dem Angebot über die Website oder die Social-Media-Kanäle des Projekts. Auch durch direkte Ansprache konnten neue Teilnehmende gewonnen werden.

Die Verlustrate der Becher lag im Durchschnitt bei 9 %. Bei den Augsburger Sommernächten, bei denen knapp 12.000 Becher verliehen wurden, betrug die Verlustrate 8 %. Auch ohne dieses Großevent blieb die durchschnittliche Verlustrate bei den übrigen Veranstaltungen bei 9 %.

Bei den Augsburger Sommernächten stieß die Ausgabe der Becher ohne Pfandmarke bei einigen Gastronomiebetrieben auf Skepsis. Sie befürchteten möglicherweise, bei einer höheren Rückgabe als Ausgabe von Bechern in Vorleistung gehen zu müssen. In einigen Fällen führten sie daher eigenständig Pfandmarken ein, was die Rückgabe für die Kunden erschwerte und die Rückgabequote wahrscheinlich negativ beeinflusste. Künftig wäre es ratsam, den Einsatz von Pfandmarken vertraglich auszuschließen.

Die Differenz zwischen Einkaufspreis und den Pfandgewinnen nicht zurückgebrachter Becher erbrachte Einnahmen von über 8.000 €. Demgegenüber stand ein geschätzter Personalaufwand von durchschnittlich sechs Wochenstunden für die gesamte Abwicklung. Es erscheint also realistisch, unter diesen oder ähnlichen Bedingungen kostendeckend arbeiten zu können.

Der Erfolg des Augsburger Bechers bei Veranstaltungen lässt sich möglicherweise damit erklären, dass die Nutzung von Mehrwegbechern auf Veranstaltungen bereits etabliert und somit bei der Kundschaft bereits Gewohnheit ist. Zudem ist die Rückgabe bei Veranstaltungen aufgrund kürzerer Wege komfortabler als im To-Go-Verkauf der Gastronomie. Aber auch bei den Augsburger Sommernächten scheint der Becher auf positive Resonanz gestoßen zu sein. Die Standbetreibenden zeigten auch im Folgejahr großes Interesse, und der Schwund war mit 8 % sogar geringer als im Durchschnitt aller anderen Veranstaltungen.

2.1.3 Marktreife des Augsburger Bechers – Systemtransfer in die Privatwirtschaft

Angesichts des erfolgreichen Einsatzes bei Veranstaltungen in der Testphase wird der Augsburger Becher auch weiterhin für Events angeboten. Um den Verleihbetrieb zu professionalisieren und zu skalieren, kooperierte der Abfallwirtschaft- und Stadtreinigungsbetrieb Augsburg (AWS) im Jahr 2024 mit einem lokalen Eventmanagement-Unternehmen. Das System sollte zudem von der Finanzierung durch das Anfang 2025 beendete Projekt reGIOcycle unabhängig gemacht werden. Im Gegensatz zum AWS verfügt dieses Unternehmen über die notwendige Infrastruktur für Transport und Reinigung der Becher. Dadurch wird ein hygienischer Wiederverleih sichergestellt. Das Unternehmen kann auch die Lieferung und Abholung der Becher sowie eine Zwischenreinigung während laufender Veranstaltungen anbieten. Für die Organisation des Verleihbetriebs wird es finanziell nicht unterstützt, weshalb es die Becher zum Marktpreis verleiht. Pro Becher und vier Tage Nutzungsdauer

beträgt die Leihgebühr 0,15 €. Hinzu kommen Endreinigungskosten von 0,12 € pro Becher. Nonprofit-Organisationen und städtische Veranstaltungen sind von der Leihgebühr befreit und zahlen lediglich die Reinigungskosten.

Ziel dieses neuen Modells ist es, einerseits Vereinen, Schulen und Kindergärten mit dem Augsburger Becher ein attraktives Mehrwegangebot für ihre Veranstaltungen zu unterbreiten. Andererseits soll so die Bereitschaft kommerzieller Veranstalter getestet werden, Mehrwegbecher zu tatsächlichen Marktpreisen zu nutzen. Bei Veranstaltungen wie den Augsburger Sommernächten wird von den kommerziellen Veranstaltenden keine Leihgebühr erhoben, da es sich um eine städtische Veranstaltung handelt und die Becher vom AWS für diesen Test zur Verfügung gestellt worden sind.

Ergebnisse zur Etablierung des Systems

Der Betrieb des Augsburger Bechers konnte bei Veranstaltungen an den Erfolg der Testphase des Vorjahres anknüpfen. Im Untersuchungszeitraum Anfang März bis Anfang Juli 2024 wurden über 36.000 Becher an 17 Veranstaltungsbetriebe verliehen, wobei das dreitägige Modular-Festival – ein Jugend- und Popkulturfestival – mit knapp 17.000 Bechern erneut der größte Abnehmer war. Beim Stadtfest Augsburger Sommernächte nutzten elf Gastronomiebetriebe insgesamt knapp über 15.000 der Augsburger Becher.

Die Verlustrate der Becher auf den Veranstaltungen lag bei durchschnittlich 10 % des Anfangsbestands. Bei den Augsburger Sommernächten lag der Becherschwund bei 11 %. Diese Veranstaltung ausgeklammert lag die Verlustrate bei 9 %. Diese Verlustquoten decken sich weitestgehend mit denen des vorangegangenen Testbetriebs. Dies untermauert die Erkenntnis, dass bei Veranstaltungen eine Verlustrate von etwa 9 bis 10 % zu erwarten ist. Eine Studie des Umweltbundesamts aus dem Jahr 2019 berichtet über eine Verlustquote von 15 bis 20 % beim vergleichbaren System FreiburgCup (UBA, 2019). Insofern scheint die Verlustrate des Augsburger Bechers sehr zufriedenstellend.

Im Testbetrieb 2023 wurden die Becher komplett kostenlos an die Veranstaltungsbetriebe verliehen. Diese übernahmen im Gegenzug die Endreinigung der Becher. Im Jahr 2024 wurde hingegen eine Endreinigungsgebühr erhoben. Dass die Becher weiterhin erfolgreich verliehen werden konnten, zeigt, dass sowohl kommerzielle als auch gemeinnützige Veranstalterinnen und Veranstalter bereit sind, die Endreinigung zu übernehmen und zu bezahlen, obwohl die Einwegbecher mit derzeit ca. 0,09 € pro Stück (Plastikbecher.de, o. J.) günstiger sind als die Reinigungskosten.

Die Becher wurden durchschnittlich 4,5 Tage ausgeliehen. Allerdings ist diese Zahl nicht unbedingt aussagekräftig für die tatsächliche Nutzungsdauer, da die Leihnehmer*innen keine Mietgebühren zahlen mussten. Es ist daher anzunehmen, dass viele Becher länger ausgeliehen wurden, als es für die jeweilige Veranstaltung tatsächlich notwendig gewesen wäre.

Nur vier von 17 Betrieben haben das Angebot genutzt, sich die Becher kostenpflichtig liefern zu lassen. Dies lässt darauf schließen, dass das Angebot nicht sehr gut angenommen wurde. Aufgrund der insgesamt geringen Anzahl der Ausleihvorgänge ist diese Aussage jedoch nur von geringer Aussagekraft. Die Mehrzahl der Ausleihvorgänge wurde für Veranstaltungen der Stadt Augsburg oder von gemeinnützigen Organisationen in Anspruch genommen. In diesen Fällen wurde lediglich eine Spülgebühr erhoben, jedoch

keine Mietgebühr. Ende 2024 konnten daher keine abschließenden Aussagen über die Bereitschaft kommerzieller Veranstaltungsbetriebe getroffen werden, Mehrwegbecher zu Marktpreisen zu mieten.

Neue Zielgruppen erschließen

Im Rahmen der Übergabe des Systems an ein Eventmanagement-Unternehmen wurde auch eine Erweiterung der Zielgruppen angestrebt. Vereine, Schulen und Kindergärten sollten die Möglichkeit erhalten, den Becher für Feste vollständig kostenfrei auszuleihen. Es wurde geplant, die anfallenden Spülkosten mittels eines Sponsorings – beispielsweise durch lokale Akteure – zu tragen. Leider konnten bisher keine passenden Sponsoren für das System gefunden werden. Ein Grund hierfür war das bereits festgelegte Design der Becher. Potenzielle Sponsoren betonten die Bedeutung eines eigenen Brandings für ihre Außenwirkung. Banner oder andere Werbemöglichkeiten auf den Veranstaltungen könnten diese nicht ersetzten.

2.1.4 Bewertung der Systeme zur Etablierung des Augsburger Bechers

Mehrwegsysteme in der Gastronomie

Der Augsburger Becher konnte sich in der Gastronomie der Augsburger Innenstadt nicht nachhaltig etablieren. Auf der einen Seite war das To-Go- Geschäft nach den Corona-Jahren wieder drastisch zurückgegangen. Auf der anderen Seite war die geringe Nachfrage der Kundschaft ein Grund. Es entstand mitunter der Eindruck, dass einige Betriebe die Nutzung der Mehrwegbecher nicht aktiv förderten. Stichproben zeigten, dass der Becher beispielsweise bei Getränkebestellungen von ihnen nicht aktiv angeboten wurde, es wurde auch nicht auf das neue Mehrwegsystem Augsburger Becher verwiesen. Zudem waren die Becher zum Teil an schlecht sichtbaren Stellen platziert. Die gesetzliche Pflicht, mittels Informationstafeln oder -schildern auf die Wiederverwendbarkeit der Becher hinzuweisen (vgl. § 32 Abs. 2 Satz 1 VerpackG), wurde von den meisten Betrieben nicht umgesetzt und von der Stadt nicht kontrolliert. Auch bereitgestellte Werbematerialien zum Augsburger Becher wie Sticker oder Aufsteller wurden häufig abgelehnt. Die Werbung und Kommunikation während der ersten acht Monate des Testbetriebs wurden intern vom Projektteam gesteuert. Eine professionelle Kommunikationskampagne durch eine Agentur setzte erst danach ein.

Es ist somit davon auszugehen, dass bei der Kundschaft fehlendes Wissen über das Mehrwegsystem und zudem die starke Konkurrenz durch Einwegbecher große Hürden für den Augsburger Becher waren. Es entstand mitunter der Eindruck, dass die Teilnahme am Pilotprojekt für die Erfüllung der gesetzlichen Verpflichtung genutzt wurde, ohne ein Interesse an einer häufigen Verwendung der Becher zu haben. Möglicherweise wurde der Einsatz von Einwegbechern (derzeit etwa 0,09 € pro Stück) als wirtschaftlicher betrachtet.

Empfehlungen für die Umsetzung in der Gastronomie

Eine enge und intensivere Zusammenarbeit mit den Gastronomiebetrieben erscheint unerlässlich, damit unter anderem die Bewerbung des Mehrwegsystems direkt beim Bestellvorgang erfolgt. Wie oben schon beschrieben, hatte die Kundschaft eigentlich großes Interesse an der Nutzung des Augs-

burger Bechers gezeigt. Es sollte auf eine prominente Platzierung der Becher, Informationsmaterialien vor Ort und eine gezielte Ansprache der Kundschaft bei der Bestellung hingewirkt werden. Eine Studie des Umweltbundesamtes kommt zu dem Schluss, dass die aktive Vermarktung durch das Servicepersonal den größten Einfluss auf den Erfolg von Mehrwegbechersystemen hat (UBA, 2019). Des Weiteren wäre es wichtig, dass alle Gastronomiebetriebe in einem Gebiet (etwa Altstadt) sich an dem System beteiligen, da die Befürchtung existiert, durch das System finanziell belastet zu werden. Ökonomisch betrachtet sind Einwegbecher für Gastronomen günstiger, da die Entsorgungskosten etwa nach Littering häufig von Kommunen übernommen werden. Bei Mehrwegverpackungen tragen die Verbrauchenden durch Pfandzahlungen oder Rückgabe einen größeren Teil des Aufwands selbst. Die Einführung einer Steuer auf Einwegverpackungen nach dem Vorbild Tübingens oder die Mehrwegnutzungspflicht dürften durch eine gerechtere Verteilung der Entsorgungskosten die Attraktivität von Mehrweglösungen deutlich steigern.

Mehrwegsysteme bei Veranstaltungen

Während das System des Augsburger Bechers in der Gastronomie auf Schwierigkeiten stieß, war es im Veranstaltungsbereich sehr erfolgreich. Die Gründe hierfür liegen wohl in den unterschiedlichen Rahmenbedingungen: Bei den Veranstaltungen gab es keine parallel genutzten Einwegbecher, und die Besucherschaft sind vermutlich an Mehrwegsysteme gewöhnt. Zudem erleichtern die kurzen Laufwege die Becherrückgabe.

Die im ersten Testbetrieb erzielten Gewinne lassen zudem darauf schließen, dass ein nachhaltiger Betrieb ähnlicher Bechersysteme möglich ist. Der zweite Einsatz zeigte die Bereitschaft nichtkommerzieller Veranstalter, ein Mehrwegsystem trotz höherer Kosten als bei Einwegbechern zu nutzen.

2.1.5 Empfehlungen für die Umsetzung bei Veranstaltungen

Um auch Betriebe zu erreichen, die keine höheren Kosten als bei Einwegbechern in Kauf nehmen, erscheint ein Sponsoring des Verleihs sinnvoll. Die große Werbefläche auf den Bechern macht sie für Unternehmen attraktiv, wie beispielsweise die Kooperation zwischen Vytal und PepsiCo zeigt (about-drinks.com, 2024).

Um die Konkurrenz durch Einwegbecher bei vielen Veranstaltungen zu verhindern, könnten Kommunen bei ihren eigenen Events und bei Veranstaltungen auf ihrem Grund zur Nutzung des eigenen Bechersystems oder zumindest eines Mehrwegsystems verpflichten.

Die Erfahrungen mit den selbst eingeführten Pfandmarken der Gastronomiebetriebe bei den Sommernächten 2023 zeigen, dass oft eine engere Zusammenarbeit mit den Beteiligten notwendig ist.

Der größte Unterschied zu der Testphase in der Gastronomie in der Innenstadt lag in der ausschließlichen Verwendung von Mehrwegbechern bei den Veranstaltungen. Dies deutet darauf hin, dass Kund*innen bei einfachen Systemen und vorhandenen Möglichkeiten Mehrwegbecher gut akzeptieren. Werden jedoch Einwegbecher parallel angeboten, scheinen diese von den Akteuren (Gastronomie und Kundschaft) bevorzugt zu werden, da kein Pfand anfällt und keine Rückgabe erforderlich ist.

2.2 Substitution: Kreislauforientierte Wertschöpfungskette von Biokunststoffen

Die Substitution von „herkömmlichen" Kunststoffen mit nachhaltigen Materialien ist ein wichtiger Baustein für die Rohstoff- und Materialwende. Das übergeordnete Ziel ist die Reduzierung von erdölbasierten Kunststoffen. Der Einsatz von Biokunststoffen ist ein möglicher Substitut. Biokunststoffe können sehr unterschiedliche Eigenschaften und Rohstoffquellen haben. Im Projekt reGIOcycle wurden solche Möglichkeiten untersucht, insbesondere mit Blick auf Biokunststoffe, die mit regionalen Naturfasern verstärkt sind. Zudem stand die Recyclingfähigkeit im Fokus. Die Regionalität der Rohstoffquellen und die Recyclingfähigkeit der Materialien tragen zu einem geringeren ökologischen Fußabdruck bei und stärken die Stadt-Land-Beziehung.

Im Projekt reGIOcycle wurden zwei Produkte in großen Stückzahlen entwickelt und produziert: 1. Augsburger Becher aus Biokunststoffen und 2. Sammelbehälter für Küchenabfall (BiOTONi).

Nach einer Einführung in das Thema „Biokunststoffe" werden in den nachfolgenden Abschnitten die beiden Substitutionsprodukte vorgestellt.

2.2.1 Biokunststoffe als Alternative – eine Einführung

Der Begriff Biokunststoff fasst verschiedene Kunststoffe und Kunststofftypen zusammen. Im Allgemeinen lassen sich Biokunststoffe in zwei Gruppen unterteilen: Biobasierte (1) und bioabbaubare Kunststoffe (2) (Bonten, 2020).

(1) Als biobasierte Kunststoffe werden Kunststoffe bezeichnet, die ganz oder teilweise aus Biomasse entstanden sind (Deutsches Institut für Normung, 2014). Für einen 100 % biobasierten Kunststoff werden in der Produktion ausschließlich nachwachsende Rohstoffe verwendet und kein Erdöl. Als nachwachsende Rohstoffe für die Kunststoffproduktion kommen zum Beispiel Mais, Zuckerrohr, Zuckerrüben, Kartoffeln oder Weizen in Frage. Diese biobasierten Kunststoffe können nach Produktionsart in Polymere

- aus forst- und landwirtschaftlichen Ressourcen (Bsp. Ethyl-Celluloe, Stärke),
- durch Fermentationsprozesse von Mikroorganismen (Bsp. Polyhydroxyalkanoate PHA) und
- durch Biotechnologieprozesse mit konventioneller Synthese (Bsp. Bio-Polyethylen Bio-PE)

unterteilt werden (Babu et al., 2013).

(2) Als biologisch abbaubare Kunststoffe bezeichnet man Kunststoffe, die durch Mikroorganismen vollständig abgebaut werden können. Der vollständige Abbau dieser Kunststoffe ist je nach Kunststofftyp in

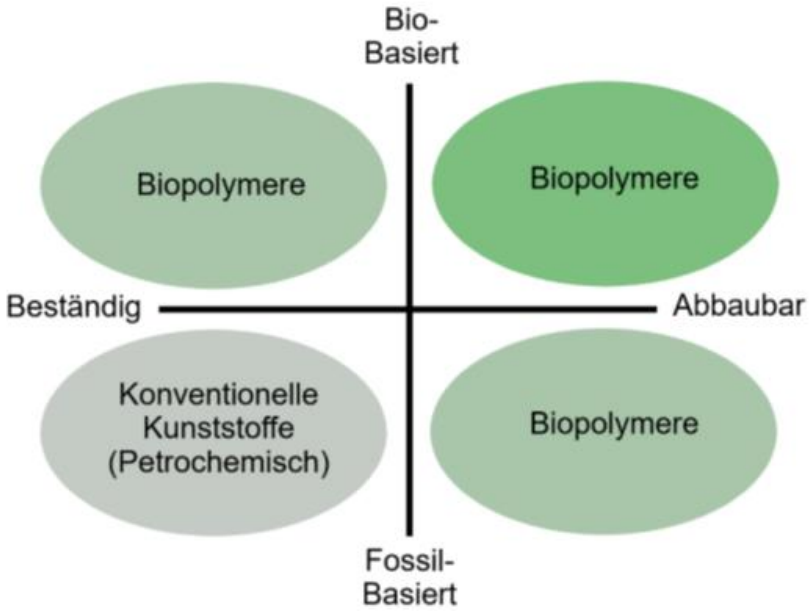
- industriellen Kompostieranlagen,
- Heim- und Gartenkompostern,
- Boden,
- Süßwasser und
- Meerwasser

möglich (Endres et al., 2020).

Zur Einordnung müssen die entsprechenden Werkstoffe je nach Verfahren der Bioabbaubarkeit gemäß verschiedenen Normen zertifiziert sein. Für die

Bioabbaubarkeit in industriellen Kompostieranlagen gilt zum Beispiel die DIN EN 13432 (Deutsches Institut für Normung, 2012). Die biologisch abbaubaren Kunststoffe können dabei sowohl biobasiert (Bsp. Polylactid PLA), als auch erdölbasiert (Bsp. Polybutyratadipat-Terephthalat PBAT) sein (Deutsches Institut für Normung, 2014). Mit den genannten Definitionen lassen sich die Biokunststoffe nach ihrer Produktionsart und Beständigkeit, wie in der Abbildung 3 dargestellt, einteilen.

Abb. 3:
Biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe



Quelle: Universität Augsburg (Adaption der Darstellung der European Bioplastics e.V.)

Zukunftsmarkt biobasierte Produkte

Die Unabhängigkeit von Lieferketten der Petrochemie zählt zu den Vorteilen von biobasierten Kunststoffen. Die aktuellen Lieferketten für biobasierte Kunststoffe greifen noch überwiegend auf Zucker, Stärke und pflanzliche Öle zurück (Swetha et al., 2024). Es werden jedoch weltweit neue Quellen erschlossen, die nicht mit der Nahrungsmittelproduktion konkurrieren (Kumar et al., 2024). In Deutschland beschäftigt der Sektor „Gummi und biobasierte Kunststoffe“ rund 15.000 Mitarbeiter und erzielt eine Wertschöpfung von 1,1 Mrd. € (Lasarte López et al., 2022). Naturkautschuk ist beispielsweise ein sehr erfolgreicher biobasierter Kunststoff. Zahlreiche Kunststoffhersteller in Deutschland bieten verstärkte Kunststoffe an, in denen natürliche Pflanzenfasern einen Teil der Kunststoffe ersetzen und die Steifigkeit des Materials verbessern (Carus, M., et al., 2015). Biokunststoffen ist in den letzten Jahren eine erfolgreiche Marktinfiltration gelungen. Damit verbunden war die Entstehung von zahlreichen klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU), deren Rohstoffzufuhr nicht auf fossilen Quellen basiert. Hiermit wird eine regionale Resilienz gestärkt. Im Zukunftsmarkt der biobasierten Produkte (ohne Nahrungsmittel und Futtermittel) werden derzeit weltweit 3,43 Billionen US-Dollar umgesetzt (Mousavi-Avval et al., 2023).

2.2.2 Augsburger Becher aus Biokunststoff

Für die Testphasen zur Etablierung des Augsburger Bechers in der Gastronomie und auf Veranstaltungen (vgl. Kapitel 2.1) wurden die ersten Prototypen des Getränkebechers noch aus fossilbasierten Kunststoffen produziert. Um den Augsburger Becher zu optimieren, wurden die Möglichkeiten einer

Substitution des fossilen Materials fokussiert. Während im Jahr 2022 die fossilbasierte Variante des Augsburger Bechers in der Innenstadt und auf Festivals zum ersten Einsatz kam, wurde im Hintergrund an nachhaltigeren Alternativen geforscht. Seit 2023 gibt es eine zweite Variante des Augsburger Bechers aus Biokunststoff. Die Besonderheit dabei ist, dass der Becher aus nachwachsenden Rohstoffen besteht, da beispielsweise Zuckerrohr für die Produktion der Bio-Olefine benutzt wurde. Ebenso wie die erdölbasierte Variante kann der Becher vollständig recycelt werden. So werden nicht nur die fossilen Ressourcen gespart und stehen weiterhin für wichtige Anwendungen wie Arzneimittel zur Verfügung, sondern es werden auch CO_2-Emissionen vermieden. Bei der thermischen Verwertung aus nachwachsenden Ressourcen hergestellter Kunststoffe wird nur so viel CO_2 freigesetzt, wie beim Wachstum in der Pflanze gebunden wurde. Ein weiterer Vorteil: Nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) sind keine begrenzte Ressource.

Abb. 4:
Der Augsburger Becher aus Biokunststoff

Quelle: Viktor Klein, Umweltcluster Bayern

Der Augsburger Bio-Becher steht der fossilen Version mit Blick auf die Qualitäten in nichts nach. Er kann ebenfalls bis zu 300 Mal wiederverwendet werden, ist spülmaschinenfest und bruchsicher. Zwar ist seine Transparenz materialbedingt etwas geringer, jedoch sind Farbe und Füllstand des Getränks weiterhin gut erkennbar. Der Bio-Becher ist im gleichen, wiedererkennbaren Design bedruckt und lässt sich nahtlos in das bestehende System integrieren, wodurch nun 40.000 Becher für den Verleih zur Verfügung stehen – im Vergleich zu 25.000 Bechern vorher. Wie auch die erste Version wird der Bio-Becher vom Dienstleister für den Verleih angeboten werden.

Durch den Verzicht auf Erdöl erhält der Augsburger Becher ein weiteres nachhaltiges Merkmal. Während die erste Version des Bechers als der erste transparente Mehrweg-Pfandbecher in der Gastronomie galt, ist der Bio-Becher nun der erste Mehrwegbecher aus Biokunststoff in Deutschland.

Der Augsburger Becher konnte im Rahmen des Projekts nicht aus einem mit regionalen Naturfasern verstärkten Biokunststoff hergestellt werden, da diese Materialien eine eigene Zertifizierung hinsichtlich Lebensmittelkonformität benötigen. Diese Zertifizierung ist sehr langwierig und kostspielig und konnte deshalb nicht umgesetzt werden.

Daher wurde im Projektkonsortium nach langlebigen Produkten ohne Lebensmittelkontakt gesucht, für die eine sinnvolle Anwendung von naturfaserverstärkten Biokunststoffen in Frage kommt. Der BiOTONi – ein Vorsortierbehälter für Bioabfall – war das Ergebnis.

2.2.3 Vorsortierbehälter für Bioabfall aus naturfaserverstärktem Biokunststoff

Das Projekt reGIOcycle hat Ansätze zur Reduzierung von Kunststofffehlwürfen in Biotonnen verfolgt (vgl. Kapitel 2.3). Eine in diesem Zusammenhang untersuchte Maßnahme lag in der Förderung von Vorsortierbehältern aus Kunststoff, die für die Sammlung von biologischen Küchenabfällen in Haushalten genutzt werden. Hier gab es eine Zusammenarbeit mit der Firma lichtl Ethics & Brands GmbH, die einen solchen Vorsortierbehälter für Küchenabfälle aus fossilbasierten Kunststoffen anbietet, den sogenannten BiOTONi. Dieser fasst 5 Liter Bioabfälle aus Küche und Garten.

Ziel war es, den Basisrohstoff des BiOTONi, der fossil basiert war, durch einen adäquaten biobasierten Werkstoff zu ersetzen. Es wurde geprüft, ob ein solcher Sammelbehälter auch aus Biokunstoffen, die mit Cellulosefasern aus der Region gefüllt sind, hergestellt werden kann. Hierzu erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit lichtl Ethics & Brands GmbH, Inhaber des BiOTONis, und dem Spritzgießer KOZIOL, der die BiOTONis herstellt. Neben der Bemusterung und Produktion des BiOTONis wurden noch weitere Materialzusammensetzungen und Materialtests im kleineren Maßstab, u.a. 3D-Druck-Test und Musterung von Gärschalen durchgeführt, Bei der Verwendung von pflanzlichen Fasern in Biokunststoffen sind Vorbehandlungen der Fasern für die Belastbarkeit und Langlebigkeit der Materialien von großer Bedeutung. Durch die Forschungspartner Fraunhofer IWKS, Universität Stuttgart und Universität Augsburg wurden Vorbehandlungen der Fasern durchgeführt und geprüft, die die Verträglichkeit der Fasern mit Biokunststoffen steigern. Details dazu in den folgenden Unterkapiteln.

Celluloseverstärkte Biokunststoffe und deren Materialeigenschaften

Die industriell zu Zellstoff verarbeitete Cellulose wird vorwiegend aus Hackschnitzeln von regionalen Laub- oder Nadelhölzern gewonnen. In verschiedenen chemischen Aufschlussverfahren kann der größte Teil des Lignins aus dem Faserrohstoff herausgelöst werden. Der Projektpartner TECNARO verwendet diese cellulosischen Fasern bei der Entwicklung und Herstellung von drei Werkstoffgruppen ARBOFORM®, ARBOFILL® und ARBOBLEND®. Die Verarbeitung erfolgt z.B. mittels Spritzgießen, Extrudieren, Kalandrieren, Pressen, Tiefziehen und Blasformen. Verarbeiter sind somit Formteil-, Platten- und Halbzeughersteller aus der holzbearbeitenden und kunststoffverarbeitenden Industrie. ARBOBLEND® besteht je nach Rezeptur aus Biopolymeren wie z.B. Polyhydroxyalkanoaten, -butyraten, Polycaprolacton, Polyester, Bio-Polyethylen, Polymilchsäure, Lignin, Naturharzen, -wachsen, -ölen, natürlichen Fettsäuren, Cellulose, biologischen Additiven und natürlichen Verstärkungsfasern.

Eine spezielle Anwendungsmöglichkeit von ARBOBLEND® ist der BiOTONi. Für die Herstellung des ausgewählten Produktes eignen sich prinzipiell die drei Herstellungsverfahren 3D-Druck, Spritzguss und Thermoformen. Die Anforderungen an die hierfür verwendeten Werkstoffe unterscheiden sich bei den genannten Herstellungsverfahren. Während beim 3D-Druck und Thermoformen die Werkstoffviskosität für die Zwischenprodukte Filament (drahtförmiger Werkstoff aus Thermoplasten) bzw. Platten ausreichend hoch sein

muss, damit der Formgebungsprozess gelingt, sollte die Viskosität beim Spritzgießen verhältnismäßig niedrig sein, um die Werkzeugkavität schnell vollständig ausgefüllt zu bekommen. Da die Werkstoffviskosität jedoch begrenzt durch die Verarbeitungsparameter gesteuert werden kann, wurde versucht, denselben Werkstoff sowohl im Spritzguss als auch im 3D-Druck bei individuellen Verarbeitungsparametern zu verarbeiten. Das Thermoformen wurde aufgrund der hohen Werkstoffmenge, die für die Plattenherstellung benötigt werden würde, ausgeschlossen. Für das 3D-Drucken sprach zudem die hohe Varianz in der herstellbaren Produktform. Mit Hilfe des Spritzgussverfahrens konnte zusätzlich ein Verfahren abgemustert werden, welches besonders für hohe Stückzahlen kostengünstig ist. Hierbei konnte auf die bereits gewonnenen Erfahrungen beim erfolgreichen Herstellen von Zugprüfkörpern für die mechanische Charakterisierung zurückgegriffen werden.

Musterungen und Materialtests

Für die Testung des Materials wurde am Institut für Kunststofftechnik (IKT) in Stuttgart im Technikumsmaßstab ein „Kästchen“ hergestellt. Die Maße waren wie folgt: B = 110 mm, H = 40 mm, T = 65 mm, Bauteildicke: 2 mm. Bei der Herstellung des „Kästchens“ zeigte sich, dass ein höherer Nachdruck während des Spritzgusses ebenmäßigere Oberflächengüte bewirkt und ein Auswerfen gut funktioniert.

Abb. 5:
Spritzguss einer Gärschale aus dem neu entwickelten Material mit vorbehandelten Zellstoff-Fasern

Quelle: FLUIR-PLAST GmbH

Ein weiterer Prototyp wurde im Oktober 2024 von dem Spritzgießer FLURI-PLAST GmbH hergestellt. Dabei handelt es sich um eine Gärform für die Herstellung von Brotteig in Bäckereien.

Materialauswahl und Erfahrungen beim 3D-Druck

Im Gegensatz zum Spritzguss musste für das 3D-Drucken ein weiterer Verarbeitungsschritt vorgeschaltet werden. Der Grund dafür ist, dass für das 3D-Drucken nicht direkt das Werkstoffgranulat verwendet werden kann, sondern der Werkstoff in aufgewickelter Form als Filament (Kunststofffaden, der im 3D-Druck erhitzt und schichtweise zur Erstellung von Objekten genutzt wird) benötigt wird. Dennoch hat diese Tatsache den Vorteil, dass die Filamentherstellung bereits helfen kann abzuschätzen, ob das 3D-Drucken mit einem cellulosegefüllten Werkstoff aufgrund des Füllstoffs erfolgreich durchgeführt werden kann. Das Ergebnis der Filamentextrusion am IKT waren ca. 1,8 kg Filament mit einer Dicke von ca. 1,75 – 1,80 mm.

3D-Druck spielt eine entscheidende Rolle bei der Materialentwicklung und im Prototyping, da er es ermöglicht, innovative Designs schnell und kosteneffizient zu realisieren. Ziel des 3D-Drucks ist es, komplexe Strukturen und individuelle Komponenten herzustellen, die mit traditionellen Fertigungsmethoden schwer oder gar nicht umsetzbar wären. Insbesondere im Prototyping bietet der 3D-Druck eine flexible und iterative Möglichkeit, Modelle in kurzer Zeit zu entwickeln sowie deren Materialien zu testen und zu optimieren. Dies fördert nicht nur die Materialinnovation, sondern auch eine beschleunigte Produktentwicklung und Markteinführung.

Nach anfänglichen Anpassungen der Druckereinstellungen zeigen die Versuche erste Erfolge. Es stellt sich heraus, dass für das Drucken mit diesem speziellen Material höhere Temperaturen sowie eine reduzierte Druckgeschwindigkeit erforderlich sind. Eine der zentralen Herausforderungen ist die mangelnde Haftung des Materials auf der Druckplatte. Dies wird durch die Vergrößerung des sogenannten „Floßes“, einer Basisstruktur, die den Druck stabilisiert, verbessert. Zudem kommt es während des Druckprozesses vereinzelt zu Filamentbrüchen, die durch Neuwickeln behoben werden müssen.

Abb. 6:
3D-Druck mit Materialien, die in reGIOcycle entwickelt wurden

Quelle: Universität Augsburg

Die Schichthaftung – ein kritischer Faktor für die Stabilität des gedruckten Objekts – wird durch Anpassungen weiter optimiert. Dennoch zeigt sich, dass das Drucken von besonders feinen Strukturen mit diesem Material nur schwer möglich ist. Bei mehrmonatiger Lagerung nimmt die Verarbeitungsfähigkeit des Materials ab, was zur Verstopfung der Druckdüse führt.

Trotz dieser Herausforderungen sind die Erfahrungen mit dem 3D-Druck insgesamt positiv. Besonders die Möglichkeit, die Schichthaftung durch Filamentanpassungen zu verbessern, zeigt das Potenzial des Verfahrens. Da das verwendete Matrixmaterial ein Polyester ist, kann darauf hingewiesen werden, dass dieses Material bereits seit Jahren erfolgreich im 3D-Druck eingesetzt wird. Dadurch können Anwender auf bewährte Techniken zurückgreifen und die Zuverlässigkeit des Prozesses erhöhen.

Aus der Werkstoffherstellung mit Hilfe eines Doppelschneckenextruders und der Verarbeitung im Spritzguss sowie in der Einschneckenextrusion kann festgehalten werden, dass der mit zellstoff-Fasern verstärkte Werkstoff ohne

Sonderperipherie auf handelsüblichen Maschinen aufbereitet bzw. verarbeitet werden kann. Bei Verwendung sollte lediglich die bereits bekannte hygroskopische Eigenschaft der Cellulose berücksichtigt werden.

Beim 3D-Druck sind höhere Temperaturen und eine geringere Druckgeschwindigkeit erforderlich, während Haftungsprobleme durch Anpassungen und Filamentbrüche durch Neuwickeln behoben werden können. Feine Strukturen sind schwer druckbar, und die Verarbeitbarkeit nimmt nach der Lagerung ab, was zu Düsenverstopfungen führt.

Musterung und Produktion des BiOTONis

Die erste Bemusterung des BiOTONis war nicht erfolgreich, da das Material zu spröde und brüchig war. Bei der zweiten Bemusterung wurde ein anderer Biokunststoff als Basis verwendet. Durch diesen Materialwechsel wurden die gewünschten Materialeigenschaften erzielt. Das Material mit seiner Haptik und Optik überzeugte die Firma lichtl Ethics & Brands GmbH. Da eine erneute Produktion von BiOTONis geplant war, erfolgte bei dem Unternehmen eine Umstellung auf das biogene Material.

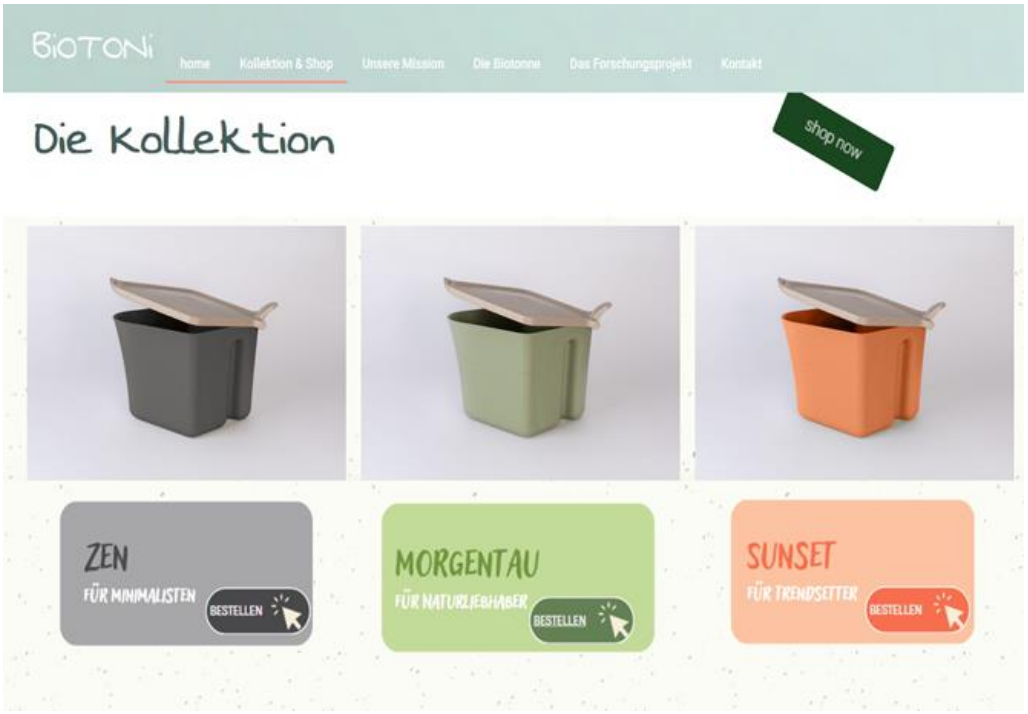


Abb. 7:
Von der Forschung in die Praxis – die entwickelten BiOTONis in drei Farben

Quelle: www.biotoni.de

Dieses mit Unterstützung von reGIOcycle entwickelte Produkt wird nun von der Firma lichtl Ethics & Brands GmbH beworben und verkauft, wobei der Mehrwert des neuen Materials hervorgehoben wird.

Auf der Homepage des BiOTONis sind beispielsweise diese Informationen zu finden:

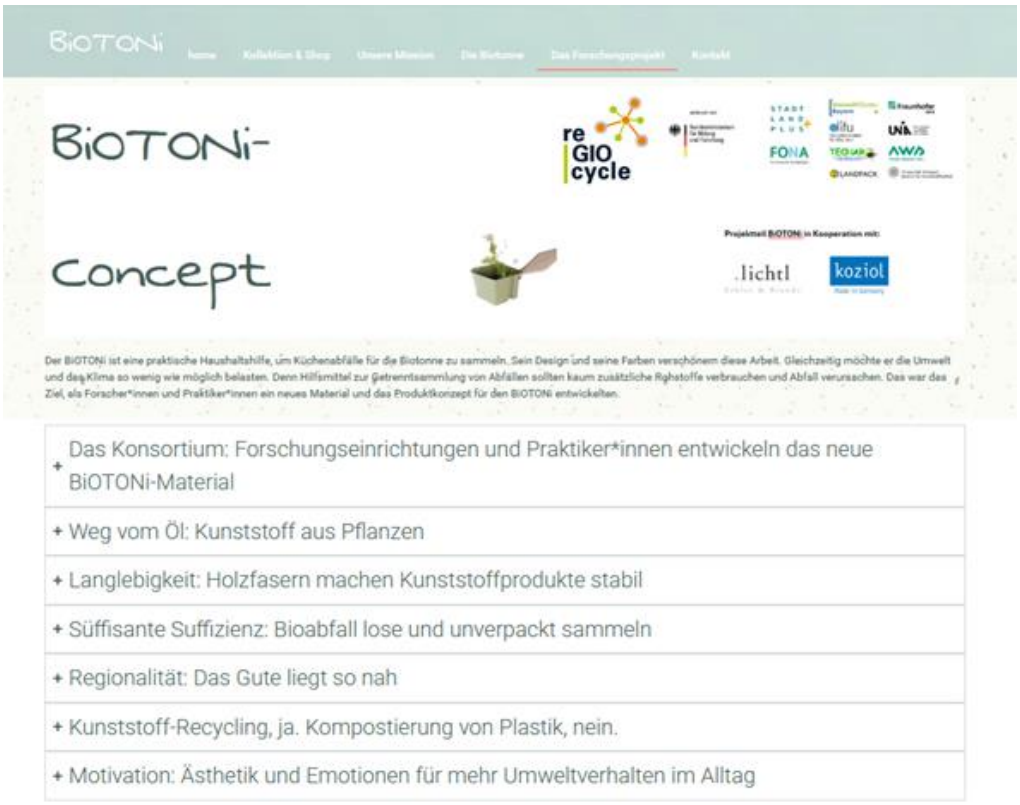


Abb. 8:
Von der Forschung in die Praxis – Informationen zum BiOTONi aus biogenem Material auf der BiOTONi-Webpage

Quelle: www.biotoni.de

2.2.4 Zellstoff und Apfeltrester als Rohstoffe

Als „sleeping giants“ wurden in einer Marktstudie (Carus at al., 2015) zu verstärkten Kunststoffen die großen Zellstoffhersteller bezeichnet, die Kunststoffgranulate etwa für Möbel und Fahrzeugteile anbieten, in denen Zellstofffasern enthalten sind. Die Werkstoffe fühlen sich anders an und erhalten durch die sichtbar eingelagerten Fasern eine natürliche Note. Mindestens ebenso wichtig für den Gebrauchswert von Kunststoffen mit Zellstofffasern ist jedoch die Erhöhung der Steifigkeit gegenüber dem faserfreien Kunststoff. Der bewährten Versteifung von Kunststoffen durch Glasfasern sind die Zellstoffverbünde durch die geringere Dichte der Fasern und das entsprechend geringere Gewicht eines gleich großen Bauteiles überlegen. Für eine gleichmäßige Verteilung der Fasern im Kunststoff und eine gute Haftung zwischen den beiden Komponenten sind Hilfsstoffe erforderlich, die das Anlegen des Kunststoffs an die Faseroberfläche begünstigen.

Im reGIOcycle-Projekt wurden dazu von der Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS in einer Pilotanlage Hemicellulosen aus Apfeltrester gewonnen (Wolf et al., 2022) und zu Haftvermittlern modifiziert. Wie der Name nahelegt, sind Hemicellulosen dem Hauptbestandteil des Zellstoffs (Cellulose) chemisch sehr ähnlich, was eine gute Haftung auf Cellulose bewirkt. Die modifizierten Hemicellulosen wurden mit Ketten des Kunststoffs Polyacid (PLA) verknüpft (Saadatmand et al., 2011), wodurch sie sich gut mit den benachbarten PLA-Ketten des Kunststoffs verzahnen können. Für die Verknüpfung wird ein stickstoffhaltiger Katalysator eingesetzt, der danach aus dem Produkt herausgewaschen wird. Dies wurde durch Analysen des Stickstoffgehaltes geprüft. In der Umsetzungsphase des reGIOcycle-Projektes wurde an der Fraunhofer-Einrichtung

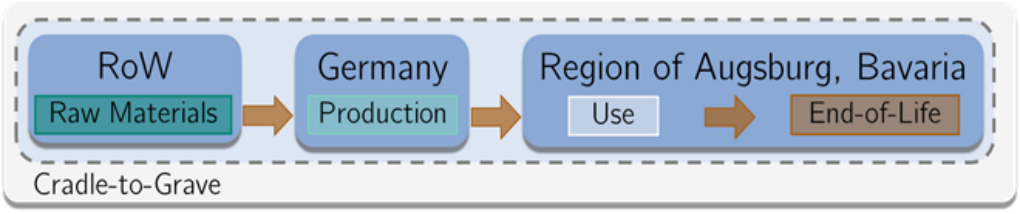
eine Menge von 4 kg beschichteten Zellstofffasern hergestellt, die auf diese Weise bereits mit dem Zielkunststoff PLA beschichtet waren. Für die Einarbeitung der angestrebten Menge in den Kunststoff ist die Kenntnis der Faserdichte wichtig, die mittels Helium-Pyknometrie ermittelt wurde. Dazu wird für eine definierte Masse von Fasern in einer geschlossenen Kammer das Gasvolumen ermittelt, das die Kammer aufnehmen kann, woraus sich das Volumen der Fasern ergibt. Vor der Herstellung der PLA-gepfropften Hemicellulosen wurde überprüft, ob die für den Prozess benötigte Menge (1,4 kg) der teuren Kunststoff-Vorstufe, des Lactids, reduziert werden kann. Außerdem erfolgte eine öffentliche Ausschreibung zur Auswahl des günstigsten Lactid-Anbieters. Obwohl PLA-Herstellern Preise von 0,5 €/kg angeboten werden, konnte die Ausschreibung des IWKS nur einen Preis von 1.145 €/kg erwirken. Bei einer Herstellung durch ein Unternehmen im kommerziellen Maßstab sind die Voraussetzungen gegeben, die Kette der Zwischenhändler umgehen zu können und eine Lieferung zu den entsprechenden Preisen zu erreichen. Die positiven Erfahrungen bei der Vermischung von Fasern und Kunststoff zu einem Faserverbundwerkstoff und die Herstellung zweier Prototypen wurden im vorangegangenen Abschnitt beschrieben.

In der Umsetzungsphase des reGIOcycle-Projektes wuchs der Bedarf an dem Werkstoff mit regionalem Zellstoff durch die erneute Produktion des BiOTONi stark an. Erforderlich wurde die Bereitstellung von 200 kg beschichteten Zellstofffasern. Von TECNARO wurde biobasiertes Polyethylen als Kunststoff ausgewählt, der dem PLA bei der Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeit überlegen ist. Auch hier muss ein Hilfsstoff die Einmischung und Haftung der Fasern im Kunststoff verbessern. Der Lieferant der Zellstofffasern bietet eine Faser an, die mit einem natürlichen Additiv vermischt ist. Diese Faser führte zu Werkstoffen, die die geforderten Spezifikationen erfüllen.

2.2.5 Lebenszyklusanalyse

Die Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA) spielt eine entscheidende Rolle in der Materialentwicklung, da sie eine ganzheitliche Bewertung der Umweltwirkungen eines Produkts oder Materials über dessen gesamten Lebenszyklus ermöglicht. Von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Nutzung bis hin zur Entsorgung werden alle Phasen berücksichtigt.

Abb. 9:
Rohstoffkette nach dem Cradle-to-Grave-Prinzip



Quelle: Universität Augsburg

Durch den Einsatz von LCA können Entwickler fundierte Entscheidungen treffen, um nachhaltigere Materialien zu wählen, Ressourcen zu schonen und den ökologischen Fußabdruck ihrer Produkte zu minimieren. Dies fördert Innovationen und trägt gleichzeitig zu einer umweltfreundlicheren Produktion bei. Die LCA-Ergebnisse wurden aufbereitet und in einer Fachzeitschrift veröffentlicht. Untersucht wurde, ob biobasierte Materialien eine nachhaltige Alternative zu fossilen Kunststoffen sind. Dabei werden Trinkbecher und Isolierboxen betrachtet. Biobasierte Becher aus Bio-Polyethylen (Bio-PE) der zweiten Generation schneiden in den meisten Umweltkategorien am besten ab. Sie verursachen ≈ 30 % weniger CO_2-Emissionen und sparen ≈ 35 % Wasser im Vergleich zu fossilen Polypropylen-Bechern, aber sie führen zu mehr

Landnutzung und Feinstaub. Becher aus PLA, einem biobasierten Kunststoff der ersten Generation, haben oft höhere Umweltauswirkungen wegen geringer Recyclingquoten. Verbesserungen im Recycling und regionale Beschaffung sind wichtig, um die Nachhaltigkeit zu steigern (Assies F. et al., 2025).

Dabei wird besonders betont, dass eine hohe Anzahl an Nutzungszyklen und geschlossene Materialkreisläufe, insbesondere bei erdölbasierten Produkten, entscheidend für die Umweltverträglichkeit sind. Die Analyse zeigt, dass biogene gegenüber fossilen Materialien nicht generell ökologisch, sozial oder ökonomisch überlegen sind; dies hängt stark von den Produkteigenschaften ab. Insbesondere Produkte aus Zweitgeneration-Biomasse (2G) bieten nachhaltiges Potenzial, während Produkte aus Erstgeneration-Materialien (1G) aufgrund des großen ökologischen Fußabdrucks der landwirtschaftlichen Produktion und eingeschränkter Rezyklierbarkeit Herausforderungen darstellen. Technologische Fortschritte und regionale Rohstoffbeschaffung können jedoch nachhaltigere Lösungen fördern.

2.3 Kreislaufoptimierung: Reduzierung von Kunststofffehlwürfen in Biotonnen und auf dem Stadtmarkt

Neben den Themenfeldern Vermeidung und Substitution ist der dritte Bereich, der im Projekt behandelt wurde, die Optimierung von Stoffkreisläufen. In der Umsetzungsphase wurden Bioabfälle in Großwohnanlagen (GWA) sowie auf dem Stadtmarkt von Augsburg fokussiert.

Bereits in der Forschungsphase wurde die „Verminderung von Kunststofffehlwürfen in der Biotonne“ umfassend bearbeitet – Details aus der Forschungsphase sind in der ersten Difu-Publikation zu finden. In der Umsetzungsphase von reGIOcycle wurden daraufhin diverse Aktivitäten durchgeführt, um Kunststoffe als Störstoffe im Bioabfall von GWA zu reduzieren und den Stoffkreislauf von biogenen Abfällen zu optimieren. Mit der Umsetzung der Aktivitäten in die Praxis konnte der Landkreis Aichach-Friedberg die deutschlandweite Biotonnen-Challenge gewinnen. Des Weiteren wurden auf dem Stadtmarkt Augsburg die Optimierung des Bioabfalls und auch die Verbesserung der Kunststoff- und anderer Wertstofffraktionen angegangen.

2.3.1 Reduzierung der Kunststofffehlwürfe im Bioabfall

Ein mit reGIOcycle verfolgter regionaler Ansatz legte einen Fokus auf die Vermeidung von Kunststofffehlwürfen im kommunalen Bioabfall aus Haushalten. Hintergrund ist, dass der größte Anteil der Fehlwürfe in der Biotonne Kunststoffe darstellen, wobei es sich häufig um dünnwandige Folien handelt (z.B. Mülltüten). Fehlwürfe, die in der Biotonne landen, müssen unter zusätzlichem Ressourceneinsatz aus dem Biomüll nachsortiert werden. Zudem wird aus dem Biomüll verkäuflicher Kompost generiert, der keine Kunststoffanteile enthalten sollte, um Gesundheitsrisiken für Mensch und Natur durch Mikroplastikeintrag zu verhindern.

Abb. 10:
Fehlwürfe in einer Biotonne in Augsburg-Oberhausen (2022)

Quelle: Maic Verbücheln

Stadt-Land-Beziehungen in der Region: In der Region Augsburg verantworten der Abfallwirtschaftsbetrieb Augsburg (AWS), der Abfallwirtschaftsbetrieb Landkreis Augsburg (AWB) und die kommunale Abfallwirtschaft des Landkreises Aichach-Friedberg als öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (örE) die Sammlung von biogenen Haushaltsabfällen. Die gesammelten Bioabfälle aller drei örE werden in der Abfallverwertung Augsburg (AVA) behandelt. In der Bioabfallvergärungsanlage werden aus den biogenen Abfällen sowie Baum- und Strauchschnitt die Produkte Biogas, Flüssigdünger und Kompost erzeugt. Das erzeugte Biogas wird durch das Unternehmen Erdgas Schwaben an Bürgerschaft und Unternehmen vermarktet. Kompost und Flüssigdünger werden durch regionale Landwirtschaft und Erdenwerke genutzt. Störstoffe werden soweit rausgefiltert und bei der AVA thermisch verwertet.

Fokus auf Großwohnanlagen: Eine Evaluation der AWS zeigte, dass die Sortenreinheit des Bioabfalls in Augsburg besonders in Großwohnanlagen (GWA) durch Kunststofffehlwürfe unzureichend ist. Handlungsbedarfe für Aktivitäten in GWA wurden ebenso in den Landkreisen Aichach-Friedberg und Augsburg gesehen, weshalb im Projekt ein Fokus auf Großwohnanlagen gelegt wurde.

Dass die Trennung von Abfällen in GWA mit Herausforderungen verbunden ist, wurde bereits in der Studie „Abfalltrennung in Großwohnanlagen“ vom bifa Umweltinstitut aus Augsburg konstatiert (Kreibe et al., 2007). Auch andere Studien weisen darauf hin, dass der Bürgerschaft für die richtige Trennung häufig falsche Annahmen im Weg stehen oder sie Probleme damit haben, unterschiedliche Materialien der Verpackungen zu identifizieren, oder es fehlt der Platz „an“ bzw. „in“ Müllbehältern (Mielinger & Weinrich, 2024).

Citizen Innovation Lab: Als Methode wurde das Citizen Innovation Lab genutzt. Die Methode hat den Vorteil, dass Akteure vor Ort eingebunden sind und Vorschläge zur Optimierung bzw. zu möglichen Anreizen machen können (siehe mehr hierzu im ersten reGIOcycle-Band).

Austausch vor Umsetzung von Maßnahmen: Bei der Methode des Citizen Innovation Labs wurden zur Ermittlung des Status quo in den GWA bereits verschiedene Akteure vor Ort kontaktiert, wobei auch bereits zahlreiche Gespräche und Interviews mit Anwohnenden geführt wurden. Diese Aktivitäten

werden in diesem Kapitel nicht nochmals aufgeführt. Es sei jedoch hier erwähnt, dass bereits mit diesen ersten persönlichen Gesprächen mit Hausmeister*innen oder Anwohner*innen eine erste Sensibilisierung für das Thema Kunststofffehlwürfe im Bioabfall erreicht werden konnte, was bei der Umsetzung der Maßnahmen in die Praxis sehr hilfreich war.

Maßnahmen im Rahmen der Biotonnen-Challenge

Gemeinsam mit den kommunalen Abfallwirtschaftsbetrieben wurde entschieden, an der deutschlandweiten Biotonnen-Challenge teilzunehmen. Die Biotonnen-Challenge der Aktion Biotonne Deutschland basiert auf drei Schritten, erstens die Fremdstoffmessung im Bioabfall (Chargenanalyse 1), zweitens die Umsetzung einer Kampagne und drittens die erneute Messung der Fremdstoffe (Chargenanalyse 2).

1. Maßnahme: Auswahl der teilnehmenden Prüfgebiete

Hierzu wurden drei Fokussammelgebiete in den Gebieten der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) ausgewählt, in denen die GWA liegen. In Aichach (Landkreis Aichach-Friedberg) wurde aus Kostengründen entschieden, nur die Tonneninhalte der ausgewählten GWA zu analysieren und nicht das ganze Gebiet. In Gersthofen (Landkreis Augsburg) und in Augsburg-Oberhausen (Stadt Augsburg) war das Prüfgebiet somit deutlich größer. Die Siedlungsstrukturen in den drei Gebieten sehen wie folgt aus:

- Aichach: Großwohnanlage, mehrstöckige Wohnhäuser mit Geschosswohnungen (Baujahr 1969)
- Augsburg-Oberhausen: Mischgebiet mit Mehrparteienhäusern, Reihenhäusern, Großwohnanlagen, Kleingartenanlage und Grundschule (Baujahre der GWA vor allem 1930er-Jahre, jedoch auch spätere Bauten).
- Gersthofen: Mischgebiet mit überwiegend Ein- und Mehrfamilienhäusern und einer Großwohnanlage (Baujahr um 2020).

Die Prüfgebiete unterschieden sich in der baulichen Struktur und auch in der Bewohnerschaft. Die GWA in Gersthofen ist beispielsweise ein Neubau, der im Vergleich zu den anderen beiden Gebieten vor allem hochwertige Eigentumswohnungen umfasst, zudem sind die Mieten dort im Verhältnis hochpreisig.

2. Maßnahme: Durchführung der 1. Chargenanalyse (2023)

Für die Fremdstoffmessung wurde die Methodik der Chargenanalyse eingesetzt. Um Aussagen zur Fehlwurfquote in den drei ausgewählten Fokusgebieten machen zu können, erfolgte im Juni 2023 die Fremdstoffbestimmung. Die Ergebnisse dieser Auswertung bildeten den Vergleichswert für die Auswertung der Maßnahmen ein Jahr später (vgl. Maßnahme 8 unten). Folgende Ergebnisse wurden ermittelt:

Tab. 1: Ergebnisse 1. Chargenanalyse der Biotonnen

Untersuchungsgebiet	Kunststoffe gesamt %	Fremdstoffe gesamt %
Aichach	4,0	7,4
Augsburg-Oberhausen	2,3	3,9
Gersthofen	0,4	1,0

Quelle: Intecus, Umweltcluster Bayern

Die Werte bestätigen, dass Kunststoffe den größten Anteil der Fehlwürfe ausmachen. Die Fehlwurfquote in dem Gebiet in Gersthofen war mit einem Fremdstoffanteil von 1 % bereits sehr gering, weshalb dort keine Maßnahmen im Rahmen von reGIOcycle angegangen wurden.

3. Maßnahme: Verteilung Flyer und Papiertüten in Oberhausen und Aichach

In den Gebieten wurde mehrmals Informationsmaterial verteilt (2023 und 2024). Gleichzeitig wurden die Aktionen genutzt, um mit den Bürger*innen ins Gespräch zu kommen. Zur Weihnachtszeit wurden zudem kleine Präsente, jeweils ein paar Papiertüten zum Sammeln des Bioabfalls in der Küche sowie mehrsprachige Informationsmaterialien und eine kleine Weihnachtssüßigkeit, verteilt.

In Augsburg-Oberhausen wurden rund 1.000 Flyer an die Bewohner*innen verteilt. Die Flyer enthielten Informationen dazu, was in die Biotonne gehört und worauf bei der Sammlung geachtet werden muss, zum Beispiel dass keine (Bio-)Plastiktüten in die braune Tonne dürfen. Die Flyer wurden auf Deutsch, Türkisch, Englisch und Arabisch zur Verfügung gestellt. Die Flyer, die in der GWA in Aichach verteilt wurden, waren in deutscher, englischer und russischer Sprache.

4. Maßnahme: Durchführung eines Nachbarschaftsfests in der GWA in Aichach

Im Innenhof der Großwohnanlage in Aichach wurde ein Nachbarschaftsfest durchgeführt. Der Fokus lag dabei auf Mülltrennung und die plastikfreie Biotonne. In diesem Zusammenhang wurden auch Gespräche mit den Hausmeister*innen geführt. Den Anwohner*innen wurden Essen und Getränke angeboten, um Kontakte knüpfen zu können. Dabei haben die reGIOcycle-Partner auch über die Folgen von Fehlwürfen für die Abfallverwertung und den Kompost gesprochen. Es wurde eine Pflanzaktion für Kinder angeboten, die Blumen in Komposterde setzten konnten. Die eingepflanzten Blumen durften sie mit nach Hause nehmen. Der genutzte Kompost stammte aus dem regionalen Bioabfallanlage (AVA). Des Weiteren wurden am Glücksrad Fragen zu Fehlwürfen im Bioabfall beantwortet. Einige Bewohner*innen hatten bereits, etwa durch Flyer und im Vorlauf durchgeführten Gesprächen, Informationen zum Projekt.

5. Maßnahme: Bereitstellung von Vorsortierbehältern für die Küche

Anwohner*innen der GWA in Aichach hatten die Möglichkeit, für einen Zeitraum von 14 Tagen die im Projekt entwickelten BiOTONis, ein Sammelbehälter für biogenen Küchenabfall, zu testen. Der Vorteil dieses Bioabfall-Sammelgefäßes ist, dass auf eine Plastiktüte komplett verzichtet werden kann. Der Biomüll wird direkt in dem Behälter gesammelt und darin zur braunen Tonne gebracht.

Abb. 11:
Nutzung des BiOTONi in einer GWA

Quelle: SKOPOS

Die Nutzung des BiOTONis in der GWA wurde wissenschaftlich begleitet und nach 14 Tagen ausgewertet. Ziel war es herauszufinden, ob die Teilnehmenden durch die Bereitstellung eines Sammelbehälters ihren Bioabfall ohne Kunststofffehlwürfe sammeln. Zudem wurde getestet, ob das Material des BiOTONi geeignet ist, da diese im Projekt entwickelte Version des BiOTONis aus naturfaserverstärktem Biokunststoff hergestellt wurde. Des Weiteren sollte geprüft werden, ob das Handling nutzerfreundlich ist. Hierzu wurden im Nachgang der Nutzung Interviews mit den Nutzenden durchgeführt. Im Ergebnis haben alle Teilnehmenden den BiOTONi genutzt und würden ihn weiterempfehlen. Es gab keinerlei Probleme mit dem Material, und das Handling wurde positiv bewertet. In einigen Fällen wurde der Behälter bereits Familie, Freunden und Nachbarn weiterempfohlen.

6. Maßnahme: Aktion im Kindergarten „Abenteuerland“ in Aichach

Ein Programm für eine ein-/zweitägige Informationsveranstaltung zur frühkindlichen Bildung in Kindergärten mit dem Schwerpunkt Kreislaufwirtschaft wurde entwickelt und umgesetzt. Das entwickelte Konzept basiert auf fünf Wissensstationen. Es wurde bei allen Stationen auf einen spielerischen und didaktischen Ansatz großen Wert gelegt

Tab. 2: Aktivitäten im Kindergarten zum Bioabfall

Stationen 1-5	Vorgehen	Fragen an Kinder
1. Das Müllquiz! Wie wird Müll richtig getrennt?	Allgemeine Fragen zur Mülltrennung. Die Kinder sortieren Müllarten wie Joghurtbecher, Glas, Kunststoffbeutel, Apfelbutzen, Dosen, Batterien, Zeitungen in Eimer in unterschiedlichen Farben (blau, schwarz, braun, gelb) für die unterschiedlichen Fraktionen.	Wird im Kindergarten Müll getrennt? Wird zu Hause Müll getrennt? Warum ist Mülltrennung so wichtig? Warum sind Kunststoffe für die Umwelt problematisch?
2. Was schmeckt der Biotonne?	Auf einem Glücksrad werden unterschiedliche Symbole aufklebt. Die Kinder drehen daran und sollen dann entscheiden, ob das Symbol (z.B. Bananenschale, Glas, Papier) über die Biotonne entsorgt werden darf oder ob sie dann „Bauchweh“ bekommt, wenn das Falsche in die braune Tonne wandert.	Haben sie eine Biotonne im Kindergarten? Haben sie zu Hause eine Biotonne oder einen Kompost? Haben sie zu Hause selbst Biomüll in die Biotonne entsorgt?
3. Wie wird aus dem Apfel Kompost?	Die Kinder gestalten ein Plakat zum Thema „Vom Apfel zum Kompost“. Am Beispiel eines Bokashi-Eimers wird der Prozess aufgezeigt. Den Kindern wird gezeigt, wie sich der Biomüll im Laufe der Zeit entwickelt. Den Flüssigdünger dürfen sie dann „abzapfen“.	Was kann man mit Kompost machen? Warum ist der gut?
4. Warum ist guter Boden wichtig für die Pflanzen?	Kinder pflanzen vorgezogene Blumen ein. Diese werden von den Kindern in kleine Töpfchen gepflanzt: - einige Töpfe werden mit Kies gefüllt - einige Töpfe werden mit Sand gefüllt - einige Töpfe werden mit Komposterde (AVA) gefüllt. Die Kinder sollen dann die Pflanzen pflegen und dann beobachten, welche sich gut oder weniger gut entwickeln	Welche Pflanzen wachsen gut und welche weniger gut?
5. Abfall-Memory	Gelb, schwarz, braun, blau oder grün? Den Kindern wird erklärt, dass Abfälle nur dann wiederverwendet werden können, wenn sie in der richtigen Tonne entsorgt werden. Um zu verstehen, was in welche Tonne gehört, wird Müll-Memory gespielt. Müll-Memorys sind im Internet zu finden.	Was gehört in welche Tonne?

Quelle: Abfallwirtschaft Landkreis Aichach-Friedberg, Umweltcluster Bayern, Difu

Bei einer Beteiligung an allen Stationen bekamen die Kinder im Abschluss ein „Müll-Diplom“ ausgehändigt, welches sie mit nach Hause nehmen konnten. Die Aktion im Kindergarten „Abenteuerland“ wurde von allen Teilnehmenden positiv aufgenommen.

7. Maßnahme: Entwicklung einer Bildungsbox mit dem Verein Forum Plastikfrei

Das entwickelte und beprobte Konzept „Aktion im Kindergarten“ wurde von dem Verein Forum Plastikfrei weiterentwickelt. Konkret wurden gemeinsam mit reGIOcycle eine Bildungsbox „Bioabfall“ und eine Bildungsbox „Mehrweg“ entwickelt und an verschiedenen Schulen (Zielgruppe: 1.-8. Klasse mit Anpassung der Materialien) und mit Vorschüler*innen in Kindergärten im Raum Augsburg erprobt. Nach der Testphase der Bildungsboxen an zwei Kindergärten, zwei Gymnasien, drei Grundschulen und vier Mittelschulen wurden die Bildungsmaterialen finalisiert. In zwei Workshops wurden Multiplikator*innen ausgebildet, die beiden Bildungsboxen anzuwenden. Die Boxen können auch nach Projektende von Multiplikatoren wie Lehrer*innen oder Erzieher*innen beim Umweltbildungszentrum Augsburg ausgeliehen werden.

Abb. 12:
Informationsflyer zu den Bildungsboxen

Quelle: UCB und Forum Plastikfrei

8. Maßnahme: Besichtigung der Abfallverwertung Augsburg (AVA) durch die Bürgerschaft

Bewohner*innen aus dem Landkreis Aichach-Friedberg wurden eingeladen, die AVA in Augsburg zu besichtigen. Mit dieser Maßnahme wurden Bürger*innen darüber informiert, wie der in Haushalten gesammelte Bioabfall weiter behandelt wird. Den Teilnehmenden wurde die Funktionsweise der AVA erklärt. Des Weiteren wurde auf das Problem der Störstoffe im Bioabfall eingegangen, da diese nicht restlos aus dem Müll entfernt werden können und als Mikroplastik-Teilchen im Kompost verbleiben. Auch die biologisch abbaubaren Kunststoffbeutel bauen sich in der Anlage nicht schnell genug ab. Daher sollen auch diese Beutel zum Sammeln von Bioabfall nicht genutzt werden.

9. Maßnahme: Durchführung der 2. Chargenanalyse (2024)

Nach der Umsetzung der oben aufgeführten Maßnahmen wurde nach knapp einem Jahr eine zweite Chargenanalyse in den festgelegten Gebieten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Auswertung zeigen den Erfolg der im Rahmen der Biotonnen-Challenge umgesetzten Maßnahmen (siehe 1. Chargenanalyse oben). Folgende Ergebnisse wurden ermittelt:

Tab. 3: Ergebnisse 2. Chargenanalyse der Biotonnen

Untersuchungsgebiet	Kunststoffe gesamt %	Reduzierung zu 2023 %	Fremdstoffe gesamt %	Reduzierung zu 2023 %
Aichach	2,3	42	3,1	58
Augsburg-Oberhausen	2,8	-	3,5	11
Gersthofen	0,2	50	0,4	60

Quelle: Intecus, Umweltcluster Bayern

In der GWA in Aichach konnten im Vergleich zum größeren Fokussammelgebiet in Oberhausen nennenswerte Verbesserungen erzielt werden. Grund ist u.a., dass durch die Fokussierung auf eine GWA gezieltere und eine größere Anzahl an Maßnahmen durchgeführt werden. In der GWA in Aichach hatte auch der Hausmeister eine große Motivation, die Situation zu verbessern, und hat immer wieder Bewohner*innen angesprochen, die ihren Bioabfall in der Plastiktüte entsorgen wollten.

Abb. 13: Überreichung der Urkunde von Frau Dr. Hoffmann (BMUV) an Frau Tremmel (Lkr AIC-FDB) und Frau Zegowitz (Umweltcluster Bayern)

Quelle: VKU Bildschön_Gierke

Mit der Reduktion des Fremdstoffanteils um 58 % in der GWA in Aichach gewann der Landkreis Aichach-Friedberg den ersten Platz der Biotonnen-Challenge. Auf der IFAT-Messe in München wurde eine Urkunde durch die Parlamentarische Staatssekretärin im Bundesumweltministerium Dr. Bettina Hoffmann an die Abfallberatung des Landkreises Aichach-Friedberg überreicht.

Umsetzung weiterer Maßnahmen

Neben den Maßnahmen, die im Rahmen der Biotonnen-Challenge durchgeführt wurden, gab es weitere Aktivitäten im Rahmen des Projektes, die danach umgesetzt wurden.

Workshop „Der Weg zum kunststoffarmen Biomüll“

Der reGIOcycle-Workshop mit dem Schwerpunkt plastikfreier Biomüll fand in der Abfallverwertung Augsburg (AVA) statt. 22 Teilnehmenden aus regionalen und überregionalen Abfallwirtschaftsbetrieben, kommunalen Mitarbeitenden der Abfallberatung, zivilgesellschaftlichen Organisationen sowie Forschungseinrichtungen wurden Projektergebnisse präsentiert und mit ihnen Maßnahmen diskutiert. Zunächst wurden die Ergebnisse zur Optimierung des Bioabfalls in GWA vorgestellt. Im Rahmen eines Gallery Walks wurden diese vier Themen in Arbeitsgruppen behandelt: 1. Sensibilisierung, 2. Sanktionen, 3. Verteilung von Trennhilfen (z.B. Papiertüten) und 4. Weitere Ideen/Maßnahmen.

Nachhaltigkeitstag in Aichach und Friedensfest in Oberhausen

Am Nachhaltigkeitstag (2024) des Landkreises Aichach-Friedberg war reGIOcycle mit einem Stand vertreten. Hier wurde über verschiedene Initiativen des Projekts, darunter zum Thema „plastikfreier Biomüll“, aufgeklärt.

Abb. 14: reGIOcycle-Stand auf dem Stadtfest in Oberhausen

Quelle: Umweltcluster Bayern

Ein weiteres Highlight war die Präsentation der im Projekt entwickelten Produkte, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden und umweltfreundliche Alternativen zu herkömmlichen Kunststoffen bieten. Die Besucher*innen zeigten großes Interesse und konnten sich aus erster Hand über die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten und ökologischen Vorteile dieser Werkstoffe informieren.

Abb. 15:
reGIOcycle-Stand auf dem Nachhaltigkeitsfest in Aichach

Quelle: Umweltcluster Bayern

Ebenso wurden an einem Stand des Friedensfests in Augsburg-Oberhausen Informationen zu Fehlwürfen im Bioabfall angeboten. Es wurden Gespräche mit Bürger*innen zum Thema Mülltrennung und Plastikvermeidung geführt. Ein besonderes Highlight war ein Mülltrennspiel, bei dem die Teilnehmenden ihr Wissen testen und kleinere und größere Gewinne erhalten konnten. Besonders im Fokus stand dabei das Thema plastikfreier Biomüll und die dadurch entstehende hochqualitative Komposterde.

Biotonnen in Großwohnanlage: Herausforderung „Rote Karte“

Es wurden verschiedene Aktivitäten in der GWA Ulmenhof in Augsburg-Oberhausen durchgeführt. Neben anderen Maßnahmen bekamen Biotonnen mit Fehlwürfen einen Anhänger als „Rote Karte“ – diese wurden von der AWS dann nicht entleert (vor Start der Biotonnen-Challenge). Diese Maßnahme führte zu Problemen mit der Hausverwaltung und den Hausmeister*innen, da im Nachgang der Maßnahme die Anzahl der Biotonnen deutlich reduziert bzw. diese für die Anwohner*innen nur schwer zugänglich gemacht wurden. Begründung der Hausverwaltung waren die Mehrkosten und der hohe Zeitaufwand für die Hausmeister*innen. Die Reduzierung der genutzten Biotonnen führt zu einer Minderung der Sammelquote für Bioabfall, was negativ zu sehen ist. Die Maßnahme der „Roten Karte“ stellte sich zumindest in der Großwohnanlage als kontraproduktiv für die Projektziele heraus.

Verteilung von BiOTONis

Wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben, hat die Firma lichtl Ethics & Brands GmbH in Kooperation mit reGIOcycle biogene BiOTONis produziert. Diese wurden für die beiden Landkreise Augsburg und Aichach-Friedberg und die Stadt

Augsburg in größerer Stückzahl beschafft. Zusammen mit Postkarten wurden diese nach Projektende bei diversen Sensibilisierungsmaßnahmen verteilt. Zusätzlich wurden auch BiOTONis für die Durchführung der Bildungsbox „Bioabfall“ beschafft. Im Rahmen des Projektes wurden auch BiOTONis auf dem Stadtmarkt Augsburg verteilt (vgl. Kap. 2.3.2 unten). Des Weiteren gibt es das Angebot für alle Bewohner*innen der Großwohnanlage in Aichach – dort fand die Testung des Sammelgefäßes mit ausgewählten Personen stattfand. Die Anwohner*innen können einen biogenen BiOTONi bei der Abfallberatungsstelle des Landkreises Aichach-Friedbergs kostenlos erhalten.

2.3.2 Stoffstrommanagement von Kunststoffen: Analyse in Augsburg und Optimierung auf dem Stadtmarkt

Das Thema Stoffstrommanagement von Kunststoffen wurde im Rahmen einer großen Sortieranalyse der Wertstofftonne in der Stadt Augsburg sowie einer Sortieranalyse von mehreren Stoffströmen sowie Sensibilisierungsmaßnahmen auf dem Stadtmarkt Augsburg adressiert.

Analyse der Wertstofftonne im Raum Augsburg

Im Jahr 2020 wurde die Wertstofftonne für Kunststoffe und Metalle in Augsburg eingeführt. Um einen Einblick in den tatsächlichen Inhalt der Wertstofftonne zu gewinnen und eine Grundlage für Ideen zum Thema Vermeidung und Substitution von Kunststoffen zu bekommen, wurde durch das Projekt reGIOcycle eine Sortieranalyse beim bifa Umweltinstitut aus Augsburg beauftragt.

Der Abfall aus verschiedenen Siedlungsstrukturen ist in der Regel unterschiedlich zusammengesetzt. Um einen Einblick in das Trennverhalten in die verschiedenen Siedlungsstrukturen zu bekommen, wurden Siedlungsstrukturen geclustert. Das Gebiet der Stadt Augsburg wurde anhand der Einwohnerdichte der besiedelten Fläche in vier unterschiedliche Siedlungsstrukturen (Ein- bis Zweifamilienhäuser, Reihen- und Mehrfamilienhäuser, Wohnanlagen, Großwohnanlagen) unterteilt und getrennt voneinander beprobt.

Die Sortierergebnisse wurden teilweise mit anderen Erhebungen verglichen (Umweltministerkonferenz [UMK], 2024). Diese haben jedoch einen Fokus auf Wertstofftonnen für die Leichtverpackungen-Erfassung (LVP). In Augsburg werden in der Wertstofftonne hingegen Kunststoffe und Metalle erfasst, d.h. mit zusätzlicher Erfassung stoffgleicher Nichtverpackungen. Dies schränkt die Vergleichbarkeit leicht ein.

Ergebnisse aus der Sortieranalyse der Wertstofftonne in Augsburg: Insgesamt wurden 97 Abfallbehälter im Herbst 2024 beprobt. Für diese sowie sechs zusätzliche 1.100-l-Müllgroßbehälter (MGB) wurde der Behälterfüllgrad bestimmt. Der mittlere Behälterfüllgrad lag bei 63 %, der Median mit 65 % nur leicht darüber. Der Umfang der sortierten Abfallmenge lag insgesamt bei 756,60 kg.

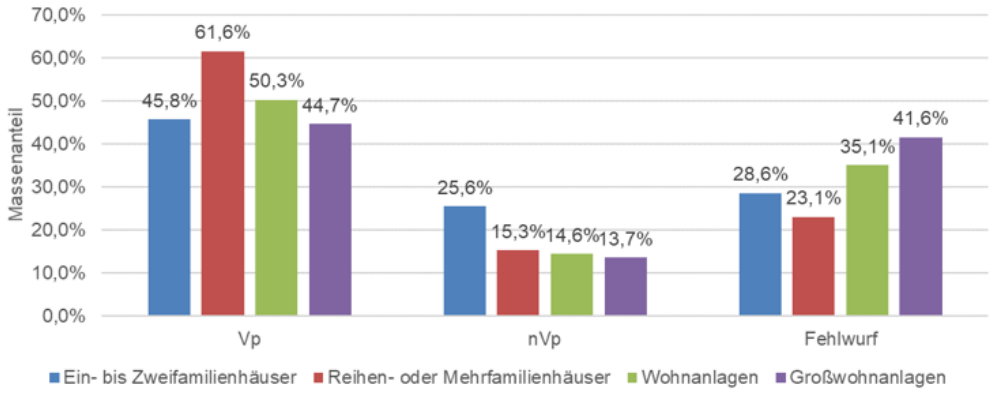
Das spezifische Abfallaufkommen lag bei 33,18 kg/(EW*a). Das spezifische Wertstoffabfallaufkommen in der Stadt Augsburg liegt somit über dem bundesdeutschen Durchschnitt (30,00 kg/(EW*a). Mit 96 % des sortierten Abfalls hatte der Grobmüll mit einer Korngröße > 40 mm den größten Anteil. Die Anteile von Mittel- und Feinmüll mit Korngrößen von 10 bis 40 mm bzw. < 10 mm machten 3,6 % und 0,4 % aus.

Betrachtung des Grobmülls: Die Untergruppen des Mülls aus der Wertstofftonne können in zwei Kategorien eingeteilt werden: Abfälle, die in die

Wertstofftonne gehören, und Abfälle, die nicht in die Wertstofftonne gehören und deshalb als Fehlwürfe einzustufen sind. Die höchsten Anteile lagen bei den Abfällen, die in die Wertstofftonne gehören, zusammen bildeten sie 65,1 % des Abfallstroms. Der Anteil an Fehlwürfen lag bei 30,9 %. Dieser liegt im Bereich der Literaturwerte von ca. 28 ± 5 % (Wünsch, 2021) bis ca. 32 ± 1 % (Bünemann et al., 2011). Die größte Fraktion ist die Fraktion „Verpackung Hohlkörper" mit 18,6 %, gefolgt von „Verpackungsfolien" mit 12,8 %.

Es wurde nach den Kategorien Verpackungsabfälle (Vp), Nicht-Verpackungsabfälle (nVp) und Fehlwürfe für jede Schicht differenziert. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 19 dargestellt. Bei den Verpackungen ist der Anteil bei Reihen- und Mehrfamilienhäusern (61,6 %) am höchsten und bei Ein- bis Zweifamilienhäusern (45,8 %) am geringsten. Bei den Nicht-Verpackungen ist der Anteil bei Ein- bis Zweifamilienhäusern (25,6 %) am höchsten und bei Großwohnanlagen am geringsten (13,7 %).

Abb. 16: Verpackung, Nicht-Verpackung und Fehlwürfe



Quelle: AWS, bifa

Auffälligkeiten und Maßnahmen: Der mittlere Behälterfüllgrad für alle Behältertypen lag bei 63 %. Dies zeigt, dass die Ausnutzung der Behältervolumina nicht optimal verläuft. Ein verbessertes Zusammenspiel von aufgestelltem Behältervolumen und Leerungsrhythmus könnte einen noch höheren mittleren Behälterfüllgrad ermöglichen und die Effizienz bei der Sammlung steigern.

Zwischen den vier untersuchten Schichten gab es keine außergewöhnlichen Unterschiede in der Zusammensetzung. Bei verpackten Lebensmitteln ist das größte Aufkommen in Großwohnanlagen (8,0 %) aufgetreten. Hier ist die Differenz zu den anderen Schichten (2,7 bis 6,8 %) auffällig. Grund dafür könnte sein, dass in Ein- und Zweifamilienhäusern mehr frische und unverpackte Lebensmittel konsumiert werden oder allgemein weniger Lebensmittel entsorgt werden. Andererseits könnte die höhere Anonymität der Abfallentsorgung in Großwohnanlagen derartige Fehlwürfe begünstigen. Hier besteht Aufklärungs- und Informationsarbeit für den AWS. Da der Fehlwurfanteil bei Großwohnanlagen höher als der Durchschnitt ist, empfiehlt es sich an dieser Stelle, mehr Öffentlichkeitsarbeit zu leisten.

Für die Fraktionen „Textilien" und „Elektrokleingeräte" lagen die Werte über dem Status-quo-Wert von 2009, aber unter dem der Idealzusammensetzung einer trockenen Wertstofftonne. Dies deutet darauf hin, dass die getrennte Sammlung von Textilien über Altkleidercontainer und von Elektrokleingeräten über die Container für Elektrogeräte in der Stadt Augsburg gut angenommen wird und sie somit nicht in der Wertstofftonne landen.

Das Aufkommen an Batterien, genauer: der Summe aus Batterien und E-Zigaretten, lag mit 0,08 kg/(EW*a) sowohl über dem Wert des Status quo von 2009 als auch über dem in der Idealzusammensetzung einer trockenen Wertstofftonne erwarteten Wert. Auch dies könnte ein Anlass für zusätzliche abfallwirtschaftliche Aufklärungs- und Informationsarbeit sein.

Insgesamt lässt sich eine hohe Akzeptanz der Getrenntsammlung in der Wertstofftonne für Kunststoffe und Metalle feststellen, da die Zusammensetzung mit wenigen Ausnahmen der Idealzusammensetzung einer solchen Wertstofftonne entspricht.

Analyse und Sensibilisierung auf dem Stadtmarkt Augsburg

Auf dem Augsburger Stadtmarkt wurde das Abfallsammelsystem untersucht. Bei einer ersten Sichtung zeigte sich bereits, dass das Stoffstrommanagement Optimierungspotenzial besitzt. Es gab für die Gewerbetreibenden keine Möglichkeit, Kunststoffe getrennt zu entsorgen – diese wurden im Restabfall gesammelt.

Eine Optimierung des Sammelsystems auf dem Stadtmarkt wurde angestrebt und ein erstes Konzept erarbeitet. Der Projektpartner AWS stellte daraufhin Wertstofftonnen für Verpackungsabfälle und stoffgleiche Nichtverpackungen am Abfallsammelplatz des Stadtmarktes auf, um das System so zu verbessern. Das Duale System (DSD) entsorgt diese Wertstofftonnen. Um das System auf dem Stadtmarkt weiter zu optimieren, wurde zudem eine Sortieranalyse für alle Abfallfraktionen (Rest-, Bio- und Wertstoffabfalls) durchgeführt. Mit der Sortieranalyse sollte geprüft werden,

- ob die Wertstofftonnen richtig genutzt werden,
- ob es noch ungenutztes Wertstoffpotenzial im Restabfall gibt und
- wie die Qualität des Bioabfalls aussieht.

Die Sortieranalyse zur Untersuchung der Zusammensetzung und Quantifizierung von Fehlwürfen je Abfallart umfasste einen Probeumfang von sechs Stichprobeneinheiten (SPE) (1.100 l) beim Rest- und beim Wertstoffabfall und acht SPE (240 l) beim Bioabfall.

Abb. 17:
Wertstoffabfall vor der Sortierung

Quelle: bifa Umweltinstitut

Die Hauptergebnisse der Sortieranalyse auf dem Stadtmarkt lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Restabfall hatte mit 47 % einen hohen Anteil an Fehlwürfen. Dieser beinhaltete viele verschmutzte Wertstoffe: z.B. Getränkekartons mit Anhaftungen und Kunststofffolien, die hauptsächlich als Verpackungen bei den Metzgereibetrieben anfallen.
- Der Bioabfall hatte fast keine Fehlwürfe, nur einige Gummibänder von Blumenhändlern. Jedoch wurde viel Obst und Gemüse, das noch verkaufsfähig war, gefunden.

Abb. 18: Nutzbares bzw. verkaufsfähiges Obst und Gemüse aus der Biotonne

Quelle: bifa Umweltinstitut

- Der Wertstoffabfall beinhaltete wenige Fehlwürfe. Viele Hohlkörper (z.B. Soßeneimer oder Öl-Verpackungen) haben ein großes Volumen, daher sind die Sammelbehälter schnell voll und relativ leicht.

Aus den Ergebnissen der Analysen wurden Handlungsempfehlungen abgeleitet und weitere Maßnahmen auf dem Stadtmarkt umgesetzt. Auf einer Versammlung der Beschickenden/Standbetreibenden des Stadtmarkts Augsburg wurden die Ergebnisse und Empfehlungen durch den AWS präsentiert sowie mögliche Verbesserungen diskutiert. Konkret wurde u.a. die Notwendigkeit einer besseren Trennung beim Restabfall thematisiert sowie aufgeklärt, dass (leicht) verschmutzte Getränkekartons sowie (leicht) verschmutzte Fleisch- und Wurstverpackungen über die Wertstofftonne entsorgt werden sollen. Zudem wurde an die Florist*innen appelliert, die Gummibänder an Blumensträußen vor der Entsorgung zu entfernen.

Ein anderer Aspekt waren mögliche Abfallvermeidungsmaßnahmen für die hohen Anteile von noch genießbarem Obst und Gemüse im Bioabfall. Initiativen wie foodsharing und toogoodtogo wurden vorgestellt und ein Austausch zwischen den Händler*innen angeregt, da bereits einige Beschickende bei toogoodtogo mitmachen.

Abb. 19:
Übergabe von BiOTONis für die Bioabfallsammlung auf dem Stadtmarkt Augsburg

Quelle: Umweltcluster Bayern

Bei der Veranstaltung wurde auch der BiOTONi vorgestellt - ein 5 l-Behälter für die lose Sammlung von Bioabfall. Der BiOTONi wurde inklusive eines Informationsflyers auf dem Stadtmarkt an interessierte Standbetreiber*innen verteilt.

3. Handlungsempfehlungen

Aus den Erkenntnissen der Umsetzungsphase lassen sich verschiedene Handlungsempfehlungen ableiten, die im Folgenden detailliert dargestellt werden. Sie sind in vier Bereiche gegliedert: Einführung von Mehrwegsystemen, Substitution von fossilen Kunststoffen, einheitliches Stoffstrommanagement sowie Reduzierung der Kunststofffehlwürfe im Bioabfall.

Diese Empfehlungen betreffen sowohl inhaltliche und organisatorische als auch technische und prozessuale Bereiche. Sie richten sich überwiegend an Akteure auf kommunaler Ebene, schließen aber auch explizit politische Entscheidungsträger*innen auf Bundesebene mit ein.

3.1 Einführung von Mehrwegsystemen

Die Erfahrungen mit dem Augsburger Becher haben gezeigt, dass fehlende politische Rahmenbedingungen die flächendeckende Einführung von Mehrwegsystemen stark erschweren. Der Verkauf von To-Go-Produkten in Einwegbehältnissen stellt eine klassische Externalisierung der Kosten für Flächenbereitstellung, Personalaufwand, Reinigung und Abfallbeseitigung dar. Aus betriebswirtschaftlicher Perspektive wird deshalb in der Gastronomie weiterhin bevorzugt auf Einweglösungen gesetzt, sofern diese nicht durch verbindliche rechtliche Regelungen unterbunden werden. Solche Regelungen könnten auf unterschiedlichen legislativen und exekutiven Ebenen erfolgen:

Empfehlungen an politische Akteure auf Bundesebene

- Angesichts der positiven Erfahrungen auf kommunaler Ebene und ihrer potenziellen Vorteile wird empfohlen, die **Einführung einer bundesweiten Steuer auf Einweggeschirr** zu prüfen. Eine solche Maßnahme könnte die Nutzung von Mehrwegsystemen fördern, zur Reduzierung von Einwegabfällen beitragen und die Entsorgungskosten gerechter verteilen. Es ist wichtig, die spezifischen Rahmenbedingungen und potenzielle Auswirkungen einer solchen Steuer sorgfältig zu prüfen, um sicherzustellen, dass sie effektiv und gerecht umgesetzt wird. Zudem sollte darauf geachtet werden, dass diese Maßnahme nicht zu einer doppelten Steuerbelastung führt, indem die Besteuerung von Einweggeschirr und die Anpassung der Energiesteuerbefreiung für fossile Rohstoffe klar voneinander abgegrenzt und koordiniert werden.

- Die seit 2023 geltende **Mehrwegangebotspflicht** gemäß § 33 Verpackungsgesetz (VerpackG) hat nur teilweise zum gewünschten Effekt der Abfallvermeidung beigetragen. Das Gesetz sollte auf die Wirksamkeit in der Praxis hin **evaluiert und ggf. nachgebessert** werden. Eine Pflicht zur Nutzung von Mehrwegbehältnissen im Bereich des To-Go-Sektors ist zu prüfen, vor allem da sich bereits Alternativen zu Einwegverpackungen am Markt etabliert haben.

Empfehlungen an regionale und kommunale politische Akteure

- Bis zur möglichen Einführung einer bundesweiten Steuer auf Einweggeschirr sollten Kommunen die Einführung **einer kommunalen Verpackungssteuer nach Tübinger** Vorbild prüfen. Die Verpackungssteuer in Tübingen hat sich bereits als wirksames Instrument erwiesen, um die Nutzung von Mehrwegsystemen zu fördern und Einwegverpackungen deutlich zu reduzieren. Da das Bundesverfassungsgericht die Rechtmä-

ßigkeit dieser kommunalen Steuer bestätigt hat, besteht nun ein gesicherter rechtlicher Rahmen für die Einführung vergleichbarer Verpackungssteuern auf kommunaler Ebene. Kommunen wird daher empfohlen, von diesem bewährten Instrument Gebrauch zu machen und so frühzeitig wirksame Anreize zur Abfallvermeidung zu setzen.

- Um die Wirksamkeit der seit dem 1. Januar 2023 geltenden Mehrweggebotspflicht gemäß § 33 Verpackungsgesetz (VerpackG) sicherzustellen, wird Kommunen nahegelegt, die Einhaltung dieser Vorschrift konsequent zu überwachen und die dafür erforderliche Kontrollinfrastruktur aufzubauen. Ohne entsprechende Überprüfungen bleibt diese Regelung wirkungslos.

- Als vorbereitende Maßnahme zur Einführung regulatorischer Vorgaben wird regionalen und lokalen Wirtschaftsreferaten sowie Wirtschaftsförderungen nahegelegt, gezielte strategische Gespräche mit Wirtschaftsakteuren aus dem Veranstaltungs- und Gastronomiesektor zu führen. Ziel dieser Gespräche ist es, die Unterstützung dieser Unternehmen zu gewinnen und so eine flächendeckende Etablierung von Mehrwegsystemen in der Gastronomie und bei Veranstaltungen aktiv zu fördern.

- Ein unterstützender Ansatz könnte in der Entwicklung von Sponsoringmodellen bestehen, die es Veranstaltern und Gastronomen ermöglichen, Mehrwegsysteme kostenfrei oder zu vergünstigten Konditionen zu nutzen. Unternehmen, die sich an diesen Modellen beteiligen, könnten im Gegenzug Werbemöglichkeiten wie die Platzierung ihres Logos auf Mehrwegbechern erhalten.

- Da sich die Rahmenbedingungen in der Gastronomie und im Veranstaltungssektor unterscheiden, erscheint es sinnvoll, für beide Bereiche spezifische Strategien zu entwickeln. Insbesondere die Gastronomie kann durch politische Maßnahmen und finanzielle Anreize gezielt unterstützt werden, um eine möglichst breite Einführung von Mehrweglösungen sicherzustellen.

- Zudem hat sich gezeigt, dass es zielführend ist, Betriebe innerhalb eines bestimmten Gebietes – beispielsweise in historischen Altstädten oder stark frequentierten Stadtquartieren – koordiniert und flächendeckend in Mehrwegsysteme einzubinden. Eine gemeinsame Umsetzung trägt dazu bei, die Akzeptanz solcher Systeme zu erhöhen und Wettbewerbsnachteile zu minimieren. Zudem wird vermieden, dass einzelne Betriebe sich benachteiligt fühlen, etwa durch höhere Kosten oder organisatorische Herausforderungen. Eine enge Abstimmung zwischen lokalen Akteuren kann die Effizienz und langfristige Etablierung von Mehrwegsystemen zusätzlich fördern.

- Regionale Wirtschaftsreferate oder Branchenverbände sollten eine digitale Plattform mit Best-Practice-Beispielen aus der Gastronomie bereitstellen, die erfolgreiche Mehrwegsysteme praxisnah erläutert und Betrieben konkrete Umsetzungshilfen bietet.

Empfehlungen an Wirtschaftsakteure

- Um die Akzeptanz von Mehrwegsystemen bei den Mitarbeitenden der Gastronomie zu steigern, wird eine gezielte Schulung empfohlen. Durch fundierte Informationen über die Vorteile bei der Nutzung von Mehrwegbechern können sie aktiv zur Bewerbung dieser Option beitragen und Gäste gezielt darauf hinweisen. Ziel ist es, dass die Mitarbeitenden Mehrweggeschirr sichtbar platzieren, Informationsmaterial bereitstellen und die Nachfrage durch direkte Empfehlungen gezielt fördern.

3.2 Substitution von fossilen Kunststoffen

Im Fokus von reGIOcycle stand die Substitution von fossilen Kunststoffen durch naturfaserverstärkte Biokunststoffe. Aus den im Projekt gewonnenen Erkenntnisse lassen sich verschiedene Empfehlungen für verschiedene Akteure ableiten.

Empfehlungen an politische Akteure auf Bundesebene

- Fossile Kunststoffe sind derzeit günstiger, als es ökologisch vertretbar wäre, da die damit verbundenen Umweltkosten nicht im Marktpreis enthalten sind (Externalisierung der Umweltkosten). Im Projekt reGIOcycle zeigte sich zudem, dass biobasierte Kunststoffe zwar technisch ebenbürtig, preislich jedoch bislang nicht konkurrenzfähig sind. Um eine nachhaltigere Nutzung von Kunststoffen zu fördern, wird empfohlen, Maßnahmen zur stärkeren Internalisierung dieser Umweltkosten umzusetzen. So sind gemäß § 25 Abs. 1 Nr. 1 Energiesteuergesetz fossile Rohstoffe, die zur Herstellung von Kunststoffen verwendet werden, bei stofflicher Nutzung derzeit von der Energiesteuer befreit. Diese steuerliche Begünstigung verschafft fossilen Kunststoffen einen preislichen Vorteil gegenüber Recyclingmaterialien (Rezyklaten) sowie biobasierten Alternativen. Dies schwächt ökologische Anreize und erschwert somit die Etablierung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. Um diesen Fehlanreiz zu korrigieren, sollte geprüft werden, die steuerliche Befreiung fossiler Rohstoffe schrittweise abzubauen oder steuerliche Vergünstigungen gezielt auf nachhaltig produzierte, recycelte und biobasierte Kunststoffe zu konzentrieren.

- Ursprünglich war geplant, den Augsburger Becher aus dem im Projekt entwickelten, mit Naturfasern verstärkten Biokunststoff herzustellen. Allerdings wäre für die Herstellung dieses Materials eine aufwändige Testung auf Lebensmittelkonformität erforderlich gewesen, die im Rahmen des Projekts jedoch weder zeitlich noch finanziell umsetzbar war. Es wird empfohlen, die Zulassungsverfahren für Innovationen im Bereich der biogenen Materialien zu vereinfachen, um die Entwicklung und Umsetzung neuer Materialien nicht unnötig zu erschweren.

- Im Projektverlauf zeigte sich im Austausch mit Unternehmen, Bürger*innen und kommunalen Akteuren, dass über biobasierte Kunststoffe oft Unwissen oder falsche Vorstellungen bestehen – angesichts der Komplexität des Themas wenig überraschend. Empirische Evidenz legt nahe, dass Aufklärung, Wissenstransfer und Vernetzung auf Bundesebene maßgeblich zur Bewältigung dieser Herausforderungen beitragen könnten. Eine zentrale Plattform wird als mögliche Maßnahme vorgeschlagen, um relevante Publikationen, etwa Ökobilanzen für Unternehmen, bereitzustellen und fundierte Materialentscheidungen zu erleichtern. Da nicht alle Biokunststoffe recycelbar sind, kann der Einsatz

von Rezyklaten in manchen Fällen die bessere Alternative sein. **Eine individuelle Bewertung ist erforderlich und sollte durch die Plattform unterstützt werden**. Zudem könnte sie den Austausch über Materialeigenschaften, etwa für Spritzgießen oder 3D-Druck, fördern.

Empfehlungen an regionale und kommunale politische Akteure

- Die Notwendigkeit von Aufklärungsarbeit und Wissenstransfer gilt auch für regionale und kommunale Akteure. Es wird empfohlen, **Netzwerke zu etablieren**, die regionale Rohstoffquellen analysieren und Unternehmen entlang der kunststoffbasierten Wertschöpfungskette vernetzen. Ebenso wird angeregt, ein regionales oder **überregionales Austauschformat für Akteure** zu schaffen, die sich mit der stofflichen Nutzung regionaler Biomasse befassen. Dazu zählen Hersteller von Cellulose-Fasern, Kunststoffen und deren Substituten, Kunststoff-Composite-Produzenten, Spritzgießer, Endproduktthersteller und -händler, Entsorgungsunternehmen, Forschungseinrichtungen und Netzwerkorganisationen.

Empfehlungen an Wirtschaftsakteure

- Im Projektverlauf kooperierte man mit verschiedenen Spritzgießern und Produzenten, die großes Interesse an der Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe zeigten – sowohl als Kunststoffe als auch als Füllstoffe oder Additive. Ein häufiger Kritikpunkt der Wirtschaftsakteure war die nicht-regionale Herkunft von Biokunststoffen, neben den höheren Materialpreisen. Unternehmensverbänden wird daher empfohlen, verstärkt Einfluss auf die Bundespolitik zu nehmen und Investitionen, etwa in Bioraffinerien, zu fördern.

3.3 Stoffstrommanagement

- Im Rahmen von reGIOcycle wurden verschiedene Sortieranalysen der Wertstofftonne durchgeführt, um das Stoffstrommanagement von Kunststoffen zu optimieren. Folgende Empfehlungen können im Hinblick auf die Wertstofftonne formuliert werden.

Empfehlungen an politische Akteure auf Bundesebene

- Viele reGIOcycle-Aktivitäten umfassten den Austausch mit Bürger*innen der Region Augsburg sowie mit kommunalen Abfallwirtschaftsbetrieben. Dabei wurden uneinheitliche Regelungen zur Abfalltrennung auf kommunaler Ebene festgestellt, die für Bürgerinnen schwer nachvollziehbar sind. Beispielsweise wird Papierabfall im Landkreis Aichach-Friedberg in blauen Tonnen gesammelt, in der Stadt Augsburg jedoch in grünen. Während Augsburg eine Wertstofftonne eingeführt hat, existierte diese in den angrenzenden Landkreisen während der Projektlaufzeit noch nicht. Der Landkreis Augsburg führte sie im Januar 2025 ein. Diese Unterschiede führen oft zu Verwirrung, und der Wunsch nach einheitlichen Regelungen wurde mehrfach geäußert. Besonders deutlich wurde dies bei der Entwicklung und Testung der Bildungsboxen, die ein Müllsortierspiel enthalten. In weiterführenden Schulen in Augsburg gibt es Schüler*innen aus den umliegenden Landkreisen, sodass die Unterschiede in der Abfalltrennung innerhalb einer Klasse unterschiedlich vermittelt werden müssen. Auf Basis dieser Projekterfahrungen wird eine **Vereinheitlichung der Systeme empfohlen**. Zudem sollte die bundesweite Einführung einer Wertstofftonne als mögliche Maßnahme diskutiert werden.

- Im Rahmen des Projekts wurde festgestellt, dass viele Bürgerinnen unsicher sind, ob sie abbaubare Beutel aus Biokunststoff für die Bioabfallsammlung verwenden dürfen. Diese Unsicherheit entsteht, weil die Nutzung je nach Kommune unterschiedlich geregelt ist. Der Grund dafür liegt in den verschiedenen technischen Verfahren der Vergärungs- und Kompostierungsanlagen, die die Beutel nicht immer vollständig abbauen können. Während einige Entsorgungsbetriebe ihre Nutzung erlauben, lehnen andere sie ab, um Störstoffe in der Kompostierung zu vermeiden. Bürger*innen äußerten daher den Wunsch nach mehr Klarheit und einheitlichen Regelungen. Eine bundesweite Vereinheitlichung der Regelungen sollte geprüft werden, wobei die technische Umsetzbarkeit für unterschiedliche Anlagen berücksichtigt werden muss.

Empfehlungen an regionale und kommunale politische Akteure

- Unterschiede in der Abfalltrennung lassen sich nicht nur auf nationaler, sondern insbesondere auf regionaler und kommunaler Ebene adressieren. Ein interkommunaler Austausch und die Vereinheitlichung von Systemen über kommunale Grenzen hinweg sind daher sinnvoll. Im Rahmen von reGIOcycle wurde dieser Austausch im Raum Augsburg intensiviert. Ein Beispiel für eine solche Vereinheitlichung ist die Einführung der Wertstofftonne für Kunststoffe und Metalle im Landkreis Augsburg, wodurch das bereits in der Stadt Augsburg bestehende System übernommen wurde. Diese Anpassung entspricht dem Wunsch vieler Bürger*innen nach klareren und einheitlicheren Regelungen. Für Bioplastiktüten sollten die Informations- und Aufklärungsarbeit weiter ausgebaut und alternative Sammelmethoden wie Papiertüten oder Zeitungspapier in interkommunal einheitlichen Kampagnen stärker beworben werden, da diese in allen Anlagen problemlos kompostierbar sind. Dieses gemeinsame Vorgehen wird den am Projekt beteiligten Gebietskörperschaften sowie allen weiteren kommunalen Abfallwirtschaftsbetrieben zur dauerhaften Umsetzung empfohlen.

3.4 Reduzierung Kunststofffehlwürfe im Bioabfall

Aus den in reGIOcycle gewonnenen Erkenntnisse im Bereich der Reduzierung von Kunststofffehlwürfen im Bioabfall lassen sich verschiedene Empfehlungen für verschiedene Akteure ableiten.

Empfehlungen an politische Akteure auf Bundesebene

- Kontinuierliche Aufklärungsarbeit im Bereich Mülltrennung allgemein, aber auch über die Wichtigkeit der getrennten und sauberen Erfassung von Bioabfall ist äußerst notwendig und sollte auf Bundesebene finanzielle Unterstützung erfahren. Initiativen wie die Biotonnen-Challenge sind wichtige Instrumente und sollten weiterhin gefördert werden bzw. ausgeweitet werden.

Empfehlungen an regionale und kommunale politische Akteure

Im Projekt wurden zahlreiche Maßnahmen zur Sensibilisierung von Bürger*innen gemeinsam mit kommunalen Abfallberater*innen umgesetzt. Die folgenden Erkenntnisse („Lessons learned“) konnten daraus gewonnen werden:

- Citizen Innovation Labs und Reallabore haben sich als wirksame Methoden zur Reduzierung von Fehlwürfen in Biotonnen bewährt.

- Kontinuierliche Kontakte zu Anwohner*innen, Hausverwaltungen und insbesondere Hausmeister*innen sind entscheidend für den Erfolg.
- Eine umfassende Analyse der Vor-Ort-Bedingungen sowie die frühzeitige Einbindung aller relevanten Akteure sind unerlässlich. Die gemeinsame Entwicklung eines Maßnahmensets hat sich als hilfreich erwiesen.
- Die Verteilung eines Vorsammelbehälters für Küchenabfälle (z.B. BiO-TONi) kann die Fehlwurfquote senken. Andere Initiativen, wie Plastic Free Compost, setzen stattdessen auf die Bereitstellung von Papiertüten.
- Es gibt keine einzelne Maßnahme, die für sich allein wirksam ist – eine Kombination verschiedener Ansätze ist erforderlich (z.B. direkte Ansprache, Hoffeste, Workshops, Flyer, Aufkleber).
- Spielerische Elemente wie ein Glücksrad oder Mitmachaktionen (z.B. eine Pflanzaktion mit Komposterde) haben sich als besonders hilfreich erwiesen, um Familien einzubinden.
- Maßnahmen im Rahmen der frühkindlichen Erziehung in Kindergärten oder Schulen wurden positiv aufgenommen. Kinder sind wissbegierig und beeinflussen wiederum das Verhalten ihrer Eltern, wodurch sie eine wichtige Zielgruppe darstellen.
- Das Modell der roten Karte der AWS führte in einigen Fällen dazu, dass Biotonnen stehengelassen und später von der Hausverwaltung für Bewohner*innen unzugänglich gemacht wurden. Dieses Vorgehen ist für größere Wohnanlagen wenig geeignet. Im ländlichen Raum oder in Gebieten mit Einfamilienhäusern wurde das Modell hingegen positiv bewertet. Der Landkreis Aichach-Friedberg hat gute Erfahrungen mit der Vergabe gelber und roter Karten gesammelt (Stichwort: soziale Kontrolle).
- Der zeitliche und personelle Aufwand für Sensibilisierungsmaßnahmen ist hoch und sollte bei der Planung berücksichtigt werden.
- Die Chargenanalyse (Beprobung des Müllfahrzeuginhalts) ist kostenintensiv und daher nicht uneingeschränkt zu empfehlen. Die Kontrolle von Biotonnen vor und nach Maßnahmen ist jedoch sinnvoll, um messbare Ergebnisse zu erhalten.

4. Stadt-Land-Bezug in der Umsetzungsphase

Das Projekt „reGIOcycle“ veranschaulicht exemplarisch die Wechselwirkungen zwischen städtischen und ländlichen Strukturen in verschiedenen Themenfeldern.

Insbesondere im Bereich der Optimierung des Bioabfalls lassen sich vielfältige Stadt-Land-Verknüpfungen identifizieren. Der gesamte Raum Augsburg, bestehend aus den Landkreisen Aichach-Friedberg und Augsburg sowie der Stadt Augsburg, war aktiv in die Projektmaßnahmen eingebunden. Dies schloss auch die Abfallverwertungsanlage (AVA) mit ein. Die Zusammenarbeit zwischen städtischen und ländlichen Akteuren, etwa im Rahmen der gemeinsamen Teilnahme an der Biotonnen-Challenge, wurde durchweg positiv bewertet. Da der Bioabfall aus allen drei Regionen zur AVA geliefert wird, konnten die Abfallberatungsstellen der beteiligten Kommunen einheitliche Informationen an die Bürger*innen weitergeben. Diese gemeinsame Kommunikationsstrategie erleichterte die Vermittlung relevanter Inhalte erheblich. Zudem besteht ein übergeordnetes Interesse aller Beteiligten daran, den Bioabfall möglichst frei von Fremdstoffen zu sammeln. Ein weiterer relevanter Stadt-Land-Bezug zeigt sich in der landwirtschaftlichen Nutzung des Komposts. Eine hohe Kompostqualität mit einem möglichst geringen Anteil an Störstoffen, insbesondere Kunststoffpartikeln, ist essenziell, um eine uneingeschränkte landwirtschaftliche Verwertung sicherzustellen.

Auch im Bereich Mehrweg lassen sich übertragbare Stadt-Land-Ansätze erkennen. Während der Augsburger Becher zunächst ausschließlich in der Stadt Augsburg erprobt wurde, bietet sich Potenzial für eine Ausweitung auf kleinere Städte und ländliche Regionen. Die Stadt Friedberg im Landkreis Aichach-Friedberg erwägt derzeit die Einführung eines vergleichbaren Systems. Die im Rahmen des Projekts gewonnenen Erkenntnisse werden mit weiteren relevanten Akteuren geteilt, um die Übertragbarkeit auf andere Regionen zu prüfen.

Das Themenfeld Regionale Rohstoffe verdeutlicht ebenfalls die enge Verflechtung von Stadt und Land. In ländlichen Regionen erzeugte oder als Nebenprodukte anfallende Materialien, wie Zellstoff, Trester oder Stroh, werden zur Herstellung von Produkten wie dem BiOTONi genutzt, die sowohl in urbanen als auch in ländlichen Gebieten Anwendung finden. Da nachwachsende Rohstoffe wertvolle Ressourcen darstellen, sollte ihr Einsatz gezielt für langlebige, recyclingfähige Produkte erfolgen. Dies gilt sowohl für Biokunststoffe aus regionalen Quellen als auch für mit Naturfasern verstärkte Verbundwerkstoffe oder Stroh als Isoliermaterial. Die Recyclingfähigkeit dieser Materialien trägt nicht nur zur Schonung regionaler Rohstoffe bei, sondern kann auch zur wirtschaftlichen Aufwertung von Nebenprodukten beitragen. Gegenwärtig sind einige NawaRo-Kunststoffe lediglich theoretisch recyclingfähig, da ihre Sortierung wirtschaftlich nicht rentabel ist. Eine künftige Weiterentwicklung könnte die Nutzung regionaler nachwachsender Rohstoffe in der Kunststoffindustrie stärken und damit die Bedeutung ländlicher Regionen als Lieferanten erneuerbarer Materialien erhöhen.

Neben der Rolle als Rohstofflieferant kann der ländliche Raum auch von innovativen biobasierten Produkten profitieren. Ein Beispiel ist die Entwicklung einer abbaubaren Umhüllung aus Kleie für einen EU-konformen Langzeitdünger, die zur Reduktion der Nitratbelastung des Trinkwassers beiträgt. Diese Innovation bietet sowohl für den ländlichen als auch für den städtischen Raum erhebliche Vorteile.

5. Fazit und Ausblick

Das Projekt reGIOcycle erstreckte sich über eine dreijährige Forschungsphase und eine zweijährige Umsetzungsphase. In der zweiten Phase wurden zahlreiche erkenntnisreiche Ergebnisse in den Bereichen Mehrwegsysteme, faserverstärkte Biokunststoffe und kunststoffarmer Bioabfall erzielt. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Projekts mehrere Produkte entwickelt, die auch nach Projektende in der Region zum Einsatz kommen und somit eine nachhaltige Verwertung der Projektergebnisse gewährleisten.

Mehrwegsysteme

In der Umsetzungsphase wurde der „Augsburger Becher" als nachhaltiges Mehrwegsystem für Kaltgetränke in Augsburg etabliert. Das Ziel bestand darin, die Verwendung von Einwegbechern zu minimieren und Littering im öffentlichen Raum zu reduzieren. In Testphasen in der Gastronomie und bei Veranstaltungen wurden unterschiedliche Ergebnisse erzielt. So wurde in der Gastronomie eine moderate Nachfrage festgestellt, während der Einsatz des Bechers bei Veranstaltungen sehr erfolgreich war. Diese Erfahrungen legen nahe, dass klar definierte Rahmenbedingungen, eine gezielte Kommunikation und eine langfristige Unterstützung notwendig sind, um die Attraktivität und Akzeptanz von Mehrwegsystemen zu stärken.

Der Augsburger Becher wurde als Mehrwegbecher für städtische Veranstaltungen wie das MODULAR-Festival eingeführt und das System durch Übergabe an einen lokalen, privatwirtschaftlichen Event-Verleih weiter professionalisiert. Darüber hinaus wurde eine Variante des Bechers aus Biokunststoff entwickelt.

Bioabfall

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass das Konzept „Citizen Innovation Labs" eine effektive Methode zur Reduzierung der Fehlwurfquote in Biotonnen darstellt. Zu diesem Zweck sind Vor-Ort-Analysen sowie die Entwicklung eines Instrumentenmixes mit diversen Maßnahmen erforderlich. Von besonderer Relevanz ist hierbei die Einbindung lokaler Akteure, wie Hausmeister*innen, Hausverwaltungen und Anwohner*innen. Neben der Sensibilisierung der Bewohnerschaft führte auch der testweise Einsatz des BiOTONis in Haushalten zu einem Verzicht auf Kunststoffbeutel bei der Bioabfallentsorgung.

Durch diese Maßnahmen wurde es möglich, eine Reduzierung des Fehlwurfanteils in Biotonnen aus GWA zu erreichen, wobei die Umsetzung allerdings als zeit- und personalintensiv anzusehen ist. Für die Implementierung und Evaluation der Maßnahmen ist eine Fokussierung auf ein klar abgrenzbares Gebiet von entscheidender Bedeutung. Der regionale Ideen- und Erfahrungsaustausch im Stadt-Land-Kontext, maßgeblich getragen von den Mitarbeitenden der kommunalen Abfallwirtschaftsbetriebe in den Bereichen Abfallberatung und Anlagenbetrieb, trug maßgeblich zum Erfolg bei. Im Bereich „Plastikfreier Biomüll" konnte ein assoziierter Partner die „Biotonnen Challenge 2023" für sich entscheiden.

Materialforschung an Biokunststoffen

Im Bereich der faserverstärkten Biokunststoffe wurde eine umfangreiche Materialforschung durchgeführt, die neue Anwendungen für Pflanzenfasern

für die Verstärkung von Kunststoffen aufgezeigt hat. Im Rahmen dieser Forschung wurde der Beitrag, den pflanzliche Fasern zum Austausch fossil basierter Kunststoffe leisten können, nachgewiesen. Die Verwendung dieser Fasern, hat eine signifikante Steigerung der Belastbarkeit und Langlebigkeit der Produkte zum Resultat, ähnlich wie dies für die Verstärkung von Kunststoffen mit Glasfasern bekannt ist. Die besten Resultate werden erreicht durch eine sorgfältige Abstimmung von Fasertyp, wasserabweisender Faservorbehandlung, Kunststoff und Kunststoffadditiven. Die industrielle Nutzung pflanzlicher Fasern erfordert die Zusammenarbeit verschiedener Unternehmen. Auf dieser Basis konnte im Rahmen von reGIOcycle ein Weg aufgezeigt werden, um mit regional verfügbaren, feinen Fasern aus der Vermahlung von Zellstoff den Bedarf fossiler Rohstoffe zu senken.

Im Rahmen des Projekts wurden zwei reGIOcycle-Materialien aus Faser-Biokunststoffen entwickelt und einer Prüfung unterzogen. Das reGIOcycle-Material rFB1 besteht aus pflanzlichen Fasern, pflanzlichen Fettsäuren und Bio-Polyethylen (Bio-PE). Im Rahmen der Untersuchung wurde festgestellt, dass dieser Werkstoff das bisher verwendete, fossile Polypropylen bei der Herstellung des BiOTONis ersetzen kann. In Lebenszyklusanalysen (LCA) schneiden Biokunststoffe wie Bio-Polyethylen oft besser ab. Bio-PE wird als sogenannter Drop-in-Biokunststoff bezeichnet, der die Möglichkeit bietet, herkömmliches fossiles Polyethylen zu substituieren. Langfristig sollten die Rohstoffe jedoch aus Europa stammen. Als Rohstoffquellen kommen große Reststoffströme aus biologischem Material in Betracht, die z. B. über Ethanol oder Milchsäure zur Herstellung von Polymerbausteinen genutzt werden können.

Das zweite entwickelte Material, reGIOcycle-Material rFB2, besteht aus pflanzlichen Fasern, Hemicellulose-Bio-Polyester und Bio-Polyester. Im Vergleich zu Bio-PE weist Biopolyester aus Milchsäure eine höhere Steifigkeit auf, selbst ohne die Zugabe von Fasern. Die Zugabe von Fasern resultiert in einer zusätzlichen Steifigkeitssteigerung. Materialtests im 3D-Druck sowie im Spritzguss im Labormaßstab und bei einem Spritzgießer für eine patentierte Spritzguss-Gärform für Brot ergaben positive Ergebnisse hinsichtlich der Verarbeitungseigenschaften.

Das Projekt identifizierte ein großes Potenzial und Industrieinteresse an faserverstärkten Biokunststoffen aus regionalen Quellen. Hier sind bundesweite Initiativen nötig, um diese Potenziale auszuschöpfen, sowie finanzielle Unterstützung für Materialforschung mit Fokus auf erneuerbare Reststoffe.

Verwertung der Ergebnisse

Mit reGIOcycle wurden zwei Produkte aus der Forschungsphase in die wirtschaftliche Nutzung gebracht. Diese beiden marktfähigen Produkte werden nach Projektende weiterhin verliehen bzw. vertrieben: der Augsburger Becher ist über die Firma eventmeile.de ausleihbar (https://augsburger-becher.eventmeile.de/produkt/) während der BiOTONi über die Agentur lichtl Ethics & Brands GmbH vertrieben wird (www.biotoni.de).

Nach Projektende werden weiterhin die im Rahmen des Projektes entwickelten Bildungsboxen zu den Themen Mehrweg und Bioabfall Anwendung finden. Diese Boxen vermitteln Müllvermeidung und richtige Mülltrennung auf spielerische Weise. Pädagogisches Fachpersonal kann die Boxen im Umweltbildungszentrum ausleihen und bei Bedarf Umweltbildungsakteure für die Durchführung buchen. Die Bildungsboxen enthalten vielfältige Materialien: verschiedene Abfallarten, kleine Mülltonnen, Wertstoffcontainer und Puzzle zu Kreislaufprozessen. Die „Bioabfall“-Box wird in einer Biomülltonne präsentiert, die „Mehrweg“-Box in einer Mehrweg-Versandbox – so wird das

jeweilige Thema bereits durch die Verpackung greifbar. Die Boxen wurden dem Umweltbildungszentrum Augsburg übergeben (vgl. Abb. 20) und stehen Bildungseinrichtungen in der Region zur Ausleihe zur Verfügung.

Abb. 20:
Akteur*innen bei der Übergabe der Bildungsboxen „Mehrweg“ und „Bioabfall“ an das Umweltbildungszentrum Augsburg

Quelle: Viktor Klein, Umweltcluster Bayern

Ergebnisse der Abschlussveranstaltung und Zukunftsperspektiven

Im Rahmen der Abschlussveranstaltung des Projekts fand eine „Zukunftswerkstatt“ statt, an der etwa 50 Vertreter*innen aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft teilnahmen. Im Mittelpunkt dieses Workshops stand die Entwicklung einer gemeinsamen Vision für die Region Augsburg im Jahr 2050: Kunststoffe sollen bis dahin ausschließlich in geschlossenen Kreisläufen zirkulieren, sodass kein Abfall mehr entsteht. Zur Erreichung dieser Vision setzen die Beteiligten auf intelligente Technologien, beispielsweise zur optimalen Trennung der Stoffströme, sowie auf fortschrittliche Bildungskonzepte, die nachhaltiges Verhalten in der Bevölkerung fördern. Ergänzend dazu sollen langlebige, reparierbare und vollständig recycelbare Produkte etabliert werden, wobei Mehrwegsysteme wie der „Augsburger Becher“ Einwegprodukte ersetzen.

Ausgehend von dieser Vision entwickelten die Teilnehmenden konkrete Strategien und Maßnahmen, die in den kommenden Jahren umgesetzt werden sollen. Dazu zählen beispielsweise gezielte Aufklärungsarbeit, interaktive Bildungsangebote sowie kreative Kommunikationskampagnen, die Recycling und Wiederverwertung positiv und emotional vermitteln. Zudem wurden regulatorische Instrumente wie Steueranreize oder Verbote unnötiger Verpackungen sowie die Förderung neuer, nachhaltiger Materialien wie biologisch abbaubare Kunststoffe vorgeschlagen. Einheitliche Abfallsysteme und eine verstärkte regionale Zusammenarbeit, etwa durch kommunale Netzwerke und Zweckverbände, sollen ebenfalls zur Umsetzung der Ziele beitragen.

Abb. 21:
Ergebnisse der Zukunftswerkstatt Region Augsburg 2050

Quelle: Viktor Klein, Umweltcluster Bayern

Insgesamt betonte die Veranstaltung die Bedeutung der engen Vernetzung zwischen Politik, Wissenschaft und Zivilgesellschaft, um die gemeinsam formulierte Vision bis 2050 erfolgreich umzusetzen.

6. Projektpartner

An dem Projekt waren folgende Partner beteiligt (siehe auch https://www.re-giocycle.de/partner.html):

Der **Abfallwirtschafts- und Stadtreinigungsbetrieb der Stadt Augsburg (AWS)** ist seit 1913 für die Abfallentsorgung in der Stadt zuständig. Seit 2000 ist er ein eigenständiger Betrieb und verantwortlich für die Erfassung aller Abfälle aus Haushalten. Der AWS betreibt ein 4-Tonnen-Holsystem, mehrere Wertstoffhöfe und hat ein System für wiederverwendbare Kaffeebecher etabliert. Seit 2020 wurde gemeinsam mit den Dualen Systemen eine Wertstofftonne eingeführt. Der AWS beschäftigt rund 350 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und arbeitet eng mit regionalen Partnern und Initiativen zusammen.

Das **Deutsche Institut für Urbanistik (Difu)** ist das führende Forschungsinstitut für Städte und Gemeinden im deutschsprachigen Raum. Gegründet 1973, unterstützt das Difu Kommunen bei der Lösung aktueller Herausforderungen und der Gestaltung einer zukunftsfähigen Stadtentwicklung. Mit einem breiten Spektrum an Themen von Stadtplanung über Soziales bis hin zu Umwelt und Finanzen bietet das Difu praxisorientierte Forschung, Fortbildung und Beratung. Das Institut arbeitet eng mit Kommunen, Wissenschaft und Politik zusammen und trägt so zur Weiterentwicklung der Städte bei.

Die **Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategien (IWKS)**, deren Standorte sich in Alzenau und Hanau befinden, ist eine führende Forschungseinrichtung, deren Fokus auf der Entwicklung von Technologien für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft liegt. Die dort tätigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erarbeiten innovative Lösungen, die darauf abzielen, Ressourcen zu schonen und die Umwelt zu schützen. Ein besonderer Fokus liegt auf der Rückgewinnung von Wertstoffen aus Abfallprodukten, der Entwicklung neuer Materialien auf Basis nachwachsender Rohstoffe sowie der Optimierung von Prozessen zur Ressourceneffizienz. Die enge Zusammenarbeit mit der Industrie und anderen Forschungseinrichtungen gewährleistet die schnelle Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis und leistet so einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung.

Das **Institut für Kunststofftechnik (IKT) der Universität Stuttgart** entstand 2006 durch die Zusammenlegung zweier traditionsreicher Institute, um Synergien und Ressourcen effizienter zu nutzen. Seit 2010 wird das Institut von Prof. Dr. Christian Bonten geleitet, ergänzt seit 2014 durch eine W3-Professur von Prof. Dr. Marc Kreutzbruck. Das IKT beschäftigt etwa 60 Mitarbeitende und arbeitet in den Bereichen Werkstofftechnik, Verarbeitungstechnik und Produktentwicklung. Ein Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung neuer Werkstoffe und

Technologien sowie deren Anwendung und Absicherung. Die Werkstofftechnik widmet sich insbesondere dem biologischen Abbau von Kunststoffen, der Optimierung von Biokunststoffen und der Modellierung von Werkstoffverhalten. Forschungsprojekte umfassen unter anderem die Untersuchung von Mikroplastik, die Entwicklung biobasierter Materialien, PLA-Modifikationen für Schaumextrusion und die Verbesserung der Materialeffizienz durch Aufbereitung und Prüfmethoden. Ziel ist die nachhaltige Substitution fossiler Kunststoffe und die Förderung ressourcenschonender Lösungen.

Das Resource Lab an der Universität Augsburg, eine interdisziplinäre Forschungsgruppe, angesiedelt am Institut für Materials Resource Management (MRM), konzentriert sich auf Themengebiete rund um das Forschungsfeld Industrial Ecology. Hierbei spielen Kritikalitäts- und Materialflussanalysen sowie Lebenszyklusanalysen (Life-Cycle-Assessment) und Methoden des Supply Chain Managements und der Circular Economy eine große Rolle. Das Resource Lab fördert die Zusammenarbeit zwischen ingenieur-, natur- und wirtschaftswissenschaftlichen Lehrstühlen sowie externen Partnern und ist eng mit dem Zentrum für Klimaresilienz (ZfK) der Universität Augsburg vernetzt. Ein interdisziplinäres Team erforscht resiliente Systeme, bewertet Materialien und Technologien in ökonomischer, ökologischer und sozialer Hinsicht und optimiert Produktions- sowie Lieferkettenprozesse. Das Resource Lab wird von Dr. Andrea Thorenz geleitet.

Die TECNARO GmbH entwickelt und produziert Biokunststoffe und Biocomposites aus nachwachsenden Rohstoffen. Zu den Werkstofffamilien zählen ARBOFORM®, ARBOBLEND® und ARBOFILL®. Diese Materialien werden in verschiedenen Branchen, darunter Automobil-, Bau-, Verpackungs- und Möbelindustrie, sowie in weiteren Anwendungsbereichen eingesetzt. Die Verarbeitung erfolgt durch gängige Verfahren wie Spritzgießen, Extrudieren oder Pressen. Die Werkstoffe der TECNARO GmbH basieren vollständig auf nachwachsenden Rohstoffen wie Holz, Zuckerrohr und Mais. Sie stellen eine Alternative zu fossilen Kunststoffen dar und tragen zur Reduzierung der Abhängigkeit von erdölbasierten Materialien bei. Für ihre Entwicklungen wurde das Unternehmen mehrfach ausgezeichnet. Die TECNARO GmbH wurde 1998 als Spin-off der Fraunhofer-Gesellschaft gegründet. Seit 2006 befindet sich der Unternehmenssitz in Ilsfeld-Auenstein. Mit dem Bau eines Produktionswerks im Jahr 2015 wurde die Produktionskapazität erweitert.

Die Landpack GmbH aus Puchheim hat sich auf die Entwicklung und Produktion von nachhaltigen Verpackungen aus Stroh spezialisiert hat. Die patentierte Landbox bietet eine umweltfreundliche Alternative zu Styropor und wird von zahlreichen Unternehmen aus verschiedenen Branchen eingesetzt. Mit einem starken Fokus auf Forschung und Entwicklung sowie einem internationalen Team treibt Landpack die Innovation in der Verpackungsindustrie voran.

Der Trägerverein Umwelttechnologie-Cluster Bayern e.V. (UCB) wurde 2006 im Rahmen der bayerischen Cluster-Offensive gegründet. Das Netzwerk vernetzt über 200 Mitglieder aus Umweltwirtschaft, Wissenschaft, Kommunen und kommunalen Betrieben mit dem Ziel, Kompetenzen in Schlüsselbereichen wie Ressourceneffizienz, Abfall & Recycling, Wasser & Abwasser sowie alternativen Energiegewinnen zu bündeln. Der Cluster fungiert als Innovationsplattform für branchen- und länderübergreifende Projekte und unterstützt Mitglieder bei internationalen Kooperationen. Unter der strategischen Leitung von Dr. Stefanie Kauf-Schraml und der operativen Führung von Geschäftsführer Alfred Mayr realisiert der Verein Projekte zur Förderung nachhaltiger Technologien.

7. Literatur

about-drinks.com. (2024). PepsiCo und Vytal verkünden starke Partnerschaft im Gastronomiebereich. https://www.about-drinks.com/pepsico-und-vytal-verkuenden-starke-partnerschaft-im-gastronomiebereich/

Amato-Lourenço L. F., et al, Amato-Lourenço, L. F., Carvalho-Oliveira, R., Júnior, G. R., Dos Santos Galvão, L., Ando, R. A. & Mauad, T. (2021). Presence of airborne microplastics in human lung tissue. Journal of Hazardous Materials, 416, Artikel 126124. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126124

Assies F., Messmann, L., A. Thorenz & Tuma, A. (2025). Life Cycle Sustainability Assessment of substituting fossil-based with biogenic ma-terials – a German case study on drinking cups and insulation boxes. Journal of Industrial Ecology.

Babu, R. P., O'Connor, K. & Seeram, R. (2013). Current progress on bio-based polymers and their future trends. Progress in Biomaterials, 2, Artikel 8. https://doi.org/10.1186/2194-0517-2-8

Bonten, C. (2020). Kunststofftechnik: Einführung und Grundlagen (3., akt. Aufl.). Hanser.

Bünemann, A., Rachut, G., Christiani, J., Langen, M. & Wolters, J. (2011). Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung: Teilvorhaben 1: Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne (Texte 8/2011). Umweltbundesamt (UBA). https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/planspiel-zur-fortentwicklung-verpackungsverordnung

Carpenter, E. J. & Smith, K. L. (1972). Plastics on the Sargasso Sea Surface. Science, 175(4027), 1240–1241. https://doi.org/10.1126/science.175.4027.1240

Carus, M., Eder, A., Dammer, L., Korte, H., Scholz, L., Essel, R., Breitmayer, E., und M. Barth (2015). WPC/NFC Market Study 2014-03, Update 2015-06. Hürth: nova-Institut 2015, kostenpflichtiger Download unter: www.bio-based.eu/markets

Caterbow, A. & Speranskaya, O. (2019). Geschichte: Wie billiger Kunststoff die Welt eroberte [Ein Beitrag aus dem Plastikatlas]. Heinrich Böll Stiftung. https://www.boell.de/de/2019/06/06/geschichte-wie-billiger-kunststoff-die-welt-eroberte

Deutsches Institut für Normung. (2012). DIN EN 13432:2000-12 - Verpackung: Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau - Prüfschema und Bewertungskriterien für die Einstufung von Verpackungen. https://doi.org/10.31030/9010637

Deutsches Institut für Normung. (2014). DIN EN 16575:2014-10: Biobasierte Produkte - Terminologie. https://doi.org/10.31030/2096405

Endres, H.-J., Mudersbach, M., Behnsen, H. & Spierling, S. (Hrsg.). (2020). Biokunststoffe unter dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit und Kommunikation: Status quo, Möglichkeiten und Herausforderungen. Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27795-6

euopeanbioplastice. (2023). Bioplastics market development update 2023. https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-market-development-update-2023-2/

Hartmann, N. B., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M. P., Hess, M. C., Ivleva, N. P., Lusher, A. L. & Wagner, M. (2019). Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. Environmental science & technology, 53(3), 1039–1047. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297

Kreibe, S., Schneider, M., Schicker, C., Tronecker, D. & Büttner, E. (2007). Abfalltrennung in Großwohnanlagen: Ein Projektbericht (bifa-Text Nr. 35). bifa Umweltinstitut.

Kumar, R., Lalnundiki, V., Shelare, S. D., Abhishek, G. J., Sharma, S., Sharma, D., Kumar, A. & Abbas, M. (2024). An investigation of the environmental implications of bioplastics: Recent advancements on the development of environmentally friendly bioplastics solutions. Environmental Research, 244, Artikel 117707. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117707

Lasarte López, J., Tamošiunas, S., Piotrowski, S., M'barek, R. & Carus, M. (2022). Jobs and wealth in the EU bioeconomy / JRC - Bioeconomics. Dataset. European Commission, Joint Research Centre (JRC). https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/7d7d5481-2d02-4b36-8e79-697b04fa4278

Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J. & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. Environment International, 163, Artikel 107199. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199

Marfella, R., Prattichizzo, F., Sardu, C., Fulgenzi, G., Graciotti, L., Spadoni, T.,

D'Onofrio, N., Scisciola, L., La Grotta, R., Frigé, C., Pellegrini, V., Municinò, M., Siniscalchi, M., Spinetti, F., Vigliotti, G., Vecchione, C., Carrizzo, A., Accarino, G., Squillante, A., . . . Paolisso, G. (2024). Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. The New England journal of medicine, 390(10), 900–910. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2309822

Mielinger, E. & Weinrich, R. (2024). Insights into plastic food packaging waste sorting behaviour: A focus group study among consumers in Germany. Waste management, 178, 362–370. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.02.038

Mousavi-Avval, S. H., Sahoo, K., Nepal, P., Runge, T. & Bergman, R. (2023). Environmental impacts and techno-economic assessments of biobased products: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 180, Artikel 113302. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113302

Plastikbecher.de. (o. J.). Ausschankbecher, mit Schaumrand, PS, klar, 400ml. https://www.plastikbecher.de/Ausschankbecher-mit-Schaumrand-PS-klar-400ml

Ramsperger, A. F. R. M., Narayana, V. K. B., Gross, W., Mohanraj, J., Thelakkat, M., Greiner, A., Schmalz, H., Kress, H. & Laforsch, C. (2020). Environmental exposure enhances the internalization of microplastic particles into cells. Science Advances, 6(50). https://doi.org/10.1126/sciadv.abd1211

Saadatmand, S., Edlund, U. & Albertsson, A.-C. (2011). Compatibilizers of a purposely designed graft copolymer for hydrolysate/PLLA blends. Polymer, 52(21), 4648–4655. https://doi.org/10.1016/j.polymer.2011.08.053

Statista. (2024a). Produktion von Kunststoffverpackungen in Deutschland nach Packmittelgruppen in den Jahren von 2021 bis 2023. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156492/umfrage/produktionsmenge-von-kunststoffverpackungen-in-deutschland/

Statista. (2024b). Weltweite und europäische Kunststoffproduktion in den Jahren von 1950 bis 2022. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167099/umfrage/weltproduktion-von-kunststoff-seit-1950/

Stegmann, P., Daioglou, V., Londo, M., van Vuuren, D. P. & Junginger, M. (2022). Plastic futures and their CO2 emissions. Nature, 612, 272–276. https://doi.org/10.1038/s41586-022-05422-5

Swetha, T. A., Bora, A., Ananthy, V., Ponnuchamy, K., Muthusamy, G. & Arun, A. (2024). A review of bioplastics as an alternative to petrochemical plastics: Its types, structure, characteristics, degradation, standards, and feedstocks. Polymers for Advanced Technologies, 35(6), Artikel e6482. https://doi.org/10.1002/pat.6482

Umweltbundesamt. (2019). Untersuchung der ökologischen Bedeutung von Einweggetränkebechern im Außer-Haus-Verzehr und mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Verbrauchs (Texte 29/2019). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-02-20_texte_29-2019_einweggetraenkebechern_im_ausser-haus-verzehr_final.pdf

Umweltbundesamt (UBA). (2023). Kunststoffabfälle. https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle#kunststoffe-produktion-verwendung-und-verwertung

Umweltministerkonferenz. (2024). Sachstand Wertstofftonne und Überblick über die bundesweit bestehenden Sammelsysteme für Verpackungsabfälle: Beschluss der 98. UMK zu TOP 19 – Förderung des Rezyklatmarktes für Kunststoffe – Ergebnis der UMK-Sonderarbeitsgruppe „Rezyklateinsatz stärken" (RESAG). https://www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/UmlaufID_1750_DateiID_650.pdf

Verbücheln, M., Klein, V., Lizak, S., Assies, F., Köhler, S., Thorenz, A., Hanstein, S., Vogelsang, M., Mostovenko, I. & Schweizer, M. (2023). Vermeidung, Substitution und nachhaltige Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen: Das Projekt „reGIOcycle" – 1. Teil Forschungsphase (2020–2023) (Difu Impulse 11/2023). Deutsches Institut für Urbanistik (Difu). https://doi.org/10.34744/difu-impulse_2023-11

Wolf, M., Berger, Frederik, Hanstein, S., Weidenkaff, A., Endreß, H.-U., Oestreich, A. M., Ebrahimi, M. & Czermak, P. (2022). Hot-Water Hemicellulose Extraction from Fruit Processing Residues. ACS Omega, 7(16), 13398–14401. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c06055

Wünsch, J. (2021). Analyse der Auswirkungen der freiwilligen Einführung der Wertstofftonne durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger bis zum Jahr 2018. Masterarbeit. Hochschule Magdeburg-Stendal.