

Maic Verbücheln, Viktor Klein, Stephanie Lizak, Felix Assies,
Sandra Köhler, Andrea Thorenz, Stefan Hanstein,
Malte Vogelgesang, Irina Mostovenko, Michael Schweizer

Vermeidung, Substitution und nachhaltige Kreislauf- wirtschaft von Kunststoffen

Das Projekt „reGIOcycle“ – 1. Teil Forschungsphase
(2020–2023)



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Maic Verbücheln
Viktor Klein
Stephanie Lizak
Felix Assies
Sandra Köhler
Andrea Thorenz
Stefan Hanstein
Malte Vogelgesang
Irina Mostovenko
Michael Schweizer

Vermeidung, Substitution und nachhaltige Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen

Das Projekt „reGlOcycle“ – 1. Teil Forschungsphase (2020–2023)

Impressum

Autor*innen:

Maic Verbücheln (Difu), Dr. Viktor Klein, Stephanie Lizak (Umweltcluster Bayern), Felix Assies, Dr. Sandra Köhler, Dr. Andrea Thorenz (Resource Lab, Universität Augsburg), Dr. Stefan Hanstein, Malte Vogelgesang (Fraunhofer IWKS), Irina Mostovenko (IKT Universität Stuttgart), Dr. Michael Schweizer (Tecnaro)

Unter Mitarbeit von:

Prof. Dr.-Ing. Christian Bonten (IKT Universität Stuttgart), Robert Böhnke (Difu), Melanie Dörfler, Christian Schulze (Abfallwirtschafts- und Stadtreinigungsbetrieb der Stadt Augsburg), Erna Muks (Tecnaro), Dr. Thomas Maier-Eschenlohr, Elena Campagnolo (Landpack), Christina Zegowitz, Jacqueline Orwat (Umweltcluster Bayern)

Gefördert durch:

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

Redaktion:

Patrick Diekelmann

Layout:

Christina Bloedorn

Gestaltungskonzept Umschlag:

3pc GmbH Neue Kommunikation

Bildnachweise (Umschlag):

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

Erscheinungsjahr

2023

Schriftenreihe:

Difu Impulse 11/2023 ISSN 1863-7728

[DOI 10.34744/difu-impulse_2023-11](https://doi.org/10.34744/difu-impulse_2023-11)



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., Lizak, S., Assies, F., Köhler, S., Thorenz, A., Hanstein, S., Vogelgesang, M., Mostovenko, I. & Schweizer, M. (2023). *Vermeidung, Substitution und nachhaltige Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen: Das Projekt „reGI0cycle“ – 1. Teil Forschungsphase (2020–2023)* (Difu Impulse 11/2023). Berlin. Deutsches Institut für Urbanistik (Difu). https://doi.org/10.34744/difu-impulse_2023-11

Inhalt

1.	reGIOcycle – das Projekt	7
1.1	Warum wurde reGIOcycle initiiert?	7
1.2	Welche Ziele verfolgt reGIOcycle?	8
1.3	Welche Forschungsfragen wurden behandelt?	9
1.4	Welcher Forschungsansatz wurde verfolgt?	9
1.5	In welchem Untersuchungsgebiet wurde reGIOcycle durchgeführt?	9
1.6	Projektpartner von reGIOcycle	11
2.	Kunststoffe – ist eine regionale Betrachtung möglich?	11
2.1	Stadt-Land-Beziehungen – Rückblick	11
2.2	Stadt-Land-Beziehungen im Kontext von Kunststoffkreisläufen	12
2.2.1	Kunststoffe auf regionaler Ebene – eine Herausforderung	12
2.2.2	Ansätze und Vorteile für die Region Augsburg	13
2.2.3	Herausforderungen für die Region Augsburg	14
3.	Hintergrundanalyse zu Kunststoffabfällen und Rohstoffpotenzialen	14
3.1	Kunststoffabfälle in Deutschland und der Region Augsburg	14
3.2	Rohstoffpotenzialanalyse – welche Potenziale hat die Region?	15
4.	Kreisläufe für die Region Augsburg in der Theorie – was ist möglich?	18
4.1	Verpackungsmaterial: Mehrweg, biobasiert und nachwachsend	19
4.1.1	„Augsburger Becher“	20
4.1.2	„Augsburger Kiste“	22
4.1.3	Verpackung aus NaWaRo für den Stadtmarkt (Mehrweg, Einweg)	23
4.2	Kreislaufwirtschaft: Optimierung von regionalen Stoffströmen	24
4.2.1	Reduzierung der Kunststoffstörstoffe im Bioabfall	24
4.2.2	Verbesserte Trennung der Abfallfraktionen des Stadtmarkts	26
4.3	Zwischenfazit zu den Kreisläufen	27
5.	Vermeidung, Substitution und Kreislaufwirtschaft – was wurde in der Praxis angegangen?	28
5.1	Abfallvermeidung: Der Augsburger Becher – Erfahrungen aus der Entwicklung eines lokalen Mehrwegsystems für Kaltgetränke	28
5.1.1	Ansatz zur Entwicklung des Augsburger Bechers	28
5.1.2	Vorgehen zur Umsetzung der Projektidee	29
5.1.3	Entwicklung einer digitalen Lösung für das Bechermanagement	30
5.1.4	Pilotierungsphase mit Umsetzung von zwei Realexperimenten	31
5.1.5	Ergebnisse der Realexperimente: Kanuslalom-Weltmeisterschaft und Augsburger Innenstadt	33

5.1.6	Ökologische Einsparungen im Vergleich: Einweg-PET vs. Augsburger-Mehrweg-PP	34
5.1.7	Roll-Out des Augsburger Bechers	34
5.2	Substitution: Umsetzungskonzept für kreislauforientierte Wertschöpfungsketten eines Biokunststoffs und eines alternativen Grundstoffes auf NawaRo-Basis	35
5.2.1	Ausgangslage und Grundmaterialien	36
5.2.2	Nutzungsphase – bilanzielle Analyse	37
5.2.3	Ergebnisse zur End-of-Life-Phase	38
5.2.4	Werkstoffoptimierung	39
5.2.5	Entwicklung von Umsetzungskonzepten	40
5.3	Optimierung Bioabfallkreislauf: Verminderung von Kunststoffehlwürfen in Biotonnen	41
5.3.1	Ansatz zur Optimierung des Bioabfallkreislaufs	42
5.3.2	Vorgehen zur Umsetzung der Projektidee	42
5.3.3	Durchführung des Citizen Innovation Lab	43
5.3.4	Ergebnisse des Citizen Innovation Lab	44
6.	Handlungsempfehlungen aus der Forschungsphase	47
7.	Fazit	48
8.	Literatur	49

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Übersicht über das reGIOfecycle-Untersuchungsgebiet mit der Stadt Augsburg und den Landkreisen Augsburg und Aichach-Friedberg.	10
Abb. 2:	Methodischer Ansatz zur Bewertung der Reststoffpotenziale, basierend auf Thorenz et al. (2018).	16
Abb. 3:	Nutzung nachwachsender Rohstoffe am Beispiel Holz im Wirtschaftsraum Augsburg.	17
Abb. 4:	Beispielhafter Kreislauf, inkl. Akteure, zur Minderung des Kunststoffanteils im Bioabfall.	19
Abb. 5:	Überblick über einen Kreislauf von Verpackungsmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen in der Projektregion.	20
Abb. 6:	Schematische Darstellung des Kreislaufs für den Augsburger Becher aus NaWaRo in der Region Augsburg (blaue Klammern stellen jeweils die zentralen Akteure des Prozesses dar).	21
Abb. 7:	Kreislauf Mehrwegsystem „Augsburger Kiste“ in einem Pfandsystem.	22
Abb. 8:	Kreislauf für Verpackungen aus NaWaRo für Stadtmarkt/Bauernmarkt.	24
Abb. 9:	Optimierter Bioabfallkreislauf in der Region Augsburg.	25
Abb. 10:	Durchschnittliche Wiegedaten des Restmülls auf dem Augsburger Stadtmarkt in den Jahren 2019 bis 2021, in Tonnen.	26

Abb. 11:	Projektphasen des Augsburger Bechers im umgesetzten Reallabor (grün markiert).	29
Abb. 12:	Pfandsystem-Prozess am Beispiel des Augsburger Bechers.	31
Abb. 13:	Zeitplan Roll-Out Augsburger Becher.	34
Abb. 15:	Vorgehensweise bei der Entwicklung eines Konzepts zur Minimierung der Kunststoffanteile im Biomüll von GWA.	43

Verzeichnis der Übersichten

Übers. 1:	Zusammensetzung der Bioabfälle einer durchschnittlichen Biotonne im Projektgebiet.	24
Übers. 2:	Maßnahmen zur Minimierung von Fehlwürfen in Biotonnen.	45

1. reGLOcycle – das Projekt

1.1 Warum wurde reGLOcycle initiiert?

Kunststoffe haben die Welt erobert – sie sind ubiquitär! Die Produktion von Kunststoffen hat sich seit 1950 von 1,5 Mio. t bis zum Jahr 2021 auf 390 Mio. t. erhöht (Statista, 2022). In Europa allein wurden im gleichen Jahr 57 Mio. t Kunststoffe produziert (Statista, 2022). Kunststoffe werden für verschiedenste Nutzungen in unterschiedlichsten Arten und Formen hergestellt und eingesetzt – sie sind leicht, vielfältig und leicht verfügbar. Etwa 99 % der Kunststoffe werden auf Basis fossiler Rohstoffe produziert (Feit & Muffett, 2021). Biobasierte Kunststoffe haben mit 1 % nur einen kleinen Anteil an der globalen Kunststoffproduktion (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe [FNR], 2023). Mit einem weiteren globalen Anstieg der Produktion wird gerechnet.

Kunststoffe bestehen aus einem polymeren Grundgerüst sowie Additiven, Füllstoffen und Verstärkungsmaterialien (Bertling et al., 2021).

Kunststoffe sind Produkte der chemischen Industrie. Die Produktion, Nutzung sowie die Entsorgung von Kunststoffen führen jedoch zu verschiedenen Problemen in der globalen Umwelt. Zunächst werden bei der Herstellung von Kunststoffen i.d.R. fossile Rohstoffe wie Erdöl und Erdgas verbraucht (Prozess und als Materialbasis). Nach der Nutzungsphase werden Kunststoffprodukte i.d.R. der Entsorgung zugeführt, wobei die getrennte Erfassung von Kunststoffen für das Recycling sehr wichtig ist. Jedoch ist die Nutzungsphase – gerade von To-Go-Verpackungen – teilweise sehr kurz.

Im Jahr 2021 wurden weltweit 390.000 Mio. t Kunststoff hergestellt – im Jahr 1950 lag der Wert noch bei 1,5 Mio. t (Statista, 2022).

Kunststoffe werden in den Kommunen abhängig vom jeweiligen Trennsystem in Haushalten eingesammelt. So werden Kunststoffverpackungen in der gelben Tonne (oder Sack) und Nichtkunststoffverpackungen in der grauen (oder schwarzen) Tonne, d.h. mit dem Restmüll, gesammelt. Des Weiteren bestehen in einigen Kommunen Systeme mit einer Wertstofftonne, in denen alle Kunststoffe inkl. Metalle und Verbundstoffe gesammelt werden. Zudem besteht die Möglichkeit, Kunststoffe auf kommunalen Recyclinghöfen abzugeben.

Bei der Abfalltrennung in privaten Haushalten kommt es immer wieder zu unsachgemäßen Fehlwürfen – Kunststoffe aus Verpackungen landen etwa im Restabfall, in der Papiertonne oder der Biotonne. Beispielsweise sind in 1,1 m³-Behältern Fehlwurfquoten von bis zu 70 % festgestellt worden (Abraham et al., 2021). Die richtige Sammlung und Trennung ist wichtig, da ein hoher Störstoffanteil das Schließen von Stoffkreisläufen erschwert und den Gebührenhaushalt der Kommunen belastet. Des Weiteren werden Verpackungen aus dem To-Go-Sektor häufig in öffentlichen Abfallbehältern entsorgt. Die dort entsorgten Kunststoffe gelangen i.d.R. erst gar nicht in einen Recyclingkreislauf und werden etwa in einem Müllheizkraftwerk thermisch zerstört.

Kunststoffe aus biobasierten regenerativen Grundstoffen (z.B. biobasierte Kunststoffe) sind noch ein Nischenmarkt – ca. 1 % des Gesamtproduktionsvolumens von Kunststoffen. Es ist jedoch ein Wachstumsmarkt (FNR, 2023).

Kunststoffrecycling wird in Deutschland seit mehr als 30 Jahren umgesetzt – von den ersten Recycling-Parkbänken in den 80er-Jahren bis hin zu heutigen Flüssigseifenflaschen aus R-Polyethylenterephthalat (R-PET) – und hat dabei große Fortschritte gemacht. Jedoch können nur die Kunststoffe recycelt werden, die über Trennsysteme erfasst werden – die Recyclingquote ist somit abhängig von der Erfassung. Zudem sind verschiedene Kunststoffprodukte etwa durch Materialeigenschaften, -kombinationen oder Mehrfachsichten nur schwer recyclingfähig – zum Teil ist ein Recycling unmöglich.

Ein großes Problem sind Kunststoffverpackungen (u.a. To-Go), weshalb diese hier näher beleuchtet werden. Nach Angaben der Verbraucherzentrale Berlin entsteht täglich Verpackungsmüll aus Mitnahmeverpackungen für Speisen und Getränke mit einem Aufkommen von 770 t. In Deutschland fallen 228 kg Verpackungsmüll pro Jahr und Person an (Verbraucherzentrale Berlin, 2022)). Vor allem To-Go-Verpackungen werden oft nach kurzer Nutzungsphase im öffentlichen Raum weggeworfen bzw. entsorgt. Dies führt unter anderem zu einer Vermüllung (Littering) des öffentlichen Raums. Littering bedeutet das achtlose Wegwerfen der Verpackungen. Littering ist mit hohen Kosten verbunden und ein Thema in den Kommunen. So fallen für die Reinigung des öffentlichen Raums von Einwegkunststoffprodukten (z.B. To-Go-Becher, Tragetaschen) hohe Kosten an.

Kosten für die Beseitigung von Litteringabfällen in Kommunen liegen bei bis zu 434 Mio. € im Jahr (Wilts et al., 2022).

Ein weiteres Problem ist das Entstehen von Mikroplastik. Mikroplastik ist in Pflanzen, in Tieren (Donner, 2022) und in den Lungen von Menschen nachzuweisen (Jenner et al., 2022). Die Auswirkungen sind aktuell nicht umfassend abzuschätzen, Hinweise auf negative Effekte in Organismen liegen vor (Vlácil et al., 2021). In Städten ist der Reifenabrieb des motorisierten Individualverkehrs (MIV) als wesentliche Quelle zu nennen – der Abrieb wird von Menschen eingeatmet und über das Regenwasser in die Flüsse geleitet. Aber auch Littering-Produkte gelangen durch Umwelteinflüsse in Gewässer und Meere, wodurch Mikroplastik entsteht. In diesem Zusammenhang wird in der Wissenschaft die Verschmutzung der Meere mit Kunststoffpartikeln als Problem gesehen – hier wird zum Teil von Plastik-Smog gesprochen (Eriksen et al., 2023). Hochrechnungen gehen von bisher 170 Billionen Mikroplastikpartikel (2,3 Mio. t) in den Meeren aus (Eriksen et al., 2023).

Zusammenzufassen ist, dass die Produktion, Nutzung und Entsorgung von Kunststoffen mit Ressourcenverbrauch, Vermüllung und dem Klimawandel verknüpft sind. Littering ist für Kommunen mit hohen Kosten verbunden. Zudem haben Vermüllung und Meeresverschmutzung negative Auswirkungen auf unsere Ökosysteme und Gesundheit. Die Auswirkungen von Mikroplastik auf Natur und Mensch sind noch nicht abzuschätzen. Um diese gesellschaftliche Herausforderung anzugehen, besteht auch für Kommunen Handlungsbedarf. Um die Kunststoffproblematik auf der lokalen bzw. regionalen Ebene anzugehen, entstand die Projektidee zu reGIOcycle.

In Deutschland ist die Kunststoffindustrie größter industrieller Abnehmer für Gas. Eine Reduzierung des Kunststoffaufkommens würde gleichzeitig den Verbrauch fossiler Energieträger minimieren (BUND Magazin, 2023).

1.2 Welche Ziele verfolgt reGIOcycle?

Das Projekt reGIOcycle steht für Vermeidung, Substitution und nachhaltige Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen am Beispiel der Region Augsburg. Das Ziel sind die Entwicklung und Erprobung eines realisierbaren Konzepts zur nachhaltigen Kreislaufwirtschaft unter Mitwirkung verschiedener Akteure und Stakeholder aus Kommunen, Forschungseinrichtungen und lokal agierenden Unternehmen.

Mit reGIOcycle wurden Möglichkeiten und Potenziale der Optimierung regionaler und lokaler Stoffströme und Stoffkreisläufe zur Steigerung der Ressourceneffizienz und -effektivität in der Region Augsburg identifiziert, evaluiert und Handlungsempfehlungen für die Akteursgruppe Kommunen erarbeitet. Wichtige Elemente des Vorhabens sind die Etablierung von Lösungen im Sinne von „Low-Waste-City“- und „Stadt-Land“-Konzepten in der Region Augsburg.

Mikroplastik wird definiert als Plastikpartikel zwischen einem Wert von 1 µm und 5 mm (Hartmann et al., 2019). Hauptquelle ist der Reifenabrieb von Fahrzeugen.

1.3 Welche Forschungsfragen wurden behandelt?

Ausgehend von den heutigen Lebenswegen eingesetzter „konventioneller“ Kunststoffe sowie der Entwicklung und dem Einsatz von Ersatzstoffen wie biobasierte Kunststoffe sowie den Optimierungsmöglichkeiten der Stoffströme stellen sich Fragen nach den Zukunftsperspektiven des Einsatzes von Kunststoffen – hier vor allem mit Blick auf die Kreislaufführung und die Reduzierung des Ressourceneinsatzes für ihre Herstellung. Der Übergang zu einem umfassenden, nachhaltigen Umgang mit Kunststoffen in der Produktion und dem Konsum ist eine zentrale Herausforderung für ein postfossiles Zeitalter. Deshalb wurden folgende Forschungsfragen angegangen:

- Welche nachwachsenden Ressourcen sind in der Region vorhanden?
- Wie kann die regionale Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe im Raum Augsburg verbessert werden?
- Wie können Kunststofffehlwürfe vermieden werden, um die Sortenreinheit der Sammlung zu erhöhen und das Recycling zu verbessern?
- Wie kann die Vermeidung von Kunststoffprodukten funktionieren?
- Wie können die Projektergebnisse aus dem Untersuchungsraum Augsburg auf andere Kommunen bzw. Regionen übertragen werden?

Diese Forschungsfragen wurden im regionalen Kontext untersucht.

Low Waste City: Ziel ist es, Ressourcen im Kreislauf zu führen und möglichst wenig Abfall zu erzeugen. Hierbei werden alle Abfallfraktionen betrachtet. Neben Siedlungsabfällen werden auch Abfallströme von anderen Abfallerzeugern und Entsorgern wie z.B. Bauabfälle, Gewerbeabfälle betrachtet.

1.4 Welcher Forschungsansatz wurde verfolgt?

Das Projekt reGIOcycle setzte auf eine Zusammenarbeit mit verschiedenen Akteuren wie zum Beispiel Kommunen, Forschungseinrichtungen und lokalen Unternehmen, um die Kunststoffnutzung und Kunststoffabfälle zu reduzieren. Dabei wurden Modelle für eine Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe und biobasierte Alternativen für herkömmliche Kunststoffe analysiert, entwickelt und pilothaft erprobt.

Das Projekt reGIOcycle besteht aus einer Forschungsphase (2020–2023) und einer Umsetzungsphase (2023–2025). In der Forschungsphase von reGIOcycle wurden verschiedene Methoden genutzt, unter anderem Potenzial-, Markt- und Akteursanalysen, Laborforschung, Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA, LCC und S-LCA), Delphi-Methode, Reallabore, Pilotversuche, Umfragen, Interviews und Workshops. Die Projektpartner konnten mit dieser Mischung unterschiedlicher Methoden und Vorgehensweisen wichtige Erkenntnisse für die Optimierung von Kunststoffkreisläufen gewinnen. Die Forschungsphase von reGIOcycle wurde Anfang 2023 abgeschlossen. In der zweijährigen Umsetzungsphase von 2023 bis 2025 sollen die in diesem Band vorgestellten Forschungsergebnisse in der Praxis mit Leben gefüllt werden.

LCSA steht für Life Cycle Sustainability Assessment. LCSA ist eine Methode und eine Form der integrierten Lebenszyklusanalyse, bei der alle Dimensionen der Nachhaltigkeit betrachtet werden. Dabei handelt es sich um die ökologische Dimension, die ökonomische Dimension und um die soziale Komponente.

1.5 In welchem Untersuchungsgebiet wurde reGIOcycle durchgeführt?

Die Aktivitäten in dem Projekt reGIOcycle sind in der Region Augsburg verortet. Der Untersuchungsraum ist jedoch nicht identisch mit der größeren Planungsregion Augsburg. Räumlich umfasst das Untersuchungsgebiet die Stadt Augsburg und die Landkreise Aichach-Friedberg und Augsburg. Knapp 690.000 Menschen, Tendenz steigend, wohnten im Jahr 2019 in der fast 2.000 km² großen Region (Bertelsmann Stiftung, 2023). Die nachfolgende Abb. 1 zeigt die Untersuchungsregion.

Abb. 1:
Übersicht über das
reGIOcycle-Untersuchungsgebiet mit der
Stadt Augsburg und
den Landkreisen Augsburg und Aichach-
Friedberg.



Quelle: Umweltcluster Bayern.

Im Zentrum der Abbildung ist die Stadt Augsburg mit knapp 300.000 Einwohner*innen zu sehen. Der Landkreis Augsburg entspricht mit 251.000 Einwohner*innen dem linken Teil und der Landkreis Aichach-Friedberg mit 133.000 Einwohner*innen dem rechten Teil der Grafik. Die Stadt Augsburg ist eine Großstadt mit einer Bevölkerungsdichte von 2019 Einwohner*innen je km², der Landkreis Aichach-Friedberg hat eine Bevölkerungsdichte von 174 Einwohner*innen je km² und der Landkreis Augsburg von 241 Einwohner*innen je km². Das Untersuchungsgebiet umfasst mit der Stadt Augsburg urbane Gebiete, aber auch im direkten Umland, etwa mit Gersthofen, zugleich sehr rurale Räume mit einer sehr geringen Bevölkerungsdichte.

Die Stadt Augsburg, Landkreis Augsburg und Landkreis Aichach-Friedberg arbeiten unter dem Namen „Wirtschaftsraum Augsburg A³“ in Sachen Wirtschaftsförderung und Standortentwicklung zusammen. Im Wirtschaftsraum Augsburg A³ ist die Mehrheit der Arbeitsplätze dem Dienstleistungssektor zuzuordnen, wobei sich die Anteile zwischen den drei Regionen deutlich unterscheiden. Erwartungsgemäß liegt dieser Anteil in der Stadt Augsburg am höchsten, gefolgt vom LK Augsburg und dem LK Aichach-Friedberg. Die Stadt Augsburg ist das wirtschaftliche Zentrum des Wirtschaftsraumes. Der auch im bundesweiten Vergleich hohe Anteil von Hochqualifizierten in Augsburg verdeutlicht die Bedeutung der Forschungseinrichtungen (u.a. Universität Augsburg und deren Forschungseinrichtungen, Hochschule Augsburg, Fraunhofer Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik, DLR-Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie, Bifa Umweltinstitut GmbH). Besonders bedeutend sind Mechatronik und Automation, Luft- und Raumfahrt, Umwelttechnologie, Leichtbau, Informations- und Kommunikationstechnologie, Logistik, wissensintensive Dienstleistungen sowie Kultur- und Kreativwirtschaft. Im Dienstleistungssektor haben die Bereiche der Information und Kommunikation, der freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen sowie die der öffentlichen Verwaltung inkl. Gesundheits- und Sozialwesen in den letzten Jahren den größten Zuwachs an sozialversicherungspflichtig Beschäftigten aufzuweisen, mit einem entspre-

Siehe mehr Informationen zum Wirtschaftsraum A³ unter: <https://www.region-a3.com/>

chenden Zuwachs der Wertschöpfung (Buhl et al., 2020). Diese nahm insbesondere im Bereich des produzierenden und verarbeitenden Gewerbes seit 2015 ab.

1.6 Projektpartner von reGIOcycle

An dem Projekt sind folgende Partner beteiligt:

PARTNER



ASSOZIERT



2. Kunststoffe – ist eine regionale Betrachtung möglich?

2.1 Stadt-Land-Beziehungen – Rückblick

Städte und ihr Umland waren in den vergangenen Jahrhunderten eng miteinander verflochten. Im Prinzip sind die ersten urbanen Entwicklungen ab der Jungsteinzeit (z.B. Uruk, Babylon) und darüber hinaus bis in die Frühzeit nicht ohne die intensiven Verflechtungen mit dem angrenzenden Raum zu denken. Die Versorgung mit Nahrungsmitteln und Rohstoffen (z.B. Energie) war im Wesentlichen regional organisiert – auch wenn verschiedene Produkte bereits „überregional“ bzw. „global“ gehandelt wurden. Zudem gab es Abhängigkeiten von Stadt und Land in demografischer, politisch-herrschaftlicher, wirtschaftlicher und kultureller Hinsicht (Illi & Zangger, 2015). Über einen langen Zeitraum konzentrierten sich die wirtschaftlichen Stadt-Land-Beziehungen auf die städtischen Märkte (Illi & Zangger, 2015). Erst im Zuge der Industrialisierung und später durch den Ausbau einer umfassenden Globalisierung haben sich die Beziehungen zwischen Stadt und Land langsam auseinanderdividiert und Abhängigkeiten immer weiter reduziert. Stadt-Land-Beziehungen haben sich somit geändert. So stand nicht mehr die Versorgung mit Nahrung oder Rohstoffen im Vordergrund. In der Industrialisierung war es vor allem die massive Zuwanderung in die Städte und später wiederum in entgegengesetzter Richtung die Abwanderung aus den städtischen Kernzonen. Die Nutzung von Land für die Errichtung von Wohnraum stand im Vordergrund, der Siedlungsausbau in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts breitete sich etwa mit dem Einfamilienhaus in Agglomerationsgürteln aus. Die räumliche Trennung von vorstädtischen Wohn- und städtischen Arbeitssorten führte zu täglichen Pendlerströmen. Zudem prägten wirtschaftliche

Aktivitäten und deren Konjunkturen die Stadt-Land-Beziehungen. Wirtschaftswachstum hing stark von der Zentrumsnähe ab. Aus diesem Grund standen bis vor wenigen Jahren vor allem Fragen der Mobilität und Wirtschaft im Vordergrund der Debatte, dies hat sich in den letzten Jahren weiter ausdifferenziert.

Bereits in den 1990er-Jahren wurde in Deutschland über die Wichtigkeit und Stärkung der Stadt-Land-Beziehungen diskutiert. Die Frage war, ob Städte und Gemeinden für auf sie zukommende Herausforderungen besser gemeinsam Lösungen finden können. Hieraus resultierte eine Notwendigkeit der stärkeren Kooperation und Zusammenarbeit. Im wissenschaftlichen Diskurs sind Begriffe wie „Regionalstadt“ (Schwenn, 1993) oder auch „Die unaufhaltbare Auflösung der Stadt in die Region?“ (Prieb, 1997) prägend gewesen. Wobei häufig Finanzsysteme und Raumordnungspolitik im Fokus standen (Heinz, 2000). Diskutiert wurde beispielsweise, ob die Regionalplanung mit neuen Inhalten gefüllt werden kann, etwa durch eine Moderation zwischen Akteuren und ihren Interessen. Die praktische Umsetzung scheiterte jedoch häufig an Restriktionen wie den vorherrschenden politisch-administrativen Strukturen oder den Widerständen wichtiger Akteure (Heinz, 2000). Unabhängig davon wurden jedoch gute Beispiele von Kooperationen zwischen Stadt und Land umgesetzt. Regionale Entwicklungskonzepte wurden geschrieben, Regionalkonferenzen umgesetzt, Netzwerke und Foren gegründet. Des Weiteren existieren verschiedene Formen intraregionaler Kooperationen wie Planungsverbände, Nachbarschaftsverbände, Regionalverbände und Zweckverbände (Heinz, 2000).

Die Diskussion über die Wichtigkeit von Stadt-Land-Beziehungen – obwohl nie ganz verschwunden – ist in den letzten Jahren wieder umfangreicher geworden. Dies ist vor allem vor den „neuen“ globalen und multiplen Herausforderungen zu sehen: u.a. Klimawandel, Globalisierung, Ressourcenknappheit, Lieferketten, Energieabhängigkeiten. Eine Unterstützung auch vonseiten der politischen Ebene ist zu erkennen. Vor allem in den Kommunen wird die Wichtigkeit der Stadt-Land-Beziehungen betont. Im Diskurs stehen immer wieder lokale und regionale Lösungen für die oben aufgeführten Herausforderungen. In diesem Zusammenhang fällt häufig auch der Begriff der „regionalen Resilienz“.

2.2 Stadt-Land-Beziehungen im Kontext von Kunststoffkreisläufen

2.2.1 Kunststoffe auf regionaler Ebene – eine Herausforderung

Die Verarbeitung von Kunststoffen ist durch global verflochtene, lineare Wertschöpfungsketten gekennzeichnet. Kunststoffe werden weltweit produziert, gehandelt, genutzt und entsorgt. Kunststoffkreisläufe spielen in Deutschland auf der regionalen Ebene bisher keine Rolle. Es gibt zudem fast keine Studien, die sich mit der Ausprägung und Entwicklung der regionalen Kopplung von Ressourcenströmen im Stadt-Land-Metabolismus befassen (Wunder et al., 2019). Gleichzeitig existiert eine Vielzahl anderer Stadt-Land-Beziehungen, die auch in der Literatur bereits vertieft wurden. Zu nennen sind u.a. informelle Beziehungen, bspw. im Kontext individueller Mobilitätsmuster (bspw. Pendlerwege) vor dem Hintergrund sozioökonomischer Aspekte (Einkommen, Arbeitsort, Freizeitverhalten). Eine besondere Rolle spielen Ressourcenströme zwischen Stadt und Land im Kontext der Nahrungsmittelproduktion oder als Quelle von Baumaterialien. Im Zusammenhang einer gleichberechtigten Zusammenarbeit von Stadt und Land wird im internationalen

Kontext von „Urban Rural Linkages“ (URL) gesprochen. Der Fokus liegt dabei auf „integrierten Ansätzen für eine tragfähige Verbindung urbaner und ländlicher Räume“ (Wunder et al., 2019).

Die Betrachtung von Kunststoffen in Stadt-Land-Beziehungen bietet verschiedene Möglichkeiten, wie beispielsweise die Förderung von biobasierten Geschäftsmodellen und die Etablierung einer regionalen Kreislaufwirtschaft. Für Regionen ist es allerdings schwierig, lokale oder regionale Innovationspotenziale im Bereich der Kunststoffwertschöpfungskette zu identifizieren. Eine Lösung kann eine regionale Kreislaufwirtschaft sein, bei der Abhängigkeiten, Verflechtungen, Land- und Stoffstrommanagement sowie Stoffkreisläufe in Bezug auf Kunststoffe in einem systematischen Ansatz gebündelt werden. Es gibt funktionale Beziehungen zwischen Stadt, städtischem Umland und ländlichem Raum, die Anknüpfungspunkte für die Förderung einer Kreislaufwirtschaft bieten. Quellen und Senken von Rohstoffen und Abfällen sind hierbei von zentraler Bedeutung.

Festzuhalten ist, dass die Produktion, die Vermarktung und auch die Entsorgung von Kunststoffen global geregelt und gesteuert werden. Regionale Kontexte spielen eine untergeordnete Rolle. Regionale oder gar kommunale Systeme von Kunststoffkreisläufen existieren in Deutschland bislang nicht. Regionalen Systemen sind in dem aktuellen Kunststoffmarkt somit Grenzen gesetzt, wodurch jedoch auch Chancen für den Aufbau neuer Geschäftsmodelle entstehen. Mit dem Fokus auf regionale Kunststoffkreisläufe wird im Projekt reGIOcycle Neuland betreten.

Die Stadt Tübingen hat im Jahr 2020 mittels Satzung eine kommunale Verpackungssteuersatzung verabschiedet. Seit 2022 werden 50 Cent für Einweggeschirr und Einwegverpackungen sowie 20 Cent für Einwegbesteck im „To-Go-Bereich“ erhoben. Ziele sind Abfallvermeidung und die Minimierung des Litterings. Das Bundesverwaltungsgericht in Leipzig hat im Mai 2023 die Rechtmäßigkeit dieser Steuer bestätigt (Bundesverwaltungsgericht, 2023).

2.2.2 Ansätze und Vorteile für die Region Augsburg

Im Rahmen von reGIOcycle wurden diverse Ansätze und Potenziale für Stadt-Land-Beziehungen identifiziert, um eine effektive Stärkung von Kunststoffkreisläufen im Kontext von Stadt und Land zu ermöglichen. Im Folgenden sind einige der gewonnenen Erkenntnisse aufgelistet (eine Auswahl):

- Stärkung der interkommunalen Zusammenarbeit
- Stärkung des informellen offenen Austauschs auf Augenhöhe
- Stärkung sektorenübergreifender Managementansätze auf regionaler Ebene
- Organisationsformen und Planungsinstrumente prüfen

Der Ausbau von Stadt-Land-Beziehungen wird Vorteile für die Region Augsburg generieren, nachfolgend sind einige in Stichpunkten aufgeführt.

- Optimierung des Ressourcen- und Klimaschutzes durch nachhaltige Produkte, kurze Transportwege, Einsparung von Rohstoffen und Materialien, Abfallvermeidung sowie bessere Abfalltrennung
- Mehr Wohlstand und Arbeitsplätze durch die Erhöhung der regionalen Wertschöpfung. Stärkung regionaler Produkte und damit der lokalen Wirtschaft im Kontext des globalen Marktes (bspw. Marktpreise von Rohstoffen)
- Gesellschaftlicher Wert des ökologischen Wirtschaftens im Sinne der Bioökonomie wird in den Vordergrund gerückt – Änderung Handlungsweisen durch positive Vorbilder
- Regionale Ressourcenversorgung erhöht die Resilienz gegenüber globalen Märkten
- Transparenz der Lieferkette führt zu besserer Kontrolle ökologischer und sozialer Standards

- Stärkung der regionalen Identität am Beispiel: Regionalwährung Chiemgauer
- Steigerung des regionalen Know-hows in den Bereichen Produktion, Distribution und Entsorgung

Erfahrungen zeigen, dass mit der Regionalwährung Werte wie Regionalität, Kooperation, Gemeinschaft und Gemeinwohl gestärkt werden. (Chiemgauer Verein, 2023).

2.2.3 Herausforderungen für die Region Augsburg

Der Ausbau von Stadt-Land-Beziehungen bringt Herausforderungen mit sich, nachfolgend sind einige davon in Stichpunkten dargestellt:

- Regionaler Zugriff auf Kunststoffprodukte, die in weltweiten Systemen organisiert sind
- Diskrepanz zwischen vorhandenen und notwendigen Kompetenzen im Kontext regionaler Stoffströme
- Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten für den Aufbau einer regionalen Kreislaufwirtschaft
- Verfügbarkeit, Qualität und Preis regionaler Rohstoffe, um eine Substitution gegenüber global gehandelten Produkten zu ermöglichen
- Regionales Verständnis – wodurch definiert sich die Region Augsburg
- Fehlende bzw. unzureichende Information und Analysen über regionale Stoffkreisläufe und Akteure
- Politische Rückendeckung in der Region
- Kommunikation seitens der regionalen Akteure
- Unübersichtliche Akteursvielfalt mit widersprüchlichen Interessenlagen

Im nachfolgenden Kapitel wird in einer Hintergrundanalyse auf das Abfallaufkommen und Rohstoffpotenziale in der Region eingegangen.

3. Hintergrundanalyse zu Kunststoffabfällen und Rohstoffpotenzialen

3.1 Kunststoffabfälle in Deutschland und der Region Augsburg

Das Aufkommen haushaltstypischer Siedlungsabfälle liegt bundesweit bei 45,1 Mio. t (2019) und ist damit seit dem Jahr 2000 um knapp 17 % gestiegen (Umweltbundesamt [UBA], 2023b). Pro Einwohnendem (EW) fallen damit 543 kg an. Davon entfallen 72 kg auf Verpackungsmüll, was in der Summe einem Aufkommen von 5,9 Mio. t entspricht. Im Jahr 2020 wurde in den privaten Haushalten in Deutschland pro Kopf 78 kg Verpackungsmüll eingesammelt (Statistisches Bundesamt [Destatis], 2022). Hieran ist zu sehen, dass mit der Corona-Epidemie ein höheres Aufkommen an Verpackungsabfall zu verzeichnen war. In Bayern liegt das Aufkommen mit 64 kg pro EW darunter (2019). Darin enthalten sind Kunststoffverpackungen sowie getrennt vom Restmüll gesammeltes Glas und Papier.

Siedlungsabfälle setzen sich aus folgenden Fraktionen zusammen: Hausmüll/hausmüll-ähnliche Gewerbeabfälle, Papier/Pappe/Kartonagen, Garten- und Parkabfälle, gemischte Verpackungen/Wertstoffe, Abfälle aus der Biotonne, Sperrmüll, Glas, Sonstiges (Verbunde, Metalle, Textilien usw.), Elektroaltgeräte.

Im Jahr 2019 sind in Deutschland knapp 6,3 Mio. t Kunststoffabfälle insgesamt angefallen (UBA, 2023a). Diese sind zu 85,2 % sog. Post-Consumer-Abfälle (UBA, 2023a). Der überwiegende Teil der Kunststoffabfälle wird energetisch verwertet (52,8 %), weniger als die Hälfte wird werkstofflich verwertet. Bei den Post-Consumer-Abfällen ist der Anteil, der energetisch verwertet

wird, mit knapp 61 % noch einmal höher. Neben dem Kunststoffabfall des privaten Bereiches fallen auch Abfälle im gewerblichen Bereich an, etwa durch Transport und Umverpackungen.

Größter Einsatzbereich für Kunststoffe sind Verpackungen, die einen Anteil von 30,7 % an allen in Deutschland verarbeiteten Kunststoffen ausmachen. Kunststoffe werden in Deutschland zu über 86 % aus Primärrohstoffen hergestellt. Nur zu 13,7 % werden Kunststoffrezyklate in der Kunststoffproduktion eingesetzt (Anteil an insgesamt verarbeiteter Kunststoffmenge). Diese werden zu 43 % im Bausektor und zu 24 % als Verpackungsmaterial genutzt (UBA, 2023a).

In der Stadt Augsburg wurde in 2019 eine Sortieranalyse von Abfallbehältern des öffentlichen Raums durchgeführt. Im Ergebnis bestanden über 25 Vol.-% der Abfälle aus kunststoffbasierten Einwegverpackungen (Stadt Augsburg 2019). Mit der Corona-Pandemie stiegen nach Angaben der Abfallwirtschaftsbetriebe die Nutzung solcher Verpackungen sowie die Vermüllung des öffentlichen Raums weiter an. Vor dem Hintergrund der Entwicklungen und mit Blick auf die Novelle des Verpackungsgesetzes 2021 (Der Bundestag, 2021), die Nachhaltigkeitsziele der Stadt Augsburg „Zukunftsleitlinien“ (Stadt Augsburg, 2021) sowie das Ziel, den Status einer „Low Waste City“ zu erreichen, besteht in der Stadt Augsburg ein erheblicher Anpassungsbedarf, der ebenfalls positiv auf die Stadt-Land-Beziehungen wirken kann (z.B. Vorbildfunktion).

An den abfallwirtschaftlichen Entwicklungen in Deutschland, wie auch in der Stadt Augsburg, zeigt sich deutlicher Handlungsbedarf, der im Projekt reGI-Ocycle näher untersucht wird.

Post-Consumer-Abfälle entstehen bei privaten Verbraucher*innen, Haushalten oder Büros und werden von den Post-Industrial-Abfällen unterschieden.

Abfallhierarchie:

1. Vermeidung,
2. Wiederverwendung,
3. Recycling,
4. Sonstige Verwertung (z.B. thermische Nutzung, Verfüllung),
5. Beseitigung

3.2 Rohstoffpotenzialanalyse – welche Potenziale hat die Region?

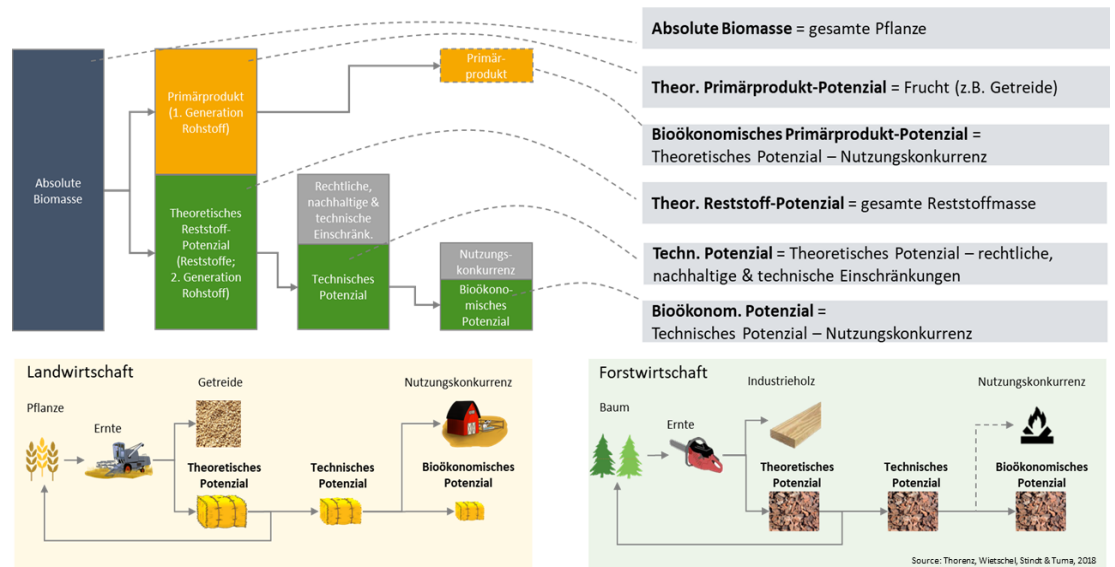
Zur Umsetzung einer regionalen Bioökonomie und zur Reduzierung des Kunststoffabfalls ist es erforderlich, das regionale Aufkommen von biogenen Roh- und Reststoffen zu ermitteln und für die nächsten Jahre zu prognostizieren. Für das Projekt reGI-Ocycle war es deshalb wichtig, über detaillierte Kenntnisse der Rohstoffversorgung für die Herstellung biobasierter Produkte in der Region zu verfügen. Auf Basis dieses Wissens kann diskutiert werden, wie fossile Produkte im Stadt-Land-Kontext zukünftig ersetzt werden können.

Eine Datenbank zu verfügbaren Rohstoffpotenzialen in Bayern und Baden-Württemberg auf NUTS-2-Ebene wurde vom Resource Lab der Universität Augsburg erarbeitet. Dabei wurde sowohl auf Nutzungskonkurrenzen als auch auf Prognosen bis ins Jahr 2030 eingegangen. Die Datenbank richtet sich vor allem an regionale Akteure, die biobasierte Produkte auf Basis von landwirtschaftlichen Reststoffen herstellen. Biomassen und die damit verbundenen Potenziale sind in Abb. 2 definiert und schematisch dargestellt. Die Datenbank umfasst neun Rohstoffe (Weizen-, Mais-, Gersten-, Raps-, Hafer, Roggen- und Triticale-Stroh, Rinde und Zuckerrübenschnitzel), jeweils als theoretisches und bioökonomisches Potenzial.

Die Klassifikation der Gebietseinheiten für die Statistik NUTS-2-Ebene entspricht den Regierungsbezirken (Nomenclature des Unités territoriales statistiques – NUTS).

Link zur Datenbank: <https://zenodo.org/record/5027440#.YUAyxcIxeCg>

Abb. 2:
Methodischer Ansatz
zur Bewertung der
Reststoffpotenziale,
basierend auf Thorenz
et al. (2018).



Quelle: Universität Augsburg.

Landwirtschaftliche Reststoffe sind weder geographisch gleichmäßig verteilt noch über die Jahre hinweg konstant. Da längere Transporte weder ökonomisch noch ökologisch begründbar sind, ist eine Vorhersage des zukünftigen zu erwartenden Aufkommens von Reststoffen aus der Landwirtschaft notwendig.

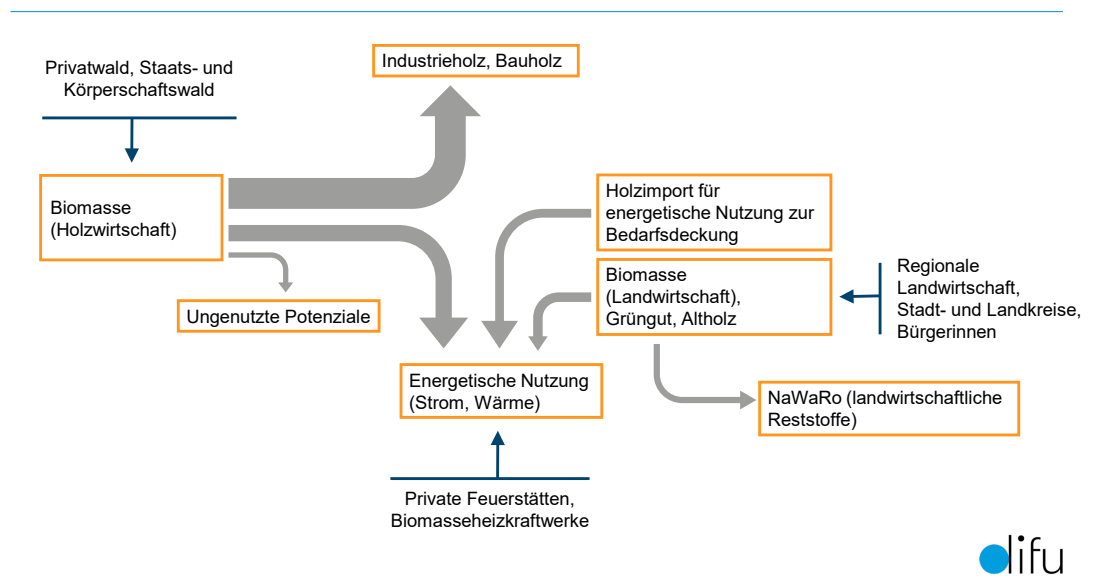
- **Geographischer Rahmen:** Durch das übergeordnete Ziel der regionalen Vermeidung und Substitution von Kunststoffen im Raum Augsburg wurde der Lieferradius zur Deckung der Nachfrage nach Reststoffen auf 150 km Luftlinie beschränkt. Damit erstreckt sich der Untersuchungsrahmen auf die Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg.
- **Räumliche Auflösung:** Für die räumliche Untergliederung wird die NUTS-2-Ebene gewählt, welche im definierten geographischen Rahmen den Regierungsbezirken Bayerns und Baden-Württembergs entspricht. Die gewählte räumliche Auflösung ist einerseits granular genug, um den regionalen Charakter der Reststoffpotenziale festzustellen, andererseits aggregiert genug, um die Qualität der Daten sicherzustellen.
- **Zeitlicher Rahmen:** Die Zeitskala umfasst die Jahre 2020 bis 2030, sowie historische Abweichungen der Jahre 2010 bis 2018. Das Aufkommen landwirtschaftlicher Reststoffe hängt von verschiedensten Einflussfaktoren ab. Da besonders das Wetter zu stark schwankenden Aufkommensvolumina führen kann, sind die Ergebnisse als Tendenzen zu verstehen. Über die Angabe der relativen historischen Standardabweichung lässt sich jedoch abschätzen, ob ein Reststoff in einer Region in der Vergangenheit starken Schwankungen des Aufkommens unterlag.

Die Datenbank richtet sich vor allem an regionale Akteure, die biobasierte Produkte auf Basis von landwirtschaftlichen Reststoffen herstellen möchten. Sie bietet damit die Grundlage für die Bewertung der Skalierbarkeit biobasierter Produkte, welche fossile Produkte im Stadt-Land-Kontext Augsburg zukünftig substituieren können. Insgesamt ist es somit gelungen, ein Werkzeug für die Umsetzung von regionalen und biogenen Produkten zu schaffen. Die Datenbank bildet eine Grundlage für die Planung von Lieferketten im Bereich der Bioökonomie.

Relevant im Kontext des Projektes reGIOcycle ist insbesondere das Potenzial nachwachsender Rohstoffe (NaWaRo) im Wirtschaftsraum Augsburg als Ausgangspunkt für die Produktion Kunststoff-substituierender Ausgangsstoffe für die Herstellung von Verpackungen (Endverbraucher*innen, Transportverpackungen). Deutlich werden dabei gleichsam Zielkonflikte, die sich infolge der Nutzungskonkurrenzen von NaWaRo sowie landwirtschaftlichen Reststoffen ergeben.

Nach Angaben des regionalen Klimaschutzkonzeptes in Augsburg werden zumindest im Kontext der Strom- und Wärmeproduktion die Potenziale landwirtschaftlicher Biomasse nicht vollständig genutzt (vgl. Klimaschutzkonzept der Stadt Augsburg). Unklar ist, in welchem Umfang diese Potenziale bereits in anderen Wirtschaftsbereichen genutzt werden. Wie die Nutzung von biogenen Stoffen gesteuert werden kann, zeigt das aufgeführte Beispiel in Abb. 3 zur Nutzung von Holz.

Abb. 3:
Nutzung nachwachsender Rohstoffe am Beispiel Holz im Wirtschaftsraum Augsburg.



Die obige Abbildung stellt die aktuelle Situation der Nutzung nachwachsender Rohstoffe am Beispiel Holz in der Region Augsburg dar. Im weiteren Verlauf der Studie wurde das Thema Holz jedoch nicht weiterverfolgt, weshalb Abb. 3 lediglich eine beispielhafte Darstellung eines Kreislaufsystems ist.

Ein Blick auf die Landesebene zeigt, dass in Bayern nachwachsende Rohstoffe neben der überwiegenden energetischen Nutzung mit knapp 10 % der Rohstoffe stofflich genutzt werden (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, o.J.), etwa für die Herstellung technischer Öle aus Raps, Sonnenblumen, Leinsaat sowie Stärkeproduktion (Kartoffel). Weitere Anwendung: Fasern (Textil, Zellstoff, Papier, faserverstärkte Kunststoffe, Geotextilien, Faserdämmstoffe). In der chemischen Industrie sind 12 % der verarbeiteten Produkte nachwachsende Rohstoffe (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 2022).

4. Kreisläufe für die Region Augsburg in der Theorie – was ist möglich?

Ansätze für regionale Kunststoffkreisläufe in Stadt-Land-Beziehungen lassen sich aus relevanten Handlungsfeldern, deren Strukturen und Akteuren ableiten. Da die im Projekt zu behandelnden Themen zur Optimierung von Kunststoffkreisläufen nicht festgelegt waren, mussten diese erst mit dem Projektstart im Projektkonsortium entwickelt werden.

Deshalb wurden in einem ersten Schritt Handlungsfelder aus den Zielen Vermeidung, Substitution durch biobasierte Alternativen und nachhaltige Kreislaufwirtschaft in einem Brainstorming-Prozess abgeleitet. Mögliche Anwendungsbereiche für „alternative“ Produkte wurden identifiziert und diskutiert, dies waren u.a.: Dämmmaterialien und Baustoffe (Bauwirtschaft), Folien und Behälter (Gärtnereien und der Agrar- und Landwirtschaftssektor), Umverpackungen oder Behälter im To-Go-Bereich (Bäckereien oder Gastronomie), Umverpackungen (Stadtmarkt), Intralogistik (diverse Firmen), Verpackungen (Lieferdienste) und „Doggy Bags“ (Restaurants). Ebenso wurde die Optimierung von Kunststoffkreisläufen, etwa durch bessere Trennung in Haushalten, diskutiert.

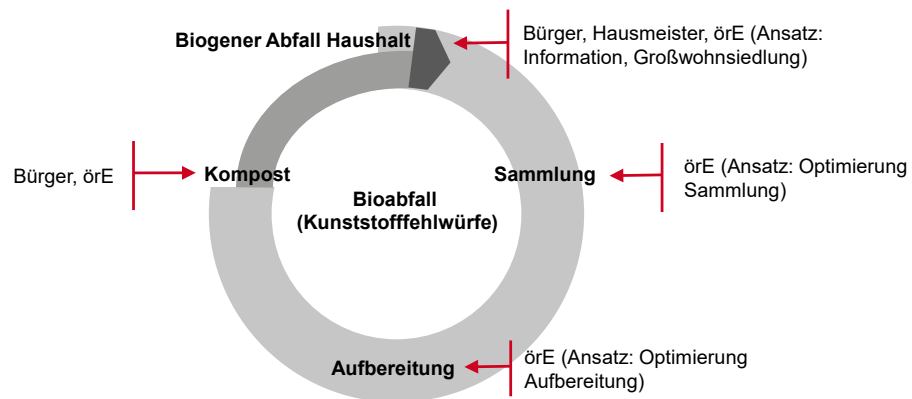
In einem zweiten Schritt wurden mit Blick auf die Handlungsfelder mögliche Akteure und Potenziale identifiziert. Neben der bereits aufgeführten Methode wurden hierfür verschiedene Gespräche mit Akteuren vor Ort wie auch Workshops u.a. mit A³, der Wirtschaftsförderung der Region Augsburg, umgesetzt. Identifiziert wurden:

1. Akteurscluster (z.B. Politik, Verwaltung, Wirtschaft, Zivilgesellschaft),
2. Kontakte/Ansprechpartner und
3. weitere mögliche Handlungsfelder.

Ebenso wurden Überlegungen zu Transformationspionieren in der Region angestoßen. Methodisch wurde bei der Identifizierung der Handlungsfelder und Akteure auf Literaturrecherchen, Workshops (auch mit Externen) und Interviews zurückgegriffen.

Auf Basis der vorliegenden Informationen wurden mögliche Ansatzpunkte in der Region Augsburg für eine optimierte Kreislaufwirtschaft und zur Substitution von Kunststoffprodukten diskutiert und Ideen – zunächst in der Theorie – entwickelt. Dabei wurden die Ergebnisse der Analyse zu den Handlungsfeldern und den Akteuren in einem iterativen Prozess im Projektkonsortium diskutiert und fokussiert. Im Rahmen dieser Reflektion wurde eine Anzahl der identifizierten Handlungsfelder für die Umsetzung wieder verworfen. Auf der einen Seite wurden die Wirkmöglichkeiten des Konsortiums für eine Umsetzung in dem Projektzeitraum als unwahrscheinlich angesehen. Auf der anderen Seite erschien eine Fokussierung auf wenige Themen wichtig. Im Mittelpunkt stand die Frage, wie sich die Ziele inhaltlich und räumlich, im Sinne der Stärkung der Stadt-Land-Beziehungen in der Projektregion, in einen Gesamtkontext fassen lassen. Die diskutierten und ausgewählten Ansätze wurden in Form von Kreisläufen aufbereitet und dargestellt (siehe beispielhaft Abb. 4).

Abb. 4: Beispielhafter Kreislauf, inkl. Akteure, zur Minderung des Kunststoffanteils im Bioabfall.



Neben der Darstellung des Kreislaufes wurden Akteure aufgenommen. Nachfolgend werden einige ausgewählte Ansätze zur Optimierung von Kunststoffkreisläufen vorgestellt.

4.1 Verpackungsmaterial: Mehrweg, biobasiert und nachwachsend

Im Mittelpunkt der Überlegungen stand die Substitution von Kunststoffen durch biobasierte Alternativen. Im Sinne des Klimaschutzes lassen sich hiermit fossile Ressourcen einsparen. Mit Blick auf das Lebensende des Produkts sollen jedoch nicht einfach Kunststoffabfälle durch neue Abfallarten ersetzt, sondern die Abfallmenge insgesamt reduziert werden und nicht vermeidbare Abfälle zumindest aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen. In den Fokus wurden deshalb auch Mehrwegsysteme und die Recyclingfähigkeit biobasierter Kunststoffe genommen.

Das vorhandene bioökonomisch nutzbare Potenzial landwirtschaftlicher Reststoffe als Ausgangsstoff für biobasierte Kunststoffe bietet gute Voraussetzungen für weitere Überlegungen der praktischen Umsetzung im Rahmen des Projektes (siehe Kapitel 3.2). Im Rahmen des Projektes reGIOcycle wurden vier verschiedene Anwendungsszenarien näher betrachtet. Durch biobasierte Kunststoffe können sowohl Alternativen bei Einweg- als auch Mehrwegverpackungen etabliert werden. Unter dem Label „Augsburger Becher/Kiste“ könnten dabei folgende Produkte und Systeme entwickelt werden:

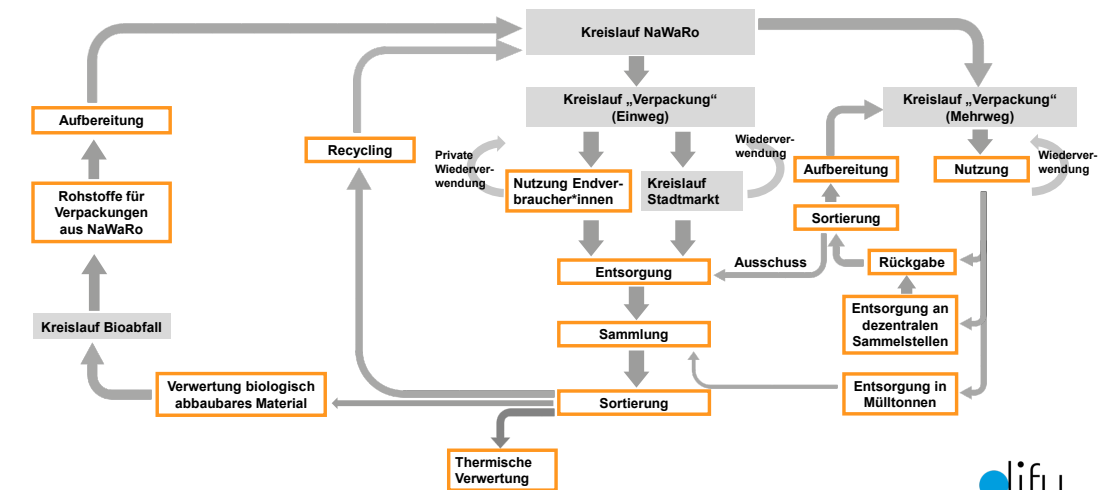
- Mehrwegsysteme „Augsburger Becher“ und „Augsburger Kiste“ – Ziel: Substitution von herkömmlichen Kunststoffen durch biobasierte Alternativen und Vermeidung von Kunststoffen und Kunststoffabfällen
- Einwegsystem „Augsburger Kiste“ – Ziele: Substitution von herkömmlichen Kunststoffen durch biobasierte Alternativen und Vermeidung von Kunststoffen und Kunststoffabfällen
- Kreislauf Stadtmarkt Augsburg/Bauernmärkte in Landkreisen Aichach-Friedberg und Landkreis Augsburg – Ziel: Substitution von herkömmlichen Kunststoffen durch biobasierte Alternativen

Biobasierte Kunststoffe bestehen teilweise oder vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen, ohne dass sie zwangsläufig biologisch abbaubar sind. Als Rohstoff dienen häufig cellulose- und stärkereiche Pflanzen wie Mais, Zuckerrohr oder Holz (Bonten, 2020).

Einer Studie zur Abbaubarkeit von biologisch abbaubaren Kunststoffprodukten zufolge zersetzen sie sich in einer Kompostierungsanlage nach 22 Tagen ähnlich gut wie normaler Bioabfall. Getestet wurden Produkte, die die europäische Norm EN 13432 erfüllen (van der Zee & Molenveld, 2020).

Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick, wie ein möglicher Kreislauf für unterschiedliche Verpackungen und Systeme aus nachwachsenden Rohstoffen in der Region Augsburg aussehen könnte.

Abb. 5:
Überblick über einen Kreislauf von Verpackungsmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen in der Projektregion.



Ausgangspunkt sind dabei nachwachsende Rohstoffe, insb. landwirtschaftliche Reststoffe, zur Produktion von biobasierten Verpackungen. Dabei unterscheiden sich die Anwendungsbereiche mit Blick auf die Einweg- oder Mehrwegnutzung. Auf die jeweiligen Kreisläufe (graue Kästen) wird im Folgenden detailliert eingegangen.

4.1.1 „Augsburger Becher“

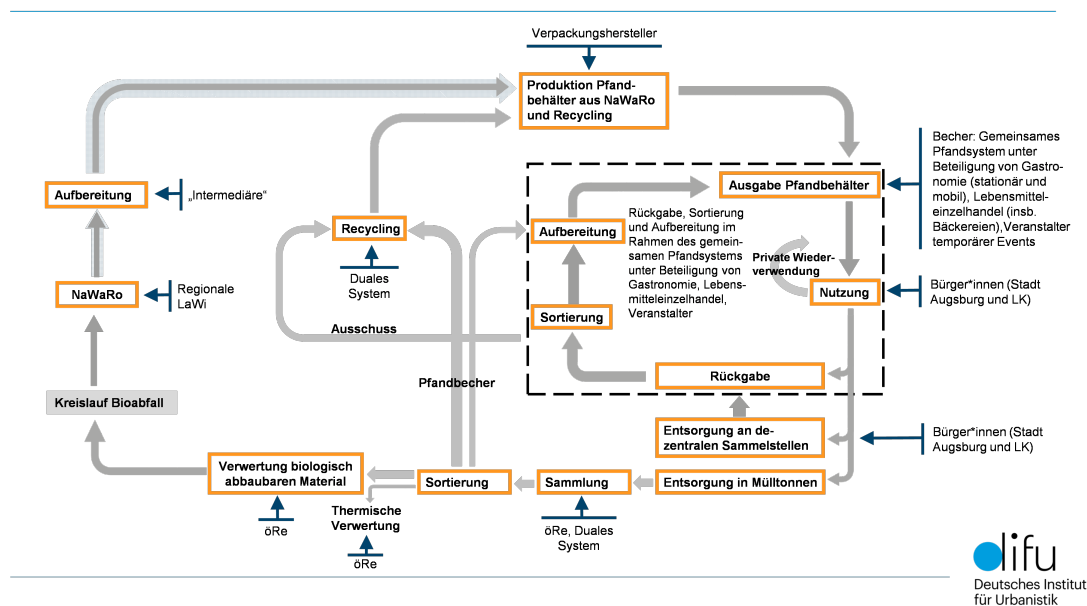
Die Augsburger Innenstadt ist das wirtschaftliche und kulturelle Zentrum der Region. Es ist geprägt von einer Tagesnutzung durch Büros, Dienstleistungen, Gewerbe und einer Abendnutzung durch Kultur, Ausgehen etc. Im Zusammenhang mit den Corona-Maßnahmen wurden umfangreich Geschäfte geschlossen, Arbeiten ins Homeoffice verlegt, kulturelle Angebote eingestellt. Gleichwohl wurde die Innenstadt insbesondere in den Abendstunden und am Wochenende weiterhin als Treffpunkt genutzt. Die Schließung von gastronomischen Inneneinrichtungen führte zu einer vermehrten Nutzung von To-Go-Einwegverpackungen, mit der Folge einer erheblichen Müllbelastung des öffentlichen Raumes („Littering“). Im Projekt reGIOcycle wurde deshalb die Etablierung eines Augsburger Bechers für Kalt- und Warmgetränke im Mehrwegsystem angegangen.



Foto 1: Herkulesbrunnen in Augsburg mit Einweggetränkebechern aus Kunststoffen.
Quelle: Stephanie Lizak.

Der Augsburger Becher soll zunächst aus dem Kunststoff Polypropylen (PP) sein und wird vom Abfallwirtschafts- und Stadtreinigungsbetrieb Augsburg (AWS) in Verkehr gebracht. Perspektivisch soll dieser Mehrwegbecher flächendeckend in der Augsburger Innenstadt allen Gastronom*innen zur Verfügung stehen und genutzt werden. Ebenfalls perspektivisch soll dieser Mehrwegbecher aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen (bzw. einen Anteil an NaWaRo enthalten). In Abb. 6 ist ein möglicher Kreislauf des Augsburger Bechers, basierend auf nachwachsenden Rohstoffen, dargestellt.

Abb. 6:
Schematische Darstellung des Kreislaufs für den Augsburger Becher aus NaWaRo in der Region Augsburg (blaue Klammern stellen jeweils die zentralen Akteure des Prozesses dar).



Im Mittelpunkt steht die Produktion eines Pfandbehälters aus biobasiertem Kunststoff. Die Rohstoffe stammen aus biogenen Reststoffen regionaler Landwirtschaft. Diese müssen aufbereitet werden, damit sie im nächsten Schritt als Ausgangsprodukt für die Pfandbehälter zur Verfügung stehen. Nach der Aufbereitung ist die Weiterverarbeitung beliebig möglich. Hervorgehoben (gestrichelte Umrandung) ist der eigentliche Kreislauf des Mehrwegsystems von Ausgabe, Rücknahme, Sortierung, Waschen, Wiederausgabe des Pfandbehälters.

Mit dem To-Go-Kaltgetränkbecher bestehen erhebliche Potenziale zur Reduzierung des Müllaufkommens insgesamt und der Müllbelastung des öffentlichen Raumes sowie zur Stärkung der Stadt-Land-Beziehungen bei Nutzung regionaler Rohstoffe. Ein solches System könnte auf die gesamte Region ausgeweitet werden, so dass der Becher sowohl im Stadtgebiet Augsburg als auch in den Landkreisen genutzt werden kann. Eine gute Möglichkeit zur Nutzung und Müllreduzierung bieten dabei auch (Sport-)Großveranstaltungen in der Region. Für die Etablierung eines Managementsystems des Bechers (Dienstleister, Gastronomie) könnte ein digitales Tool (z.B. eine App) hilfreich sein.

Akteure des Augsburger Bechers: Stadt Augsburg, AWS, lokale Gastronomiebetriebe, Dehoga, Innungen, IHK-Netzwerk Kreislaufwirtschaft (über A³); Forum Plastikfreies Augsburg, zivilgesellschaftliche Akteure (Blog „Hallo Augsburg“ etc.), intermediäre Verpackungshersteller*innen, Veranstalter*innen

Stadt-Land-Beziehungen bestehen in diesem Kreislauf auf mehreren Ebenen. Mit Blick auf das Produkt selbst (Kaltgetränkbecher) bestehen diese im Zusammenhang mit der „Rohstoffgewinnung“ (ländlicher Raum) als Basis für die Nutzung in der Stadt Augsburg. Sollte der Becher nach Ende des Lebenszyklus biologisch abbaubar sein, müsste des Weiteren geprüft werden, ob auch eine Kompostierbarkeit in entsprechenden Anlagen erreicht wird (z.B. Biovergärung). In einem solchen Fall wäre eine Verwertung als Kompost in der landwirtschaftlichen Produktion denkbar.

Sollte der Becher perspektivisch in der gesamten Region nutzbar sein, also auch im gastronomischen Außerhausverzehr im ländlichen Raum, wäre dies im Sinne einer barrierefreien Nutzung des Bechers eine weitere Dimension der Stadt-Land-Beziehungen.

Vor der regionsweiten Umsetzung bedarf es, im Sinne einer interkommunalen Kooperation, der notwendigen politischen Abstimmungen als Grundlage für die Ausweitung des Mehrwegsystems sowohl in der Fläche als auch auf weitere Anwendungsfelder. Denkbar wäre, bspw. bei Veranstaltungen der Gemeinden, die Nutzung des Kaltgetränkebechers, soweit rechtlich möglich, vorzugeben. Auch auf Ebene der Gastronomiebetriebe sind neue Koalitionen und Kooperationen notwendig, die über die bestehenden Beziehungen aus Händlern und Partnern hinausgehen.

4.1.2 „Augsburger Kiste“

Als weiterer Ansatz wurde im Projektkonsortium die Idee einer „Augsburger Kiste“ diskutiert. Der Name steht dabei als Oberbegriff für verschiedene Mehrweg-Verpackungsformate, die in der Region im Bereich der Außerhausgastronomie genutzt werden können. In standardisierten Verpackungen können Kund*innen sich bspw. in Restaurants, Imbissen etc. Mahlzeiten zum Außerhausverzehr einpacken lassen, also ein „Mehrweg-To-Go“. In der nachfolgenden Abbildung ist der Kreislauf der Augsburger Kiste dargestellt.

Abb. 7:
Kreislauf Mehrwegsystem „Augsburger Kiste“ in einem Pfandsystem.

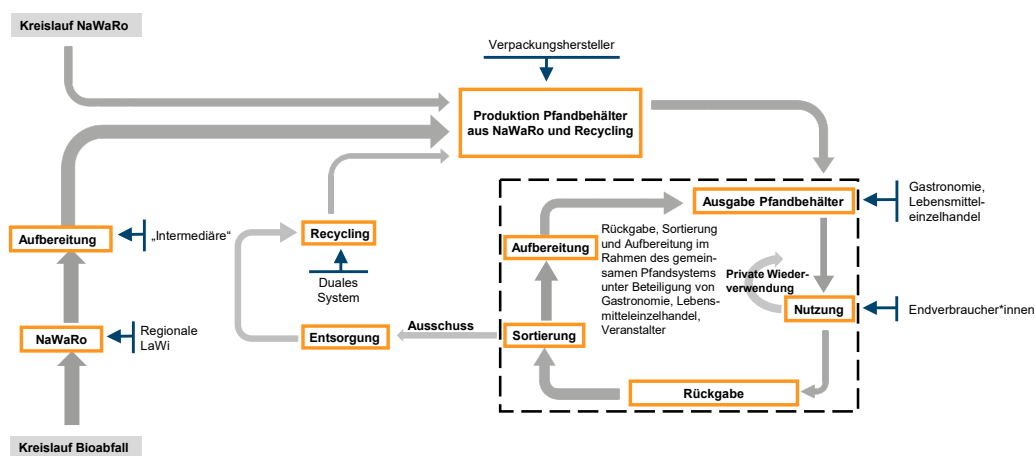


Abb. 7 gibt einen Überblick über einen möglichen Kreislauf für ein Mehrwegsystem basierend auf nachwachsenden Rohstoffen. Im Mittelpunkt steht die Produktion eines Pfandbehälters aus biobasiertem Kunststoff. Die Rohstoffe stammen aus biogenen Reststoffen regionaler Landwirtschaft. Diese müssen aufbereitet werden, damit sie im nächsten Schritt als Ausgangsprodukt für die Pfandbehälter zur Verfügung stehen. Nach der Aufbereitung ist die Weiterverarbeitung beliebig möglich. Im Zusammenhang mit den Analysen des Augsburger Stadtmarktes, der Müllproblematik in der Innenstadt sowie insgesamt der Zunahme von Einwegverpackungen zum Außerhausverzehr bzw. zur Essenslieferung sollen diese Anwendungsgebiete im Mittelpunkt stehen. Zu entwickeln wären daher standardisierte Verpackungsformate, um eine einfache Kostenkalkulation von Essensportionen für die gastronomischen Betriebe zu ermöglichen. Ebenso wie beim Augsburger Becher wäre ein

Akteure Augsburger Kiste: siehe Augsburger Becher oben.

Mehrwegsystem zu etablieren (Rücknahme, Aufbereitung, Bereitstellung, inklusive technischer Schnittstellen, bspw. einer einfach nutzbaren App).

Ein standardisiertes System würde die Akzeptanz deutlich gegenüber den aktuell vielen Einzellösungen, die i.d.R. nicht miteinander kompatibel sind, steigern. Die Nutzung ist für den Außerhausverzehr „To-Go“ als auch für Essenslieferungen möglich. Die Rückgabe könnte über Essenslieferdienste direkt oder in allen beteiligten gastronomischen Einrichtungen erfolgen und damit dauerhaft das Abfallaufkommen reduzieren. Als Initiator eines solchen System hätten die Stadt und die Landkreise darüber hinaus ein wirksames Werbemittel, auch im Hinblick auf das Thema regionale Identität.

Eine weitere Möglichkeit besteht im Zusammenhang mit der Nutzung von Umverpackungen durch Einzel-/Markthändler*innen (siehe Kapitel 4.1.3).

Vor der regionsweiten Umsetzung bedarf es, im Sinne einer interkommunalen Kooperation, der notwendigen politischen Abstimmungen als Grundlage für die Ausweitung des Mehrwegsystems sowohl in der Fläche als auch auf weitere Anwendungsfelder. Auch auf Ebene der Gastronomiebetriebe sind neue Koalitionen und Kooperationen notwendig, die über die bestehenden Beziehungen aus Händlern und Partnern hinausgehen.

Neben der Augsburger Kiste als Teil eines Mehrwegsystems ist es ebenfalls denkbar, eine Einwegverpackung auf Basis regionaler nachwachsender Rohstoffe zu entwickeln. Diese würde ebenfalls im Schwerpunkt für den gastronomischen Außerhausverzehr eingesetzt, jedoch mit einer deutlich größeren Verpackungsvielfalt als die Mehrweg-Variante. Dabei sollen die zahlenmäßig größten Anwendungsfälle abgedeckt werden, bspw. Kaffee-To-Go-Becher, Verpackungen für Backwaren sowie warme Speisen (Pizza, Pasta etc.).

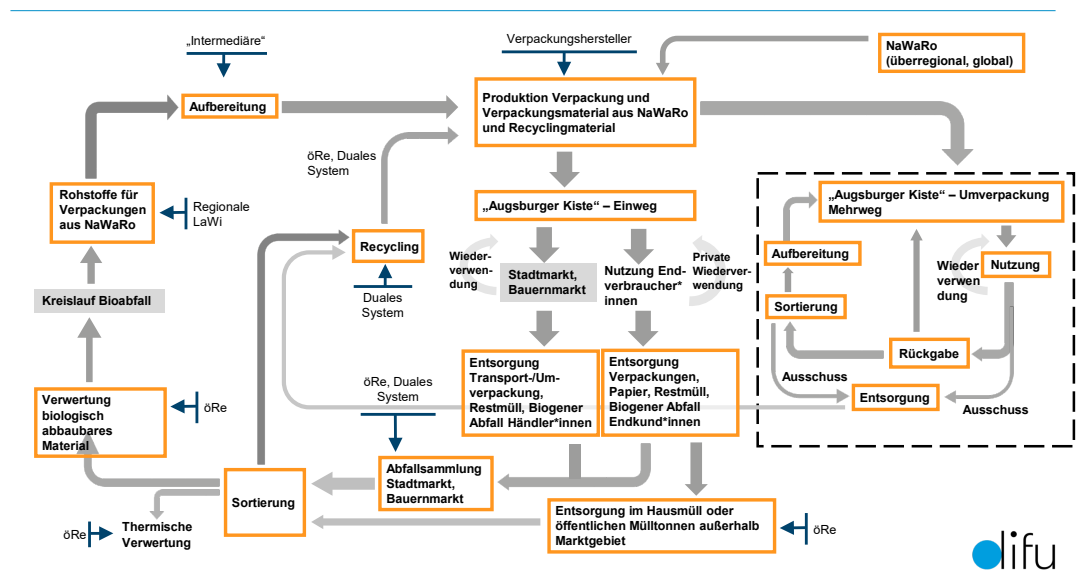
4.1.3 Verpackung aus NaWaRo für den Stadtmarkt (Mehrweg, Einweg)

Ein weiterer Anwendungsfall betrifft die Umverpackungen von Markthändler*innen, die ein erhebliches Müllaufkommen bewirken. Die bislang aus nicht nachwachsenden Rohstoffe hergestellten Transportboxen könnten aus NaWaRo hergestellt werden. Mit Blick auf die Potenziale eines regionalen Stoffkreislaufes kann somit das Abfallaufkommen von Kunststoffen reduziert werden. Die Verpackung könnte dabei als Einweglösung die bisherigen nicht biobasierten Verpackungen ablösen. Als Mehrweglösung sollten die Qualitäten dieser Verpackung im Hinblick auf das Einsatzgebiet ebenso beachtet werden (Funktionalität, Lebensmittelsicherheit etc.) wie ihre Funktion und Haltbarkeit im Rahmen eines Mehrwegsystems (Gewährleistung der Funktionalität über den Lebenszyklus, Recyclingfähigkeit etc.). Diese Pfandbehälter könnten in ein bestehendes Mehrwegtransportverpackungssystem integriert werden. In Abb. 8 ist ein Kreislauf für Umverpackungen oder Isolierverpackungen auf dem Stadtmarkt dargestellt.

Akteure Isolierverpackung: Verpackungshersteller (bspw. Landpack), Akteure zur Aufbereitung der landwirtschaftlichen Rohstoffe, Markthändler*innen (Stadtmarkt und Bauernmärkte im LK), AWS/Entsorger im LK, ggf. Großhändler, Stadt Augsburg und LK, Innungen

Als Einweglösung sind die Verpackungen aus Stroh der an dem Projekt reGI-Ocycle beteiligten Firma Landpack eine gute Referenz. Die Potenziale und auch die Stadt-Land-Beziehungen bei der Einführung einer Isolierverpackung sind vergleichbar mit denen des Kreislaufs des „Augsburger Bechers“, weshalb hier nicht weiter darauf eingegangen wird.

Abb. 8:
Kreislauf für Verpackungen aus NaWaRo für Stadtmarkt/Bauernmarkt.



4.2 Kreislaufwirtschaft: Optimierung von regionalen Stoffströmen

4.2.1 Reduzierung der Kunststoffstörstoffe im Bioabfall

Nach Ergebnissen von Bioabfallsortieranaysen der Landkreise Aichach-Friedberg und Augsburg sowie der Stadt Augsburg aus dem Jahr 2018 werden jährlich pro Einwohner*in zwischen 72 kg (Stadt Augsburg) bzw. 129 kg (LK Augsburg) und 139 kg (LK Aichach-Friedberg) Bioabfall entsorgt. Den höchsten Anteil von Störstoffen am Gesamtgewicht weisen dabei die Biotonnen der Stadt Augsburg auf (Anteil 1,46 w.-%), gefolgt vom LK Aichach-Friedberg (1,29 w.-%) und dem LK Augsburg (0,77 w.-%) (vgl. Übers. 1). Dabei ist zu beachten, dass die Dichte von Kunststoffen sehr gering ist.

Übers. 1:
Zusammensetzung der Bioabfälle einer durchschnittlichen Biotonne im Projektgebiet.

Zusammensetzung der durchschnittlichen Biotonne Einwohnerspezifisch in kg / (Ew * a)

	Stadt Augsburg	LK Augsburg	LK Aichach / Friedberg
Summe Bioabfall	72,05 kg/(Ew*a)	129,33 kg/(Ew*a)	139,39 kg/(Ew*a)
Davon Störstoffe	1,05 kg/(Ew*a) (1,46% am Gesamtgewicht)	1,44 kg/(Ew*a) (0,77% am Gesamtgewicht)	1,8 kg/(Ew*a) (1,29% am Gesamtgewicht)
Kunststoffanteil	0,45 kg/(Ew*a) (0,62% am Gesamtgewicht)	0,4 kg/(Ew*a) (0,31% am Gesamtgewicht)	0,78 kg/(Ew*a) (0,56% am Gesamtgewicht)

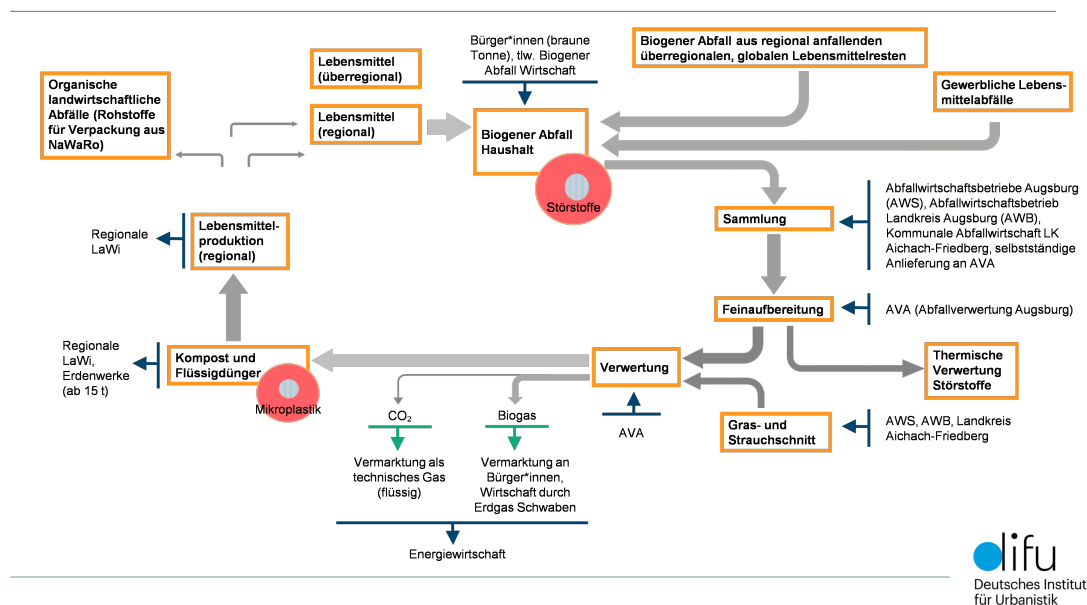
Quelle: AWS.

Etwas über die Hälfte (Stadt Augsburg, LK Aichach-Friedberg) bzw. ca. ein Drittel (LK Augsburg) der Störstoffe entfällt dabei auf die Fraktion Kunststoffe. Dabei handelt es sich größtenteils um dünnwandige Folien. Der Fremdstoffanteil ist in allen Siedlungsstrukturen im Winter am höchsten, im Herbst am geringsten, was sicher durch die Vegetationszeit begründet ist.

Der gesamte Störstoffanteil bewegt sich dabei in der Projektregion innerhalb der üblichen Spanne von 1-3 %, die nach Angaben der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) zu erwarten ist (Bundesgütergemeinschaft Kompost [BGK], 2019). Problematisch sind diese Stoffeinträge, da sie trotz der Abfallbehandlung (Abtrennung durch Siebung, Rotteprozess, Kompostierung, weitere Abscheidung, Biovergasung) die Qualität des Endproduktes (bspw. Kompost) mindern und enthaltene Kunststoffpartikel so in die Umwelt gelangen können. Dies ist bedeutend mit Blick auf die Zertifizierung des Komposts. Der geschätzte Eintrag von Kunststoffprodukten in die Böden durch Kompost und Gärprodukte beträgt bundesweit schätzungsweise 817 t pro Jahr (BGK, 2019). Aufgrund des hohen technischen Aufwandes der Aufbereitung sollten die Fremdstoffe in Bioabfällen so gering wie möglich sein. Nach der modifizierten Bioabfallverordnung muss der Kunststoffanteil in Bioabfällen, die kompostiert, vergärt oder mit anderen Stoffen gemischt werden, geringer als 0,5 % sein (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz [BMUV], 2022). Ursache der Verunreinigungen mit Kunststoffen sind häufig Fehlwürfe bei der Entsorgung in Haushalten, beispielsweise durch Mülltüten.

Die nachträgliche Reduzierung von Störstoffen im Bioabfall ist mit erheblichen Kosten verbunden, um die gewünschten Qualitäten zu erreichen. Daher soll es darum gehen, den Eintrag von Störstoffen zu reduzieren. In der nachfolgenden Abb. 9 ist der optimierte Bioabfallkreislauf dargestellt.

Abb. 9:
Optimierter Bioabfall-
kreislauf in der Region
Augsburg.



Die Abfallwirtschaftsbetriebe Augsburg (AWS), der Abfallwirtschaftsbetrieb Landkreis Augsburg (AWB) und die kommunale Abfallwirtschaft des Landkreises Aichach-Friedberg sammeln die biogenen Haushaltsabfälle, z.T. auch biogene Gewerbeabfälle. Die gesammelten biogenen Materialien der drei öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (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 Bürger*innen und Unternehmen vermarktet. Kompost und Flüssigdünger werden durch regionale Landwirtschaft und Erdenwerke genutzt (Mindestabnahme 15 t). Störstoffe werden, soweit rausgefiltert, bei der AVA thermisch verwertet.

Akteure Biotonne: Bürger*innen, Wohnungsbaugesellschaften, Hausmeister*innen, Politik (Stadt, Landkreise), Einzelhandel (mit Blick auf Kunststoff-Verpackungen von Obst/Gemüse), AWS, AVA, Regionale LaWi, Baumschulen in der Region, Bildungseinrichtungen

Durch die Optimierung des Kreislaufs ergeben sich interessante Potenziale für die Region Augsburg:

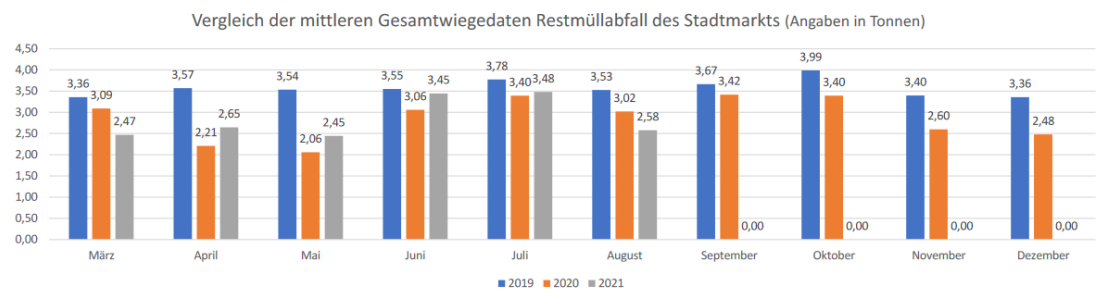
- Optimierte Trennung von Abfallfraktionen
- Kostenreduzierung bei der Aufbereitung
- Qualitätsverbesserung des Komposts
- Produktion von Wasserstoff (aus Biogas)
- Kostenreduktion Entsorgung
- Biogas für ÖPNV
- Produkt „Augsburger Erde“-Kompost aus lokalem Biomüll für Endverbraucher*innen

Die Stadt-Land-Beziehungen sind hier offensichtlich. Biogene Abfälle aus kommunalen Haushalten und z.T. regionaler Landwirtschaft fallen in der gesamten Region an. Die Produkte wie Kompost und Flüssigdünger werden wiederum regional für die Produktion landwirtschaftlicher Produkte oder in Haushalten eingesetzt.

4.2.2 Verbesserte Trennung der Abfallfraktionen des Stadtmarkts

Auf dem Augsburger Stadtmarkt fallen erhebliche Mengen Abfall an (vgl. Abb. 10). Die Abfälle der Gewerbetreibenden werden in einer Restmüllmulde gesammelt und thermisch verwertet. Dabei werden Restmüll- und Kunststoffabfälle nicht getrennt gesammelt, wobei bei entsprechender Trennung bspw. eine werkstoffliche Verarbeitung der Kunststoffe möglich wäre.

Abb. 10:
Durchschnittliche Wiegedaten des Restmülls auf dem Augsburger Stadtmarkt in den Jahren 2019 bis 2021, in Tonnen.



Quelle: AWS.

Mit dem Ziel einer besseren stofflichen Trennung könnte eine weitere Wertstoffmulde von der AWS mit dem Partner Duales System Deutschland (DSD) auf dem Stadtmarkt angeboten werden, um eine getrennte Sammlung von Restmüllabfällen und Kunststoffabfällen zu ermöglichen. Damit können eine qualitativ höherwertige Verwertung von Kunststoffabfällen erfolgen und folglich Ressourcen eingespart werden.

Das Potenzial besteht insbesondere darin, die wertstoffliche Verwertung der Kunststofffraktionen zu verbessern. Der Stadtmarkt sowie Bauernmärkte etc. der Projektregion könnten damit einen wichtigen und öffentlichkeitswirksamen Beitrag zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft leisten. Besonderer Stellenwert hat dabei, neben der Umsetzung, die Möglichkeit der Begleitung mit öffentlichkeitswirksamer Kommunikation spezifisch zum Thema, aber auch mit Blick auf das Trennverhalten insgesamt. Bedarf an und Potenzial für verbesserte Abfalltrennung im Sinne nachhaltiger Kreislaufwirtschaft sind vorhanden.

Akteure des Stadtmarkts: Bürger*innen, Händler*innen, Marktamt, AWS, Abfallwirtschaftsbetrieb Landkreis Augsburg (AWB), Kommunale Abfallwirtschaft LK Aichach-Friedberg, Duales System

4.3 Zwischenfazit zu den Kreisläufen

In der Projektregion Augsburg bestehen unterschiedliche Potenziale, um mit den Ansätzen der Kreislaufwirtschaft, der Substitution und Vermeidung Kunststoffkreisläufe zu etablieren bzw. das Aufkommen an Kunststoffen zu reduzieren. Akteure und Strukturen bieten gute Voraussetzungen, die Stadt-Land-Beziehungen im Kontext der Projektziele zu stärken:

- Die Darstellung von Stoffströmen in Kreislaufgrafiken ist eine gute Hilfestellung, um Ansätze auf der regionalen Ebene darzustellen, Verfahren abzuleiten und Akteure aufzuführen.
- Grundsätzlich besteht ein Bedarf, die Kunststoffproblematik anzugehen (z.B. Littering) und bisherige Verpackungslösungen in der Region Augsburg zu optimieren.
- Mehrwegsysteme bieten Potenziale zur dauerhaften Reduzierung des Müllaufkommens und des Litterings.
- Unklar ist, wie aus Sicht der Verpackungsproduzenten und der Marktforschung das bioökonomische Rohstoffpotenzial für Verpackungen zu bewerten ist.
- Eine schrittweise Einführung von biobasierten (insbesondere) Mehrwegverpackungen ist sinnvoll. Erfahrungen und Praxiswissen müssen in der technischen Weiterentwicklung und politischen Kommunikation mit Blick auf potenzielle Einwegverbote/Mehrweggebote gesammelt werden.
- Landwirtschaftliche Reststoffe aus der Region können Ausgangspunkt für eine dauerhafte Implementierung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft sein.
- Eine ökonomische Bewertung von Produkten aus NaWaRo ist wichtig, gerade mit Blick auf die Preisentwicklung von Primärrohstoffen.
- Zahlreiche offene Fragen der technischen Umsetzbarkeit (durch Substitution von Produkten durch NaWaRo), der systemischen Implementierung (insb. eines Mehrwegsystems) und der Entwicklung von Wertschöpfungsketten (insb. Aufbereitung landwirtschaftlicher Reststoffe als Vorprodukt für Verpackungshersteller; lokale Verpackungshersteller) müssen geklärt werden.
- Sowohl die Störfractionen im Bioabfall, als auch die bislang nicht getrennte Sammlung von Rest- und Kunststoffabfällen stehen stellvertretend für die Herausforderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. Dabei geht es zum einen darum, die Möglichkeiten eines werkstofflichen Recyclings zu verbessern und damit Rohstoffe einzusparen (Kunststoffabfälle). Andererseits ist es wichtig, die regionalen Stoffkreisläufe zu stärken und Eintragungen von Kunststoffen in die Umwelt zu reduzieren (Störstoffe Bioabfall).

Zu beachten ist, dass im weiteren Verlauf der Studie – auch mit Blick auf die Umsetzung – einige im Kapitel 4 aufgeführten Ideen (z.B. Augsburger Kiste) nicht weiterverfolgt wurden. Im nachfolgenden Kapitel 5 wird auf die pilot-hafte Umsetzung der Ansätze in der Forschungsphase eingegangen.

5. Vermeidung, Substitution und Kreislaufwirtschaft – was wurde in der Praxis angegangen?

Im Kapitel 4 wurden theoretische Möglichkeiten zum Aufbau bzw. zur Optimierung von Kunststoffkreisläufen in der Region Augsburg aufgeführt. Im Kapitel 5 werden nun die Schritte zur Umsetzung in die Praxis beschrieben. Hierbei ist zu beachten, dass die Umsetzung von regionalen Maßnahmen zur Optimierung von Stoffströmen und -kreisläufen für Kunststoffe inhaltlich und strategisch unterschiedlich erfolgen kann. Im Projekt reGIOcycle wurden Reallabore, Citizen Innovation Labs in Experimentierräumen und auch weitere Grundlagenforschung mit Blick auf die Anwendung von beispielsweise Biokunststoffen in der Praxis durchgeführt. Innerhalb reGIOcycle wurden drei Wege fokussiert: Abfallvermeidung, Substitution und systemische Optimierung von Kreisläufen – diese werden nachfolgend dargestellt.

5.1 Abfallvermeidung: Der Augsburger Becher – Erfahrungen aus der Entwicklung eines lokalen Mehrwegsystems für Kaltgetränke

Eine im Jahr 2019 in Augsburg durchgeführte Sortieranalyse der Abfallkörbe im öffentlichen Raum hat ergeben, dass knapp 25 Vol.-% der dort entsorgten Abfälle Kunststoffverpackungen sind, die aus dem Take-Away-Sektor stammen. Zudem ist seit Jahren das Littering in der Augsburger Innenstadt ein großes Problem. Plätze, Straßen und Abfallkörbe im öffentlichen Raum sind gezeichnet von weggeworfenen Kunststoffeinwegbehältern und Glasflaschen. Aus Hintergrundgesprächen mit der Augsburger Gastronomie ging hervor, dass pro Sommerabend bis zu 25.000 Einwegbecher in der Innenstadt genutzt werden, die zur Vermüllung beitragen. Hieran ist zu sehen, dass der in Augsburg im öffentlichen Raum anfallende Einwegkunststoffabfall zu einer großen ökologischen (z.B. Mikroplastik) und ökonomischen (z.B. Müllgebühren) Herausforderung für die Stadt geworden ist.

Für Glasflaschen wurde in der Augsburger Innenstadt 2021 ein Nutzungsverbot ausgesprochen. Nach Aussagen der AWS ist der Konsum von Getränken in Einwegkunststoffbehältern angestiegen, was die Vermüllung durch Kunststoffe weiter erhöhte.

5.1.1 Ansatz zur Entwicklung des Augsburger Bechers

Aus den genannten Erkenntnissen ist die reGIOcycle-Idee zur Entwicklung und Einführung des Mehrwegbechers „Augsburger Becher“ für Kaltgetränke entstanden. In Augsburg soll langfristig ein Mehrwegpfandsystem für Kaltgetränke (Softdrinks, Cocktails, Bier etc.) im Take-Away-Geschäft etabliert werden. Kaltgetränke sollen für den Außenverzehr im Augsburger Becher ausgegeben werden. Das System soll sich nicht nur auf die Innenstadt konzentrieren, sondern sich auch auf die Region Augsburg konsekutiv ausweiten und zusätzlich bei Großveranstaltungen, Stadtteilstunden und Sportevents seinen Einsatz finden. Ebenso sollte das Konzept auf andere Kommunen übertragbar sein. Für die Umsetzung wurde u.a. ein digitales Tool entwickelt – welches über eine Web-App funktioniert –, mit der das gesamte Becher-Management abgewickelt werden kann.

Soziale Innovationen haben das Ziel, zu einer nachhaltigen gesellschaftlichen Veränderung beizutragen, und fordern teilweise ein, den systemischen Charakter von Innovationen in den Blick zu nehmen.

Ein vergleichbar innovatives System für Kaltgetränke ist bisher in keiner deutschen Stadt eingeführt bzw. etabliert. Dies zeigt, dass in diesem Bereich eine systemische Neuerung umgesetzt werden kann, zusätzlich wird

durch Sammlung und Abgabe der Mehrwegbecher eine soziale Innovation eingeleitet. Ziel war es, das Konzept des Augsburger Bechers im Rahmen eines Reallabors – mit wissenschaftlicher Begleitung – in die Wirtschaft bzw. Praxis zu überführen, also ein Transfer von Wissenschaft in Unternehmenspraxis.

5.1.2 Vorgehen zur Umsetzung der Projektidee

Für die Realisierung der Projektidee wurde die Methode des Reallabors gewählt. Um die Projektidee umzusetzen, stand somit die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Bürger*innen sowie mit der Wirtschaft im Vordergrund. Vor allem die Möglichkeit der Erprobung des neuen Systems in Experimentierräumen erschien erfolgversprechend. Für das Reallabor wurden zunächst eine Problemdefinition und eine Systemanalyse durchgeführt. Ein Transfer in die Praxis wurde in Form von Realexperimenten geprüft. Insgesamt gliedert sich das Vorgehen zur Einführung des Bechers in drei verschiedene Phasen, die nachfolgend beschrieben werden. Die Konzept- und Pilotierungsphase wurden in der Forschungsphase bereits umgesetzt (grüne gestrichelte Linie).

Abb. 11:
Projektphasen des Augsburger Bechers im umgesetzten Reallabor (grün markiert).



Quelle: AWS.

Im Juli 2022 wurde die Internetseite des Augsburger Bechers freigeschaltet, die über den Augsburger Becher, das Projekt reGIOcycle und dessen verschiedene (auch potenzielle) Anwendungsbereiche informiert. Begleitet wird das Projekt außerdem seit Dezember 2022 durch den Instagram-Channel „augsburgerbecher“.

Webseite zum Augsburger Becher:
<https://www.augsburger-becher.de/>

Planung und Design zur Einführung des Augsburger Bechers



Foto 2: Der Augsburger Becher für Kaltgetränke im Mehrwegsystem.

Quelle: Stephanie Lizak.

Auf Basis der Akteurs-, Potenzial- und Marktanalysen und der erarbeiteten Kreislaufdiagramme wurde ein Netzwerk aufgebaut und ein Konzeptpapier ausgearbeitet. Ein interdisziplinäres reGIOcycle-Team aus Wissenschaft und kommunalen Unternehmen wurde gebildet. Das entwickelte Konzept umfasst drei verschiedene Szenarien zur Einführung eines Mehrwegbechers in der Stadt, welche auch das von der Stadt Augsburg geplante Mehrweggebot unterstützen würde. Dieses Konzeptpapier wurde im März 2021 dem Stadtrat vorgelegt und ein Mehrweggebot in der Augsburger Innenstadt zum „Augsburger Stadtsommer“ beschlossen.

Auf Grundlage dieser politischen Rückendeckung wurde ein individuelles Design für den Augsburger Becher entworfen, das einzigartig ist und einen hohen Wiedererkennungswert für die Stadt hat. In Abstimmung mit der Oberbürgermeisterin der Stadt Augsburg fiel die Wahl auf das Motiv „Miteinander“. Das Motiv ist ein „Wimmelbild“ mit Gesichtern, darunter bekannte Augsburger Persönlichkeiten wie z.B. Bertolt Brecht, und soll einladen, „miteinander ins Gespräch zu kommen“. Der Mehrwegbecher wird von einem regionalen Becherhersteller produziert.

Um Bedarfe, Wünsche und Probleme zu identifizieren, wurden Gespräche und Workshops mit verschiedenen Gastronom*innen aus der Augsburger Innenstadt durchgeführt. Das Interesse an den Mehrwegbecher war bei diesen vorhanden. Gemeinsam wurde über die Höhe des Pfands eines Augsburger Bechers diskutiert. Um Anreize für die Rückgabe zu schaffen, wurden zwei Euro je Becher festgelegt. Um den Transfer von der Wissenschaft in die Praxis zu gewährleisten, wurde gemeinsam die pilothafte Einführung eines einheitlichen Augsburger Bechers in drei verschiedenen Größen im Frühjahr/Sommer 2022 anvisiert, da im Herbst und Winter das Take-Away-Geschäft schwächer ist.

5.1.3 Entwicklung einer digitalen Lösung für das Bechermanagement

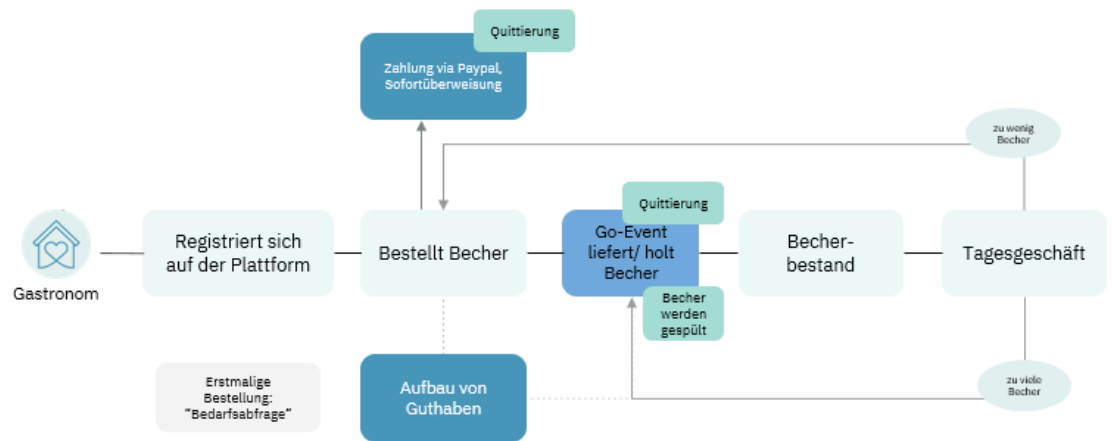
Die digitale Lösung für das Bechermanagement sollte ein handhabbares Tool sein, mit dem Bestellen, Retournieren, Austauschen und Spülen organisiert werden. Um für die reGIOcycle-Projektidee ein passendes digitales Tool in Form einer Web-App zu entwickeln, fanden mehrere Workshops mit einem beauftragten Unternehmen statt. Die dadurch entwickelte digitale Web-App dient zudem zur automatischen Erfassung aller benötigten Informationen zu Liefermengen und -zeitraum, Anschrift und Rechnungsdaten der Gastronom*innen und vereinfacht den Prozess des Pfandsystems somit erheblich.

Diese vereinfacht die logistischen Abläufe für die verschiedenen Anwender*innen:

- (Stadt-)Administrator*innen: Verwaltung des systematischen Bechermanagements, Überwachung von Liefer- und Lagermengen, Lieferplanungen sowie Gesamtüberblick über digitale Bestell-, Retour-, Spül- und Zahlungsabwicklungen.
- Gastronomiebetriebe: Bestell-, Retour-, Spül- und Zahlungsabwicklung.
- Lieferpersonal: Einblick in Liefer- und Lagermengen, Ausführen von Lieferplanungen zum Bestell-, Retour-, Spülabwicklungsprozess.

Der skizzierte Prozess des Pfandsystems ist in Abb. 12 dargestellt.

Abb. 12:
Pfandsystem-Prozess
am Beispiel des
Augsburger Bechers.



Quelle: AWS.

Ein*e Gastronom*in muss sich im ersten Schritt auf der Plattform registrieren. Anschließend können optional eine Becherbestellung bzw. Retoure ausgelöst und ein gewünschtes Lieferfenster ausgewählt werden. Im Realexperiment wurde hierbei ein fixer Tag für An- und Ablieferung bestimmt (z.B. Dienstagnachmittag), um die Lieferkosten möglichst gering zu halten. Die Nutzung in der Pilotierungsphase ist für die Gastronom*innen kostenlos. Die Becher sollen theoretisch über einen externen Dienstleister geliefert, abgeholt und gespült werden (wurde nur 1x in Anspruch genommen). Der Spülprozess war in der Pilotierungsphase ebenfalls kostenlos. Zukünftig soll der/die Gastronom*in diese Kosten jedoch selbst tragen. Der Becher kann aber, soweit logistisch möglich, auch von den Gastronomiebetrieben selbst gewaschen werden. Wenn im Tagesgeschäft zu wenige oder zu viele Becher vorhanden sind, kann ein*e Gastronom*in den Prozess erneut auslösen. In der Pilotierungsphase werden die Becher beim externen Dienstleister (in Neusäß, Landkreis Augsburg) und bei der AWS gelagert. Bei Bedarf können die Gastronom*innen eigenständig Becher beim AWS abholen.

Die Web-App ist die erste digitale Lösung für ein Pfandsystem für Kaltgetränke Becher bundesweit und soll den Logistikprozess der Augsburgs Becher für die Gastronomiebetriebe maßgeblich vereinfachen, was erfolgreich umgesetzt wurde.

5.1.4 Pilotierungsphase mit Umsetzung von zwei Realexperimenten

Der Augsburgs Becher wurde zunächst pilothaft im Rahmen von Realexperimenten eingeführt. Für die Umsetzung der Realexperimente erfolgte ein reger Austausch mit den relevanten lokalen Akteuren (Vereine, Gastronomie, Politik, Medien etc.).

Um die Umsetzung in der Pilotierungsphase voranzutreiben, wurden im Frühjahr 2022 Workshops mit Gastronom*innen aus der Augsburgs Innenstadt durchgeführt. Das reGIOcycle-Projektteam stellte dort den Status quo des Augsburgs Bechers und die digitale Lösung zu dessen Management vor. Zusätzlich wurde über die verschiedenen Reallabore (siehe unten) informiert und die Umsetzung diskutiert. Um zusätzliche Gastronom*innen für die Pilotierungsphase zu gewinnen, wurden zudem Einzelgespräche geführt und wichtige Vertreter*innen des Stadtrats eingebunden. So wurden in einem Informationsschreiben über den Augsburgs Becher und das Pfandsystem in

der Pilotierungsphase die Gastronom*innen in der Augsburger Innenstadt aufgefordert, an der Pilotierungsphase teilzunehmen.

Folgende Realexperimente wurden im Jahr 2022 zur Einführung des Augsburger Bechers in Augsburg umgesetzt:

(1) Experimentierraum „Kanuslalom-Weltmeisterschaft“: Einen ersten Praxiseinsatz hatte der Augsburger Becher bei der internationalen Großveranstaltung Kanuslalom-Weltmeisterschaft im Juli 2022. Bei diesem Event wurden Kaltgetränke im Augsburger Becher ausgeschenkt, sowohl am Augsburger Eiskanal als auch am Augsburger Rathausplatz, auf dem zeitgleich ein begleitendes, groß angelegtes Rahmenprogramm stattfand. Der AWS stellte dem Veranstalter hierfür 25.000 Augsburger Becher zur Verfügung. Zusätzlich hat das Sport- und Bäderamt Augsburg weitere 10.000 Augsburger Becher finanziert. Insgesamt waren somit 8.000 Augsburger Becher am Rathausplatz und 27.000 Augsburger Becher am Eiskanal im Einsatz. Am Eiskanal war zusätzlich ein reGIOcycle-Projektstand aufgebaut, um die Besucher*innen der Weltmeisterschaft zum Becher und dessen Hintergründen zu informieren. Neben Gewinnspielen und Schätzfragen rund um das Thema Kunststoffe wurden neben den Vor- und Nachteilen auch Alternativen zu Kunststoffprodukten per Ausstellung und Informationsmaterialien anschaulich dargestellt und interessierten Bürger*innen die Problematiken von Kunststoffabfällen aufgezeigt. Mithilfe von Barcodes auf Postkarten statt Einweg-Flyern gelangen Interessierte, begleitet über eine Umfrage zum Augsburger Becher, zu weiteren Infomaterialien auf der neu eingerichteten Internetseite zum Augsburger Becher. Diverse Gewinnspiele wie das Augsburger Becherwerfen oder ein Glücksrad wurden den Besucher*innen am Stand geboten. Zudem haben 350 Besucher*innen der WM an einer Befragung teilgenommen, in der es um das Konsumverhalten und die Meinung zum Augsburger Becher ging. Im Ergebnis der Befragung der Bürger*innen war deren Einstellung dazu durchweg positiv.

In Augsburg fand im Juli 2022 die sechstägige Kanuslalom-Weltmeisterschaft statt. Der Augsburger Becher wurde dort im Rahmen eines Reallabors eingesetzt.

(2) Experimentierraum „Augsburger Innenstadt“: Im August 2022 startete das Realexperiment zur Einführung des Augsburger Bechers samt Pfandsystem in der Augsburger Innenstadt. Im August und September wurde der Augsburger Becher dort testweise ausgegeben. Die kostenlose Teilnahme der Gastronomiebetriebe erfolgte auf freiwilliger Basis. Neun Gastronomiebetriebe in der Augsburger Innenstadt nahmen an dem Realexperiment teil. Für das Pfandsystem wurde das digitale Tool genutzt, die Handhabung sollte für die Gastronomie intuitiv und einfach sein. Für die weitere Umsetzung und das unterstützende Bechermanagement spielt die digitale Lösung eine entscheidende Rolle. Während der Pilotierungsphase in der Augsburger Innenstadt fanden Interviews mit der Gastronomie und Bürger*innen zur Akzeptanz und Reflektion des Systems statt.

Der Augsburger Becher ist auf Instagram zu finden. Mit der Nutzung von Instagram soll ein junges Zielpublikum erreicht werden. Dies war ein Ergebnis aus den Diskussionen mit den Gastronomie*betreiberinnen.

Die Methode des Reallabors konnte im Projekt reGIOcycle erfolgreich umgesetzt werden. Hervorzuheben ist, dass relevante politische Ebenen der Stadt Augsburg (u.a. Oberbürgermeisterin und Umweltreferent) das Reallabor-Konzept und den Transfer in die Praxis unterstützen. Der Augsburger Becher ist in Augsburg bisher sehr gut angenommen worden, dies belegen auch Umfrageergebnisse. Medial hat der Augsburger Becher auch für sehr positive Schlagzeilen im Fernsehen¹, in den Printmedien und im Radio gesorgt. Zudem gibt es eine Social-Media-Präsenz auf Instagram.

¹ Siehe <https://www.augsburg.tv/mediathek/video/pilotprojekt-mit-umweltfreundlichem-recyclingbecher-in-augsburg/>

5.1.5 Ergebnisse der Realexperimente: Kanuslalom-Weltmeisterschaft und Augsburgischer Innenstadt

Mit der Verwendung des Augsburgischer Bechers bei der Kanuslalom-Weltmeisterschaft wurden bereits erhebliche Mengen an Einwegplastikmüll vermieden. Der reGIOcycle-Stand am Augsburgischer Eiskanal war durchwegs gut besucht. Um die Akzeptanz des Augsburgischer Bechers zu ermitteln, wurden während der Veranstaltung 350 Zuschauer*innen zum Becher durch einen Dienstleister befragt. Die Ergebnisse waren sehr eindeutig:

- 92 % der Befragten finden den Einsatz von Mehrweg auf der Veranstaltung sehr gut.
- 97 % finden die Zahlung von Pfand für den Becher nachvollziehbar.
- 97 % können sich vorstellen, den Mehrwegbecher in weiteren Bereichen zu nutzen (z.B. 94 % bei anderen Großveranstaltungen, 86 % in der Augsburgischer Innenstadt, 89 % im Fußballstadion).

Andere Veranstaltungen könnten sich die Kanuslalom-Weltmeisterschaft als Vorbild nehmen, was im Rahmen von reGIOcycle weiter angestrebt wird. Ein Engpass an Bechern während der Veranstaltung bestand zu keinem Zeitpunkt. Es waren laut Aussagen des Veranstalters immer ausreichend Becher an den Ausgabestellen vorhanden. Insgesamt liegt der Becherschwund mit 4.000 Bechern bei ca. 11 %. Erfahrungen aus anderen Kommunen, die etwa Mehrwegkaffeebecher auf den Markt gebracht haben, zeigen, dass Nutzende den attraktiven Mehrwegbecher mit nach Hause nehmen und dort weiter im privaten Rahmen nutzen. Dieser Effekt, nimmt jedoch nach einiger Zeit ab, da eine Sättigung eintritt.

In der Augsburgischer Innenstadt wurden im September 2022, rund vier Wochen nach Start der Pilotierungsphase in der Innenstadt, rund 25 Bürger*innen zu ihrer Meinung gegenüber dem Augsburgischer Becher befragt. Die mündlich formulierten Antworten der Teilnehmenden wurden in ein digitalisiertes Online-Formular überführt. Ein Teil der Fragen war deckungsgleich mit den Fragen bei der Kanu-WM, um eine Vergleichbarkeit der Befragungen zu gewährleisten. Die Teilnehmenden wurden zufällig ausgewählt und anonym befragt. Den Einsatz von Mehrweg-Bechern in der Augsburgischer Innenstadt fanden 64 % der Befragten sehr gut, 32 % finden ihn gut. Die Frage „Können Sie sich vorstellen, den Mehrwegbecher in anderen Bereichen zu nutzen?“ bejahten 100 % der 25 befragten Personen. Bezüglich der Anwendungsbereiche für den Augsburgischer Becher wünschten sich 88 % der Befragten einen Einsatz auf Festivals und im To-Go-Geschäft von Bars und Gastronomie. 84 % gaben an, bei Großveranstaltungen den Becher nutzen zu wollen. 80 % wählten die Option, den Becher in einer anderen Stadt einzusetzen, 72 % im Fußballstadion und 36 % könnten sich den Einsatz im Nachtclub gut vorstellen. Insgesamt zeigte sich, dass es auch in der Innenstadt eine sehr hohe Zustimmung und große Bereitschaft gab, den Mehrwegbecher in verschiedenen weiteren Szenarien einzusetzen.

Zusätzlich zu den Bürger*innen wurden auch die teilnehmenden Gastronom*innen befragt. Alle neun teilnehmenden Betriebe haben den Einsatz des Bechers überwiegend positiv bewertet. Als Feedback wurde vor allem der Wunsch nach Ausweitung des Bechers auf mehr Betriebe bzw. die Innenstadt genannt, um einer Wettbewerbsverzerrung entgegenzuwirken. Zudem wurde gewünscht, die Bürger*innen noch weiter über den Becher und das Pfandsystem aufzuklären.

5.1.6 Ökologische Einsparungen im Vergleich: Einweg-PET vs. Augsburgger-Mehrweg-PP

Um die Einsparpotenziale der Nutzung des Mehrwegbechers bei einer Großveranstaltung zu ermitteln, wurde am Beispiel des Realexperimentes Kanuslalom-WM ein Up-Scaling-Szenario durchgeführt. Es wurde die Substitution von fiktiv verwendeten PET-Einwegbechern (Polyethylenterephthalat) durch Augsburgger-Mehrweg-PP-Becher (Polypropylen) betrachtet. Den größten Einfluss auf die Einsparungen haben dabei die Rohstoffe. So können die Mehrwegbecher etwa 75 % CO₂-Äquivalente gegenüber den Einwegbechern einsparen.

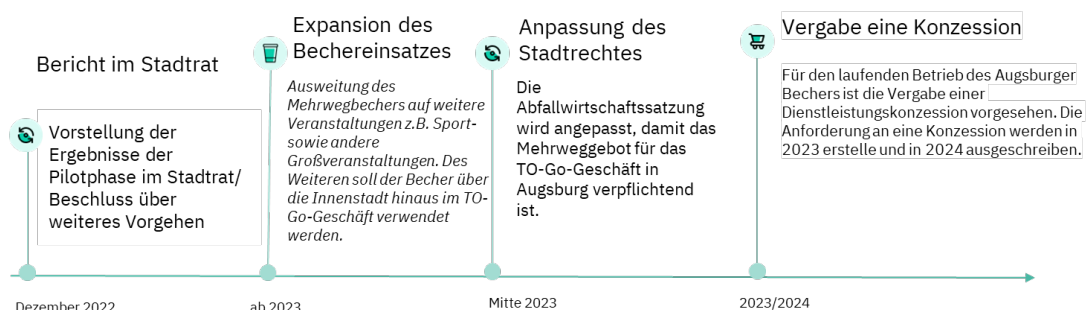
5.1.7 Roll-Out des Augsburgger Bechers

Die Ergebnisse des Reallabors zeigen, dass die lokale Gastronomie mit dem Augsburgger Becher in der Umsetzung der seit 2023 geltenden Mehrwegangebotspflicht unterstützt wird. Zusätzlich können Kostenvorteile entstehen, wenn der hohe Materialeinsatz von Einwegbechern vermieden werden kann. Durch einen Spülservice können auf Gastronomieseite ebenfalls Personal- und Betriebskosten eingespart werden. Diese Punkte können dazu beitragen, eine große Akzeptanz für den Augsburgger Becher zu schaffen. Um ein solches Mehrwegsystem herum können ein neuer Markt, neue Arbeitsplätze und innovative Geschäftsmodelle entstehen.

Der Augsburgger Becher ist ein wichtiger Beitrag zum definierten Ziel der Stadt Augsburg zur „Low-Waste-City“ und ein innovativer Ansatz für eine gelebte Nachhaltigkeit in einer attraktiven Stadt.

Mit der Novelle des Verpackungsgesetzes wurde eine Mehrwegpflicht für 2023 beschlossen: „Ab 2023 werden Caterer, Lieferdienste und Restaurants verpflichtet, auch Mehrwegbehälter als Alternative zu Einwegbehältern für Essen und Getränke zum Mitnehmen und Bestellen anzubieten. [...]“

Abb. 13:
Zeitplan Roll-Out
Augsburger Becher.



Quelle: AWS.

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse aus dem Reallabor wurden genutzt, um den Transfer der Projektidee in die Wirtschaft zu erreichen. Zudem soll das Modell erweitert werden und auf andere Kommunen übertragbar sein. Ein Roll-Out auf die gesamte Innenstadt Augsburg ist geplant.

Mit dem To-Go-Kaltgetränkebecher bestehen erhebliche Potenziale zur Reduzierung des Müllaufkommens insgesamt und der Müllbelastung des öffentlichen Raumes. Die Einführung eines Mehrwegpfandsystems in der Stadt Augsburg hat mehrfachen Einfluss auf die Stadt-Land-Beziehungen. Ein solches System könnte auf die gesamte Region ausgeweitet werden, so dass der Becher sowohl im Stadtgebiet Augsburg als auch in den Landkreisen genutzt werden kann. Festzuhalten ist, dass zahlreiche Nutzer*innen des neu eingeführten Systems aus der Region Augsburg, d.h. auch aus den ländlichen Landkreisen, kommen – es ist somit von einem Transfer zwischen Stadt und Land auszugehen. Nutzer*innen aus den ländlichen Räumen lernen das im Sinne der Kreislaufwirtschaft nachhaltige System kennen, so dass ein

[...] Eine Ausnahme soll es für kleine Betriebe geben [...] mit maximal fünf Beschäftigten und maximal 80 Quadratmetern Verkaufsfläche. Sie sollen ihrer Kundschaft Speisen und Getränke auch in mitgebrachte Behälter abfüllen können. Auf diese Möglichkeit sollen sie ihre Kundschaft deutlich hinweisen.“

Transfer von Erfahrungen und Ideen stattfinden wird. Ein Teil der Becher wird durch das Einbehalten für den privaten Gebrauch dem System verloren gehen. Insgesamt können Impulse von der Stadt in den ländlichen Raum ausgehen. Die Aktivitäten werden auf die ganze Region ausstrahlen. Dies wird hilfreich bei einem Upscaling des Systems in der Region Augsburg sein. Es stellt sich jedoch die Frage, wie ein Transfer des Konzeptes in den ländlichen Raum funktionieren kann (Stadtfeste oder allg. Gastronomie) und wie oder ob das System angepasst werden muss. Es ist geplant, im Rahmen der Umsetzungsphase Antworten auf diese Fragen zu erarbeiten und erste Schritte einer Umsetzung zu erarbeiten.

Eine gute Möglichkeit zur Nutzung und Müllreduzierung bieten dabei auch (Sport-)Großveranstaltungen in der Region, wie etwa das Realexperiment im Rahmen der Kanu-WM 2022 zeigte. Aktuell liegt der Fokus auf der testweisen Einführung eines Mehrwegsystems in der Innenstadt, um damit sowohl Verbraucher*innen als auch Gastronom*innen für das Thema zu sensibilisieren und Erfahrungen für den Aufbau eines dauerhaften Systems zu sammeln.

In einem weiteren Schritt ist es denkbar, die Rohstoffbasis der Kaltgetränkebecher auf biobasierte, regionale Rohstoffe umzustellen, um damit Kunststoffe zu substituieren und die Stadt-Land-Beziehungen im Sinne einer regionalen Kreislaufwirtschaft zu stärken. Dies wird in absehbarer Zeit im großen Maßstab nicht umsetzbar sein, hier besteht noch Forschungsbedarf. Sollte der Becher nach Ende des Lebenszyklus im Sinne einer Verwertung biologisch abbaubar sein, würde dieser als Kompost wieder der landwirtschaftlichen Produktion zugeführt.

5.2 Substitution: Umsetzungskonzept für kreislaforientierte Wertschöpfungsketten eines Biokunststoffs und eines alternativen Grundstoffes auf NawaRo-Basis

Die Substitution von Kunststoffen aus Biokunststoffen ist ein wichtiges Ziel des Projekts. Vor allem wenn eine ganzheitliche Betrachtung der Zielprodukte angestrebt wird, ist dies wichtig. Als Zielprodukte wurden Kaltgetränkebecher (siehe Kapitel 5.1), Isolierboxen und Bioabfallbehälter in den Fokus genommen.

Im Projekt wurden neben Werkstoffcharakterisierungen und -optimierungen auch bioökonomische Potenzialanalysen sowie Ökobilanzierungen durchgeführt (ökologisch, ökonomisch und sozial: LCA, LCC, SLCA). Eine besonders geringe Verfügbarkeit von Literatur- und Primärdaten wurde festgestellt, was sich auch durch diese Studie verbessern soll. Die im Projekt erarbeitete Rohstoffdatenbank (siehe Kapitel 3.2) diente als Basis für die Bewertung von möglichen Biosubstituten im Stadt-Land-Kontext der Region Augsburg.

Aufbauend auf bereits vorliegenden Abfallanalysen und den darin am häufigsten vorkommenden Kunststofffraktionen wurden drei Biokunststoffsubstitute ausgewählt und anschließend hinsichtlich der Recyclingfähigkeit untersucht. Zusätzlich wurden Sortiersuche durchgeführt und die Abbaubarkeit der ausgewählten Biokunststoffe charakterisiert. Um den Anspruch auf Regionalität des Werkstoffs zu erfüllen, wurden regional verfügbare Cellulosefasern in einem ausgewählten Biokunststoff eingearbeitet. Dazu wurde ein recyclingfreundlicher, biobasierter Haftvermittler aus regionalen Quellen entwickelt.

Cellulose ist Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände und gleichzeitig ein Polysaccharid.

Nach Festlegung des ersten Zielproduktes „Augsburger Becher“ wurden zwei Kunststoffsysteme identifiziert. Eines bedient die Anforderungen des genannten Zielproduktes und das andere die Anforderung zur Nutzung regionaler Rohstoffe, das in Form eines anderen Produktes realisiert werden kann. Eine Nah-Infrarot (NIR)-Sortierungsanalyse der Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie (IWKS) hat gezeigt, dass gefüllte Kunststoffe gut voneinander getrennt werden können.

Für den Untersuchungsrahmen der durchgeführten Ökobilanzierung wurde Cradle-to-Grave gewählt. Für das Zielprodukt wurde die funktionelle Einheit als „Bereitstellung eines 400-ml-Mehrwegbechers für Kaltgetränke für 15 Anwendungen“ definiert. Als Referenz dienten zwei Einweggetränkebecher aus beschichteter Pappe und Polyethylenterephthalat (PET). Die Ökobilanz hat gezeigt, dass die nachhaltige Wirkung der Mehrwegbecher bereits ab der vierten Anwendung einsetzt. Das zweite Produktsystem, das dabei untersucht worden ist, war die „Isolierfunktion einer 22-Liter-Box“. Die Substitution eines expandierten Polystyrols (EPS)-Isolierbox durch eine Strohbox hat in allen relevanten ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten Vorteile. Nachfolgend wird auf die einzelnen Punkte im Detail eingegangen.

5.2.1 Ausgangslage und Grundmaterialien

Zunächst wurde ein Vorgehensmodell erarbeitet und umgesetzt, um zu prüfen, welche ökologischen, ökonomischen und sozialen Potenziale gehoben werden können, wenn konventionelle Produktsysteme durch biogene/regionale substituiert werden.

Im Kapitel 3.2 wurde bereits das bioökonomische Potenzial der Region dargestellt. Die Datenbank richtet sich vor allem an regionale Akteure, die biobasierte Produkte auf Basis von landwirtschaftlichen Reststoffen herstellen. Sie bietet damit die Grundlage für die Bewertung der Skalierbarkeit biobasierter Produkte und zeigt, welche fossilen Produkte im Stadt-Land-Kontext Augsburg zukünftig substituiert werden können.

Als methodische Grundlage dient die LCSA (siehe Erklärung in Kapitel 1.4). Zur Einordnung in den wissenschaftlichen Diskurs sowie zur Validierung der getroffenen Modellannahmen war eine Literaturrecherche essenziell, die vor allem vergleichbare LCA-Studien zu den untersuchten Produkten lieferte. Zu LCC und S-LCA führte die Suche für die betrachteten Produkte jedoch nur zu wenigen relevanten Treffern. Die Methodik des LCSA bietet einen guten Anhaltspunkt zur quantitativen Bewertung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen. Insbesondere die ökologischen Ergebnisse aus der LCA sind als sehr valide einzustufen. Bei LCC und SLCA ist die Verfügbarkeit von Primärdaten eingeschränkter, weshalb LCC- und SLCA-Ergebnisse eine geringere Aussagekraft besitzen.

Sowohl LCA- als auch LCC- und SLCA-Ergebnisse verdeutlichen dennoch, dass durch die Kreislaufführung von Produkten ökologische, soziale und gesellschaftlich-ökonomische Potenziale der Nachhaltigkeit gehoben werden können. Für das Vorgehen ist die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens für alle Methoden und Produktsysteme identisch, da nur so die Vergleichbarkeit zwischen ihnen gewährleistet ist. Der Untersuchungsrahmen ist Cradle-to-Grave mit einem geographischen Fokus auf der Region Augsburg. Die Methoden LCC und S-LCA werden simultan zur LCA durchgeführt.

Cradle-to-Cradle-Ansatz der Kreislaufwirtschaft – von der Wiege bis zur Wiege – ist ein Prinzip, welches sich an den biologischen Kreisläufen orientiert.

Im Gegensatz dazu beschreibt Cradle-to-Grave den Weg von der Wiege bis zur Bahre, d.h. Rohstoffe werden nach der Abfallverwertung nicht weiter betrachtet.

Die Werkstoffe, die für die Herstellung des Mehrwegbechers entwickelt, getestet und verwendet werden sollen, müssen den Anforderungen der EU-Verordnung 10/2011 zu Plastikmaterialien, die in Kontakt mit Lebensmitteln kommen, erfüllen. Die Rohstoffe müssen zertifiziert und auf der EU-Positiv-Liste aufgeführt sein.

Ausgangslage – Müllanalyse und Matrixvorauswahl

Für die Biokunststoffauswahl wurden Ergebnisse aus Müllanalysen genutzt. Entsprechend den drei am häufigsten vorkommenden Kunststofffraktionen im Restmüll wurden drei Biokunststoffsubstitute von den Projektpartnern Tecnaró (TEC) und dem Institut für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart (IKT) ausgewählt. Die Vorauswahl des Matrixpolymers fiel dabei auf die drei Polymerfamilien, diese sind biobasierte Polyolefine (System = 1), teilweise biobasierte Polyolefine (System = 2) und Biopolyester (System = 3). Hierzu mehr im Kapitel 5.2.3.

Werkstoffanforderungen

Das reGIOfecycle-Konsortium hatte sich dazu entschieden, einen Werkstoff möglichst auf Basis von regionalen Rohstoffen für einen recyclingfähigen oder biologisch abbaubaren Mehrwegbecher für Getränke als mögliches nachhaltiges Endprodukt zu entwickeln und in Augsburg einzuführen. Eine Werkstoffentwicklung für die Verarbeitung zu Bioabfallbehältern wurde ebenfalls diskutiert und als weitere Optionen identifiziert.

Daher und aufgrund weiterer Aspekte wählte Tecnaró die optimale Werkstoffformulierung entsprechend den Parametern Lebensmittelechtheit, Werkstoffstabilität aufgrund der Ansprüche für Mehrweganwendung, geeignete Viskosität bzw. Fließfähigkeit für die Herstellung des Produkts und weitere Eigenschaften, die dem gewünschten optischen Erscheinungsbild entsprechen (Transluzenz), aus. Die ausgewählten Matrixsysteme wurden anschließend dem Institut für Kunststofftechnik (IKT) für weitere Versuche zur Verfügung gestellt.

5.2.2 Nutzungsphase – bilanzielle Analyse

Wie oben schon kurz eingeführt, ist die funktionelle Einheit der LCSA für das Produktsystem Kaltgetränkebecher definiert als „Bereitstellung eines 400-ml-Bechers für den Ausschank einer bestimmten Anzahl an Kaltgetränken“ (im Grundszenario: 15). Im Gegensatz zu den meisten vergleichbaren LCA-Studien liegt dadurch der Fokus auf dem Becher. Hierbei werden als Referenzprodukte zwei Einwegbecher betrachtet (Becher aus Pappe & PET), die durch drei Mehrwegbecher (Becher aus Werkstoffen basierend auf Bio-Polyester, Bio-Polyethylen sowie Polypropylen (PP)) substituiert werden können. Der PP-Becher entspricht dem Augsburger Becher, der während der ersten Projektphase als Mehrwegbecher in Augsburg eingeführt wurde und somit das derzeitige Substitutionsprodukt darstellt. Der Bio-Polyester wird von den Projektpartnern entwickelt; eine vorläufige Rezeptur ist in der Ökobilanzierung abgebildet. Die Weiterentwicklung und -erforschung dieses Bechers und dessen Umweltauswirkungen sollen in der nächsten Projektphase weiter untersucht werden. Im Ergebnis hat die Anzahl der Nutzungszyklen des Produktsystems Kaltgetränkebecher von allen Modellannahmen den größten Einfluss auf die Ergebnisse, denn je häufiger ein Becher wiederverwendet wird, desto besser ist dessen Ökobilanz. Dies ist der Fall, wenn die Auswirkungen der Herstellung, des Transports usw. die Auswirkungen der Nutzung (Spülen) übersteigen. In dem untersuchten Anwendungsfall trifft dies auf alle Indikatoren zu. Alle drei betrachteten Einwegbecher schneiden schlechter ab als die Mehrwegvarianten. Dies ist in Bezug auf CO₂-Äquivalente bereits ab vier Nutzungen der Fall.

Für das Produktsystem Isolierbox ist die funktionelle Einheit definiert als „Isolierwirkung einer 22-Liter-Isolierbox“. Dabei bietet eine Studie von Gallego-Schmid et al., 2019 die Literaturgrundlage. Referenzprodukt ist hier eine Box

Eine Literaturrecherche mit 20 relevanten Treffern ergab bei Mehrweg-Getränkebechern eine mittlere Nutzungsanzahl von 15 Zyklen. Diese Zahl wurde im Verlauf der Auswertung kontinuierlich variiert, um Break-Even-Punkte zwischen verschiedenen Produkten zu ermitteln.

aus fossilem Styropor, mögliches Substitutionsprodukt eine nachhaltige Alternative aus Pappe und Stroh. Das durchgeführte LCSA wird an den noch zu entwickelnden Anwendungsfall des Reallabors angepasst. Bei Substitution der EPS-Isolierbox durch eine Isolierbox aus Stroh können CO₂-Emissionen und Feinstaubbildung eingespart werden. Auch in allen relevanten ökologischen, ökonomischen und sozialen Indikatoren schneidet das Strohprodukt besser ab als die erdölbasierte Variante.

5.2.3 Ergebnisse zur End-of-Life-Phase

Charakterisierung und Optimierung der Sortierfähigkeit

Im Projekt konnten wichtige Erkenntnisse mit Blick auf die mögliche automatische Sortierbarkeit von celluloseverstärkten Kunststoffen gewonnen werden. Es werden häufig Zweifel vorgebracht, dass dies funktioniert. Die Versuche zur Nahinfrarot (NIR)-Sortierung von verstärkten und gefüllten Werkstoffen (Polylactide (PLA) und Polyolefine) in der Sortieranlage (Hersteller Sesotec) zeigten jedoch, dass die Kunststoffarten immer noch gut unterschieden werden können. Die verwendeten Füll- und Verstärkungstoffe zeigten keine negativen Auswirkungen auf die Erkennbarkeit der Basispolymere. Die Veränderung der NIR-Spektren fiel jedoch groß genug aus, um cellulosefaserverstärkte Kunststoffe sowie weitere Kunststoffe mit organischen und anorganischen Füllstoffen individuell voneinander unterscheiden zu können, wie auch von ungefüllten und unverstärkten Kunststoffen. Dies lässt darauf schließen, dass bei entsprechender Konfiguration verbreiteter industrieller Sortieranlagen eine Separation von Objekten mit diesen Inhaltsstoffen aus dem übrigen Kunststoffstrom möglich ist. Damit würden ein hochwertiges Recycling dieser Compounds technisch möglich und eine Kontamination der ungefüllten und unverstärkten Stoffströme verhindert.

Die geplante Optimierung der Sortiertechnologie durch Zusatz eines individuellen NIR-Markers bietet einen Hebel zur Förderung von Kunststoffvarianten der marktüblichen Kunststoffe, die durch die Molmassenverteilung und Additive auf eine gute Rezyklierbarkeit abgestimmt wurden. Eine sortenreine Aufarbeitung würde eine hohe Rezyklat-Qualität ermöglichen. Solche Kunststoffe würden mit einem individuellen NIR-Marker ausgestattet werden.

Charakterisierung der Recyclingfähigkeit

Die Anzahl der Recyclingzyklen wurde vom IKT anhand der Literatur ausgewählt. Die biobasierten und teilweise biobasierten Polyolefine wurden acht Recyclingzyklen unterzogen, die Biopolyester-Typen fünf Zyklen. Nach jedem Zyklus wurden Prüfkörper spritzgegossen und mechanische Prüfungen durchgeführt. Zudem erfolgten außer der mechanischen auch rheologische und thermische Untersuchungen des Werkstoffverhaltens nach Einflussnahme des Recyclingprozesses.

Die Recyclingfähigkeit der Polyolefine 1) und 2) ist wie erwartet besser als die der Biopolyester-Typen aus dem System 3). Von den drei bisher verfolgten Rohstoffsystemen wurde das teilweise biobasierte Polyolefin 2) zunächst aufgegeben, könnte aber aufgrund der mittlerweile gegebenen Verfügbarkeit wieder in Betracht gezogen werden.

Charakterisierung der Abbaubarkeit

Um die am besten geeignete End-of-Life-Möglichkeit für eine Kreislaufwirtschaft zu finden, wurden auch abbaubare Werkstoffe für den Mehrwegbecher in Betracht gezogen. Für Abbauversuche in einer industriellen Kompostieranlage wurden drei Werkstoffe, deren Rohstoffe laut DIN EN ISO 14855 ($T \geq 58 \text{ }^\circ\text{C}$) industriell kompostierbar sind, zur Verfügung gestellt. Alle drei Werkstoffe enthalten Rohstoffe, die Lebensmittelkonformität besitzen. Das Endprodukt, d.h. der Mehrwegbecher, muss vor dem Inverkehrbringen trotzdem einer Prüfung und Zertifizierung unterzogen werden.

5.2.4 Werkstoffoptimierung

Herstellung eines Haftvermittlers und Extraktion von Faserbestandteilen aus Stroh

Cellulose welches für die Materialentwicklung genutzt werden kann, steht aus regional verfügbaren Quellen zur Verfügung. Die Eignung der Fasern zur Materialverstärkung – etwa für einen Biokunststoff – wurde vom IWKS durch Messungen von Faserlänge und Faserdurchmesser bestätigt (L/D-Verhältnis ≥ 10). Für die verstärkende Wirkung ist jedoch weiterhin eine gute Haftung zwischen Faseroberfläche und Polylactide (PLA) wichtig. Die handelsüblichen Haftvermittler (Materialzusätze zur Verbesserung der Haftung) für Cellulose-Verbundwerkstoffe sind nicht biologischer Natur und stammen schon gar nicht aus regionalen Quellen. Im reGIOcycle-Projekt wurden deshalb Mikrocellulosefasern mit einem recyclingfreundlichen Haftvermittler auf Basis von Hemicellulosen aus Nebenprodukten der Lebensmittelindustrie ausgestattet. Alle Einzelkomponenten dieses Materialsystems sind für den Lebensmittelkontakt geeignet. Die Mikrocellulose wurde von einem Lieferanten bezogen, der Buchenholz-Zellstoffe von einem großen süddeutschen Zellstoffunternehmen zu feinen Fasern vermahlt und für Anwendungen in der Lebensmittelindustrie anbietet. Aufgereinigte Cellulose (E 460ii) ist als Zusatzstoff zu Lebensmitteln zugelassen. Die Zulassung des neuen reGIOcycle-Werkstoffverbunds erfordert dennoch die Durchführung einer Reihe von Untersuchungen, deren Umfang von der Zulassungsbehörde vorgegeben wird. Als Rohstoffquelle für den Haftvermittler wurde Apfeltrester eines großen süddeutschen Pektinherstellers verwendet, weil die Technologie zur ressourcenschonenden Extraktion der Vorstufen des Haftvermittlers, der Hemicellulosen, aus diesem Material mittlerweile ausgereift und auf den großtechnischen Maßstab übertragbar ist². Die Extraktion erfolgt mit Heißwasser ohne Zusatz von Chemikalien. Zur Aufreinigung der Hemicellulose wird Alkohol verwendet, der wieder zurückgewonnen wird. Die Hemicellulosen wurden am IWKS entsprechend einem wissenschaftlich publizierten Verfahren³ mit Milchsäure-Oligomeren gepfropft, in einem gängigen Lösungsmittel gelöst und auf den Fasern abgeschieden. Zwei Kilogramm Fasern wurden mit Haftvermittler beschichtet, mit physikalischen Methoden (thermogravimetrische Analyse) charakterisiert und zur Compoundierung mit PLA an das IKT weitergeleitet. Die Anbindung des Haftvermittlers an die Faser ist neuartig⁴, da auf eine kovalente Verknüpfung verzichtet wird. Die bioinspirierte Beschränkung auf physikalische Wechselwirkungen und Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Hemicellulose und Cellulose ermöglicht eine selbstheilende Wechselwirkung an der Grenzfläche nach der Einwirkung starker Scherkräfte

Hemicellulosen sind ein Polysaccharid, der in Biomasse vorkommt (z.B. Zellwände). Die Matrix besteht aus fibrillärer, teilweise kristalliner Cellulose.

² ACS Omega (2022) 7, 16, 13436–13447.

³ Polymer (2011) 52, 4648–4655.

⁴ DE102017211562B4.

(Schlagzähigkeit) und erleichtert die Ablösung des PLA bei der Trennung der Materialien im chemischen Recycling.

Einbringen ausgewählter Additive in die Kunststoffmatrix

Zur Einbringung bzw. zum Compounding ausgewählter Additive in die Kunststoffmatrix wurden geeignete Compoundingparameter durch Vorversuche identifiziert (Temperaturen, Schneckendesign, Zugabemethode wie Position, Anlagentechnik und -aufbau). Dadurch war es möglich, die Verarbeitung an einem herkömmlichen Doppelschneckenextruder ohne Umbaumaßnahmen vorzunehmen. Für die mechanische Werkstoffcharakterisierung und für die gleichzeitige Prüfung der Verarbeitbarkeit des Werkstoffs im Spritzguss wurden Prüfkörper hergestellt.

5.2.5 Entwicklung von Umsetzungskonzepten

Die Evaluierung der Ergebnisse zur Substitution von Kunststoffen ergibt zwei Umsetzungskonzepte.

Umsetzungskonzept 1: Kreislauforientierte Wertschöpfungskette eines Biokunststoffs

Materialseitig kann aufgrund diverser und bereits genannter Aspekte auf Vorhandenes zurückgegriffen werden. Ein Projektpartner hat bereits einen Werkstoff in seinem Portfolio, aus dem bereits im Vorfeld des Projekts im Spritzgussverfahren Becher hergestellt wurden. Dieser Werkstoff ist nachweislich für den Lebensmittelkontakt zugelassen und bringt dadurch den entscheidenden Vorteil, direkt im Projekt reGIOcycle eingesetzt werden zu können. Die langwierige Zertifizierung ist somit an dieser Stelle nicht mehr notwendig. Die Messdaten dieses Werkstoffs für die mechanische und zeitliche Stabilität des Bechers liegen in dem für die Anwendung üblichen Rahmen. Für die Herstellung des Bechers war reGIOcycle mit mehreren Kunststoffverarbeitern in Kontakt. Ein relevanter Aspekt ist hier jedoch zu bewerten: Die Nachhaltigkeit des Materials im Vergleich zu fossilbasiertem PP soll ökobilanziell erfasst werden.

Entsprechend den Ergebnissen aus der angestrebten Optimierung der Sortiertechnologie lässt sich Folgendes ableiten: Es wird vorgeschlagen, in der Umsetzungsphase die Erkennung eines ausgewählten Werkstoffs (vorzugsweise der Werkstoff für eine biobasierte Folgegeneration des Augsburger Bechers) anhand eines kommerziell erhältlichen NIR-Markers zu demonstrieren. Die Compoundierung und Herstellung von Proben (Plättchen) für die Sortieranlage könnte am IKT erfolgen, die Auswahl des Markers und die Sortierexperimente am IWKS.

Umsetzungskonzept 2: Kreislauforientierte Wertschöpfungskette eines alternativen Grundstoffes auf NawaRo-Basis

Als alternativer Grundstoff auf NawaRo-Basis kommt dem Stroh und anderen cellulosereichen Materialien eine besondere Bedeutung zu, sowohl was die zur Verfügung stehenden Mengen als auch die vielfältigen Funktionalisierungsmöglichkeiten anbetrifft. Für die Umsetzungsphase sollen modifizierte Cellulose-Materialien zur Herstellung eines biobasierten Bioabfall-Eimers verwendet werden. Die chemische Modifikation von Mikrocellulose wird am IWKS erfolgen. Dabei werden die Erkenntnisse aus der Forschungsphase zur Verknüpfung

fung der Cellulose mit Hemicellulosen aus Fruchttrester genutzt. Die Verwendung von funktionalisierten Hemicellulosen eignet sich zur Anpassung von Cellulose an diverse Kunststoff-Matrices und lässt sich großtechnisch realisieren.

Als weiteres Vorhaben der Umsetzungsphase im Zusammenhang mit der Materialherstellung soll Folgendes geprüft werden:

- Ein kombiniertes Verfahren aus elektrohydraulischer Vorbehandlung des Stroh und Heißwasser-Extraktion bei erhöhtem Druck im Technikumsmaßstab: Hier soll geprüft werden, ob das Anwendungsspektrum der Haftvermittler aus Fruchttrester auf Landpackprodukte erweitert werden kann. In Zusammenarbeit mit Partnern würden kostengünstige Vorstufen der Haftvermittler (im einfachsten Fall: aufkonzentrierte Rohextrakte aus darauf abgestimmten Heißwasser-Extraktionen) als biologischer Bindemittlersatz in den Landpackprodukten geprüft werden.
- Die Sortieruntersuchungen von Werkstoffen mit Celluloseanteil zeigen, dass die getesteten organischen Füllstoffe das Nahinfrarotspektrum so verändern, dass eine automatisierte Trennung der damit compoundierten Produkte von den nicht compoundierten Produkten möglich ist. Dies sollte in der Umsetzungsphase konsolidiert werden. Hierdurch würde auch eine typenreine Sortierung von Compounds erlaubt, was durch ein hochwertiges Recycling einen ökonomischen und ökologischen Vorteil bedeuten kann.
- Beim Produktsystem der Isolierbox und der daraus zu entwickelnden „Augsburger Kiste“ würde es in der Umsetzungsphase darum gehen, die erstellten LCSA-Modelle an die Bedingungen des Reallabors anzupassen und erneut durchzuführen.

Die bisherigen Forschungsergebnisse zeigen verschiedene potenzielle Möglichkeiten zur Umsetzung auf.

5.3 Optimierung Bioabfallkreislauf: Verminderung von Kunststofffehlwürfen in Biotonnen

Eine Evaluation der Abfallwirtschaftsbetriebe Augsburg (AWS) zeigte, dass die Sortenreinheit des Biomülls besonders in Großwohnanlagen (GWAs) durch Fehlwürfe unzureichend ist. Den größten Anteil der Fehlwürfe in der Biotonne stellen Kunststoffe (z.B. Mülltüten, Babywindeln) dar, was bereits im Jahre 2007 ein Praxisprojekt mit dem BIFA Umweltinstitut Augsburg „Abfalltrennung in Großwohnanlagen“ sowie im Jahre 2018 im Rahmen einer Sortieranalyse von Bioabfall in den Landkreisen festgestellt wurde. Die drei an reGIOcycle beteiligten Abfallwirtschaftsbetriebe haben großen Handlungsbedarf gesehen.

Die Bioabfälle der drei Abfallwirtschaftsbetriebe werden allesamt in der Bioabfallvergärungsanlage der AVA (Abfallverwertung Augsburg) in Augsburg behandelt. Die Kunststoffe müssen aus dem dort gesammelten Biomüll entweder unter zusätzlichem Ressourceneinsatz nachsortiert werden, oder dieser kann keiner höherwertigen Verwertung zugeführt werden (wie der Gewinnung von Biogas oder der Produktion von Substitutionsprodukten). Zudem wird aus dem Biomüll auch wiederverkäuflicher Kompost generiert, der keine Kunststoffanteile enthalten sollte, um Gesundheitsrisiken für Mensch und Natur durch Mikroplastikeintrag zu verhindern. Es ist daher im Interesse der

Stadtgesellschaft und des Projekts, die Kunststofffehlwürfe im Biomüll zu minimieren. Durch die Aufbereitung des Bioabfalls in der AVA bestehen hier Stadt-Land-Beziehungen, zumal bei dem Ansatz zur Optimierung des Bioabfallkreislaufs auch ein Erfahrungsaustausch zwischen Stadt und ländlichem Raum in der Region Augsburg stattfindet.



Foto 3: Kunststofffehlwürfe in einer Biotonne am Drei-Auen-Platz in Augsburg.
Quelle: Maic Verbücheln.

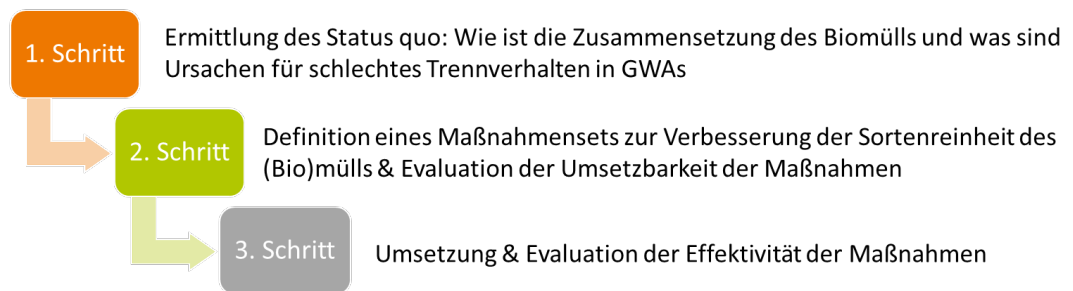
5.3.1 Ansatz zur Optimierung des Bioabfallkreislaufs

Die Idee besteht darin, die Fehlwurfquote im Bioabfall zu minimieren, indem vor allem ein Fokus auf Großwohnanlagen (GWA) in der Region Augsburg gerichtet wird und die Erfahrungen auf andere Wohnanlagen übertragen werden. Erfahrungen hatten gezeigt, dass vor allem in GWA eine besonders hohe Fehlwurfquote vorliegt. In diesem Zusammenhang wurde entschieden, das Instrument des Citizen Innovation Lab als gesellschaftliches Reallabor zu nutzen, da hier vor allem die Mitwirkungen lokaler Akteure wie Bürger*innen oder Hausverwaltungen und Hausmeister*innen eine große Rolle spielen. Methodisch baut es auf einem Reallaboransatz der Stadtplanung auf, um die Zivilgesellschaft lokal am Ort des Geschehens in Prozesse zu integrieren und eine Partizipation zu ermöglichen.

5.3.2 Vorgehen zur Umsetzung der Projektidee

Für die Umsetzung wurde das Instrument des Citizen Innovation Lab ausgewählt. Im Vordergrund stand die Frage: „Wie lassen sich die Kunststoff-Fehlwürfe im Biomüll von Großwohnanlagen minimieren?“. Zur Umsetzung wurde die in Abb. 14 dargestellte Vorgehensweise gewählt.

Abb. 14:
Vorgehensweise bei der Entwicklung eines Konzepts zur Minimierung der Kunststoffanteile im Biomüll von GWA.



Quelle: Universität Augsburg.

Um die Akteure aus der Zivilgesellschaft zu erreichen, wurden Methoden der empirischen Sozialforschung eingesetzt, wie etwa leitfadengestützte Interviews, Fragebögen und Workshops. Insbesondere wurden Interviews mit Bürger*innen durchgeführt. Ziel waren eine Integration von Ideen aus der Zivilgesellschaft ins Projekt und eine Motivation der Bürger*innen für die nachhaltige Entwicklung in der Region.

Für die weitere Ausarbeitung der Ergebnisse wurde die Delphi-Methode ausgewählt (Expert*innenbefragung). Ziel war es, das regionale Innovationspotenzial zu evaluieren und mögliche Ansatzpunkte zur Schließung regionaler Kreisläufe zu identifizieren. Des Weiteren sollte eine Offenlegung von Substitutionspotenzialen auf regionaler Ebene für Produkte und Systeme im Kontext der Vermeidung, Substitution, Sammlung, Sortierung und des Recyclings von konventionellen Kunststoffen erreicht werden. Zudem wurde eine spezifische Befragung zum konzipierten System als Gruppendelphi mit diversen Stakeholdern durchgeführt (Rückkopplung mit Bürger*innen und Hausmeister*innen/Hausverwaltungen). Ziel war es, die Praxistauglichkeit der konzipierten Lösungsansätze und Konzepte zu evaluieren.

5.3.3 Durchführung des Citizen Innovation Lab

In enger Absprache mit den Abfallwirtschaftsbetrieben wurden repräsentative Großwohnanlagen (GWA) in der Region Augsburg ausgewählt. Die Auswahl umfasste GWA, in welchen nach Informationen des AWS und der Abfallwirtschaftsbetriebe der Landkreise Mängel hinsichtlich der Sortenreinheit des Biomülls vorherrschen. Insgesamt vier geeignete Anlagen wurden in der Stadt Augsburg (Oberhausen Ulmenhof und Oberhausen Drei-Auen-Platz), im Landkreis Aichach-Friedberg (St. Helena Weg) und im Landkreis Augsburg (Gersthofen, Römertor) identifiziert.

Ermittlung des Status quo durch Analyse in Großwohnanlagen

Um eine Verbesserung der Sortenreinheit des Biomülls zu erreichen, wurden in einem ersten Schritt der Status quo in der Großwohnanlage evaluiert und Gründe für die unzureichende Trennung identifiziert. Die These war, dass mögliche Gründe ein fehlendes Bewusstsein, fehlendes Interesse, Wissensdefizite bezüglich korrekter Mülltrennung sowie eine schlechte Infrastruktur sind.

Um oben genannte Fragestellungen zu klären, wurde die Situation vor Ort evaluiert. Zunächst wurden die Wohnanlagen besichtigt und Expert*innengespräche mit den Hausmeister*innen der Großwohnanlagen durchgeführt, um Hintergrundinformationen zur Situation in den jeweiligen Wohnanlagen zu erhalten. Hausmeister*innen sind „die Experten“ vor Ort, diese wissen

nicht nur die Bewohnerschaft einzuschätzen, sie kennen sich auch am besten mit den Verhältnissen und Strukturen in den GWAs aus (Kreibe et al., 2007).



Foto 4: Befragung der Anwohner*innen im „Ulmenhof“ zur Optimierung des Bioabfallkreislaufs. Quelle: Maic Verbücheln.

Im Anschluss daran wurden Vor-Ort-Befragungen der Anwohner*innen durchgeführt. Diese dienten dazu, Gründe für das schlechte Trennverhalten zu identifizieren. Ein theoretisches Modell, welches für das Verständnis des Mülltrennungsverhaltens weit verbreitet ist, ist die „Theory of planned behavior“ (Stoeva & Alriksson, 2017). Hierbei geht es um das Zusammenspiel aus Motivation, also der Absicht des Einzelnen, ein bestimmtes Verhalten auszuführen, und Faktoren, die außerhalb der Kontrolle der Person liegen und die Ausführung des beabsichtigten Verhaltens verhindern könnten. Eine soziale Studie mittels Fragebögen ist eine geeignete Methode, um Informationen zur Einstellung zum Trennen und äußeren Faktoren zu erhalten (Karim Ghani et al., 2013). Dementsprechend wurden im Rahmen des Citizen Innovation Lab ein Fragebogen vorbereitet und mit den Anwohner*innen Leitfadeninterviews zu den Themenblöcken zentrale Einstellung zum Thema Mülltrennung, Wissen über das Trennen, Erreichbarkeit der Mülltonnen und sozioökonomische Daten durchgeführt. Der konzipierte Fragebogen und das Studiendesign wurden vorab in einem Pre-Test in einer Wohnanlage in Augsburg-Oberhausen getestet. Zusätzlich fanden in den GWAs visuelle Abfallanalysen der Biotonnen statt, um die Müllzusammensetzung und Beschaffenheit und Menge der Fehlwürfe genauer zu beleuchten.

5.3.4 Ergebnisse des Citizen Innovation Lab

Die Ergebnisse aus den Befragungen wurden folgendermaßen schriftlich aufbereitet: (1) Beschreibung der Großwohnanlagen, (2) Beschreibung des Müllsammelplatzes, (3) Qualitative Ergebnisauswertung, (4) Quantitative Ergebnisse in Übersichtsdarstellung und (5) Freitexte für Angaben zu möglichen Optimierungen. Zusammenfassend konnten aus der Befragung folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Kritikpunkte wurden weniger bezüglich des Trennsystems geäußert, sondern eher an der individuellen Nutzung der Bürger*innen an sich. Schlechtes Trennverhalten aus Bequemlichkeit überwiegt – so die Feststellung.

- Diverse Schuldzuweisung erfolgten: „die Kinder, die Alten, die anderen, die ausländischen Mitbürger*innen, die deutschen Mitbürger*innen“.
- Das Trennsystem ist den meisten bekannt und auch verständlich. Es liegt vermutlich kein Wissensdefizit vor.
- Die Mülltonnen sind meist gut zu erreichen und frei zugänglich.
- Mögliche Maßnahmen je GWA sind z.B. Wiederaufnahmen einer breiten Öffentlichkeitsarbeit und von Kampagnen, um „die heutige Jugend“ wieder mitzunehmen und Interesse zu wecken für ein besseres Trennverhalten.

Im Nachgang der Ergebnisauswertung wurden im Rahmen der Delphi-Methode Maßnahmen für die Umsetzung abgeleitet. Ein Maßnahmenset zur Verbesserung der Sortenreinheit wurde erarbeitet. Dabei spielte auch die Umsetzbarkeit der Maßnahmen eine große Rolle. Hierzu wurde ein Expert*innen-Delphi umgesetzt. Ziel war es, basierend auf den Erkenntnissen der vorangegangenen Befragung der Bürger*innen, geeignete Maßnahmen zur Verbesserung des Trennverhaltens zu identifizieren und priorisieren. An dem Workshop nahmen neben den beteiligten Akteuren aus dem reGIOcycle-Vorhaben auch Externe teil. Mögliche Lösungsansätze für die Optimierung der Bioabfallsammlung – und Reduzierung des Plastikanteils – wurden auf einem Miro-Board (Ideenspeicher) gesammelt und geclustert. Die Maßnahmen und Lösungsansätze wurden nach Wirkung und Umsetzbarkeit eingeordnet. Ebenfalls wurden zentrale Probleme bei einer möglichen Umsetzung diskutiert und festgehalten. Im Nachgang des Expert*innen-Delphi wurde ein zweiter interner Workshop zur weiteren Priorisierung der Lösungsansätze durchgeführt. Er fand in virtueller Form statt.

In Übers. 2 sind die Lösungsansätze, geordnet nach „Wichtigkeit“ und „Durchführbarkeit“, dargestellt. Insgesamt sind folgende Kategorien zu finden: Öffentlichkeitsarbeit, Bereitstellung von Alternativvorschlägen, Sanktionen und kleinere Systemanpassungen.

Übers. 2:
Maßnahmen zur Minimierung von Fehlwürfen in Biotonnen.

Hohe Wichtigkeit, sehr leichte Durchführbarkeit	Hohe Wichtigkeit, leichte Durchführbarkeit	Mittlere Wichtigkeit, leichte Durchführbarkeit
<ul style="list-style-type: none"> • Aufklärung über Nichtverwertbarkeit von kompostierbaren Plastiktüten • Jugendarbeit z.B. auf Festivals • Aufklärung über Wichtigkeit des Trennens • Benefits für die Umsetzenden darstellen • Mülltonnen nicht abholen • Bereitstellung von BiOTONis (Vorsortierbehälter für die Küche) • Entsorgungsbroschüre • Tipp: Zeitung für Tonnenboden im Winter verwenden, Küchenkrepp, Bäckertüte anstatt von Plastiktüte verwenden 	<ul style="list-style-type: none"> • Kostenanreize • Restmülltonne statt Biotonne • Institutionelle Kontrolle • Müllsheriffs • Metalldetektoren • Verhinderung der Anonymität durch soziale Kontrolle • Separate Tonnen pro Hauseingang • Private Nachsortierung • Sammelstellen (offen oder abgeschlossen gestalten) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kleine Eimer an die Biotonne anhängen, für Kunststoffabfälle • Aufstellung der Tonnen optimieren, z.B. gelbe und schwarze Tonne und Biotonne dazwischen (damit Plastiktüte einfach separat entsorgt werden kann) • Wechselnde Aushänge für Aufmerksamkeit durch Abwechslung • Infoschilder auf Sammelplätzen

Quelle: Difu.

Rückkopplung des identifizierten Maßnahmensets mit Bürger*innen, Hausmeister*innen und Hausverwaltungen

Die identifizierten Maßnahmen wurden durch Fokusgruppengespräche im Sinne eines Reallabor-Ansatzes hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit und Effektivität evaluiert. Zunächst wurde ein Workshop mit den Hausverwaltungen und den Hausmeister*innen durchgeführt, um die Maßnahmen vorzustellen und zu diskutieren. Ebenso wurde Kontakt zu den Anwohner*innen der GWAs aufgenommen, die sich in den vorangegangenen Vor-Ort-Befragungen bereit erklärt hatten, an der Diskussion des Maßnahmensets mitzuwirken (Fokusgruppen). Dazu wurden die untersuchten GWAs erneut besucht und den Anwohner*innen die Maßnahmen vorgestellt.

Anschließend wurden die Maßnahmen, deren Umsetzbarkeit und Wirkungspotenzial in der Gruppe diskutiert, um so Ideen aus der Zivilgesellschaft in das Projekt aufzunehmen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Diskussionen wurde das Maßnahmenset erneut überarbeitet und für jede Anlage individuell adaptiert. Letztendlich wurde die Umsetzbarkeit der Maßnahmen mit Hausmeister*innen und Hausverwaltung diskutiert. Als Haupttreiber für die Fehlwürfe konnten in dem Workshop einige Probleme und den damit verbundenen Herausforderungen identifiziert werden. Anhand dessen können folgende Maßnahmen abgeleitet werden:

- Vorsortierbehälter für die Küche (z.B. BiOTONi) und zusätzliche Informationen – Bereitstellung von Vorsortierbehältern für die Küche oder Papiertüten (Zielgruppe: Rentner*innen u.a., die unmittelbar danach wieder zurück ins Haus laufen)
- Hinweisschilder auf den Tonnen, z.B. „Kein Plastik in die Biotonne“ (Zielgruppe: alle)
- Ergänzung der bestehenden Hinweisschilder (z.B. Schilder auf Englisch, mehr Bilder/Fotos, weniger Text) (Zielgruppe: alle)
- Bereitstellung von Informationen z.B. durch Sticker (Zielgruppe: alle)
- Sensibilisierung der „jungen Bewohner*innen“ (konkret im Kindergarten und in der Schule, Workshops mit jungen Eltern, Aktion im Sommer) (Zielgruppe: u.a. Kinder)
- Finanzielle Sanktionen oder Gutschriften über JobCenter, AWS und Stadt (Zielgruppe: u.a. Arbeitsuchende)
- Workshops/Besichtigung der Abfallverwertungsanlage Augsburg (AVA) (Zielgruppe: u.a. Jugendliche)
- Das neue Maßnahmenset verdeutlicht, dass für verschiedene Zielgruppen individuelle Maßnahmen umgesetzt werden müssen. Es ist vorgesehen, in der Umsetzungsphase des Projekts verschiedene Maßnahmen in den GWAs gemeinsam mit den Abfallwirtschaftsbetrieben umzusetzen. Zudem wird diskutiert, den Anwohner*innen Sammelbehälter für Bioabfall (für die Küche) anzubieten, die im Rahmen von reGIOfecycle aus nachwachsenden Rohstoffen entwickelt wurden (siehe Kapitel 5.2).

6. Handlungsempfehlungen aus der Forschungsphase

Die aus dem Projekt reGIOcycle abgeleiteten und hier aufgeführten Handlungsempfehlungen beziehen sich auf inhaltliche, organisatorische, technische und prozessuale Themenfelder.

- Bei der Antragstellung von Forschungsprojekten ist bereits eine stärkere Fokussierung notwendig. Mitunter kann es sinnvoll sein, mehrere kleine Projekte anzugehen, anstatt ein großes, breit aufgestelltes Projekt umzusetzen.
- Eine regionale Analyse der möglichen Ansatzpunkte, auf Stoffströme einzuwirken, ist notwendig, da die Möglichkeiten der regionalen Akteure von Region zu Region unterschiedlich sind. Ebenso ist die Akteurslandschaft regional unterschiedlich.
- Ziel sollte es sein, Produkte möglichst lang in der Nutzungsphase zu halten.
- Kunststoffe werden global gehandelt, weshalb es wahrscheinlich ist, dass Produktion und Entsorgung über den regionalen Bereich hinausgehen. Es sollte die Frage geklärt werden, an welchen Punkten es Sinn macht, einen regionalen Markt aufzubauen.
- Eine frühzeitige Akteursanalyse unter Einbeziehung der Zivilgesellschaft, Politik und Unternehmen ist wichtig. Die Akteure müssen bei den einzelnen Projektschritten mitgenommen werden – dies ist zeitaufwändig, erleichtert jedoch die Umsetzung.
- Akteure der Stadt (z.B. Büro für Nachhaltigkeit) sollten stärker mit einbezogen werden, evtl. können mit Drittmitteln in den Kommunen Anreize geschaffen werden, damit diese Akteure bei der Umsetzung aktiver mitwirken.
- Es sollte eine Prüfung durchgeführt werden, welche Stoffströme den höchsten Wirkungseffekt besitzen bzw. wo große Einsparpotenziale vorliegen (z.B. Kunststoffe in der Bauwirtschaft).
- Die „low hanging fruits“ sollten angegangen werden, auch wenn die Potenziale nicht so riesig sind (z.B. Stadtmarkt), um ins Handeln zu kommen und Erfolgserlebnisse zu generieren.
- Kunststoffkreisläufe sind sehr vielfältig, und es gibt verschiedenste vorliegende Ansatzpunkten – eine frühzeitige Festlegung auf ausgewählte Stoffströme ist sinnvoll.
- Rezyklate werden bei Produzent*innen und Konsument*innen weniger akzeptiert als primäre Ausgangsmaterialien. Es bestehen Vorbehalte bezüglich ihrer qualitativen und technischen Eigenschaften, hier ist Aufklärungsarbeit zu leisten bzw. es sind Anreize zu schaffen.
- Die Akteure müssen den Mut besitzen, neue Konzepte zu entwickeln und diese auch umzusetzen (z.B. Augsburger Becher).
- Rechtliche Vorgaben/Normen erschweren die Optimierung von Kreisläufen, z.B. Lebensmittelkonformität bei Kunststoffen aus Recyclingmaterial (RC) oder NaWaRo. Eine Zulassung ist zeitaufwändig.

- Ebenso ist das Ende der Abfalleigenschaft von Kunststoffen zu nennen; für die Schließung von Kreisläufen bzw. die Vermarktung von Materialien ist es eine Herausforderung, wenn diese auch nach Aufbereitung weiter im Abfallregime verbleiben bzw. Anwendungsbereiche ausgeschlossen werden.
- Auf Bundesebene sollten steuerliche Anreize für eine biobasierte und in Hinblick auf Stoffkreisläufe optimierte Wirtschaft entwickelt werden.
- Auf der technischen Ebene ist sehr viel möglich (z.B. Füllstoffe auf Basis von Cellulose). Es müssen jedoch neue Geschäftsmodelle für die Umsetzung von u.a. closed-loop-Konzepten aufgebaut werden.
- Nicht alle Abfälle lassen sich vermeiden, und auch biobasierte Kunststoffe müssen einer sachgemäßen und möglichst nachhaltigen Verwertung zugeführt werden.
- Die öffentliche Beschaffung muss als Handlungsmöglichkeit/Hebel geprüft werden (z.B. biobasierte Produkte, Pfandsysteme).
- Die Prüfung und Kontrolle zum Beispiel der Mehrwegangebotspflicht in Kommunen ist wichtig, um Mehrwegsysteme und andere Maßnahmen zu untermauern.
- Die Anpassung von Sammel- und Entsorgungswegen von „neuen“ Produkten sollte geprüft werden. Beispielsweise ist die Biotonne schnell durch biologische Verpackungen, z.B. Strohverpackungen, voll.
- Wichtig ist auch, die Gesellschaft besser aufzuklären. Noch immer gibt es viele Fehlwürfe in Abfallbehältnissen. Bei der Öffentlichkeitsarbeit sollte auf die Zielgruppen geachtet werden.
- Gegenüber Biokunststoffen gibt es Vorbehalte der Verwerter, hier sind eine Diskussion und Aufklärung notwendig.
- Das „Henne und Ei“-Prinzip ist bei Recyclingprodukten eine Herausforderung für den Markt. Kommunen besitzen eine Marktmacht, die es zu nutzen gilt.
- Aktuell herrscht eine Knappheit der Rohstoffe auf dem Recyclingmarkt, z.B. werden gesammelte PET aus Flaschen in der Kleidungsindustrie eingesetzt.

7. Fazit

Das Projekt reGIOcycle läuft in der Umsetzungsphase noch bis Anfang 2025, weshalb in diesem Band nur ein Fazit der Forschungsphase gezogen werden kann. Ziel der Forschungsphase war es, Ansätze für die Transformation der linearen Abfallwirtschaft am Beispiel von Kunststoffen hin zu einem wirklichen zirkulären Wirtschaften im Raum Augsburg aufzuzeigen. Im Projekt wurden zunächst regionale Potenziale für nachwachsende Rohstoffe – unter Berücksichtigung von Nutzungskonkurrenzen, Geschäftsmodellen und Fragen des Landmanagements – untersucht, die als Kunststoffalternativen genutzt werden könnten. Des Weiteren wurden Potenziale für die Optimierung bzw. Schaffung von Kreisläufen identifiziert, indem verschiedene Stoffströme der Region Augsburg in Form von Kreislaufdiagrammen erarbeitet wurden.

In den Kreisläufen wurden die Wege der Stoffströme wie auch die wesentlichen Akteure und Stadt-Land-Beziehungen dargestellt. Es wurde zudem untersucht, welche Kunststoffabfälle in der Region Augsburg über möglichst große Substitutionspotenziale verfügen. Ein System für die Einführung eines Mehrwegbechers wurde erarbeitet und in der Praxis pilothaft erprobt.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Entwicklung von Kreisläufen mit einem Fokus auf Kunststoffe bisher kein prioritäres Themenfeld auf der regionalen Ebene ist und das Projekt „Neuland“ betritt. Kunststoffe sind für die lokale bzw. regionale Ebene nur schwer steuerbare Stoffströme, da diese bei Produktion, Nutzung und Entsorgung global gehandelt werden. Zu sehen ist jedoch, dass Möglichkeitsräume zum Aufbau bzw. zur Optimierung von Kunststoffkreisläufen in der Region Augsburg vorliegen. Regionale Handlungsmöglichkeiten und Stellschrauben, mit denen Kunststoffstoffströme beeinflusst werden können, sind somit vorhanden. Zudem gibt es Potenziale zur Nutzung von NaWaRo für die Substitution von Kunststoffen in der Region. Regionale Wertschöpfung, kurze Transportwege und innovative Recyclingkonzepte sind dabei zentrale Elemente. Die Akteursanalyse ist ein wichtiger Baustein. In diesem Zusammenhang ist die direkte Ansprache Dritter, wie zum Beispiel Hausmeister*innen, Gastronom*innen oder Erzieher*innen, essentiell, um Lösungen vor Ort zu diskutieren und umzusetzen. Vor allem die Kommunen mit ihren Abfallwirtschaftsbetrieben sind ein Schlüsselakteur bei der Umsetzung in die Praxis. Die Einführung des Augsburger Bechers ist bereits weit fortgeschritten, was zeigt, dass der Schritt von der Theorie in die Praxis erfolgreich gestaltet werden kann. Innovationen entstehen hierbei aus der Zusammenarbeit zwischen Kommune, Wirtschaft und Zivilgesellschaft. Langfristige Kommunikation und Aufklärung sind notwendig. Das in der Forschungsphase umgesetzte Vorgehen und auch die genutzten Methoden sind gut auf andere Kommunen bzw. Regionen übertragbar. Es ist geplant, die Ergebnisse aus der Umsetzungsphase in einer weiteren Difu-Veröffentlichung Anfang 2025 zu veröffentlichen.

8. Literatur

- Abraham, I., Becker, G., Born, M., Drews, M., Kehres, B., Krieger, G., Mehndorn, I., Ohde, J., Rehn, S., Richardt, D., Schneider-Kühn, V., Schweitzer, T., Sucher, R., Thärichen, H. & Tiebel, C. (2021). *Was tun gegen Fehlwürfe?* (Information Nr. 102). Berlin. Verband kommunaler Unternehmen (VKU). https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Publikationen/2021/Fehlbefuellung_INFO_102_RZ-WEB_DS.pdf
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. (o.J.). *Nachwachsende Rohstoffe*. <https://www.stmelf.bayern.de/landwirtschaft/nawaro/index.html>
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). (2022). *Bayerischer Agrarbericht 2022: Stoffliche Nutzung*. <https://www.agrarbericht.bayern.de/landwirtschaft/stoffliche-nutzung.html>
- Bertelsmann Stiftung. (2023). *Kommunale Daten für eine innovative Zukunft*. Gütersloh. <https://www.wegweiser-kommune.de/>
- Bertling, J., Bannick, C. G., Barkmann, L., Braun, U., Knoblauch, D., Kraas, C., Mederake, L., Nosić, F., Philipp, B., Sartorius, I., Schritt, H., Stein, U., Wencki, K., Wendt-Potthoff, K. & Woidasky, J. (2021). *Kunststoff in der Umwelt: ein Kompendium*. Berlin. Ecologic Institut. <https://doi.org/10.24406/umsicht-n-624998>
- Bonten, C. (2020). *Kunststofftechnik: Einführung und Grundlagen* (3., akt. Aufl.). Hanser.
- Buhl, C. M., Richter, D. & Peters, R. (2020). *Studie zum Industriestandort Augsburg: Gutachten*. Berlin. VDI/VDE Innovation + Technik. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/bildung_wirtschaft/wirtschaftsfoerderung/kompetenzfelder/Studie_Industriestandort_Augsburg.pdf

- BUND Magazin (2023). Umwelt und Klimaschädlich: Aktuelles. *BUND Magazin*(1), 4. https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/bundmagazin/BUND-Magazin_2023_01.pdf
- Bundesgütergemeinschaft Kompost. (2019). *Kunststoffe in Kompost und Gärprodukten: Herkunft - Bedeutung - Vermeidung* (BGK Information). https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Themen_Positionen/5.3.16_Thema_Kunststoffe_in_Kompost_und_Gaerprodukten_final_2018_12_12.pdf
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (2022). *Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf Böden: Bioabfallverordnung - BioAbfV*. Berlin. <https://www.gesetze-im-internet.de/bioabfv/>
- Der Bundestag (2021). Gesetz zur Umsetzung von Vorgaben der Einwegkunststoffrichtlinie und der Abfallrahmenrichtlinie im Verpackungsgesetz und in anderen Gesetzen: vom 9. Juni 2021. *Bundesgesetzblatt* (31), 1699–1709. http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl121s1699.pdf
- Bundesverwaltungsgericht. (2023, 24. Mai). *Tübingen darf Verpackungssteuer erheben* [Pressemitteilung Nr. 40/2023]. <https://www.bverwg.de/pm/2023/40>
- Chiemgauer Verein. (2023). *Chiemgauer Regiogeld*. <https://www.chiemgauer.info/>
- Donner, S. (2022). *Mikroplastik: Ursachen, Verbreitung und Wirkung*. Infobrief WD 8 - 3010 - 091/21. Berlin. Deutscher Bundestag, Wissenschaftliche Dienste. <https://www.bundestag.de/resource/blob/880118/cfd8399ae3644eb10f8b08d580902b5d/Mikroplastik-data.pdf>
- Eriksen, M., Cowger, W., Erdle, L. M., Coffin, S., Villarrubia-Gómez, P., Moore, C. J., Carpenter, E. J., Day, R. H., Thiel, M. & Wilcox, C. (2023). A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans—Urgent solutions required. *PLoS one*, 18(3), Artikel e0281596. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281596>
- Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe (FNR). (2023). *Marktsituation: Biokunststoff-Markt - Überblick*. <https://biowerkstoffe.fnr.de/biokunststoffe/marktsituation>
- Feit, S. & Muffett, C. (2021). Plastik heizt das Klima an: Klimawandel. In *Plastik Atlas 2019: Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff* (S. 26–27). Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung; Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND).
- Gallego-Schmid, A., Mendoza, J. M. F. & Azapagic, A. (2019). Environmental impacts of takeaway food containers. *Journal of Cleaner Production*, 211, 417–427. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.220>
- 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>
- Heinz, W. (2000). *Stadt & Region - Kooperation oder Koordination? Ein internationaler Vergleich. Schriften des Deutschen Instituts für Urbanistik: Bd. 93*. Kohlhammer.
- Illi, M. & Zangger, A. (2015). *Stadt-Land-Beziehungen* [Version vom 22.04.2015]. Historisches Lexikon der Schweiz (HLS). <https://hls-dhss.ch/de/articles/007881/2015-04-22/>
- Jenner, L. C., Rotchell, J. M., Bennett, R. T., Cowen, M., Tentzeris, V. & Sadofsky, L. R. (2022). Detection of microplastics in human lung tissue using μ FTIR spectroscopy. *The Science of the total environment*, 831, Artikel 154907. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>
- Karim Ghani, W. A. W. A., Rusli, I. F., Biak, D. R. A. & Idris, A. (2013). An application of the theory of planned behaviour to study the influencing factors of participation in source separation of food waste. *Waste management*, 33(5), 1276–1281. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.019>
- Kreibe, S., Schneider, M., Schicker, C., Tronecker, D. & Büttner, E. (2007). *Abfalltrennung in Großwohnanlagen: Ein Projektbericht* (bifa-Texte Nr. 35). bifa Umweltinstitut.
- Priebs, A. (1997). Erfordert die Auflösung der Stadt in die Region neue regionale Verwaltungsstrukturen? In M. Bose (Hrsg.), *Harburger Berichte zur Stadtplanung: Bd. 9. Die unaufhaltsame Auflösung der Stadt in der Region? Kritische Betrachtungen neuer Leitbilder, Konzepte, Kooperationsstrategien und Verwaltungsstrukturen für Stadtregionen*. Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur.
- Schwenn, K. (29. Dezember 1993). Gehört die Zukunft der Regionalstadt? *Frankfurter Allgemeine Zeitung* (FAZ).
- Stadt Augsburg. (2021). *Beschlussvorlage BSV/21/06743: Weiterentwicklung der „Zukunftsleitlinien für Augsburg“*.

- Augsburg. https://www.nachhaltigkeit.augsburg.de/fileadmin/nachhaltigkeit/data/Zukunftsleitlinien_2021/BSV_21-06743>Weiterentwicklung_Zukunftsleitlinien_f%C3%BCr_Augsburg.pdf
- Statista. (2022). *Weltweite und europäische Kunststoffproduktion in den Jahren von 1950 bis 2021*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167099/umfrage/weltproduktion-von-kunststoff-seit-1950/>
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2022, 14. März). 6 Kilogramm mehr Verpackungsmüll pro Kopf im Corona-Jahr 2020: 6,5 Millionen Tonnen Verkaufsverpackungen bei privaten Haushalten eingesammelt [Pressemitteilung Nr. 108]. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/03/PD22_108_321.html
- Stoeva, K. & Alriksson, S. (2017). Influence of recycling programmes on waste separation behaviour. *Waste management (New York, N.Y.)*, 68, 732–741. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.005>
- Umweltbundesamt (UBA). (2023a, 30. Juni). *Kunststoffabfälle*. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewahlter-abfallarten/kunststoffabfaelle#kunststoffe-produktion-verwendung-und-verwertung>
- Umweltbundesamt (UBA). (2023b, 11. Oktober). *Abfallaufkommen*. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#deutschlands-abfall>
- van der Zee, M. & Molenveld, K. (2020). The fate of (compostable) plastic products in a full scale industrial organic waste treatment facility. Wageningen. Wageningen Food & Biobased Research.
- Verbraucherzentrale Berlin. (2022, 12. September). *Zeit zum Aufräumen: Verbraucherzentrale Berlin beteiligt sich am World Cleanup Day* [Pressemitteilung]. <https://www.verbraucherzentrale-berlin.de/presse/pressemitteilung/presse-be/zeit-zum-aufräumen-77073>
- Vlácil, A.-K., Bänfer, S., Jacob, R., Trippel, N., Kuzu, I., Schieffer, B. & Grote, K. (2021). Polystyrene microplastic particles induce endothelial activation. *PLoS one*, 16(11), Artikel e0260181. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260181>
- Wilts, H., Reuter, R., Eckhardt, M., Kölmel, R., Birnstengel, B., Oexle, A. & Lammers, T. (2022). *Erarbeitung eines Kostenmodells für die Umsetzung von Artikel 8 Absatz 2 und 3 der EU-Einwegkunststoffrichtlinie*. Abschlussbericht (Texte 132/2022). Dessau-Roßlau. Umweltbundesamt (UBA). <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erarbeitung-eines-kostenmodells-fuer-die-umsetzung>
- Wunder, S., Wolff, F., Kuhn, S., Burger, A., Giseke, U. & Kasper, C. (2019). *Rural Urban Nexus – Globale Landnutzung und Urbanisierung: Integrierte Ansätze für eine nachhaltige Stadt-Land-Entwicklung*. Abschlussbericht (Texte 138/2019). Dessau-Roßlau. Umweltbundesamt (UBA). <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rural-urban-nexus-globale-landnutzung-urbanisierung>