



ERGEBNISPAPIER

VIERTE ARBEITSGRUPPE DER

NATIONALEN PLATTFORM FÜR RESSOURCENEFFIZIENZ

(NARESS AG 4)

„FORSCHUNGS- UND

INNOVATIONSSTRATEGIE

RESSOURCENSCHUTZ-

TECHNOLOGIE“

2020-2021

Co-Vorsitz:

Naemi Denz, Prof. Dr. Daniel Goldmann

Juni 2021



Inhalt

MANAGEMENT SUMMARY	4
EMPFEHLUNGEN	5
Design kreislauffähiger Produkte	5
Neue Geschäftsmodelle für eine längere Produktnutzung	5
Intelligente Identifikations-, Sammel-, Sortier- und Recyclingtechnologien – Kunststoff/Verpackung	6
Intelligente Sammel-, Sortier- und Recyclingtechnologien – E-Schrott/Batterien	6
Rückgewinnung von Rohstoffen aus Gebäuden und Infrastruktur	7
Übergreifende Fragestellungen der Innovationspolitik	8
ANHANG	9
A. Einleitung	9
1. Koalitionsvertrag für die 19. Legislaturperiode: Forschungs- und Innovationsstrategie Ressourcenschutztechnologie	9
2. Das Dritte Deutsche Ressourceneffizienzprogramm ProgRes III	9
3. Die nationale Ressourceneffizienzplattform NaRes	10
4. Deutsche Forschungs- und Innovationspolitik für Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft	11
5. Querschnittsthema Digitalisierung	11
B. Gegenstand der Strategie: Definition und Abgrenzung von Ressourcenschutztechnologie	15
1. Begriff natürlicher Ressourcen und der Ressourceneffizienz	15
2. Begriff der Circular Economy in Abgrenzung von der Abfallbewirtschaftung	17
3. Abgrenzung/ Flankierung technologischer Entwicklungen	19
Literatur und Quellenverzeichnis zu Abschnitt A und B	20
C. Design kreislauffähiger Produkte	22
1. Einführung, Chancen und Herausforderungen: Design kreislauffähiger Materialien und Produkte	22
2. Mögliche Anknüpfungspunkte für die Fortentwicklung der Förderlandschaft zu Forschung und Innovation im Bereich Ressourcenschutztechnologie	23



Literatur und Quellenverzeichnis zu Abschnitt C.....	29
D. Mögliche Anknüpfungspunkte zur Fortentwicklung der Forschungs- und Innovationsförderung im Bereich neuer Geschäftsmodelle für eine längere Produktnutzung.....	31
1. Neue Geschäftsmodelle für eine längere Produktnutzung.....	31
2. Digitale Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft.....	33
3. Daten, Methoden, Indikatorik zur ökologischen Bewertung neuer Geschäftsmodelle.....	35
4. Soziale Innovationen zur Unterstützung innovativer Geschäftsmodelle der Kreislaufwirtschaft.....	37
Literatur und Quellenverzeichnis zu Abschnitt D	38
E. Mögliche Anknüpfungspunkte zur Fortentwicklung der Forschungs- und Innovationsförderung im Bereich intelligenter Sortier- und Recyclingtechnologien.....	40
1. Kunststoffe/Verpackungen.....	40
2. Elektroschrott/Batterien	45
Literatur und Quellenverzeichnis zu Abschnitt E.....	56
F. Mögliche Anknüpfungspunkte zur Fortentwicklung der Forschungs- und Innovationsförderung im Bereich Rückgewinnung von Rohstoffen aus Gebäuden und Infrastruktur	58
1. Einführung ins Thema.....	58
2. Anthropogenes Lager im Baubestand – Ausgangslage und Chancen der Digitalisierung.....	59
3. Verfahren des Rückbaus von Bauwerken und damit verbundene Verwertungslogistik.....	61
4. Entwicklung von Anlagen und Verfahren der Herstellung sekundärer Baumaterialien	63
5. Einsatz und Hindernisse für (Ersatz-)Baustoffe, die Sekundärmaterial enthalten	64
6. Materialspezifische Anforderungen an Baustoffzyklate.....	66
Literatur und Quellenverzeichnis zu Abschnitt F.....	68
G. Mögliche Anknüpfungspunkte zur Fortentwicklung der Forschungs- und Innovationsförderung im Bereich übergreifender Fragestellungen der Innovationspolitik	71
1. Kurze Einführung ins Thema.....	71
2. Finanzierung innovativer Ressourcenschutztechnologien.....	71



3. Rechtsrahmen für innovative Ressourcenschutztechnologien – Lücken und Hemmnisse.....	73
4. Normen & Standards für Ressourcenschutztechnologien und Rolle für die öffentliche Auftragsvergabe.....	76
Literatur und Quellenverzeichnis	79



Management Summary

Das vorliegende Dokument ist das Ergebnispapier der vierten Arbeitsgruppe der Nationalen Plattform für Ressourceneffizienz (NaRes AG 4), die sich im Zeitraum 2020 – 2021 mit möglichen Elementen einer Forschungs- und Innovationsstrategie für Ressourcenschutztechnologien auseinandergesetzt hat.

Die Aufgabe der Arbeitsgruppe bestand insbesondere darin, zur Förderung der Umsetzung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms III (ProgRes III) Handlungsfelder und Maßnahmen im Bereich von Forschung und Innovation für die Circular Economy in Expertenrunden zu verschiedenen Themenfeldern zu diskutieren und Empfehlungen für die politischen Entscheidungsträger zu erarbeiten.

Circular Economy wird dabei in der weiteren Definition der EU gemäß Mitteilung der EU Kommission vom 2.7.2014 (COM(2014) 398 final) verstanden. Die Definition reicht damit über die engere klassische Kreislaufwirtschaft hinaus.

Zur Abschätzung der Möglichkeiten, Innovationen in der Praxis zu implementieren war es zwingend notwendig, nicht nur Themenfelder zu identifizieren, in denen weitere Forschung erforderlich ist, sondern auch Hindernisse bei der Umsetzung zu identifizieren. Insofern wird an verschiedenen Stellen aufgezeigt, wo rechtliche Hürden bestehen, die die Umsetzung neuer Lösungen in Innovationen erschweren. Der Bericht soll daher an bestimmten Stellen auch als Basis zielgenauer Diskussionen über Zielkonflikte und deren Auflösung dienen.

Da nicht sämtliche Themenfelder des Wirtschaftskreislaufs bzw. aller Produkte und Abfälle abgedeckt werden konnten, erfolgte in Abstimmung mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) eine Fokussierung auf folgende Segmente der Circular Economy:

- Design kreislauffähiger Produkte
- Neue Geschäftsmodelle für eine längere Produktnutzung
- Intelligente Rückführungs-, Sortier- und Recyclingtechnologien für relevante Altprodukte
- Rückgewinnung und Verwertung von Rohstoffen aus Gebäuden und Infrastruktur
- Übergreifende Fragestellungen im Hinblick auf Hindernisse und Maßnahmen für eine
- Innovationspolitik

Bezüglich der betrachteten Produkt- und Materialgruppen erfolgte eine Fokussierung auf

- Kunststoffe im Allgemeinen sowie Verpackungen im Besonderen
- Altprodukte von zentraler Bedeutung im Hinblick auf deren Bedeutung als Sekundärquelle für wirtschaftsstrategische Rohstoffe
- Mineralikdominierte Stoffströme aus dem Bau- und Infrastrukturbereich als größtem Massenabfallsegment

In sieben Workshops (Sitzungen 1, 2, 3, 4a, 4b, 5 und 6) wurde unter Hinzuziehung von Expertinnen und Experten sowie Stakeholdern aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und Nichtregierungsorganisationen und unter Begleitung durch den Projektträger Jülich auf Basis des aktuellen Kenntnisstandes und laufender Fördermaßnahmen herausgearbeitet, welche Maßnahmen für die Zukunft empfohlen werden.

Der 8. Workshop (Sitzung 7) diente in kleinerer Runde der Diskussion der erarbeiteten Ergebnisse.

Eine vollständige Übersicht zu allen erarbeiteten Handlungsfeldern und Maßnahmen ist im Anhang in den Abschnitten zu den entsprechenden Sitzungen (Sitzungen 2 bis 6) zu finden. Die wesentlichen Empfehlungen zu den Handlungsfeldern und Maßnahmen sind im Folgenden genannt:

Empfehlungen

Design kreislauffähiger Produkte

Forschungs- und Innovationsbedarf wird insbesondere zu folgenden Fragestellungen gesehen:

1. Ökobilanzen: Ausrichtung der Methodik auf Circular Economy, Definition eines Basissets an Kennzahlen, Verbesserung der Datengrundlage, Harmonisierung bestehender Datenbestände, Entwicklung von Möglichkeiten, Daten öffentlich zugänglich zu machen insbesondere mit dem Fokus auf die Anwendergruppe KMU
2. Entscheidungstool: Entwicklung eines einfach anwendbaren Entscheidungstools zur Bewertung unterschiedlicher Produkt- und Dienstleistungsdesigns
3. Künstliche Intelligenz: Entwicklung von datenbasierten/KI-basierten Ansätzen im Bereich Ökobilanzierung und Entscheidungstools
4. IT-Systeme: Entwicklung von Ansätzen zur Integration von Daten zu kreislauffähigen Produkten und Dienstleistungen in bestehenden IT-Systemen (wie ERP-Systeme, etc.) mit Fokus auf Anwendungen im Bereich KMU
5. Erarbeitung einer Metastudie „Chancen der Digitalisierung beim Design für die Circular Economy und der Bewertung von Designoptionen“

Bei den geltenden rechtlichen *Rahmenbedingungen* wird folgender Anpassungsbedarf gesehen:

1. Vereinfachung und konsistente Ausgestaltung der Schnittstellen zwischen Chemikalien-, Produkt- und Abfallrecht
2. Klärung datenrechtlicher Fragestellungen wie Eigentum von Daten, Modernisierung des Datenschutzrechtes, Möglichkeiten der Datenweitergabe entlang der Wertschöpfungskette und gemeinsame Nutzungsrechte

Neue Geschäftsmodelle für eine längere Produktnutzung

Forschungs- und Innovationsbedarf wird insbesondere zu folgenden Fragestellungen gesehen:

1. Künstliche Intelligenz: Erforschung des Einsatzes von KI insbesondere vor dem Hintergrund der gemeinsamen Nutzung von Daten, um unter anderem geänderte Konsumentenmuster besser abbilden zu können (Modellierung, Vorhersagen)
2. Ökobilanz: Entwicklung von datenbasierten/KI-basierten Ansätzen im Bereich der Ökobilanzierung
3. Digitaler Zwilling: Erforschung von Möglichkeiten der gemeinsamen Generierung und Nutzung von Daten für digitale Zwillinge, Pilotvorhaben zum digitalen Zwilling
4. Marker/Tracer: Einsatzmöglichkeiten von Markierungssystemen im Bereich Circular Economy insbesondere in Verbindung mit der Etablierung digitaler Zwillinge
5. Studie zu schon bestehenden IT-Infrastrukturen, digitalen Zwillingen und weiteren IT-Tools und deren Möglichkeiten, die Circular Economy in der Praxis (Konsumentenentscheidungen, Bewertungstools, Entscheidungshilfen, Logistikoptimierung, etc.) weiterzuentwickeln

Bei den geltenden rechtlichen *Rahmenbedingungen* wird folgender Anpassungsbedarf gesehen:

1. Weiterentwicklung des Rechtsrahmens für Gebrauchtgeräte sowie gebrauchte Ersatzteile, insbesondere zu Reparatur- und Gewährleistungsfragen aber auch zur Mängelhaftung bei Platform as a Service (PaaS) Modellen. Unterscheidung der Fälle, in welchen ein Eigentumsübergang erfolgt oder nicht.
2. Weiterentwicklung des Rechtsrahmens für Geschäftsmodelle der Sharing Economy, unter Berücksichtigung der Frage der Eigentumsrechte
3. Erforschung der Frage, wie die ökonomische Attraktivität und Wettbewerbsfähigkeit von Geschäftsmodellen der Circular Economy aus der Unternehmensperspektive durch die Anpassung von Rahmenbedingungen gesteigert werden können
4. Standardisierung von Kennzeichnungen und Labels, um eine transparente und vergleichbare Marktaussage für Konsumentinnen und Konsumenten zu ermöglichen

Intelligente Identifikations-, Sammel-, Sortier- und Recyclingtechnologien – Kunststoff/Verpackung

Forschungs- und Innovationsbedarf wird insbesondere zu folgenden Fragestellungen gesehen:

1. Erstellung einer vergleichenden Studie zu verschiedenen Kunststoffkreisläufen und Verwertungsprozessen unter Berücksichtigung aller Nachhaltigkeitsaspekte
2. Erstellung einer Benchmarkstudie zum Einsatz unterschiedlicher Markierungs- und Erkennungstechnologien unter Berücksichtigung des Standes der Technik, der Kosten möglicher Nachrüstungen, ökologischer und weiterer ökonomischer Aspekte
3. Förderung von Pilotprojekten zur Sammlung, Sortierung und zum Recycling bisher schwer sortierbarer und schlecht rezyklierbarer Stoffströme
4. Untersuchung von KI-basierten Ansätzen sowie auf digitalen Zwillingen beruhenden Lösungen zur Optimierung von Kreisläufen für ausgewählte Stoffströme
5. Erforschung der Eignung von Kunststoffadditiven für die Circular Economy und Sustainable Chemistry und entsprechender Designoptionen

Bei den geltenden rechtlichen *Rahmenbedingungen* wird folgender Anpassungsbedarf gesehen:

1. Formulierung von Vorgaben mit dem Ziel, die Materialvielfalt im Verpackungsbereich dort zu reduzieren, wo eine vergleichende Untersuchung der Kosten-Nutzen-Verhältnisse entweder die Materialvielfalt zu reduzieren oder die entsprechenden Recyclingverfahren zu verbessern die Vorteilhaftigkeit derartiger Vorgaben ergeben hat
2. Erteilung eines Auftrages an das Deutsche Institut für Normung (DIN) sowie die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (DKE) zur Erarbeitung von Normen für Qualitätsanforderungen von Sekundärmaterialien
3. Vereinfachung und konsistente Ausgestaltung der Schnittstellen zwischen Produkt-, Chemikalien- und Abfallrecht

Intelligente Sammel-, Sortier- und Recyclingtechnologien – E-Schrott/Batterien

Forschungs- und Innovationsbedarf wird insbesondere zu folgenden Fragestellungen gesehen:

1. Forschungsvorhaben zur Weiterentwicklung der Aufbereitungstechnologien entlang der Wertschöpfungskette insbesondere unter Berücksichtigung der Schnittstelle zwischen Vorbehandlung, Aufbereitung und Metallurgie



2. Untersuchung des Entwicklungspotentials von datenbasierten Aufbereitungsverfahren unter anderem mit dem Ziel der Schadstoffentfrachtung und der Gewinnung qualitativ hochwertiger Sekundärrohstoffe
3. Verbesserung von Erfassungssystemen und -logistik hin zu einem Stoffflussmanagementsystem unter Berücksichtigung des Konsumentenverhaltens mit dem Ziel, die Recyclingmöglichkeiten zu verbessern und die Sammelquote zu erhöhen
4. Studie zum Verbleib von Elektroaltgeräten (EAG) in Deutschland unter Einbeziehung von Altgeräten, die nicht dem Regime der stiftung elektro-altgeräte register (EAR) unterfallen und dem Potential zur Herstellung von Sekundärrohstoffen aus Altgeräten
5. Studie zum Digitalisierungsgrad von Erstbehandlungs- und Aufbereitungsanlagen unter Herausarbeitung von Hemmnissen und Potentialen der Digitalisierung
6. Forschungsvorhaben zur Rückgewinnung höherer Metallqualitäten auch aus weniger komplexen Metallgemischen

Bei den geltenden rechtlichen **Rahmenbedingungen** wird folgender Anpassungsbedarf gesehen:

1. Regelungen zur wirksamen Kontrolle und Marktüberwachung insbesondere bezüglich des illegalen Handels mit Altgeräten
2. Umsetzung der Mitteilungspflichten nach § 30 ElektroG (Elektro- und Elektronikgerätegesetz)
3. Abbau rechtlicher Hürden zur Weiternutzung von Altgeräten oder deren Bestandteilen (z. B. von noch funktionstüchtigen Modulen). Das Kreislaufwirtschaftsgesetz soll um eine eindeutige Regelung ergänzt werden, die Altgeräte aus dem Abfallregime entlassen werden können.
4. Verbesserung der Versicherungsschutzmöglichkeiten für Aufbereitungsanlagen

Rückgewinnung von Rohstoffen aus Gebäuden und Infrastruktur

Forschungs- und Innovationsbedarf wird insbesondere zu folgenden Fragestellungen gesehen:

1. Urban-Mining-Konzept: Entwicklung eines Konzepts u.a. mit folgenden Inhalten: Entwicklung von Scan- und Erkennungsmethoden für das anthropogene Lager, Entwicklung ergänzender Stoffflussmodelle, die aufbauend auf bestehenden Ansätzen eine quantitäts- und qualitätsbezogene Bedarfs- und Einsatzplanung für Sekundärrohstoffrückflüsse aus dem anthropogenen Lager zur integrierten Bewirtschaftung desselben erlauben.
2. Weiterentwicklung von Sortier-, Aufbereitungs-, Recycling- und Verwertungsverfahren für unterschiedliche Baustoffe (Mauerwerksbruch, Ziegelsand, Betonsand, Bodenaushub, Betonbruch, Asphaltbruch) sowie anderer, für den Baustoffbereich geeigneter Sekundärrohstoffe (z. B. Schlacken und Aschen)
3. Forschung zu den Möglichkeiten der Flexibilisierung von Anlagentechnik zur Herstellung von Sekundärrohstoffen aus variablen Einsatzstoffen
4. BIM: Weiterentwicklung des Building Information Modeling (BIM) zu einem Instrument, um auch Informationen zur Kreislauffähigkeit im Sinne langfristig verfügbarer digitaler Zwillinge abbildbar und nutzbar zu machen

Bei den geltenden rechtlichen **Rahmenbedingungen** wird folgender Anpassungsbedarf gesehen:

1. Entwicklung einer Governance-Struktur zur Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers
2. Überarbeitung der rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen, um das anthropogene Lager kreislauffähig zu gestalten



3. Bestehendes Normenwerk, insbesondere für Asphalt, Zement und Beton an die Anforderungen der Kreislaufwirtschaft anpassen
4. Vereinfachung und konsistente Ausgestaltung der Schnittstelle zwischen Produkt- und Abfallrecht

Übergreifende Fragestellungen der Innovationspolitik

Forschungs- und Innovationsbedarf wird insbesondere zu folgenden Fragestellungen gesehen:

1. Erstellung einer Übersicht zu bestehenden Informations- und Berichtspflichten und Entwicklung von Ansätzen die bestehenden Pflichten zu synchronisieren
2. Erstellung einer Studie zur Defragmentierung bzw. Zusammenführung wesentlicher Elemente des Umweltrechts und weiterer rechtlicher Regelungen, die für die Kreislaufwirtschaft relevant sind
3. Erarbeitung von Hilfestellungen für die nachhaltige öffentliche Beschaffung im Sinne der Circular Economy (Green Public Procurement)

Bei den geltenden rechtlichen *Rahmenbedingungen* wird folgender Anpassungsbedarf gesehen:

1. Abbau von Hürden für Kleinanleger, Investoren und Rentenfonds in Start-ups zu investieren
2. Notarielle Beglaubigungspflicht durch blockchainbasierte Möglichkeiten ersetzen oder als Alternative vorsehen
3. Abbau oder Vereinfachung von administrativen Hürden bei Unternehmensgründungen
4. Möglichkeiten, für Reallabore bzw. „Sandboxes“ gesetzlich verankern
5. Moderne Rechtsansätze im Bereich Circular Economy nutzen: „New Legislative Framework“ auch im Umweltbereich etablieren
6. Breite Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen und Anreizsysteme zur Realisierung der Circular Economy. Formulierung von Vorgaben zur Unternehmensberichterstattung sowie Ansätzen im Bereich nachhaltige Investitionen.

Im folgenden Hauptteil des Abschlussberichts werden Diskussionen und Ergebnisse der einzelnen Sitzungen detailliert ausgeführt.



Anhang

A. Einleitung

1. Koalitionsvertrag für die 19. Legislaturperiode: Forschungs- und Innovationsstrategie Ressourcenschutztechnologie

Im Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD für die 19. Legislaturperiode im Kapitel Umwelt findet sich das Bekenntnis zur Entwicklung einer „Nationalen Forschungs- und Innovationsstrategie für Ressourcenschutztechnologie“, die mit der Wirtschaft erarbeitet werden soll:¹ „Wir werden eine „Nationale Forschungs- und Innovationsstrategie für Ressourcenschutztechnologie“ gemeinsam mit der Wirtschaft erarbeiten.“

2. Das Dritte Deutsche Ressourceneffizienzprogramm ProgRes III

Die zweite Fortschreibung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRes III) wurde am 17. Juni 2020 vom Bundeskabinett verabschiedet.² Konkrete Handlungsansätze von ProgRes III zum Thema „Forschung und Innovation“ sind im gleichnamigen Unterpunkt 5.3.4 des Abschnitts „Übergreifende Instrumente“ zu finden. Die geplanten Maßnahmen umfassen:

- 69. Ressourceneffizienz als Kriterium in Programmen zur Förderung von Innovationen verankern
- 70. Forschungsprogramm Nexus Ressourcenschonung und Klimaschutz
- 71. Bewertungsmethoden für Treibhausgasemissionen der primären Rohstoffgewinnung weiter entwickeln
- 72. Forschung und Innovation im Bereich Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ausbauen
- 73. Effizienzsteigerung bei der Holznutzung

Entsprechend der thematischen Ausrichtung der vierten Arbeitsgruppe zur Nationalen Ressourceneffizienzplattform mit der Bezeichnung „Nationale Forschungs- und Innovationsstrategie für Ressourcenschutztechnologie“, die auf das Themenspektrum der ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft (breite Definition, s.u.) fokussierte, knüpften die Arbeiten der Gruppe an weiteren Handlungsfeldern und Maßnahmen von ProgRes III an. Dies betraf insbesondere die Maßnahmen im Unterpunkt 5.2.5 „Kreislaufwirtschaft“ des Abschnitts „Ressourcenschutz in Wertschöpfungsketten und Stoffkreisläufen“ unter:

- 5.2.5.1 Abfallvermeidung
- 5.2.5.2 Wiederverwendung und Vorbereitung zur Wiederverwendung
- 5.2.5.3 Verwertung von Abfällen
- 5.2.5.4 Nachhaltiges Management des anthropogenen Lagers

Eine Entschließung des Bundestages zu ProgRes III ist bis zum Redaktionsschluss noch nicht erfolgt, aber für 2021 geplant.

¹ CDU, CSU, SPD (2018), S. 140, Zeilen 6602 - 6604

² BMU (2020a)



3. Die nationale Ressourceneffizienzplattform NaRes

Die „Nationale Plattform Ressourceneffizienz“ (NaRes) wurde 2013 zur Koordinierung der Umsetzung und Unterstützung der Fortentwicklung der deutschen Ressourcenpolitik mit den Wirtschaftsverbänden eingerichtet.³ Verschiedene Bundesressorts sowie Vertreterinnen und Vertreter der Bundesländer unterstützen die Plattform im Rahmen ihrer jeweiligen Zuständigkeit. Die Federführung liegt beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). In 2015 wurde der Kreis der Teilnehmenden über die Wirtschaftsverbände hinaus noch um Organisationen aus den Bereichen der Umwelt- und Verbraucherschutzverbände sowie Gewerkschaften und kommunalen Spitzenverbände erweitert. Ende 2020 bestand die NaRes aus einem Teilnehmerkreis von rund 40 Institutionen. Sie bietet über halbjährlich statt findende Sitzungen Gelegenheit zum Austausch zu aktuellen Fragestellungen der deutschen Ressourcenpolitik und gesellschaftlicher Entwicklungen hierzu.

Um die Arbeit der NaRes bezogen auf Kernaspekte der Ressourcenpolitik noch stärker zu unterstützen und Fortschritte voran zu treiben, hat das BMU 2020 damit begonnen, in enger Abstimmung mit den übrigen Beteiligten Arbeitsgruppen einzusetzen, die es den Mitgliedern der NaRes ermöglichen, sich mit ihrer Expertise und ihrem Anwendungswissen konstruktiv in die Umsetzung und Fortentwicklung der deutschen Ressourceneffizienzpolitik einzubringen. Die interdisziplinäre und institutionenübergreifende Vernetzung und aktive Zusammenarbeit gesellschaftlicher Akteurguppen ist ein erprobtes Mittel zur Identifikation nachhaltiger Vorgehensweisen als Grundlage für den gesellschaftlichen Fortschritt.

Aufgabe der vierten Arbeitsgruppe der NaRes (NaRes AG 4) mit der Bezeichnung „Nationale Forschungs- und Innovationsstrategie für Ressourcenschutztechnologie“ war die Begleitung und Förderung der Umsetzung von ProgRes III sowie die Diskussion und Erarbeitung von Empfehlungen in Bezug auf Handlungsfelder und Maßnahmen des Programms im Bereich der Förderung von Forschung und Innovation für die Kreislaufwirtschaft (im weiteren Sinne).

Dieses Ergebnispapier ist als „Experten-Empfehlung“ zu verstehen, in der die in der jeweiligen Sitzung besprochenen Punkte neutral wiedergegeben sind. Es stellt kein politisches Positionspapier der NaRes AG 4 dar. Ziel war die Entwicklung fachlich fundierter Vorschläge für mögliche Schwerpunkte einer Forschungs- und Innovationsstrategie Ressourcenschutztechnologie. Der Diskussionsrahmen ist inhaltlich durch eine breite Definition der Kreislaufwirtschaft (im Sinne der Circular Economy, s.u.) sowie durch die in ProgRes III niedergelegten Handlungsfelder definiert. Hinweise auf eventuelle rechtliche oder politische Aspekte sind z. T. am Rande mit adressiert, stehen aber bewusst nicht im Vordergrund.

Die Arbeit der Gruppe wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) durchgeführt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie dem Projektträger Jülich (PtJ) mit begleitet. Ferner wurde die Arbeit durch das Projekt „PolRes III – Analyse und (Weiter-)Entwicklung von Umsetzungsmechanismen und Politikansätzen zur Stärkung und Aufwertung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms ProgRes“ mit begleitet. Den zahlreichen unterstützenden Expertinnen und Experten aus der NaRes und darüber hinaus wird herzlich für ihre Mitarbeit in der Gruppe gedankt. Dies gilt insbesondere auch für die beiden ehrenamtlichen Co-Vorsitzenden, Naemi Denz (STEINERT GmbH) und Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann (TU Clausthal), die sich in besonderer Weise um den Erfolg der Gruppenarbeit und die substanziellen Arbeitsergebnisse verdient gemacht haben.

³ BMU (2020b)



4. Deutsche Forschungs- und Innovationspolitik für Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft

Der forschungspolitische Rahmen im bearbeiteten Themenfeld ist gegeben durch das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm III (2020),⁴ die Hightech Strategie 2025 (2018)⁵ der Bundesregierung sowie das Rahmenprogramm Forschung für Nachhaltige Entwicklung – FONA⁶ des BMBF. Die Förderstrategie zur Kreislaufwirtschaft ist niedergelegt im Forschungskonzept „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft“.⁷ Wesentliche in der Umsetzung befindliche Fördermaßnahmen umfassen „Innovative Produktkreisläufe“ (ReziProK – Projekte in 2019 gestartet), „Bauen und Mineralische Stoffkreisläufe“ (ReMin – Projektstarts 2021) sowie „Kunststoffrecyclingtechnologien“ (KuRT – Stichtag 30.10.2020). Zu nennen ist ferner die vom BMBF geförderte Circular Economy Initiative Deutschland (CEID).⁸ NaRes AG 4 trug mit folgenden Aufgaben zur Unterstützung des forschungspolitischen Rahmens bei:

- Die Ermittlung von Forschungsbedarfen zur Unterstützung der Ziele von ProgRes III
- Die Analyse des Status Quo in der Forschungs- und Innovationsförderlandschaft
- Die Identifikation von Forschungslücken und Innovationshemmnissen
- Empfehlungen des Expertenkreises aus Wissenschaft und Wirtschaft für mögliche neue Förderthemen

Relevante aktuelle Fördertatbestände wurden zusammengestellt, im Verlauf der Gruppenarbeit fortlaufend aktualisiert und hinsichtlich von Fortentwicklungspotenzialen diskutiert. Das daraus resultierende Dokument beinhaltet eine tabellarische Übersicht mit der Bezeichnung „Bestandsaufnahme Förderlandschaft Ressourcenschutztechnologie – Bestehende Programme zur Forschungs- und Innovationsförderung“. Darin ist die bestehende Förderlandschaft nach Sitzungsthemen differenziert aufgearbeitet. Es ist diesem Ergebnispapier als Anhang beigelegt.

5. Querschnittsthema Digitalisierung

Grundlegende Anknüpfungspunkte

Die digitale Transformation ist ein gegenwärtiger Megatrend, der Chancen und Herausforderungen für sämtliche Entwicklungen im Bereich der Ressourcenschutztechnologien birgt. Daher wurde das Thema bei der Arbeit von NaRes AG 4 durchgängig behandelt und bezogen auf die jeweiligen Sitzungsthemen diskutiert. Dabei bestehen gemäß des Querschnittscharakters der digitalen Transformation eine außerordentliche Vielzahl konkreter Anknüpfungspunkte zu politischen Grundlagen sowie zu den konkret in der Arbeitsgruppe behandelten Fragestellungen. Dieser Unterabschnitt enthält eine stichwortartige Aufzählung der wichtigsten Punkte, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, und gibt je den Bezug zu bestimmten Elementen des politischen Rahmens bzw. bestimmten Handlungsbereichen wieder.

Grundlegende Anknüpfungspunkte bietet zunächst die **Umweltpolitische Digitalagenda** des BMU.⁹ Sie enthält die vier Maßnahmenpakete Umweltgerechte Digitalisierung, Transparenz, Digitale

⁴ BMU (2020a)

⁵ BMBF (2018a)

⁶ BMBF (2020a)

⁷ BMBF (2018b)

⁸ acatech (2020)

⁹ BMU (2020b)



Innovationen/Leuchtturmprojekte und Umweltpolitik 4.0, die in über 70 Einzelmaßnahmen ausformuliert sind. Maßnahmen, die für die Arbeit der Gruppe als relevant identifiziert wurden umfassten insbesondere den Digitalen Produktpass, die Open Data Plattform, den Nachhaltigen Konsum durch Kennzeichnung, Förderprogramme für Künstliche Intelligenz (KI) im Bereich Umwelt/Klima/Ressourcen, die Umweltdaten-Cloud sowie die Digitale Verwaltung.

Ferner bietet **ProgRes III** folgende inhaltliche Anknüpfungspunkte in diesem Bereich: Die Open Data Plattform Ressourcenschutz, öffentlich Verfügbare Daten zu Stoffströmen und deren Umweltrelevanz, den Bereich Datenerfassung und -auswertung, ressourceneffiziente IKT, Lagerstättennutzung und Digitalisierung, die Nutzung von Blockchain, ressourceneffiziente Produktion durch digitale Tools, das Building Information Modelling (BIM), die digitale Qualitätsinfrastruktur sowie das Feld Digitalisierung und Logistik. Über das gesamte Programm hinweg bestehen gemäß des Querschnittscharakters vielerlei Anknüpfungspunkte zu konkreten Maßnahmen in ProgRes III, die sich z. T. ausdrücklich auf die Schnittstelle zwischen Ressourcenschutz und digitaler Transformation beziehen.

Ferner finden sich in der **Hightech-Strategie 2025** der Bundesregierung verschiedene Anknüpfungspunkte in diesem Bereich, wie Industrie 4.0 für mehr Klimaschutz in der Produktion nutzen, Verbesserung der Umweltperformance bei Lagerung und Transport von Produkten/ Materialien und Abfällen, Reduktion von Kunststoffverpackungen, Nutzung von Künstlicher Intelligenz zur Steigerung der Ressourceneffizienz, Etablierung der Plattform lernende Systeme, Neue Materialien und Werkstoffe in Kombination mit datengestützten Methoden (z.B. digitale Modellierung und Simulation) entwickeln sowie der Ansatz der Produkt-Service-Systeme.

Gegenwärtige **Digitalisierungstrends in der Industrie** lassen sich mit folgenden Stichworten umschreiben: Autonome Logistik, Digitaler Zwilling, Datenübertragung (Schnittstellen, Protokolle, Infrastruktur), KI (z. B. für Qualitätssicherung), Automatisierung, Roboter-Anwendungen (Mensch-Maschine-Kollaboration), 3D-Druck/Additive Manufacturing, digitale Kollaborationsplattformen zu Reparatur-Informationen, E-Commerce-Plattformen für Produkte, Dienstleistungen, digitale Handelsplattformen für Sekundärmaterialien (bspw. Scrappel, Cirplus), digitale Produktpässe für einzelne Stoffströme/Produkte (bspw. R-Cycle, Holy Grail) oder digitale Plattformen zur Optimierung von Logistikprozessen (bspw. Dispondo).

Die **Digitalisierung speziell für eine verbesserte Kreislaufwirtschaft** umfasst beispielsweise die Digitalisierung von Aufbereitungs- und Recyclingprozessen, digitale Produktinformationen zu Sekundärmaterialien, Onlinemarketing und E-Commerce, elektronische Rechnungen, Live-Fahrzeugverfolgung, Roboter in der Sortierung, digitale Behältererfassung, digitale Erfassung von Fehlwürfen in Behältern und digitale Erfassung von Fahrzeugen, Objekterkennung und KI sowie den mobilen Zugriff auf Daten.

Als vielversprechende Ansätze im Bereich der **Digitalisierung von Gebäuden und Infrastrukturen** erscheinen das Building Information Modelling (BIM)(digitale Darstellung eines Gebäudes und seiner Funktionen), die eCL@ss (Klassifizierung und Beschreibung, EDV-technisch einheitliche Beschreibung von Produkten), das bSDD (buildingSMART Directory), die Gebäudeautomation und Cloudlösungen für beispielsweise Software as a service, der Bereich Rückbau/ Aufbereitungstechnik und Digitalisierung (Ziel: Verbesserte Stoffstromtrennung) sowie die digitale Kartierung des anthropogenen Lagers in Gebäude und Infrastruktur.

Grundlegende Herausforderungen bei der Entwicklung und Umsetzung innovativer Lösungen der Digitalisierung umfassen beispielsweise Änderungen des bisherigen Geschäftsmodells (z.B. Materialhandel, Maschinenverkauf), transparente Prozesse vs. Automatisierung, einheitliche Schnittstellen bzw. kompatible Schnittstellen, das Dateneigentum, den Aufbau von Know-how, die betriebswirtschaftliche und steuerliche Behandlung von Investitionskosten sowie steuerliche Fragestellungen bei Produkt-Service-Systemen.



Übergreifende Diskussionsergebnisse zum Thema Digitalisierung

In der Diskussion wurden Herausforderungen bei der praktischen Umsetzung und Anwendung von Digitalisierungslösungen ebenso adressiert wie die vielfältigen Chancen, die sich aus verschiedenen Anwendungsformen der Digitalisierung zur Förderung einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft ergeben können. Die Schaffung von Transparenz durch Digitalisierungslösungen, die Entwicklung digitalisierungsunterstützter Geschäftsmodelle für eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft sowie eine bessere wertschöpfungsketten- und -stufenübergreifende Vernetzung nahmen dabei Schlüsselrollen ein. Es wurde auch der Hinweis gegeben, dass Digitalisierungslösungen selbst stets einer kritischen Betrachtung mit Blick auf eventuell nachhaltigere Alternativen unterzogen werden müssten.

Angesprochen wurde ferner, dass die Verfügbarkeit von Daten eine zentrale Voraussetzung für verschiedene Digitalisierungslösungen für die ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ist, die für diesen Anwendungsbereich bisher weitgehend ungeklärt ist (Verfügbarkeit, Qualität, Format, Aktualität). Die Entwicklung und Schaffung von Strukturen zur Erhebung und Pflege einer den Anforderungen einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft gerechten Datenbasis, mit entsprechenden Vertrauensmechanismen und Zugangsberechtigungen stellt hier eine zentrale Voraussetzung für weitere Fortschritte für den Ressourcenschutz dar.

Insbesondere mit Blick auf die Fortentwicklung der Förderlandschaft und die Konkretisierung bestehender Fördertatbestände durch spezifische Vorhaben, wurden folgende – sich z. T. überlappende – Bereiche identifiziert, in denen innovative Ansätze aus dem Bereich der Digitalisierung einen Nutzen im Sinne einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft stiften könnten:

- 1.** Schaffung von **Transparenz** über Wertschöpfungsketten, Wertschöpfungsstufen und Wirtschaftsteilkreisläufe hinweg, bezogen auf spezifische Produkt-, Stoff- und Wirtschaftsbereiche
Die Nachhaltigkeit von Produkten und Diensten muss für die jeweils nachgelagerten Wertschöpfungskettenstufen (Abnehmer, Weiterverarbeiter), für entscheidende Endkunden, aber am Ende der Produktnutzung auch für Akteure der Sektoren Wiederverwendung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Verwertung etc. in geeigneter Form transparent sein. Noch zu entwickelnde konkrete Ansätze aus dem Bereich der Digitalisierung können helfen, benötigte Produktinformationen und flankierende Dienstleistungen zu liefern. Dies kann aus einer technologischen Perspektive heraus diskutiert werden, notwendig ist aber gleichwohl eine Diskussion über passende Geschäftsmodelle, die sich über gesamten Produktlebensweg erstrecken.
- 2.** Entwicklung geeigneter **Geschäfts- und Dienstleistungsmodelle** in den Bereichen Sharing, Re-Use, Repair, Refurbishment etc. bezogen auf spezifische Produktbereiche
Die aktuell in diesen Bereichen, insbesondere für Endkundinnen, verfügbaren Dienstleistungen sind in ihrer Inanspruchnahme nicht ausreichend simpel. Die Transaktionskosten für die betroffenen Personen sind oft zu hoch (Information, Logistik, organisatorische Abwicklung der Dienstleistungsinanspruchnahme). Entwickelt werden sollten einfache, innovative Geschäftsmodelle.
Die Reparatur eines alten CD-Players sollte etwa per Knopfdruck auf dem Handy mit minimalem Aufwand für die Kundinnen und Kunden möglich sein. Dies müsste einen vom Knopfdruck ausgehenden Dienstleistungsprozess auslösen, der einen Abhol-, Ersatzgerät- und Rückbringservice innerhalb von 24 Stunden bis zum Zeitpunkt der vollständig erbrachten Dienstleistung beinhaltet.
- 3.** Entwicklung geeigneter Geschäfts- und Dienstleistungsmodelle zur **Schaffung von Informationsmarktplätzen** verwertungsrelevanter Informationen



Das optimale Zusammenspiel von Demontage, Recycling und Verwertung unterschiedlicher Stoffe für eine aus Sicht des Ressourcenschutzes insgesamt bessere Verwertung erfordert den Informationsaustausch zwischen Unternehmen verschiedener Wertschöpfungskettenstufen, aber z. T. auch zwischen verschiedenen Unternehmen der selben Wertschöpfungskettenstufe und Branche. Die Entwicklung entsprechender Plattformlösungen, auf der relevante Daten bereitgestellt und eventuell gehandelt werden können, über die Nutzer von Informationen und Stoffen sich mit Lieferanten und weiteren verwertenden Unternehmen austauschen können, böte eventuell Chancen für eine optimierte Allokation von Produktionsfaktoren innerhalb einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft in Form eines vielgliedrigen Wertschöpfungsnetzwerks. Produzenten könnten Informationen an Recycler liefern und umgekehrt. So könnte das Geflecht der gesamtwirtschaftlichen Kreislaufführung insgesamt durch den zusammenhängenden Ansatz an einzelnen Strängen davon und das „Zusammenspiel“ der Akteure und Stoffströme effektiver gemacht und systemisch optimiert werden.

4. Entwicklung von *Digital Twins auf übergeordneter*, bis hin zu gesamtwirtschaftlicher *Ebene*

Die Schaffung von Digital Twins zur Kreislaufwirtschaft bzw. Circular Economy insgesamt auf der Ebene sinnvoll abgrenzbarer Teilsysteme bzw. der Volkswirtschaft insgesamt könnte die evidenzbasierte Innovation und diesbezügliche Transformation unterstützen.

Analog hierzu zu denken wäre z. B. ein Digital Twin des Verkehrssystems, anstatt desjenigen für ein einzelnes Fahrzeug. Mit den Mitteln der Digitalisierung könnten auf diese Weise gezielt Daten akquiriert und im Zusammenhang für größere Teilausschnitte der Wirtschaft ausgewertet werden. So könnten eventuell auch Informationen darüber gewonnen werden, welche Verwertungswege aus Sicht des Ressourcenschutzes gesamtwirtschaftlich für einzelne Stoffströme und -fraktionen davon optimal wären.

Für eine Realisierung all dieser Ideen wären noch umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowohl auf Stoffstrom-, Produkt- und Branchenebene, als auch in deren Kombination erforderlich um eine ganze Reihe offener Fragen so zu lösen, so dass die Interessenlagen der beteiligten Akteure eine Umsetzung erlauben. Transparenz liegt, z. B. wenn man an Geschäftsgeheimnisse denkt, in verschiedenen Konstellationen nicht im betriebswirtschaftlichen Interesse jedes potenziell beteiligten Unternehmens relevanter Wertschöpfungsketten(stufen). Hier spielt die passende Gestaltung von Plattform-, Datenerhebungs-, Verarbeitungs- und Offenlegungslösungen mit entsprechenden Zugangsberechtigungen und Sicherheitsmechanismen eine Schlüsselrolle.

Auch die Kosten der Datenerhebung, der Umwandlung in verschiedene Formate und Auflösungen, der Pflege hinsichtlich Qualität und Aktualität etc. müssten sich letztlich am Markt für die Informationsprodukte decken lassen. Die Datenlage ist ein zentraler Hebel zur Verwirklichung derartiger Ansätze. Die Digitalisierung kann hier helfen, ist aber auf flankierende Maßnahmen angewiesen, wenn sie ihre volle Wirkung im Sinne des Ressourcenschutzes entfalten soll. Ein wichtiger Ansatzpunkt in diesem Bereich ist auch die Standardisierung genormter Lösungen für z. B. chemische Stoffverzeichnisse, die Datenbankinfrastruktur, Datenformate, sicherheitsrelevante Aspekte etc. Die Verwaltung eines derartigen Datenschatzes müsste über einen neutralen, vertrauenswürdigen und unabhängigen „Makler“ erfolgen.

Im Bereich Gebäude wurde die Frage aufgeworfen, ob der Fokus von Forschungs- und Innovationsförderung stärker auf der Fortentwicklung und Arbeit an der Praxistauglichkeit bestehender Lösungen liegen sollte, als auf dem noch viel größeren Schritt hin zu digitalen Gebäudepässen, der perspektivisch noch sehr weit weg von der aktuell zu beobachtenden Praxis scheint. Hier könnte eventuell auch auf der Vorstufe noch viel anwendungsrelevantes Wissen im Bereich der Datenlieferanten und Verwerter gewonnen werden.



Schließlich erfordert auch die Bewertung von aus Sicht des Ressourcenschutzes über- bzw. unterlegener Lösungen einen klaren methodischen Rahmen und eine nutzbare Indikatorik, mit der sich Prioritäten und Rangfolgen verschiedener Optionen bilden lassen.

B. Gegenstand der Strategie: Definition und Abgrenzung von Ressourcenschutztechnologie

Die nachfolgend dargestellten und erläuterten Begriffsdefinitionen bildeten die Grundlage für die fachliche Diskussion von NaRes AG 4.

1. Begriff natürlicher Ressourcen und der Ressourceneffizienz

Natürliche Ressourcen sind in ProgRes III wie folgt definiert:¹⁰ „Wasser, Boden und Luft, Fläche, biotische und abiotische Rohstoffe, Ökosysteme mit der Vielfalt der in ihnen lebenden Organismen sowie Energie aus Sonne, Wind, Erdwärme oder Gezeitenströmungen sind als natürliche Ressourcen die physische Grundlage für das Wohlergehen der Menschheit auf dem Planeten Erde.“

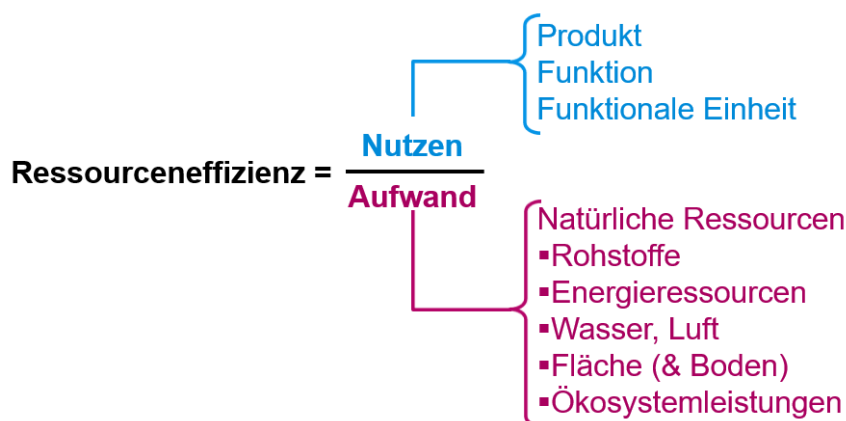
Im Glossar des Umweltbundesamts zum Ressourcenschutz werden natürliche Ressourcen wie folgt definiert:¹¹ „Ressource, die Bestandteil der Natur ist. Hierzu zählen erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z.B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie die Biodiversität. Es ist hierbei unwesentlich, ob die Ressourcen als Quellen für die Herstellung von Produkten oder als Senken zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft) dienen.“ Diese Definition entspricht auch derer, die in der VDI-Richtlinie VDI 4800 Blatt 1 sowie weiterer VDI-Richtlinien zur Ressourceneffizienz wiedergegeben ist.¹²

Die Ressourceneffizienz ist in den beiden letztgenannten Quellen (UBA, VDI) definiert als „Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Ressourceneinsatz“. Es handelt sich folglich um einen Quotienten zwischen dem Nutzen oder Ergebnis einerseits im Zähler und dem über den gesamten Lebensweg hinweg gegebenen Einsatz verschiedener natürlicher Ressourcen im Nenner.

¹⁰ BMU (2020a), S. 5 (Kabinettsfassung)

¹¹ UBA (2012), S. 22

¹² VDI (2016), S. 7



Nach VDI 4800 Blatt 1 Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien (2016)

Autor: VDI ZRE

© VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Abbildung 1: Definition der Ressourceneffizienz; Darstellung des VDI ZRE in Anlehnung an VDI (2016)

Der Nutzen kann auf verschiedene Weise operationalisiert werden, z. B. über eine funktionale Einheit, die ein bestimmtes Ergebnis beinhaltet (Transport eines bestimmten Gewichts über eine bestimmte Strecke; Reinigungsergebnis für bestimmtes Produkt; o. Äh.), über eine produzierte Stückzahl eines bestimmten Guts in einer festgelegten Qualität innerhalb einer bestimmten Zeit oder im Sinne der Produktivität durch ein erzielt wirtschaftliches Ergebnis (z. B. Wertschöpfung).

Eine Steigerung der Ressourceneffizienz kann folglich auf zwei Wegen erfolgen: Entweder durch eine Verringerung des Einsatzes natürlicher Ressourcen zur Erlangung eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses; oder durch die Erzielung eines noch höheren Nutzens oder überlegenen Ergebnisses bei gleich bleibendem Einsatz natürlicher Ressourcen. Der Kehrwert der Ressourceneffizienz ist die Ressourcenintensität. Der Begriff der Ressourceneffizienz bzw. der Ressourcenproduktivität ist eng verbunden mit dem Begriff der Entkopplung des ökonomischen Erfolgs einerseits vom Einsatz natürlicher Ressourcen und dessen ökologischen Wirkungen andererseits.

Die Abschnitte von ProgReSS III beinhalten vielfältige konkrete Ausprägungen davon, wie eine Steigerung der Ressourceneffizienz in verschiedenen Handlungs- und Bedürfnisfeldern konkret angegangen werden kann. Die Handlungsansätze erstrecken sich über den gesamten Produktlebensweg (inklusive der Designphase), nehmen bei Bewertungen – zur Vermeidung von Belastungsverschiebungen – stets eine lebenszyklusweite und ressourcenübergreifende Perspektive ein und beziehen sich konkret auf bestimmte, z. T. prioritäre, Maßnahmen. Ein wesentliches Handlungsfeld ist z. B. die Substitution auf Stoff-, Technologie-/Prozess- oder Systemebene, ein anderes die ressourceneffiziente Lebensdauermaximierung, Kaskadennutzung sowie Kreislaufführung von Produkten und Materialien.

Im Abschlussbericht des Arbeitskreises „Energie- und Ressourceneffizienz“ der 6. Niedersächsischen Regierungskommission Energie- und Ressourceneffizienz, wurde der Versuch unternommen, die konzeptuelle Grundlage der Ressourceneffizienz in Abgrenzung zu bzw. als Ausschnitt der Nachhaltigkeitskonzeption insgesamt darzustellen:¹³

¹³ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (2011)

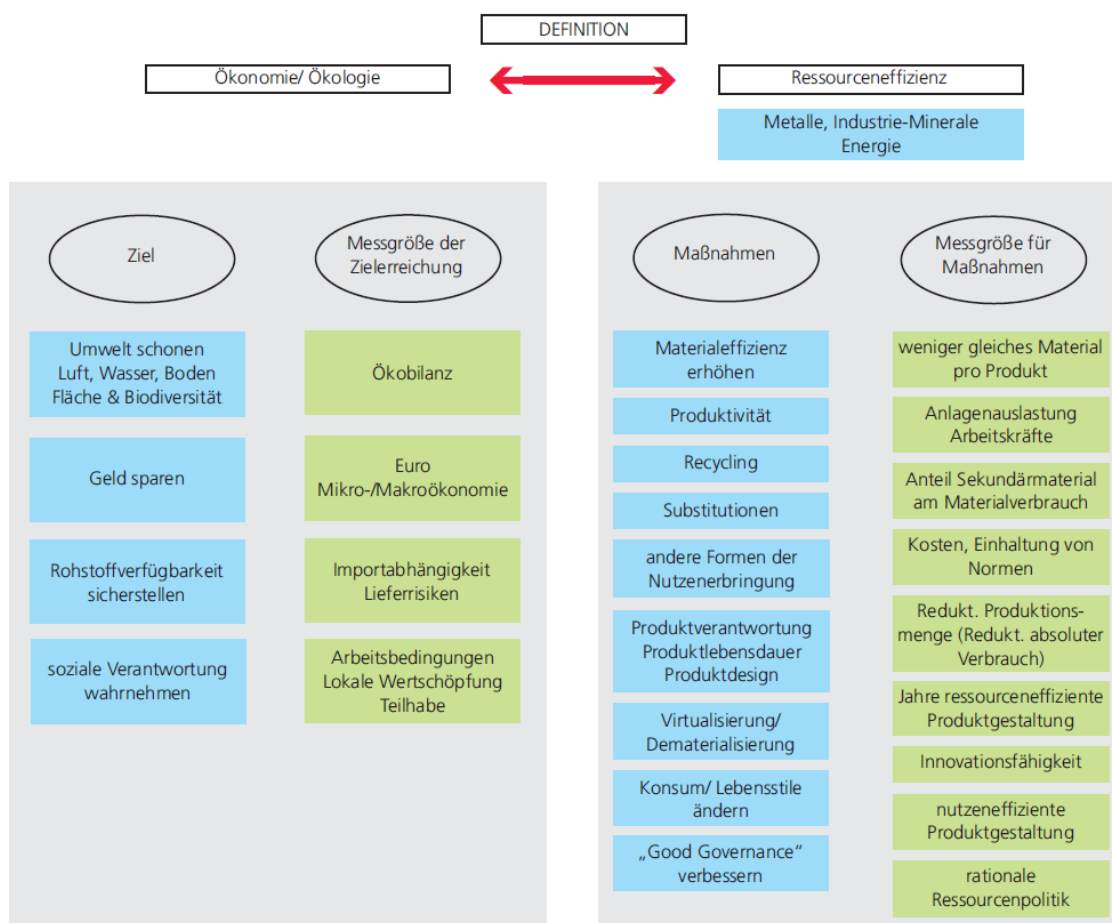


Abbildung 2, entnommen aus: Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (2011): Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, 6. Kommission der Niedersächsischen Landesregierung „Energie- und Ressourceneffizienz“, Abschlussbericht des Arbeitskreises „Energie- und Ressourceneffizienz“, Dezember 2011

2. Begriff der Circular Economy in Abgrenzung von der Abfallbewirtschaftung

1972 wurde mit dem Abfallbeseitigungsgesetz die erste bundeseinheitliche rechtliche Regelung zur Regulierung der Abfallwirtschaft erlassen. Historisch gesehen, bestand ihre Kernaufgabe in der Beseitigung von Abfällen zum Schutz der Bevölkerung vor hygienischen Notständen und deren gesundheitlichen Folgen. Seitdem entwickelte sie sich zunehmend in Richtung der ökonomisch und ökologisch hochwertigen Bewirtschaftung von Abfällen. Die Einführung der Produktverantwortung für wesentliche Abfallfraktionen Anfang der 1990er Jahre markierte einen Meilenstein dieser Entwicklung.

ProgRes III definiert die Kreislaufwirtschaft im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) als „Vermeidung und Verwertung von Abfällen“.¹⁴ Das Umweltbundesamt schreibt hierzu Folgendes:¹⁵

„Kern des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) ist eine fünfstufige Abfallhierarchie und ihre Umsetzung. Die Hierarchie legt die grundsätzliche Stufenfolge aus Abfallvermeidung, Wiederverwendung, Recycling

¹⁴ BMU (2020a), S. 15 (Kabinettsfassung); Zusatz innerhalb der zitierten Fußnote 4: „Eine Ausnahme ist das Forschungskonzept des BMBF „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft“ das den umfassenderen Begriff der Circular Economy der EU zu Grunde legt.“

¹⁵ UBA (2017)



und sonstiger, unter anderem energetischer Verwertung von Abfällen, und schließlich der Abfallbeseitigung fest. Vorrang hat die jeweils beste Option aus Sicht des Umweltschutzes. Dabei sind neben den ökologischen Auswirkungen auch technische, wirtschaftliche und soziale Folgen zu berücksichtigen. Die Kreislaufwirtschaft wird somit konsequent auf die Abfallvermeidung und das Recycling ausgerichtet. Die Beseitigung der verbleibenden Restabfälle hat gemeinwohlverträglich zu erfolgen.“

Der Begriff der Circular Economy (CE) gemäß Mitteilung der EU-Kommission vom 02.07.2014 (COM(2014) 398 final) „Hin zu einer Kreislaufwirtschaft: Ein Null-Abfallprogramm für Europa“ ist dagegen noch breiter gefasst:¹⁶

„Circular economy systems keep the added value in products for as long as possible and eliminates waste. They keep resources within the economy when a product has reached the end of its life, so that they can be productively used again and again and hence create further value. Transition to a more circular economy requires changes throughout value chains, from product design to new business and market models, from new ways of turning waste into a resource to new modes of consumer behaviour. This implies full systemic change, and innovation not only in technologies, but also in organisation, society, finance methods and policies. Even in a highly circular economy there will remain some element of linearity as virgin resources are required and residual waste is disposed of.“

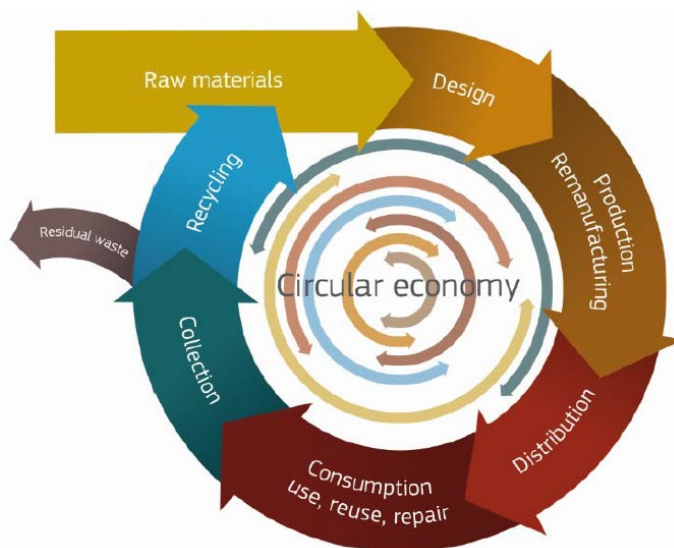


Abbildung 3: Visuelle Darstellung des Konzepts der Circular Economy; entnommen aus: Europäische Kommission (2014)

In einer Analyse von Kirchherr et al., die auf einer Analyse von 114 Definitionen der Circular Economy beruht, wird konkretisierend folgende Definition vorgeschlagen:¹⁷

„A circular economy describes an economic system that is based on business models which replace the ‘end-of-life’ concept with reducing, alternatively reusing, recycling and recovering materials in production/distribution and consumption processes, thus operating at the micro level (products, companies, consumers), meso level (eco-industrial parks) and macro level (city, region, nation and beyond), with the aim to accomplish sustainable development, which implies creating environmental quality, economic prosperity and social equity, to the benefit of current and future generations.“

¹⁶ Europäische Kommission (2014), S2

¹⁷ Kirchherr et al. (2017), S. 224/225



Ein ressourcenübergreifender politisch-legaler Rahmen besteht aktuell weder auf deutscher noch auf europäischer Ebene, wenngleich der Fahrplan für ein Ressourcenschonendes Europa einen ersten Schritt in diese Richtung – inklusive eines ressourcenübergreifenden Meßsystems – unternahm.¹⁸ Zur Bewertung von Maßnahmen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung ist eine Systemperspektive nicht nur bezüglich des Ressourceneinsatzes (alle Ressourcen, gesamter Lebenszyklus), sondern auch hinsichtlich der Bestimmung des Nutzens der eingesetzten Ressourcen einzunehmen. Dieser Maßgabe ist NaRes AG 4 während ihrer Arbeiten und Diskussionen gefolgt.

Der Versuch einer Operationalisierung der Circular Economy ist der nachfolgend dargestellten Grafik von Prof. Dr. Daniel Goldmann, TU Clausthal, zu entnehmen:

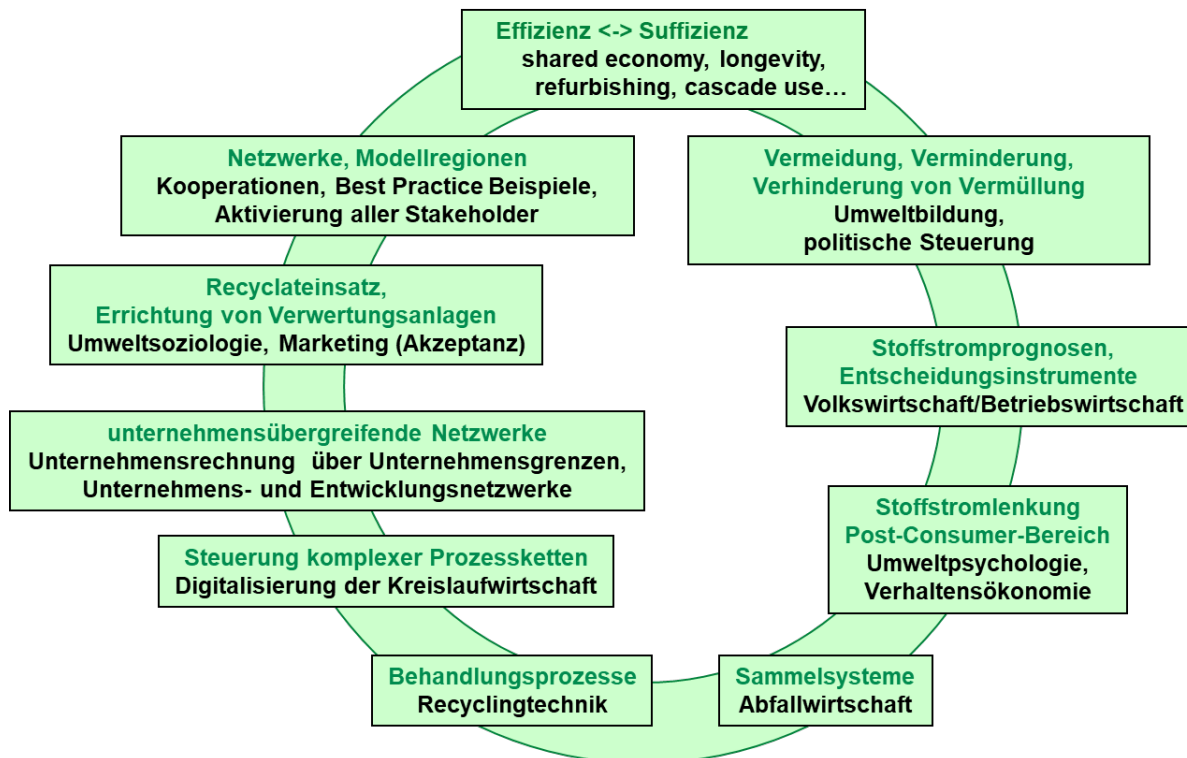


Abbildung erstellt und zur Verfügung gestellt durch Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann, Lehrstuhl für Rohstoffaufbereitung und Recycling, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik, Vorsitzender des Vorstands, CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum, Technische Universität Clausthal (2020)

3. Abgrenzung/ Flankierung technologischer Entwicklungen

Explizit außerhalb des inhaltlichen Fokus der Diskussionen und Arbeiten der Arbeitsgruppe befinden sich der politische, fiskalische und gesetzliche Rahmen einerseits und eventuelle von technologischen Aspekten abzugrenzende flankierende Entwicklungen insbesondere in den Bereichen Qualifizierung für den Einsatz innovativer Ressourcenschutztechnologien, Akzeptanz innovativer Ressourcenschutztechnologien etc.

Da davon ausgegangen wird, dass es sich bei den im Rahmen einer eventuellen künftigen Förderung von Forschung und Innovation von Ressourcenschutztechnologien im Bereich einer

¹⁸ Europäische Kommission (2011)



ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft behandelten Technologien ausschließlich um Zukunftstechnologien handelt, wird die in Angerer et al. verwendete breite Definition von Zukunftstechnologien zugrunde gelegt:¹⁹

„Zukunftstechnologien sind industriell verwertbare technische Fähigkeiten, die revolutionäre Innovationsschübe weit über die Grenzen einzelner Wirtschaftssektoren hinaus auslösen und langfristig tiefgreifend die Wirtschaftsstrukturen, das Sozialleben und die Umwelt verändern. Innovationsschübe können Einzeltechniken betreffen, (...). Es können aber auch systemische Innovationsschübe sein, die bekannte Einzeltechniken zu neuen Anwendungen verbinden.“

Literatur und Quellenverzeichnis zu Abschnitt A und B

acatech (2020): Circular Economy Initiative Deutschland, Webangebot, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (Hrsg.), München, URL: <https://www.circular-economy-initiative.de/>

Angerer, Gerhard/ Marscheider-Weidemann, Frank/ Lüllmann, Arne/ Erdmann, Lorenz/ Scharp, Michael/ Handke, Volker/ Marwede, Max (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien – Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT gGmbH/ Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI (beide Hrsg.), im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, URL: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2009/Schlussbericht_kurz_20090202.pdf

BMBF (2020a): Forschung für Nachhaltige Entwicklung – FONA, Webangebot des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (Hrsg.), Berlin, URL: <https://www.fona.de/de/>

BMBF (2018a): Forschung und Innovation für die Menschen – Die Hightech-Strategie 2025, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), Berlin, URL: <https://www.hightech-strategie.de/de/hightech-strategie-2025-1726.html>

BMBF (2018b): Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft - Forschungskonzept für eine kreislaufoptimierte Wirtschaftsweise, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), Berlin, URL: https://www.fona.de/medien/pdf/Ressourceneffiziente_Kreislaufwirtschaft.pdf

BMU (2020a): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III, 2020 – 2023, Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.), Berlin, URL: <https://www.bmu.de/download/deutsches-ressourceneffizienzprogramm-progress-iii/>

BMU (2020b): Umweltpolitische Digitalagenda, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.), Berlin, URL: <https://www.bmu.de/publikation/umweltpolitische-digitalagenda/>

BMU (2020b): NaRes – Nationale Plattform für Ressourceneffizienz, Webangebot des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.), Berlin, URL: <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/ressourceneffizienz/naress-nationale-plattform-ressourceneffizienz/>

CDU, CSU, SPD (2018): Ein neuer Aufbruch für Europa - Eine neue Dynamik für Deutschland - Ein neuer Zusammenhalt für unser Land - Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, URL:

¹⁹ Angerer et al. (2009), S. 2/3



<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/koalitionsvertrag-zwischen-cdu-csu-und-spd-195906>

Europäische Kommission (2014): MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN Hin zu einer Kreislaufwirtschaft: Ein Null-Abfallprogramm für Europa, COM/2014/0398 final, Europäische Kommission (Hrsg.), Brüssel, URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52014DC0398&qid=1603980616917>

Europäische Kommission (2011): MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa, KOM/2011/0571 endgültig, Europäische Kommission (Hrsg.), Brüssel, URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52011DC0571&qid=1603983726551>

Kirchherr, Julian/ Reike, Denise/ Hekkert, Marko (2017): Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, in: Resources, Conservation & Recycling 127 (2017), S. 221-232, Elsevier B.V. (Hrsg.), Amsterdam, URL: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0921344917302835?token=4647AA2A99C829058F3244A80D0118E7A26B9A34ECA0512E1B1CECB3AAB2285B3B5B7338BA7A16E3C4B1615B165658A8>

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2011): Abschlussbericht des Arbeitskreises „Energie- und Ressourceneffizienz“ der 6. Kommission der Niedersächsischen Landesregierung „Energie- und Ressourceneffizienz“, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (Hrsg., Dezember 2011), Hannover, URL: <https://www.mk.niedersachsen.de/download/62956>

UBA (2012): Glossar zum Ressourcenschutz, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/glossar-ressourcenschutz>

UBA (2017): Abfallwirtschaft, Webangebot des Umweltbundesamts (Hrsg.), Dessau-Roßlau, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft>

VDI (2016): VDI 4800 Blatt 1 - Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.), Düsseldorf, URL: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4800-blatt-1-ressourceneffizienz-methodische-grundlagen-prinzipien-und-strategien>



C. Design kreislauffähiger Produkte

1. Einführung, Chancen und Herausforderungen: Design kreislauffähiger Materialien und Produkte

In einem Einführungsvortrag zum Design kreislauffähiger Materialien und Produkte stellte Teresa Kelterborn, VDI ZRE, die fachlichen Grundlagen des Designs kreislauffähiger Produkte vor. Verfolgt wird damit die Zielsetzung, mit Mitteln der Produktgestaltung für eine möglichst weitgehende und langwährende Werterhaltung der daraus resultierenden Produkte, Komponenten und Materialien zu sorgen. Dies soll erreicht werden, indem bereits in der Designphase eine Antizipation des Umgangs mit dem Produkt in allen darauf folgenden Phasen des Produktlebenswegs stattfindet und dieses bewusst so gestaltet wird, dass ein möglichst langfristiger Werterhalt ermöglicht wird. Umgekehrt formuliert sollen Wertverluste möglichst über den Produktlebensweg hinweg vermieden oder zumindest möglichst lange hinausgezögert werden.

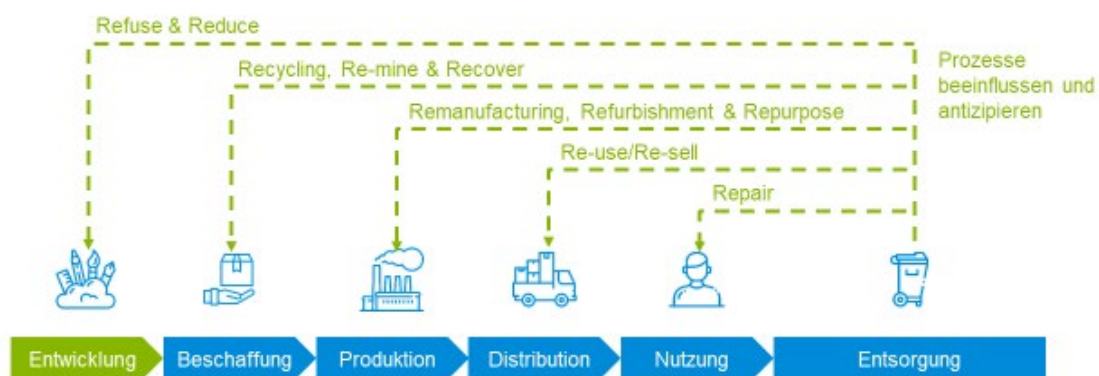


Abbildung 4: Bedeutung der Produktentwicklung im zirkulären Lebenszyklus; eigene Darstellung in Anlehnung an Lange, U./ Oberender, C. (2017) und Vermeulen et al. (2018)

Verschiedene zu realisierende Wert-Kreisläufe knüpfen hierbei neben der Entwicklung an der Beschaffung, der Produktion, der Distribution, der Produktnutzung sowie der Entsorgung an. Die nachfolgenden Prozesse zu antizipieren und im Sinne der Kreislaufführung zu beeinflussen, ist Kernanliegen des Designs kreislauffähiger Produkte.

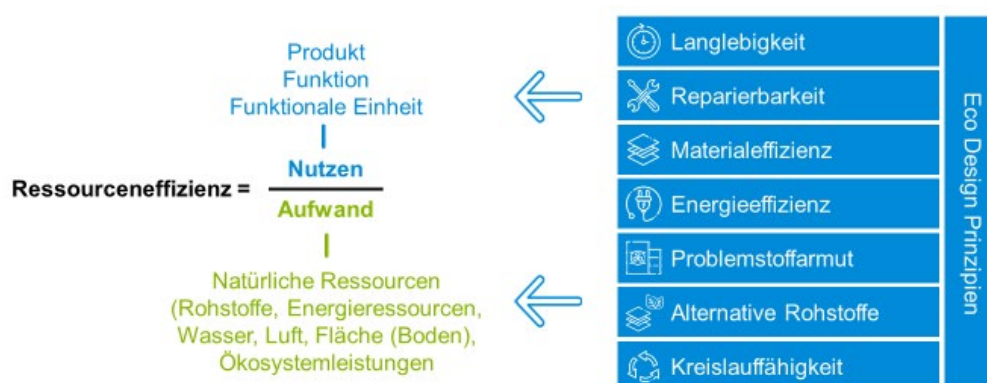


Abbildung 5: Zusammenhang Ressourceneffizienz & Eco Design; eigene Darstellung in Anlehnung an VDI (2016)

Eco Design Strategien für kreislauffähige Produkte in der Praxis, umfassen beispielsweise den Ansatz an:

- Innovation & Konzept: Z. B. neue Wertschöpfungsformen (PSS)



- Material: Z. B. Nutzung von Recyclingmaterialien bzw. recyclinggerechte Materialien
- Produktionsverfahren: Z. B. Reduzierung/Vermeidung Produktionsabfällen
- Distribution: Z. B. Nutzung wiederverwendbare & ökologische Verpackung
- Nutzungsphase: Z. B. Reduzierung Energie-, Wasser- & Materialverschwendung
- Lebensdauer: Z. B. Möglichkeit auf Instandhaltung, Upgrade, Next Life & Reparatur
- End-of-Life: Z. B. Remanufacturing/ Refurbishment & Next Life

Darauf aufbauend gab Felix Prumbohm, VDMA, einen tiefen Einblick in die bestehenden **Herausforderungen des Designs kreislauffähiger Produkte in der unternehmerischen Praxis**. Zielkonflikte bzw. Hürden für das Design kreislauffähiger Materialien und Produkte bestehen insbesondere im Bereich möglicher Wettbewerbsnachteile am Markt für Anbieter besonders kreislauffähiger Produkte. Diese können sich insbesondere in Form von Kostennachteilen, Nachteilen bezüglich möglicher Lieferzeitpunkte sowie in Form eventueller Veränderungen im Bereich von Produktqualitäten und Funktionalitäten ergeben. Für die Unternehmen, die Produktentwicklung betreiben, ist die vorrangige Zugrundelegung des **Zieldreiecks aus Qualitätszielen, Kostenzielen und Zeitzielen** eine wesentliche Bedingung für den erhofften Markterfolg mit dem jeweiligen Produkt.

Höhere Kosten der Entwicklung eines kreislauffähig(er)en Produkts können aus verschiedenen Aspekten resultieren. Die Entwicklungszeit kann durch die Entwicklung eines kreislauffähig(er)en Produkts länger sein als bei einer konventionell(er)en Alternative. Und das kreislauffähige(re) Produkt kann eventuell unterschiedliche Qualitäten und Funktionalitäten im Vergleich zur konventionell(er)en Alternative aufweisen. Ganz grundsätzlich muss eventuell mit der Herausforderung umgegangen werden, das kreislauffähige(re) Produkt weiterhin in der von den Kundinnen und Kunden geforderten Qualität mit den geforderten Funktionalitäten zu ermöglichen. Letztlich bestimmt die Nachfrage darüber, welche Produkteigenschaften zu gegebenen Kunden- und Marktanforderungen einen Absatzerfolg erzielen können.

Mögliche Chancen des Designs kreislauffähiger Produkte wurden dagegen in den Bereichen der Erschließung neuer Marktsegmente, der Innovationsfähigkeit, der Standardisierung und Modularisierung, im Bereich neuer Geschäftsmodelle, in einem entsprechenden Employer Branding sowie einer eventuell langfristig steigenden Kosteneffizienz gesehen. Denn die Schaffung der Möglichkeit der Mehrfachverwendung von Komponenten und Materialien, kann auch die Kosteneffizienz der betroffenen Betriebe steigern. Auch ist es denkbar, dass der mit dem Trend zur ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft einher gehende Innovationsdruck zur Optimierung von Produkten und Produktionsprozessen beiträgt, die ansonsten unterblieben wäre, später oder mit geringerer Ambition verfolgt worden wäre.

Ansatzpunkte für mögliche Optionen zur (Fort-)Entwicklung der Förderlandschaft, die aus den Diskussionen zu diesem Themenspektrum resultieren, sind unter 2. aufgelistet.

2. Mögliche Anknüpfungspunkte für die Fortentwicklung der Förderlandschaft zu Forschung und Innovation im Bereich Ressourcenschutztechnologie

Der Projektträger Jülich (PtJ) trug auf Grundlage der als Anlage beigefügten Übersicht „Bestandsaufnahme Förderlandschaft Ressourcenschutztechnologie – Bestehende Programme zur Forschungs- und Innovationsförderung“ auch bei der zweiten Sitzung von NaRes AG 4, aus der dieser Abschnitt des Ergebnispapiers resultiert, zu bestehenden Förderangeboten in Deutschland vor, die für Forschung und Innovationen im Bereich Design kreislauffähiger Produkte zur Verfügung stehen. Im Fokus stand dabei insbesondere das Forschungskonzept „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) sowie die in der Umsetzung befindliche



Fördermaßnahme Innovative Produktkreisläufe (ReziProK). Auf dieser Grundlage wurde unter den nachfolgenden Tagesordnungspunkten über bestehende Herausforderungen des Designs kreislauffähiger Produkte mit Blick auf Entwicklungsmöglichkeiten des Förderangebots diskutiert.

Aus den unter 1. adressierten Einführungsvorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende *mögliche übergeordnete Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung* ableiten:

- Identifikation von bestimmten Produkten und speziellen Komponenten, die prioritär für eine gezielte Steigerung der Kreislauffähigkeit durch Produktdesign in Betracht zu ziehen sind.
- Erforschung geeigneter flankierender Kommunikationsmaßnahmen zur Schaffung von bzw. Unterstützung der Nachfrage nach ressourceneffizienten kreislauffähigeren Produkten im Speziellen bzw. nachhaltigeren Produkten im Allgemeinen.
- Erforschung der Qualifikationsanforderungen für Entwicklung und Marketing ressourceneffizienter kreislauffähigerer Produkte für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Unternehmen.
- Erforschung bestehender Hürden für zirkuläre Geschäftsmodelle, wie z. B. Leasingangebote in Verbindung mit Service-Paketen, und Strategien zu deren Überwindung. Hier bestehen eventuelle Hürden beispielsweise im Bereich beschaffungsbezogener Spezifika wie der Budgetierung bei potenziellen Kundinnen und Kunden.
- Erforschung der Schnittstelle zwischen Sekundärrohstoffherstellern und Sekundärrohstoffnutzern, insbesondere der Anforderungen und Anforderungsformate an die Produkte. Ein Ansatz wäre z. B. die Erforschung der Frage, was für einen Werkstoff ein Sekundärrohstoffhersteller genau herstellen muss, um bestimmte funktionale Kundenanforderungen zu erfüllen.
- Erforschung von Möglichkeiten, die rechtlichen Rahmenbedingungen so auszugestalten, dass mehr Materialien, Produkte und Komponenten im Warenmarktregime verbleiben können, anstatt automatisch ins Abfallregime überzugehen.

Daten, Methoden, Indikatorik zur ökologischen Bewertung des Designs kreislauffähiger Materialien und Produkte (inkl. Klimabeitrag)

In einem Einführungsvortrag zum Titelthema erläuterte Karsten Schischke, Fraunhofer IZM, ausführlich die methodischen Grundlagen und die bestehenden Herausforderungen bei der wissenschaftlich belastbaren Bestimmung ökologischer Vorteile neu zu entwickelnder Produkte bzw. innovativer Produktentwicklungsalternativen für die ressourceneffiziente Circular Economy. Zunächst bestehen viele grundlegende Möglichkeiten, ein bestimmtes Produkt kreislauffähiger zu machen. Je nach Annahmen, können verschiedene Varianten den Vorzug erhalten. Als Methodik ist die Ökobilanzierung das Mittel der Wahl. Bei linearen Produkten ist diese vergleichsweise einfach anzuwenden, bei zirkulären Produkten ist die Komplexität der Modellierung durch eine massive Steigerung möglicher Szenarien deutlich erhöht. Dies liegt an der Vielzahl konkreter Wege, die ein Produkt oder eine Komponente in seinem Lebensweg gehen kann. Insbesondere in der Nutzungsphase besteht eine große Anzahl möglicher Umgangsformen mit Produkten und Komponenten, die in derartigen Abschätzungen zu berücksichtigen ist und deren jeweilige Ausprägung sich signifikant auf das Ergebnis der Analyse auswirkt. Diverse Fallbeispiele zeigen, dass das realistische Ziel der Analyse sich hier letztlich in einer Art der Plausibilitätsprüfung darüber erschöpft, welche Annahmen zulässig sind und das wahrscheinliche Verhalten in angemessener Weise analysieren. Hinzu kommt, dass Annahmen auch für eine eventuelle zweite oder weitere darauf folgende Nutzungsphasen zu bilden sind.

Dirk Jepsen, Ökopol, ergänzte in einem Impuls hierzu, dass die Forschung zur Bestimmung der ökologischen Qualität von Produkten im Bereich der Vorstudien zu Durchführungsmaßnahmen zur



europäischen Ökodesignrichtlinie bereits weit gediehen ist. Eine bessere Vernetzung, ein besseres Schnittstellenmanagement der Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik könnte den Akteuren eventuell helfen, Synergien bei der Förderung des kreislauffähigen Produktdesigns zu nutzen. Eine Herausforderung für signifikante Fortschritte in Richtung einer stärker zirkulären Wirtschaftsweise besteht ferner darin, dass solche nur durch simultanes Handeln verschiedener Akteure der jeweiligen Wertschöpfungsketten erreicht werden können. D. h. es genügt zum Erreichen einer signifikant gesteigerten Kreislaufführung in einem gegebenen Bereich nicht, wenn nur ein Akteur der betroffenen Wertschöpfungskette seine Prozesse entsprechend verändert.

Prof. Dr. Metternich, TU Darmstadt, stellte in einem Impuls zum Thema vor, wie die Digitalisierung von Lernfabriken dazu beitragen kann, alternative Produktionswege mit einer Vielzahl relevanter Eigenschaften so transparent zu machen, dass diese analytisch zur Optimierung des Einsatzes verschiedener Verfahrenswege mit verschiedenen Verfahrensspezifika unter gleichzeitigem Erfolgsabgleich hinsichtlich verschiedener Zieldimensionen genutzt werden kann. Entwicklern, aber auch Kundinnen und Kunden wird so die Möglichkeit eröffnet, je nach Zielsystem und individueller Gewichtung der Bewertungsdimensionen die optimale Produktionsweise zu identifizieren. Im vorliegenden Modell können insbesondere die Dimensionen Ressourcen, Kosten und Zeit bei Auswertungen betrachtet werden.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung von Methoden zur Komplexitätsreduktion bei der ökologischen Bewertung von Produktentwicklungsalternativen im Bereich der ressourceneffizienten Circular Economy, die es ermöglichen, die Vielzahl möglicher Optionen übersichtlich und richtungssicher auszuwerten und sinnvolle Alternativen mit vertretbarem Aufwand erfassbar darzustellen.
- Erforschung von Konzepten und deren praktischer Anwendbarkeit dazu, wie die häufig problematische Anreizsituation von Akteuren in für die Kreislaufwirtschaft vielversprechenden Wertschöpfungsketten so angepasst werden kann, dass die relevanten Akteure sich auch aus ihrer individuellen bzw. organisationalen Rationalität heraus gleichgerichtet im Sinne einer stärker zirkulären Wirtschaftsweise verhalten können.
- Sektorspezifische Entwicklung und Erprobung von Arbeitsprozessen unter Beteiligung der in einer bestimmten Wertschöpfungskette relevanten Akteure, die die gemeinsame Entwicklung zirkulärer Geschäftsmodelle ermöglichen und deren Umsetzung akteurübergreifend vorbereiten.
- Erforschung, wo für solide Ökobilanzen noch Datengrundlagen bzw. wo für solide Ökobilanzen noch methodische Grundlagen zu schaffen sind und diese in ausreichender Qualität und Aktualität schaffen. Prüfung, wie diese auch KMU niedrigschwellig – direkt oder über geeignete Intermediäre – zugänglich gemacht werden können.
- Forschung zur Entwicklung eines Unterstützungssystems für das Treffen der richtigen Entscheidungen bei der Wahl zwischen verschiedenen Möglichkeiten der Kombination von Verfahrensoptionen in einer bestimmten Produktionskette.
- Erforschung eines vernünftigen Maßstabs, um das Handeln zu bewerten mit dem Ziel einen oder mehrere Handlungsansätze zu entwickeln, denen allgemein zugestimmt werden kann. Das Ziel soll hierbei unter anderem der Schutz der menschlichen Gesundheit und der natürlichen Umwelt im Sinne einer insgesamt nachhaltigen Entwicklung sein. Entwickelt werden sollte ein ganzheitlicher Ansatz, der in eine (vielleicht systemdynamische) Bewertungsmatrix zu bringen ist. Wichtig wären umfassende und belastbare Bewertungsparameter, die auch Interdependenzen und Zielkonflikte adressieren – kurz: Ein integriertes, vernünftiges Bewertungssystem. Idealerweise unter Integration bereits bestehender Daten in schon genutzte Softwaresysteme.



- Erforschung von Möglichkeiten zur Optimierung des Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude bzw. des Zertifizierungssystems der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. Ziel ist die Entwicklung eines Maßstabs, in dem in der politisch gewollten Gewichtung alles integriert ist, keine verzerrende Hervorhebung von Einzelthemen stattfindet, das ein klares, umfassendes Ziel- und Bewertungssystem bietet.
- Erforschung der Entwicklung von Möglichkeiten, derartige Bewertungen bzw. deren Ergebnisse auch für KMU zugänglich bzw. nutzbar zu machen, deren Kapazitäten eine Datenerhebung und Anwendung derartig umfassender Analysen nicht erlauben.
- Erforschung, Systematisierung und Erstellung eines Leitfadens zum geeigneten Einsatz von Daten und Methoden, um den Nutzen wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Aktivitäten zu bestimmen und vergleichbar zu machen.
- Entwicklung von Lösungsansätzen zur Integration von kreislauffähigen Produkten, Dienstleistungen in bestehende IT-Systeme (wie ERP, PDM, etc.) in Unternehmen.
- Suffizienzforschung: Erforschung des subjektiv empfundenen Bedarfs verschiedener Gruppen von Nutzerinnen und Nutzern an technologischen Funktionalitäten mit großer Relevanz für den Ressourcenschutz.

Technikbewertung kreislauffähiger Materialien und Produkte

In einem Einführungsvortrag berichtete Prof. Dr. Spengler, TU Braunschweig, von bestehenden Erkenntnissen zur ganzheitlichen Bewertung der Kreislauffähigkeit von Materialien und Produkten. Wie bereits beschrieben lassen sich die Kreisläufe einer geschlossenen Wertschöpfungskette einerseits, aber auch die Optionen der Kreislaufschließung an unterschiedlichen Stellen bzw. Stufen andererseits ganzheitlich im Sinne der Nachhaltigkeit bewerten. Für die Verknüpfung und übergreifende Bewertung der jeweiligen Optionen wurde eine neuartige Methodik entwickelt, die der gängigen Praxis in vielen Bereichen überlegen ist. Mit der Lösung wird ein Vergleich alternativer Supply-Chain-Konfigurationen in Bezug auf verschiedene Nachhaltigkeitsaspekte lebenszyklusweit ermöglicht, die dann im Zusammenhang betrachtet werden können. Hierauf setzt – im Gegensatz zu bisher häufig genutzten Scoring-Systemen und Nutzwertmodellen – ein multikriterielles Bewertungssystem auf, das eine höhere Qualität der Bewertung zulässt. Daraus ergeben sich umfassende Vergleichs-Matrizen, bei denen die verschiedenen Vor- und Nachteile der verschiedenen Optionen hinsichtlich verschiedener Zieldimensionen auf einen Blick entnommen werden können. Auch die Perspektive unterschiedlicher Stakeholdergruppen findet Eingang in die Betrachtung. So wird bei transparenter Faktenlage eine Diskussion zum strukturierten gemeinsamen Erreichen eines guten Verständnisses zur Konsensfindung ermöglicht.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende *mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung* ableiten:

- Erforschung von Lösungsmöglichkeiten für bei Nachhaltigkeitsbewertungen auftretende Mess- und Bewertungsprobleme, insbesondere auch bezogen auf einzelne Elemente der Bewertungen, Einordnungen in den drei miteinander verknüpften Dimensionen der Nachhaltigkeit sowie die vergleichende Bewertung denkbarer Alternativen.
- Gemeinsame Erfassung und Aggregation von Studienergebnissen zu real existierenden Material- und Energieflüssen einerseits und real existierenden Informationsflüssen andererseits.
- Erarbeitung von verfügbaren Datensätzen; Erforschung von Fragestellungen rund um die Datengenerierung und Datennutzung u.a. bezüglich möglicher Datennutzer und deren Datenwünsche, möglicher Datenerzeuger und deren Datenwünsche.



Chancen der Digitalisierung für das Design kreislauffähiger Materialien und Produkte

In einem Einführungsvortrag stellten Prof. Dr. Andreas Rausch und Dr. David Inkermann, je TU Clausthal, vielversprechende Ansatzpunkte vor, bei denen die Digitalisierung Lösungen für das Design kreislauffähiger Materialien und Produkte bietet. Ein wesentlicher Aspekt war hierbei die Erkenntnis, dass letztlich besonders die Personen, die Produkte nutzen mit ihren Entscheidungen einen wesentlichen Einfluss darauf nehmen, ob die Produkte nach der Erst-, Zweit- oder Drittnutzung in einen Weiterverwendungszyklus, in eine Reparatur, eine Verwertung oder eine Wiederaufarbeitung eingehen. Hier könnten digitale Lösungen beispielsweise ansetzen, indem den Entscheiderinnen und Entscheidern eine transparente Entscheidungsgrundlage zu verschiedenen Optionen und deren ökologischer Qualität angeboten wird. Für die Akquise, Verarbeitung und geeignete Bereitstellung derartiger Daten bietet die Digitalisierung eine Reihe von Möglichkeiten, die bis dahin noch nicht bestanden. Schließlich können digitale Lösungen die Planung von Lebenszyklusoptionen bei der Produktentwicklung unterstützen. Eine Herausforderung besteht darin, diese Optionen möglichst gut zu beschreiben. Es geht nicht um Stoffströme, sondern um einzelne Produkte und individuelle Optimierungsoptionen hinsichtlich des gesamten Systems. Lösungen der Digitalisierung können dabei unterstützen, diese Einzelkomponenten umfassend – im Zusammenhang mit weiteren – zu bewerten. Serviceanbieter der Digitalisierung können es ihren Kundinnen und Kunden in der Folge ermöglichen, diese Lebenszyklusoptionen bewusster zu steuern. Voraussetzung ist die Schaffung der digitalen Infrastruktur für einzelne Ansätze wie Digital Twins, die Stoff- und Produktverfolgung, des informationstechnischen Abbilds des gesamten Systems. Auf Basis der Analyse von Lebenszyklusoptionen kann die Anwendung der Methodik und der Prozess der Produktentwicklung erfolgen. Dann können im nächsten Schritt Produkte bzw. Angebote entstehen, die durch digitale Dienstleistungen ermöglicht werden.

In einem Expertinnen-Impuls betonte Prof. Dr. Ursula Tischner, Econcept – Agentur für Nachhaltiges Design, dass nicht nur ein Austausch innerhalb, sondern auch zwischen verschiedenen Wertschöpfungsketten notwendig ist, um innerhalb ganzer Regionen die Bildung industrieller symbiotischer Systeme zu ermöglichen. Lösungen der Digitalisierung könnten in derartigen Systemen ermöglichen, dass jeder Akteur immer in Echtzeit weiß, wo welches Produkt ist und was seine Eigenschaften sind. Digitale Lösungen könnten die Verbindung zwischen allen relevanten Akteuren sein. Konkrete Fallbeispiele umfassen z. B. eine Komplettlösung für einen Abfallbehälter-Service für Kommunen, digitalisierungs- und informationsunterstütztes Urban Mining, den 3-D-Druck von Ersatzteilen, die Nutzung von Digital Twins und der KI bereits beim Produktdesign unter Berücksichtigung der ersten, zweiten und dritten Produktnutzungsphase oder diverse Pay-Per-Use-Modelle, die auf Informationsflüssen basieren. Ein ganz wesentlicher Aspekt dabei ist die Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Energie. Denn jeder Zirkulationsprozess erfordert den Einsatz von Energie und diese muss zunehmend erneuerbar sein. Schließlich können sich nur Lösungen durchsetzen, die auch wirtschaftlich nachhaltig und umsetzbar sind.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung wie der Datenaustausch entlang des gesamten Kreislaufs grundsätzlich gewährleistet werden kann und Entwicklung angepasster Lösungen mit denen dies bezogen auf bestimmte Wertschöpfungsketten bzw. Wertschöpfungsnetze ermöglicht werden kann. Dabei sind Lösungen zum Datenschutz, zu Haftungs-, Eigentums- und Nutzungsrechtfragen ebenso mit zu adressieren, wie die Definition geeigneter Informationsfraktionen für die jeweiligen Akteure, z. B. diejenigen, die an entscheidenden Stellen über den Verbleib und die Verwendung von Produkten entscheiden.



- Erforschung, welche Eigenschaften und Daten für welche Akteure regionaler industrieller symbiotischer Netzwerke abgebildet sein müssten, um die Circular Economy optimal zu fördern und im nächsten Schritt Erforschung, ob die Unternehmen bereits über diese Daten verfügen bzw. wie sie diese bekommen könnten.
- Erforschung, wie genau Kreislaufwirtschaft und Recycling durch eine durch digitale Lösungen ermöglichte weitgehende bzw. umfassende Informationsbasis unterstützt werden könnten.
- Erforschung der Erfordernisse und konkreter technischer, juristischer und sonstiger praktischer Ausgestaltungsoptionen flankierender Systeme für gezielt zur Unterstützung der Circular Economy hin entwickelte Systeme des digitalen Informationsaustauschs, darunter Anforderungen an noch zu entwickelnde Software, Standards, die z. B. die Datensicherheit oder geschütztes Know-how sowie die Einhaltung weiterer Anforderungen für den praktischen Einsatz gewährleisten.
- Demonstrations- und Diffusionsvorhaben dazu, wie Technologien wie Digital Twins und KI zur Unterstützung des ressourceneffizienten, kreislauffähigen Produktdesigns unter Berücksichtigung der ersten, zweiten und dritten Produktnutzungsphase in Unternehmen hineingebracht werden und wie diese konkret auf das Produktdesign angewendet werden können.
- Zusammenführung bestehenden Wissens in einer Metastudie zum Thema „Chancen der Digitalisierung für das Design kreislauffähiger Materialien und Produkte“. Es gibt viele gute Einzelergebnisse, Ansätze und Projekte, die aber mangels Schnittstellen nicht zusammengebracht werden können. Die Informationen können noch nicht „im Kreis geführt“ werden. Diese Lücke könnte durch die Forschung geschlossen werden.
- Erforschung der Optionen, um aus bestehenden Ansätzen wie der SCIP-Datenbank Instrumente zu machen, die in der Lage sind, die Kreislaufführung von Materialien, Komponenten und Stoffen zu unterstützen. Strukturierte Datenaufnahme bereits im Markt vorhandenen Wissens zu realen Informationserfordernissen im Bereich Recycling und Einsatz von Altprodukten, Altmaterialien etc. Erforschung, wie diese möglichst niedrigschwellig – auch unter Betrachtung juristischer Aspekte – wieder für Unternehmen nutzbar gemacht werden können. Im ersten Schritt strukturierte Datenaufnahme, welche Informationen in einem bestimmten Bereich von wem gebraucht werden, dann im zweiten Schritt Erforschung geeigneter Informations-Transport- und Bereitstellungsmedien. Schließung der bestehenden Wissenslücke zwischen Einzelsubstanz und Erzeugnis durch Adressierung von „Materialien“.
- Erforschung, welche Daten in welchen Bereichen ohnehin anfallen und wie diese für die Realisierung einer Circular Economy genutzt werden können. Aus der Diskussion gingen hierbei verschiedene mögliche Ausgestaltungsoptionen hervor. Diskutiert wurde zum einen der Ansatz, möglichst viele Daten zu generieren und mittels KI zu lernen. Zum anderen wurde der Ansatz diskutiert, diese Forschung bewusst nicht als Vorstufe zum Aufbau großvolumiger Datenbanken ohne klar definierten Zweck anzulegen, sondern die Datensammlung und -verarbeitung bereits vorab zielgerichtet durchzuführen.
- Erforschung der Ermöglichung und praktischer Umsetzungsformen des Datenhandels sowie der Ausgestaltung geeigneter Datenmarktplätze dafür mit dem Ziel, bestehende Akteure mit ihren Datenbeständen einerseits sowie Nachfragerinnen und Nachfrager für diese Daten andererseits zusammenbringen, so dass sich am Markt der Wert der jeweiligen Daten zeigen kann. Idealerweise können sich derartige Systeme langfristig selbst tragen, perpetuieren und weiterentwickeln.
- Förderung von Demonstrationsvorhaben, die in der Praxis Daten für die Etablierung neuer Geschäftsmodelle nutzen.



Literatur und Quellenverzeichnis zu Abschnitt C

Blömeke, Steffen/ Mennenga, Mark/ Herrmann, Christoph/ Kintscher, Lars/ Bikker, Gert/ Lawrenz, Sebastian/ Sharma, Priyanka/ Rausch, Andreas/ Nippraschk, Mathias/ Goldmann, Daniel/ Poschmann, Hendrik/ Brüggemann, Holger/ Scheller, Christian/ Spengler, Thomas (2020): Recycling 4.0: An Integrated Approach Towards an Advanced Circular Economy, ICT4S 2020, S. 66-76, URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3401335.3401666>

Lange, U./ Oberender, C. (2017): VDI ZRE Kurzanalyse Nr. 20: Ressourceneffizienz durch Maßnahmen in der Produktentwicklung, von der VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE) (Hrsg.) erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Berlin, URL: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/VDI-ZRE_Kurzanalyse_Nr._20_Produktentwicklung_bf.pdf

Jepsen, Dirk*/ Rödig, Lisa*/ Reihlen, Antonia*/ Spengler, Laura*/ Vollmer, Annette*/ Volz, Susanne*/ Wirth, Olaf*/ Zimmermann, Till*/ Eberle, Ulrike#/ Kraus, Ingrid° (2019): Verankerung von ökologischen Aspekten der Produktgestaltung in der Designausbildung: Konzeption und Umsetzung eines Lehrmoduls zu ökologischem Design, vorgelegt von *Ökopol GmbH, #sustainability workx und Internationales Design Zentrum (IDZ)° im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), Dessau-Roßlau, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/verankerung-von-oekologischen-aspekten-der>

Scheller, C./ Schmidt, K./ Spengler, T. S. (2020): Decentralized master production and recycling scheduling of lithium-ion batteries – a techno-economic optimization model , in: Journal of Business Economics, URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11573-020-00999-7>

Schischke, Karsten (2020): Das Design bestimmt die Ökobilanz. Mobile Endgeräte im Umweltfokus, in: FIFF-Kommunikation (Hrsg.), URL: <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-614370.html>

Schumacher, Thomas/ Inkermann, David (2020): Herausforderungen und Anforderungen bei der durchgängigen Architekturmodellierung mechatronischer Systeme, 31. DfX-Symposium 2020, URL: <https://human.designsociety.org/download-publication/43024/Herausforderungen+und+Anforderungen+bei+der+durchg%C3%A4ngigen+Architekturmodellierung+mechatronischer+Systeme>

Sharma, Priyanka/ Lawrenz, Sebastian/ Rausch, Andreas (2020): Towards Trustworthy and Independent Data Marketplaces, Publication: ICBC'T'20: Proceedings of the 2020 The 2nd International Conference on Blockchain Technology, URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3390566.3391687>

Tischner, Ursula/ Moser, Heidrun (2015): Was ist Ecodesign? Praxishandbuch für Ecodesign inklusive Toolbox, zuletzt aktualisiert 2018, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/was-ist-ecodesign>

VDI (2016): VDI 4800 Blatt 1 - Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.), Düsseldorf, URL: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4800-blatt-1-ressourceneffizienz-methodische-grundlagen-prinzipien-und-strategien>

Vermeulen, W. J. V./ Reike, D./ Witjes, S. (2018): Circular Economy 3.0: getting beyond the messy conceptualization of circularity and the 3R's, 4R's and more, URL: https://www.cec4europe.eu/wp-content/uploads/2018/09/Chapter-1.4._W.J.V.-Vermeulen-et-al._Circular-Economy-3.0-getting-beyond-the-messy-conceptualization-of-circularity-and-the-3Rs-4Rs-and-more.pdf

Woidasky, Jörg/ Cetinkaya, Esra (2021): Use pattern relevance for laptop repair and product lifetime, in: Journal of Cleaner Production, Band 288 (15.03.2021) 125425, Elsevier Ltd., Niederlande (Hrsg.), URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620354718?via%3Dihub>



Ziegenbein, Amina/ Fertig, Alexander/ Metternich, Joachim/ Weigold, Matthias (2020): Data-Based Process Analysis in Machining Production: Case Study for Quality Determination in a Drilling Process, in: Procedia CIRP, 93, S. 1472-1477. Elsevier B.V., URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120306727?via%3Dihub>



D. Mögliche Anknüpfungspunkte zur Fortentwicklung der Forschungs- und Innovationsförderung im Bereich neuer Geschäftsmodelle für eine längere Produktnutzung

1. Neue Geschäftsmodelle für eine längere Produktnutzung

Im Einführungsvortrag von Klaus Hieronymi, Circular Economy Research, wurden grundlegende bestehende Ausprägungen, Umsetzungsstände und Herausforderungen zirkulärer Geschäftsmodelle bezogen auf die Produktgruppen Laptops und Smartphones vorgestellt.²⁰ Die Reparatur, die Weiternutzung gebrauchter Geräte sowie die Entwicklung von Geschäftsmodellen, bei denen Kundinnen und Kunden anstatt eines bestimmten Guts, den aus der Nutzung resultierenden Produktnutzen käuflich erwerben, können die Zielsetzung der Circular Economy unterstützen, in Produkten enthaltene Werte möglichst lange zu erhalten. Zu diesen Werten zählen neben bestimmten produktspezifisch verarbeiteten Materialien die für die Herstellung verbrauchte Energie, eventuell weitere natürliche Ressourcen wie z. B. die Inanspruchnahme des Umweltmediums Wasser über die Wertschöpfungskette hinweg, aber auch weitere Ressourcen wie die menschliche Arbeitskraft oder das für das Produktdesign und die Herstellung eingesetzte Kapital.

Es wurden aktuelle Sachstände sowie bestehende Herausforderungen für verschiedene Fallkonstellationen vorgestellt. So besteht für Second-Hand-Geräte im Bereich Laptops und Smartphones zwar bereits ein gut ausgebautes Reparaturnetzwerk und die zur Umsetzung von Reparaturen erforderliche Infrastruktur. Gleichwohl konkurrieren die Second-Hand-Geräte am Markt direkt mit Neuprodukten, deren Inanspruchnahme für Kundinnen und Kunden häufig mit einem geringeren Aufwand einher geht und die bezogen auf die Produktqualität ein größeres Vertrauen genießen. Hinzu kommen aktuell Angebotsengpässe bei gebrauchten Geräten. Vielversprechende Ansatzpunkte liegen in der noch weitergehenden Automatisierung der Prozesse des Gebrauchtwarenhandels insbesondere im Privatkundenbereich, in der Entwicklung geeigneter Qualitätsversprechen für gebrauchte Produkte sowie in der Klärung offener Fragen im Bereich der Gewährleistungsansprüche.

Anschließend gab Robina von Stein, R.S.E.M. RE-NT UG, einen Einblick in das neuartige Geschäftsmodell des Unternehmens.²¹ Sein Kernanliegen ist es, Anbieter modischer Kleidung beim Übergang in die Kreislaufwirtschaft zu unterstützen, indem Fashion Anbieter gezielt und möglichst umfassend bei der Entwicklung und Umsetzung zirkulärer Geschäftsmodelle für geeignete Produktkategorien unterstützt werden. Konkret bedeutet dies, dass die betroffenen Bekleidungsprodukte zunehmend nicht mehr käuflich erworben, sondern gemietet – in Einzelfällen geleast – werden. Das Modell gründet auf der Einrichtung eines Trackingsystems für geeignete Produktkategorien. Es versetzt Anbieter sowie Endkundinnen und Endkunden in die Lage zu erfahren, wo die einzelnen Produkte herkommen, wo sie sich aktuell befinden, welche Materialien darin enthalten sind, in welchem Zustand das Produkt zum letzten Messzeitpunkt war und wie oft ein Produkt sich in einer (Wieder-)Nutzungsphase befindet.

So werden wesentliche – u. a. auch recyclingrelevante – Informationen bis zum Produktlebensende mit transportiert. Hierfür stellt das Unternehmen eine geeignete Softwarelösung zur Verfügung, die in Verbindung mit in die Bekleidungsprodukte integrierten, technisch auslesbaren Identifikationsmerkmalen, eine individuelle Zuordnung von Produktinformationen zu den einzelnen Produkten ermöglicht. Für die praktische Umsetzung von Kreislaufführung, (optional Reinigung zur) Wieder- und Weiternutzung bzw. Recycling bietet das Geschäftsmodell wesentliche Vorteile. Ferner ist die

²⁰ Vgl. Hieronymi (2016)

²¹ Vgl. Süddeutsche Zeitung (2019)



systematische Auswertung der genannten Daten auch produktübergreifend möglich. Verschiedene ökologische Kennzahlen zum Gebrauch natürlicher Ressourcen sowie zu Treibhausgasemissionen für einzelne Produkte, lassen sich z. T. bereits jetzt (manche Kennzahlen sind noch in Entwicklung) sowohl durch die Anbieter als auch die Kundinnen und Kunden einsehen. Dabei wird über ressourcen- und perspektivisch auch klimabezogene Kennzahlen der ökologische Nutzen, den das Geschäftsmodell im Vergleich zum konventionellen Kauf-Geschäftsmodell mit sich bringt, transparent gemacht.

Die Entwicklung und Einführung derartiger Modelle sowie deren Betrieb parallel zum konventionellen Geschäftsmodell birgt eine Reihe von Herausforderungen, z. B. bezogen auf veränderte Angebots- und Konsumformen, die Ausgestaltung logistischer Prozesse, interne betriebswirtschaftliche sowie externe Erfolgskennzahlen, Vermarktung und Vertrieb sowie Gewährleistungs- und Haftungsfragen. Eine erfolgreiche Umsetzung und insbesondere die breite Ablösung des alten durch Formen des neuartigen Modells, setzt die Entwicklung geeigneter Konzepte und einen Wandel in diesen angrenzenden und unterstützenden Bereichen der unternehmerischen Tätigkeit voraus. Schließlich verspricht ein auf das neue Geschäftsmodell hin ausgerichtetes Design der betroffenen Bekleidungsprodukte sowohl einen höheren ökonomischen Ertrag als auch zusätzliche Beiträge zu Klimaschutz und Ressourcenschonung.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung von Möglichkeiten, die Inanspruchnahme von Reparaturen, des Erwerbs gebrauchter Laptops und Smartphones oder des damit verbundenen Nutzens für Kundinnen und Kunden dadurch attraktiver zu machen, den Aufwand der Inanspruchnahme durch eine weitestmögliche Automatisierung der damit verbundenen Prozesse auf ein Minimum zu reduzieren. Eng damit verbunden ist die Erforschung ökonomisch und technisch umsetzbarer Möglichkeiten,
 - geeignete belastbare Informationen zur Qualität gebrauchter Produkte dieser Kategorie für Kundinnen und Kunden transparent zu machen und standardisiert anzubieten;
 - die Rechtssicherheit für Kundinnen und Kunden und deren Handlungsfähigkeit im Bereich von Gewährleistungsansprüchen zu erhöhen.
- Erforschung, wie sich insbesondere bei Produktservice-Systemen die ökonomische Risikoverteilung – z. B. bezogen auf Konjunkturrisiken oder auf Risiken im Bereich der Mängelhaftung – zwischen Anbietern und Abnehmern gestalten lässt.
- Erforschung möglicher Lösungen zur Überwindung einer wesentlichen Hürde für eine zunehmende Verbreitung von Geschäftsmodellen, bei denen anstatt eines Gutes der mit der Inanspruchnahme des Gutes einher gehende Nutzen verkauft wird. Konkret besteht die Hürde darin, dass Verbraucherinnen und Verbraucher bereits jetzt eine hohe Anzahl an für sie in der Summe z. T. inhaltlich nicht mehr sinnvoll überschaubaren Dienstleistungsverträgen für die Inanspruchnahme verschiedener Dienstleistungen unterhalten und diese Komplexität durch zusätzliche Verträge für die mit neuen Geschäftsmodellen in Verbindung stehende Inanspruchnahme weiterer Dienstleistungen noch weiter zu steigen droht.
- Erforschung der Übertragbarkeit und möglicher konkreter Ausgestaltungsformen der oben für Bekleidungsprodukte sowie tragbarer Informationsverarbeitungselektronik beschriebenen Geschäftsmodelle auf weitere Produktkategorien mit hohem Potenzial für die Schonung natürlicher Ressourcen. Darunter insbesondere Erforschung des Potenzials, für weitere Produktgruppen im Rahmen eines ökonomisch rentablen Geschäftsmodells über geeignete Identifikations- bzw. Wiedererkennungs-, Erfassungs- und Auswertungslösungen digitale Produktwillinge für einzelne Produkte mit dem Ziel der Optimierung des Ressourceneinsatzes über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg zu schaffen.



- Erforschung wie bei den bereits etablierten und weit gediehenen zirkulären Geschäftsmodellen im Bereich Bekleidung ressourcenschonend weitere Automatisierungspotenziale erschlossen werden können, mit dem Ziel, den Aufwand der Inanspruchnahme der über neue Geschäftsmodelle vertriebenen Angebote so weit wie möglich zu reduzieren und damit deren Attraktivität für Kundinnen und Kunden zu steigern. Entsprechende Forschung und Entwicklung insbesondere zur Lösung bestehender Herausforderungen in den Bereichen Logistik und Fulfilment.
- Aufbauend auf Erkenntnissen aktuell dazu anlaufender Projekte: Erforschung und (Weiter-)Entwicklung von Möglichkeiten, einen geeigneten Teil der durch die dargestellten oder ähnlichen zirkulären Geschäftsmodelle gewonnenen produktbezogenen Daten in geeigneter Weise Produktdesignerinnen und -designern zur zielgerichteten Nutzung für das Design ökonomisch erfolgreicher und ökologisch besonders vorteilhafter Produkte für die jeweiligen zirkulären Geschäftsmodelle zur Verfügung zu stellen. Erforschung der Möglichkeiten und Potenziale der Schaffung einer gegenseitigen informativen Rückkopplung zwischen Produktdesign und den übrigen Stufen des Produktlebenswegs.
- Erforschung wie sich die vorgestellten Geschäftsmodelle auf den durch die Ressourcenkommission am Umweltbundesamt als Kernindikator für die erfolgreiche Umsetzung Kreislaufwirtschaft geforderte Substitutionsquote auswirken, d. h. ob und v. a. wie die Veränderungen weg vom konventionellen hin zum zirkulären Geschäftsmodell sich jeweils auf diese auswirken.
- Erforschung wie aufgrund konkret durchgerechneter Fallbeispiele die vorgestellten bzw. ähnliche Formen zirkulärer Geschäftsmodelle einen höheren ökonomischen Ertrag für die Anbieter als die konventionellen Geschäftsmodelle erzielen können. Umfassende Erforschung der Vorteile, die durch die innovativen Geschäftsmodelle je nach konkreter Ausgestaltung im Vergleich zu konventionellen Alternativen für die Nutzerinnen und Nutzer einher gehen können. Darauf aufbauend: Erforschung geeigneter Kommunikationsstrategien, mit denen die jeweiligen Inhalte der jeweiligen Zielgruppe erfolgreich übermittelt werden können. Dabei, falls möglich und sinnvoll, Differenzierung nach Zielgruppensegmenten.
- Erforschung der Potenziale und Möglichkeiten der Vereinheitlichung bzw. Standardisierung bestehender Produktkennzeichnungen im Bereich Bekleidungstextilien.

2. Digitale Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft

In einem Einführungsvortrag erläuterte Daniel Lamers, Reifenhäuser GmbH & Co. KG/ Initiative R-Cycle, wie im Rahmen von R-Cycle unter Beteiligung wesentlicher Akteure der Wertschöpfungskette im Bereich Kunststoffverpackungen der Aufbau eines Geschäftsmodells zum Austausch produktspezifischer Informationen über die gesamte Kette hinweg betrieben wird.²² Ermöglicht wird zunächst die Erfassung einer Reihe produktspezifischer Informationen, von der Herstellung über die Verarbeitung und Nutzung hinweg. Durch eine Orientierung an bestehenden Markierungstechnologien und an einem bereits im Markt verbreiteten Standard zur Verfolgung von Objekten wird in Verbindung mit geeigneten Anwendungen der Digitalisierung die Möglichkeit der systematischen Analyse der erhobenen Daten bis hin zum letzten Verbleib der jeweiligen Produkte geschaffen. Für die betroffenen Verpackungsprodukte wird ein Fluss ökologisch und ökonomisch hochrelevanter Daten von der Herstellung bis zum Recycling – und so eine bisher ungekannte Transparenz zu Materialzusammensetzungen, Verarbeitungsdaten und geographischen Daten auf Ebene einzelner Produkte – ermöglicht.

²² Vgl. K Zeitung (2020)



Aus diesen zusätzlich zur Verfügung stehenden Daten können verschiedene Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette einen zusätzlichen Nutzen ziehen. Anbieter können die Daten verwenden, um den Nachweis der Erfüllung rechtlicher Verpflichtungen zu erbringen. Sie können sich z. B. auf diese Weise Marktzugänge sichern bzw. Strafzahlungen aufgrund unzureichender Erfüllung von Quoten vermeiden. Die Endkundinnen und Endkunden können durch eine belastbare Unterscheidbarkeit nachhaltigerer und weniger nachhaltiger Produkte profitieren. Die Industrie kann die Daten nutzen, um zielgerichtet Maschinen und technisches Zubehör neu- bzw. weiterzuentwickeln oder/ und zusätzliche Dienstleistungen wie digitale Dienste oder Beratung zur Ergänzung des jeweiligen Angebotsportfolios zu entwickeln. Der Einsatz des Modells erfordert in den beteiligten Unternehmen die Umsetzung eines geeigneten Rollen- und Rechtemanagements sowie die praktische Ermöglichung des Datentransfers über Unternehmen hinweg. In verschiedenen Pilotprojekten wird R-Cycle bereits bezogen auf einzelne Produkte erprobt.

Im Anschluss gab Tristan Niewisch, pdv software GmbH, einen weiteren Einblick in die vielfältigen Möglichkeiten, mittels innovativer Lösungen der Digitalisierung, Geschäftsmodelle zu entwickeln, die der Schonung natürlicher Ressourcen im Sinne einer Circular Economy zugute kommen.²³ Das Unternehmen arbeitet mit verschiedenen Industriepartnern an der Ermöglichung einer stärkeren Kreislaufführung von Materialien und Produkten. Die Partner werden gezielt bei der Zusammenführung, Verarbeitung und Auswertung von Daten ihrer Produktionsprozesse unterstützt. Hierfür stehen geeignete Software-Anwendungen bereit, die für die jeweiligen Kunden angepasst werden. Ziel ist es, v. a. durch die Integration und übergreifende Auswertung bereits vorhandener Daten einen Mehrwert zu schaffen. Entlang der gesamten Wertschöpfungsketten verschiedener Produkte fallen Daten an, aus deren übergreifender Analyse sich ökonomische und ökologische Optimierungspotenziale ableiten lassen. Um für die KI-gestützte Optimierung zugänglich zu sein, ist ein gewisses zur Verfügung stehendes Datenvolumen erforderlich. Die Zusammenführung und Verdichtung von Datenbeständen dient dem Zweck, eine ausreichende Datengrundlage für mathematische Auswertungen, die Berechnung von Kennzahlen bzw. KPIs oder gar KI-gestützte Auswertungsverfahren zu schaffen.

Projektbeispiele in verschiedenen Wirtschafts- und Technologiebereichen zeigen die große Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten des Geschäftsmodells auf. Die Verfügbarkeit qualifizierten Personals ist eine wesentliche Bedingung und gleichzeitig eine zunehmende Hürde für die Umsetzung derartiger Projekte. Optimierungsziele, die in den verschiedenen möglichen Anwendungsfeldern verfolgt werden umfassen dabei bisher z. B. die Verringerung bzw. Vermeidung von Emissionen, die optimale Nutzung des energetischen Potenzials innerhalb von Prozessen bzw. bei der Energieerzeugung, die Gewinnung von (Sekundär-)Rohstoffen hoher Qualität, die Transparenz von Stoffströmen, die Verringerung von Ressourceneinsatzmengen, die Optimierung von Vermeidungsstrategien nicht mehr nutzbarer Reststoffe sowie die möglichst sichere, einfache und rechtskonforme Nachweisführung, dass bestehende Verpflichtungen – z. B. ein bestimmter Rezyklatanteil – erfüllt werden.

Im Anschluss berichtete Johannes Schön, REMONDIS Digital Services GmbH, von einem bereits weit ausgereiften digitalen Geschäftsmodell des Unternehmens, das durch die Kombination bestehender Logistik- und Infrastrukturelemente mit innovativen Anwendungen der Digitalisierung in der Lage ist, die Umwelt zu entlasten und gleichzeitig einen ökonomischen Mehrwert für Anbieter sowie Kundinnen und Kunden zu bieten.²⁴ Das bereits in vier deutschen Städten im Einsatz befindliche Modell „Data Fleet“, beruht auf der KI-gestützten Erfassung von Straßen- und Umgebungszustandsdaten, deren Zusammenführung in einer Datenbank sowie deren zentralen Auswertung zur optimierten Pflege der

²³ Vgl. z. B. REWIMET e.V. (2021)

²⁴ Vgl. REMONDIS Digital Services GmbH (2021)



kommunalen Infrastruktur. Die Herausforderung, das Modell datenschutzkonform zu gestalten konnte u. a. durch eine KI-gestützte Lösung zur Verhinderung der Speicherung personenbezogener Daten gelöst werden. Gespeichert und zusammengeführt werden die Daten in einer Cloud-Datenbank. Um die Kosten und Umweltwirkungen des Modells möglichst gering zu halten, sind die verarbeiteten Datensätze möglichst schlank gehalten.

Durch eine Kombination der neuen technologischen Möglichkeiten mit bestehenden Fahrzeugen und Fahrstrecken der Entsorgungslogistik, lassen sich zusätzliche Fahrten ebenso wie die bisher notwendige regelmäßige Begehung der betroffenen kommunalen Infrastrukturelemente vermeiden. Den Kundinnen und Kunden aus dem kommunalen Bereich wird so eine innovative Lösung angeboten, die Infrastruktur kosten- und ressourceneffizient zu beobachten und Mängel zielgerichtet zu beheben. Schließlich wurde auf eine Reihe weiterer Projekte der REMONDIS Digital Services GmbH verwiesen, bei denen Lösungen der Digitalisierung bei gleichzeitiger Entlastung der natürlichen Ressourcen einen ökonomischen Mehrwert schaffen können.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung des Verbreitungspotenzials des Geschäftsmodells R-Cycle innerhalb der Branche bzw. der Übertragbarkeit des Ansatzes auf weitere Verpackungsprodukte – Potenziale, Grenzen, Herausforderungen.
- Identifikation und Erforschung neuer Anwendungsfelder, eventuell Förderung von Pilotanwendungen für die systematische und zielgerichtete Zusammenführung von Produktionsdaten entlang ausgewählter Produkt-Wertschöpfungsketten. Ziel ist es dabei, im Ergebnis ausreichend große Datenbestände geeigneter Ausprägung zu schaffen, die übergeordneten mathematischen oder KI-gestützten Auswertungen zugänglich sind und die mit hoher Wahrscheinlichkeit die Erschließung eines ökologischen sowie eines ökonomischen Optimierungspotenzials für die zugrunde liegenden Geschäfts-, Nutzungs- und Kreislaufführungsprozesse ermöglichen.
- Grundlagenforschung, wo und in welcher Weise bereits bestehende Infrastruktur zur zielgerichteten Erhebung und Verarbeitung von Daten genutzt werden kann, um damit digitale Geschäftsmodelle zu schaffen, die in der Lage sind, zur Schonung natürlicher Ressourcen beizutragen.
- Erforschung des ökologischen Zusatzaufwands digitaler innovativer Geschäftsmodelle sowie von Möglichkeiten, diesen mit vertretbarem Aufwand belastbar entsprechend bestehender Standards zu erfassen und bewusst bereits beim Design des Geschäftsmodells zu minimieren.

3. Daten, Methoden, Indikatorik zur ökologischen Bewertung neuer Geschäftsmodelle

In einem Einführungsvortrag berichtete Dr. Luis Tercero Espinoza, Fraunhofer ISI, von bestehenden Erkenntnissen zur ökologischen Bewertung innovativer Geschäftsmodelle der Circular Economy.²⁵ Ein besonderes Augenmerk liegt darauf, was nach der Produktnutzung mit den jeweiligen Produkten geschieht, d. h. ob sie einer Reparatur, einer Wiederaufarbeitung, einer weiteren Nutzungsphase, dem Recycling, sonstigen Verwendungsformen oder der Beseitigung zugeführt werden. Die Bewertung der ökologischen Qualität innovativer Geschäftsmodelle und damit die Bewertung der Frage, ob diese einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft zugute kommen, gründet in aller Regel auf Annahmen. Für real existierende Fallbeispiele liegen kaum empirische Daten vor. Zugängliche solide ex post Analysen sind kaum verfügbar. Bei der Abschätzung der ökologischen Vor- bzw. Nachteile eines innovativen Geschäftsmodells im Vergleich zum konventionellen Geschäftsmodell muss daher in aller Regel

²⁵ Vgl. Tercero Espinoza et al. (2020)



mit Annahmen über künftige Entwicklungen gearbeitet werden. Wichtig ist eine gute Kenntnis der ökologischen Eckdaten der bisherigen Geschäftsmodelle, die den Bezugspunkt für gewünschte Verbesserungen bilden.

Es bestehen zwei klassische Methodiken zur Untersuchung derartiger Fragen: Für Bewertungen auf höherer, aggregierter Ebene – also z. B. für Volkswirtschaften – eignet sich insbesondere die etablierte Methode der Materialflussanalyse (MFA). Für Bewertungen auf niedrigerer bzw. der „Mikro-Ebene“ – also z. B. für einzelne Produkte – eignet sich die etablierte Methode der Lebenszyklusanalyse (LCA). Eine Schlüsselvariable von herausragender Bedeutung für das Ergebnis der ökologischen Bewertung ist bei derartigen Analysen stets die zugrunde gelegte durchschnittliche Lebensdauer der jeweiligen Produkte.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende *mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung* ableiten:

- Erforschung der ökobilanziell validierten ökologischen Qualität bestehender zirkulärer Geschäftsmodelle. Schaffung von Datenbeständen zu real umgesetzten zirkulären Geschäftsmodellen, die einer wissenschaftlichen Auswertung zugänglich sind.
- Erforschung der Wahrscheinlichkeit und Ausprägung eines geänderten Verhaltens von Konsumentinnen und Konsumenten durch die Verfügbarkeit transparenter Informationen zu ökologischen Vor- und Nachteilen der Inanspruchnahme von Gütern bzw. Dienstleistungen über konventionelle Geschäftsmodelle einerseits und zirkuläre Geschäftsmodelle andererseits.
- Identifikation und Erforschung ökologischer Bewertungsmethoden für grundlegende disruptive Innovationen auf der Systemebene, z. B. künstlich erzeugter Milch im Vergleich zur konventionellen Erzeugungsalternative.
- Erforschung geeigneter methodischer Fortentwicklungsmöglichkeiten für MFA und LCA sowie des Potenzials hybrider Analyse- und Bewertungsmethoden zur optimalen ökologischen Bewertung innovativer zirkulärer Geschäftsmodelle sowie zur Erhöhung von deren Aussagekraft. Erforschung der Möglichkeit, durch derartige Modelle bzw. durch auf derartige Modelle aufsetzende Lösungen bezogen auf verschiedene Zieldimensionen eine überschaubare und verständliche Auswahl von Entscheidungsalternativen zu generieren und darzustellen.
- Erforschung der Möglichkeiten des Einsatzes der KI zur Ökobilanzierung mit dem Ziel, über noch aufzubauende Schnittstellen durch einen automatischen Zugriff auf bestehende Ökobilanzdatenbanken für Anwenderinnen und Anwender möglichst einfach, preiswert und rasch belastbare Ökobilanzen für eine Reihe von Anwendungsfällen erstellen zu können. Idealerweise könnte dies so weit entwickelt werden, dass bei geeigneten Fördermaßnahmen entsprechende – mit für Antragstellerinnen und Antragsteller vertretbarem Aufwand nachweis- bzw. erfüllbare – Förderkriterien formuliert werden können. Auch könnte eine solche Anwendung begünstigen, dass vor Richtungsentscheidungen – z. B. im Bereich Materialzusammensetzung oder Digitalisierungsoptionen – stehende Unternehmen mit vertretbarem Aufwand die ökologische Dimension bereits vor der Entscheidung über konkrete Investitionen fundiert in Betrachtungen mit einbeziehen können.
- Pilot-Erforschung innovativer ökologischer Bewertungsmethoden und daraus abgeleiteter Modelle wie des ökologischen Produktpasses zur Erforschung deren Potenzials. Hintergrund ist, dass die praktische Testung noch nicht ausgereifter Methoden und Ansätze bereits Aussagen darüber ermöglichen kann, welchen Nutzen diese in ausgereiftem Zustand stiften könnten. Daraus kann im Einzelfall überhaupt erst die Motivation für den Einsatz weiterer Mittel zu deren Weiterentwicklung entstehen.



- Erforschung der Verlustpunkte und Verbleibe von Gütern verschiedener Produktkategorien, die aus Sicht der Ressourcenschonung von besonderer Bedeutung sind und bei denen signifikante Anteile der in Verkehr gebrachten Mengen sich keinem bekannten Verbleib zuordnen lassen.

4. Soziale Innovationen zur Unterstützung innovativer Geschäftsmodelle der Kreislaufwirtschaft

In einem Einführungsvortrag stellte Dr. Siegfried Behrendt, IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung/ Ecological Research Network, zunächst grundlegende Ansätze vor, mittels derer innovative Praktiken und Geschäftsmodelle entlang der jeweiligen Wertschöpfungskette zur Entkopplung von Ressourceneinsatz und daraus resultierendem Nutzen beitragen können:²⁶ Life Cycle Design, Nutzungsdauerverlängerung, Nutzungsintensivierung oder Materialneunutzung. Neue Geschäftsmodelle und soziale Innovationen können sich gegenseitig ergänzen und in ihrer Verbreitung verstärken.

Der Durchbruch des Unternehmens eBay war wegweisend für die zunehmende Entwicklung und Verbreitung innovativer Geschäftsmodelle im Bereich der Peer-to-Peer Plattformen in den letzten 25 Jahren. Über Peer-to-Peer Plattformen können gebrauchte Produkte einer Weiterverwendung bzw. Nutzungsintensivierung zugeführt werden. Vielfältige innovative Angebote und Geschäftsmodelle dieser Art haben sich seit 1995 in verschiedenen Produktbereichen entwickelt. So bieten z. B. einzelne derartige Plattformen gebrauchte, teils wiederaufgearbeitete Smartphones mit längeren Garantiedauern an als die Anbieter der Neuprodukte. Viele etablierte Akteure bieten mittlerweile neue Nutzungsformen und Geschäftsmodelle im Bereich Sharing für verschiedene Produktkategorien an.

Bei der Beschreibung der vielfältigen Ausprägungen der Geschäftsmodelle und sozialen Innovationen, die sich in diesem Bereich entwickelt haben, ist es wichtig, die ökologischen Effekte – auch eventuelle Rebound Effekte – mit im Blick zu behalten, die sich aus veränderten Geschäftspraktiken und Nutzungsformen ergeben. In diesem Zusammenhang sind die Instrumente der Sozialempirie zur Abschätzung, Antizipation und eventuell Nachsteuerung derartiger Effekte von hoher Bedeutung. Soziale Innovationen sollten nach Möglichkeit mit ökobilanziellen Bewertungen verknüpft werden, um deren ökologischen Nutzen transparent zu machen, sicher zu stellen und zu erhalten. Besondere Beachtung verdienen ferner soziale Innovationen und innovative zirkuläre Geschäftsmodelle in Geschäftsfeldern der öffentlichen Daseinsvorsorge, die sich nicht zwingend betriebswirtschaftlich rechnen, aber einen hohen volkswirtschaftlichen Nutzen haben können sowie schließlich die Entstehung und die Potenziale von Innovationsökosystemen für die ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft. Letztere entstehen durch die zunehmende Ansiedlung innovativer Akteure und Angebote in einer bestimmten Region, z. B. von Sharing-Angeboten, Reparaturbetrieben, Re-Use-Akteuren o. Ä. Das Projektfallbeispiel CIBER (Circular City Berlin) hat z. B. 167 Akteure im Bereich der Innovationsszene mit innovativen Geschäftsmodellen im Bereich Kreislaufwirtschaft ermittelt.²⁷

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung regionaler Innovationsökosysteme im Bereich sozialer Innovationen, die in Verbindung mit zirkulären Geschäftsmodellen stehen. Insbesondere Untersuchung der Frage, wie Angebot und Nachfrage in diesem Bereich besser synchronisiert werden können, wie derartige Ansätze weiter in die Breite getragen werden können und welche weitergehenden Potenziale und Chancen sich daraus ergeben können.

²⁶ Vgl. Behrendt et al. (2019)

²⁷ Ecornet Berlin – Ecological Research Network (2021)



- Erforschung, in welchen Bereichen der öffentlichen Daseinsvorsorge neue, mit modernen Mitteln der Digitalisierung unterstützte Formen der Prozessgestaltung zur Schonung natürlicher Ressourcen, zum Klimaschutz und eventuell zu weiteren Nachhaltigkeitszielen beitragen können. Erforschung konkreter Ausgestaltungsoptionen und Umsetzungsformen für verschiedene Bereiche der öffentlichen Daseinsvorsorge. Differenzierung nach ländlichem bzw. urbanem Raum.
- Breite Erforschung potenzieller Anwendungsfälle für soziale bzw. Geschäftsmodellinnovationen im Bereich der Circular Economy. Z. B. Pilotierung des Sharings von Autohäusern durch Hersteller von Kraftfahrzeugen zur überwiegenden Vermietung der dort bereitgestellten Fahrzeuge. Z. B. „Community Sharing“: Kauf eines gemeinsam genutzten hochpreisigen Fahrzeugs durch Halterinnen und Halter, die alle in einer Wohnsiedlung wohnen.
- Erforschung der Möglichkeiten, in verschiedenen Bereichen durch soziale Innovationen eine bessere Integration von Produktions- und Konsumseite zu erreichen.
- Erforschung der Verwendung von Produktnutzerinnen und Produktnutzern über soziale Innovationen oder innovative Geschäftsmodelle eingesparter finanzieller Mittel nach verschiedenen sozioökonomischen Gruppen von Konsumentinnen und Konsumenten. Insbesondere Beantwortung der Frage, bei welchen Gruppen zusätzlicher finanzieller Spielraum sich unter welchen Bedingungen im Ergebnis ressourcenschonend, bei welchen Gruppen er sich unter welchen Bedingungen ressourcenbelastend auswirkt und wie sich die Entwicklung bei gegebenen gesellschaftlichen Anteilen der jeweiligen Gruppen insgesamt darstellt.
- Erforschung von Optionen, Förderprogramme für zirkuläre Geschäftsmodelle so auszugestalten, dass Rebound-Effekte vermieden bzw. minimiert werden.
- Erforschung von Optionen, den Dienstleistungs- und Produktnutzenden ein Feedback darüber bereit zu stellen, wie sich das eigene Verhalten bezogen auf bestehende Entscheidungsalternativen ökologisch auswirkt bzw. allgemeiner, wie die Rolle der Produktnutzenden sich bezogen auf zirkuläre Geschäftsmodelle und soziale Innovationen möglichst ressourcenschonend gestalten lässt.

Literatur und Quellenverzeichnis zu Abschnitt D

acatech/ CEID/ SYSTEMIQ (2020): Circular Business Models – Overcoming Barriers, Unleashing Potentials – Executive Summar and Recommendations, acatech/ Circular Economy Initiative Deutschland/ SYSTEMIQ (Hrsg.), URL: <https://www.acatech.de/publikation/circular-business-models-overcoming-barriers-unleashing-potentials/>

Behrendt, Siegfried, Henseling, Christine, Scholl, Gerd (2019): Digitale Kultur des Teilens - Mit Sharing nachhaltiger Wirtschaften, Behrendt/ Henseling/ Scholl (Hrsg.), Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, URL: <https://www.springer.com/de/book/9783658214340>

Ecornet Berlin - Ecological Research Network (2021): Circular City Berlin – Wege vom Potenzial zur Umsetzung - CiBER 1, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH (gemeinnützig) (Hrsg.), Berlin, URL: <https://www.ecornet.berlin/projekt/circular-city-berlin-wege-vom-potenzial-zur-umsetzung>

Hieronymi, Klaus (2016): Remanufacturing and Circular Economy in the IT Industry, in: Fernand J. Weiland (2016): Make-New-Again by Remanufacturing, Rebuilding or Refurbishing, Fernand J. Weiland (Hrsg.), URL: <http://circulareconomyresearch.eu/wp-content/uploads/2017/02/Remanufacturing-and-Circular-Economy-in-the-IT-Industry-March-2016.pdf>

K Zeitung (2020): R-Cycle – digitaler Zwilling für Verpackungen, Giesel Verlag GmbH (Hrsg.), Hannover, URL: <https://www.k-zeitung.de/r-cycle-digitaler-zwilling-fuer-verpackungen/>



Løkke, Søren/ Schmidt, Jannick H./ Lyhne, Ivar/ Kørnøv, Lone/ Revsbeck, Rasmus (2020): How green are supported 'green' business models? Time for the life cycle approach to enter public support programmes, in: The International Journal of Life Cycle Assessment, Nr. 25, S. 2086-2092, Springer-Verlag, URL: <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01806-9>

Müller, Ria/ Kreß-Ludwig, Michael/ Mohaupt, Franziska/ von Drachenfels, Magdalena/ Heitmann, Anne/ Gorsky, Astrid (2018): Warum (nicht) MINT? Was beeinflusst die Ausbildungs- und Berufswahlentscheidung junger Menschen?, Diskussionspapier des IÖW 69/18, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH (gemeinnützig) (Hrsg.), Berlin, URL: <https://www.ioew.de/publikation/warum-nicht-mint>

REMONDIS Digital Services GmbH (2021): Data Fleet – sichere und saubere Städte, Website der REMONDIS Digital Services GmbH (Hrsg.), URL: <https://www.remondis-datafleet.com/>

REWIMET e.V. (2021): Recycling 4.0 - Digitalisierung als Schlüssel für die Advanced Circular Economy am Beispiel innovativer Fahrzeugsysteme, REWIMET e.V. (Hrsg.), URL: <https://www.rewimet.de/aktivitaeten/projekte/recycling-4-0>

Ressourcenkommission am Umweltbundesamt – KRU – unter Mitarbeit von Dr. Kathrin Greiff (2019): Substitutionsquote: Ein realistischer Erfolgsmaßstab für die Kreislaufwirtschaft, Umweltbundesamt/ Greiff (Hrsg.), Dessau-Roßlau, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/substitutionsquote-ein-realistischer>

Süddeutsche Zeitung (2019): Mode zum Mieten, Süddeutsche Zeitung GmbH (Hrsg.), München, URL: <https://www.sueddeutsche.de/stil/mode-nachhaltigkeit-kleidung-mieten-1.4385972>

Tercero Espinoza, Luis/ Rostek, Leon/ Loibl, Antonia/ Stijepic, Denis (2020): The promise and limits of Urban Mining - Potentials, Trade-Offs and Supporting Factors for the Recovery of Raw Materials from the Anthroposphere, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.), Karlsruhe, URL: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2020/Fraunhofer_ISI_Urban_Mining.pdf



E. Mögliche Anknüpfungspunkte zur Fortentwicklung der Forschungs- und Innovationsförderung im Bereich intelligenter Sortier- und Recyclingtechnologien

1. Kunststoffe/Verpackungen

Moderne Verfahren der Sortiertechnik

In einem einführenden Impulsvortrag gab Hendrik Beel, STEINERT GmbH/ Steinert UniSort, einen Einblick in bestehende Entwicklungstrends der Sortiertechnik. Daraus ging hervor, dass sowohl die werkstofflichen Recyclingquoten, als auch die Anforderungen an Rezyklatreinheiten ansteigen und zunehmend zusätzliche Prozessschritte zur Ausschleusung von Stoffen anlagentechnisch umzusetzen sind. Technologisch erfolgt die Umsetzung zunächst klassisch durch Anwendungen der Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS). Moderne Sortieranlagen verfügen aktuell durchschnittlich über 30-50 NIR-Geräte, erfordern signifikante Investitionen und ausreichend Platz für die technische Umsetzung der aufeinander folgenden Trenn- und Sortierschritte. Um derartige Anlagen wirtschaftlich betreiben zu können, ist die fortlaufende Verarbeitung verhältnismäßig großer Volumina erforderlich. In der Folge sind relativ große Sammelgebiete für die verarbeiteten Kunststoffabfälle erforderlich, um die notwendigen Mengen verlässlich zu erhalten. Damit geht gleichzeitig eine tendenziell hohe stoffliche Diversität der Inputströme einher, die wiederum zur Notwendigkeit zusätzlicher Trennschritte führen kann. Neben der Sortierung auf Grundlage der NIRS, sind weitere Technologien im Einsatz, um Unterscheidungsmerkmale zu generieren, an die automatisierte Sortierungsentscheidungen geknüpft werden können. Dies betrifft z. B. die Farbsortierung, die Röntgentechnologie, die Formerkennung, Metallsignale und weitere Arten von Sensoren. Bei entsprechender Schulung können KI-unterstützte Anwendungen die Sortierleistung verbessern. Innerhalb der Anlagen können die eingebauten Erkennungssysteme relativ flexibel eingesetzt und – falls nötig – weiterentwickelt werden. Die grundlegende Anlageninfrastruktur ist jedoch besonders sorgfältig auf erwartete Bedingungen hin zu planen, da hier Veränderungen und Anpassungen während des Betriebs meist nur mit hohem Aufwand umzusetzen sind. Herausforderungen bestehen in einer hohen, aktuell weiter wachsenden, zu sortierenden Objektvielfalt und eine hohe Dynamik der Zusammensetzung der Inputströme.

Im Anschluss stellte Jochen Moesslein, Polysecure GmbH, dar, wie mittels einer innovativen Markierungs- und Sortierungslösung, künftig die sichere und schnelle Erkennung und Sortierung unterschiedlicher Bestandteile des Kunststoffabfallstroms im Bereich Verpackungen ermöglicht werden könnte. Da die hohe Materialdiversität von Kunststoffabfallströmen insbesondere im Bereich Verpackungen bildoptische Erkennungssysteme auch bei hohem Anlagenentwicklungsstand zunehmend an ihre Grenzen führt, wurde eine fluoreszenzbasierte Tracer-Technologie entwickelt. Sie ermöglicht es, Verpackungsprodukte dauerhaft mit einem Fluoreszenzadditiv zu markieren, so dass diese nach ihrer Entsorgung mit minimalem Zeitaufwand technisch-wirtschaftlich darstellbar sicher voneinander differenziert werden können. Die Vorteile liegen in der Sicherheit und Geschwindigkeit der Erkennung sowie einer deutlichen Verringerung der erforderlichen, aufeinander folgenden Sortierverfahrensschritte. Die Technologie ist schon weit ausgereift, auch wenn im einzelnen noch Herausforderungen bestehen, bei denen die Optimierung verschiedener technologischer Aspekte noch zur Erschließung weiterer Potenziale führen kann. Gegenüber alternativen Sortierverfahren – wie NIR-basierten Systemen, der Bilderkennung, digitalen Wasserzeichen etc. – werden verschiedene Vorteile gesehen. Die bereits bei der Herstellung festzulegenden, nach dem Produktlebensende zu sortierenden Verpackungsabfallfraktionen sollten möglichst bereits passend zur hinterher einzusetzenden Aufbereitungstechnologie her ausgestaltet werden. Neue Verpackungsarten müssten dann künftig je einem der dann bestehenden, z. B. 40, Sortiermarkern zugeordnet werden.



Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende *mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung* ableiten:

- Erforschung der Übertragbarkeit der in Deutschland eingesetzten Sortiertechnologien auf andere Länder weltweit mit dem Ziel, einerseits das Marktpotenzial für die entsprechenden Technologien, andererseits den möglichen Beitrag zur Schließung von Stoffkreisläufen näher zu bestimmen.
- Erforschung der Möglichkeiten, die Objektvielfalt im Kunststoffabfallstrom – insbesondere im Bereich Verpackungen – zu verringern. Dabei Beleuchtung des ökologischen und ökonomischen Kosten-Nutzen-Verhältnisses zwischen durch Up-Stream-Maßnahmen verringerte Objektvielfalt im Kunststoffabfallstrom einerseits im Vergleich zu hohem Sortierbedarf andererseits.
- Erforschung von Einsatz und Entwicklungsmöglichkeiten im Bereich schwarzer Kunststoffe: Gründe für den Einsatz bzw. Nicht-Einsatz der entsprechenden Sortiertechnologie, Anteil des Stroms, der eine hochwertige stoffliche Verwertung erfährt, wirtschaftliche Potenziale diesen Anteil ökologisch sinnvoll zu steigern, Erörterung der Frage nach der Notwendigkeit des Einsatzes schwarzer Kunststoffe in verschiedenen Anwendungsbereichen.
- Erforschung von Möglichkeiten, die physische Sortierung innerhalb von Sortieranlagen ausgehend von bestehenden Sensorsortiertechnologien zu verbessern, d. h. a) Optimierung bestehender Sensorsortiertechnologien und b) Erforschung und (Weiter-)Entwicklung von Alternativen.
- Erforschung offener Fragen und Herausforderungen von unterschiedlichen Tracer- und Markierungstechnologien zur Sortierung von Kunststoffabfallströmen. Dabei u.a. Erforschung von Fragen rund um das Auf-/Einbringen der Substanzen, die Erkennung, die Sortierung, mögliche Geschäftsmodelle und die Nutzung von machine learning und künstlicher Intelligenz. Eventuell Förderung von Aufbau und Testbetrieb einer Pilotanlage zur Klärung offener technologischer, ökonomischer und ökologisch relevanter Fragen.

Entwicklungen im Bereich der Kunststoffrecyclingtechnologien

In einem Einführungsvortrag erläuterte Dr. Martin Schlummer, Fraunhofer IVV, die Bandbreite aktuell zur Verfügung stehender Kunststoffrecyclingtechnologien, deren aktuelle Entwicklungs- und Verbreitungsstände und gab Hinweise zu weiterem Forschungsbedarf.²⁸ Technologisch sind in diesem Bereich in der jüngeren Vergangenheit keine größeren Neuentwicklungen zu beobachten gewesen, jedoch hat ein Wandel der Rahmenbedingungen für die Branche dazu geführt, dass das stoffliche Recycling zunehmend verfolgt wird. In der Folge stellt sich die Frage nach den Vor- und Nachteilen der verschiedenen Technologien sowie ihres optimalen Zusammenspiels untereinander bzw. ihres optimalen Einsatzes in Verbindung mit alternativen Verwertungs- oder Entsorgungsoptionen. Der erfolgreiche Weg einer innovativen Recyclingtechnologie in das industrielle Upscaling erfordert eine gute Verknüpfung der Aktivitäten innerhalb der Wertschöpfungskette, auch damit die notwendigen Investitionen sich in der Folge amortisieren und rentieren können. Dass ausreichende Rezyklatqualitäten für den Einsatz von Rezyklaten bei der Herstellung verschiedener hochwertiger, neuer Produkte aus bestehenden Kunststoffabfallströmen herstellbar sind, ist hinreichend belegt. Es werden bereits – wenn auch oft im vergleichsweise kleineren Maßstab – erste Anlagen gebaut, die derartig im Kreislauf fähbare Sekundärrohstoffe erzeugen können. Wichtig ist es, die Begrifflichkeiten im Bereich der verfügbaren Technologien klar zu fassen und eindeutig zu verwenden. Ferner sind die Potenziale für das Kunststoffrecycling

²⁸ Vgl. Schlummer et al (2020)



auf Ebene der einzelnen Güterkategorien, in denen Kunststoffe eingesetzt werden, bisher noch nicht umfassend erforscht. Zur Abschätzung der künftigen Einsatzmöglichkeiten von Technologien und für die Planung von Investitionen ist jedoch ein solides Wissen über Quantitäten und Qualitäten der im Umlauf – bzw. insbesondere in der Nutzungsphase – befindlichen Mengen erforderlich. Die Herstellung hochwertiger Rezyklate ist der Schlüssel zur nachhaltigen Etablierung der Kreislaufwirtschaft. Hierfür werden normierte Sortierverfahren und Rezyklatqualitäten benötigt. Die bestehenden Kennzahlen und Indikatoren sind für eine Bewertung der „Kreislauffähigkeit“ von Materialien noch nicht ausreichend geeignet.

Im Anschluss berichtete Dieter Gottschalk, Wildplastic GmbH, vom erfolgreichen Aufbau weltweiter Lieferketten zur Akquise geeigneter Verpackungsfolienabfallströme für das werkstoffliche Recycling in Europa sowie die Herausforderungen und Erfolgsbedingungen für die Herstellung von Kunststoffprodukten aus den gewonnenen Rezyklaten. Um das von der Wildplastic GmbH betriebene werkstoffliche Recycling durchführen zu können, wurde zunächst eine sich auf Gebiete in der ganzen Welt beziehende Bestandsaufnahme zu Qualitäten und Quantitäten verfügbarer Verpackungsabfälle sowie der dort aktuell vorherrschenden Verarbeitungs- und Verwertungspraktiken durchgeführt. Gemeinsam mit den jeweils in der Branche aktiven und bestehenden Akteuren vor Ort, wurde – wo ausreichend große, reproduzierbare Mengen identifiziert werden konnten – systematisch die Fortentwicklung der bestehenden Sammel-, Sortier- und Erstverarbeitungspraxis voran getrieben, um so Einsatzstoffe für das werkstoffliche Recycling innerhalb Europas verfügbar zu machen. Dabei wurde bestehende Wertschöpfung im Bereich der Sammlung, Sortierung und Erstverarbeitung vor Ort erhalten und – wo möglich – ausgebaut. Beim werkstofflichen Recycling in Europa zeigte sich, dass eine Arbeit mit vergleichsweise kleineren Anlagen und dementsprechend kleineren Chargen eine höhere Flexibilität beim Einsatz werkstofflicher Recyclingtechnologien bietet. So kann optimal auf die Eigenheiten der jeweiligen Einsatzstoffe reagiert und die Anlagentechnik so genutzt werden, dass eine möglichst hohe stoffliche Verwertungsquote unter optimalen ökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen ermöglicht wird. Für die aus den gewonnenen Sekundärrohstoffen anschließend hergestellten Folien und Müllbeutel wurde eine Marke etabliert, mittels derer die Produkte begleitet von professionellem Marketing erfolgreich abgesetzt werden.

In der Folge gab Dr. Klaus Wittstock, BASF SE, einen Einblick in die Möglichkeiten, mittels Verfahren des chemischen Recyclings, Kunststoffkreisläufe noch weiter zu schließen, als dies mit aktuell bestehenden Technologien des werkstofflichen Recyclings auf Grundlage aktuell und bis auf weiteres weiterhin anfallender Kunststoffabfallströme möglich ist.²⁹ Dem chemischen Recycling sind zunächst die Pyrolyse sowie die Depolymerisation zuzuordnen. Mittels Pyrolyse kann aus Kunststoffabfällen Naphta hergestellt werden, das als zentraler Grundstoff der chemischen Industrie zur Herstellung der gesamten Produktpalette der chemischen Industrie genutzt werden kann. Mittels Depolymerisation lassen sich verschiedene Polymere sortenrein voneinander trennen und es lassen sich Störstoffe damit austrennen. Auch die daraus resultierenden Sekundärmaterialien lassen sich in einer breiten Palette von Produkten der chemischen Industrie einsetzen, wobei die Qualität dieselbe ist, wie bei der konventionellen Herstellung auf der Grundlage von Erdöl. Mithilfe der Technologien des chemischen Recyclings könnten zunehmend Kunststoffabfälle in Stoffkreisläufen gehalten werden, die aktuell nicht werkstofflich recycelt werden können, als Restfraktionen anfallen und aktuell überwiegend energetisch verwertet oder deponiert werden. Diese Technologien sind komplementär zum werkstofflichen Recycling zur Steigerung des Anteils der stofflichen Kreislaufführung einsetzbar. Für die Umsetzung der

²⁹ Zu Fragen der Ökobilanzierung des chemischen Recyclings siehe BASF (2020)



Verfahren stehen über Jahre hinweg optimierte, effiziente, große Anlagen der chemischen Industrie zur Verfügung, d. h. diese müssen nicht erst neu aufgebaut werden.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende *mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung* ableiten:

- Erforschung, welche Materialarten, welche Additive etc. sich aufgrund bestehender Anforderungen an die Materialien in verschiedenen Einsatzgebieten sowie mit Blick auf ökonomische und ökologische Faktoren besonders für die (mehrfache) Kreislaufführung eignen.
- Erforschung der in verschiedenen Einsatzbereichen vorhandenen Kunststoffquantitäten und -qualitäten, insbesondere für Produktkategorien, für die die Datenlage aktuell nicht ausreicht, um die Potenziale für eine optimale stoffliche Kreislaufführung hinreichend belastbar abschätzen zu können. Diese Forschung sollte bereits so weit gehen, eine Auswahl ökonomisch und ökologisch optimaler Recyclingverfahren für die jeweiligen Ströme zu skizzieren. Ferner sollte sie flankiert werden mit der Erforschung der Frage, in welchen Bereichen Normen erforderlich wären, um funktionierende Märkte zu ermöglichen. Neben dem Fokus auf Deutschland und Europa, könnte die Bestandsaufnahme von eventuell für ein Recycling verfügbar zu machender Einsatzstoffe weltweit erfolgen.
- Entwicklung von Kennzahlen und Indikatoren zur Bestimmung der Kreislauffähigkeit von Kunststoffen.
- Erforschung und vergleichende Gegenüberstellung technologischer, ökonomischer und ökologischer Eigenschaften verschiedener Kunststoffrecyclingtechnologien wie verschiedene Verfahren des werkstofflichen Recyclings, enzymbasierte Verfahren, Dissolution (lösemittelbasierte Verfahren), Depolymerisation und Pyrolyse bezogen auf relevante Einsatzstoffströme. Erforschung ökologisch-ökonomischer Optima der Kombination verschiedener Verfahrenswege bei Einnahme einer Systemperspektive zur Bestimmung der Gesamteffizienz der jeweiligen Option. Erforschung der unterstützenden Rolle, die digitale und KI-basierte Anwendungen bei der Optimierung, der Identifikation und Darstellung überschaubarer Alternativen sowie der Entscheidungsunterstützung insgesamt spielen können.

Marktanforderungen an Kunststoffrezyklate: Qualität, Preis, Verfügbarkeit

Christian Schiller, cirplus GmbH, erläuterte zunächst, wie die von cirplus betriebene digitale Plattform zunehmend dazu beiträgt, Anbietern von Sekundärrohstoffen geeignete Absatzmöglichkeiten und Herstellern von Kunststoffprodukten geeignete Informationen zu Sekundärkunststoffgrundstoffen für ihren Einkauf zur Verfügung zu stellen. Die Plattform trägt zur Digitalisierung von Einkauf und Vertrieb innerhalb der Wertschöpfungskette Kunststoff bei und bietet eine Möglichkeit, Hersteller von Kunststoffprodukten und Kunststoffrecycler miteinander zu vernetzen. Die Plattform umfasst Produktions-, Gewerbe- sowie Abfälle von Endkundinnen und Endkunden. Es handelt sich um eine Marktplattform, die es Einkäufern ermöglichen soll, die Spezifikationen des jeweils benötigten Kunststoffs anzugeben und das benötigte Produkt über die Plattform zu erhalten. Es besteht ein großes Interesse im Markt, u. a. seitens der Automobil-Industrie. Bisher war im Sekundärkunststoffbereich das Phänomen eines dysfunktionalen Marktes zu beobachten. Der Lösungsversuch basiert auf der Frage, was genau ein Recycler einem Hersteller liefern muss, damit der Hersteller den Anteil sekundärer Rohstoffe in seinem Produkt erhöhen kann. Ferner geht es darum, verschiedene bestehende Angebote auch über die Zeit hinweg vergleichen zu können und darum, zu den jeweils besten Marktbedingungen zu beschaffen. Hierbei können auch Anwendungen der KI helfen: Lohnt sich die nächste Stufe der Sortierung? Oder lassen sich schon mit dem vorliegenden Material ausreichende Preise erzielen? Ein Einblick in die Arbeit zum DIN SPEC 91446 zeigt, wie ferner die Normung dazu beitragen kann, Einkäufer und Anbieter



erfolgreich und nachhaltig bei entsprechenden Transaktionen zu unterstützen. Dringend benötigte Standards für den Bereich Sekundärrohstoffe stehen noch ganz am Anfang. Der in Arbeit befindliche DIN SPEC 91446 ist ein Mittel, um diese plattformbasierte Standardisierung voran zu treiben.

Im Anschluss berichtete Helmut Schmitz, DSD – Duales System Holding GmbH & Co. KG, über die Entwicklung, die Herstellung und die Vermarktung eigener Sekundärkunststoffgrundstoffprodukte, die für verschiedene Einsatzbereiche der Herstellung von Kunststoffprodukten geeignet sind. Dazu wird zunächst sortenrein nach Kunststoffart sortierte Ballenware (PP, HDPE, LDPE) aufbereitet. Die Kunststoffverpackungen werden zunächst zu Flakes zerkleinert, gewaschen und getrocknet, wo erforderlich farbsortiert. Traditionelle Einsatzgebiete umfassen z. B. Blumentöpfe, Eimer oder Kunststoffkisten. Der Einsatz zusätzlicher Verfahrensschritte wie der Farbsortierung, zusätzlicher Waschverfahren sowie Verfahren der Geruchsbeseitigung, erlauben weitergehende Einsatzmöglichkeiten der Rezyklate wie z. B. den Einsatz bei Verpackungsprodukten im Nicht-Nahrungsmittelbereich. Wenn die Stoffe, die in die Recyclingverfahren eingehen mangelhafter Qualität sind, ist auch der produzierte Sekundärkunststoff von mangelhafter Qualität. Für die Systalen Produkte bestehen ausgereifte Produktinformationsblätter, die eine verlässliche Sekundärproduktqualität transparent ausweisen. Wenn sich Partner in der Industrie finden, die willens sind die Kreislaufführung der eigenen Kunststoffprodukte auf einem ausreichenden qualitativen Niveau gemeinsam mit der DSD zu ermöglichen, kann dies in aller Regel auch gemeinsam ermöglicht werden. Ein Beispiel für einen Fortschritt bietet z. B. die Substitution der für eine Lebensmittelverpackung genutzten Kunststoffsorte, wobei eine nicht rezyklierbare PET-Schale durch eine neue Verpackung aus transparentem Polypropylen ersetzt wurde. Bei einem anderen Beispiel spielt die bewusste Abfindung mit einer grauen Verpackungsfarbe die Schlüsselrolle, um eine höhere Kreislauffähigkeit der betroffenen Verpackungsprodukte zu erhalten (Design). Die Verfügbarkeit belastbarer Produktinformationen spielt ebenso wie politische Rahmenbedingungen sowie die Normung eine Schlüsselrolle für einen funktionierenden Sekundärkunststoffmarkt.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung der Anwendungsfelder sowie ökonomischer und ökologischer Potenziale des Einsatzes von KI-Anwendungen zur Optimierung der Stoffströme an der Schnittstelle zwischen Sortieranlagenbetreibern, Recyclingunternehmen und Herstellern, die sekundäre Kunststoffe einsetzen, durch die Bereitstellung von Informationen und das gezielte Management der Informationsflüsse.
- Erforschung der Anteile nicht rezyklierbarer Kunststoffverpackungen auf dem deutschen bzw. europäischen Markt und der Möglichkeiten, diese bei möglichst geringem ökonomischem und ökologischem Aufwand recycelbar zu gestalten.

Daten, Methoden, Indikatorik zur ökologischen Bewertung von Sortier- und Recyclingtechnologien

In einem Einführungsvortrag gab Jürgen Sutter, Öko-Institut e. V., einen Überblick über wesentliche ISO-Normen zur Durchführung von Ökobilanzen, verwies darauf, dass das übergeordnete Ziel der Ökobilanzierung stets ein Beitrag zu ökologisch optimierten Systemen ist und erläuterte die wesentlichen Anforderungen und zu berücksichtigenden Aspekte zur Durchführung einer belastbaren Ökobilanzierung im Bereich der Herstellung und des Einsatzes sekundärer Kunststoffe. Wichtig ist z. B. die Sicherstellung einer hohen Qualität der Ökobilanz durch die Einhaltung der Prinzipien des sog. „Critical Review“. Unter anderem mit den gängigen Normen der Ökobilanzierung – DIN EN ISO 14040:2006-10, DIN EN ISO 14044:2018-05 und DIN CEN ISO/TS 14071 (DIN SPEC 35803):2016-06 – verfolgte Ziele umfassen die Transparenz, die Sicherung einer guten wissenschaftlichen Praxis, die möglichst hohe



Vergleichbarkeit der Ergebnisse sowie die Verhinderung des Schönrechnens von Ökobilanzen. Wichtig sind ferner eine gute Definition der funktionalen Einheit sowie die Darstellung der Qualität des Materials, das recycelt wird und der Qualität des daraus erzeugten Rezyklats. Ferner spielen für die Ökobilanzierung Substitutionseffekte des Rezyklateinsatzes eine Schlüsselrolle, ebenso wie die Frage, wie viele Recyclingzyklen angesetzt werden. Schließlich ist zu berücksichtigen, wie die Reststoffe bzw. Rückstände des Recyclingprozesses behandelt bzw. verwertet werden. Zu den Umweltwirkungen, die in Ökobilanzen aktuell verhältnismäßig gut abgebildet werden können zählen Emissionen in Luft, Wasser und Boden, der Verbrauch von Energie und Ressourcen, Wirkungen auf Klimawandel, Versauerung, Eutrophierung, Ozonschicht sowie auf die Sommersmogbildung. Dagegen steht die Abbildung von Wirkungen auf die Biodiversität, auf Littering, Unfälle und Risiken bisher noch ungelösten methodischen und Herausforderungen der Datenverfügbarkeit gegenüber.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erstellung von Ökobilanzen für verschiedene denkbare Arten von Kunststoffkreisläufen, die mehrfach durchlaufen werden unter Berücksichtigung aller Stufen des jeweiligen Lebenszyklus. Dabei Vergleich unterschiedlicher geographischer Konstellationen, verschiedener Sammelsysteme, Sortiertechnologien, Aufbereitungstechnologien, Recyclingtechnologien sowie der ökonomischen und ökologischen Eigenschaften der jeweiligen Konstellation. Erforschung der unterstützenden Rolle, die digitale und KI-basierte Anwendungen bei der Optimierung, der Identifikation und Darstellung überschaubarer Alternativen sowie der Entscheidungsunterstützung insgesamt spielen können.
- Erforschung von Möglichkeiten, den Aufwand für die Durchführung belastbarer Ökobilanzen im Bereich Kunststoffprodukte zu verringern.
- Erforschung von Möglichkeiten, Produktinformationen für Kunststoffrezyklate ökonomisch und ökologisch sinnvoll mit dem Ziel zu standardisieren, das Marktgeschehen im Bereich sekundärer Kunststoffe gezielt zu fördern.

2. Elektroschrott/Batterien

Sammlung von Elektroschrott zur Wiedergewinnung von Metallen

In einem Einführungsvortrag erläuterte Prof. Dr. Kerstin Kuchta, TU Hamburg, bestehende rechtliche Anforderungen an die Sammlung von Elektroaltgeräten und die Bereitstellung von Primär- sowie Sekundärrohstoffen für deren Herstellung. Die Sammlung von Elektroaltgeräten (EAG) ist im Elektrogesetz (ElektroG) geregelt.³⁰ Anforderungen an die Transparenz sozialer und ökologischer Charakteristika von Rohstoffen, Vorleistungsgütern oder Fertigerzeugnissen in Verbindung mit weiteren Verpflichtungen im Bereich der Sorgfaltspflichten legt künftig das am 3. März 2021 vom Bundeskabinett beschlossene Lieferkettengesetz fest. Beleuchtet wurde ferner die in 2019 bestehende signifikante Lücke zwischen Mindesterfassungsquote des ElektroG und tatsächlich erfassten Mengen. An verschiedenen Stellen bestehen Informationslücken zum Verbleib von Elektroaltgeräten, die in anderen Schrottfractionen, gemischten Restabfällen bzw. in privaten Haushalten vermutet oder Exporten zugeordnet werden. Eine aktuelle Studie der stiftung elektro-altgeräte register (stiftung ear) gibt Hinweise auf den möglichen Verbleib nicht erfasster Mengen.³¹ Ferner gibt die Studie Aufschluss über das Wissen der

³⁰ Das ElektroG trat 2005 in Kraft, wurde 2015 novelliert und wird aktuell erneut novelliert (Stand März 2021: Erste Lesung im Bundestag erfolgt; Verweis des Gesetzes in den Umweltausschuss des Bundestags).

³¹ stiftung ear (2020), Großgeräte: S. 28; Unterhaltungselektronik: S. 33

Verbraucherinnen und Verbraucher zu bestehenden Rückgabemöglichkeiten.³² Es bestehen bereits verschiedene Informationsangebote für rückgabewillige Inhaberinnen und Inhaber gebrauchter EAG.³³

Im Anschluss berichtete Andreas Habel, bvse, über die Praxis der Sammlung von Elektro(nik)-Altgeräten und sprach verschiedene Herausforderungen an, die der Stagnation bzw. dem Rückgang erfasster Mengen in den letzten Jahren zugrunde liegen. Statistiken des Statistischen Bundesamts sowie der stiftung ear zeigen, dass die Lücke zur Quotenerfüllung für alle betroffenen Gerätekategorien insgesamt von 2018 zu 2019 sogar gewachsen ist. Dargestellt wurden Sammelmengen und Rücklaufquoten für verschiedene Gerätekategorien. Eine Ursache für die in Summe sinkenden erfassten Mengen wird in der seit Dezember 2018 geltenden Strukturierung der Sammelgruppen des ElektroG gesehen. Diese habe sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit der hochwertigen stofflichen Verwertung ausgewirkt und damit zu einem sinkenden Anreiz für die mit der Sammlung betrauten Akteure geführt, diese Geräte zu sammeln. Weitere Gründe für die Nichterfassung liegen z. B. in einer Entsorgung über den Restmüll mit anschließender Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen, der Zwischenlagerung in Haushalten sowie in Exporten. Ferner wurde auf Produktströme verwiesen, die für eine Sammlung und Aufbereitung durch Akteure der Elektroschrottreyclingbranche ungeeignet erscheinen – wie z. B. Möbel oder Kleidungsstücke, in denen elektronische Bauteile enthalten sind. Schließlich wurde darauf verwiesen, dass z. B. Heizungspumpen häufig eher in nicht-elektro Schrotte eingehen.

Schließlich gab Till von Pidoll, Mobile Box/ Schumacher & von Pidoll GmbH, einen Einblick in die praktische Umsetzung der Sammlung und den Beitrag zur Kreislaufführung von Mobiltelefonen, die das Unternehmen im Rahmen eines innovativen Geschäftsmodells leistet. Ein Schlüssel zur erfolgreichen Sammlung und Kreislaufführung der Geräte liegt in der Sicherstellung ausreichender Sammelmengen durch die Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Akteuren, bei denen gebrauchte Geräte anfallen. Dies umfasst Verbraucherinnen und Verbraucher, Kommunen, Unternehmen, insbesondere verschiedenste Ausprägungen der in diesen Bereichen vorherrschenden Organisationsformen – wie z. B. Zoos – bis hin zu kirchlichen Einrichtungen. Das Rücknahmesystem Mobile Box sammelt pro Jahr ca. 120.000 Geräte aus dem Bereich der Verbraucherinnen und Verbraucher, Tendenz jährlich steigend. Über das Rücknahmesystem Green2B werden ferner jährlich 10.000 Geräte aus dem Bereich Unternehmen gesammelt. Diese werden an bestehende Partnerunternehmen aus der Recyclingbranche übergeben. Vom Recycling-Partner erhält das Unternehmen eine Vergütung für die gesammelten Geräte. Oft handelt es sich um hochwertige Geräte, die nur leicht beschädigt sind, eigentlich noch funktionieren und nur einer relativ überschaubaren Reparatur bedürfen. Diese werden in unterschiedliche Kategorien eingestuft, je nachdem ob sie wiederverwendbar sind bzw. mit vertretbarem Aufwand wiederverwendbar gemacht werden können oder nicht. Neben Funktionsprüfung und Diagnose erfolgt eine Datenlöschung. Das Ziel besteht darin, die Phase der Reinigung als Vorstufe zur Wiedervermarktung der Geräte zu erreichen. Geräte, die nicht weiter verwendet bzw. repariert werden können, werden bei Partnerunternehmen einem möglichst hochwertigen Recycling zugeführt.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung von Möglichkeiten, die Sammlung von Elektroaltgeräten anknüpfend an der bestehenden Praxis bei Sammelstellen, Rücknahme- und Transportakteuren (z. B. Handelsunternehmen, Wertstoffhöfe etc.) zu verbessern. Darunter Schwerpunkte auf:

³² Ebenda S. 10 ff. & S. 43 ff.

³³ Vgl. z. B. stiftung ear (2021)



- Schaffung von Anreizen zur Bereitstellung eines für Altgeräteinhaberinnen und -inhaber möglichst komfortabel nutzbaren Rücknahmeangebots. Dabei auch Untersuchung der Möglichkeiten, die Annahme von Elektroaltgeräten stärker als Dienstleistung zu begreifen; d. h. Abkehr von Straßensammlungen, enges Erfassungsnetz und damit kurze Wege, flexiblere Öffnungszeiten, fachgerechte Annahme (Fehlwürfe vermeiden, Gefahrenabwehr), eventuell noch weiter digital unterstützte Rückgabemöglichkeiten.
 - Möglichkeiten, die Sammlung sowie die damit verbundene Logistik recyclinggerecht zu gestalten. Dies umfasst zunächst die zerstörungsfreie Erfassung, Lagerung und den Transport, aber auch die Möglichkeiten einer für die stoffliche Verwertung geeigneteren Vorsortierung, die Herausnahme und separate Weitergabe entnehmbarer Gerätebatterien etc.
 - Identifikation und Konzeptionierung von Modellen öffentlich-privater Partnerschaften zur Förderung einer hochwertigen Erfassung von Elektroaltgeräten. Hintergrund ist, dass sich der z. T. mit Defiziten behafteten Erfassung von Elektroaltgeräten z. T. nur mit erheblichen Investitionen begegnen lässt, die sich allein über die bestehenden Möglichkeiten der Gebührenfinanzierung in diesem Bereich nicht realisieren lassen. Durch die Entwicklung und Umsetzung geeigneter Modelle öffentlich-privater Partnerschaften zur Förderung einer hochwertigen Erfassung von Elektroaltgeräten könnten weitere Finanzierungsquellen aus öffentlichen Förderprogrammen zum Zwecke einer besseren Erfassungspraxis zugänglich gemacht werden.
- Umfassende, abschließende und wissenschaftlich valide Erforschung des Verbleibs sämtlicher in Deutschland inverkehrgebrachter Elektro(nik)altgeräte zunächst für ein bestimmtes Jahr, eventuell über eine bestimmte Zeitspanne hinweg.
 - Erforschung von Möglichkeiten, Anreize für Verbraucherinnen und Verbraucher zur Rückgabe nicht mehr benötigter Elektro(nik)altgeräte zu schaffen. Insbesondere Untersuchung der Vor- und Nachteile unterschiedlicher möglicher Ausgestaltungsoptionen für Pfandsysteme für geeignete Gerätekategorien. Dabei muss sichergestellt sein, dass mit der jeweiligen Ausgestaltungsoption stets eine nachweisbar aus Sicht der ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft hochwertige Anschlussverwendung nach der Rangfolge der Abfallhierarchie erfolgt: Wiederverwendung, Aufarbeitung, Reparatur, falls das nicht möglich ist, hochwertige stoffliche Verwertung etc.
 - Erforschung von Möglichkeiten, Altprodukte, die stofflich überwiegend nicht dem Stoffstrom der EAG zuzuordnen sind, einer für alle Bestandteile möglichst hochwertigen Kreislaufführung zuzuführen. Dazu gehören z. B. Möbel, die elektronische Bauteile enthalten, bei denen jedoch der massenbezogene Großteil dem Holzrecycling zuzuführen ist. Analog ist für Kleidungsstücke, Textilien oder verschiedenen ähnlichen Accessoires, in denen elektronische Funktionselemente verbaut sind (wie z. B. blinkende Schuhe für Kinder, beleuchtete Handtaschen etc.) zu untersuchen, wie sich eine in der Praxis funktionierende Sammlung und Sortierung gestalten ließe.
 - Erforschung von Möglichkeiten, alte Heizungspumpen einer möglichst hochwertigen Kreislaufführung zuzuführen. Darunter Untersuchung der Möglichkeiten,
 - Anreize für Heizungsbaudienstleistungsunternehmen zu schaffen, bei Ausbau und Weitergabe alter Heizungen stärker nach den Vorgaben des ElektroG zu verfahren (keine Entsorgung über allgemeinen Metallschrott) bzw.
 - die Pumpen selbst auszubauen, um sie einer geeigneten Verwertung bzw. eventuell sogar einer Wiedernutzung zuzuführen, oder der
 - Etablierung von herstellergetragenen Rücknahmesystemen für alte Heizungen.



- Untersuchung der aktuellen Umsetzung der Übertragung der Mitteilungspflichten auf den Letztbesitzer (§30 ElektroG) und eventuell optimierter Lösungen hierfür.
- Erforschung von Möglichkeiten, den illegalen Handel mit EAG durch die Schaffung belastbarer Voraussetzungen für eine wirksame Kontrolle und Marktüberwachung einzudämmen.
- Erforschung von Möglichkeiten, die gesetzlichen Rahmenbedingungen verlässlich so zu gestalten, dass alle Akteure der Wertschöpfungskette der Kreislaufführung von EAG – wie Abfallerzeuger, Produktverantwortliche und Recyclingwirtschaft – einer kohärenten Anreizsituation unterworfen sind, die auf eine ressourceneffiziente Kreislaufführung hin ausgerichtet ist. Dabei eventuell Erforschung von Möglichkeiten, Sammelgruppen so zu gestalten, dass die Anreize für eine hochwertige Kreislaufführung für die entscheidenden Akteure steigen.
- Erforschung von Möglichkeiten, rechtliche Hürden für Akteure abzubauen, die die Reparatur von Elektroaltgeräten als Kernkompetenz betrachten und für solche, die im Sinne einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft für eine Sammlung der jeweiligen Gerätekategorien geeignet erscheinen. Insbesondere Erforschung von Möglichkeiten, Unternehmen der Recyclingwirtschaft die Erfassung von EAG und die Weitergabe an Erstbehandler zu ermöglichen. Dabei auch Erforschung von Möglichkeiten, sicherzustellen, dass gesammelte Geräte grundsätzlich – wenn eine Wiederverwendung ausgeschlossen ist – an zertifizierte Erstbehandler abgegeben werden und deren weiterverarbeitete Zwischenprodukte in hochwertige metallurgische Recyclingverfahren eingehen.
- Erforschung von Möglichkeiten sowie der technischen und ökonomischen Machbarkeit, Module bzw. Elemente von Elektroaltgeräten gezielt für eine Wiederverwendung bzw. Wiederaufarbeitung zu entnehmen, z. B. nach der Nutzung noch intakte Lautsprecher.
- Erforschung der ökonomischen Spreizung der Abnahmemarktlage für gesammelte Geräte bei unterschiedlicher Sammel-, Sortierungs- und Transportqualität für verschiedene Fraktionen des EAG-Stroms unter Gegenrechnung der höheren Kosten einer höheren Erfassungsqualität.

Entwicklung von Anlagen und Verfahren der Erstbehandlung und Aufbereitung von Elektroschrotten

In einem Einführungsvortrag berichtete Georg Fröhlich, ELECTROCYCLING GmbH, von der Erstbehandlungs- und Aufbereitungspraxis im Bereich von Elektroaltgeräten, wies auf bestehende Herausforderungen hin und stellte bestehenden Entwicklungsbedarf vor. Dabei wurde zunächst darauf verwiesen, dass die real zur Verarbeitung durch das Unternehmen angelieferten Altgerätgemische weder bei Sammelgruppe 2 noch bei Sammelgruppe 5 des ElektroG dem entsprechen, was aufgrund der Vorgaben des ElektroG zu erwarten wäre. Insbesondere eine Anlieferung von Batterien in extra Boxen käme der weiteren Verarbeitung für ein hochwertiges stoffliches Recycling bei akzeptablem Aufwand zugute. Im Rahmen der Verarbeitung werden zunächst die angelieferten Chargen im Unternehmen in 15 verschiedene Fraktionen sortiert. Danach folgt die Verkleinerung der jeweiligen Fraktion. Im nächsten Schritt erfolgt wieder eine Sortierung, dann eine noch weitere Verkleinerung und eine weitere Sortierung. Nach jeder Verkleinerung wird das abgetrennt, was in der letzten Verkleinerungsstufe aufgeschlossen wurde und somit innerhalb des Stroms frei vorliegt. In der Standardverarbeitung sind 12 Anlagen beteiligt, die über 70 Fraktionen verarbeiten, davon 35 Endfraktionen (Produkte, Abfälle). An vielen Stellen der im Vortrag en Detail dargestellten eingesetzten Sortier- bzw. Verwertungstechnik besteht noch Entwicklungspotenzial, insbesondere im Bereich moderner, rechnergestützter Sortierverfahren sowie im Bereich der Betriebsdatenerfassung. Die Gewinnung von Sekundärrohstoffen im Unternehmen umfasst Eisen-, Kupfer- Aluminium-, Glas- und Kunststofffraktionen.



Anschließend gaben Peter Heßler, URT Umwelt- und Recyclingtechnik GmbH sowie Stephan Karle, Karle Recycling GmbH, Einblicke in verschiedene Herausforderungen und bestehende Praktiken der Erst- und Folgebehandlung von Elektroschrotten. Herausforderungen liegen u. a. in der Notwendigkeit, einen hohen Anteil der Arbeiten manuell durchzuführen, womit ein großer Aufwand einhergeht. Die Entnahme bzw. Separierung der Altgeräte von darin enthaltenen Batterien spielt hier eine technologische, ökonomische und ökologische Schlüsselrolle.

Das Geschäftsfeld der URT Umwelt- und Recyclingtechnik GmbH beinhaltet das Engineering, den Vertrieb und den Service von Recyclinganlagen für Elektro und Elektronikschrott (WEEE). Dies umfasst zum einen Anlagen für die Erstbehandlung (Altkühlgeräte und Klimageräte, Kleingeräte und IT-Recycling, Haushaltsgroßgeräterecycling, LCD-Flachbildschirm, CRT-Bildröhren) und zum anderen Anlagen für die Folgebehandlung (Leiterplatten, Tonerkartuschen, Kunststoffrecycling aus EAG, Lithium-Ionen Batterien). Manche Kunden aus dem Bereich der Erst- und Folgebehandlung haben nur das eine, manche auch das andere. Die manuelle Schadstoffentfrachtung für verschiedene Geräte muss aus Kostengründen häufig im Ausland stattfinden. Um Kundinnen und Kunden gezielt optimal passende Angebote zur Verfügung stellen zu können, ist die URT Umwelt- und Recyclingtechnik GmbH abgelöst von jeglicher Aggregateproduktion. Das Unternehmen kann hierzu am Markt erwerben, was im Einzelfall benötigt wird, um jeweils bestehende Kundenanforderungen zu erfüllen. Alle bestehenden Trenn- und Sortiertechnologien werden in den Anlagen eingesetzt. Da 40% der Masse des verarbeiteten Stroms aus Kunststoff bestehen, wird diese Fraktion ebenfalls behandelt, sortiert etc. und in Flakes weitergegeben, um Regranulate zu erzeugen. Gesondert eingegangen wurde auf die Herausforderungen, die sich aus der Substitution halogener Kältemittel – insbesondere FCWK (Fluorchlorkohlenwasserstoffe) – durch halogenfreie Kälte- und Treibmittel – insbesondere VHC (volatile hydrocarbons) – ergeben. Die VHCs unterscheiden sich erheblich von den bisher eingesetzten Stoffen. Die Ersatzstoffe sind alle brennbar. Das Unternehmen zielt darauf ab, für diese Stoffe eine getrennte Behandlung bzw. Verarbeitung zu ermöglichen: So ist es z. B. möglich, den Einsatz der Ressource Stickstoff vollständig zu vermeiden, es ist weniger Anschlussleistung erforderlich, es entfallen Transport- und Entsorgungskosten für Treibmittel und bei Nutzung der Brennbarkeit der VHCs lässt sich Wärmeenergie gewinnen. Um diese Stoffe in eine gesonderte Fraktion zu bekommen, ist es erforderlich, Türen und Korpusse von Kühlgeräten einem gesonderten Erkennungs- und Demontageprozess zu unterziehen. Erläutert wurde hierzu die vorgeschlagene Lösung zur Vorab-Erkennung und Trennung entsprechender Geräteelemente.

Die Karle Recycling GmbH stammt ursprünglich aus dem Bereich des Stahlschrottrecyclings – heute werden auch weitere Materialien wie Altpapier, Nichteisen-Metalle, Kunststoff etc. verarbeitet. Das Unternehmen, das die Aufbereitung des Elektroschrotts durchführt, ist die Süd-Rec Süddeutsche Recycling GmbH. Die Herkunft des Materials umfasst die Träger der öffentlich-rechtlichen Entsorgung, EAR-Systeme, B2B-Lieferungen, Lieferungen durch Hersteller, Handel, beauftragte Sammler sowie andere Erstbehandlungsanlagen. Das Leistungsspektrum umfasst Elektro- und Elektronikschrott, ausgewählte Nichteisen-Metalle, die gesicherte Vernichtung von Produktionsabfällen, die gesicherte Vernichtung elektronischer Datenträger gemäß DIN 66399, die Demontage und Ausbringung von elektronischen Anlagen und Geräten. Erläutert wurden die in der Aufbereitungsanlage bestehenden Verfahrensstufen. Auch hier wurde wieder auf die besondere Herausforderung der notwendigen manuellen Schadstoffentfrachtung verwiesen. Das Problem mit den im Stoffstrom enthaltenen brandgefährlichen Elementen und Stoffen geht so weit, dass die am Markt verfügbaren Anbieter nicht mehr bereit sind, den Versicherungsschutz für die Anlagen zu gewährleisten. Das ist für die Branche existenzgefährdend. Viele Unternehmen mussten deshalb bereits Insolvenz anmelden. Zum einen sind hier funktionierende Versicherungslösungen erforderlich, aber auch die Anforderungen an die Sammlung müssen einem gesteigerten Ambitionsgrad entsprechen. Zunehmend rechnergestützte Lösungen zulasten manueller



Prozessschritte werden auch hier als Schlüsselaspekt für die Reduzierung des Verarbeitungsaufwands für eine weiterhin hohe Qualität des Ergebnisses bei höherer Wirtschaftlichkeit gesehen. Schließlich wurde en Detail die Verarbeitung von Kunststoffen des betreffenden Stoffstroms erläutert, deren Produktionsergebnis zu einem hohen Anteil für einen Wiedereinsatz in Neuprodukten geeignet ist. Eine Pflicht zum Rezyklatzeinsatz könnte dazu beitragen, eine höhere Abschöpfung dieser Sekundärressourcen zu realisieren. Auch eine recyclingfreundliche Produktgestaltung könnte dazu führen, dass mehr Kunststoffe wiederverwendet werden können. Schließlich wurde auf die Notwendigkeit einer sicheren statistischen Erfassung von Sekundärrohstoffen zur Schaffung einer höheren Transparenz verwiesen.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende *mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung* ableiten:

- Erforschung konkreter technologischer Entwicklungspotenziale in allen Bereichen der Sortier- bzw. Verwertungstechnik, insbesondere durch moderne, rechnergestützte Sortierverfahren. Dabei mindestens Berücksichtigung der folgenden Arbeitsschritte je für sich und im Zusammenhang:³⁴
 - Zerkleinerungsverfahren manuell: Mit geeigneten Werkzeugen
 - Zerkleinerungsverfahren maschinell: Shredder, Hammerbrecher, Hammermühle, Prallmühle, Querstromzerspaner, Schneidmühle, Rotorschere, Granulator etc.
 - Sortierverfahren manuell: Händische Sortierung durch qualifizierten, geschulten Mitarbeiter
 - Sortierverfahren physikalisch: Siebung, Magnetscheidung, Wirbelstromscheidung, Dichtesortierung, elektrostatische Verfahren etc.
 - Sortierverfahren rechnergestützt: Induktion, Kameras, Nahinfrarot, Röntgentransmission, Röntgenfluoreszenzanalyse, Laserinduzierte Plasmaspektroskopie etc.

Dabei ist ein besonderer Fokus auf den Bereich Schadstoffentfrachtung zu legen, die aktuell mit hohem personellen und Kostenaufwand vorrangig manuell erfolgen muss, um qualitativ und quantitativ hochwertige stoffliche Rückgewinnungserfolge zu erzielen. Hier sind auch relativ neu im Strom enthaltene Geräte, wie Rauchmelder, Pedelecs etc. einer gesonderten Betrachtung zu unterziehen. Es besteht Entwicklungsbedarf für teil- oder vollautomatische Zerlegemaschinen. Mögliche Ansatzpunkte sind hier KI, selbstlernende Maschinen oder die Entwicklung geeigneter mechanischer, metallurgischer Verfahren, in denen kleine, batteriehaltige Geräte verarbeitet werden können.
- Erforschung des technologischen Standes, des praktischen Einsatzes/ Verbreitung sowie von Entwicklungspotenzialen einfacher Betriebsdatenerfassungssysteme speziell für die Aufbereitung und Erstbehandlung von EAG.
- Bewertung der Frage, ob und in welchen Zeiträumen wirksame Maßnahmen zur Unterbindung von Verhaltensfehlern und Vollzugsmängeln in der Kette vor den Recyclingbetrieben, wie z. B.

³⁴ Hintergrund: Die bestehende Aufbereitungstechnik – insbesondere im Einsatz befindliche physikalische Verfahren und sensorgestützte Sortierverfahren – unterliegen einer stetigen Weiterentwicklung. Um eine frühere Ausschleusung von Wert- und Abfallstoffen zu ermöglichen, werden an den betrieblichen Bedarf angepasste sensorgestützte Sortierungen den physikalischen Sortierverfahren künftig verstärkt vorge-schaltet. Dadurch lässt sich u. a. der Zerkleinerungsaufwand reduzieren und es wird die Herstellung sortenreinerer Fraktionen ermöglicht. Entwicklungs- bzw. Optimierungspotenzial besteht einerseits bei den bekannten Verfahren. Dabei ist insbesondere ihre Praxistauglichkeit in den Blick zu nehmen. Ferner sollte auch die Entwicklung neuer, innovativer Verfahren verfolgt werden.



verpflichtende Vorgaben zur schnelleren Identifikation und Zerlegbarkeit von Geräten, umgesetzt werden können, um das aktuell für die Anlagen bestehende Betriebsrisiko hinreichend zu senken. Falls Derartiges in absehbaren Zeiträumen nicht als umsetzbar angesehen wird, Erforschung geeigneter Versicherungslösungen für Aufbereitungs- und Erstbehandlungsanlagen für Elektro(nik)schrotte, inklusive transparenter und belastbar bei vertretbarem Aufwand nachweisbare Bedingungen für die Hochwertigkeit der vorangegangenen Schadstoffentfrachtung, für im Stoffstrom enthaltene brandgefährliche Elemente und Stoffe, die das Risiko für einen wirtschaftlichen und nachhaltigen Anlagenbetrieb abdecken.

- Erforschung der Voraussetzungen und Möglichkeiten zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der gesamten Wertschöpfungskette der stofflichen Verwertung von Elektro(nik)schrotten und EAG von der Rückgabe durch Nutzende bis hin zur Wiederverwendung, Wiederaufarbeitung bzw. der stofflichen Verwertung.
- Erforschung von Möglichkeiten sowie der technischen und ökonomischen Machbarkeit, magnehaltige Komponenten – oft in Form kleiner Elektromotoren, die zusammen mit Batterien in Produkten enthalten sind – auf der Grundlage geeigneter Markierungs- und Erkennungslösungen vor der Zerkleinerung zu erkennen, auszusortieren und geeigneten Weiterverwendungen zuzuführen. Hierbei auch Untersuchung von Möglich- und Machbarkeiten, für derartige Produkte alternative Vorbehandlungsprozesse einzusetzen, bei denen sich problematische Bauteile wie z. B. Eisen-Neodym-Bor-Magneten, zersetzen und bei der weiteren Verarbeitung nicht in Brand geraten.
- Erforschung von Möglichkeiten, die Sekundärrohstoffbasis und in der Folge die Wirtschaftlichkeit der Prozesse der Kreislaufführung dadurch zu steigern, dass Exporte von Elektroaltgeräten in Drittländer mit geringeren Anforderungen an die ressourceneffiziente Kreislaufführung noch weiter als bisher unterbunden werden und die Überwachung in diesem Bereich gestärkt wird.

Entwicklungspotenziale im Bereich der Rückgewinnungsmetallurgie

Dr. Christian Hagelüken, Umicore AG & Co. KG, berichtete in einem Impulsvortrag von der Praxis und von Entwicklungspotenzialen der metallurgischen Wiedergewinnung von Metallen aus Elektroschrotten, die an die physikalischen Sammeleigenschaften von Metallen anknüpft und vom Unternehmen u. a. in einer hochflexiblen integrierten Edelmetallhütte durchgeführt wird. Im Mittelpunkt stehen dabei die Basismetalle Kupfer, Blei und Nickel, mit denen auf insgesamt 17 wieder zu gewinnende Metalle (Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Cu, Pb, Ni, Sn, Bi, Se, Te, In, Sb, As) abgezielt wird. Dafür stehen hochflexible und robuste metallurgische Prozesse zur Verfügung. Durch eine optimierte Einsatzstoffmischung wird eine hohe Wiedergewinnungsquote erreicht. Durch die sorgfältige Entnahme und Prüfung von Proben wird eine hohe Ausbeute erreicht. Die Konzentration der Metalle, die in diesen Prozessen verarbeitet werden, spielt hier nur eine nachgelagerte Rolle. Zentrale Bedeutung kommt dagegen dem Wert von Kupfer und der Edelmetalle zu, durch den die Kosten der Durchführung der hochkomplexen Prozesse gedeckt werden. Die restlichen Materialfraktionen gehen huckepack mit und wären für sich allein nicht wirtschaftlich wiedergewinnbar. In den Einsatzströmen enthaltene unedle Metalle (wie Al, Fe, Ga, Ge, Ta, REE, Li, etc.) gehen als Oxide in Schlacke. Wenn diese Metalle erst einmal in die Schlacke übergegangen sind und diese abgekühlt ist, ist deren Wiedergewinnung aktuell weder ökologisch noch ökonomisch möglich. Der Aufwand wäre deutlich zu hoch. D. h. es muss bei allen Stoffen, die wiedergewonnen werden sollen, bereits vorher angesetzt werden. Die Einsteuerung der Stoffströme in die jeweils richtigen, speziellen metallurgischen Verfahren ist entscheidend. Die Quellen von CO₂-Emissionen der Metallurgie wurden erläutert. Eine dringend zu lösende Kernherausforderung besteht im Umgang mit Schlacken.



In einem weiteren Impulsvortrag erläuterte Andreas Nolte, Aurubis AG, wie das Unternehmen als integrierter Kupferkonzern mit Primär- und Sekundärstandorten alle Phasen des Rohstoffkreislaufs abdeckt, dabei als Teil verschiedener Kreisläufe innerhalb der betreffenden Wertschöpfungsketten agiert und verwies auf verschiedene bestehende Herausforderungen und Entwicklungspotenziale der Wiedergewinnung von Metallen. In den Schmelz- und Raffinierprozess gehen Rohstoffkonzentrate, Schrotte und Zwischenprodukte ein, woraus verschiedene Metalle wiedergewonnen werden (wie Ni, Zn, Se, Rh, Pd, Ag, Sn, Pb, Au, Pt, Re, Te). Die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen bringt im Unternehmen bereits heute bis zu 20 verschiedene Metalle in Produkten und Zwischenprodukten aus. Kupferkathoden, Nickelsulfat, Selen und Schwefelsäure sind Beispiele dafür. Ferner gehen die rückgewonnenen Metalle – insbesondere Kupfer – in die Weiterverarbeitung zur Produktion von Stranggussprodukten, Gießwalzdraht, Flachwalzprodukten oder Spezialanwendungen aus Nebenmetallen. Ein weiterer Teil der Sekundärrohstoffe geht direkt an weitere Weiter- und Endverarbeiter. Die metallurgischen Prozesse nehmen auch schadstoffentfrachtete Geräte auf. Dabei kann auch hier nicht alles so getrennt werden, dass jeder Inhaltsstoff und jeder Massenanteil wieder zu einem hochwertigen Sekundärrohstoff gemacht werden kann. Wesentliche Prozessschritte sind die Materialvorbereitung, die Probenahme und die Raffination, wobei verschiedene Elemente innerhalb des integrierten Verfahrensablaufs Schritt für Schritt entlang der chemischen Wertigkeit abgeschieden werden. Für die Aktivitäten des Unternehmens bestehen unterschiedliche politische und gesellschaftliche Zielvorgaben, die z. B. die Klimaneutralität, die Energie- und Ressourceneffizienz, die Abfallfreiheit, die Digitalisierung sowie die Transparenz in Lieferketten umfassen. Damit ist eine Reihe praktischer Herausforderungen verbunden. So steht z. B. der Abfallfreiheitsanforderung der überall verbreitete Anfall großer Mengen von Schlacken gegenüber. Es besteht die zentrale Kernfrage, wer sich – wenn die werthaltigen Fraktionen abgeschieden wurden – um den großen Rest kümmert. Diese Frage gilt für alle Technologien.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung von Lösungen zum Verbleib bzw. der Weiterverwendung des metallurgischen Schlackenauslasses der metallurgischen Wiedergewinnung von Metallen. Die Schaffung verlässlicher Verwertungsmöglichkeiten dafür ist – auch für modernste europäische Hüttenstandorte – eine existenzielle Schlüsselfrage für die Akteure der Branche. Mittels eines umfassenden Ansatzes ist die Erkenntnisgewinnung dabei möglichst auszuweiten auf die Erforschung von Optionen und Lösungen für den Umgang mit sämtlichen bei der metallurgischen Metallwiedergewinnung anfallenden Neben- und Reststoffe, für die bisher keine ökonomisch und ökologisch hochwertige, gangbare Verwendung existiert. Erforschung weiterer potenzieller Optimierungsansätze im Bereich der Schlackenverwertung, darunter:
 - Optimierung der Vorprozesse mit dem Ziel, Restmetallgehalte zu minimieren
 - Separation von Metallen aus Schlacken; insbesondere durch die Aufbereitung fester Schlacken sowie die Abtrennung von Metallen aus flüssigen Schlacken
 - Hinzufügen von Inertstoffen, um die Verwertung als Baustoff bzw. Bauzuschlagstoff zu ermöglichen
 - Erzeugung höherwertiger funktioneller Materialien durch das Engineering bzw. zielgerichtete Design von Schlacken, eventuell unter Beigabe von Zuschlagstoffen. Hierbei erscheint die Einbeziehung potenzieller Schlackenproduktnutzender im Wege einer iterativen Optimierung vielversprechend. Dabei stehen die Fragen im Mittelpunkt, welche Produkteigenschaften benötigt werden bzw. wie diese generiert werden können und welche Restgehalte problematisch erscheinen und welche nicht.
 - Mögliche Ansätze zur Nutzung von Abwärme sowie der weiteren energetischen Optimierung der Prozesse.



- Mögliche Ansätze, um kritische Mindestmengen für die Verwertung zu erzeugen, z. B. durch Pooling.
- Erforschung von Optimierungsansätzen für die Rückgewinnungsmetallurgie im Bereich der Schnittstellen zur Aufbereitung und Vorbehandlung für komplexe Multimetallgemische wie Elektroschrott: Die Schnittstelle zwischen Vorbehandlung und Verhüttung ist für anschließende metallurgische Prozesse extrem wichtig. Z. B. erfordern elektrische Zahnbürsten völlig andere metallurgische Verfahren als z. B. Smartphones. Große Gemische sind für die hochwertige metallurgische Wiedergewinnung ungeeignet. Die Vorabtrennung unedler größerer Fraktionen bzw. Komponenten (z. B. Akkus, Magnete, LCD-Panels, Aluminium-Kühlkörper/-Gehäuse, Eisen-Rahmen, etc.) ist notwendig, da diese andernfalls in die Schlacke übergehen. Bei der häufig diskutierten Abtrennung von Kleinstfraktionen edler Metalle insbesondere aus komplexen Verbänden ist darauf zu achten, dass andere edle Metallanteile dadurch nicht verloren gehen. Auch vorliegende Legierungen sind in diesem Bereich zu beachten. Wenn nicht nur die Logistik, sondern auch die Verfahren optimiert werden sollen, sind stärker an den Recyclingverfahren orientierte Sammelgruppen erforderlich. Ein recyclinggerechteres Produktdesign und eine selektivere Erfassung wären hier Ansatzpunkte – ansonsten wäre es hinterher zu kostenintensiv, an dieser Stelle für eine höhere Ausbeute rein metallurgisch nachzupflegen. All diese Aspekte erscheinen je für sich und im Zusammenhang als vielversprechendes Forschungsfeld zur Identifikation möglicher konkreter Schritte hin zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft. So könnten u. a. z. B. bei Neuschrotten die Möglichkeiten einer selektiven Entfernung von Zinn-, Zink-, Nickel-, Chrom- oder weiteren Beschichtungen und auch von Kunststoff untersucht werden. Ferner könnten Separationstechniken untersucht werden, die eine schnelle in situ Analytik beinhalten. Lösungen der Digitalisierung könnten unter Kombination von Material- und Komponentenerkennung mit Separationsschritten optimierte Verfahren und Ausbeuten ermöglichen.³⁵
- Erforschung neuer metallurgischer Verfahren für komplexe Multimetallgemische (wie z. B. Elektroschrott), die noch relativ weit von der Umsetzung entfernt sind, darunter:
 - Abtrennung von Metallen über die Gasphase vor bzw. im Smelter.
 - Abtrennung von Metallen aus der flüssigen Schlacke.
- Erforschung von Möglichkeiten, bei der Wiedergewinnung höhere Metallqualitäten dadurch zu erreichen, dass diese als Element, chemische Verbindung oder als Legierung wiedergewonnen werden. Dadurch könnten eventuell zusätzliche und mehr Metalle wiedergewonnen werden. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf Produkten, die aus dem Abgas pyrometallurgischer Prozesse gewonnen werden können.
- Erforschung optimierter Rückgewinnungsansätze im Bereich weniger komplexer Metallgemische wie Magneten, Batterien etc. Hierbei geht es insbesondere um die Neu- bzw. Weiterentwicklung von Spezialverfahren. Dabei ist besonderes Augenmerk auf die insgesamt jeweils wiedergewinnbaren Metalle zu legen. Das Entstehen von Schwarzmasse ist zu vermeiden. Optionen der Rückstandsverwertung wären zu analysieren. Es muss darum gehen, den Output für den Einsatz in neuen Produkten hin verwertbar zu steigern. Weitere Optimierungsansätze in diesem Bereich ließen sich identifizieren durch die Erforschung von Möglichkeiten, für bestehende und in der Entwicklung befindliche metallurgische Metallwiedergewinnungstechnologien

³⁵ Vgl. Projekt-Beispiel „ADIR“: Automatische Identifizierung und Ausschneiden von z.B. Tantal-Kondensatoren und Bauteilen mit Neodym.



- wertschöpfungsketten- bzw. lebenswegweite Steigerungen der Energieeffizienz sowie Senkungen von Treibhausgasemissionen zu erreichen.
- Erforschung von Möglichkeiten, für bestehende und in der Entwicklung befindliche metallurgische Metallwiedergewinnungstechnologien Senkungen von Treibhausgasemissionen – u. a. auch durch den Einsatz von Technologien im Bereich Carbon Capture and Storage (CCS) sowie Carbon Capture and Utilization (CCU) – zu erreichen. Dabei sollte stets eine Einbeziehung von Up- und Downstreamprozessen in die Betrachtung erfolgen, um wertschöpfungsketten- und lebenszyklusweit zu Verbesserungen zu kommen und Lastenverschiebungen auszuschließen.
 - Erforschung der Möglichkeiten, wertschöpfungsketten- bzw. lebenswegweite Verringerungen weiterer Emissionen der metallurgischen Prozesse in Luft, Abwasser und Böden, z. B. in Form von Stäuben zu erreichen.
 - Erforschung von Möglichkeiten, metallurgische Prozesse durch den Einsatz und die Kombination von „mechanischen“ Trenntechniken sowie Technologien der Pyro-, der Hydrometallurgie und Biotechnologie fortzuentwickeln. Darunter Berücksichtigung von Ansätzen, bei denen autotherme Prozesse auch mit Aluminium, Eisen oder Silizium als Energieträger und Reduktions- bzw. Entschwefelungsmittel CO₂-emissionsfrei Anwendung finden. Außerdem Erforschung von Möglichkeiten, den Einsatz der Elektrometallurgie synchron mit der erneuerbaren Stromerzeugung zu steigern. Ferner Untersuchung, ob es machbar erscheint, Prozesssynergien mit Carbon-to-Chem, der Kraftwärmekopplung und/oder der H₂-Technologie zu erreichen. Schließlich Untersuchung der Möglichkeiten, fossile Energieträger durch Bioenergieträger, wie z.B. Bio-Kohle oder Bio-Öl aus Phytosanierungen, zu substituieren.
 - Erforschung von Möglichkeiten und Potenzialen, die weitere Aufbereitung mineralischer Reststoffe der metallurgischen Prozesse voran zu treiben.³⁶
 - Erforschung von Möglichkeiten und Potenzialen einer optimierten Energienutzung durch zunehmenden Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung bzw. den Einsatz von Ansätzen der industriellen Symbiose.³⁷
 - Untersuchung von Möglichkeiten, die metallurgischen Wiedergewinnungsprozesse vollständig treibhausgasemissionsfrei zu gestalten. Hintergrund ist, dass der Kunststoffeintrag in Produktkomponenten dieser Zielsetzung entgegensteht. Bestehende Verfahren der mechanischen und chemischen Vortrennung gehen mit einem hohen Dissipationsrisiko für Metalle einher und vermeiden im Ergebnis nicht die Umwandlung von Kohlenstoff zu CO₂; u. a. Untersuchung der Möglichkeiten, Carbon-to-Chem-Ansätze in pyrometallurgische Prozesse mit hohen Organikeinträgen zu integrieren.

Bei sämtlichen Optimierungsansätzen und Versuchen, Rangfolgen zwischen alternativen Verfahren, Technologien und Verwertungswegen zu bilden ist stets eine Systemperspektive zugrunde zu legen. Ökologische Verbesserungen müssen wertschöpfungsketten- bzw. lebenszyklusweit, ressourcen- und umweltwirkungsübergreifend abgeschätzt werden. Auch die jeweiligen ökonomischen Implikationen für unterschiedliche Akteure der betroffenen Wertschöpfungsketten sind in die Betrachtungen mit

³⁶ Vgl. z. B. innovatives Produktbeispiel „Koranel“ von Aurubis und Metallo, das eine deutliche Reduzierung von Metallgehalten wie Zink, Kupfer, Blei und Nickel mit der Lenkung in die werkstoffliche Nutzung und gekoppelt mit verbesserten Nutzeigenschaften des mineralischen Anteils ermöglicht.

³⁷ Vgl. z. B. die Lieferung von Fernwärme für die Hamburger Hafencity durch Aurubis.



einzu beziehen, um Transparenz über deren Anreizlagen hinsichtlich der ressourceneffizienten Kreislaufführung insgesamt und bezogen auf bestimmte Verfahren und Lösungen zu schaffen.

Entwicklungspotenziale im Bereich der Rückgewinnung technischer Kunststoffe

In einem Einführungsvortrag berichtete Chris Slijkhuis, MGG Polymers GmbH, über die Herstellung und den Vertrieb von Sekundärkunststoffprodukten aus Elektroaltgeräten. Dabei wurde detailliert ausgeführt, welcher Anteil des verarbeiteten Stoffstroms Flammhemmerstoffe enthält, welche Stoffe dies überwiegend und durchschnittlich sind, welchen Regulierungen die Stoffe unterliegen, welche praktischen Implikationen sich daraus ergeben und welche Teile davon im Kreislauf geführt werden können. Bromierte Flammschutzmittel sind in verschiedenen Bauteilen in unterschiedlichen Geräten enthalten. Meist handelt es sich bei den in den verarbeiteten Altprodukten enthaltenen Flammhemmerstoffen um zugelassene Stoffe, einzelne unterliegen einer strengen Regulierung, manche davon sind verboten. Die Regelungen zum Umgang mit einzelnen Stoffen sind in unterschiedlichen Rechtsnormen in Verbindung mit unterschiedlichen Genehmigungs- und Umgangsregeln niedergelegt. Eine Aufschlüsselung der in verschiedenen Elektroschrottkategorien enthaltenen Kunststoffe, in denen bromierte Flammschutzmittel enthalten sind sowie deren rechtlichen Anknüpfungspunkte wurden in Detail erläutert. Es liegen Studien vor, die sich u. a. den Fragen der Stoffflüsse und Verbleibe speziell von Flammhemmer enthaltenden Kunststoffen widmen.³⁸ Der Anteil der in Produkt-Rückläufen enthaltenen verbotenen Flammschutzmittel sinkt tendenziell. Ökobilanzen zeigen, dass die stoffliche Kunststoffverwertung der in Deutschland überwiegend vorherrschenden thermischen Verwertung der in Elektroaltgeräten enthaltenen Kunststoffe aus ökologischer Perspektive vorzuziehen ist.³⁹ Das Unternehmen stellt nach bestehenden Standards hochwertige Sekundärprodukte her, die die hohen rechtlichen Anforderungen erfüllen und die auch an die Hersteller entsprechender Neugeräte geliefert werden. Es wurde dafür geworben, verschiedene Akteure der Wertschöpfungskette von EAG – aber auch Vertreterinnen und Vertreter der Circular Economy einerseits mit Vertreterinnen und Vertretern des Umwelt- und Gesundheitsschutzes andererseits – mit dem Ziel zusammenzubringen, gemeinsam geeignete Lösungen zu entwickeln, die eine Ausweitung der ressourceneffizienten Kreislaufführung von Kunststoffen ermöglichen, die Flammschutzmittel enthalten.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende *mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung* ableiten:

- Erforschung der ökologischen und ökonomischen Charakteristika unterschiedlicher Grenzwertsetzungen für einzelne bromierte Flammschutzmittel beim Einsatz in gängigen Anwendungen.
- Erforschung der ökologischen und ökonomischen Vor- und Nachteile möglicher Substitute für einzelne bromierte Flammschutzmittel beim Einsatz in gängigen Anwendungen.
- Erforschung von Möglichkeiten, innereuropäische grenzüberschreitende Verbringungen von Kunststoffen, die bestimmte Flammschutzmittel enthalten, administrativ zu vereinfachen und die damit verbundenen Prozesse – ohne die Inkaufnahme eventueller negativer Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit – zu beschleunigen mit dem Ziel, deren stoffliche Verwertung zu fördern und konkurrenzfähige grenzüberschreitende Wertschöpfungsketten in der Branche zu ermöglichen.

³⁸ Vgl. Haarman et al. (2020)

³⁹ Vgl. Wäger/ Hischer (2015)



- Erforschung von Möglichkeiten, den administrativ vorgeschriebenen Aufwand – z. B. für Messungen – für die praktische Durchführung der stofflichen Verwertung von Kunststoffen, die bestimmte Flammschutzhemmer enthalten – ohne die Inkaufnahme eventueller negativer Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit – zu reduzieren. Dabei auch Überprüfung der Vorschriften zur Separation derartiger Kunststoffe mit Blick auf die bestehende Recyclingpraxis.
- Erforschung von Möglichkeiten, weitere in Entwicklung befindliche administrative Vorgaben mit Relevanz für die stoffliche Verwertung von Kunststoffen, die bestimmte Flammschutzhemmer enthalten, so auszugestalten, dass diese einer hochwertigen ressourceneffizienten Kreislaufführung nicht entgegenstehen, z. B. ECHA-Datenbank, z. B. Eco-ToxParameter HP14.
- Erforschung von Möglichkeiten, den Rechtsrahmen zur Kreislaufführung von Elektroaltgeräten und deren Inhaltsstoffen kohärenter und stärker im Sinne einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft zu gestalten. Hintergrund sind aktuell z. T. nicht miteinander im Einklang stehende Anforderungen z. B. aus der europäischen Ökodesign-Richtlinie, der europäischen Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte und der Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.⁴⁰ Insbesondere für die technischen Kunststoffe könnte in diesem Zusammenhang u. a. die Möglichkeit untersucht werden, „legacy chemicals“ wie FCKW und Flammschutzmittel, wenn sie nicht im Material enthalten bleiben sollen, durch chemisches Recycling zu zerstören. Da die Vernichtung dieser Chemikalien aktuell rechtlich vorgeschrieben ist und nur in Verbrennungsanlagen, nicht aber in Chemieanlagen gesetzlich zugelassen ist, wird die Forschung daran derzeit nicht begonnen.

Literatur und Quellenverzeichnis zu Abschnitt E

Ardente, Fulvio/ Pastor, Maria Calero/ Mathieux, Fabrice/ Talens Peiró, Laura (2015): Analysis of end-of-life treatments of commercial refrigerating appliances: Bridging product and waste policies, in: Resources, Conservation and Recycling 101 (2015), Seiten 42–52, Elsevier B.V., Amsterdam, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344915300021>

Bookhagen, Britta/ Bastian, Dennis (2020): Metalle in Smartphones, in: Commodity TopNews 65, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Hannover, URL: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/65_smartphones.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Kuchta, Kerstin/ Picuno Caterina (2020): Kreislauffähigkeit von Post-Consumer Kunststoffverpackungen, in: Müll und Abfall - Fachzeitschrift für Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft 3/2020, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, Berlin, URL: <https://muellundabfall.de/ce/kreislauffaehigkeit-von-post-consumer-kunststoffverpackungen/detail.html>

Haarman, Arthur/ Magalini, Federico/ Courtois, Joséphine (2020): Study on the Impacts of Brominated Flame Retardants on the Recycling of WEEE plastics in Europe, SOFIES SA (Hrsg.), Genf, URL: <https://www.bsef.com/wp-content/uploads/2020/11/Study-on-the-impact-of-Brominated-Flame-Retardants-BFRs-on-WEEE-plastics-recycling-by-Sofies-Nov-2020.pdf>

stiftung ear (2021): PLAN E Recycling-Kampagne für Elektroschrott, Kampagnenwebsite im Auftrag von Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt bereitgestellt durch die stiftung elektro-altgeräte register (ear) (Hrsg.), Nürnberg, URL: <https://e-schrott-entsorgen.org/>

⁴⁰ Vgl. dazu auch Ardente et al. (2015)



stiftung ear (2020): WIE TICKT E-SCHROTTDEUTSCHLAND? Bundesweit repräsentative Grundlagenstudie im Auftrag der stiftung elektro-altgeräte register (ear) (Hrsg.), Nürnberg, durchgeführt durch mindline GmbH Institut für Kommunikations- und Marketingforschung/ Rich Harvest GmbH, URL: https://www.stiftung-ear.de/fileadmin/Dokumente/Studie_E-Schrott.pdf

Wäger, Patrick A./ Hischier, Roland (2015): Life cycle assessment of post-consumer plastics production from waste electrical and electronic equipment (WEEE) treatment residues in a Central European plastics recycling plant, in: Science of The Total Environment, Vol. 529/ October 2015, S. 158-167, Elsevier B.V., Amsterdam, URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/science-of-the-total-environment/vol/529>

F. Mögliche Anknüpfungspunkte zur Fortentwicklung der Forschungs- und Innovationsförderung im Bereich Rückgewinnung von Rohstoffen aus Gebäuden und Infrastruktur

1. Einführung ins Thema

In einem Einführungsvortrag erläuterte Prof. Dr. Anette Müller, IAB Weimar gGmbH, den Stand der Aufbereitungs- und Recyclingtechnik sowie die diesbezügliche Praxis in Deutschland bezogen auf die wesentlichen aus Gebäuden und Infrastrukturbauten zur Verwertung anfallenden Stofffraktionen.⁴¹ Das Standardrecyclingverfahren bzw. „Gestaltauflösungsverfahren“ bei mineralischen Bauabfällen ist die Zerkleinerung. Anschließend können – je nach Stoffgemischeigenschaft und Wiederverwendungsziel – moderne Verfahren eingesetzt werden, die, z. B. mittels Mahlung oder thermischen Prozessen, zu einer noch stärkeren Gestaltauflösung führen. Beschrieben wurden der Status Quo zur eingesetzten Aufbereitungstechnik in Deutschland sowie der Stand des darauf folgenden Einsatzes als Sekundärrohstoff für Betonbruch, Asphalt, Gips aus Gipskarton- und Gipswandbauplatten sowie für Mauerwerkbruch. Der Stand materialspezifischer Recyclingverfahren samt bisher erprobter Wiedereinsatzmöglichkeiten wurde für Betonsand, Ziegelsand und Mauerwerkbruch näher beleuchtet. Zusammenfassend kann attestiert werden, dass Technologien für geschlossene Kreisläufe für Betonbruch, Asphaltaufruch und Gipskartonplatten verfügbar sind, auch wenn diese nicht im möglichen Umfang genutzt werden. Dagegen besteht im Bereich der Betonsande, des Mauerwerkbruchs sowie des Bodenaushubs technologisches Entwicklungspotenzial.

Aus dem Vortrag und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung und Entwicklung von Sortier-, Aufbereitungs-, Recyclingtechnologien, Sekundärrohstoffherstellungsverfahren, Einsatzgebieten und -formen für Mauerwerkbruch. Dabei u. a. Untersuchung der Frage, ob aus Mauerwerkbruch – z. B. mittels bereits bestehender Nassverfahren – ein Rezyklat hergestellt werden kann, mit dem der Einsatz von Flugasche und REA-Gips⁴² substituiert werden kann.
- Erforschung und Entwicklung von Sortier- und Aufbereitungstechnologien sowie Einsatzgebieten und -formen für Ziegelsand.
- Erforschung von Möglichkeiten und konkreten Umsetzungswegen der stärkeren Kreislaufführung von Betonsanden und Bodenaushub.
- Erforschung von Möglichkeiten und konkreten Umsetzungswegen, den praktischen Einsatz der bestehenden Technologien zur Kreislaufführung von Betonbruch, Asphaltaufruch und Gipskartonplatten zu einer breiteren Anwendung in der Praxis zu verhelfen.
- Erforschung von Ansätzen, recyclinggerechtes Konstruieren im Hoch-, Tief- und Infrastrukturbauwesen unter Berücksichtigung, bzw. ausgehend von, der bestehenden Praxis zu realisieren. Identifikation und Umsetzung von Pilotvorhaben.

⁴¹ Siehe auch Müller (2018)

⁴² REA = Rauchschwefelungsanlage, i. d. R. bei der Stromproduktion auf Braunkohlebasis.



2. Anthropogenes Lager im Baubestand – Ausgangslage und Chancen der Digitalisierung

In einem Einführungsvortrag erläuterte Prof. Dr. Helmut Rechberger, TU Wien, den Stand des Wissens und der Methodik zur Quantifizierung des anthropogenen Lagers im Baubestand. Eine Schätzung des anthropogenen Lagers in Industrieländern liegt bei 350-450 t Material/ Kopf. Ansätze zur Abschätzung und näherungsweise Berechnung des Lagers lassen sich zwei Kategorien zuordnen: Top Down und Bottom Up. Beide Methoden weisen bei der praktischen Anwendung im Ergebnis große Unsicherheiten auf. Eine Schlüsselvariable ist die (mittlere) „Verweilzeit“ der einzelnen Elemente des anthropogenen Lagers im Baubestand. Sie beschreibt die zeitliche Differenz zwischen dem Einsatz von Baumaterialien zu einem gegebenen Zeitpunkt und deren späterem Abfluss aus dem Baubestand. Die Tendenz bei bisher untersuchten Lagern zeigt, dass die Lagermenge sich dort über die Zeit hinweg steigend gestaltet. Erläutert wurden kurz die Ergebnisse eines Top Down Quantifizierungsversuchs des Lagerbestands von Aluminium in Österreich.⁴³ Darauf folgend wurden in Detail das Vorgehen und die Ergebnisse eines Bottom Up Quantifizierungsversuchs des Lagerbestands für verschiedene Materialien des anthropogenen Lagers im Baubestand für die Stadt Wien vorgestellt.⁴⁴ Anschließend wurde über die Vorgehensweise zur Schätzung der aus Abbruchaktivitäten resultierenden Abflüsse aus dem Lager berichtet. Die Erstellung von Gebäudepässen ist zwar grundsätzlich möglich, die Voraussetzungen dafür könnten jedoch noch deutlich verbessert werden. Um das anthropogene Lager vernünftig bewirtschaften zu können, wäre eine präzise örtliche und materielle Charakterisierung des Bestands erforderlich.

Im Anschluss berichtete Dr. Sebastian Dittrich, Fraunhofer IBP, über den Verbrauch, das Aufkommen und den Verbleib mineralischer Rohstoffe und Materialien in Deutschland und beleuchtete dabei besonders den Verbleib mineralischer Sekundärbaustoffe. So könnten z. B. die geologisch verfügbaren Sandmengen in Deutschland noch für mehrere Jahrtausende reichen – aber es bestehen verschiedene Zugangsbeschränkungen durch alternative Landnutzungsformen, notwendige Genehmigungen etc. Ferner bestehen bei der Verfügbarkeit regionale Unterschiede. Grundsätzlich verfügbar sind dagegen Stoffe, die aus dem anthropogenen Lagerbestand abfließen. Abfallstatistiken bieten einen Überblick über das aus diesem Bereich resultierende grundsätzliche Sekundärrohstoffpotenzial. Die Frage nach einer möglichst sinnvollen Verwertung ist jedoch beim Vergleich unterschiedlicher Alternativen häufig schwer zu beantworten. Allein die Definition und gegenseitige Abgrenzung von Recycling, Downcycling und Upcycling ist methodisch mit Schwierigkeiten behaftet. Dies erschwert die klare Herstellung einer auf die Nachhaltigkeit der jeweiligen Option bezogenen Rangfolge.

Schließlich gab Anette von Hagel, re|source Stiftung e. V., einen Einblick in den Stand des Building Information Modeling (BIM) sowie die internationale Initiative „Madaster“ für die Materialrückgewinnung und betonte die vielfältigen Chancen, die in einer nachhaltigen Verbesserung der Datenlage liegen. Das Ziel und der Zweck der Anstrengungen ist, dass ein kollaboratives Zusammenarbeiten der beteiligten Akteure eines bestimmten Bauprojekts und der über den Lebenszyklus eines Bauwerks hinweg mit dem Bauwerk befassten Akteure praktisch ermöglicht und erreicht werden kann. Es geht um den Transport von Informationen zur Schaffung einer lebenszyklusweiten Transparenz bezogen auf wesentliche Bauwerksdaten. Das BIM ist eine Methode zur Umsetzung dieses Anliegens, die sich auf Mittel der Digitalisierung stützt. Eine verbesserte Datenlage ist ein zentrales Kernanliegen und ein wesentlicher Schlüsselaspekt für eine zunehmende Kreislaufführung von Baustoffen. Verschiedene weitere Ansätze bestehen bereits, um sich dem Thema zu widmen, darunter etwa die vom Institut Bauen

⁴³ Vgl. Buchner et al. (2016)

⁴⁴ Vgl. Kleemann et al. (2016)



und Umwelt e.V. (IBU) voran getriebenen Umweltproduktdeklarationen. Das BIM ist ein vielversprechender, wenngleich entwicklungsfähiger Baustein der für die Erhebung und Verarbeitung von Baudaten erforderlichen Lösungen. Der neuartige Ansatz Madaster wird international von Vorreitern verfolgt und kann auf dem BIM aufsetzen. Ziel ist der langfristige Erhalt der Planungs- und Baudaten und somit in erster Linie auch wesentlicher Informationen zum ökonomischen Wert von Bauwerken. Mit dem BIM steht ein Datenerfassungs- und -verarbeitungssystem für die Planungs- (modular, rezyklierbar) und die Bauphase (Transparenz des Einsatzes von Produkten) zur Verfügung. Madaster setzt hier auf und dient dazu, die Planungs- und Baudaten langfristig zu bewahren und weitere Daten, die während des Bauwerksbetriebs anfallen, hinzuzufügen. Madaster bietet den Vorteil, dass andere am Markt bestehende Anwendungen und Datenplattformen grundsätzlich integrierbar sind.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende *mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung* ableiten:

- Erforschung von Möglichkeiten, aufbauend auf bestehenden Ansätzen und gängigen Praktiken eine umfassende, aktuelle, qualitativ hochwertige und mit angemessenem Aufwand für die Zwecke der Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers im Baubestand nutzbare Datenbasis zu schaffen, bzw. Erforschung von Möglichkeiten, wie bereits bestehende Ansätze und Praktiken zur Erstellung digitaler Gebäudepässe optimiert, flankiert und für Neubauten in die breite Anwendung gebracht werden könnten. Dabei sind Schnittstellen und Integrationsmöglichkeiten für bestehende Daten wie jenen aus dem Geoinformationssystem (GIS) ebenso zu berücksichtigen, wie Schnittstellen und Integrationsmöglichkeiten hinsichtlich bestehender methodischer Ansätze wie dem Building Information Modeling (BIM) und/ oder „Madaster“.⁴⁵ Im Fokus stehen dabei insbesondere Daten zu
 - verbauten Einzelprodukten: Materialzusammensetzung, Materialverbindung, Verortung und Einbauspezifika.
 - Konstruktion von Hoch-, Tief- und Infrastrukturbauten und deren Kernelementen.
 - Reparaturen, Aufrüstungen, Renovierungen, Schäden, Verschleiß.
 Dabei ist zu erforschen, welche flankierenden Maßnahmen und Rechtsgrundlagen für die optimale Erstellung, Pflege und Nutzung digitaler Gebäudepässe für Neubauten noch geschaffen bzw. geändert werden müssten und wie diese ausgestaltet werden könnten.
- Ferner ist auch die Identifikation weiteren Bedarfs an Daten für die ressourceneffiziente Kreislaufführung von Baustoffen zu verfolgen. So sind z. B. Informationen zur Rückbaufähigkeit von Bauwerken in den aktuellen Ansätzen noch nicht bzw. nur unzureichend abgebildet.
- Erforschung und Entwicklung von Erkennungs- und Scanmethoden zur Erhebung von Daten für die Zwecke der Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers im Baubestand. Ferner Prüfung gängiger kommunaler Datenbestände darauf, ob deren weitere Verarbeitung und Zusammenführung geeignet erscheint, die Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers zu unterstützen.
- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, das Building Information Modeling (BIM) in für betroffene Akteure praktikable Art und Weise noch stärker zum Zweck der Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers im Baubestand einzusetzen. Dies beinhaltet die Identifikation, Entwicklung und Analyse potenzieller Fortentwicklungsmöglichkeiten.
- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, eine institutionelle Governance-Struktur zu schaffen, die die Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers betreibt und verantwortet.

⁴⁵ Vgl. hierzu z. B. auch Lambertz et al. (2019) oder Gantner et al. (2018)



Darunter fällt die Identifikation von für die Umsetzung verschiedener Teilaufgaben geeigneter bestehender – falls unbedingt erforderlich, neu zu entwickelnder – Behörden und Institutionen sowie eine klare Definition und Ausformulierung von Aufgaben, Schnittstellen und Verantwortungsbereichen. Im Rahmen der Forschung auszuformulierende Teilaufgaben umfassen beispielsweise die für die Zwecke der Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers geeignete Katasterführung, die Datenbank-Entwicklung, die Datenpflege, Datenbankschnittstellen, Datenzusammenführungen und die Erstellung und Ausgabe von Auszügen in für verschiedene Akteure benötigten Ausgabeformaten.

- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, kurzfristig den fortlaufenden Verlust wesentlicher Bauwerksdaten zu vermeiden, der aus der gegenwärtigen Praxis der mit Ablauf von Gewährleistungsfristen erfolgenden Löschung von Daten einhergeht. Mittel- und langfristig sind Mittel und Wege zu erforschen und zu entwickeln, wie eine langfristige Aufbewahrung wesentlicher Planungs-, Bau-, Betriebs- und Instandhaltungsdaten als Grundlage und Rückfallposition für den digitalen Zwilling der jeweiligen Bauwerke sichergestellt werden kann.
- Erforschung des Beitrags, den die o. g. z. T. noch zu entwickelnden Datenbestände mittel- und langfristig zur Bestimmung des ökonomischen Werts von Bauwerken leisten können. Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, richtungssichere Bewertungen für nachhaltige Investitionen aus diesen Daten abzuleiten und somit mögliche Ansatzpunkte für Verknüpfungen zu den Aktivitäten zur Definition und Abgrenzung nachhaltiger Finanzprodukte und Investitionen herzustellen.
- Erforschung von Möglichkeiten, die o. g. z. T. noch zu entwickelnden Datenbestände bzw. Auszüge davon der Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen.

3. Verfahren des Rückbaus von Bauwerken und damit verbundene Verwertungslogistik

In einem Einführungsvortrag erläuterte Johannes Harzheim, Hagedorn Management GmbH, gängige Verfahren des Rückbaus von Bauwerken und die damit verbundene Verwertungslogistik am Fallbeispiel des Rückbaus von Windenergieanlagen. Bestehende Verfahrensalternativen und deren Eigenschaften wurden insbesondere für folgende konsekutiv aufeinander folgenden Arbeitsschritte des Rückbaus der Anlagen vorgestellt: Die Arbeitsvorbereitung, die Demontage, den Turmrückbau, die Turmverwertung, den Fundamentrückbau, die Verwertung der Rotorblätter und – im Falle größerer Anlagen – die Durchführung von Erdarbeiten und des Wegebbaus. Entwicklungsbedarf wurde insbesondere im Bereich der Verwertung der Rotorblätter gesehen. Insbesondere Bestandteile aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) werden aktuell komplett repariert und entsorgt. Dagegen können Bestandteile aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) im Zementwerk stofflich und energetisch verwertet werden. Die übrigen Anlagenteile – insbesondere der Stahl und der Beton – gehen nach aktuellem Stand der Technik in weitere stoffliche Rohstoffkreisläufe ein.

Prof. Dr. Sabine Flamme, Fachhochschule Münster, gab anschließend einen Überblick über bestehende Daten und Praktiken, Entwicklungsansätze und Herausforderungen der Kreislaufführung von Baustoffen und ging dabei u. a. auf das Ausbaugewerbe bzw. den Innenraumbereich, Chancen der Digitalisierung, Rahmenbedingungen und Geschäftsmodelle ein.⁴⁶ Auch hier wurde die Herausforderung der mangelhaften Datenlage im Bereich des Bauwerkbestands betont: Wenn bekannt wäre, was wie wo verbaut worden ist und wie man es wieder herausbekommt, wäre die Kreislaufführung praktisch sehr viel leichter umsetzbar. Es geht darum, Wissen aus der Phase des Lageraufbaus bis hin zum Rückbau von Bauwerken zu transportieren und Geschäftsmodelle zu entwickeln, die daran anknüpfen. Bei den

⁴⁶ Vgl. z. B. auch Walica et al. (2020)



aktuell bestehenden Herausforderungen des Rückbaus geht es um große Stoffmengen. Die Anstrengungen, die heute zur Kartierung des anthropogenen Lagers notwendig sind, könnten künftig durch eine vorausschauende Datenhaltung vermieden werden.⁴⁷ Daten zu Baustoffen, deren Verortung, deren Eigenschaften und die zugehörigen Informationen zur Konstruktion müssten – falls deren ressourceneffiziente Wiedergewinnung ermöglicht werden soll – bei Neubauten erfasst und langfristig verfügbar gemacht werden. Hierzu scheint es erforderlich, dass planende und rückbauende Akteure gezielt zusammengebracht werden – die Planung und das Recycling von Bauwerken sind möglichst systematisch miteinander zu verkoppeln. Vielversprechende in der Entwicklung befindliche Ansätze bestehen bereits jetzt im Bereich des Innenausbaus, der durch für das Bauwesen verhältnismäßig kurze Umlaufzeiten von 5 bis 10 Jahren gekennzeichnet ist. Für Böden, Decken und Wände werden hier – auch unter Nutzung digitaler Lösungen – aktuell projektbezogen zirkuläre Praktiken und Geschäftsmodelle entwickelt.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende *mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung* ableiten:

- Erforschung von Möglichkeiten der ressourceneffizienten Kreislaufführung bzw. nachhaltigen Verwertung der Rotorblätter von Windenergieanlagen. Dies betrifft insbesondere und vorrangig Bestandteile aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) aber eventuell auch, neben der stofflichen und energetischen Verwertung von glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) im Zementwerk, denkbare innovative Wege der ressourceneffizienten Kreislaufführung dieser Stoffe.
- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, im Hoch- und Tiefbau für die Kreislaufführung bestehende Herausforderungen bereits verfolgter Verbesserungsansätze zu überwinden und in diesen Feldern weitere Fortschritte zu erreichen; insbesondere:
 - Bei langlebigen Bauteilen, d. h. insbesondere den Tragkonstruktionen Entwicklung praktisch funktionierender, für die betroffenen Akteure attraktive Lösungen zur flexiblen Nutzung, des Systembaus, statischer Reserven, modularer, recyclinggerechter Bauweisen etc.
 - Bei kurzlebigen Bauteilen, d. h. insbesondere den Ausbauprodukten sowie der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) Entwicklung praktisch funktionierender, für die betroffenen Akteure attraktive Lösungen zur recyclinggerechten Konstruktion, der leichten Rückbaubarkeit, neuer Geschäftsmodelle zur Rücknahme der Produkte und Materialien durch Hersteller etc.
 - Verbesserung der Datenlage unter Nutzung und Fortentwicklung digitaler Anwendungen.
- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, die Zusammenarbeit von an Bauprojekten, dem Bauwerksbetrieb, dem Bauwerksrückbau und der Verwertung von Bauwerken beteiligten Akteure mit dem Ziel zu institutionalisieren, dass eine ressourceneffiziente Kreislaufführung nicht nur ermöglicht, sondern von allen als Teilaufgabe gezielt mit verfolgt wird. Dies umfasst explizit u. a. auch Städteplanerinnen und Architekten sowie Entsorgungsingenieure. Flankierend Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, die Sensibilisierung der Beteiligten für den lebenszyklusweit möglichst ressourceneffizienten Einsatz natürlicher Ressourcen durch geeignete Maßnahmen, Zuständigkeiten und Mechanismen sicherzustellen; falls nötig, Identifikation von Wegen, einen entsprechenden Kompetenzaufbau bei Schlüsselakteuren zu erreichen. Ferner Erforschung bestehender Anreizsituationen für Einzelakteure und Entwicklung potenzieller Maßnahmen zu deren gezielter Beeinflussung im Sinne politischer Nachhaltigkeitsziele.

⁴⁷ Vgl. z. B. Schiller et al. (2015) bzw. Hedemann et al. (2017)



- Identifikation, Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, rechtliche und technische Grundlagen für die Kreislaufführung (inkl. Qualitätssicherungssystem) zu verbessern, gezielt fortzuentwickeln und, falls nötig und sinnvoll, neu zu schaffen. Darunter insbesondere Analyse des Status Quo und Erforschung, ob bzw. wo bereits ein unterstützender rechtlicher und kaufmännischer Rahmen für die technische Umsetzung der Kreislaufführung vom Produktdesign bis hin zu den Verwertungsoptionen besteht oder welche Optionen bestehen, einen solchen unterstützenden Rahmen zu schaffen, wo ein solcher nicht besteht.
- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, bestehende Logistiksysteme zur Kreislaufführung von Baustoffen zu optimieren bzw. Erforschung und Entwicklung neuer innovativer Logistiksysteme zur ressourceneffizienten Kreislaufführung von Baustoffen.
- Förderung nachhaltiger Geschäftsmodelle zur ressourceneffizienten Kreislaufführung von Baustoffen. Identifikation von Möglichkeiten, die Diffusion bestehender Lösungen zur ressourceneffizienten Kreislaufführung von Baustoffen zu beschleunigen.

4. Entwicklung von Anlagen und Verfahren der Herstellung sekundärer Baumaterialien

Dr. Barbara Leydolph, IAB Weimar gGmbH, und Alexander Schnell, Bauhaus-Universität Weimar, berichteten in einem Impulsvortrag vom Stand der Technik, bestehenden Forschungsansätzen und von Methoden der Herstellung sekundärer Baumaterialien.⁴⁸ Dabei gingen sie auf unterschiedliche Verfahrens- und Anlagenspezifika ebenso ein, wie auf verschiedene Ausgangsstoffe und potenzielle Einsatzgebiete. Herr Schnell stellte den Stand der Technik und laufende öffentlich geförderte Projektaktivitäten zur Herstellung von Leichtgranulaten aus Mauerwerkbruch vor. Für alle Ausgangsstoffgemische der Sekundärrohstoffproduktion gilt, dass die Verwertungsquoten mit steigender Heterogenität des zur Verfügung stehenden Stoffgemischs sinken. In Projekten verfolgte Forschungsanstrengungen zielen auf die Identifikation und Testung besserer und effektiver Trenn- und Sortierverfahren, neuer Verwertungswege für feinkörnige heterogene Materialien sowie Lösungen für Herausforderungen, die im Zusammenhang mit Calciumsulfatbaustoffen bestehen. Frau Dr. Leydolph erläuterte en Detail die im IAB Weimar zur Verfügung stehende Anlagentechnik, mit der sämtliche Arten mineralischer Baustoffe – auch in größeren Versuchsmengen – hergestellt werden können. Ferner können die gesamte gängige Analytik und das Recycling dort technisch praktisch durchgeführt werden. Zum Nachweis, dass nach der Bauschuttbehandlung im Drehrohrofen bzw. in der Gaswäsche auch REA-Gips erzeugt werden kann, werden beispielsweise entsprechende Versuche durchgeführt.

Im Anschluss verwies Dr. Michael Fooker, Sievert Baustoff GmbH & Co.KG, auf die besondere Bedeutung regulativer Rahmenbedingungen und weiterer wesentlicher Aspekte für die Herstellung und den Einsatz von Sekundärbaustoffen sowie auf Forschungs- und Entwicklungspotenziale. Es erscheint sinnvoll, den Blick – wie in der Ersatzbaustoffverordnung geschehen – stärker auf Expositionsszenarien als auf Inhaltsstoffe zu richten. Entscheidend ist, was mit einem Sekundärbaustoff gemacht wird und was im Lauf des Bauwerkslebenszyklus tatsächlich aus dem Baustoff austritt. Bei einem Blick in verschiedene Nachbarstaaten sieht man, dass der gesetzliche europäische Rahmen Spielraum für die stoffliche Nutzung von Nebenströmen lässt. Auf gängige Verfahren, die bei der Herstellung von Ersatzbaustoffen zum Einsatz kommen, wurde verwiesen. Um Logistikkosten und Umweltwirkungen zu optimieren, werden Recyclinganlagen da aufgestellt, wo der dauerhafte Anfall ausreichender Ausgangsstoffmengen zu erwarten ist. Alternativ erscheinen eher mobile Anlagen geeignet. Neue Verfahren wie die elektrolytdynamische Fragmentierung werden als potenziell vielversprechend angesehen. Diese würden z. B. eventuell die Trennung von Zementstein von der Körnung ermöglichen. Zusammen mit einem

⁴⁸ Siehe auch Schnell/ Rübner et al. (2018) bzw. Liebezeit/ Palzer/ Müller/ Leydolph (2016)



passenden regulatorischen Rahmen könnten Trockenmörtelhersteller so zunehmend primäre durch sekundäre Rohstoffe substituieren.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Fortsetzung der Erforschung besserer und effektiver Trenn- und Sortierverfahren, neuer Verwertungswege für feinkörnige heterogene Materialien sowie von Lösungen für Herausforderungen, die im Zusammenhang mit Calciumsulfatbaustoffen bestehen. Dabei kontinuierliche Anstrengungen zur Fortentwicklung der Anlagentechnik mit Blick auf die Ressourceneffizienz sowie die Vermeidung von (auch prozessbedingter) Treibhausgasemissionen. Darunter auch Erforschung bzw. Erprobung von Möglichkeiten, mittels elektrolytdynamischer Fragmentierung die Trennung von Zementstein von der Körnung zu ermöglichen.
- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, die Anlagentechnik bei der Herstellung von Sekundärrohstoffen bezogen auf variable Einsatzstoffgemische hin zu flexibilisieren und dabei gezielt die Eigenschaften daraus hergestellter Sekundärrohstoffe zu gestalten. Entwicklungsziel sollte dabei weniger die Herstellung von Stoffen sein, die in ihrer chemischen Zusammensetzung exakt den primären Rohstoffen, die substituiert werden sollen entsprechen, sondern die gleiche Leistungsfähigkeit des hergestellten Bauprodukts zu erzielen. Erforschung von Rezepturen, die zur Herstellung alternativer Stoffe führen, deren Eigenschaften den Funktionsanforderungen in geeigneten Einsatzgebieten erfüllen.
- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, ressourceneffiziente Baustoffe zu produzieren, die sowohl aus primären, als auch aus sekundären Rohstoffen hergestellt werden und aus einer umfassenden Systemperspektive heraus bewertet, ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber Referenzszenarien (Status Quo, Business as Usual, weitere) vermuten lassen.
- Weiterentwicklung bestehender Ansätze im Bereich ressourceneffizienter, treibhausgasarmer und zirkulärer Bindemitteltechnologien.
- Erforschung und Weiterentwicklung ökologisch und ökonomisch optimierter Anlagen und Verfahren der Herstellung sekundärer Baumaterialien aus industriellen Gesteinskörnungen, zu denen maßgeblich die schlackenbasierten Baustoffe und Düngemittel aus der Stahlindustrie zählen. In verschiedenen Anwendungsfeldern werden Nebenprodukte der Stahlproduktion eingesetzt, z. B. zur Herstellung von Zement, Beton, dem Bau von Elementen der Verkehrsinfrastruktur, der Herstellung von Düngemittel etc. Dabei sind auch aus einer Systemperspektive heraus bewertet, ökologisch und ökonomisch optimale Einsatzwege zu identifizieren und zu analysieren.

5. Einsatz und Hindernisse für (Ersatz-)Baustoffe, die Sekundärmaterial enthalten

Dr. Thorsten Haase, Geocycle (Deutschland) GmbH, berichtete in einem Impulsvortrag von der Praxis und von Entwicklungspotenzialen der Herstellung und des Einsatzes mineralischer Sekundärbaustoffe, wobei die große Bedeutung des selektiven Rückbaus sowie der Verfügbarkeit sortenreinen Beton- bzw. Mauerwerkgranulats betont, zulässige Anteile an Sekundärmaterial und Einsatzmöglichkeiten sowie bestehende Herausforderungen beschrieben wurden. Erläutert wurden u. a. die Hauptbestandteile von Zementklinker sowie die chemischen Zusammensetzungen bzw. Eigenschaften von Beton- und Ziegelbruch, woraus sich Einsatzgebiete für die Wiederverwendung ableiten lassen. Zementwerke werden in der Nähe von Kalksteinbrüchen – d. h. in der Nähe der Rohstoffvorkommen – aufgebaut und betrieben. Betonbruch kann eher als Sandersatz, Ziegelbruch eher als Tonersatz eingesetzt werden. Der selektive Rückbau und das Vorliegen möglichst sortenreiner Fraktionen ist eine Schlüsselbedingung für eine möglichst hohe stoffliche Verwertungsquote. Zulässige Anteile rezyklierter



Gesteinskörnungen (> 2 mm) bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung (Vol.-%) können der DIN EN 206-1 bzw. der DIN 1045-2 entnommen werden. Ferner bestehen u. a. immissionsschutzrechtliche Anforderungen an die Herstellung von Sekundärbaustoffen z. B. in Zementdrehrohröfen. Wesentliche Bedeutung für die Marktdurchdringung sekundärer Baustoffe kommt dem öffentlichen Auftragsvergabewesen zu. Eine professionelle Markterkundung kann bereits bei der Vorbereitung öffentlicher Vergabeverfahren helfen, Ausschreibungsbedingungen so zu gestalten, dass hinterher ökologisch, ökonomisch und technisch sinnvolle Beschaffungsergebnisse erzielt werden.

Anschließend gab Daniel Eberhard, Eberhard Bau AG, Einblicke in den bereits weit gediehenen Einsatz von Recyclingbeton durch das Unternehmen in der Schweiz und berichtete von eigenen Entwicklungen im Bereich der Anlagentechnik zum zunehmenden Recycling von Misch-, Aushub- und Ausbruchmaterial sowie einem selbst entwickelten Sekundärbetonprodukt. In der Schweiz besteht eine Vorschrift, nach der mindestens 25% Recyclingbeton einzusetzen sind. Die Eberhard Bau AG baut mit 100% Recyclingbeton. Das „sia Merkblatt 2030“ ist die Grundlage für die Produktion von hochwertigem Recyclingbeton.⁴⁹ Die Website urbanmining.ch bietet eine allgemeinverständliche Aufbereitung dessen, was Kreislaufwirtschaft im Bau bedeutet. Zunächst sind Zahlen zum Bauabfall zu betrachten: In der Schweiz stammen über 80% der Abfälle aus dem Bauwesen, rund 20% der anfallenden Abfallmenge sind als Bauabfälle („Rückbaumaterial“) klassifiziert.⁵⁰ Diese will das Unternehmen im ersten Schritt als Ausgangsmaterial für Sekundärbaustoffe erschließen. Langfristig sollen aber auch die rund 65% nutzbar gemacht werden, die der Kategorie Aushub- und Ausbruchmaterial zugeordnet sind. Innovative Entwicklungen im Bereich der Aufbereitung treibt die Eberhard Bau AG aktuell selbst mit dem Bau einer neuen Anlage voran. Das Projekt trägt die Bezeichnung „EbiMIK – Materialien im Kreislauf: Innovative Robotertechnik“. Damit soll ein neues Zeitalter der Baustoffaufbereitung eingeläutet werden. Ab 2022 soll so eine vollständige Kreislaufschließung – auch für Mischabbruch – ermöglicht werden. Ein Schlüsselaspekt liegt im Einsatz selbstlernender Roboter bei der Sortierung von Mischabbruch. Eine weitere vom Unternehmen entwickelte Innovation ist das innovative Betonprodukt Zirkulit. Es ist gekennzeichnet durch eine maximale Zirkularität, einen minimalen Ausstoß von CO₂, bei gleichwertigen statischen Eigenschaften wie aus primären Rohstoffen hergestellter Beton und das beim Hausbau in allen gängigen Einsatzbereichen anwendbar ist. Die Ausbreitung der internationalen Initiative Madaster kann dazu beitragen, die Versorgung mit Sekundärrohstoffen übersichtlich, ökologisch und ökonomisch vorteilhaft zu gestalten.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung, Erprobung und detaillierte Analyse sich ergebender funktionaler Stoffeigenschaften, Kosten und Umweltwirkungen bei Anteilen rezyklierter Beton- und Mauerwerksgranulate in Recyclingbeton von über 30%, in Stufen bis hin zu einem noch zu bestimmenden Maximalanteil.
- Identifikation von Ansatzpunkten und Erforschung von Möglichkeiten, bestehende Normen für Asphalt, Zement und Beton umzugestalten bzw. anzupassen, um eine stärkere Kreislaufführung von Baustoffen nachhaltig, umweltschonend und ressourceneffizient zu ermöglichen. Darunter u. a. Erforschung der Möglichkeiten, die stoffliche, hochwertige Wiederverwendung von Brechsand zu ermöglichen.

⁴⁹ Vgl. schweizerischer ingenieur- und architektenverein (2010)

⁵⁰ Vgl. Bundesamt für Umwelt BAFU (2021)



- Erforschung von Möglichkeiten, hochwertige Rezyklate mit überschaubarem Aufwand vom Abfall- ins Produktregime zu überführen.
- Erforschung von Möglichkeiten, öffentliche Vergabestellen in die Lage zu versetzen
 - die Markterkundung im Vorfeld von Bauwerksausschreibungen so durchzuführen, dass bereits im Vorfeld der Formulierung der Leistungsbeschreibung, Eignungskriterien und Durchführungsbestimmungen ausreichende Kenntnisse dazu vorliegen, um den Beschaffungsgegenstand und den Bedarf hinsichtlich technisch, ökonomisch und ökologisch vorteilhafter Schlüsselfragen zu konkretisieren,
 - Anforderungen an ressourcenschonende, zirkuläre Aspekte des Beschaffungsgegenstands vergaberechtssicher formulieren, entsprechende Bieterfragen beantworten und zu akzeptierende Nachweise mit vertretbarem Aufwand technisch korrekt und rechtssicher bewerten zu können.
- Erforschung von Möglichkeiten, die Sekundärrohstoffverfügbarkeit im Baubereich auszubauen. Dabei Berücksichtigung der gesamten vorgelagerten Wertschöpfungskette, vom Vorliegen geeigneter Datenbestände zur Abschätzung der Qualität, Quantität und zeitlichen Verfügbarkeit der Rohstoffe – auch unter Berücksichtigung bestehender Datensätze u. a. aus BIM, GIS und Madaster – über moderne Abbruch-, Aufbereitungs-, Sortier- und Logistikalösungen (inkl. deren Wechselwirkungen) bis hin zu Verfahren der Rezyklatherstellung und von alternativen Rezyklateinsatzbereichen. Darauf aufsetzend Entwicklung innovativer, KI-basierter Lösungen, die die entlang der ganzen Kette gesammelten Daten zur Identifikation systemischer Optimierungspotenziale auszunutzen in der Lage sind.
- Entwicklung eines praktikablen Bewertungsinstrumentariums zur Bewertung verschiedener Handlungs- bzw. Verfahrensalternativen innerhalb anthropogener Baustoffkreisläufe zur richtungssicheren Herstellung von auf die nachhaltige Entwicklung und – als Teil davon – die Ressourcenschonung hin ausgerichtete Rangfolgen unterschiedlicher Alternativen. Identifikation von Zielgruppen für die Anwendung des Instrumentariums, um die zielgruppengerechte praktische Nutzbarkeit sicherzustellen. Identifikation des Datenbedarfs und Versuch der Orientierung des Bewertungsinstrumentariums an realistisch bei gegebenem Aufwand gewinn- und verarbeitbaren Daten. Untersuchung, ob die gängigen Methoden der Ökobilanzierung diesen Anspruch – zumindest für den Bereich der Ressourcenschonung – nicht bereits erfüllen. Falls doch: Erforschung der Frage, wie Daten zur Durchführung von Ökobilanzen für diesen Bereich aktuell, hochwertig und zugänglich zur Verfügung gestellt werden können. Anforderungen an derartige Bewertungsmethoden umfassen schließlich u. a. einen umweltwirkungs- und ressourcenübergreifenden, lebenszyklusweiten Charakter und berücksichtigen potenzielle Substitutionseffekte.

6. Materialspezifische Anforderungen an Baustoffrezyklate

In einem Einführungsvortrag berichtete Dr. Katrin Rübner, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), über den Anfall und den Verbleib mineralischer Baustoffrezyklate in Deutschland, materialspezifische und umwelttechnische Anforderungen an Recyclingbaustoffe am Beispiel der rezyklierten Gesteinskörnungen für Beton, die Notwendigkeit zur ganzheitlichen Bewertung des Einsatzpotenzials von Recyclingbaustoffen sowie über bestehende Ansatzpunkte für weitere Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen. Die 2021 von der Initiative Kreislaufwirtschaft Bau vorgelegten Zahlen legen nahe, dass in 2018 rund die Hälfte der in diesem Jahr produzierten rund 73 Mio. t Recyclingbaustoffe im Straßenbau, rund 22% im Erdbau, rund 19% bei der Asphaltherstellung und rund 5% in die



sonstige Verwertung, aber nur rund 3% in die Betonherstellung eingingen.⁵¹ Herkunft und Zusammensetzung der Ströme wurden kurz erläutert. Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 206 und DIN 1045-2 sind der DIN EN 12620 Gesteinskörnungen für Beton, der DIN 4226-101 & 102 Rezyklierte Gesteinskörnungen, der DAfStb Richtlinie Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen und der DAfStb Alkali-Richtlinie zu entnehmen. Die Anforderungen an die stoffliche und chemische Zusammensetzung, betonschädigendehaltsstoffe, geometrische, mechanische und physikalische Eigenschaften sowie u. a. Anforderungen an die Dauerhaftigkeit wurden kurz erläutert. Ferner bestehen auch wesentliche Anforderungen an die Umweltverträglichkeit der Produkte entsprechend der Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Auswirkungen auf Boden und Grundwasser (ABuG) der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt). Die Normen sind teilweise EU-weit harmonisiert. Nationale Anwendungsnormen, Richtlinien und Vorschriften haben einen deutschlandweiten Charakter. En Detail als Fallbeispiel vorgestellt wurden bestehende Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton. In den bereits abgeschlossenen DAfStb/ BMBF-geförderten Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ wurden im Teilprojekt B die Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau untersucht.⁵² Im Projekt wurde ein Schema zur Bewertung des Einsatzpotentials sekundärer Gesteinskörnungen in Beton entwickelt. Dazu gehören die vier Stufen: Grundsätzliche Eignung (Erfüllung rechtlicher und technischer Vorgaben einschließlich Umweltverträglichkeit), Beitrag für das nachhaltige Bauen, alternative Verwertungswege, Sensitivitätsanalysen. Es folgte eine detaillierte Darstellung dessen, was hiernach bei den einzelnen darin niedergelegten Stufen wie zu prüfen ist. Es wurde betont, dass bei der Bewertung des Einsatzes rezyklierter Baustoffe auch mögliche Substitutionseffekte zu berücksichtigen sind und die Bewertung möglichst ganzheitlich erfolgen sollte.

Aus dem Vortrag und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende *mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung* ableiten:

- Erforschung wie die u. a. im Kreislaufwirtschaftsgesetz avisierte verstärkte Wiederverwertung von Baustoffen aufgrund konkreter Ausgestaltungsalternativen samt umfassender Bewertung genau ausgestaltet werden könnte, auch vor dem Hintergrund, dass geeignete Recyclinggesteinskörnungen aktuell vollständig bei der Produktion von Beton eingesetzt werden. In den Analysen zu berücksichtigende Punkte umfassen dabei u. a. die Identifikation und Entwicklung von Optimierungsansätzen für die Aufbereitung sowie die Fort- bzw. Neuentwicklung von Recyclingtechnologien – worunter auch das rohstoffliche Recycling zu fassen ist –, die Nutzung zwischenzeitlich erlangter wissenschaftlicher Erkenntnisse – wie z. B. des Vorhabens „R-Beton“ des BMBF aus der Fördermaßnahme HighTechMatBau – zur Überarbeitung bestehender Normen und Richtlinien, wobei für Bewertungen je eine möglichst ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung der Einsatzpotenziale von Recyclingbaustoffen bzw. veränderter Kreislaufführungsprozesse im Bauwesen und darüber hinaus zu erfolgen hat.
- Spezielle Erforschung der Frage, ob bzw. unter welchen technischen Rahmenbedingungen der Wiedereinsatz von Recyclingbeton im Hochbau ökologische Vorteile bietet; unter Berücksichtigung der damit einher gehenden ökonomischen betriebswirtschaftlichen sowie volkswirtschaftlichen Aspekte und der rechtlichen Machbarkeit verschiedener Optionen.
- Identifikation konkreter Ausgestaltungswege und spezielle Erforschung der Frage, ob bzw. unter welchen technischen Rahmenbedingungen die Steigerung des Anteils der hochwertigen stofflichen Verwertung von Teilen der Abfallfraktion Boden und Steine beim Neubau ökologische

⁵¹ Vgl. Kreislaufwirtschaft Bau (2021), S. 11

⁵² Vgl. hierzu Hauer et al. (2007) und Hauer et al. (2011)



Vorteile bietet; unter Berücksichtigung der damit einher gehenden ökonomischen betriebswirtschaftlichen sowie volkswirtschaftlichen Aspekte und der rechtlichen Machbarkeit verschiedener Optionen. Dabei insbesondere auch Berücksichtigung der Frage, inwieweit es notwendig und möglich erscheint, Teile des Stoffstroms unter angemessenem Aufwand vom Abfall- in das Produktregime zu überführen bzw. Entwicklung von Fortentwicklungsmöglichkeiten institutioneller Rahmenbedingungen, die politisch gewünschten Marktentwicklungen entsprechen.

- Erforschung von Möglichkeiten des öffentlich-privaten Marketings für die Kreislaufwirtschaft im Bauwesen, die u. a. die Bewusstseins-schaffung dafür umfasst, dass der praktische Einsatz entsprechender Anlagentechnik im lokalen Umfeld zur nachhaltigen Entwicklung und zum gesellschaftlichen Fortschritt beitragen kann und insbesondere, wie erfolgreich dargestellt werden kann, dass die Bedingungen dafür tatsächlich bestehen.

Literatur und Quellenverzeichnis zu Abschnitt F

Alwast, Holger (2020): Umweltverträgliche Alternativen zum Abbau von Naturgips, Gutachten der Alwast Consulting i. A. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. – BUND (Hrsg.), Berlin, URL: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/naturschutz/naturschutz_gips-gutachten.pdf

Buchner, H. / Laner, D. / Rechberger, H. / Fellner, J. (2016): Dynamische Modellierung nationaler Aluminiumflüsse zur Abschätzung zukünftiger Sekundärrohstoffpotenziale", ÖIAZ - Österreichische Ingenieur- und Architektenzeitschrift, 161 (2016), 1-12; S. 83 – 87, URL: http://publik.tuwien.ac.at/files/publik_258953.pdf

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2021): Bericht zur Lage und Perspektive der Bauwirtschaft 2021, BBSR (Hrsg.), Bonn, URL: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2021/ak-01-2021.html>

Bundesamt für Umwelt BAFU (2021): Abfall und Rohstoffe: Das Wichtigste in Kürze, Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), Bern, URL: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/inku-erze.html>

Gantner, Johannes/ von Both, Petra/ Rexroth, Karsten/ Ebertshäuser, Sebastian/ Horn, Rafael/ Jorgji, Olivia/ Schmid, Christian/ Fischer, Matthias (2018): Ökobilanz - Integration in den Entwurfsprozess - BIM-basierte entwurfsbegleitende Ökobilanz in frühen Phasen einer Integralen Gebäudeplanung, in: Bauphysik 40 (2018), Heft 5, S. 286-297, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, URL: <https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/ibp-neu/de/dokumente/sonderdrucke/bauphysik-gertis/7-oekobilanz.pdf>

Hauer, Bruno/ Klein, Henning/ Müller, Christoph/ Ruppert, Johannes/ Schäfer, Stefan/ Spanka, Gerhard/ Wassing, Walter/ Zunzer, Ute/ Ramolla, Stefanie/ Rübner, Katrin, Meng, Birgit (2007): Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau - Teilprojekt B1. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.), Schlussberichte zur ersten Phase des DAFStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Heft 572, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2007, S. 131-221

Hauer, Bruno/ Pierkes, Roland/ Schäfer, Stefan/ Seidel, Maik/ Herbst, Tristan/ Rübner, Katrin, Meng, Birgit (2011): Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau - Teilprojekt B. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.), Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Heft 584, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2011, S. 7-151

Hedemann, Jan*/ Meinshausen, Ingo*/ Ortlepp, Regine°/ Schiller, Georg°/ Liebich, Axel#/ Möller, Andreas (2017):** Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland - Entwicklung eines

dynamischen Stoffstrommodells und Aufbau einer Datenbank zur Prognose des Sekundärrohstoffaufkommens (KartAL II), Studie von ifu Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH*/ IÖR – Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V°, ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH#, Leuphana Universität Lüneburg** i. A. Umweltbundesamt (Hrsg.), Reihe: Texte 58/2017, Dessau-Roßlau, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-in-deutschland-0>

Heller, N., Flamme, S. (2020): Waste management of deconstructed External Thermal Insulation Composite Systems with expanded polystyrene in the future, Waste Management & Research 2020, Vol. 38(4) 400-407, URL: <https://doi.org/10.1177%2F0734242X20904413>

Kleemann, F./ Lederer, J./ Fellner, J./ Rechberger, H. (2016): Wien als Rohstofflager: quantitative, qualitative und räumliche Analyse“, ÖIAZ, Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, Vol. 161, 1–12, p. 61-64, URL: http://publik.tuwien.ac.at/files/publik_258954.pdf

Kreislaufwirtschaft Bau (2021): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2018 - Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018, Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (bbs) (Hrsg.), Berlin, URL: <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/>

Lambertz, Michaela*/ Theißen, Sebastian*/Höper, Jannick*/ Wimmer, Reinhard#/ Meins-Becker°, Anica/ Zibell, Michael° (2019): Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen, Endbericht erstellt von Technische Hochschule Köln*/ TMM Group, Böblingen#/ Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal° im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen des Forschungsprogramm "Zukunft Bau" des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat, URL: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2019/oekobilanz-bim/01-start.html>

Liebezeit, S./ Palzer, U./ Müller, A./ Leydolph, B. (2016): Trennen von Materialverbänden durch Mikrowelleninduziertes Grenzflächenversagen. Veröffentlichung Fraunhofer Verlag, Ulrich Teipel und Armin Reller (Hrsg.) Fraunhofer ICT und TH Nürnberg, ISBN:978-3-8396-0980-4, 4. Symposium „Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovation“, Evangelische Akademie Tutzing, 17.-18.02.2016

Müller, Anette (2018): Baustoffrecycling - Entstehung - Aufbereitung - Verwertung, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, URL: <https://www.springer.com/de/book/9783658229870>

Müller, Felix/ Lehmann, Christian/ Kosmol, Jan/ Keßler, Hermann/ Bolland, Til (2017): Urban Mining - Ressourcenschonung im Anthropozän, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/urban-mining-ressourcenschonung-im-anthropozaen>

Schnell, A./ Rübner, K./ Ihlenfeldt, T./ Vöge, M./ Ludwig, H.-M. (2018): Leichtbetone mit Recycling-Granulaten aus Mauerwerkbruch-Ton-Mischungen, Tagungsband der 20. Internationalen Baustofftagung ibausil, F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar, 2018, S. 2-381 - 2-388

Schiller, Georg* Ortlepp, Regine*/ Krauß, Norbert*/ Steger, Sören°/ Schütz, Helmut°/ Acosta Fernández, José°/ Reichenbach, Jan#/ Wagner, Jörg#/ Baumann, Janett# (2015): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft, Studie von Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.*/ Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH°/ INTECUS GmbH – Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management# i. A. Umweltbundesamt (Hrsg.), Reihe: Texte 83/2015, Dessau-Roßlau, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-in-deutschland>



schweizerischer ingenieur- und architektenverein (2010): Merkblatt 2030 – Recyclingbeton, sia - schweizerischer ingenieur- und architektenverein (Hrsg.), Zürich, URL: <http://shop.sia.ch/d113adc6-a8a9-4fae-af09-588d03c66095/D/DownloadAnhang>

Walica, W./ Walter, G./ Flamme, S. (2020): Bauatlas NRW: Analyse regionaler Potenziale für die Kreislaufführung von mineralischen Bauabfällen, in: Müll und Abfall, 2/2020, S. 75-83, URL: <https://www.muellundabfall.de/ce/muell-und-abfall-ausgabe-02-2020/ausgabe.html>



G. Mögliche Anknüpfungspunkte zur Fortentwicklung der Forschungs- und Innovationsförderung im Bereich übergreifender Fragestellungen der Innovationspolitik

1. Kurze Einführung ins Thema

In der Einführung verwies die Ko-Vorsitzende, Naemi Denz, auf bestehende Kernherausforderungen im Bereich übergreifender Fragen der Innovationsförderung. Dabei wurde die Bedeutung des erfolgreichen Marktzugangs für innovative Geschäftsmodelle und Ressourcenschutztechnologien hervorgehoben. Wesentliche Bedingungen dafür bestehen im Bereich der Finanzierung sowie der rechtlichen Rahmensetzung. Auch Normung und Standardisierung können unterstützend wirken, indem sie den Rechtsrahmen ergänzen und vereinheitlichende Hilfestellungen und Festlegungen für Technologie-Anwendende, Beschaffende, Herstellende oder weitere Akteure bieten.

2. Finanzierung innovativer Ressourcenschutztechnologien

In einem Impulsvortrag berichtete Ralf Garber, Klima Kontor – Planung und Beratung GmbH, über Herausforderungen junger Unternehmen bei der Vermarktung innovativer Geschäftsmodelle und Ressourcenschutztechnologien sowie bestehende und mögliche Unterstützungsleistungen, die eine erfolgreiche Startup-Finanzierung für nachhaltige KMU zum Ziel haben. Die Wirtschaftlichkeit ist die Essenz für das erfolgreiche Zusammenspiel von Ökologie und Ökonomie. Dies wird besonders deutlich, wenn man sich vor Augen führt, dass rund 90% der in Deutschland gegründeten Startups innerhalb der ersten drei Jahre Insolvenz anmelden. Um dem zu begegnen, erbringt das Unternehmen Unterstützungsdienstleistungen für Startups, die diesen zu einer erfolgreichen Vermarktung nachhaltiger Produkte und Dienstleistungen verhelfen sollen. Ein professionelles Vorgehen in den Phasen der Unternehmensgründung ist in der Praxis entscheidend. Die Wahl der privatrechtlichen Organisationsform, die Art der Kontoführung, die Inanspruchnahme bestehender Expertise über Beratungs- und Förderangebote sowie erfahrene Dienstleister und nicht zuletzt die Erstellung realistischer Business Pläne sind wesentliche Ansatzpunkte zur Steigerung der Erfolgsquote von Unternehmen, die innovative Geschäftsmodelle und innovative Ressourcenschutztechnologien anbieten wollen. Die transparente, solide und möglichst von unabhängiger Expertise bestätigte Darstellung einer professionellen Herangehensweise einer Unternehmensgründung bzw. des Aufbaus eines neuen Geschäftsfelds, ist eine wesentliche Bedingung für die erfolgreiche Akquise finanzieller Mittel in der Anfangs- und Scale-Up-Phase. Eigens zu diesem Zweck entwickelt das Unternehmen aktuell eine „Quick Check Plattform“, die den effizienten und wirksamen Austausch der Akteure in diesem Bereich ermöglichen soll und somit zur Zielsetzung beitragen soll, den Finanzbedarf nachhaltiger junger Unternehmen zu decken.

Im Anschluss erläuterte Dr. Ingo Dahm, capacura GmbH, in einem Impulsvortrag aus der Perspektive eines Risikokapitalgebers über die Finanzierung nachhaltiger Startups in Deutschland, bestehende Anforderungen an die Profitabilität der geförderten Geschäftsmodelle und verwies auf mögliche Ansatzpunkte zur Verbesserung von deren Finanzierungssituation. Schwerpunkte im Bereich der Angebote zur Finanzierung nachhaltiger Startups durch das Unternehmen liegen in den Bereichen Gesundheit, Bildung und Umwelt. Das Unternehmen bietet Investoren die Möglichkeit neu geschaffene Geschäftsanteile an Startups zu erwerben, die dem Wachstum des jeweiligen Unternehmens zugute kommen. Zu gegebener Zeit erfolgt dann zur Realisierung der Rendite der Verkauf der Anteile, eventuell kann zwischenzeitlich eine Dividende ausgezahlt werden. Eine grundlegende Herausforderung besteht darin, dass die Anforderungen an die Profitabilität und Rentabilität innovativer nachhaltiger Geschäftsmodelle im Grunde die selben sind, wie bei klassischen Kapitalanlagen. Eine erwartete Wertsteigerung ist Voraussetzung für Investitionen. Dies kann insbesondere dann eine Herausforderung darstellen, wenn Unternehmen sich entscheiden, externe ökologische oder soziale Kosten auf Kosten der eigenen



Rendite selbst zu tragen, oder diese auf ihre Kundinnen und Kunden überzuwälzen. Im Einzelfall betrachtet kann dabei auch eine verringerte Rendite noch mit einer Attraktivität für Investorinnen und Investoren einher gehen. Wenn man jedoch in Betracht zieht, dass der weit überwiegende Teil der Startups in Deutschland Insolvenz anmelden muss, womit in der Regel ein Totalverlust des investierten Geldes verbunden ist, wird deutlich, dass ein aus derartigen Unternehmen zusammengesetztes Anlageportfolio insgesamt kein ökonomisch attraktives Anlageziel sein kann. Eine weitere Herausforderung besteht in der Tatsache, dass das im internationalen Vergleich aus Deutschland zur Verfügung stehende Investitionsvolumen für junge Unternehmen sich z. T. eher bescheiden ausnimmt, mit der Folge, dass erfolgreiche Unternehmen häufig aufgekauft werden und wesentliche Teile der künftigen Wertschöpfung der Volkswirtschaft nicht mehr zugute kommen können. Verbesserungen der Finanzierungssituation könnten entstehen durch die Schaffung der Möglichkeit für Rentenfonds in Startups zu investieren, die Internalisierung externer Kosten für alle Marktteilnehmer, die Vereinfachung der Regulatorik im Bereich des Erwerbs von Unternehmensanteilen sowie eventuell neu zu schaffende Förderatbestände für Startups und Kleininvestoren.

Laura Mervelskemper, GLS Gemeinschaftsbank eG, gab in einem Impulsvortrag Einblicke in Finanzierungskriterien der Bank für die Finanzierung nachhaltiger Investitionen, deren Anwendung in der Praxis, verwies auf verschiedene Handreichungen von Akteuren der Finanzaufsicht zum Thema finanzieller Nachhaltigkeitsrisiken und auf Herausforderungen der Bewertung und Priorisierung verschiedener Nachhaltigkeitsaspekte. Die GLS Bank verfügt über schriftlich niedergelegte Anlage- und Finanzierungsgrundsätze, in denen eine Negativliste mit Ausschlusskriterien für Investitionsaktivitäten im Bereich kontroverser Geschäftsfelder und -praktiken sowie Positivkriterien für Investitionsaktivitäten in zukunftsweisenden sozial-ökologischen Geschäftsfeldern sowie der nachhaltigen Unternehmensführung ausformuliert sind.⁵³ In den letzten Jahrzehnten wurde weltweit zunehmend ökologisches und soziales Kapital in finanzielles Kapital umgewandelt. Dies führte zur Entstehung größerer krisenhafter Herausforderungen für die nachhaltige Entwicklung, die sich z. B. im anthropogenen Klimawandel oder dem Rückgang natürlicher Flächen mit intakten Ökosystemen, der damit verbundenen Ökosystemdienstleistungen sowie der Biodiversität zeigen. Daraus resultieren finanzielle Risiken, die zunehmend in Investitions- und Kreditvergabeentscheidungen abgebildet werden.⁵⁴ Den Risiken steht die positive Vision einer Welt gegenüber, in der die ökologischen und sozialen Systeme durch nachhaltige Investitionen stabilisiert werden. Die Frage, welche Informationen konkret benötigt werden, um für Investitionen geeignete nachhaltige Unternehmen und Geschäftsmodelle identifizieren und bewerten zu können, ist von höchster Bedeutung und wenn man die darauf aufbauenden Entscheidungserfordernisse der Finanzbranche betrachtet, nicht trivial. Wenn verschiedene Informationen beim Vergleich unterschiedlicher Unternehmen herangezogen werden stellt sich die Frage der Gewichtung und Priorisierung einzelner Aspekte und Variablen, um letztlich zu einer alle gewählten Kriterien umfassenden Bewertung und Rangfolge zu kommen. Die Aktivitäten zur europäischen Taxonomie nachhaltiger Investitionen sind von zentraler Bedeutung, wenn sie auch z. T. Verbesserungspotenzial aufweisen und weiterhin Raum für wesentliche Abwägungsentscheidungen lassen.⁵⁵

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende *mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung* ableiten:

⁵³ Vgl. GLS Bank (2017)

⁵⁴ Vgl. hierzu z. B. BaFin (2020), EBA (2020), Bolton et al. (2020)

⁵⁵ Vgl. hierzu z. B. EU Technical Expert Group on Sustainable Finance (2020)



- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, der ökologischen und ökonomischen Bewertung innovativer nachhaltiger Geschäftsmodelle als Entscheidungsgrundlage für privatwirtschaftliche Finanzierungsformen. Dabei Bestandsaufnahme der Verfügbarkeit bestehender Datensätze und Analyse der Möglichkeit von deren Zusammenführung, insbesondere mit dem Ziel, KI-basierte Auswertungen bzw. Bewertungen hinsichtlich ökonomischer und ökologischer Zielsetzungen möglichst ganzheitlich zu ermöglichen.
- Bestandsaufnahme der in der aktuellen Förderlandschaft genutzten Förderkriterien im Bereich der Nachhaltigkeit und Erforschung der Frage, inwieweit eine Fokussierung auf einzelne Nachhaltigkeitsaspekte mit dem Anspruch einer insgesamt nachhaltigen Entwicklung im Einklang steht. Erforschung von Möglichkeiten, praktikable Förderkriterienbündel für neue Geschäftsmodelle zu entwickeln, die in der Lage sind, Nachhaltigkeitsaspekte möglichst umfassend und richtungssicher abzubilden. Dabei Entwicklungen möglicher Mechanismen, Methoden und Anwendungen, eventuell KI-basiert, um kohärente, dem gesellschaftlich-politischen Zielsystem entsprechende Abwägungsentscheidungen zu unterstützen.
- Erforschung und Analyse der Schaffung der Möglichkeit, dass Rentenfonds in Startup-Unternehmen investieren dürfen. Dabei Erforschung und Entwicklung geeigneter, praktikabler Bewertungskriterien.
- Erforschung und Analyse konkreter Möglichkeiten, bestehende rechtliche Hürden für Kleinanleger und Kleininvestoren im Bereich direkter Unternehmensbeteiligungen abzubauen. Darunter insbesondere Untersuchung der Möglichkeit, bisherige notarielle Beglaubigungspflichten durch die Möglichkeit der Inanspruchnahme innovativer Lösungen, wie z. B. blockchainbasierter Security Tokens o. Ä., zu ergänzen.
- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, das Gründungsprozedere für nachhaltige Startups administrativ zu verschlanken und es so zu ermöglichen, die Zeitspanne vom Beginn der unternehmerischen Gründungsaktivität bis hin zur tatsächlichen Marktpräsenz zu verkürzen. Dabei insbesondere Analyse und Bewertung der europäischen Ideen und Initiativen zur digitalen Unternehmensgründung.

3. Rechtsrahmen für innovative Ressourcenschutztechnologien – Lücken und Hemmnisse

In einem Impulsvortrag erläuterte Dr. Sarah Brückner, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, aus Sicht der Investitionsgüterindustrie Risiken, die mit einer eventuellen Ausweitung des Anwendungsbereichs der bisher sehr zweckgemäß umgesetzten und gut funktionierenden EU-Ökodesignrichtlinie einher gehen könnten, die Notwendigkeit der Abwägung stoffpolitischer gegenüber Kreislaufführungszielen sowie einer ausreichenden normenbasierten Informationslage von Herstellern als Grundlage für die Erfüllung rechtlicher Informationsanforderungen. Die im Bereich der energieverbrauchsrelevanten Produkte geschaffene Systematik der Entstehung von Durchführungsverordnungen für einzelne Produktgruppen, d. h. die Erstellung von Vorstudien und Wirkungsabschätzungen inklusive der bestehenden Beteiligungsmechanismen als Grundlage für die produktspezifischen Regulierungsinhalte der EU-Ökodesignrichtlinie, sollten durch die aktuellen Ausweitungsbestrebungen nicht in Frage gestellt werden; etwa durch mögliche Risiken für die mit der Regulierung bisher erfolgreich geschaffenen Rechtssicherheit. Hier wäre eventuell eher eine separate Regulierung der nicht-energieverbrauchsrelevanten Produkte ins Auge zu fassen. Ferner sollten gesetzliche Vorhaben zur stoffbezogenen Regulierung – entweder für einzelne Stoffe, oder aus dem Bereich der Nachhaltigkeitsstrategie für Chemikalien (Chemikaliengesetzgebung etc.) – grundsätzlich im Rahmen einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbewertung u. a. auf ihre Auswirkungen hinsichtlich der ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft hin untersucht werden. Eventuelle Zielkonflikte sollten analysiert und die unterschiedlichen



Ziele sollten bewusst gegeneinander abgewogen werden. Eine weitere Herausforderung des Rechtsrahmens der Stoffpolitik betrifft die Anforderungen der REACH-Verordnung. Die Maschinenhersteller müssen beim Inverkehrbringen ihrer komplexen Produkte, die aus unzähligen Einzelkomponenten bestehen, umfassende Informationen über die stoffliche Zusammensetzung der einzelnen Komponenten besitzen, insbesondere darüber, ob diese gewisse gefährliche Stoffe („Substance of Very High Concern“) enthalten. Dies ist allerdings schwierig praktisch umzusetzen, da viele Produkte aus Materialien bestehen, deren Zusammensetzung variabel ist. Normbasierte Vorschriften lassen hier bewusst Spielräume. Insbesondere bei alten Maschinen oder Ersatzteilen aus dem Lager können derartige Informationen auch fehlen, was zu signifikanten Verkürzungen der Lebensdauer grundsätzlich langlebiger Investitionsgüter führen kann. Schließlich könnten die gesetzlichen Rahmenbedingungen die Steigerung des Produktionsvolumens und der Qualität von Kunststoffzyklen sowie deren Einsatz eventuell fördern bzw. auch weniger erschweren.

Im Anschluss stellte Prof. Dr. Wolfgang Klett, Partner der Köhler & Klett Partnerschaft von Rechtsanwälten mbB, die auf die Inbetriebnahme von Anlagen der Recyclingwirtschaft bezogenen Regelungen des immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsrechts vor, berichtete aus der Genehmigungspraxis und beschrieb Möglichkeiten, die Verfahren zu beschleunigen. In §35 Abs. 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) ist geregelt, dass die Genehmigung von Anlagen der Recyclingwirtschaft dem Immissionsschutzrecht unterliegt. Eine Aufzählung der betroffenen Anlagen der Recyclingwirtschaft findet man in Nr. 8 „Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen“ in Anhang 1 zur 4. Bundesimmissionsschutzverordnung (4. BImSchV). Diese Anlagen unterliegen der immissionsschutzrechtlichen Genehmigungserfordernis. Regelungen zur Dauer des Genehmigungsprozesses und diesbezüglicher Fristen sind für Neuanlagen in § 10 BImSchG, Abs. 6a niedergelegt. Erfahrungen aus der Praxis zeigen jedoch, dass die Prozesse der Anlagengenehmigung von der Beantragung bis zur Möglichkeit der Inbetriebnahme deutlich länger dauern können. Da bestehende Ausnahmetatbestände entweder nicht anwendbar erscheinen oder das Problem nicht hinreichend lösen, stellt sich die Frage nach Möglichkeiten, immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren für Anlagen der Recyclingwirtschaft zu vereinfachen bzw. zu beschleunigen, ohne dabei die bestehenden Schutzgüter des Immissionsschutzrechts – Umwelt und Gesundheit – dadurch stärker zu belasten. Eventuell könnten über die Neuformulierung und Integration von Ausnahmetatbeständen ins Immissionsschutzrecht nachweisliche Behandlungsschritte der Kreislaufwirtschaft zunächst genehmigungsfrei gestaltet werden und zusätzlich durch eine Teilprivatisierung der gesetzlich geregelten Begutachtungsprozesse, eine Verfahrensbeschleunigung für die Anlagengenehmigung erreicht werden. Die Anlagengenehmigung könnte dann aufgrund von Daten und Gutachten erfolgen, die bis ein Jahr nach der Inbetriebnahme gesammelt und erstellt wurden. Für den Fall eventuell fehlender Unterlagen oder materiell nicht nachgewiesener erfüllter Kriterien, könnte eine Zeitspanne zum Nachweis der Erfüllung hinreichender Abhilfemaßnahmen bzw. Nachreichungen definiert und festgelegt werden, die der endgültigen Anlagengenehmigung bzw. -nichtgenehmigung voraus gehen. Eventuell könnte in dieser Übergangsfrist der Anlagenbetrieb einzustellen sein. Eine mögliche Vorgehensweise hierzu wurde en Detail skizziert und zur Diskussion gestellt.

Daraufhin gab Dr. Olaf Konzak, Partner der Friedrich Graf von Westphalen & Partner mbB, Einblicke in grundlegende Fragen der Zielsetzung und Systematik des Innovations- und Umweltrechts, führte mögliche rechtliche Fortentwicklungspotenziale des Kreislaufwirtschaftsrechts aus und ging kurz auf wesentliche Innovationsfelder im Bereich des Ressourcenschutzes ein. Rechtliche Rahmenbedingungen sind in allen Phasen des Innovationsprozesses bis hin zur Markteinführung und dem Markterfolg innovativer Ressourcenschutztechnologien von erheblicher Bedeutung für deren Entstehung, Vermarktung und Diffusion. Aus der Perspektive des Umweltrechts lassen sich zunächst grundlegende Fragen der Rechtssystematik diskutieren. Beim Umweltrecht ist eine gewisse Fragmentierung bzw. Verteilung



relevanter Aspekte über unterschiedliche Bereiche des Fachrechts zu beobachten, das mit jeweils unterschiedlichen Zielsetzungen, Auslegungs- und Anwendungssystematiken versehen ist. Eine eventuelle Systematisierung könnte dabei grundsätzlich über verschiedene Prinzipien der Rechtswissenschaft erwogen werden – wie dem materiellen, dem kompetenziellen oder dem systematischen Prinzip. Im Anschluss erfolgte eine detaillierte rechtssystematische Auseinandersetzung mit den Regelungen des KrWG sowie u. a. eine Würdigung von Möglichkeiten, Begriffe wie den des Ressourcenschutzes, der Ressourceneffizienz bzw. der Ressourcenschonung klarer zu definieren und transparent voneinander abzugrenzen. Der bestehende europarechtliche Spielraum zur Förderung von Ressourcenschutzinnovationen ließe sich eventuell stärker nutzen. Für verschiedene der in ProgRes III genannten Maßnahmen wären Möglichkeiten der rechtlichen Ausgestaltung noch zu identifizieren und zu bewerten, um deren Umsetzung in Aussicht zu stellen.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung grundsätzlicher Regelungsalternativen und Wirkungsabschätzung sowie Nachhaltigkeits- und Machbarkeitsbewertung hinsichtlich der Fortentwicklung der EU-Ökodesignrichtlinie mit Fokus auf deren im Rahmen der geplanten europäischen „Sustainable Products Initiative“ diskutierte Ausweitung auf nicht-energieverbrauchsrelevante Produkte bzw. der Einbeziehung nicht-energieverbrauchsrelevanter Kriterien und Anforderungen.
- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, Rechtsetzungs- und -änderungsvorhaben im Rahmen bereits bestehender bzw. fortzuentwickelnder Modelle einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbewertung zu unterziehen, bei der unterschiedliche Schutzgüter bzw. Rechtsziele einheitlich gegeneinander abgewogen und so eventuell bestehende Zielkonflikte bewusst durch bestehende politisch-gesellschaftliche Ziel- und Prioritätensetzungen aufgelöst werden. Dies ist u. a. insbesondere bezogen auf das Fallbeispiel der Auswirkungen der Stoffpolitik auf die Kreislaufwirtschaftspolitik zu analysieren. Dabei sind auch Möglichkeiten zu untersuchen, wie Stoff- und Abfallrecht zum gegenseitigen Nutzen vernünftig miteinander verzahnt werden können und wie gegenläufige Regelungsinhalte bzw. Umsetzungsanforderungen vermieden werden können.
- Erforschung von Möglichkeit der Synchronisierung und inhaltlich komplementären Ausgestaltung der in material- und produktbezogenen Normen festgelegten Informationsanforderungen an Grundstoffe, Vor- und Zwischenprodukte mit den an Güterhersteller gerichteten Informationsanforderungen der Stoffpolitik, insbesondere im Bereich der Gehalte an gewissen gefährlichen Stoffen („Substance of Very High Concern“).
- Erforschung von Möglichkeiten, Hemmnisse für die Produktion und den Einsatz von Kunststoffrezyklaten abzubauen und von Möglichkeiten, deren Qualität bspw. durch Formulierung von Qualitätskriterien zu steigern.
- Erforschung und Bewertung von Möglichkeiten, das immissionsschutzrechtliche Anlagengenehmigungsrecht in der Weise fortzuentwickeln, dass – bei unveränderter Schutzwirkung für Umwelt und Gesundheit – Genehmigungsprozesse für Anlagen der Recyclingwirtschaft gemäß Nr. 8 „Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen“ in Anhang 1 zur 4. BImSchV in der Praxis beschleunigt werden können. Dabei insbesondere Untersuchung und Bewertung der Möglichkeit, nachweisliche Behandlungsschritte der Kreislaufwirtschaft zunächst genehmigungsfrei zu gestalten und zusätzlich durch eine Teilprivatisierung der gesetzlich geregelten Begutachtungsprozesse, eine Verfahrensbeschleunigung für die Anlagengenehmigung zu erreichen. Dabei sind Analysen für mögliche Regelungen für den Fall mit durchzuführen, dass nach Ablauf des ersten Betriebsjahres noch fehlende Unterlagen oder materiell nicht nachgewiesen



erfüllte Kriterien, zu einer vorläufigen Einstellung des Anlagenbetriebs führen. Dabei ist eine bestimmte Zeitspanne zum nachträglichen Nachweis der Erfüllung hinreichender Abhilfemaßnahmen bzw. Nachreichungen zu definieren und in ihren Auswirkungen zu bewerten, die der endgültigen Anlagengenehmigung bzw. -nichtgenehmigung voraus geht. Eventuell könnten derartige Entwicklungen – neben der konventionellen Wirkungs-, Folgen- und Kosten-Nutzen-Ab-schätzung – auch im Rahmen von Reallaboren untersucht werden.

- Erforschung und Bewertung von Möglichkeiten, die gegenwärtige Fragmentierung des Umweltrechts gemäß des materiellen, des kompetenziellen oder des systematischen Prinzips zu reduzieren. Dabei auch Erforschung von Möglichkeiten, bestimmte Begriffe des Umweltrechts übergreifend einheitlich zu definieren, auszulegen und anzuwenden. Dies umfasst die systematisch abgestimmte Verzahnung mit sonstigem Bundes-, Europa- und Völkerrecht, wobei auf eine kohärente Konkretisierung des inhaltlichen Regelungsgehalts verschiedener relevanter Begriffe abzustellen ist.
- Erforschung und Bewertung von Möglichkeiten, das bestehende Kreislaufwirtschaftsrecht und insbesondere das KrWG wirksamer auszugestalten, u. a. durch die Analyse und Bewertung von Optionen:
 - Den Ressourcenschutzansatz innerhalb des KrWG zu entfragmentieren,
 - Die verwendete Terminologie zu vereinheitlichen bzw. transparent auszudifferenzieren
 - Verantwortungssphären im Modell der Selbstverpflichtung und Selbstverantwortung der Wirtschaft klarer abzugrenzen; auch in Verbindung mit der Selbstbindung der Verwaltung
 - Innovative Entwicklungen im Bereich des Ressourcenschutzes durch Ausnahmeregelungen fördern
 - Das Verwaltungshandeln durch entsprechende Organisationsgestaltungsmaßnahmen ressourcenschonender zu gestalten.
- Identifikation, Erforschung und Bewertung konkreter rechtlicher Ausgestaltungsmöglichkeiten für wesentliche als prioritär gekennzeichnete Maßnahmen von ProgRes III. Darunter könnte z. B. ein Fokus gelegt werden auf Fortentwicklungen im Bereich des Stoffrechts, der Produktverantwortung, der Harmonisierung und Datenverfügbarkeit für Bewertungen zur Ressourcenschonung oder im Bereich von Standardisierungs- und Zertifizierungssystemen für Rezyklate.
- Untersuchung der Frage, in welchen Bereichen der Ansatz der Reallabore unter anderem unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsaspekte verfolgt werden kann.
- Erforschung und Bewertung von Möglichkeiten, die politische Programmatik sowie unterschiedliche Rechtsbereiche, deren Regelungstatbestände Überschneidungen aufweisen, kohärenter zu gestalten. Dabei Identifikation von Möglichkeiten, Teile davon miteinander zu integrieren und diese zusammenzuführen bzw. Bewertung der Frage, wo eine Verzahnung geeigneter erscheint, bestmöglich zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen.
- Erforschung der Frage, ob und ggf. weshalb die statistische Umschlüsselung eingehender und ausgehender Stoffe und Materialien durch Anlagenbetreiber der Sekundärrohstoffwirtschaft bzw. statistische Landesämter teilweise unterbleibt und welche Sachlagen der statistisch berichteten Differenz zwischen Inputs und Outputs in diesem Bereich zugrunde liegen.

4. Normen & Standards für Ressourcenschutztechnologien und Rolle für die öffentliche Auftragsvergabe

In einem Impulsvortrag berichtete Ilse Beneke, Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung beim Beschaffungssamt des Bundesministeriums des Innern (KfNB), über die Entwicklung der nachhaltigen



öffentlichen Beschaffung in Deutschland, die Hand in Hand mit der Fortentwicklung des Vergaberechts zu veränderten Anforderungen an das öffentliche Beschaffungswesen in Deutschland führte. Sowohl die gesellschaftliche Diskussion als auch die jüngere politische Programmatik und Gesetzgebung verschiedener Bereiche harmoniert gut mit dem Aufgabenspektrum der KNB zur Unterstützung der nachhaltigen öffentlichen Beschaffungspraxis. Um sich ein Bild von den sich wandelnden Anforderungen an die Beschaffungspraxis zu machen, empfiehlt sich z. B. insbesondere die Lektüre des § 45 Abs. 2 KrWG. Daraus ergeben sich letztlich sowohl Berücksichtigungsge-, als auch -verbote. Bei den Vergabestellen herrscht eine hohe Aufmerksamkeit für das Thema der nachhaltigen Beschaffung. Gleichzeitig unterliegen diese in ihrer Vielzahl – schätzungsweise in Deutschland deutlich über 100.000 – ganz unterschiedlichen Rahmenbedingungen, die eine nachhaltige öffentliche Beschaffung erleichtern oder auch erschweren können. Neben unterschiedlichen Situationen hinsichtlich zeitlicher Kapazität und Professionalisierungsgrad ist dabei insbesondere auf unterschiedliche organisationsstrukturelle Hintergründe zu verweisen. In der Regel kommen zur Durchführung öffentlicher Beschaffungsvorhaben verschiedene behördliche Zuständigkeitsbereiche zusammen, die nur in ihrem zielgerichteten Zusammenwirken ein nachhaltiges Beschaffungsergebnis erzielen können. Die KNB unterstützt und berät Beschaffende daher mit unterschiedlichen Angeboten und Formaten und trägt so auch zum Markterfolg innovativer Ressourcenschutztechnologien bei.

Im Anschluss erläuterten Benjamin Hein, Deutsches Institut für Normung (DIN) und Dr. Julia Migenda, Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (DKE) das Engagement und die Aktivitäten der beiden Institutionen im Bereich von Ressourceneffizienz und Circular Economy. Aufgrund der hohen gesellschaftlichen und politischen Bedeutung des Themenbereichs wurde von DIN und DKE ein Fachbeirat Circular Economy ins Leben gerufen und unter der Schirmherrschaft des BMU und in Kooperation mit dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI) eine orientierende Normungslandkarte zum dritten Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess III) erstellt, die bereits in der Normungslandschaft adressierte Programminhalte transparent aufzeigt.⁵⁶ Damit soll es der interessierten Fachöffentlichkeit ermöglicht werden, mit angemessenem Aufwand einen guten Überblick über das Themengebiet der Circular Economy zu erhalten. Viele verschiedene Normungs- und Standardisierungsinstitutionen beschäftigen sich mit dem Querschnittsthema Circular Economy. Eine stärkere Koordinierung und Abstimmung bei den bestehenden Aktivitäten erscheinen vielversprechend. Eventuell können künftig auch neue, noch nicht hinreichend adressierte Themenbereiche und Aspekte identifiziert und bearbeitet werden. Noch in 2021 soll eine Normungsroadmap Circular Economy entwickelt und auch EU-weit diskutiert werden. Auf diese Weise wird neben der bereits erfolgten Bestandsaufnahme die Initiative ergriffen, um die Entwicklungen in diesem Bereich aktiv voran zu treiben und sich gestaltend an wesentlichen Entwicklungen der Normung im Bereich Circular Economy zu beteiligen. Normung und Standardisierung sind Wegbereiter für ressourcenschonendes und zirkuläres Wirtschaften. Diesbezügliche Aspekte sind bei Umsetzungs- und Förderprojekten stets mit zu berücksichtigen. DIN und DKE unterstützen als Dienstleister die Erstellung von Normen und Standards, bieten sich als strategischer, Projekt- und Forschungspartner, u. a. bei der Umsetzung von ProgRess III an. ProgRess III beinhaltet 118 einzelne Maßnahmen – zu 56 davon gibt es schon relevante Normen & Standards, dazu wurden für die Normungslandkarte insgesamt 428 Dokumente zusammengestellt, von denen 301 schon veröffentlicht sind, 46 befinden sich im Entwurfsstadium und 81 davon sind Teil der aktuell laufenden Gremienarbeit.

Anschließend stellte Dr. Jochen Theloke, VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt, detailliert die bestehenden Standardisierungsaktivitäten des VDI im Bereich Ressourceneffizienz und zirkuläres Wirtschaften vor und erläuterte den Entstehungsprozess und die Rolle der Standards für innovative

⁵⁶ Vgl. DIN/ DKE (2021)



Ressourcenschutztechnologien. Am Anfang eines Standardisierungsprozesses steht die Feststellung einer bestimmten Herausforderung in Wirtschaft und Gesellschaft, die der Bearbeitung bedarf. Jede bzw. jeder kann dann beantragen, ein Gremium einzurichten, in dem Expertinnen und Experten sich zur Darstellung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik sowie zur Lösungsfindung für die angesprochenen Fragen zusammenfinden. Meist dauert es rund zwei Jahre, bis ein entsprechender Ausschuss einen Entwurf für eine Richtlinie entwickelt hat, die den Stand des Wissens und der Technik zu einem bestimmten Thema ausformuliert. Dann folgen eine öffentliche Einspruchsphase sowie die Behandlung von Einsprüchen im Gremium. Anschließend wird die Richtlinie veröffentlicht. Fünf Jahre nach der Veröffentlichung ist eine Überprüfung der jeweiligen Richtlinie vorgesehen. Wenn Inhalte nicht mehr aktuell sind oder wenn andere Gründe dafür sprechen, kann der Standard dann überarbeitet oder zurückgezogen werden. Aus diesen Prozessen hat sich beim VDI ein umfassendes Richtlinienwerk zur Ressourceneffizienz entwickelt, das verschiedene Aspekte des Themas beleuchtet und Methoden zur praktischen Entwicklung, Anwendung und Umsetzung ressourceneffizienter Technologien, Verfahren und Dienstleistungen sowie zirkulärer Geschäftsmodelle bietet. Neben der Klärung begrifflicher Fragen und Abgrenzungen können auf diese Weise insbesondere auch Unternehmen auf Hilfestellungen zu allgemein anerkannten Strategien und Vorgehensweisen zur Bewertung und Messung sowie zu verschiedenen Aspekten der Umsetzung ressourceneffizienter zirkulärer Geschäftsmodelle zurückgreifen.

Aus den Vorträgen und der daraus folgenden Diskussion lassen sich folgende **mögliche Ansatzpunkte für die künftige Innovations- und Forschungsförderung** ableiten:

- Erforschung und Entwicklung von Möglichkeiten, für verschiedene Produkt- und Bedarfsfelder mögliche Nachhaltigkeitskriterien zu formulieren, derer sich Vergabestellen niedrigschwellig in geeigneter Weise bei der Erstellung von Ausschreibungsunterlagen bedienen können. Bestandsaufnahme und Bewertung bereits verfügbarer Kriterienbündel für einzelne Produkt- und Bedarfsfelder, Lückenanalyse und Erforschung geeigneter Nachhaltigkeitskriterien für bisher nicht abgedeckte Bereiche. Dabei auch Erforschung, wie jeweils genau technisch nicht in allen Aspekten der jeweiligen Beschaffungsgegenstände qualifiziertes Personal aufgrund der Einforderung geeigneter verlässlicher, rechtlich zulässiger Nachweise mit angemessenem Aufwand eine rechtssichere Prüfung der Einhaltung der genannten Kriterien durch einzelne Bieter bzw. deren Angebote überprüfen kann. Ferner Untersuchung des Aspekts des Zusammenspiels unterschiedlicher behördlicher Kompetenzbereiche wie Bedarfsträger, Haushälter sowie Vergabestelle zur Identifikation und Bewertung möglicher Ansätze zur Unterstützung eines zielgerichteten Zusammenspiels hinsichtlich der nachhaltigen Beschaffung.
- Formulierung einer möglichen Arbeitsteilung zwischen Gesetzgeber und Normungs- und Standardisierungsorganisationen, um die Circular Economy insbesondere hinsichtlich Innovationen in der Praxis voranzubringen.
- Aufbauend auf die bestehenden Aktivitäten von DIN, DKE und VDI und deren Bestandsaufnahme zur bestehenden Normungslandschaft: Erforschung künftig vielversprechender Felder der Normung und Standardisierung für die ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft. Neben der Lückenanalyse und der Bewertung verschiedener Optionen zu deren Adressierung, auch Analyse eventuellen Überarbeitungsbedarfs aus Sicht der nachhaltigen, ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft im Bestand.
- Erforschung der Möglichkeiten von DIN, DKE und VDI im Rahmen von Forschungsprojekten entwickelte Erkenntnisse schneller in die Praxis zu übertragen.



Literatur und Quellenverzeichnis

BaFin (2020): Merkblatt zum Umgang mit Nachhaltigkeitsrisiken, Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin) (Hrsg.), Bonn/ Frankfurt am Main, URL: https://www.bafin.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Merkblatt/dl_mb_Nachhaltigkeitsrisiken.html

Bolton, Patrick/ Després, Morgan/ da Silva, Luiz Awazu Pereira/ Samama, Frédéric/ Svartzman, Romain (2020): The green swan - Central banking and financial stability in the age of climate change, BIS Bank for International Settlements (BIS) (Hrsg.), Basel, URL: <https://www.bis.org/publ/othp31.htm>

DIN/ DKE (2021): ProgRes III: Normungslandkarte veröffentlicht – Beitrag für mehr Ressourceneffizienz von DIN, DKE und VDI, Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.), Berlin, URL: <https://www.din.de/de/din-und-seine-partner/presse/mitteilungen/progress-iii-normungslandkarte-veroeffentlicht--797824>

EBA (2020): Discussion Paper on management and supervision of ESG risks for credit institutions and investment firms, Europäische Bankenaufsichtsbehörde (EBA) (Hrsg.), Paris, URL: <https://www.eba.europa.eu/financial-innovation-and-fintech/sustainable-finance/discussion-paper-management-and-supervision-esg-risks-credit-institutions-and-investment-firms-0>

EU Technical Expert Group on Sustainable Finance (2020): Financing a sustainable European Economy – Technical Report – Taxonomy: Final report of the Technical Expert Group on Sustainable Finance, EU Technical Expert Group on Sustainable Finance, Brussels, URL: https://ec.europa.eu/info/files/200309-sustainable-finance-teg-final-report-taxonomy_en

GLS Bank (2017): Anlage- und Finanzierungsgrundsätze, GLS Gemeinschaftsbank eG (Hrsg.), Bochum, URL: https://www.gls.de/media/PDF/Broschueren/GLS_Bank/gls_anlage-und_finanzierungsgrundsätze.pdf