

UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG

01/2021

Innovationen für die Circular Economy - Aktueller Stand und Perspektiven

Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der deutschen
Umweltinnovationspolitik



UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG 01/2021

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 14 101 0

FB000113/ZW,1

Innovationen für die Circular Economy - Aktueller Stand und Perspektiven

Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der deutschen
Umweltinnovationspolitik

von

Carsten Gandenberger
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
ISI, Karlsruhe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Stresemannstr. 128 – 130
10117 Berlin
service@bmu.bund.de
www.bmu.bund.de

 [umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe

Abschlussdatum:

November 2020

Redaktion:

Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen, nachhaltiger Konsum
Dr. Frauke Eckermann

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1865-0538

Dessau-Roßlau, Januar 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Innovationen für die Circular Economy - Aktueller Stand und Perspektiven

Damit die angestrebte Transformation in Richtung Circular Economy gelingt, müssen zahlreiche Innovationen entstehen und sich gegen das Bestehende durchsetzen. Die Entstehung von Innovationen hängt von der Leistungsfähigkeit des Innovationssystems der Circular Economy ab. Daher wird in dieser Studie das Innovationssystem der Circular Economy beschrieben und analysiert. Ausgangspunkt für die Analyse sind die grundlegenden Funktionen von Innovationssystemen, wie z. B. die Erzeugung neuen Wissens, die Entstehung neuer Märkte, die Gründung von Unternehmen oder die Einführung neuer Geschäftsmodelle. Die Analyse kommt zu dem Schluss, dass sich die Transformation in Richtung Circular Economy in Deutschland noch in einer frühen Entwicklungsphase mit geringer Dynamik befindet. Um die identifizierten Schwachpunkte des Innovationssystems zu überwinden, müssten die Märkte für Sekundärrohstoffe und das unternehmerische Experimentieren mit zirkulären Geschäftsmodellen und Ansätzen zum Stoffstrommanagement gefördert werden.

Abstract: Innovations for the Circular Economy - Current status and perspectives

The envisaged transformation towards a circular economy requires numerous innovations. The emergence of these innovations hinges on the performance of the innovation system of the circular economy. This study therefore describes and analyses the innovation system of the circular economy. Starting point for the analysis are the basic functions of innovation systems, such as the generation of new knowledge, the emergence of new markets, the establishment of companies or the introduction of new business models. The analysis comes to the conclusion that the transformation towards a circular economy in Germany is still in an early phase of development with little momentum. In order to overcome the identified weaknesses of the innovation system, the markets for secondary raw materials and entrepreneurial experimentation with circular business models and approaches to material flow management would have to be promoted.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
Zusammenfassung.....	9
Summary	10
1 Einführung	11
2 Beschreibung des Innovationssystems der Circular Economy	12
2.1 Circular Economy: Hintergrund und Begriffsdefinition	12
2.2 Das Innovationssystem der Circular Economy	15
2.2.1 Akteure und Netzwerke	16
2.2.2 Institutionen.....	19
2.2.2.1 Umweltpolitik	20
2.2.2.2 Innovationspolitik	22
2.2.3 Wissen und Technologie	23
2.2.4 Zusammenfassende Darstellung des Innovationssystems	26
3 Beurteilung des Innovationsgeschehens und der auf die Zukunft gerichteten Innovationsimpulse	27
3.1 Functions of Innovation-Ansatz	27
3.2 Funktionale Analyse des Innovationsgeschehens in Richtung Circular Economy	29
3.3 Abschätzung der Innovationswirkungen von ProgRess III	36
4 Anregungen für die Weiterentwicklung der Umweltinnovationspolitik.....	37
4.1 Dynamische Standards für den Einsatz von Sekundärrohstoffen in Produkten	38
4.2 Reparatur- und recyclingfreundliches Produktdesign fördern	39
4.3 Stoffstrommanagement durch Unternehmen fördern.....	40
5 Literaturverzeichnis.....	42
A Anhang	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwurf einer Circular Economy.....	13
Abbildung 2:	Abfallhierarchie nach KrWG	14
Abbildung 3:	Forschungsnetzwerk im Bereich Ressourceneffizienz (basierend auf Daten der BMBF-Förderinitiative r4).....	19
Abbildung 4:	Prozentualer Anteil der Wirtschaftszweige an den Patenten ..	25
Abbildung 5:	Das Innovationssystem der Circular Economy	27
Abbildung 6:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen bei Recycling und Abfallwirtschaft	30
Abbildung 7:	Entwicklung der Gründungen im Bereich Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz im Vergleich.....	32
Abbildung 8:	Barrieren für den Einsatz von Kunststoffrezyklaten.....	33
Abbildung 9:	Entwicklung der Preise für Stahlschrott in Deutschland bis 2019	34
Abbildung 10:	Analyse von 28 ProgRess-Maßnahmen (Mehrfachnennungen)	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Patente im Bereich Abfall- und Recyclingtechnologie in Deutschland.....	23
------------	---	----

Abkürzungsverzeichnis

AbfKlärV	Klärschlammverordnung
BDE	Deutsche Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e. V.
BDSV	Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e. V.
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
CEPA	Classification of environmental protection activities
CRema	Classification of resource management activities
CT	Computertomographie
DER_{ec}	Direct Effect of Recovery
DIER_{ec}	Direct and Indirect Effects of Recovery
ErsatzbaustoffV	Ersatzbaustoffverordnung
EUPC	European Plastics Converters Association
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
NaRess	Nationale Plattform für Ressourceneffizienz
NeRess	Netzwerk Ressourceneffizienz
MRT	Magnetresonanztomographie
ProgRess	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm
TRL	Technology-Readiness-Level
VerpackG	Verpackungsgesetz
VKU	Verband kommunaler Unternehmen

Zusammenfassung

Die angestrebte Transformation in Richtung Circular Economy setzt die Entstehung und Diffusion einer Vielzahl von Innovationen voraus. Ob diese Innovationen entstehen können, hängt davon ab, wie gut das relevante Innovationssystem einzelne Innovationsfunktionen erfüllt. Zu den Innovationsfunktionen zählen beispielsweise die Entstehung neuen Wissens und neuer Märkte, die Gründung neuer Unternehmen oder die Einführung neuer Geschäftsmodelle. In dieser Studie wird das Innovationssystem der Circular Economy in Hinblick auf die Erfüllung dieser Innovationsfunktionen untersucht.

Insgesamt bestätigt sich die Vermutung, dass sich die Transformation in Richtung Circular Economy in Deutschland noch in einer frühen Entwicklungsphase mit geringer Dynamik befindet. Bei den Innovationsfunktionen "Wissensentwicklung und Diffusion" und "unternehmerisches Experimentieren" lässt sich in den vergangenen Jahren nur eine leichte Zunahme der Aktivitäten feststellen. Die fortschreitende Digitalisierung könnte jedoch die Effizienz der Sekundärrohstoffproduktion und die Entstehung neuer Geschäftsmodelle beschleunigen. In Bezug auf die "Marktentwicklung" legt die Analyse nahe, dass an dieser Stelle noch erhebliche Hemmnisse existieren, die der Entwicklung der Märkte für Sekundärrohstoffe im Wege stehen. Dagegen scheinen Angebote zur Verlängerung der Nutzungsdauer und zur Nutzenintensivierung zumindest in Teilen der Gesellschaft auf großes Interesse zu stoßen. Dieses zeigt sich derzeit allerdings primär in der Zunahme nicht-kommerzieller Initiativen und Netzwerke.

Die Innovationsfunktion "Einfluss auf die Suchrichtung" wird zunehmend durch politische Initiativen erfüllt, die sich in den vergangenen Jahren immer konsequenter am Leitbild der Circular Economy orientiert haben. Jedoch setzen diese Initiativen – jenseits der staatlichen Forschungsförderung – bislang kaum finanzielle Anreize und bieten zu wenig Impulse für Marktentwicklung und unternehmerisches Experimentieren.

In diesem Zusammenhang wurden auch die möglichen Innovationswirkungen von ProgRes III untersucht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ProgRes III zu kurz greift, um die für eine Transformation notwendige ökonomische Dynamik zu entfachen. Wichtige Innovationsfunktionen wie die Bildung von Märkten und die Förderung unternehmerischen Experimentierens werden kaum angesprochen. Dabei zeigt die Analyse des Ist-Zustands gerade hier Schwachstellen auf. Um diese Schwachstellen zu überwinden, werden Maßnahmen vorgeschlagen, die sich direkt an die Märkte und Unternehmen richten:

- Dynamische Standards für den Einsatz von Sekundärrohstoffen in Produkten einführen;
- Reparatur- und recyclingfreundliches Produktdesign fördern;
- Aktives Stoffstrommanagement durch Unternehmen fördern.

Einschränkend muss darauf hingewiesen werden, dass für die Analyse des Innovationssystems der Circular Economy aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Stoff- und Materialströmen, der Komplexität der Akteursstrukturen und Institutionen sowie der in vielen Bereiche unzureichenden Datenlage weitere Forschungsanstrengungen notwendig sind

Summary

The desired transformation towards a circular economy requires the emergence and diffusion of a large number of innovations. Whether these innovations can emerge depends on how well the relevant innovation system fulfils individual innovation functions. Innovation functions include, for example, the emergence of new knowledge and new markets, the establishment of new companies or the introduction of new business models. This study examines the innovation system of the circular economy with regard to the fulfilment of these innovation functions.

Overall, it confirms the assumption that the transformation towards a circular economy in Germany is still in an early stage of development with little momentum. Only a slight increase in activities in the innovation functions "knowledge development and diffusion" and "entrepreneurial experimentation" can be observed in recent years. Progressive digitisation could, however, further enhance the efficiency of secondary raw materials production and the emergence of new business models. With regard to "market development", the analysis suggests that there are still significant barriers to the development of markets for secondary raw materials. On the other hand, offers to extend useful products life and to intensify product use seem to meet with great interest, at least in parts of society. However, this is currently reflected primarily in the increase in non-commercial initiatives and networks.

The innovation function "influences on the direction of search" is increasingly being fulfilled by political initiatives which have been orienting themselves more and more consistently towards the circular economy paradigm in recent years. However, these initiatives - beyond public R&D funding - have so far provided hardly any financial incentives and offer too little impetus for market development and entrepreneurial experimentation.

In this context, the innovation effects of the German government's recently adopted resource efficiency program, ProgRess III, were also examined. The results indicate that ProgRess III does not go far enough to ignite the economic dynamics necessary for transformation. Important innovation functions such as the formation of markets and the promotion of entrepreneurial experimentation are hardly addressed. Yet it is precisely here that the analysis of the current situation reveals several weaknesses. In order to overcome these weaknesses, measures are proposed that are directly aimed at markets and companies:

- ▶ Introduce dynamic standards for the use of secondary raw materials in products;
- ▶ Promote repair and recycling-friendly product design;
- ▶ Promote active material flow management by companies.

In conclusion, it must be pointed out that further research efforts are necessary to analyse the innovation system of the circular economy due to the large number and diversity of material flows, the complexity of the structures and institutions involved and the insufficient data available in many areas.

1 Einführung

Durch das anhaltende Wachstum der Weltbevölkerung und der Wirtschaftsleistung kam es in den vergangenen 50 Jahren zu einem deutlichen Anstieg des Abbaus natürlicher Ressourcen von 27 Mrd. Tonnen im Jahr 1970 auf 92 Mrd. Tonnen im Jahr 2017. Der Abbau und die Weiterverarbeitung natürlicher Ressourcen tragen nicht nur zur Erschöpfung natürlicher Ressourcenvorkommen bei, sondern bedingen auch andere Umweltprobleme: Der Beitrag zu den globalen Treibhausgasemissionen wird auf 50 % geschätzt; noch gravierender ist der Beitrag zum Verlust der Artenvielfalt und zur Wasserknappheit, der auf über 90 % geschätzt wird (International Resource Panel, 2019). Angesichts dieser Umweltrisiken ist ein grundlegender Wandel der globalen Produktions- und Konsummuster erforderlich. Eine Entlastung der Umwelt kann z. B. durch die Einsparung von Primärmaterialien und deren Substitution durch Sekundärmaterialien erreicht werden, aber auch durch den Einsatz umweltfreundlicherer Prozesse bei der Gewinnung von Primärrohstoffen, der Rohstoffveredelung und der Abfallbewirtschaftung. Das Paradigma der Circular Economy beschreibt eine am Vorbild natürlicher Kreisläufe orientierte Wirtschaftsweise.

Die Transformation hin zur Circular Economy steht allerdings noch ganz am Anfang. Das International Resource Panel schätzt, dass derzeit weltweit höchstens 9 % des Rohstoffbedarfs durch Sekundärrohstoffe gedeckt werden (International Resource Panel, 2019). Laut einer Schätzung der Ressourcenkommission beim UBA liegt der Anteil der Sekundärrohstoffe am Gesamtrohstoffeinsatz (Substitutionsquote) in Deutschland bei 15 % (BDE et al., 2018). Eine Transformation in Richtung Circular Economy erfordert daher die Entstehung und Verbreitung einer Vielzahl an Innovationen auf verschiedenen Ebenen. Diese Innovationen können technologischer (z. B. Recyclingtechnologien), organisatorischer (z. B. Geschäftsmodelle), institutioneller (z. B. Recyclingquoten) oder sozialer Natur (z. B. Repaircafés) sein.

Auf politischer Ebene wurde das Konzept der klimaneutralen Kreislaufwirtschaft im Rahmen des European Green Deal zu einer tragenden Säule ernannt und durch die Fortschreibung des Circular Economy Action Plans im Jahr 2020 durch die Europäische Kommission konkretisiert (European Commission, 2020). In Deutschland beschreibt das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) Ansätze und Maßnahmen für einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen entlang der Wertschöpfungskette. ProgRess wurde fortgeschrieben und am 17.06.2020 verabschiedet und liegt nun in der dritten Version vor (ProgRess III). Das vom Vorläufer ProgRess II für die Jahre 1994-2020 vorgegebene Ziel einer Verdoppelung der Rohstoffproduktivität wird jedoch voraussichtlich deutlich verfehlt. Zwar werden für einige Stoffe in Deutschland bereits seit vielen Jahren konstant hohe Recyclingraten erreicht, z. B. 82 % für graphisches Papier oder 85 % für Behälterglas, jedoch sind wichtige Elemente einer Circular Economy, wie z. B. die Abfallvermeidung oder das Design for Recycling, in Deutschland erst ansatzweise vorhanden. Tatsächlich steigt das jährliche Abfallaufkommen in Deutschland seit einigen Jahren wieder an (destatis, 2018) und die Indikatoren zur Messung des Beitrags von Sekundärrohstoffen zur Substitution von Primärrohstoffen ($DIER_{ec}$ / DER_{ec})¹ zeigen für den Zeitraum 2010-2014 keine wesentliche Verbesserung der Situation an (vgl. BMU, 2020).

In dieser Studie wird daher eine Analyse des Innovationssystems der Circular Economy in Deutschland vorgenommen, um vorhandene Schwachstellen konkreter benennen zu können und Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Umweltinnovationspolitik zu geben. Die Innovationsforschung geht davon aus, dass gesellschaftlich relevante Innovationen in der Regel das Ergebnis interaktiver Prozesse auf der Akteurebene sind, die sich in einem Innovationssystem

¹ $DIER_{ec}$ = Direct and Indirect Effects of Recovery, DER_{ec} = Direct Effect of Recovery.

vollziehen (Freeman, 1987). Der funktionale Ansatz zur Analyse von Innovationssystemen betont die Bedeutung verschiedener funktionaler Innovationsprozesse, die die Gesamtleistung des Innovationssystems bestimmen (Hekkert et al., 2007), hierzu zählt beispielsweise die Entstehung von Wissen und Märkten, die Gründung neuer Unternehmen oder die Einführung neuer Geschäftsmodelle durch etablierte Unternehmen.

Eine an den verschiedenen Innovationsfunktionen orientierte Analyse des Innovationssystems der Circular Economy in Deutschland steht daher im Zentrum der folgenden Ausführungen. Hierbei muss jedoch einschränkend vorausgeschickt werden, dass aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Stoff- und Materialströmen sowie der Komplexität der Akteursstrukturen und der Institutionen nur punktuelle Schwerpunkte gesetzt werden können.

2 Beschreibung des Innovationssystems der Circular Economy

2.1 Circular Economy: Hintergrund und Begriffsdefinition

Die aktuelle Diskussion um die Circular Economy in Deutschland wird stark beeinflusst durch entsprechende Impulse der Europäischen Gesetzgebung. Jüngstes Beispiel ist der neue „Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft – Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa“ der Europäischen Kommission (European Commission, 2020). Dieser Aktionsplan knüpft an den ersten, im Jahr 2015 veröffentlichten Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft an (European Commission, 2015) und soll den im europäischen Green Deal beschriebenen grundlegenden Wandel der europäischen Wirtschaft hin zu einer klimaneutralen Kreislaufwirtschaft konkretisieren. Ziel des neuen Aktionsplans ist es, den ökologischen Fußabdruck der EU zu senken und den Anteil der kreislauforientiert verwendeten Materialien bis zum Jahr 2030 zu verdoppeln (European Commission, 2020).

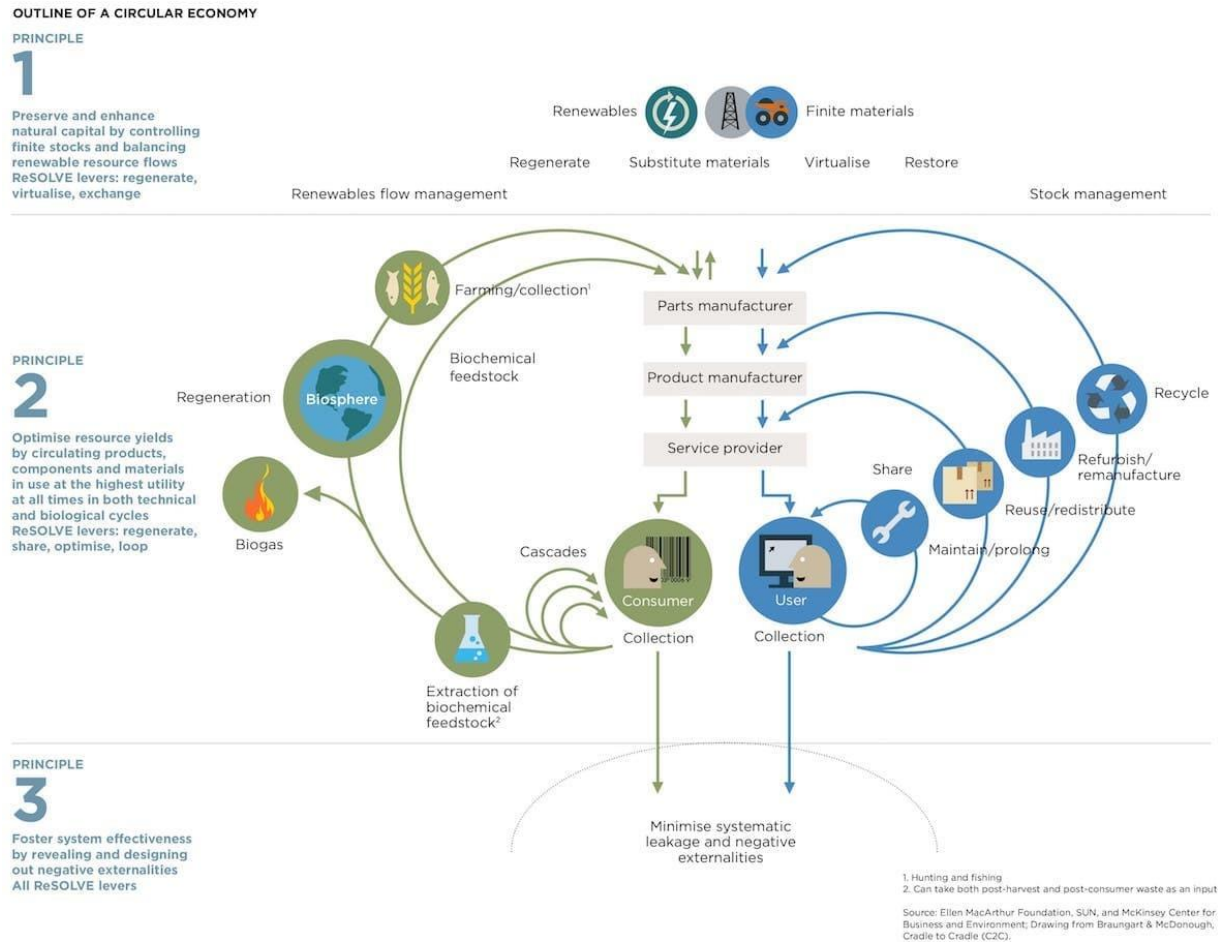
Der Begriff der Kreislaufwirtschaft bezieht sich im deutschen Sprachgebrauch in der Regel nur auf die Abfall- und Recyclingwirtschaft. Da das Paradigma der Circular Economy jedoch wesentlich weiter gefasst ist und alle Phasen des Produktlebenszyklus bzw. der Wertschöpfungskette erfasst, wurden im politischen Raum die Begriffe "Zirkuläres Wirtschaften" und "EU-Circular Economy" als Alternativen vorgeschlagen (Müller et al., 2020). In diesem Beitrag wird der Begriff "Circular Economy" verwendet, um Missverständnissen vorzubeugen und anschlussfähig an die internationale Diskussion zu bleiben.

Nach einer Definition des UBA soll die Kreislaufwirtschaft "zur Reduzierung der lebenszyklusweiten negativen Auswirkungen sowohl von Materialien und Produkten – durch Einsparung von Primärmaterialien und deren Substitution mit Sekundärmaterialien – als auch der Abfallerzeugung und Abfallbewirtschaftung beitragen (Müller et al., 2020, S. 8)."

Die Circular Economy grenzt sich durch die Etablierung von Kreisläufen vom vorherrschenden linearen Wirtschaftsmodell ab, bei dem natürliche Ressourcen die einzelnen Phasen der Produktion und des Konsums durchlaufen und dann entsorgt werden. Sie beschreibt daher einen paradigmatischen Wandel der vorherrschenden Produktions- und Konsumstrukturen. Natürliche Ressourcen werden in der Circular Economy in gleich- oder höherwertigen Kreisläufen zirkuliert (Up-Cycling), um dadurch den Einsatz und den Abbau von Primärressourcen zu reduzieren. Aber auch eine sukzessive Nutzung in abwärts gerichteten Kaskaden (Down-Cycling) oder eine Ausschleusung aus dem Kreislauf können im Rahmen des Konzepts der Circular Economy sinnvolle Optionen sein.

Wie Abbildung 1 deutlich macht, werden die Kreisläufe für biotische (linke Seite, grüne Kreisläufe) und abiotische Ressourcen (rechte Seite, blaue Kreisläufe) unterschiedlich gestaltet.

Abbildung 1: Entwurf einer Circular Economy



Quelle: Ellen McArthur Foundation²

Bei den abiotischen Ressourcen, auf die an dieser Stelle näher eingegangen werden soll, gibt es zunächst in der Nutzungsphase einen Kreislauf, der eine Nutzungsintensivierung durch Sharing bzw. eine Nutzungsdauerverlängerung durch Wartung oder Reparatur vorsieht. Ein weiterer Kreislauf setzt bei der Wiederverwendung an und wird durch das Angebot von Dienstleistern geschlossen, die Produkte nach ihrem ersten Nutzungszyklus einer neuen Nutzung zuführen. Ein Beispiel hierfür ist der klassische Gebrauchtgüterhandel. Der nächste Kreislauf wird durch den Hersteller geschlossen, der Produkte nach ihrer Nutzungsphase technisch aufbereitet und dadurch für eine Wiederverwendung vorbereitet. Ein solches "Refurbishment"-Angebot bieten beispielsweise die Hersteller medizintechnischer Geräte (MRT, CT) an, die diese nach der Erstnutzung mit der neuesten Software ausstatten und veraltete Komponenten austauschen. Danach kann das Geräte erneut zu einem günstigen Preis verkauft werden. Beim äußersten Zyklus werden Produkte nach dem Ende der Nutzungsphase einem werkstofflichen Recycling zugeführt.

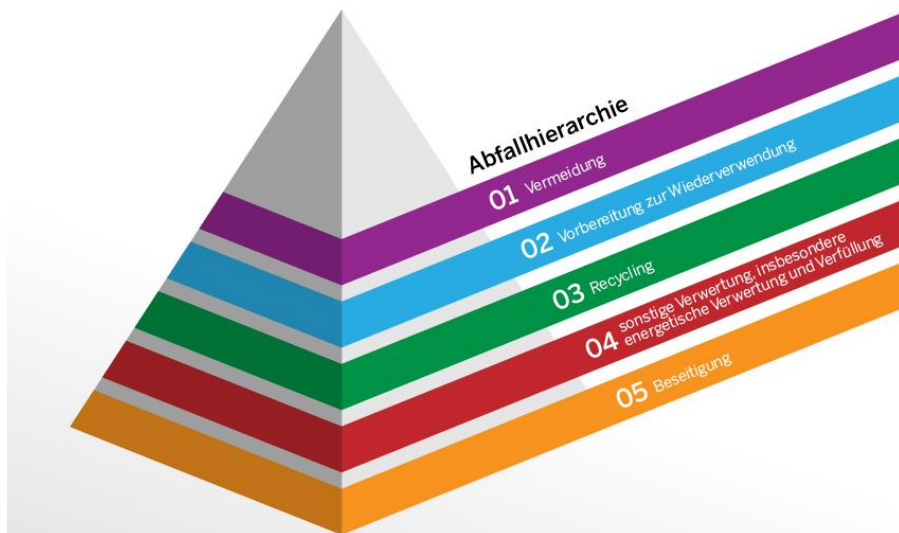
² <https://www.provenance.org/news/wp-content/uploads/2016/10/Ellen-MacArthur-Circular-Economy.png>.

Beispiele hierfür sind das Recycling von Altpapier, Altglas oder Kunststoff. Diese Sekundärrohstoffe können dann erneut in der Produktion eingesetzt werden.

Das UBA unterscheidet in seiner Publikation "Leitsätze einer Kreislaufwirtschaft" drei verschiedene Kreisläufe (Müller et al., 2020): Der erste Kreislauf wird durch die Wiederverwendung in der Nutzungsphase geschlossen, der zweite durch das sogenannte interne Recycling im Produktionsprozess (z. B. Verwertung von Schnittresten aus der Lederverarbeitung) und der dritte durch die Verwertung von Post-Consumer Abfällen.

Eine gute Basis für das Verständnis der unterschiedlichen Kreisläufe und die generelle Diskussion über die Circular Economy in Deutschland bietet das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) und hierbei insbesondere die in § 6 aufgeführte Abfallhierarchie (KrWG). Ziel des KrWG ist es, "die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen" (§ 1). In diesem Sinne formuliert § 6 KrWG eine Hierarchie der Optionen Abfallvermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung und Beseitigung (siehe Abbildung 2). Diese Hierarchie soll sicherstellen, dass die aus ökologischer Sicht beste Option gewählt wird – allerdings sind bei der Bewertung auch technische, wirtschaftliche und soziale Faktoren und Wirkungen einzubeziehen. Die Abfallhierarchie stellt zwar keine allgemeingültige Rechtsverpflichtung dar, kann aber durch Rechtsverordnungen für bestimmte Stoffgruppen konkretisiert werden.

Abbildung 2: Abfallhierarchie nach KrWG



Quelle: Bezirksregierung Münster³

Zu beachten ist, dass das Konzept der Circular Economy keine perfekte Schließung der Kreisläufe vorsieht, sondern immer eine Ausschleusung von Materialien aus den Kreisläufen und somit Elemente eines linearen Wirtschaftens beibehalten muss (vgl. Abbildung 1). Ursächlich hierfür ist zum einen, dass der Energiebedarf für das Recycling mit steigenden Recyclingquoten überproportional zunimmt und somit aus ökobilanzieller Perspektive ein negativer Gesamteffekt entstehen könnte (EASAC, 2015). Zum anderen müssen Schadstoffe aus dem Kreislauf ausgeschleust werden (Müller et al., 2020). Daher wird es bei vielen Rohstoffen und Materialien sinnvoll sein, keine 100%-ige Kreislaufschließung anzustreben, sondern Verluste zuzulassen.

³ https://www.bezreg-muenster.de/de/umwelt_und_natur/abfall/_ablage/bilder/abfallhierarchie_original.jpg.

2.2 Das Innovationssystem der Circular Economy

Die Transformation von einer linearen zu einer zirkulären Wirtschaftsweise setzt eine Vielzahl an Innovationen auf verschiedenen Ebenen voraus, die notwendig sind, um den eingeschlagenen Entwicklungspfad zu verlassen. Diese Innovationen können technologischer (z. B. Recyclingtechnologien), organisatorischer (z. B. Geschäftsmodelle), institutioneller (z. B. Recyclingquoten) oder sozialer Natur (z. B. Repaircafés) sein. Eine zentrale Erkenntnis der Innovationsforschung ist, dass Innovationen, die auf der gesellschaftlichen Makro-Ebene als relevante Entwicklungen in Erscheinung treten und Umbrüche in den wirtschaftlichen, technologischen und sozialen Strukturen auslösen, in der Regel das Ergebnis interaktiver Prozesse auf der Mikroebene sind, an denen viele verschiedene Akteure beteiligt sind (Freeman, 1987).

Diese Interaktionen werden nicht alleine von Märkten koordiniert, sondern auch von anderen regulativen, sozialen oder kognitiven Institutionen, die z. B. den Schutz von Patentrechten gewährleisten, für eine gute Ausbildung der Mitarbeiterinnen sorgen oder Forschungsk Kooperationen zwischen Hochschulen und Unternehmen regeln. Zudem basiert der Erfolg innovationsstarker Unternehmen in der Regel nicht ausschließlich auf eigenen F&E-Anstrengungen, sondern entspringt auch anderen Quellen, wie z. B. dem Produktdesign, der Entwicklung effizienter Maschinen gemeinsam mit Zulieferern oder der Weiterbildung von Mitarbeitern (Soete, Verspagen & ter Weel, 2010).

Die Einsicht in die hohe Bedeutung von Interaktionen zwischen den am Innovationsgeschehen beteiligten Akteuren und die fundamentale Rolle von Institutionen hat in der Innovationsforschung dazu geführt, dass Innovationssysteme als analytischer Rahmen herangezogen werden, um das komplexe Zusammenwirken von Akteuren und ihre Beziehungen zu erfassen. Freeman (1987, S. 1), einer der Pioniere der Innovationssystemforschung, definiert das Innovationssystem auf nationaler Ebene als "the network of institutions in the public and private sectors whose activities and interactions initiate, import, modify, and diffuse new technologies." Der Erfolg von Innovationssystemen hängt eng mit dem Transfer von Wissen zwischen Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen zusammen. Ein solcher Transfer kann über verschiedene Kanäle erfolgen, z. B. durch gemeinsame Forschungsprojekte zwischen Unternehmen, zwischen Hochschulen und Unternehmen, durch die Arbeit von Intermediären (z. B. Technologietransferagenturen), durch Ausgründen oder durch den Wechsel von Mitarbeitern zwischen Hochschule und Unternehmen (OECD, 1997). Innovationssysteme wurden von der Forschung für verschiedene Analyseebenen und Systemgrenzen konzipiert, z. B. Nationale Innovationssysteme (Freeman, 1987), sektorale Innovationssysteme (Malerba, 2002) oder technologische Innovationssysteme (Bergek et al., 2008).

Für eine Analyse des Innovationssystems der Circular Economy stellt sich die wichtige Frage, welche Analyseebene und Systemgrenze hierfür geeignet ist (Carlsson et al., 2002). Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, handelt sich bei der Realisierung der Circular Economy um einen paradigmatischen Wandel, der Produktions-, Konsum- und Entsorgungsstrukturen sowie die politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen in ihrer gesamten Breite umfasst. Das heißt, dass theoretische Ansätze, die sich nur auf einzelne Technologien oder Sektoren beziehen, notwendigerweise zu kurz greifen. Als geeignetere Analyseebene erscheint daher das Nationale Innovationssystem.

Das Nationale Innovationssystem beschreibt auf nationaler Ebene das Netzwerk von Akteuren und Institutionen in Staat und Wirtschaft, das durch seine Aktivitäten und Wechselwirkung versucht, Innovationen zu initiieren, adaptieren und verbreiten (Freeman, 1987). Allerdings sind auch hier einige Anpassungen des Konzepts notwendig. Für das Innovationssystem der Circular Economy ist nicht nur der Transfer von Wissen zwischen den Akteuren konstitutiv, sondern

auch die über Stoffströme vermittelten Beziehungen zwischen Akteuren auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette. An diesen Stoffströmen setzen die Innovationsprozesse an. Dies kann konkret bedeuten, das z. B. für eine Schließung des Materialkreislaufs für PET-Flaschen eine Zusammenarbeit zwischen dem Hersteller der Verpackung, dem Abfüller des Getränks, dem Handel, den Konsumentinnen und Konsumenten, den Logistikunternehmen sowie den Betreibern und Lieferanten der Recyclinganlage erforderlich ist. In der Regel wird es entlang einer solchen Kette einen zentralen Akteur geben müssen, der die Innovationsprozesse und die Abläufe entlang der Kette koordiniert (Schneidewind et al., 2003).

Das Konzept des Nationalen Innovationssystems muss daher an dieser Stelle weiter ausdifferenziert werden, um nicht nur die über Wissensströme, sondern auch die über Stoffströme vermittelten Akteursbeziehungen zu berücksichtigen, da diese den Ausgangspunkt für die Arbeit an Innovationsprojekten zur Umsetzung der Circular Economy bilden. Auf dieser Basis könnten dann auch die unterschiedlichen Interessenslagen und Anreize der Akteure auf den verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette in die Analyse einbezogen werden. Eine Akteursgruppe, der trotz aller Begrenzungen eine Schlüsselrolle zukommt, sind die Konsumenten. Diese treten nicht wie im klassischen Konzept des Nationalen Innovationssystems als (mehr oder weniger passive) Nachfrager nach neuen Technologien bzw. Innovationen auf, sondern können im Rahmen der Circular Economy selbst eine für den Erfolg von Innovationsprozessen wichtige Rolle einnehmen. Über Kaufentscheidungen hinaus nehmen die Konsumenten nämlich Einfluss auf Nutzungsintensität, Wartung, Reparatur, Wiederverwendung oder die Wahl des Entsorgungswegs.

Des Weiteren kommt auch dem Beschaffungsverhalten öffentlicher Einrichtungen eine wichtige Rolle als Impulsgeber für Innovationen zu (vgl. BMU, 2020, Kapitel 5.2.4.2). Ein weiterer Unterschied zum klassischen Konzept des Innovationssystems ist, dass die Trennung zwischen dem Unternehmenssektor auf der einen und dem öffentlichen Sektor auf der anderen im Bereich der Circular Economy weniger scharf verläuft, da sich private und kommunale Unternehmen im Bereich der öffentlichen Daseinsvorsorge viele Aufgaben teilen, wie z. B. die Sammlung und Behandlung von Abfällen.

Nach Malerba (2010) und Bergek et al. (2008) sind die wesentlichen Bausteine eines Innovationssystems Akteure und Netzwerke, Institutionen sowie Wissen und Technologie. Um das Innovationssystem der Circular Economy entlang der oben aufgeführten Ideen zu entwickeln, werden diese Bausteine im Folgenden konkretisiert. Aufgrund der Vielzahl an Stoffströmen, die hierbei zu berücksichtigen sind, und des begrenzten Umfangs dieser Studie beanspruchen die Ausführungen keine Vollständigkeit.

2.2.1 Akteure und Netzwerke

Die für die Circular Economy relevanten Akteure befinden sich in vier verschiedenen Subsystemen: Dem Wirtschaftssystem, dem Bildungs- und Forschungssystem, dem politischen System und dem Rechtssystem.

Die Akteure des *Wirtschaftssystems* können entsprechend ihrer Position in der Wertschöpfungskette identifiziert werden:

- Rohstoffproduzenten bauen natürliche Rohstoffe ab (Primärrohstoffe). Diese werden dann weiter veredelt und gehandelt.
- Die Hersteller industrieller Komponenten nutzen Primär- oder Sekundärrohstoffe, um diese weiterzuverarbeiten und an die Hersteller industrieller Endprodukte zu vertreiben.

- ▶ Die Hersteller industrieller Endprodukte legen durch ihr Produkt- und Verpackungsdesign sowie die Gestaltung ihrer Produktionsprozesse und Vertriebsstrukturen wesentliche Parameter für die Schließung von Kreisläufen fest. Diese sind dann für die Produktlebensdauer, Möglichkeiten der Wiederverwendung und die Recyclingfähigkeit maßgeblich. Zugleich können sie auch als Nachfrager für Sekundärrohstoffe auftreten.
- ▶ Der Handel sowie die privaten und staatlichen Endkonsumenten können durch ihr Nachfrage-, Nutzungs- und Entsorgungsentscheidungen sowohl die Produktionsentscheidungen der Hersteller als auch die Größe und Zusammensetzung der Abfallströme beeinflussen.
- ▶ Eine Vielzahl von Dienstleistern bieten sowohl für Unternehmen als auch für private Haushalte Wartungs-, Reparatur- oder Aufbereitungsleistungen an. Weiterhin sind hier Angebote relevant, die eine gemeinsame Nutzung von Gütern (z. B. Maschinenverleih) ermöglichen oder eine Wiederverwendung nach der Nutzungsphase (z. B. Second-Handel mit Bekleidung).
- ▶ In der Abfall- und Kreislaufwirtschaft gibt es eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Akteure, die für die Sammlung und den Transport von Abfällen, das Recycling, den Handel mit Sekundärrohstoffen sowie die weiteren Entsorgungswege (u. a. Abfallverbrennung, Kompostierung, Deponierung) zuständig sind. Neben Privatunternehmen spielen auch öffentlich-rechtliche Abfallwirtschaftsunternehmen hier eine wichtige Rolle. Eine deutsche Besonderheit in diesem Bereich sind die Dualen Systeme, die nach dem Verpackungsgesetz für die Sammlung und stoffliche bzw. thermische Verwertung von Verpackungsmüll zuständig sind und sich aus Lizenzgebühren der Hersteller bzw. Inverkehrbringer finanzieren.
- ▶ Technologielieferanten entwickeln neue Technologien für die Abfall- und Kreislaufwirtschaft und die Industrie. Der Technologiebegriff umfasst neben Hardware in Form von Maschinen und Anlagen auch Know-how und Software, die insbesondere für die Umsetzung digitaler Lösungen im Bereich der Kreislaufwirtschaft entscheidend sind.

Das *Bildungs- und Forschungssystem* sorgt für die berufliche Qualifikation der Beschäftigten der anderen Subsysteme und legt durch seine Forschungsaktivitäten das Fundament für technologische Innovationen. Zu den Akteuren zählen u. a. Schulen, Einrichtungen der berufsbezogenen Bildung, Hochschulen und Universitäten sowie die außeruniversitäre Forschung. Zwischen dem Forschungs- und dem Wirtschaftssystem spielen sogenannte Intermediäre bei der Vermittlung neuer Erkenntnisse aus der Forschung in das Wirtschaftssystem eine zentrale Rolle. Im deutschen Innovationssystem nehmen die u. a. die Institute der Fraunhofer Gesellschaft, aber auch zahlreiche Transferagenturen und Beratungseinrichtungen eine solche Rolle ein.

Die Akteure des *politischen Systems* diskutieren und formulieren die gesetzlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen für die Kreislaufwirtschaft auf den verschiedenen Politikebenen und beeinflussen, beispielsweise durch die Vorgabe ambitionierter Recyclingziele, die Forschungsförderung oder die öffentliche Beschaffung, das Innovationsgeschehen.

Das *Rechtssystem* beschreibt die Gesamtheit der für die Aktivitäten der Kreislaufwirtschaft relevanten Rechtsnormen sowie deren Auslegung.

Neben den Akteuren selbst sind formale und informale *Netzwerke* ein wichtiges strukturelles Element von Innovationssystemen. Dem Wissenstransfer innerhalb von Innovationsnetzwerken

und der Absorption externen Wissens durch die beteiligten Akteure kommt eine hohe Bedeutung zu. Netzwerke sind zudem wichtig für den horizontalen Austausch von Wissen und Erfahrungen zwischen Akteuren. Die Forschung zur Diffusion von Innovationen hat früh gezeigt, dass der Erfahrungsaustausch auf persönlicher Ebene einen wichtigen Einfluss auf die spätere Akzeptanz von Innovationen hat (Rogers, 1983).

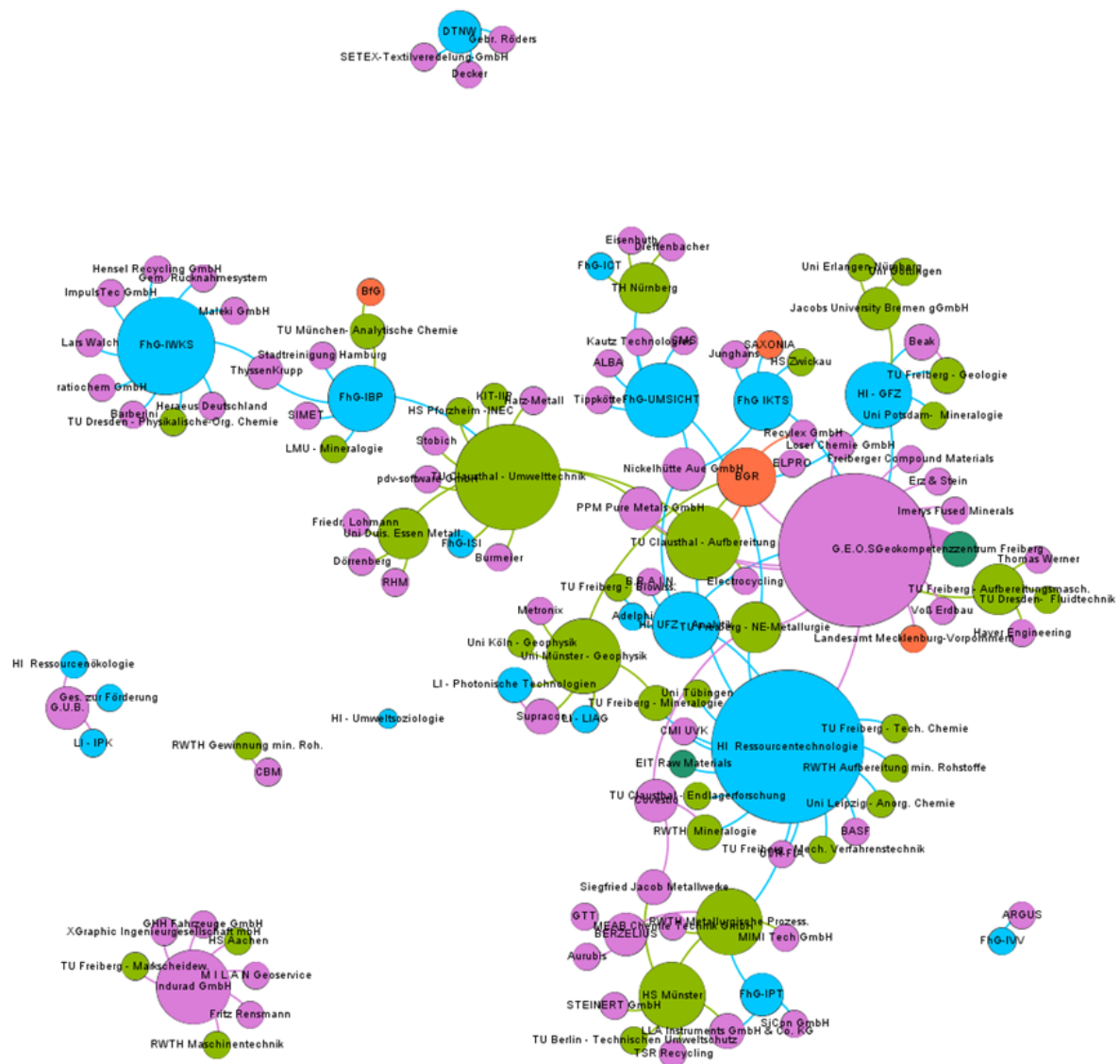
Aufgrund der Vielzahl an sozialen Initiativen und Netzwerken im Bereich der Circular Economy können diese hier nicht mit einem Anspruch auf Vollständigkeit identifiziert werden. Stattdessen werden beispielhaft einige der bekanntesten Netzwerke genannt, die für verschiedene Akteursgruppen relevant sind:

- ▶ Das Zero-Waste Netzwerk, die Repair Café-Initiativen, das Netzwerk WIR e.V., die Maker-Bewegung oder die vielen Sharing-Initiativen, spiegeln das Bedürfnis nach alternativen Formen des Konsums wider und können als Quelle für soziale und organisatorische Innovationen betrachtet werden, die vor allem auf eine längere und intensivere Nutzung von Produkten abzielen.
- ▶ Auf politischer Ebene ist die NaRes-Plattform ein wichtiges Netzwerk zur Begleitung und Umsetzung von ProgRes. Hier sind neben der Politik auch Wirtschaftsverbände, Umwelt- und Verbraucherschutzverbände, Gewerkschaften und kommunale Spitzenverbände vertreten.
- ▶ Das Netzwerk Ressourceneffizienz (NeRes) fördert den Erfahrungsaustausch über Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz und verbindet Politik, Unternehmen, Verbänden, Kammern, Gewerkschaften, Wissenschaften und Einrichtungen des Bundes und der Länder.
- ▶ Die Branchenverbände der Abfall- und Kreislaufwirtschaft (z. B. BDE, bvse, VKU).
- ▶ Das BilRes-Netzwerk fördert den Erfahrungsaustausch zwischen den Akteuren des Bildungssystems und will die verschiedenen Akteure für die Relevanz des Themas Ressourceneffizienz sensibilisieren.
- ▶ Im Bereich der Forschung entstehen Netzwerke häufig über öffentlich geförderte Verbundprojekte. Basierend auf den Projekten der BMBF-Förderinitiative "Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Forschung zur Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe (r4)" zeigt Abbildung 3 die Struktur eines solchen Netzwerks.⁴ Deutlich wird, dass das Netzwerk insgesamt sehr dicht geknüpft ist und dass sich auch Akteure aus der Wirtschaft an dem Programm beteiligen, wodurch den Projekten eine wichtige Rolle beim Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zukommt. In der Regel weisen Universitäten, Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen eine größere Anzahl an Verbindungen zu anderen Akteuren auf als Unternehmen (gemessen an der Kennzahl "weighted degree centrality"⁵), was dadurch erklärt werden kann, dass die Akteure aus dem Wissenschaftssysteme in der Regel die Projekte koordinieren.

⁴ Die Netzwerkanalyse wurde im Rahmen des Integrations- und Transferprojekts r4-INTRA der Förderinitiative r4 durchgeführt.

⁵ Der Grad (centrality) eines Netzwerkknotens (Forschungseinrichtung) misst die Anzahl der Kanten, die mit dem Knoten verbunden sind. Die Kanten werden über Projektbeziehungen in r4 hergestellt. Die Gewichtung des Grades berücksichtigt zusätzlich die Art der Projektbeziehung.

Abbildung 3: Forschungsnetzwerk im Bereich Ressourceneffizienz (basierend auf Daten der BMBF-Förderinitiative r4)



Quelle: Eigene Darstellung (Legende: Größe der Kreise = Weighted Degree Centrality, Farbe der Kreise: pink = Unternehmen, hellgrün = Universitäten/Hochschulen, hellblau = Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, rot = Behörden, dunkelgrün = Verbände/Netzwerke)

2.2.2 Institutionen

Das Verhalten der Akteure in einem Innovationssystem wird durch formale und informale Institutionen beeinflusst. Hierzu zählen Gesetze, Praktiken, Routinen oder Branchenstandards. Die Abfallwirtschaft ist ein Sektor, der aufgrund seiner Bedeutung für den Umweltschutz und die öffentliche Daseinsvorsorge in einem hohen Maße von den gesetzlichen Rahmenbedingungen beeinflusst wird (Kranert & Cord-Landwehr, 2009). Zugleich spielt die öffentliche Forschungsförderung eine wichtige Rolle bei der Beeinflussung des Innovationsgeschehens. Daher werden im Folgenden die Institutionen aus dem Bereich der Umwelt- und der Innovationspolitik ausführlicher behandelt.

2.2.2.1 Umweltpolitik

Angesichts der hohen Dichte an Gesetzen und Verordnungen, die den Umgang mit den verschiedenen Abfallstoffströmen (u. a. Bioabfall, Gewerbeabfall, Klärschlamm, Altbatterien, Altfahrzeuge, Altöl, etc.) spezifisch regeln, konzentrieren sich die Ausführungen an dieser Stelle auf die grundlegenden Prinzipien des Kreislaufwirtschaftsrechts. Hierbei nimmt das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) eine zentrale Stellung ein. Das KrWG ging im Jahr 2012 aus einer Novelle des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes von 1996 hervor und formuliert wesentliche Grundsätze für den Umgang mit Abfällen. Eine weitere Novelle des KrWG ist am 29.10.2020 in Kraft getreten. Zweck des KrWG ist es, "die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen" (§ 1).

In diesem Sinne formuliert § 6 KrWG folgende Rangfolge der Maßnahmen zur Abfallvermeidung und Abfallbewirtschaftung: Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, "sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung" und Beseitigung (siehe Kapitel 2.1). Die Abfallhierarchie ist für alle Abfallströme verbindlich. Allerdings wurden die Bestimmungen des KrWG für eine ganze Reihe an Abfallströmen (z. B. Altfahrzeuge, Verpackungen, Gewerbeabfälle) durch Rechtsverordnungen konkretisiert. Des Weiteren greift § 23 KrWG das Prinzip der Produktverantwortung auf, welches die Hersteller verpflichtet, ihre Produkte kreislauffreundlich zu gestalten. Nach § 23 Absatz 2 KrWG umfasst die Produktverantwortung unter anderem folgende Verpflichtungen:

- ▶ Satz 1: Die Entwicklung, die Herstellung und das Inverkehrbringen von Erzeugnissen, die ressourceneffizient, mehrfach verwendbar, technisch langlebig, reparierbar und nach Gebrauch zur ordnungsgemäßen, schadlosen und hochwertigen Verwertung sowie zur umweltverträglichen Beseitigung geeignet sind,
- ▶ Satz 2: Den vorrangigen Einsatz von verwertbaren Abfällen oder sekundären Rohstoffen, insbesondere Rezyklaten, bei der Herstellung von Erzeugnissen,
- ▶ Satz 4: Die Stärkung der Wiederverwendung von Erzeugnissen, insbesondere die Unterstützung von Systemen zur Wiederverwendung und Reparatur,
- ▶ Satz 5: Die Senkung des Gehalts an gefährlichen Stoffen sowie die Kennzeichnung von schadstoffhaltigen Erzeugnissen, um sicherzustellen, dass die nach Gebrauch der Erzeugnisse entstandenen Abfälle umweltverträglich verwertet oder beseitigt werden,
- ▶ Satz 6: Den Hinweis auf Rückgabe-, Wiederverwendungs-, Verwertungs- und Beseitigungsmöglichkeiten oder -pflichten und Pfandregelungen durch Kennzeichnung der Erzeugnisse,
- ▶ Satz 7: Die Rücknahme der Erzeugnisse und der nach Gebrauch der Erzeugnisse entstandenen Abfälle sowie deren nachfolgende umweltverträgliche Verwertung oder Beseitigung,
- ▶ Satz 8: Die Übernahme der finanziellen oder der finanziellen und organisatorischen Verantwortung für die Bewirtschaftung der nach Gebrauch der Erzeugnisse entstandenen Abfälle,

Diese, im Kern sehr weit reichenden Forderungen werden vom Gesetzgeber jedoch in § 23 Absatz 3 durch einen Hinweis auf das Gebot der Verhältnismäßigkeit entsprechend KrWG § 7 Absatz 4⁶ und die Beachtung potentieller Konflikte mit anderen Rechtsvorschriften relativiert.

Die konkreten Verpflichtungen müssen auch in diesem Fall durch Rechtsverordnungen geklärt werden. Eine Produktverantwortung nach § 23 Absatz 2 wurde z. B. für Verpackungen, Altfahrzeuge, Altbatterien, Elektro- und Elektronikgeräte durch entsprechenden Verordnungen umgesetzt. Dies bedeutet konkret, dass die Hersteller bzw. Inverkehrbringer Kennzeichnungs-, Rücknahme-, Verwertungs- und Finanzierungspflichten übernehmen müssen.

Ein weiterer für die Entwicklung in Richtung Circular Economy bemerkenswerter Ansatz stammt aus dem Verpackungsgesetzes (VerpackG) aus dem Jahr 2019. In § 21 greift das VerpackG den Design for Recycling-Ansatz auf. Dieser zielt darauf ab, die Recyclingfähigkeit von Verpackungen bei der Bemessung der Beteiligungsentgelte für die Dualen Systeme zu berücksichtigen. Hierdurch soll ein finanzieller Anreiz für die Verwendung recyclingfreundlicher Verpackungen geschaffen werden. Um die Recyclingfreundlichkeit einer Verpackung anhand von konkreten Kriterien beurteilen zu können, wurde von der neu eingerichteten "Zentralen Stelle Verpackungsregister" eine entsprechende Orientierungshilfe erarbeitet. Darüber hinaus wurde die Förderung des Recyclings und der Kreislaufschließung in den letzten Jahren von folgenden Rechtsverordnungen aufgegriffen:

- Die Novellierung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) im Jahr 2017, insbesondere zur Verbesserung der Rückgewinnung von Phosphor,
- Die Novellierung der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) im Jahr 2017, insbesondere zur Ausweitung der Getrennthaltspflichten,
- die geplante Einführung der Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV), insbesondere zur bundeseinheitlichen Regelung des Einsatzes von Recycling-Baustoffen.

Der rechtliche Rahmen der deutschen Kreislaufwirtschaft wird zunehmend durch politische Programme der EU-Kommission, beispielsweise dem Circular Economy Action Plan (European Commission, 2020) und der europäischen Plastikstrategie (European Commission, 2018) beeinflusst. Obwohl das KrWG die Abfallvermeidung an die Spitze der Abfallhierarchie gestellt hat, liegt der Fokus der aus dem KrWG abgeleiteten Rechtsverordnungen in der Regel auf den Aspekten Abfallsammlung und umweltfreundliche Verwertung. Um die Vorgaben der Abfallrahmenrichtlinie zu erfüllen, wurde im Jahr 2013 von der Bundesregierung das Abfallvermeidungsprogramm verabschiedet (BMU, 2013) Hauptziel des Abfallvermeidungsprogramms ist der "Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit durch die Abkopplung des Wirtschaftswachstums von den mit der Abfallerzeugung verbundenen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt (BMU, 2013, S. 21)." Die Maßnahmen konzentrieren sich dabei auf folgende Bereiche:

- Information und Sensibilisierung der verschiedenen Akteursgruppen, z. B. durch Förderung von Initiativen zur Wiederverwendung und Mehrfachnutzung von Produkten,

⁶ § 7 Absatz 4 KrWG regelt: "Die Pflicht zur Verwertung von Abfällen ist zu erfüllen, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist, insbesondere für einen gewonnenen Stoff oder gewonnene Energie ein Markt vorhanden ist oder geschaffen werden kann. Die Verwertung von Abfällen ist auch dann technisch möglich, wenn hierzu eine Vorbehandlung erforderlich ist. Die wirtschaftliche Zumutbarkeit ist gegeben, wenn die mit der Verwertung verbundenen Kosten nicht außer Verhältnis zu den Kosten stehen, die für eine Abfallbeseitigung zu tragen wären."

- Forschung und Entwicklung im Bereich Abfall vermeidendes Produktdesign,
- Rechtliche Rahmenbedingungen für die Abfallvermeidung, z. B. Integration des Aspekts der Abfallvermeidung in die Ökodesign-Richtlinie.

2.2.2.2 Innovationspolitik

Die staatliche Förderung von Innovationen für eine Circular Economy erfolgt durch verschiedene Programme. Eines davon ist das Rahmenprogramm FONA (Forschung für die Nachhaltige Entwicklung) des BMBF, das sich mit dem Forschungsschwerpunkt "Ressourceneffizienztechnologien" der Förderung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten widmet. Schwerpunkte waren bisher "Rohstoffintensive Produktionsprozesse", "Strategische Metalle und Mineralien", "Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe" und "Impulse für industrielle Ressourceneffizienz". In diesem Rahmen wurden zahlreiche Forschungsaktivitäten gefördert, die darauf abzielen, Wertstoffe aus Abfallströmen zurückzugewinnen. Die Entwicklung der hier geförderten Technologien bis zur Marktreife stellt die Unternehmen vor besondere Herausforderungen: Die notwendigen Pilot- und Demonstrationsvorhaben sind mit hohen Investitionen und begleitenden Entwicklungsmaßnahmen verbunden, aber gleichzeitig in ihrem Erfolg ungewiss. Mit der Fördermaßnahme r+Impuls verfolgt das BMBF daher eine neue Förderstrategie, die auf die Übertragung vielversprechender FuE-Ergebnisse in die industrielle Praxis abzielt. Anders als in den gängigen BMBF-Fördermaßnahmen ist als Ausgangspunkt der Forschungen mindestens ein TRL⁷ (Technology Readiness Level) 5 Voraussetzung. Damit soll eine Lücke in der staatlichen Innovationsförderung geschlossen und das sogenannte „Tal des Todes“⁸ vermieden werden. Schwerpunkte von r+Impuls sind:

- die effiziente Nutzung von Rohstoffen bei der Herstellung von Produkten und dem Betrieb von Anlagen,
- das Recycling von Altmaterialien zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen,
- die Substitution von kritischen Rohstoffen und solchen mit großem ökologischem Fußabdruck durch weniger kritische und ressourcenleichtere sowie
- die Nutzung von Kohlendioxid als Inputmaterial.

In dem aktuellen BMBF-Forschungskonzept "Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Forschungskonzept für eine kreislaufoptimierte Wirtschaftsweise" sollen mit einem Volumen von 150 Millionen Euro technische, organisatorische und soziale Innovationen gefördert werden, die auf die Entwicklung ressourceneffizienter Kreisläufe, branchenübergreifender Wertschöpfungsnetze oder Kaskadensysteme für Produkte und Materialien abzielen (BMBF, 2018).

Das BMU fördert im Rahmen seines Umweltinnovationsprogramms großtechnische Demonstrationsvorhaben in den Bereichen "Abfallvermeidung, -verwertung und -beseitigung sowie Sanierung von Altablagerungen" und "Ressourceneffizienz / Materialeinsparungen". Weiterhin werden im Rahmen des Umweltforschungsplans wissenschaftliche Projekte gefördert, die sich mit der Erfassung und den Potentialen zur Rückgewinnung von Wertstoffen aus Abfallströmen auseinandersetzen. Darüber hinaus gibt es viele weitere öffentlich und private Fördergeber, wie

⁷ Der TLR ist eine Skala zur Bewertung des Entwicklungsstandes neuer Technologien. Er gibt auf einer Skala von 1 bis 9 an, wie weit entwickelt eine Technologie auf dem Weg zur Marktreife ist.

⁸ Das "Tal des Todes" beschreibt Finanzierungsengpässe, die zwischen der Phase der Grundlagenforschung und der Kommerzialisierungsphase eines neuen Produkts auftreten.

z. B. die EU-Kommission oder die Bundesstiftung Umwelt, die Innovationen im Bereich der Circular Economy fördern.

2.2.3 Wissen und Technologie

Die traditionelle Wissensbasis der Abfall- und Kreislaufwirtschaft umfasst ein weites Spektrum an Technologien und Know-how in den Bereichen Abfallsammlung und -transport, Abfallsortierung, Recycling, Kompostierung, Abfallverbrennung und Deponierung. In welchen Bereichen des Innovationssystems dieses Wissen entsteht, wird im Folgenden anhand von Patentdaten erörtert. Vorausgeschickt werden muss allerdings, dass für die Realisierung einer Circular Economy auch Innovationen benötigt werden, die auf Nutzungsdauerverlängerung, Nutzungsintensivierung oder Wiederverwendung abzielen. Hierbei spielen neben organisatorischen und sozialen Innovationen auch technologische Innovationen eine zunehmend wichtige Rolle, da z. B. das Sharing von Bekleidung oder die Vermeidung von Lebensmittelabfällen häufig über digitale Plattformen und Apps ermöglicht wird. Eine systematische Erfassung des Innovationsgeschehens bei den digitalen Technologien würde jedoch den Umfang dieser Kurzstudie sprengen und kann zudem über Patentanalysen nur schwer abgebildet werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen einer früheren UBA-Studie (Sartorius & Gandenberger, 2016), die die Patentanmeldungen für verschiedene Umwelttechnologiebereiche basierend auf der europäischen CEPA/CRReMA-Systematik (siehe Anhang 1) einzelnen Branchen zuordnet,⁹ können für folgende Technologiebereiche Aussagen darüber getroffen werden, welche Branchen die entsprechenden Innovationen hervorbringen. Die CEPA (Classification of Environmental Protection Activities)-Klassifikation fokussiert auf Umweltschutzaktivitäten und gliedert sich nach Umweltmedien und -problemen wie Luft, Lärm etc. Die CRReMA (Classification of Resource Management Activities) erfasst Aktivitäten zum Schutz von Naturressourcen. Obwohl die Patentdaten schon älter sind, kann vermutet werden, dass sich die Anmeldestrukturen seither nicht wesentlich verändert haben.

Tabelle 1: Patente im Bereich Abfall- und Recyclingtechnologie in Deutschland

CEPA/ CRReMA- Klassen	Technologiebereiche	Anzahl Patente 2006-2011	Anteil Großunternehmen (> 249 Mitarbeiter) an den Patentanmeldern
3	Allgemeine Recyclingtechnologien, Sammlung und Transport von Abfällen, Deponierung, Kompostierung, Abfallverbrennung	982	52 %
13 C	Recycling von Kunststoffen und Reparieren von Gegenständen aus Kunststoff	147	61 %
14	Recycling: Spezifische Verfahren zur Wiedergewinnung bestimmter Materialien	96	85 %

Quelle: Sartorius & Gandenberger, 2016

► CEPA 3

⁹ Die Auswertungen basieren auf transnationalen und nationalen Patentanmeldungen deutscher Anmelder (Firmensitz in Deutschland) beim Europäischen Patentamt und dem Deutschen Patent- und Markenamt (DPMA), die mit Hilfe einer entsprechenden Abfrage der PATSTAT-Datenbank ermittelt wurden. Die Patentabfragen erfolgten für jeden Bereich der CEPA- und CRReMA-Klassifikation getrennt. Berücksichtigt wurden Patentanmeldungen im Zeitfenster 2006 – 2011.

In der Klasse CEPA 3 befinden sich Technologien aus den Bereichen Abfallverbrennung, Kompostierung, Deponierung, Abfallsammlung und -transport sowie Recycling. Das Spektrum der am Innovationsgeschehen beteiligten Branchen ist auch aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Technologien vergleichsweise breit, wobei der Maschinenbau, der Sektor "Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen" und der Sektor "Herstellung von chemischen Erzeugnissen" die höchsten Anteile an den Patentanmeldungen haben, jedoch insgesamt nur für knapp über 50 % der Patentanmeldungen verantwortlich sind.

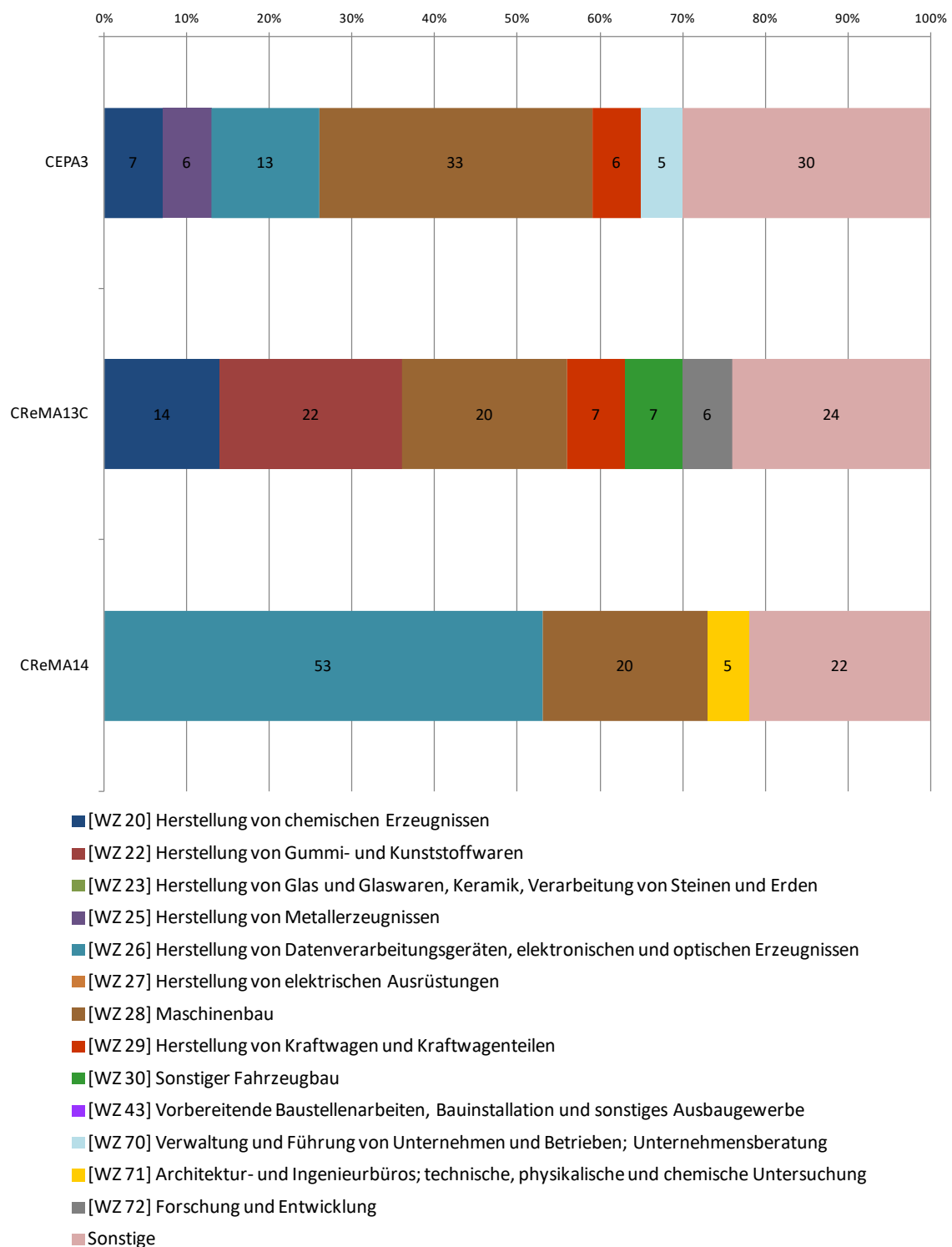
► CReMA 13 C

Die CReMA 13 C umfasst Innovationen im Bereich Kunststoffrecycling, zur Reparatur von Gegenständen aus Kunststoff und Einsatz von Sekundärkunststoff in Produkten. Die wichtigsten Sektoren sind die Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren, der Maschinenbau und die Chemische Industrie.

► CReMA 14

Die CReMA 14 umfasst Technologien, die der Wiedergewinnung von Metallen und Mineralien aus Abfällen dienen (Recycling). Insgesamt handelt es sich hierbei um eine Klasse, die relativ wenige Patente enthält. Vor diesem Hintergrund sind Aussagen zur Branchenstruktur nur unter großen Einschränkungen möglich und müssen mit Vorsicht interpretiert werden. Der hohe Anteil des Sektors "Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen" ist ausschließlich auf die Aktivitäten der Firma Siemens in diesem Technologiebereich zurückzuführen.

Abbildung 4: Prozentualer Anteil der Wirtschaftszweige an den Patenten



Quelle: Sartorius & Gandenberger, 2016

Die Analyse der Patentdaten zeigt, dass die Abfall- und Kreislaufwirtschaft stark auf technologische Innovationen des Maschinenbaus, der Hersteller von Datenverarbeitungsgeräten, der Hersteller von chemischen Erzeugnissen und der Hersteller von Gummi- und Kunststoffwaren zurückgreift.

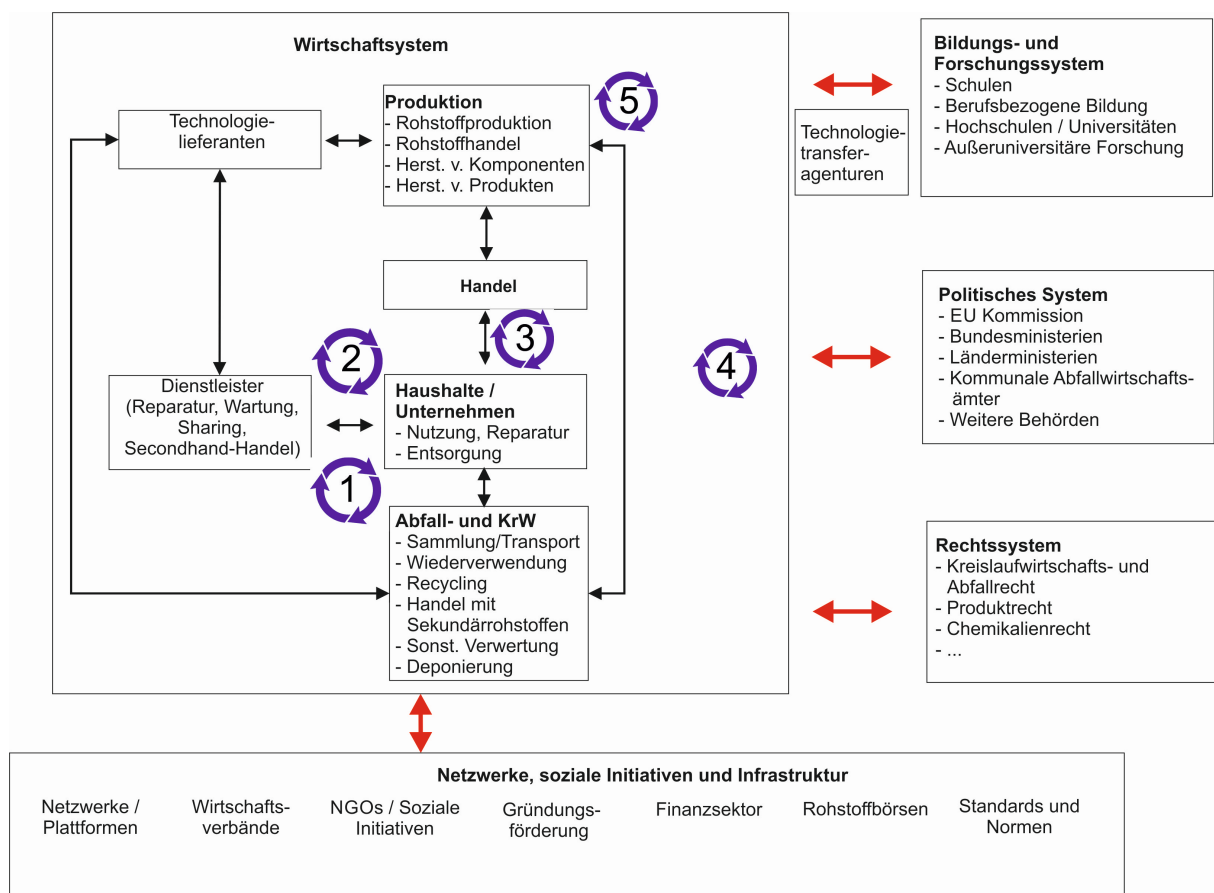
2.2.4 Zusammenfassende Darstellung des Innovationssystems

Die bisherigen Erkenntnisse werden in Abbildung 5 zusammengefasst, die das Innovationssystem der Circular Economy darstellt. Das Innovationssystem wird grob durch die Subsysteme Wirtschaftssystem, Bildungs- und Forschungssystem, politisches System und Rechtssystem strukturiert. Weitere Elemente sind Netzwerke, soziale Initiativen und Infrastrukturen, wie z. B. das Finanzwesen oder die Gründungsförderung.

Die Interaktionen zwischen den Subsystemen werden durch *rote* Pfeile dargestellt, die sich auf den wechselseitigen Austausch von Wissen in seinen unterschiedlichen Erscheinungsformen (z. B. persönliche Kompetenzen, publizierte Forschungsergebnisse, technologische Hardware) oder institutionell vermittelte Wechselwirkungen (z. B. Beeinflussung der Innovationsaktivitäten durch strengere gesetzliche Vorgaben) beziehen. Innerhalb des Wirtschaftssystems werden die Beziehungen zwischen den Akteursgruppen anders, nämlich durch *schwarze* Pfeile, dargestellt, da neben dem Austausch von Wissen, Personen und Institutionen auch ein Austausch von Stoffen erfolgt. Die Stoffströme zwischen den Akteuren können Primär- oder Sekundärrohstoffe, Materialien, Komponenten, Produkte oder Abfälle umfassen. Im Wirtschaftssystem sind weiterhin kleine Kreise eingezeichnet, welche die verschiedenen Stoffkreisläufe symbolisieren, die charakteristisch für eine Circular Economy sind. Basierend auf den Ausführungen in Kapitel 2.1 sind das die folgenden Kreisläufe:

- ▶ Kreislauf Nr. 1: Nutzungsintensivierung (z. B. Maschinenverleih) bzw. Nutzungsdauerverlängerung (Wartung, Reparatur),
- ▶ Kreislauf Nr. 2: Wiederverwendung, vermittelt durch Dienstleister (z. B. Handel mit Second-Hand-Produkten),
- ▶ Kreislauf Nr. 3: Wiederverwendung nach Aufbereitung durch den Hersteller (z. B. Refurbishment von MRT-Geräten),
- ▶ Kreislauf Nr. 4: Verwertung von Post-Consumer, gewerblichen, industriellen oder landwirtschaftlichen Abfällen, Residuen oder Abwässern durch die Recyclingwirtschaft, die kommunale Abfallwirtschaft oder die Unternehmen selbst (z. B. Recycling von Verpackungsabfällen im Dualen System),
- ▶ Kreislauf Nr. 5: Abfallvermeidung bzw. internes Recycling von Abfällen im Produktionsprozess (z. B. Verwendung von Resten aus der Lederproduktion zum Gerben von neuem Leder).

Abbildung 5: Das Innovationssystem der Circular Economy



Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an Kuhlmann/Arnold (2001)

Neben den vertikalen "Hauptprozessen" in der Wertschöpfungskette des Wirtschaftssystems gibt es horizontale Austauschbeziehungen, die für die Realisierung der Circular Economy eine wichtige Rolle spielen. Zum einen sind dies Technologielieferanten, die Innovationen für Hersteller, Dienstleister oder die Abfall- und Kreislaufwirtschaft entwickeln und somit die technologischen Grundlagen für die Schließung der Kreisläufe Nr. 1-5 liefern. Zum anderen sind dies die Dienstleister selbst, die durch ihre Geschäftsmodelle die Kreisläufe Nr. 1-2 schließen. Aufgrund der langen Historie und der faktischen Dominanz des linearen Wirtschaftsmodells müssen neben neuen Technologien und Geschäftsmodellen an vielen Stellen weitere Innovation entstehen und sich verbreiten, um eine Circular Economy zu realisieren.

3 Beurteilung des Innovationsgeschehens und der auf die Zukunft gerichteten Innovationsimpulse

3.1 Functions of Innovation-Ansatz

Der funktionale Ansatz für technologische Innovationssysteme betont die Bedeutung verschiedener funktionaler Innovationsprozesse, die die Gesamtleistung des Innovationssystems bestimmen (Hekkert et al., 2007). Obwohl dieser Ansatz originär auf die Analyse von Innovationsprozessen bei konkreten Technologien zugeschnitten ist und dadurch nicht alle Aspekte des paradigmatischen Wandels zur Circular Economy abdeckt, der sich ja durch eine Vielzahl an mitei-

einander verzahnten technologischen, sozialen und organisatorischen Innovationen zusammensetzt, bietet die funktionale Analyse insgesamt doch ein geeignetes analytisches Grundgerüst, um das Innovationsgeschehen in diesem Bereich besser zu verstehen.

Bergek et al. (2010) unterscheiden folgende Funktionen: Wissensentwicklung und -diffusion, Einfluss auf die Suchrichtungen, unternehmerisches Experimentieren, Entstehung von Märkten, Legitimation, Ressourcenmobilisierung und Entwicklung positiver Externalitäten. Das Hauptziel der funktionalen Betrachtungsweise besteht darin, relevante Fragen zu identifizieren und Ziele für die zukünftige Entwicklung des Innovationssystems zu setzen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Identifizierung von Schwächen oder Systemfehlern, die die Leistungsfähigkeit des Systems bedrohen. Hierbei kann bei den Funktionen angesetzt werden, die ein Innovationssystem erfüllen sollte (Bergek et al., 2008):

a) Wissensentwicklung und -diffusion

Diese Funktion erfasst die Breite und Tiefe der aktuellen Wissensbasis und wie sich diese im Laufe der Zeit verändert, einschließlich der Art und Weise, wie das Wissen im System verbreitet und kombiniert wird. Hierbei kann zwischen verschiedenen Arten von Wissen, z. B. technologischem Wissen, Branchen- oder Marktkenntnissen und zwischen verschiedenen Quellen der Wissensentwicklung, z. B. Forschung und Entwicklung, Imitation oder unternehmerisches Experimentieren, unterschieden werden.

b) Einfluss auf die Suchrichtung

Wenn sich ein Innovationssystem entwickeln soll, müssen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und andere Akteure einen Anreiz haben, sich auf diesem Gebiet zu engagieren. Zudem muss innerhalb des Innovationssystems ein gewisser Konsens darüber herrschen, welche der konkurrierenden Ansätze, Technologien und Geschäftsmodelle weiterverfolgt werden sollen und welche nicht. Hierüber entscheidet in der Regel nicht ein einzelner Akteur, obwohl die Regulierungstätigkeit des Staates im Bereich der Umwelttechnologien ein entscheidender Einflussfaktor sein kann. Wichtig an dieser Stelle sind gemeinsame Erwartungen über die zukünftige Entwicklung und der geteilte Glaube an das Wachstumspotential der Technologie.

c) Unternehmerisches Experimentieren

Innovationen entwickeln sich unter erheblicher Unsicherheit in Bezug auf Technologie, Anwendungsmöglichkeiten und Märkte. Eine wichtige Quelle zur Reduktion dieser Unsicherheit ist die unternehmerische Tätigkeit, die ein Ausprobieren neuer Technologien und Anwendungen beinhaltet. Hierbei scheitern viele Akteure, aber einige sind erfolgreich und dadurch entwickelt sich ein gesellschaftlicher Lernprozess.

d) Marktbildung

Die Entstehung von Märkten durchläuft normalerweise drei Phasen mit ganz unterschiedlichen Merkmalen:

- Zunächst müssen sich Nischenmärkte entwickeln, um Experimentier- und Lernräume zu eröffnen,
- Bei anhaltendem Wachstum des Nischenmarkts erhöht sich das Marktvolumen und das Innovationssystem wird durch neue Akteure erweitert,
- Massenmarkt.

e) Legitimation

Legitimität ist eine Frage der gesellschaftlichen Akzeptanz: die neue Technologie und ihre Befürworter müssen von den relevanten Akteuren als angemessen und wünschenswert erachtet werden, damit Ressourcen mobilisiert werden, Nachfrage entsteht und die Position der Akteure gefestigt wird.

f) Mobilisierung von Ressourcen

Inwieweit ist das Innovationssystem in der Lage, Investitionen aus anderen Bereichen anzuziehen? Neben finanziellen Investitionen umfasst dies auch die Investitionen in die Bildung von Humankapital bzw. neuer Kompetenzen durch individuelle Bildungsanstrengungen.

g) Entwicklung positiver externer Effekte

Der systemische Charakter von Innovations- und Diffusionsprozessen bedeutet, dass die Entstehung positiver externer Ökonomien ein Schlüsselprozess bei der Bildung und dem Wachstum eines Innovationssystems ist.

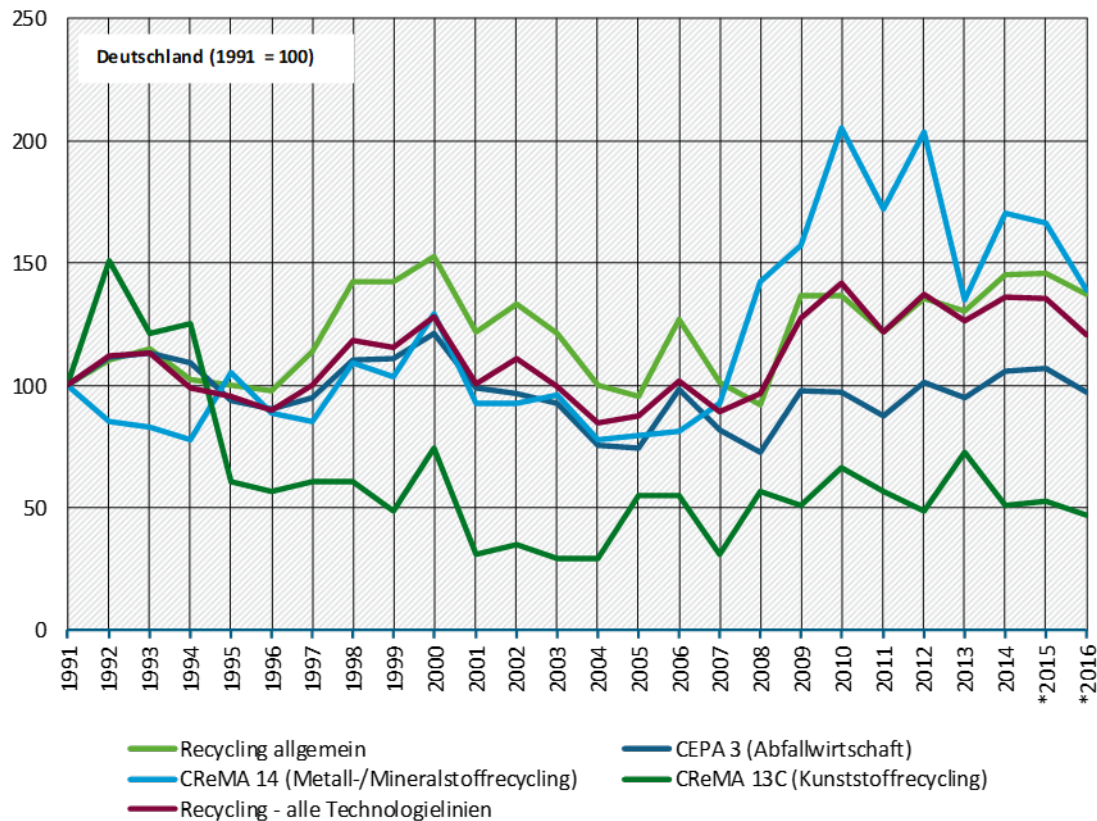
3.2 Funktionale Analyse des Innovationsgeschehens in Richtung Circular Economy

Die von Bergek et al. (2008) beschriebenen Innovationsfunktionen können nun für das in Kapitel 2.2.4 skizzierte Innovationssystem der Circular Economy diskutiert werden. Auch hier gilt die Einschränkung, dass das betrachtete Innovationssystem sehr umfangreich ist und dass aufgrund der Komplexität der Stoff- und Materialströme mit zum Teil sehr unterschiedlichen Akteuren, Technologien, Märkten und Institutionen hier keine umfassende Diskussion der Innovationsfunktionen erfolgen kann.

a) Wissensentwicklung und -diffusion

Bei der Analyse der Innovationsdynamik im technologischen Bereich kann auf Patentdaten zurückgegriffen werden, die für die Studie "Innovationsmotor Umweltschutz: Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich - Aktualisierte Ausgabe 2019"¹⁰ erhoben wurden. Wie bereits in Kapitel 2.2.3 erwähnt, handelt es sich hierbei um einen Ausschnitt der für die Circular Economy relevanten Wissensbasis, der sich auf die Bereich Recycling und Abfallwirtschaft konzentriert.

Im Einklang mit der CEPA/CreMA-Systematik (siehe Anhang 1) wurde bei der Patentanalyse zwischen stoffstromspezifischen und -unspezifischen Recyclingtechnologien ("Recycling allgemein") unterschieden. Wie Abbildung 6 zeigt, ist die Patentdynamik bei den unspezifischen Recyclingtechnologien sowie bei den Technologien zum Recycling von Metallen und Mineralien am höchsten (Steigerung der Zahl der jährlichen Patentanmeldungen um knapp 50 % zwischen 1991 und 2016). Jedoch muss einschränkend angemerkt werden, dass die Patentdynamik in diesen beiden Bereichen deutlich hinter der allgemeinen Patentdynamik (+150 % im selben Zeitraum) in Deutschland zurückbleibt. Die Patentanmeldungen im Bereich der Abfallwirtschaft sind konstant und beim Kunststoffrecycling stark rückläufig. Über alle Recyclingtechnologien hinweg betrachtet ("Recycling - alle Technologielinien") kam es zu einer leichten Zunahme der Patentanmeldungen, die jedoch in Relation zur allgemeinen Patentdynamik in Deutschland als eher gering einzuschätzen ist.

Abbildung 6: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen bei Recycling und Abfallwirtschaft


Quelle: Gehrke et al. (2019), * geschätzte Werte

Anhand der Patentzahlen lässt sich somit nur eine leichte Zunahme der Dynamik im Bereich der Wissensentwicklung feststellen. Allerdings muss einschränkend angemerkt werden, dass die hier betrachteten Technologien nur die Kreisläufe Nr. 4 und Nr. 5 betreffen und die anderen Kreisläufe der Circular Economy, bei denen neben digitalen Technologien auch organisatorische, soziale und institutionelle Innovationen eine wichtige Rolle spielen, mit Hilfe der Patentdaten nicht erfasst werden können. Hierzu sind gesonderte Forschungsanstrengungen notwendig.

b) Einfluss auf die Suchrichtung

Die Suche der Akteure nach neuen Technologien oder Geschäftsmodellen im Bereich der Kreislaufwirtschaft kann durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst werden. In Bezug auf die Kreisläufe Nr. 4 und 5 der Circular Economy erfüllt die Ordnungspolitik seit jeher eine wichtige Steuerungsfunktion (Kranert & Cord-Landwehr, 2009). Ordnungspolitische Initiativen richten sich in erster Linie an die Hersteller von Produkten und legen im Rahmen der Produktverantwortung Pflichten für die Sammlung und Verwertung von Abfällen fest. Bisher besteht jedoch ein Mangel an verbindlichen Initiativen des Gesetzgebers, die darauf ausgerichtet sind, von den Herstellern ein ressourcenschonendes Produktdesign einzufordern bzw. entsprechende Anreize zu setzen. Eine Ausnahme bildet hier die Ökodesign-Richtlinie und deren Weiterentwicklung in Bezug auf die Aspekte Langlebigkeit und Reparierbarkeit. Allerdings bezieht sich die Öko-Designrichtlinie nur auf energieverbrauchrelevante Produktgruppen (aktuell: Server, Speichergeräte, Kühlschränke, Beleuchtung, Bildschirme, Geschirrspüler, Waschmaschinen, Motoren, Transformatoren, externe Netzteile, Schweißgeräte und Kühlgeräte). Weitere regulative Ansätze zur Stärkung der Produktverantwortung und Kreislaufschließung sind die Novelle des KrWG im Oktober

2020, das im Januar 2019 in Kraft getretene neue Verpackungsgesetz und die 2017 in Kraft getretenen Novellen der Gewerbeabfallverordnung sowie der Klärschlammverordnung.

Wichtige Impulse für die Regulierung im Bereich Circular Economy kommen in jüngster Zeit von der EU-Ebene:

- ▶ So nimmt das am 1. Januar 2019 in Kraft getretene Verpackungsgesetz die Zielsetzung der Europäischen Plastikstrategie (55 % stoffliches Recycling bis 2025) auf und erhöht die (stoffliche) Recyclingquote von bisher 36 % auf 58,5 % (ab 2019) bzw. 62 % (ab 2025). Die europäische Plastikstrategie schlägt die Förderung eines stärker standardisierten Recyclings und die Entwicklung von Qualitätsstandards für getrennte Kunststoffabfälle und recycelte Kunststoffe vor, um hierdurch die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen und eine Substitution von Primär- durch Sekundärrohstoffe zu fördern.
- ▶ In Bezug auf Elektroaltgeräte (EAG) schreibt die Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronikaltgeräte ab dem Jahr 2019 eine Mindestsammelquote von 65 % vor. Diese Vorgabe aus Brüssel erhöht auch in Deutschland den Druck, weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Sammelquote zu ergreifen. Die bisher erreichten Sammelquoten von ca. 39 % - 45 % (im Jahr 2019: 43,1 %) werden dann nicht mehr ausreichen. Hierdurch werden vor allen organisatorische und soziale Innovationen angeregt, um die Sammlung von Elektroaltgeräte effektiver zu gestalten.
- ▶ Die Vorgaben der neuen Abfallrahmenrichtlinie der EU und einzelner Regelungen der Richtlinie 2019/904/EU (Einweg-Kunststoff-Richtlinie), die sich nicht auf Verpackungen beziehen, wurden durch die jüngste Novelle des KrWG aufgegriffen. Als konkrete Punkte sind hier u.a. zu nennen: Die Anhebung von Recyclingquoten, die Verschärfung und Ausdehnung von Getrenntsammlungspflichten, die Erweiterung der Produktverantwortung, die Verstärkung der Vermeidung von Abfällen (z. B. durch Wiederverwendung) sowie der Ausbau und die Spezifizierung des Abfallvermeidungsprogramms und der Abfallwirtschaftskonzepte.

Es wird deutlich, dass das Paradigma der Circular Economy in den letzten Jahren immer stärker zur Richtschnur für politische Initiativen geworden ist. Im Vordergrund stehen bisher Optimierungen der Kreisläufe Nr. 4 und 5, wobei für eine echte Schließung dieser Kreisläufe auch Vorgaben bzw. Anreize zur Substitution von Primär- durch Sekundärmaterial gemacht werden müssten. Hierdurch fehlt ein zentraler Nachfrageimpuls für technologische und organisatorische Innovationen, wenn sich eine solche Substitution für die Hersteller aufgrund niedriger Primärrohstoffpreise nicht rechnet oder durch andere Barrieren behindert wird. Auch die im VerpackungsgG vorgesehenen finanziellen Anreize für ein recyclingfreundliches Verpackungsdesign werden aller Wahrscheinlichkeit nach nicht ausreichend sein, da die höheren Verpackungsentgelte nur einen kleinen Bruchteil der Gesamtkosten des Herstellers ausmachen und zudem auf die Konsumenten abgewälzt werden können.

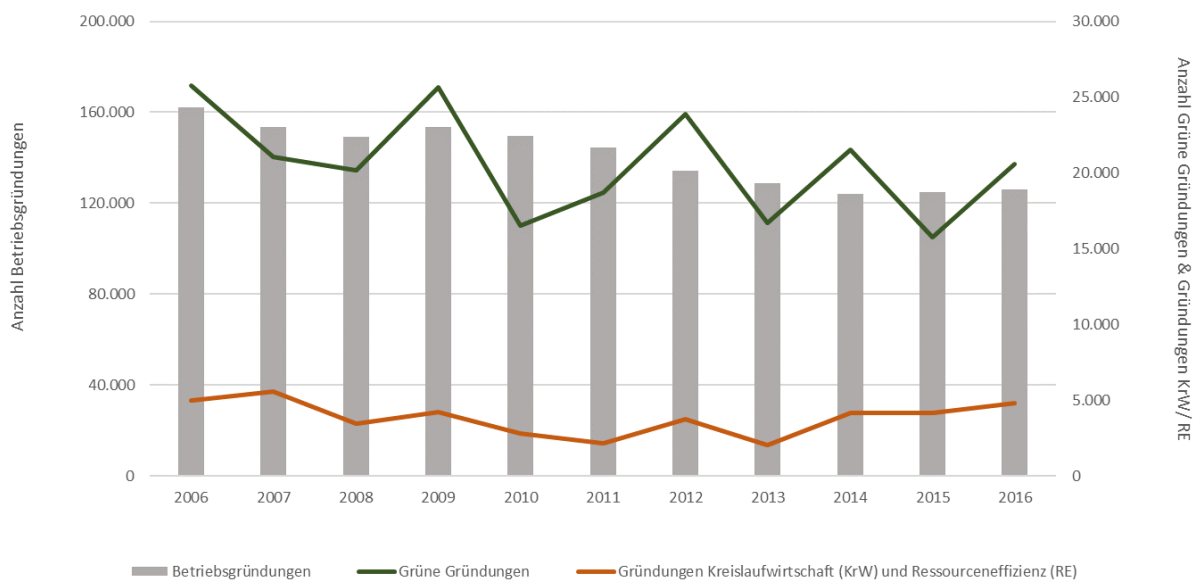
Die Erweiterung der Ökodesign-Richtlinie um die Aspekte Langlebigkeit und Reparierbarkeit (Kreislauf Nr. 1) betrifft noch zu wenige Produktgruppen, um eine breite Diffusion des entsprechenden Know-hows bei den Herstellern und Kunden zu fördern.

Insgesamt ergibt sich der Eindruck, dass der politische Einfluss auf die Innovationsstrategie der Akteure inzwischen die richtige Richtung vorgibt, wobei allerdings wichtige Elemente, die für eine Schließung der Kreisläufe notwendig sind, noch fehlen.

c) Unternehmerisches Experimentieren

Als ein Indikator für das unternehmerische Experimentieren im Bereich der Circular Economy kann die Anzahl der Unternehmensgründungen im Bereich Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz herangezogen werden. Diese sind ein Teil der sogenannten Grünen Gründungen, die darüber hinaus noch die Bereiche Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Emissionsvermeidung und Ernährung und Landwirtschaft beinhalten. Entsprechende Daten hierzu werden vom Borderstep Institut regelmäßig im Rahmen des Green Economy Gründungsmonitors (GEMO) erhoben.¹¹

Abbildung 7: Entwicklung der Gründungen im Bereich Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz im Vergleich



Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Daten des Green Economy Gründungsmonitors und destatis¹²

Abbildung 7 vergleicht die Entwicklung der Gründungen im Bereich "Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz" mit der bei Grünen Gründungen und den wirtschaftlich relevanten Betriebsgründungen in Deutschland. Im Zeitraum 2006-2016 sind sowohl die Betriebsgründungen als auch die Grünen Gründungen tendenziell rückläufig gewesen, wobei die Entwicklung bei den Grünen Gründungen durch zyklische Auf- und Abwärtsbewegungen gekennzeichnet ist. Die für die Circular Economy relevanten Gründungen waren zunächst (2006-2013) ebenfalls rückläufig, aber ab 2013 lässt sich ein klarer Aufwärtstrend feststellen.

Unternehmerisches Experimentieren kann darüber hinaus auch in etablierten Unternehmen erfolgen, wenn beispielsweise neue Geschäftsmodelle oder Produkte entwickelt werden. Die Erhebung entsprechender Daten hierzu, erfordert weitere Forschungsanstrengungen.

d) Marktbildung

Für die Circular Economy sind eine Vielzahl von Märkten relevant, die sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden. Während beispielsweise das Sharing von Bekleidung noch ein

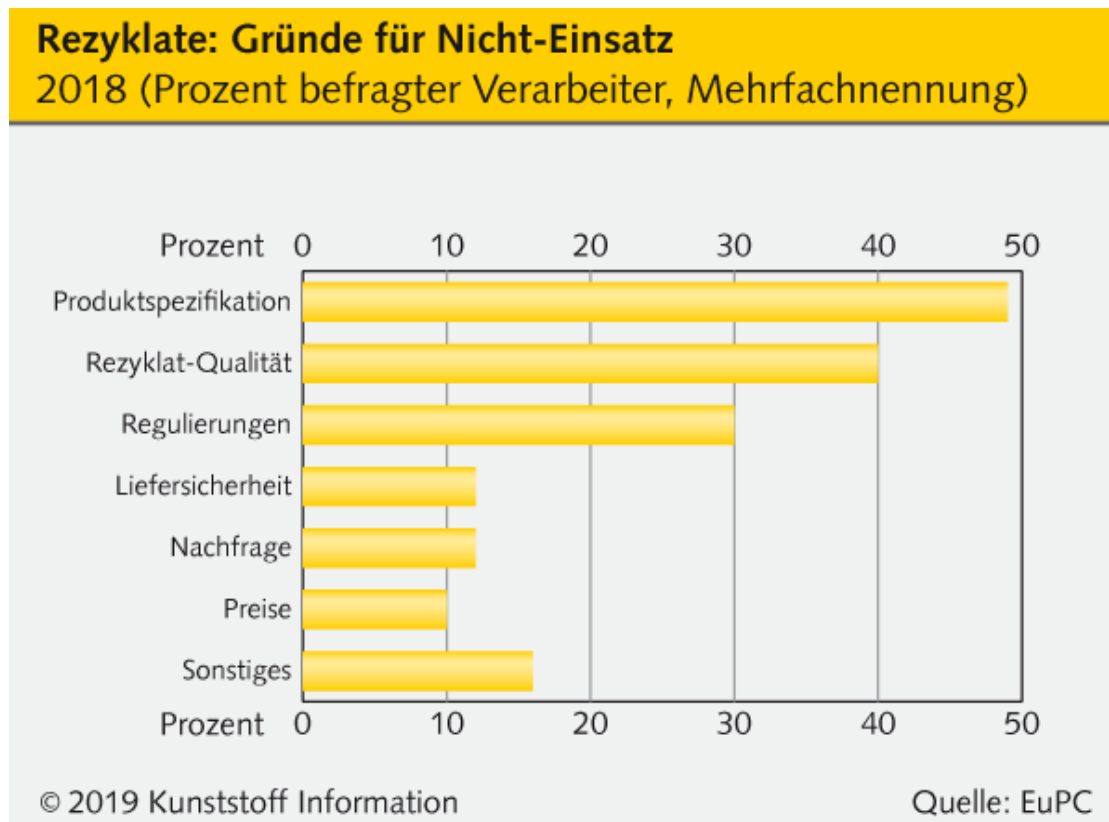
¹¹ Siehe Trautwein, Fichter & Bergset (2017).

¹² Die Daten zu den "Grünen Gründungen" und "Gründungen Kreislaufwirtschaft (KrW) und Ressourceneffizienz (RE)" wurden dem Autor vom borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit zur Verfügung gestellt. Die Daten zu den Betriebsgründungen stammen von destatis.

relativ junges Nischensegment des Bekleidungsmarkts darstellt, sind andere Märkte, z. B. der für Stahlschrott, seit vielen Jahrzehnten etabliert.

In Bezug auf die Märkte für Sekundärrohstoffe (Circular Economy Kreisläufe Nr. 4 und 5) wird häufig auf die Unsicherheit der Nachfrager in Bezug auf Qualität und Verfügbarkeit der Ware als Hemmnisfaktor für die Marktentwicklung hingewiesen. Da diese Problematik bei Kunststoffrezyklaten derzeit besonders intensiv diskutiert wird, zeigt Abbildung 8 die Ergebnisse einer Umfrage unter Kunststoffverarbeitern aus dem Jahr 2018.

Abbildung 8: Barrieren für den Einsatz von Kunststoffrezyklaten



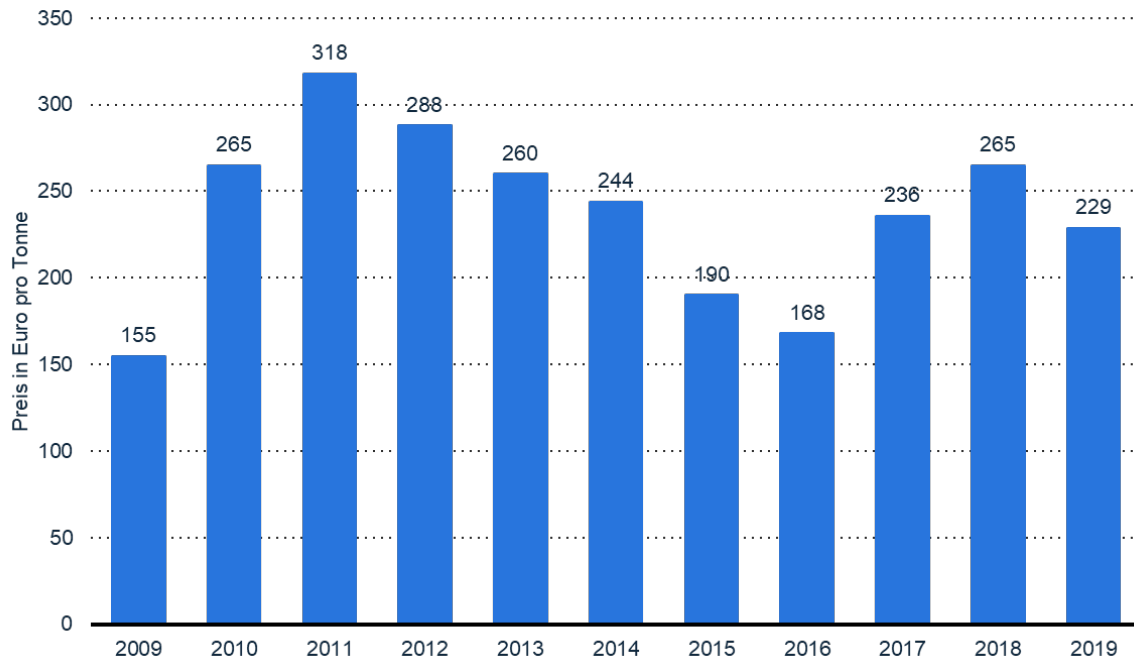
Quelle: Kunststoff Information, 18.01.2019, basierend auf Umfragedaten von EuPC

Hierbei zeigt sich, dass es vor allem die Spezifikationen der Hersteller sind, die den Einsatz von Kunststoffrezyklaten verhindern, aber auch die unzureichende oder ungewisse Rezyklat-Qualität und die strengen gesetzlichen Vorgaben in einigen Anwendungsbereichen, z. B. bei Medizinprodukten oder Lebensmittelverpackungen (Gandenberger et al., 2014). Eine Weiterentwicklung des Marktes für Kunststoffrezyklate setzt die Überwindung dieser Hemmnisse voraus und entsprechende Ansatzpunkte wurden inzwischen von ProgRes III (Maßnahmen Nr. 53, 54, 57) aufgegriffen.

Ein weiteres Problem, das Primär- und Sekundärrohstoffmärkte gleichermaßen betrifft,¹³ ist die Volatilität der Preise. Abbildung 9 zeigt beispielhaft die Preisentwicklung für Stahlschrott zwischen 2009 und 2019.

¹³ Primär- und Sekundärrohstoffmärkte sind häufig eng miteinander gekoppelt.

Abbildung 9: Entwicklung der Preise für Stahlschrott in Deutschland bis 2019¹⁴



Quelle: Statista, basierend auf Daten des BDSV

Für Investitionen in die Entwicklung innovativer Recyclinganlagen und -technologien stellen derart starke Preisschwankungen einen zusätzlichen Unsicherheitsfaktor dar, da das Durchschreiten des berühmten "Valley of Death", das für viele kapitalintensive Innovationsvorhaben charakteristisch ist, in Perioden mit niedrigen Rohstoffpreisen noch einmal erschwert wird. Für die Kreisläufe Nr. 4 und Nr. 5 ergeben sich somit nachfrage- und angebotsseitig Unsicherheiten, die einem starken Wachstum dieser Märkte aus eigener Kraft entgegenstehen können.

Die Entstehung von Märkten zur Etablierung der Kreisläufe Nr. 1-3 steht ebenfalls vor großen Herausforderungen. Die entsprechenden Dienstleistungsinnovationen (Sharing, Reparatur) befinden sich zumeist noch – bzw. in Bezug auf Reparaturdienstleistungen: wieder – im Nischenstadium und die Nutzung der entsprechenden Angebote kann für die Nutzerinnen und Nutzer mit einem höheren Aufwand (Kosten, Zeit-, Komfortverlust, u. a.) verbunden sein. Auch hier ist die höhere Unsicherheit der Nachfrager in Bezug auf Qualität und Kosten ein Hemmnisfaktor. Beispielsweise lässt sich bei einem defekten Elektrogerät nur schwer einschätzen, ob eine Reparatur erfolgreich durchgeführt werden kann und im Vergleich zum Kauf eines Neuprodukts kostengünstiger ist.

Es sind in diesem Bereich aber in den letzten Jahren einige soziale Initiativen, Netzwerke und Bewegungen entstanden, die sich für eine stärkere Schließung der Kreisläufe 1-3 engagieren, ohne hierbei ein kommerzielles Interesse zu verfolgen. Zu nennen sind hier beispielsweise die Repair-Cafés, in denen Bürger sich gegenseitig dabei helfen, defekte Gegenstände zu reparieren. Nach Angaben der niederländischen Dachorganisation "Stichting Repair Café International" hat sich die Zahl der Repair-Cafés in Deutschland sehr deutlich erhöht (2014:180; 2015: 295; 2016:

¹⁴ Die Angaben beziehen sich auf Lagerverkaufspreise für Stahlneuschrott der Sorte 2/8.

346; 2017: 378)¹⁵, was auf eine große Aufgeschlossenheit zumindest von Teilen der Gesellschaft gegenüber dem Thema Reparatur und Abfallvermeidung schließen lässt.

e) Legitimation

Angesichts der drängenden ökologischen Herausforderungen, die mit einer linearen Wirtschaftsweise verbunden sind, findet der Aufbau einer Circular Economy zumindest auf abstrakter Ebene breite Unterstützung in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Bei der Umsetzung konkreten Maßnahmen können aber durchaus trade-offs mit anderen Zielen entstehen, wie z. B. der Sicherheit vor Schadstoffen, wodurch sich Legitimitätsprobleme ergeben. Dies betrifft unter anderem den Einsatz von Sekundärrohstoffen in Lebensmittelverpackungen oder im Bausektor. Des Weiteren können Wirtschaftlichkeits- und Qualitätsaspekte einem Einsatz von Sekundärrohstoffen entgegenstehen. Ein Beispiel hierfür ist der zunehmende Einsatz medizinischer Einwegprodukte (z. B. Spritzen) im Gesundheitswesen: Dieser führt zwar zu einem höheren Ressourcenverbrauch als bei einer Wiederverwendung aufbereiteter Produkte, aber dafür sind die Kosten und die medizinischen Risiken in Folge einer eventuell mangelhaft durchgeführten Sterilisation wesentlich geringer.

f) Mobilisierung von Ressourcen

Zur Mobilisierung finanzieller und personeller Ressourcen kann an dieser Stelle nur sehr punktuell eine Aussage gemacht werden. Es besteht noch erheblicher Forschungsbedarf darin zu ermitteln, in welchem Umfang private Kapitalgeber in die Circular Economy investieren. Von staatlicher Seite werden – mit Ausnahme der Forschungsförderung – kaum finanziellen Anreize gesetzt, um beispielsweise die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen zu entwickeln. Hier unterscheidet sich die Situation sehr deutlich von der im Energiesektor. Die Informationen über den Umfang staatlicher F&E-Programme sind zwar öffentlich zugänglich, werden aber noch nicht zentral erfasst. Die Struktur der staatlichen Innovationspolitik mit ihren jeweiligen Fördergebern und Programmen im Bereich Circular Economy wurde in Kapitel 2.2.2.2 beschrieben. Wichtig ist an dieser Stelle der Hinweis, dass die staatlichen F&E-Investitionen nicht allein der Entwicklung technologischer Hardware dienen, sondern auch der Ausbildung und fachlichen Weiterentwicklung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie dem Aufbau von Netzwerken.

g) Positive Externalitäten

Der technologische Fortschritt im Bereich der digitalen Technologie kann positive Externalitäten erzeugen, die eine Transformation in Richtung Circular Economy beschleunigen. Beispielsweise kann das "Matchmaking" zwischen Abfallproduzenten und potentiellen Nutzern des Abfalls mit Hilfe digitaler Technologien wesentlich effizienter abgewickelt werden. Im industriellen Bereich könnten hierdurch die Voraussetzungen für den Aufbau "industrieller Symbiosen" verbessert werden. Ein konkretes Beispiel aus dem Privatsektor ist die App "To Good to Go" mit deren Hilfe Mahlzeiten oder Lebensmittel, die ansonsten entsorgt worden wären, an potentielle Nutzer zur Abholung vermittelt werden.

Insgesamt ergibt sich durch die Diskussion der Innovationsfunktionen der Eindruck, dass sich die Transformation in Richtung Circular Economy in Deutschland noch in einer frühen Entwicklungsphase mit geringer Dynamik befindet. Bei den Funktionen "Wissensentwicklung und Diffusion" und "unternehmerisches Experimentieren" lässt sich in den vergangenen Jahren nur eine leichte Zunahme der Aktivitäten feststellen. In Bezug auf die "Marktentwicklung" legen die in Kapitel 1 genannten Indikatoren zur Messung des Beitrags von Sekundärrohstoffen zur Substitution von Primärrohstoffen ($DIER_{ec} / DER_{ec}$) und die Diskussion in diesem Kapitel nahe, dass an dieser Stelle noch erhebliche Hemmnisse existieren, die einer weiteren Entwicklung der Märkte

¹⁵ Siehe: <https://repaircafe.org/de/stichting/>.

für Sekundärrohstoffe im Wege stehen. An Angeboten zur Verlängerung der Nutzungsdauer oder zur Nutzenintensivierung scheint es in Teilen der Gesellschaft ein großes Interesse zu geben, das sich derzeit allerdings primär in einer Zunahme nicht-kommerzieller Initiativen und Netzwerke niederzuschlagen scheint. Die Fortschritte im Bereich der Digitalisierung könnten zukünftig starke "positive externe Effekte" erzielen, die eine Entwicklung der Märkte im Bereich Circular Economy unterstützen. Die Funktion "Einfluss auf die Suchrichtung" wird zunehmend durch politische Initiativen erfüllt, die sich vor allem auf EU-Ebene in den vergangenen Jahren immer konsequenter am Leitbild der Circular Economy orientiert haben. Jedoch scheinen diese Initiativen in Deutschland – jenseits der staatlichen Forschungsförderung – bislang nicht zu einer signifikanten "Mobilisierung von Ressourcen" beizutragen bzw. schlagen sich nicht in einer ambitionierten politischen Steuerung nieder. Dies zeigt sich auch im folgenden Kapitel.

3.3 Abschätzung der Innovationswirkungen von ProgRess III

Mit Hilfe des Functions of Innovation-Ansatzes wurden die 118 Maßnahmen von ProgRess III, dem Programm der Bundesregierung zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen, analysiert. Hierzu wurden die 118 Maßnahmen zunächst in die folgenden drei Gruppen unterteilt, wobei die Grenzen allerdings nicht immer eindeutig zu ziehen sind.

- ▶ In der 1. Gruppe befinden sich 28 Maßnahmen, die sich direkt oder indirekt auf technische Entwicklungen bzw. Weiterentwicklungen beziehen, die im Kontext der Kreislaufwirtschaft relevant sind. Hierzu zählen u. a. folgenden Maßnahmen:
 - Kunststoffrecycling stärken und weiterentwickeln (Nr. 53),
 - Material- und energieeffiziente Produktionsverfahren fördern (Nr. 23),
 - Ökodesign-Richtlinie: Anforderungen für Material- und Ressourceneffizienz (Nr. 15).
- ▶ Die 2. Gruppe beinhaltet 68 primär auf nicht-technische Innovationen gerichtete Maßnahmen, wie beispielsweise
 - Industrielle Symbiosen unterstützen (Kompetenzstellen für gewerblich und industrielle Netzwerke (Nr. 37),
 - Chemikalienleasing als ressourceneffizientes und leistungsbasiertes Geschäftsmodell stärken (Nr. 39),
 - Regelungen abbauen, die die stoffliche Nutzung von nachhaltig erzeugter Biomasse behindern (Nr. 12).
- ▶ Die 3. Gruppe beinhaltet 22 Maßnahmen, die den Aspekt der Ressourceneffizienz in andere politische Diskurse hineintragen sollen, z. B.
 - Schnittstelle Ressourcen und Gesundheit analysieren (Nr. 31),
 - G7 und G20 Prozesse verstetigen (Nr. 79),
 - Ressourceneffizienz bei der Umsetzung des Übereinkommens von Paris und der Umsetzung der SDGs berücksichtigen (Nr. 80).

Für die 28 Maßnahmen der ersten Gruppe wurde untersucht, welche Innovationsfunktionen hierdurch primär angesprochen werden (siehe ausführlich hierzu Anhang 2). Die Analyse beschränkt sich zum einen aus Zeitgründen auf die technischen Innovationen, zum anderen sind die Wirkungen der Maßnahmen auf die Innovationsfunktionen leichter zu ermitteln. Das Ergebnis dieser Analyse ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Schwerpunkte von ProgRes III liegen demnach auf den Innovationsfunktionen "Wissensentwicklung und -diffusion", "Beeinflussung der Suchrichtung" und "Legitimation", während die Funktionen "unternehmerisches Experimentieren" sowie "Marktbildung / Mobilisierung von Ressourcen"¹⁶ von deutlich weniger Maßnahmen angesprochen werden.

Abbildung 10: Analyse von 28 ProgRes-Maßnahmen (Mehrfachnennungen)

Wissens- entwicklung und diffusion	Suchrichtung	Unter- nehmerisches Experimentieren	Legitimation	Marktbildung / Mobilisierung von Ressourcen	Positive Externalitäten
16	14	1	11	6	0

Quelle: Eigene Darstellung

Selbstverständlich unterscheiden sich die einzelnen Maßnahmen hinsichtlich der Stärke des Innovationsimpulses, der von ihnen ausgeht. Sie können daher strenggenommen nicht als gleichrangig angesehen werden. Dennoch legt die Analyse nahe, dass ProgRes III zu kurz greift, um die für eine umfassende Transformation notwendige ökonomische Dynamik zu entfachen, da wichtige Innovationsfunktionen wie die Marktentwicklung kaum angesprochen werden. Dies wäre prinzipiell kein Problem, wenn das Innovationssystem diese Funktionen von alleine erfüllen könnte. Allerdings zeigt die Diskussion in Kapitel 2.2, dass gerade die Formierung von Märkten und damit verbunden auch das unternehmerische Experimentieren Schwachstellen darstellen.

4 Anregungen für die Weiterentwicklung der Umweltinnovationspolitik

Die Diagnose des Innovationsgeschehens in Kapitel 3 legt eine Strategie der Innovationsförderung nahe, bei der die vorherrschenden linearen Wirtschaftsstrukturen durch eine Kombination verschiedener Politikmaßnahmen aufgebrochen und in Richtung Circular Economy überführt werden. Als wesentliche Schwachstellen wurden die mangelnde Nachfrage nach Sekundärmaterialien und die unzureichende Mobilisierung finanzieller Ressourcen für Innovationen identifiziert. Die hier vorgeschlagene Strategie für die Kreisläufe Nr. 4 (Verwertung von Abfällen) und Nr. 5 (Abfallvermeidung in der Produktion) orientiert sich grob am deutschen Policy Mix zur Erhöhung des Anteils regenerativer Energien an der Stromversorgung. Hierbei erzeugen u. a. das Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) einen Nachfrageimpuls für Innovationen im Bereich der Energietechnologien ("market pull"), während gleichzeitig durch entsprechende Technologieförderprogramme die Kosten für die Erzeugung erneuerbarer Energien kontinuierlich gesenkt werden konnten ("technology push").

¹⁶ Die beiden Funktionen werden hier zusammengefasst dargestellt.

Analog hierzu geht es bei der Transformation in Richtung Kreislaufwirtschaft darum, den Anteil der Sekundärrohstoffe am Gesamtrohstoffverbrauch sukzessive zu erhöhen – soweit dies ökologisch sinnvoll ist – und gleichzeitig die Kosten für die Bereitstellung von Sekundärrohstoffen weiter zu reduzieren und die Qualität zu steigern. Hierdurch sollen Sekundärrohstoffe gegenüber Primärrohstoffen konkurrenzfähig gemacht werden. Des Weiteren könnte – wiederum in Analogie zur Situation auf dem Strommarkt – die Nutzung von Primärrohstoffen verteuert oder regulativ erschwert werden.

Basierend auf diesen grundsätzlichen Überlegungen und den Ergebnissen der Analyse des Innovationssystems wird in Kapitel 4.1 zunächst ein Ansatz vorgestellt, der auf eine Erhöhung des Sekundärrohstoffeinsatzes in Produkten abzielt. Dieser Ansatz wird durch die Förderung eines reparatur- und recyclingfreundlichen Produktdesigns (Kapitel 4.2) ergänzt, da hierdurch die Voraussetzungen für eine effiziente und gegenüber Primärrohstoffen in Bezug auf Preise und Qualitäten konkurrenzfähige Produktion von Sekundärrohstoffen verbessert werden können. Für den Ausbau der produktnäheren Kreisläufe Nr. 1 (Nutzungsintensivierung, Verlängerung der Nutzungsdauer), Nr. 2 (Wiederverwendung) und Nr. 3 (Wiederverwendung nach Aufbereitung) werden Ansätze vorgeschlagen, die das unternehmerische Experimentieren fördern und die hierbei Fortschritte im Bereich der Digitalisierung nutzen (Kapitel 4.3).

4.1 Dynamische Standards für den Einsatz von Sekundärrohstoffen in Produkten

Wie in Kapitel 3 am Beispiel Kunststoffzyklus aufgezeigt, kann die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen durch vielfältige Vorgaben der Hersteller oder des Gesetzgebers, Qualitätsrisiken, Lieferrisiken oder niedrigere Primärrohstoffpreise beeinträchtigt werden. Angesichts der Signalfunktion, die eine stabile und wachsende Nachfrage nach Sekundärrohstoffen für das Innovationsgeschehen in der Kreislaufwirtschaft einnehmen würde, sind Maßnahmen erforderlich, die die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen sukzessive erhöhen. Als Anregung für eine entsprechende Ausgestaltung der Regulierung kann auf das japanische Top-Runner-Programm (siehe Box "Dynamische Standards") verwiesen werden. Das Programm zielt zwar auf eine Steigerung der Energieeffizienz bei Produkten ab, enthält aber einige interessante Elemente, die für eine entsprechende Regulierung im Bereich der Rohstoffe übernommen werden können.

Zunächst einmal wird mit dem Top-Runner Produkt ein Mindeststandard (z. B. 70 % Sekundärrohstoffeinsatz bei der Produktion von PET-Flaschen) herangezogen, der demonstriert, dass die Vorgaben für Unternehmen praktisch umsetzbar sind und nicht am grünen Tisch entwickelt wurden. Mögliche Nachteile im internationalen Wettbewerb können dadurch ausgeglichen werden, dass der Mindeststandard sowohl für heimische Unternehmen als auch für Importeure gilt. Kann ein Hersteller den Mindeststandard nach einer vorgegebenen Zeit nicht erfüllen, drohen ihm Strafzahlungen oder andere Sanktionen. Im Zuge des technologischen Fortschritts kann der Mindeststandards kontinuierlich verschärft werden, um den technologischen Fortschritt beim Recycling weiter anzureizen. Inwieweit die Standards für einzelne Produkte oder – wie beim Top-Runner-Programm vorgesehen – für die gesamte Produktpalette eines Herstellers gelten sollen, müsste noch geklärt werden.¹⁷

¹⁷ Prinzipiell bietet sich bei einer produktbezogenen Ausgestaltungsvariante auch die Möglichkeit, die Anforderungen an die Nutzung von Sekundärmaterialien in den Anwendungsbestimmungen der Ökodesign-Richtlinie aufzugreifen. Herstellerbezogene Auflagen für den Einsatz von Sekundärrohstoffen würden den Unternehmen dagegen höhere Freiheitsgrade bieten und sind daher vermutlich aus volkswirtschaftlicher Perspektive effizienter.

Dynamische Standards in der politischen Steuerung

Ein Beispiel anhand dessen die Mechanik dynamischer Standards in der politischen Steuerung veranschaulicht werden kann ist das japanische Top-Runner-Programm, das im Jahr 1998 eingeführt wurde. Das primäre Ziel des Top-Runner-Programms ist die Reduktion des Endenergieverbrauches durch Steigerung der produktbezogenen Energieeffizienz. Das Programm umfasst unter anderem verschiedene Haushaltsgeräte, IKT, Beleuchtung, Transformatoren, Raumklimageräte, elektrische Toilettensitze, gas- und ölbetriebene Raumheizungen, Gas-Wasser- und Öl-Wasser-Erhitze, Verkaufsautomaten sowie Pkw und Kleintransporter. Der Top-Runner-Ansatz legt einen Mindeststandard für den Energieverbrauch von Produkten innerhalb der Produktgruppen fest und orientiert sich dabei an dem energieeffizientesten Produkt, das zum Zeitpunkt der Festlegung auf dem japanischen Markt verfügbar ist.

Die Festlegung der Mindeststandards berücksichtigt weiterhin den zu erwartenden technischen Fortschritt. Der als Mindeststandard festgelegte Wert gilt für die Produktpalette eines Herstellers bzw. Importeurs, d. h. die Standards müssen nicht von jedem einzelnen Gerät erfüllt werden, sondern vom Durchschnitt der Produkte eines Herstellers. Nachdem ein Mindeststandard für eine bestimmte Produktgruppe festgesetzt wurde, muss dieser von Herstellern und Importeuren nach einer jeweils festgelegten Zeitspanne von drei bis 12 Jahren (je nach Produktgruppe) eingehalten werden. Hierbei ist die Produktflotte relevant, d. h. die Energieeffizienz muss im gewichteten Mittel über alle vertriebenen Produkte den Standards entsprechen. Die Mindeststandards sowie die festgelegten Zeitrahmen werden überarbeitet, wenn das Zieljahr erreicht ist oder sofern bereits vor Erreichen des Zieljahres ein substantieller Anteil der am Markt verfügbaren Geräte den Standards entspricht.¹⁸

Flankierend zu einer solchen Regulierung müssten, wie von der EU-Kommission in ihrer Plastikstrategie und auch von ProgRes III gefordert, einheitliche und verlässliche Standards für Sekundärrohstoffe etabliert werden, um auf diese Weise funktionierende Märkte für Sekundärrohstoffe zu schaffen, die es den Herstellern erleichtern, die Vorgaben umzusetzen.

4.2 Reparatur- und recyclingfreundliches Produktdesign fördern

Wie beim VerpackG geschehen, können, basierend auf der Produktverantwortung des Herstellers, finanzielle Anreize für ein recyclingfreundliches Design gesetzt werden. Es sind aber auch ordnungsrechtliche Vorgaben denkbar, die bestimmte Formen des Produktdesigns, die sich für Reparatur- und Recyclingprozesse als hinderlich erweisen, wie z. B. das Verwenden patentierter Schrauben oder das Verkleben von Akkus in Mobiltelefonen (Tobien, 2017), verbieten bzw. recyclingfreundliche und Lebensdauer verlängernde Designalternativen vorschreiben.¹⁹ Hierdurch könnte die Effizienz der Recyclingprozesse verbessert und dadurch Preise, Qualitäten und das Angebot von Sekundärrohstoffen insgesamt erhöht werden, was sich wiederum positiv auf die Nachfrage auswirkt.

Aufbauend auf den Vorschlägen der EU Kommission in ihrem Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (COM 2015, 614 und COM 2020, 98) kann hierbei zweigleisig gefahren werden.

- Zum einen bietet das Abfallrecht basierend auf § 23 Absatz 2 Satz 1 KrWG im Rahmen der Produktverantwortung die Möglichkeit, finanzielle Anreize für eine recyclingfreundliche

¹⁸ https://www.eccj.or.jp/top_runner/index.html

¹⁹ Die beiden Alternativen unterscheiden sich allerdings erheblich in Bezug auf Innovationswirkung, Effektivität und Effizienz.

Produktgestaltung zu setzen, wie z. B. in § 21 VerpackG anhand der nach der Recycling-freundlichkeit der verwendeten Materialien und Materialkombinationen differenzierte Be-messung der Beteiligungsentgelte im Dualen System vorgesehen. Voraussetzung hierfür wäre die Konkretisierung durch die entsprechenden Rechtsverordnungen und eine intensive Vorbereitung durch wissenschaftliche Studien und Pilotprojekte.

- Zum anderen bietet die europäische Öko-Designrichtlinie (2009/15/EG), die in Deutschland durch das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) umgesetzt wird, Anknüp-fungspunkte für die Berücksichtigung von Vorgaben für ein reparatur- und recyclingfreund-liches Produktdesign (Schulze, 2015). Dieser Weg wird bereits von ProgRess III beschritten, sollte aber noch weiter forciert und erweitert werden. Voraussetzung hierfür ist auch hier die Erarbeitung von praktikablen und wissenschaftlich fundierten Kriterien für die Recyc-lingfähigkeit, die derzeit von der EU Kommission vorangetrieben wird. Ein möglicher Ansatz sind Zeitvorgaben für den Ausbau von Komponenten, z. B. von Leiterplatten aus Elektronik-bildschirmen (Schulze, 2015).

In jedem Fall ist spätestens bei der Konkretisierung der Vorgaben (Durchführungsmaßnahmen für einzelne Produktgruppen basierend auf der Ökodesignrichtlinie bzw. stoffstromspezifische Rechtsverordnungen basierend auf dem KrWG) mit erheblichen Widerständen der Hersteller zu rechnen, die sich durch die Vorgaben in ihrer Gestaltungsfreiheit beeinträchtigt fühlen werden (Bonn & Reichert, 2016). Vermutlich werden die ökonomischen Instrumente des Abfallrechts hier auf geringeren Widerspruch stoßen als ordnungsrechtliche Vorgaben der Öko-Designrichtlinie, da hierdurch die Handlungsspielräume der Hersteller weniger stark eingeschränkt wer-den. Auf jeden Fall müsste dann dafür gesorgt werden, dass die finanziellen Anreize stark genug sind, um Innovationen für ein recyclingfreundliches Produktdesign deutlich zu fördern.

4.3 Stoffstrommanagement durch Unternehmen fördern

Eine Stärkung der produktnahen Kreisläufe Nr. 1 - 3 erfordert Ansätze, die die etablierten Aus-tauschbeziehungen zwischen Unternehmen und Kunden neu regeln. Wesensmerkmal eines line-aren Wirtschaftssystems ist der Erwerb der vollständigen Verfügungsrechte²⁰ durch den Käufer einer Ware. Dies gibt dem Käufer die Freiheit, das Ende der Nutzungsphase selbst zu definieren und das Produkt im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben zu entsorgen. Gleichzeitig hat der Her-steller jenseits der Produktverantwortung nach dem Verkauf in der Regel weder ein ökonomi-sches Interesse noch rechtliche Zugriffsmöglichkeiten auf die Ware und die darin enthaltenen Rohstoffe.

Kreislauforientierten Geschäftsmodellen liegen dagegen Austauschbeziehungen zugrunde, die im Unterschied zum reinen Kaufvertrag dazu führen, dass der Käufer die Verfügungsrechte an einer Sache nicht vollständig erwirbt, sondern nur in Teilen. Es gibt jedoch Möglichkeiten, den Erwerb der Verfügungsrechte zwischen Verkäufer und Käufer so auszugestalten, dass vorhan-dene Potentiale zur Nutzungsintensivierung, Nutzungsdauerverlängerung und Wiederverwen-dung besser ausgeschöpft werden (Gandenberger, 2016). Dieser Grundgedanke liegt zahlreichen Geschäftsmodellinnovationen zugrunde, bei denen der Hersteller eines Produkts auch während

²⁰ Unter Verfügungsrechten werden in diesem Kontext alle Arten von Berechtigungen verstanden, die notwendig sind, um über Güter zu verfügen. Hierzu zählen das Recht des Gebrauchs, das Recht zur Veränderung von Aussehen und Substanz sowie das Recht, die Rechte an einem Gut in seiner Gesamtheit oder in Teilen auf andere zu übertragen. Die Theorie der Verfügungsrechte geht davon aus, dass sich unterschiedliche Spezifikationen von Verfügungsrechten in Reaktion auf die Allokation knapper gesellschaftlicher Res-sourcen herausbilden und über das Verhalten der Akteure auch das Ergebnis ökonomischer Prozesse beeinflussen.

der Nutzungsphase "Zugriff"²¹ auf das Produkt bekommt bzw. nach Ende der Nutzungsphase wiedererlangt. Zu dieser Art von Geschäftsmodellen gehören z. B. das Chemikalienleasing, das Refurbishment medizintechnischer Geräte, das Vermieten von Bekleidung, Pay-per-use-Konzepte oder Pfandsysteme (Lorke, 2018).

Der Hersteller kann während der Nutzungsphase eines Produkts zusätzliche Dienstleistungen, wie z. B. Wartung und Reparatur von Anlagen oder die Aufbereitung von Betriebsmitteln, anbieten, die er aufgrund seines spezialisierten Know-hows effizienter erbringen kann als der Kunde. Zudem hat er unter bestimmten Voraussetzungen (bspw. im Rahmen von Verleihmodellen) ein Eigeninteresse an einer möglichst langen und intensiven Nutzung des Produktes, wodurch in einigen Fällen eine deutliche Reduktion des Ressourcenverbrauchs erreicht werden kann (OECD, 2018). Durch die Möglichkeit des Zugriffs auf Altprodukte können Abfallströme zudem leichter sortenrein gehalten und einem effizienten Recycling zugeführt werden, wie dies bereits bei sehr werthaltigen Abfallströmen (z. B. Hartmetall-Werkzeuge) geschieht.

Für den Staat gibt es zahlreiche Möglichkeiten, entsprechende Geschäftsmodelle und unternehmerisches Experimentieren in diesem Bereich zu fördern, z. B. durch die öffentliche Beschaffung²², die Förderung von Pilotprojekten, die Vernetzung von Unternehmen über Plattformen oder eine flankierende Regulierung, die zu einer Ausweitung der Herstellerverantwortung führen würde. Zudem könnte der Staat in einigen Fällen durch regulative Erleichterungen unterstützen: Wie Sartorius et al. (2019) auf Basis ihrer Erfahrungen mit Forschungsprojekten im Recyclingbereich ausführen, ist es oft vorteilhaft, dass die Hersteller von Recyclinganlagen diese auch selbst betreiben und die Recyclingprozesse dort durchführen, wo das Altmaterial anfällt und/oder der erzeugte Sekundärrohstoff gebraucht wird. Solche Anlagen brauchen in den meisten Fällen eine standortspezifische Betriebsgenehmigung, meist nach BImSchG. Die vorherrschende einzelfallbezogene Genehmigungspraxis verursacht jedoch hohe Transaktionskosten, die eine rasche Verbreitung der Technologien und Geschäftsmodelle verlangsamen, aber durch die Einführung einer Bauartzulassung deutlich gemindert werden könnten.

²¹ Hierbei muss es sich nicht zwingend um physische Zugriffsmöglichkeiten handeln. Es kann sich auch um den Austausch von Daten handeln, die Informationen über den Zustand oder die Nutzung des Produktes liefern, wie z. B. beim Condition Monitoring von Anlagen.

²² § 45, Abs. 2 des KrWG enthält seit der Novelle im Oktober 2020 eine Bevorzugungspflicht der öffentlichen Beschaffung für "kreislauffreundliche Produkte" im weitesten Sinne.

5 Literaturverzeichnis

- BDE (2018): Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2018. Berlin.
- Bergek, A. et al. (2008): Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems. A scheme of analysis. *Research Policy*, 37 (3), S. 407–429.
- BMBF (2018): Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft. Forschungskonzept für eine kreislaufoptimierte Wirtschaftsweise. Berlin.
- BMU (2013): Abfallvermeidungsprogramm des Bundes unter Beteiligung der Länder. Berlin.
- BMU (2020): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III 2020 – 2023. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Berlin.
- Bonn, M. & Reichert, G. (2016): Aktionsplan Kreislaufwirtschaft, Centrum für Europäische Politik, Freiburg.
- Carlsson, B. et al. (2002): Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Policy*, 31(2), S. 233-245.
- Destatis (2018): Abfallbilanz 2016. Wiesbaden.
- EASAC (2015): Circular economy: a commentary from the perspectives of the natural and social sciences. Halle.
- Europäische Kommission (2015): Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft. COM(2015) 614., Brüssel.
- Europäische Kommission (2018): Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft. COM(2018)28., Brüssel.
- Europäische Kommission (2020): Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe. Brüssel.
- Freeman, C. (1987): Technology policy and economic performance. Lessons from Japan. London.
- Gandenberger, C. (2016): Divide et Impera? - Theoretische Perspektiven auf die Collaborative Economy. Working Paper Sustainability and Innovation, 01/2016. Karlsruhe.
- Gandenberger, C. et al. (2014): The impact of policy interactions on the recycling of plastic packaging waste in Germany. Working Paper Sustainability and Innovation; 8/2014, Karlsruhe.
- Gehrke, B. et al. (2019): Innovationsmotor Umweltschutz: Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich [Aktualisierte Ausgabe 2019]. Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 06/2019, UBA, Dessau-Roßlau.
- Hekkert, M. P. et al. (2007): Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74 (4), S. 413–432.
- International Resource Panel (2019): Global Resources Outlook 2019. Assessing Global Resource Use: A systems approach to resource efficiency and pollution reduction. Paris: UNEP.
- Kranert, M. & Cord-Landwehr, K. (2009): Einführung in die Abfallwirtschaft. 4. Aufl. Stuttgart.
- Kuhlmann, S.; Arnold, E. (2001): RCN in the Norwegian Research and Innovation System. Background report No 12 in the evaluation of the Research Council of Norway. Karlsruhe.
- Kunststoff Information (2019): Kunststoffrecycling. 18.01.2019, Bad Homburg.
- Lorke, W. (2018): Kreislaufwirtschaft braucht innovative Geschäftsmodelle. *Wasser und Abfall*, S. 39–43.
- Malerba, F. (2002): Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, 31 (2), S. 247–264.

- Malerba, F. (2010): Sectoral systems of innovation: basic concepts. In: Malerba, F. (Hrsg.): Sectoral systems of innovation. Concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe. Cambridge, S. 9–41.
- Müller, F. et al. (2020): Leitsätze einer Kreislaufwirtschaft. UBA. Dessau-Roßlau. (28. Juli 2020).
- OECD (1997): National Innovation System. Paris.
- OECD (2018): Business Models for the Circular Economy. Paris.
- Sartorius, C. & Gandenberger, C. (2016): Entwicklung der Innovationsdynamik bei Ressourceneffizienztechnologien. Karlsruhe.
- Sartorius, C. et al. (2019): r+Impuls – Ergebnisse aus den Forschungsvorhaben zu Geschäftsmodellen und rechtlichen Rahmenbedingungen. In: Thiel, S. et al. (Hrsg.), Hrsg. Recycling und Rohstoffe, Band 12. Neuruppin.
- Schneidewind, U. et al., Hrsg. (2003): Symbole und Substanzen. Perspektiven eines interpretativen Stoffstrommanagements. Marburg.
- Schulze, F. (2015): Ressourceneffizienzvorgaben in der Ökodesign-RL. Darmstadt.
- Soete, L., Verspagen, B. & ter Weel, B. (2010): Chapter 27 - Systems of Innovation. In: Hall, B. H. & Rosenberg, N. (Hrsg.): Handbook of the Economics of Innovation: Handbook of the Economics of Innovation, Volume 2: North-Holland, S. 1159–1180.
- Trautwein, C., Fichter, K. & Bergset, L. (2017). Green Economy Gründungsmonitor 2017. Entwicklung und Finanzierung grüner Gründungen in Deutschland. Berlin.

A Anhang

Tabelle 1: CEPA/CReMA-Klassifikation

CEPA	Classification of Environmental Protection Activities	CReMA	Classification of Resource Management Activities
1	Protection of ambient air and climate	10	Management of waters
2	Wastewater management	11	Management of forest resources
3	Waste management	11 A	Management of forest areas
4	Protection and remediation of soil, groundwater and surface water	11 B	Minimisation of the intake of forest resources
5	Noise and vibration abatement	12	Management of wild flora and fauna
6	Protection of biodiversity and landscape	13	Management of energy resources
7	Protection against radiation	13 A	Production of energy from renewable sources
8	Research and development	13 B	Heat/energy saving and management
9	Other environmental protection activities	13 C	Minimization of the intake of fossil resources as raw materials for uses other than energy production
		14	Management of minerals
		15	Research and development
		16	Other natural resource management activities

Quelle: https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=LST_NOM_DTL&StrNom=CL_CEPAREM&StrLanguageCode=EN&IntPcKey=&StrLayoutCode=HIERARCHIC

Tabelle 2: Analyse der Maßnahmen von ProgRes III

Instrumente ProgRes	Wissens- entwick- lung und -diffusion	Such- rich- tung	Unter- nehmeri- sches Ex- perimen- tieren	Legiti- mation	Märkte / Ressour- cen	Posi- tive Ex- ternali- täten
Technologien für eine res- sourceneffiziente Nut- zung von Lagerstätten fördern (Nr. 3)	1					
Beitrag der Digitalisie- rung zu Transparenz + nachhaltigem Liefer- kettenmanagement prü- fen und nutzen (Nr. 10)	1		1			
Roadmap Substitution kritischer Rohstoffe für Umwelt- und Zukunfts- technologien verfolgen (Nr. 11)		1		1		
Ökodesign-Richtlinie: An- forderungen für Material- und Ressourceneffizienz (Nr. 15)		1		1		
Material-, und Informati- onsplattform „Ecodesign Kit“ (Nr. 16)	1					
Beim Bundespreis Ecode- sign Verbraucherperspek- tive stärken (Nr. 17)		1		1		
Garantieaussagepflicht der Hersteller, Verlänge- rung der Verjährungsfrist für Gewährleistungsan- sprüche (Nr. 18)		1				
Bewertungssystem für Reparierbarkeit als ver- pflichtende Information (Nr. 20)		1		1		
Blauen Engel hinsichtlich der Ressourcenschonung weiterentwickeln (Nr. 21)		1		1		

Instrumente ProgRess	Wissens- entwick- lung und -diffusion	Such- rich- tung	Unter- nehmeri- sches Ex- perimen- tieren	Legiti- mation	Märkte / Ressour- cen	Posi- tive Ex- ternaliti- täten
Kennzeichnung des An- teils von Recyclingkunst- stoffen entwickeln und einführen (Nr. 22)		1			1	
Material- und energieeffi- ziente Produktionsverfah- ren fördern (Nr. 23)	1					
Ressourceneffizienz durch Digitalisierung in der landwirtschaftlichen Produktion fördern (Nr. 25)	1					
Standardisierungs- und Normungsbedarfe zu Res- sourceneffizienz in In- dustrie 4.0 identifizieren (Nr. 34)		1				
Kunststoffrecycling stär- ken und weiterentwickeln (Nr. 53)	1			1	1	
Standardisierungs- und Zertifizierungssysteme für Rezyklate entwickeln (Nr. 54)		1		1	1	
Qualität von Rezyklaten erhöhen, die aus Elektro- altgeräten und Altfahr- zeugen gewonnen werden (Nr. 57)	1					
Handlungsansätze zur Verbesserung der Erfas- sungs- und Verwertungs- strukturen von Alttexti- lien und Altreifen (Nr. 60)	1	1				
Techniken zur Rückge- winnung von Wertstoffen aus Abwässern fördern (Nr. 61)	1					

Instrumente ProgRess	Wissens- entwick- lung und -diffusion	Such- rich- tung	Unter- nehmeri- sches Ex- perimen- tieren	Legiti- mation	Märkte / Ressour- cen	Posi- tive Ex- ternaliti- täten
Ressourceneffizienz als Kriterium in Programmen zur Förderung von Innovationen verankern (Nr. 69)	1	1				
Forschungsprogramm Nexus Ressourcenschonung und Klimaschutz (Nr. 70)	1					
Forschung und Innovation im Bereich ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ausbauen (Nr. 72)	1					
Ressourcenschonende Bauprodukte mit geringer CO2-Bilanz fördern (Nr. 92)	1					
Steigerung des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe und des Recyclinganteils im Bausektor (Nr. 93)		1		1	1	
Einsatz von RC-Baustoffen in öffentlichen Bauvorhaben fördern (Nr. 96)		1		1	1	
Nachhaltige Nutzung von ausgedienten Traktionsbatterien (Nr. 104)	1					
Festlegung einer Sammelquote und Erhöhung der Recyclingeffizienz (für Industriebatterien) (Nr. 105)	1			1		
Synergien zwischen Digitalisierung und Ressourcenschonung im Verkehr	1	1				

Instrumente ProgRess	Wissens- entwick- lung und -diffusion	Such- rich- tung	Unter- nehmeri- sches Ex- perimen- tieren	Legiti- mation	Märkte / Ressour- cen	Posi- tive Ex- ternali- täten
gezielt zugunsten der Um- welt nutzen (Nr. 107)						
Umweltzeichen für res- sourceneffiziente Soft- ware schaffen (prioritäre Maßnahme) (Nr. 117)				1	1	
Summe	16	14	1	11	6	0

Quelle: Eigene Darstellung