



DEUTSCHE NORMUNGSROADMAP CIRCULAR ECONOMY

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

HERAUSGEBER



DIN e. V.
Am DIN-Platz
Burggrafenstr. 6
10787 Berlin
Tel.: +49 30 2601-0
E-Mail: presse@din.de
Internet: www.din.de



**DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik
Elektronik und Informationstechnik**
Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel.: +49 69 6308-0
E-Mail: dke@vde.com
Internet: www.dke.de



**VDI Verein Deutscher
Ingenieure e. V.**
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf
Tel.: +49 211 6214-0
E-Mail: vdi@vdi.de
Internet: www.vdi.de

Bildnachweise:

Titelbild: Andres – stock.adobe.com

Vorwort:

Christoph Winterhalter – DIN

Michael Teigeler – DKE

Dieter Westerkamp – VDI

Grußwort: Steffi Lemke – Bundesregierung/Steffen Kugler

Kapiteleingangsgrafiken: royyimzy (S. 7),

pickup (S. 29, 167, 185), Olena (S. 31),

Gina Sanders (S. 51), Harry Wedzinga (S. 67),

Victoria M (S. 97), Meaw_stocker (S. 111),

Le Do (S. 133), Dominique (S. 153)

Stand: Januar 2023

VORWORT



Christoph Winterhalter
Vorsitzender des Vorstandes
(CEO) von DIN



Michael Teigeler
Geschäftsführer
DKE Deutsche Kommission
Elektrotechnik Elektronik
und Informationstechnik



Dieter Westerkamp
Bereichsleiter
VDI Technik und Gesellschaft

Liebe Leserinnen und Leser,

Fakt ist: Ändern sich die heutigen Produktions- und Konsummuster nicht, sind Ressourcenknappheit, Umweltverschmutzung, Verlust der Artenvielfalt und ein verstärkter Klimawandel die Folgen. Der Ressourcenverbrauch für unseren heutigen Wohlstand wird in absehbarer Zeit die ökologischen Belastbarkeitsgrenzen überschreiten. Wie wir im 21. Jahrhundert Produktion und Konsum in unserer Wirtschaft organisieren, wird somit für Deutschland eine große Herausforderung und Chance zugleich!

Für eine nachhaltig wirtschaftende Gesellschaft ist die Umstellung der Wertschöpfung – von der linearen Wirtschaft hin zu einer Circular Economy – ein notwendiger Weg in eine lebenswerte und nachhaltige Zukunft auch für künftige Generationen. Diese basiert auf einer konsequent regenerativen Produktions-, Liefer- und Handelskette, die im Idealfall ohne neuen Rohstoffeinsatz auskommt. Denn zirkuläres Wirtschaften bedeutet, Rohstoffe so lange und häufig wie möglich zu nutzen und natürliche Ressourcen im Idealfall in Kreisläufen zu führen, ohne neue Ressourcen zu verbrauchen.

Die Frage, wie Deutschland bis 2030 in eine zukunftsfähige Circular Economy transformiert werden kann, wurde bereits von der Circular Economy Initiative Deutschland (CEID) erörtert. Sie nennt zehn Handlungsschwerpunkte, wobei „Standardisierung“ mit an wichtigster Stelle steht. Laut der CEID-Initiative braucht es unter anderem Standards für Produktdesign, Recycling und Rezyklate sowie Datenstandards, die einen Informationsaustausch ermöglichen und somit

transparente Stoffströme gewährleisten. Im Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung „Mehr Fortschritt wagen“ heißt es: „In einer ‚Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie‘ bündeln wir bestehende rohstoffpolitische Strategien. Auf dieser Grundlage setzen wir uns in der EU für einheitliche Standards ein.“

Diesem Ansinnen kommen wir mit der hier vorgelegten Deutschen Normungsroadmap Circular Economy nach. In dieser widmen wir uns den Hemmnissen und Herausforderungen für die Transformation aus Normungsperspektive und benennen die Normungsbedarfe für sieben entscheidende Sektoren der deutschen Wirtschaft. Denn nur durch das Setzen von weltweit einheitlichen Normen und Standards können Anforderungen an Dienstleistungen, Produkte und Prozesse im Dialog mit allen Beteiligten der Wertschöpfungsketten festgelegt werden. Produkte müssen langlebig, wiederverwendbar, recycelbar und möglichst reparierbar sein. So heißt es hierzu im Koalitionsvertrag der Bundesregierung: „Mit einer Beschleunigung der Entwicklung von Qualitätsstandards für Rezyklate werden neue hochwertige Stoffkreisläufe geschaffen.“

Verkürzt gesagt: Das Produkt von heute ist der Rohstoff von morgen. Dazu gehört es auch, in neuen Geschäftsmodellen zu denken und diese zu entwickeln. Damit neue Geschäftsmodelle in der Circular Economy Anwendung finden, benötigen sie Normen und Standards als Grundlagen, weil sie Industrien, die bisher nicht miteinander in Berührung

gekommen sind, eine gemeinsame Sprache geben. So stellen sie eine klare Kommunikation und einen geeigneten Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Marktakteuren im Kreislauf sicher, z. B. durch Anforderungen an reparierbare und recyclingfähige Produkte sowie eindeutige Materialklassifizierungen für Hersteller und Recycler.

Unser Dank gilt insbesondere den über 500 Autor*innen, die diese Normungsroadmap kollaborativ und im Konsens erarbeiteten und damit dieses Gesamtprojekt erst ermöglicht haben. Mit dieser Arbeitsweise wollen wir als Normungsorganisationen die Prinzipien einer Circular Economy vorleben: gemeinschaftlich und über bestehende Silos hinweg innovative Ansätze entwickeln.

Den Leserinnen und Lesern wünschen wir eine interessante Lektüre und freuen uns über aktive Unterstützung bei der Umsetzung der Normungsroadmap. Denn die Roadmap markiert nicht den Abschluss, sondern vielmehr der Auftakt zur Umsetzung der Normungsbedarfe, die insbesondere durch bestehende Fachgremien von DIN, DKE und VDI konsequent vorangetrieben wird. Wirtschaft, Zivilgesellschaft, Wissenschaft und Politik sind jetzt eingeladen, gemeinsam die Spielregeln der Circular Economy aktiv zu gestalten. Wir sind überzeugt, dass normative Spielregeln die Transformation hin zu einer Circular Economy unterstützen und teilweise erst ermöglichen werden. Gehen wir es zusammen an!

Ihr
Christoph Winterhalter, Michael Teigeler & Dieter Westerkamp



Christoph Winterhalter,
Vorsitzender des Vorstandes bei DIN



Michael Teigeler,
Geschäftsführer der DKE



Dieter Westerkamp,
Bereichsleiter Technik und Gesellschaft beim VDI

GRUSSWORT

**Steffi Lemke**

Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz,
nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Liebe Leserinnen und Leser,

der Übergang von der linearen zur zirkulären Wirtschaft ist eine riesige Herausforderung. Es geht darum, Stoffkreisläufe zu schließen und damit wertvolle Ressourcen zu sparen. Dazu sind viele verschiedene Maßnahmen erforderlich: Ressourcenschonendes Design zu Beginn des Produktionsprozesses gehört dazu oder auch das Sammeln und Wiederverwerten von Produkten.

Dabei spielen Normen und Standards eine wichtige Rolle. Sie sorgen für Vergleichbarkeit und Verlässlichkeit. Sie sind wichtige Lenkungsinstrumente und Hilfen im Alltag: für staatliche Institutionen, für Wirtschaftsunternehmen und Forschungseinrichtungen sowie Privatpersonen gleichermaßen.

Hier setzt die Normungsroadmap Circular Economy an und gibt zielgerichtete Impulse für die Umsetzung hin zu einer zirkulären Wirtschaft. Dabei behält sie die Anforderungen an den Umweltschutz fest im Blick.

Das ist ganz im Sinne des Circular Economy Action Plans (CEAP) der EU-Kommission. Dieser betont, wie wichtig europäische Normung in einzelnen Sektoren ist, so zum Beispiel bei Kunststoffen. Die Bundesregierung will das Thema Normung für eine echte Kreislaufwirtschaft in der EU voranbringen und Anforderungen an Produkte europaweit festlegen – im Dialog mit den Herstellern.

Auf nationaler Ebene wird das Bundesumweltministerium gemeinsam mit relevanten Stakeholdern eine Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) erarbeiten. Dabei wollen wir den gesamten Lebenszyklus von Produkten in den Blick nehmen. An jeder Stelle des Kreislaufs sollen Ressourcen gespart werden, oder Produkte so aufbereitet, dass sie in den Kreislauf zurückgeführt werden können.

Mit der Normungsroadmap Circular Economy sind für diese Strategie wichtige Vorarbeiten geleistet.

Für die Transformation zu einer echten Circular Economy sind alle Akteure gefragt, vom Hersteller von Produkten, Werkstoffen und Anlagen bis zum Entsorgungsunternehmen. Sie bringen unterschiedliche Interessen und Sichtweisen und ein vielfältiges Know-how ein. Aus Wertschöpfungsketten sollen Wertschöpfungskreisläufe werden.

Dieses Potenzial wurde für die Erarbeitung der Normungsroadmap Circular Economy genutzt: Das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN), die vom VDE getragene DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (DKE) und der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) haben alle Beteiligten zusammengebracht und Herausforderungen sowie Bedarfe diskutiert und formuliert. Damit unterstützen sie aktiv den Weg zu einer echten Kreislaufwirtschaft. Vielen Dank an alle Beteiligten für ihre wertvollen Beiträge!

Ihre
Steffi Lemke

Steffi Lemke,
Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz,
nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Zusammenfassung

Ein Dreivierteljahr haben DIN, DKE und VDI mit über 500 Fachpersonen aus Wirtschaft, Wissenschaft, öffentlicher Hand und Zivilgesellschaft an der Normungsroadmap Circular Economy gearbeitet. Ziel der Roadmap ist es, einen Handlungsrahmen für die Normung und Standardisierung zu schaffen, der die Transformation hin zu einer Circular Economy fördert und internationale Rahmenbedingungen definiert. Damit wird auch eine Forderung des Koalitionsvertrags der aktuellen Bundesregierung „Mehr Fortschritt wagen“ unterstützt, in dem es heißt: In einer „Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie bündeln wir bestehende rohstoffpolitische Strategien. Auf dieser Grundlage setzen wir uns in der EU für einheitliche Standards ein.“ [1]

Bei der Erreichung der Ziele des Green Deals und des Klimaschutzgesetzes 2021 kommt der Circular Economy eine besondere Bedeutung zu. Um die ambitionierten Klimaziele zu erreichen, braucht es neue und überarbeitete Technische Regeln für das zirkuläre Wirtschaften [2]. Die Normungsroadmap Circular Economy bereitet hierfür den Weg und treibt so die grüne Transformation Deutschlands und Europas voran. Der Normung fällt dabei eine wesentliche Aufgabe zu, denn das Wirtschaften in geschlossenen Kreisläufen erfordert ein gesteigertes Maß an Kooperation und Kommunikation zwischen den Beteiligten entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Normen und Standards definieren Schnittstellen und stellen eine klare Kommunikation zwischen den verschiedenen Stationen im Kreislauf sicher und machen so den reibungslosen Kreislauf erst möglich.

Die vorliegende Normungsroadmap Circular Economy wurde in einem breiten Beteiligungsprozess mit interdisziplinären Mitwirkenden erarbeitet und skizziert die Arbeits- und Diskussionsergebnisse der Schwerpunktthemen. Sie liefert einen umfassenden Überblick über den Status quo sowie die An- und Herausforderungen zu den folgenden sieben Schwerpunktthemen, die sich am Circular Economy Action Plan der Kommission orientieren:

- Digitalisierung/Geschäftsmodelle/Management,
- Elektrotechnik & IKT,
- Batterien,
- Verpackungen,
- Kunststoffe,
- Textilien und
- Bauwerke & Kommunen [4].

Auf Basis einer umfangreichen Normenrecherche (siehe Kapitel 1.6.2) wurde für die sieben Schwerpunktthemen das aktuelle Umfeld der Circular-Economy-Normung analysiert, die als Grundlage für die Arbeiten in den Schwerpunktthemen diene. Mit über 200 identifizierten Normungs- und Standardisierungsbedarfen (siehe [Annex: Normungsbedarfe in der Übersicht](#)) zeigt die Roadmap konkrete Potenziale auf.

Im Rahmen der Arbeiten wurden Themen identifiziert, die querschnittlich in allen Schwerpunktthemen eingebracht und diskutiert wurden. Diese fünf Querschnittsthemen Nachhaltigkeitsbewertung, Lebensdauererweiterung, End-of-Waste, Digitaler Produktpass (DPP) und Recyclingfähigkeit wurden in einem separaten Kapitel detaillierter und übergreifender betrachtet. Am Ende jedes einzelnen Querschnittsthemas ist eine Übersicht mit Verweisungen zu relevanten Normungsbedarfen aus den jeweiligen Schwerpunktthemen aufgeführt.

Die Normungsroadmap kommt zu dem Ergebnis, dass mit einem frühzeitigen und umfassenden Engagement der deutschen Stakeholder in der nationalen, aber vor allem auch der europäischen und internationalen Normung und Standardisierung die angestrebte Transformation in Richtung Circular Economy maßgeblich unterstützt werden kann. Mit der Roadmap können erstmals Normungs- und Standardisierungsaktivitäten in den untersuchten Schwerpunktthemen entlang der Wertschöpfung gesteuert und aufeinander abgestimmt werden. Zudem ergeben sich aus der Roadmap wichtige sektorübergreifende wie auch spezifische Bedarfe für die Normung, die es jetzt umzusetzen gilt. Interessierte Fachpersonen sind ausdrücklich eingeladen, mitzuwirken und ihr Wissen in die Normung und Standardisierung einzubringen.

Vorwort	.....	1
Grusswort	.....	3
Zusammenfassung	.....	4
1 Einführung in die Circular Economy	.....	7
1.1 Was ist Circular Economy	.....	8
1.2 Warum braucht es eine Circular Economy	.....	8
1.3 Trends in der Circular Economy	.....	10
1.4 Nationale und europäische Umsetzung der Circular Economy	.....	12
1.5 Standardisierung in der Circular Economy	.....	15
1.5.1 Ziele und Inhalte der Normungsroadmap Circular Economy	.....	15
1.5.2 Rolle der Normung und Standardisierung	.....	15
1.5.3 Normungsumfeld national, europäisch und international	.....	16
1.5.4 DIN/DKE-Fachbeirat Circular Economy in der DIN-Koordinierungsstelle Umweltschutz (KU)	.....	19
1.5.5 Standards für Circular Economy: Fünf praktische Beispiele	.....	20
1.6 Methodisches Vorgehen in der Normungsroadmap Circular Economy	.....	22
1.6.1 Aufbau der Projektstruktur	.....	22
1.6.2 Normenrecherche zu Circular Economy	.....	25
1.6.3 Erarbeitung von Normungsbedarfen nach R-Strategien	.....	26
2 Schwerpunktthemen	.....	29
2.1 Digitalisierung, Geschäftsmodelle und Management	.....	31
2.1.1 Status quo	.....	32
2.1.2 Anforderungen und Herausforderungen	.....	35
2.1.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe	.....	35
2.2 Elektrotechnik & IKT	.....	51
2.2.1 Status quo	.....	52
2.2.2 Anforderungen und Herausforderungen	.....	54
2.2.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe	.....	55
2.3 Batterien	.....	67
2.3.1 Status quo	.....	68
2.3.2 Anforderungen und Herausforderungen	.....	69
2.3.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe	.....	88
2.4 Verpackungen	.....	97
2.4.1 Status quo	.....	98
2.4.2 Anforderungen und Herausforderungen	.....	99
2.4.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe	.....	104
2.5 Kunststoffe	.....	111
2.5.1 Status quo	.....	112
2.5.2 Anforderungen und Herausforderungen	.....	113
2.5.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe	.....	118
2.6 Textilien	.....	133
2.6.1 Status quo	.....	134
2.6.2 Anforderungen und Herausforderungen	.....	137
2.6.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe	.....	137
2.7 Bauwerke und Kommunen	.....	153
2.7.1 Status quo	.....	154
2.7.2 Anforderungen und Herausforderungen	.....	156
2.7.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe	.....	159

3	Querschnittsthemen	167
3.1	Nachhaltigkeitsbewertung	168
3.2	Lebensdauererlängerung	172
3.3	Digitaler Produktpass (DPP)	175
3.4	End-of-Waste (EoW)	177
3.5	Recyclingfähigkeit	180
4	Ausblick	185
4.1	Umsetzung der aktuellen Normungsbedarfe und Betrachtung weiterer Branchen und industrieller Sektoren	186
4.2	Von der industriepolitischen zur gesamtgesellschaftlichen Agenda der Circular Society	186
	Anhang und Verweise	189
	Abkürzungsverzeichnis	190
	Glossar	192
	Autor*innenverzeichnis	198
	Normungs- und Standardisierungsgremien im Kontext Circular Economy	210
	Annex: Normungsbedarfe in der Übersicht	217
	Literaturverzeichnis	227
	Abbildungsverzeichnis	249



1

Einführung in die Circular Economy

1.1 Was ist Circular Economy

Vor dem Hintergrund des bereits bestehenden und zunehmenden Ressourcenmangels und der Abhängigkeit von petrochemischen Rohstoffen wird die Steigerung der Energie-, Material- und Ressourceneffizienz immer wichtiger. Die Aktualität dieser Themen zeigt sich darin, dass sie in mehreren der von den Vereinten Nationen adressierten Zielen für eine nachhaltige Entwicklung aufgenommen wurden [5]. Die Circular Economy bietet dafür geeignete Lösungsansätze. In der Europäischen Union wird dies durch die vorgesehene Implementierung des Circular Economy Action Plan in der Rechtsetzung umgesetzt [4]. Rohstoffe, Materialien und Produkte sollen so effizient und effektiv wie möglich eingesetzt und genutzt werden, um eine nachhaltige, CO₂-arme und ressourcenschonende Wirtschaft zu schaffen [4]. Diese Transformation beinhaltet die Entwicklung von einer linearen hin zu einer zirkulären und vernetzten Form der Wertschöpfung. Das übergreifende Ziel der Circular Economy ist die absolute Minderung des Ressourcenverbrauchs, die durch verschiedene Maßnahmen (ressourcenschonendes Design, effizienterer Umgang mit Ressourcen, Produktlebenszeitverlängerung etc.) sowie den schrittweisen Übergang auf die Nutzung erneuerbarer Energien erreicht werden soll. In Anbetracht eines wachsenden Rohstoffmangels sollen die wirtschaftliche Entwicklung und der Umfang des Ressourceneinsatzes voneinander entkoppelt werden. Eine effizientere Nutzung und Wiederverwertung von Ressourcen fördert die wirtschaftliche Entwicklung und das Wachstum und kann damit einhergehend neue Arbeitsplätze schaffen und auf lange Sicht erhalten.

Circular Economy ist ein Gebiet, das sich rasch entwickelt. Dementsprechend gibt es nicht nur eine, sondern eine Vielzahl von Definitionen, die parallel genutzt werden. Kirchherr et al. haben in einem Papier 114 unterschiedliche Definitionen analysiert [7]. Auf internationaler Normungsebene hat ISO Circular Economy wie folgt definiert: „Wirtschaft, die bewusst auf Erhaltung und Regeneration angelegt ist und darauf abzielt, die Gebrauchstüchtigkeit und den Wert von Produkten, Komponenten und Werkstoffen stets auf höchstem Niveau zu erhalten, wobei zwischen technischen und biologischen Kreisläufen unterschieden wird“ [8].

Die Ellen MacArthur Foundation hat ihr Verständnis von Circular Economy wie folgt im weiteren Sinne definiert: „[Circular Economy ist] ein Rahmen für Systemlösungen, der globale Herausforderungen wie Klimawandel, Verlust der Artenvielfalt, Abfall und Verschmutzung der Umwelt adressiert. Sie

basiert auf drei fundamentalen Prinzipien, die vom Design her bestimmt werden: Vermeidung von Abfall und Verschmutzung, Kreislaufführung von Produkten und Materialien (auf dem Niveau ihres höchsten Wertes) und Regeneration natürlicher Ressourcen. Sie wird durch den Übergang zu erneuerbaren Energien und Materialien unterstützt. Der Übergang zu einer Circular Economy erfordert eine Entkopplung wirtschaftlicher Tätigkeiten vom Verbrauch endlicher Ressourcen. Dies stellt einen Systemwechsel dar, der langfristige Widerstandsfähigkeit erzeugt, geschäftliche und wirtschaftliche Möglichkeiten schafft und ökologische und gesellschaftliche Vorteile bietet“ [9].

Es ist anzunehmen, dass auch in Zukunft verschiedene Definitionen von Circular Economy parallel benutzt werden, da verschiedene Definitionen auch unterschiedliche Anwendungsperspektiven und Nutzendengruppen repräsentieren können. So ist auch die Definition der ISO derzeit weiterhin in Diskussion und es ist zu erwarten, dass der angekündigte Rahmenstandard ISO 59004 für Circular Economy eine veränderte Begriffsdefinition enthält [10]. Über diese internationale Norm zu Circular Economy könnte es zu einer allgemein anerkannten Interpretation und damit Reduktion der Vielfalt an Definitionen kommen.

1.2 Warum braucht es eine Circular Economy

Produzieren und Konsumieren sind geprägt vom Konzept der Linearität: Die vorhandenen Ressourcen werden der Natur entnommen, in vielschichtigen Verfahren zu Produkten transformiert und fallen dann anschließend, nach teilweise unverhältnismäßig kurzer Nutzung, als Abfall an. Kunststoffe entstehen beispielsweise aus Erdöl, das über Jahrmillionen entstanden ist und aus dem aufwendig Polymere hergestellt werden – um dann ggf. nur eine kurze Lebensdauer zu haben. Diese Abfälle werden zumindest in Deutschland weitgehend zuverlässig und überwiegend umweltschonend entsorgt – für die direkten Bedrohungen der menschlichen Gesundheit und der Umwelt hierzulande haben wir in den letzten Jahrzehnten technische Lösungen wie die geregelte Deponierung und die thermische Abfallverwertung gefunden – eine echte Circular Economy, wie oben beschrieben, ist damit jedoch noch nicht verbunden.

Das lineare System war in der Vergangenheit gerade auch ökonomisch hoch erfolgreich und hat uns einen nie zuvor gekannten Wohlstand beschert, wenn man die damit ver-

bundenen Emissionen außer Acht lässt. Das System kommt jedoch immer deutlicher an seine Grenzen und hat sich aus unterschiedlichen Gründen zu einer Sackgasse entwickelt:

Aus ökologischer Sicht ist klar, dass sich der mit diesem Modell verbundene Ressourcenverbrauch weit jenseits aller planetaren Grenzen für das langfristige Überleben der Menschheit auf der Erde bewegt [11]. Lebten auf der Erde im Jahr 1950 noch 2,5 Mrd. Menschen, so sind es nur ein halbes Jahrhundert später 7,84 Mrd., also gut das Dreifache. Entsprechend kam und kommt es zu einem erheblichen absoluten, jedoch auch Pro-Kopf-Anstieg des Ressourcenverbrauchs. Nach einer Prognose der Vereinten Nationen wird die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2080 auf rund 10,4 Milliarden Menschen anwachsen, d. h. der Ressourcenverbrauch wird ein Niveau erreichen, das innovative Lösungen erfordert [12]. Im Jahr 2020 hat die Menschheit insgesamt erstmals über 100 Mrd. Tonnen an natürlichen Ressourcen verbraucht und die Inanspruchnahme von Ressourcen wie Biomasse, Erze oder Mineralien innerhalb weniger Jahrzehnte verfünffacht. Nach Einschätzungen des Internationalen Ressourcenpanels ist der Ressourcenverbrauch damit für 50 % aller Treibhausgasemissionen und über 90 % der globalen Artenverluste verantwortlich. Damit ist auch die vom Bundesverfassungsgericht eingeforderte Zielstellung einer Klimaneutralität nur im Rahmen einer zirkulär ausgerichteten Wirtschaft erreichbar, vgl. [Abbildung 1](#). Aktuelle Berechnungen belegen, dass die Circular Economy bis zum Jahr 2050 in Europa ein Drittel der notwendigen Emissionsreduktionen der Industrie ermöglichen könnte, wenn der Energiebedarf durch erneuerbare und emissionsfreie Energien gedeckt wird [13]. Die Energiewende ist notwendig, muss aber zusammen mit einer nicht minder herausfordernden Ressourcenwende in einer Gesamtstrategie gedacht werden.

Hinzu kommt die ökonomische Notwendigkeit der Transformation zur Circular Economy: Das volkswirtschaftliche Symptom der Verknappung von Rohstoffen ist ein Anstieg der Preise, der neben rein wirtschaftlichen auch zu sozialen Konflikten bis hin zu militärischen Auseinandersetzungen um strategisch bedeutsame Rohstoffquellen führen kann. Deutschland wird seine Rolle als Wirtschafts- und speziell als Industriestandort nur sichern können, wenn der Übergang zur Circular Economy gelingt. Mit Blick auf die meisten kritischen Rohstoffe ist Deutschland heute auf Importe angewiesen, was sich immer stärker als Risiko für die Sicherheit von Zuliefererketten erweist. Hinzukommt die Erkenntnis vieler Unternehmen, dass die vergleichsweise einfachen linearen Produktionsmuster in Zukunft vermutlich billiger in anderen

Teilen der Welt etabliert bzw. kopiert werden können, was aber nur eine geografische Verlagerung des Problems ist. Vor diesem Hintergrund bildet die Circular Economy die strategische Chance, eine globale Innovationsführerschaft zu entwickeln, die die Wettbewerbsfähigkeit und damit Millionen von Arbeitsplätzen in Deutschland, Europa und der Welt sichern könnte.

Darüber hinaus ist die Circular Economy ein wirksames Konzept zum Erreichen von Klimaschutzzielen. Durch Reduktion von CO₂-Emissionen mithilfe von Circular-Economy-Hebeln kann eine Eindämmung der Erderwärmung auf 2 Grad erreicht werden, wie Modellierungen für Deutschland in der [Abbildung 1](#) zeigen. Somit ist die Reduktion des Ressourcenverbrauchs in einer Circular Economy einer von mehreren Treibern für den Klimaschutz [14].

Die Circular Economy ist kein Selbstzweck, sondern ein zentraler Hebel, sowohl um ökologische Herausforderungen wie den Klimawandel und Biodiversitätsverluste zu adressieren, als auch um die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit und Ressourcenunabhängigkeit durch eine notwendige Verringerung von Transportwegen und der Abhängigkeit von Importen zu stärken. Die in beiden Bereichen der Nachhaltigkeit gesetzten Ziele werden ohne die Transformation zur Circular Economy nicht zu erreichen sein.

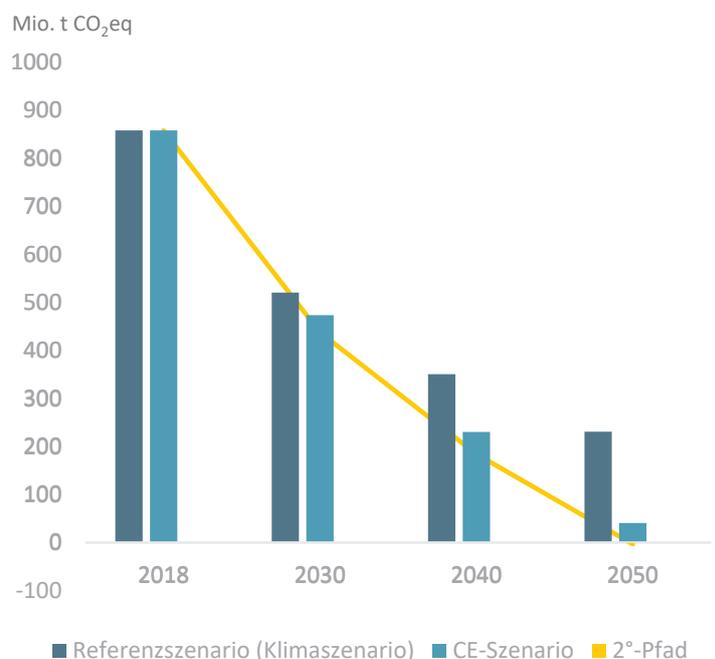


Abbildung 1: Circular Economy und der 2°-Pfad in Deutschland (Quelle: Circular Economy Roadmap für Deutschland, 2011 [14])

1.3 Trends in der Circular Economy

Mit Blick auf diese in 1.2 dargelegte Notwendigkeit einer Circular Economy ist der bislang erreichte Fortschritt noch nicht ausreichend. Die folgende [Abbildung 2](#) zeigt die Entwicklung des Anteils recycelter Materialien, die Circular Material Use Rate (CMR), in der Industrie innerhalb Deutschlands. Nach Plänen der Bundesregierung soll dieser Anteil bis 2030 verdoppelt werden – dafür notwendig wäre jedoch ein jährlicher Anstieg von 1,1 %, bislang erreicht wurden seit 2019 jedoch nur 0,5 %.

Zentrale Themen der aktuellen Debatten sind die Unsicherheit von Lieferketten und die Anhängigkeit von russischen Importen für Rohstoffe wie Gas, Nickel oder Palladium, die für die zukünftige Elektromobilität zentral sind. Zusammen mit dem seit Jahren deutlich gesunkenen Selbstversorgungsgrad der Europäischen Union mit kritischen Rohstoffen und dem stark rückläufigen Trend an Patenten zur Circular Economy sind dies klare Warnsignale, dass die Circular Economy zwar intensiv diskutiert, aber bei Weitem noch nicht ausreichend schnell umgesetzt wird. Der Sachverständigenrat der Bundesregierung für Umweltfragen spricht daher völlig zu Recht davon, dass die Aufgabe darin liegen wird, bei der Circular Economy „von der Rhetorik zur Praxis“ zu kommen [\[16\]](#).

Gleichzeitig zeigen Länder wie die Niederlande, was technisch längst möglich ist: Hier liegt die Circular Material Use Rate mittlerweile bei 30,9 %. Auch das Umweltbundesamt kommt in einer Analyse zu der Einschätzung, „dass sich die Transformation in Richtung Circular Economy in Deutschland noch in einer frühen Entwicklungsphase mit geringer Dynamik befindet“ [\[17\]](#). Insbesondere zeigt sich, dass noch immer deutlich mehr Geld in die Optimierung linearer Prozesse und Produkte gesteckt wird als in die Transformation zur zirkulären Wertschöpfung [\[18\]](#).

Hierzu wären dringend neue, an den Prinzipien der Circular Economy ausgerichtete Geschäftsmodelle notwendig: Die klassischen Konzepte der Generierung von Umsatz durch die Maximierung des Verkaufs von immer neuen Produkten führen ganz zwangsläufig zu immer weiter steigenden Abfallmengen – hier helfen auch keine Appelle zur Abfallvermeidung, wenn damit die Geschäftsgrundlage ganzer Unternehmen gefährdet würde. Notwendig sind daher zirkuläre Geschäftsmodelle, die stärker auf die Nutzung als auf den Verkauf von Produkten bzw. den damit erwünschten Nutzen abzielen und damit zu einer absoluten Reduktion der Ressourceninanspruchnahme beitragen: Niemand kauft eine Verpackung um der Verpackung willen, sondern im Kern mit der Motivation, frische bzw. unbeschädigte Waren zu erwerben.

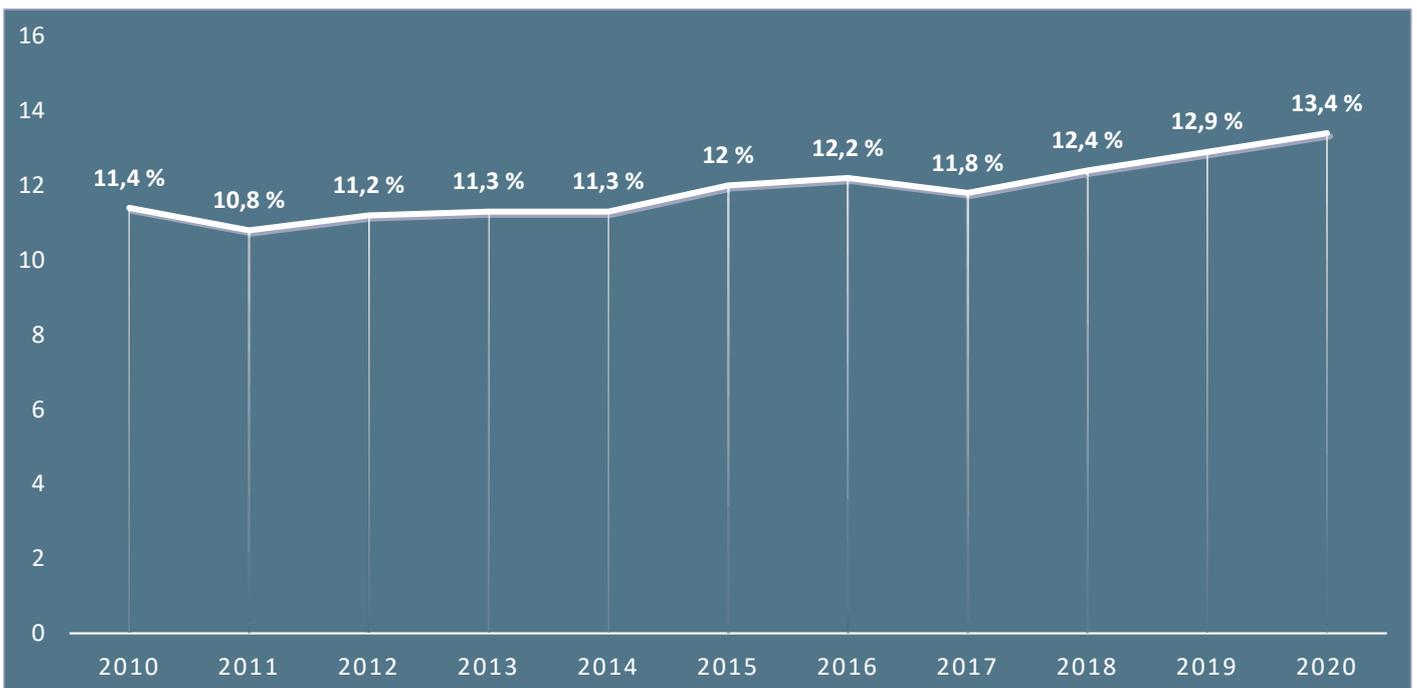


Abbildung 2: Entwicklung der Circular Material Use Rate (CMR) für Deutschland, 2010–2020 (Quelle: Eurostat 2022 [\[15\]](#))

Solche Ansätze ermöglichen es, die notwendigen Impulse für ein tatsächlich zirkuläres Produktdesign zu setzen, bei dem beispielsweise eine längere Lebensdauer faktisch den Gewinn des herstellenden Unternehmens erhöhen würde.

Der in **Abbildung 3** dargestellte Übergang von der Produkt- zur Dienstleistungsorientierung ist in seiner praktischen Umsetzung äußerst komplex. In der klassischen linearen Wirtschaft werden Umsatz und Gewinn mit dem Verkauf von immer neuen Produkten generiert; Anreize zur Reparierbarkeit oder Langlebigkeit sind damit nachvollziehbar begrenzt. Zirkuläre Wertschöpfung setzt dagegen eher auf die bezahlte Nutzung eines Produkts oder von Dienstleistungen. Im Sinne von „nutzen statt besitzen“ erhöht sich dann mit einer verlängerten Nutzungsdauer des Produkts auch tatsächlich der Gewinn des Unternehmens.

Ein solches Denken in geschlossenen Kreisläufen erfordert ein massiv gesteigertes Maß an Kooperation und Kommunikation zwischen Beteiligten entlang der Wertschöpfungskette: Investitionen in die Recyclingfähigkeit eines Produktes sind

wertlos, wenn dieses Produkt nicht im Anschluss an seine Nutzung erfasst und den richtigen Verwertungsstrukturen zugeführt wird. Dazu ist dann wiederum ein Produktdesign erforderlich, das die Integration von Kreislaufmaterialien ermöglicht. Damit steigt die Anzahl der Mitwirkenden, mit denen sich abgestimmt werden muss, ebenso wie die Anzahl der intern zu treffenden Entscheidungen [20]. Die Marktpotenziale der Circular Economy sind damit eng verknüpft mit steigenden Anforderungen an die Verwaltung von Komplexität und der radikalen Umgestaltung ganzer Wertschöpfungsketten. Auf kurzfristigen Profit orientierte Geschäftsmodelle müssen so Schritt für Schritt durch Modelle verdrängt werden, die langfristige Ertragssicherung und Wertschöpfung gewährleisten.

Aufgrund der zuvor genannten Hintergründe können Normen und Standards massiv dazu beitragen, die Wettbewerbsfähigkeit einer zirkulär wirtschaftenden Industrie gegenüber der heute primär linear agierenden zu erhöhen.

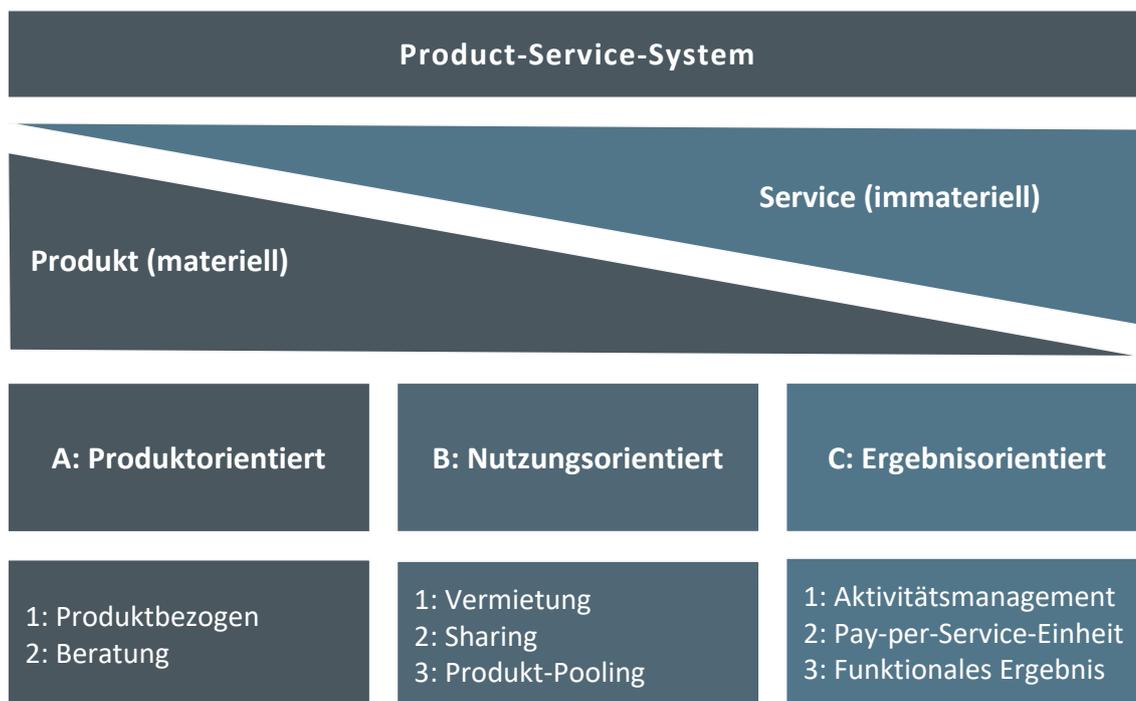


Abbildung 3: Übergang von der Produkt- zur Dienstleistungsorientierung (Product-as-a-Service) (Quelle: In Anlehnung an Tucker (2004) [19])

1.4 Nationale und europäische Umsetzung der Circular Economy

Vonseiten der Politik bekommt das Thema Circular Economy zunehmenden Rückenwind. Insbesondere die Europäische Kommission ist in den vergangenen Jahren zum entscheidenden Impulsgeber geworden und hat mit dem Circular Economy Action Plan eine äußerst ambitionierte Roadmap vorgelegt, um die Europäische Union in Richtung einer zirkulären Wertschöpfung zu transformieren [4]. Die konkret quantifizierten Ziele beinhalten nicht nur die Halbierung des Restabfallaufkommens bis zum Jahr 2030, sondern auch die Verdopplung des Anteils recycelter Materialien in der Industrie, die Schaffung von 700 000 neuen Arbeitsplätzen und eine Steigerung der Bruttowertschöpfung von 80 Mrd. Euro pro Jahr. Im Fokus steht damit neben der Umwelt- und Klimapolitik vor allem die Stärkung der Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit der europäischen Industrie.

Diese Ziele sollen durch 35 Schlüsselmaßnahmen erarbeitet werden, die bis zum Jahr 2023 initiiert werden sollen und folgende strategische Handlungsfelder entlang der gesamten Wertschöpfungskette umfassen:

- Die Entwicklung politischer Rahmenbedingungen für zirkuläre und nachhaltige Produkte, u. a. ein Recht auf Reparatur und die Erweiterung der Ökodesign-Richtlinie um Aspekte der Zirkularität von Produkten.
- Konkrete Maßnahmen zu ausgewählten Wertschöpfungsketten wie Verpackungen, Fahrzeugen oder Gebäuden mit spezifischen Vorgaben z. B. zum Anteil recycelter Materialien.
- Die Anpassung klassischer abfallrechtlicher Instrumente im Sinne einer Circular Economy, beispielsweise die Vorgabe quantifizierter Abfallvermeidungsziele in Ergänzung zu den existierenden Recyclingquoten bzw. die Anpassung der Abfallwirtschaftspläne.
- Die gezielte Unterstützung von Städten und Regionen als Schlüsselbeteiligte der Transformation zur Circular Economy, ebenso aber auch globale Initiativen wie die Unterstützung eines weltweiten Abkommens zum Thema Plastik.
- Die Verknüpfung der Circular Economy mit weiteren Megatrends wie der Klimaneutralität oder der Digitalisierung, beispielsweise bei der Entwicklung Digitaler Produktpässe.

Die Europäische Kommission hat damit einen strategischen Rahmen gesetzt, der jedoch im Anschluss durch konkrete Rechtsetzungsprozesse umgesetzt werden muss. Ein Beispiel

für die Umsetzung ist der im März 2022 veröffentlichte Verordnungsentwurf zur Revision der Ökodesign-Richtlinie [21]. Als Grund für die sehr weitreichende Revision werden mitunter die oben erwähnte Umsetzung des European Green Deal und der Circular Economy Action Plan angegeben [4]. Die Motivation zur Umsetzung neuer Produktanforderungen in der Ökodesign-Richtlinie wird zusammenfassend damit erklärt, dass für den Übergang zu einer zirkulären Wirtschaft kein übergreifendes Politikinstrument gefunden wurde. Damit wird der regulative Rahmen zum Ökodesign eines der ersten zentralen Werkzeuge in der Rechtslandschaft – weitere werden folgen. In der erklärenden Einleitung des Verordnungsentwurfes wird auf eine Erweiterung des Geltungsbereiches um (i) neue Produktgruppen und (ii) -anforderungen hingewiesen. Der neue Geltungsbereich soll entsprechend eine möglichst breite Produktpalette abdecken und deutlich über die vorwiegend regulierte Energieeffizienz von energieverbrauchsrelevanten Produkten hinausgehen. Als weitere Produktgruppen werden exemplarisch Textilien genannt und in begleitenden Veranstaltungen zur Revision der Ökodesign-Richtlinie ebenfalls Baustoffe, Stahl etc. erwähnt. Es sollen Umwelteinflüsse über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigt und die Nachfrage nach nachhaltigen Produkten gesteigert werden. Vermehrt hervorgehoben werden die Funktionsbeständigkeit (durability), Wiederverwendbarkeit, Aufrüstbarkeit (Upgrade) und Reparierbarkeit – allesamt Kernelemente eines kreislauforientierten Produktdesigns.

Deutschland verfügt – anders als andere EU-Mitgliedstaaten – noch über keine Gesamtstrategie für das Thema Circular Economy. In der Vergangenheit wurden zahlreiche Programme und Strategien für Einzelaspekte der Circular Economy entwickelt, u. a. das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm III der Bundesregierung, das Abfallvermeidungsprogramm des Bundes und der Länder, die Rohstoffstrategie oder das nationale Programm für nachhaltigen Konsum. Aus der Vielzahl dieser Einzelprogramme ergibt sich bislang jedoch noch kein konsistentes Bild einer Circular Economy in Deutschland, das beispielsweise für die Industrie tatsächlich handlungsleitend wäre [22]. Hier fehlt es mit Blick auf die notwendigen Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie in Prozesse und Produkte an klaren Prioritäten und Zielvorgaben, ebenso aber auch an marktbasierenden Instrumenten, die Circular Economy flächendeckend als erfolgreiches Geschäftsmodell etablieren könnten (beispielsweise der Abbau umweltschädlicher Subventionen in die lineare Nutzung von Kunststoffen) [17]. Ein weiteres Nadelöhr sind unklare Begrifflichkeiten, fehlende Definitionen und fehlende Standards als Grundlage für die Kommunikation in Handel und Politik [23].

Vor diesem Hintergrund enthält der Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung die Ankündigung der Entwicklung einer „nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie“, die unter anderem die verschiedenen rohstoffpolitischen Strategien bündeln soll [1]. Der Koalitionsvertrag stellt dabei deutlich heraus, dass die Kreislaufwirtschaft wesentliche Beiträge zum Klimaschutz leisten soll. Als wichtiges Ziel wird die Reduktion des primären Rohstoffverbrauchs genannt. Die inhaltliche Federführung für diese Strategie liegt in einer neu gegründeten Abteilung „Transformation“ im Bundesumweltministerium – der inhaltliche Anspruch könnte damit deutlich größer gefasst werden als die Gefahrenabwehr des Abfallrechts; eine so formulierte Strategie würde über den Anspruch der proaktiven Gestaltung von Wertschöpfungsketten im Sinne des Klima- und Ressourcenschutzes sowie weitere hinausgehen. Aktuell diskutiert werden inhaltliche Schwerpunkte wie ein Recyclinglabel, Digitale Produktpässe, Garantieaussagepflicht oder die Zertifizierung von Recyclinganlagen in Kombination mit dem Export von Abfällen.

Der Koalitionsvertrag verweist dabei an mehreren Stellen auf die Relevanz der Normung und Standardisierung auf der nationalen, europäischen und globalen Ebene.

Umsetzung von Circular Economy in anderen Ländern

Circular Economy in den Niederlanden

Die Niederlande gelten als weltweiter Vorreiter bei der Transformation zur Circular Economy; so liegt beispielsweise die Circular Material Use Rate (der Anteil recycelter Materialien in der Industrie) bei über 30 % und damit mehr als doppelt so hoch wie in Deutschland. Auch als rohstoffarmes Land haben die Niederlande bereits 2016 ein Kreislaufwirtschaftsprogramm entwickelt, zu dem 2019 auch ein durch einen intensiven Stakeholderprozess definiertes Umsetzungsprogramm verabschiedet wurde; auf die Beteiligung aller relevanten Stakeholdergruppen wurde dabei ein besonderer Fokus gelegt. Dort wurde u. a. das konkrete Ziel einer Halbierung der Nutzung abiotischer primärer Rohstoffe bis zum Jahr 2030 definiert [24]. Dieses äußerst ambitionierte Ziel soll durch eine klare Fokussierung auf einzelne Wertschöpfungsketten mit im Detail ausgearbeiteten Transformationsagenden erreicht werden (Ernährung/ Biomasse, Plastik, verarbeitende Industrie, Konsumgüter, Bausektor); hier verbunden beispielsweise mit dem Ziel einer vollständigen Vermeidung des (Netto-)Abflusses kritischer Rohstoffe aus den Niederlanden bis 2030 und der Entwicklung entsprechender Finanzierungsprogramme für die verarbeitende Industrie [25]. Die Grundlage der schon jetzt erreichten Erfolge ist einerseits ein sehr gut aufgestelltes Innovations-Ökosystem, u. a. mit Forschungseinrichtungen wie der TU Delft, die schon sehr früh interdisziplinäre und anwendungsorientierte Angebote zum Thema Circular Economy entwickelt hat. Andererseits besteht aber auch eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz für die Notwendigkeit einer Circular Economy, die zu einer Umsetzung in nationale Konzepte wie die Green Deals [26] führte, die auf regionaler Ebene die Aussetzung einzelner regulatorischer Hemmnisse ermöglichen, wenn sich dadurch signifikante Potenziale für die Circular Economy ergeben [27]. Hiervon haben speziell industrielle Symbiosen profitiert, die in Deutschland häufig an sehr kleinteiligen Vorgaben zur Abfallverbringung scheitern. Circular-Economy-Prozesse auf lokaler Ebene wie in Amsterdam machen die Vorteile einer Circular Economy auch für die breite Bevölkerung sehr praktisch erfahrbar.

Circular Economy in Frankreich

Frankreich setzt stark auf das Thema Circular Economy, allerdings mit einem deutlich anderen, stärker top-down geprägten Ansatz als beispielsweise die Niederlande. Das 2020 verabschiedete „Gesetz für den Kampf gegen Abfall und für die Circular Economy“ [28] zielt stark auf regulatorische Vorgaben ab, die von der französischen Zentralregierung durchgesetzt werden [29]. Einwegkunststoffe sollen bis zum Jahr 2040 vollständig vom Markt verschwinden, bis 2025 soll eine 100%ige Recyclingquote für Kunststoffe erreicht werden. In vielen Bereichen nimmt das Gesetz die herstellenden Unternehmen in die Pflicht, beispielsweise durch ein System erweiterter Herstellerverantwortung (EPR, extended producer responsibility) für Textilien. Durch die verschiedenen EPR-Systeme soll sich in Zukunft auch ein Fonds finanzieren, der dann aktiv die Bildung von Reuse-Netzwerken fördern soll. Verboten wird allerdings die Entsorgung noch gebrauchsfähiger Produkte, nachweisbare Versuche der geplanten Obsoleszenz von Produkten werden ebenfalls strafrechtlich verfolgt. Gleichzeitig gibt es Vorgaben für den Handel, dass beispielsweise nicht verkaufte Lebensmittel bei entsprechenden Initiativen abgegeben werden müssen. Mit einem verpflichtenden Reparierbarkeitsindex für elektronische Produkte sollen die Verbrauchenden in die Lage versetzt werden, die Verlängerbarkeit der Lebensdauer in ihre Kaufentscheidungen einzubeziehen.

Circular Economy in China

In China begann man, sich bereits Ende der 1990er-Jahre mit Fragen der Circular Economy zu beschäftigen. Hauptgründe für die Wichtigkeit dieses Themas sind die enorme Bevölkerungszahl von über 1,4 Milliarden, die begrenzten Ressourcen des Landes, die es möglichst effizient einzusetzen gilt, und die schwerwiegenden negativen Auswirkungen auf Chinas Umwelt als Konsequenz der rapiden wirtschaftlichen Entwicklung seit der Öffnung des Landes Ende der 1970er-Jahre.

Im Jahr 2008 wurde das „Circular Economy Promotion Law“ veröffentlicht, das als Kern von Circular Economy die 3-R-Strategien definiert, d. h. „Reduce“, „Reuse“ und „Recycle“. Das Hauptziel dieser frühen Phase der Circular Economy-Initiativen war es, im Rahmen einer expansiven Wachstumsstrategie die Ressourcenproduktivität und insbesondere die Energieeffizienz zu

steigern. Später traten zusätzlich Ziele wie die Steigerung der Zirkularität industrieller Systeme, insbesondere im Rahmen von Industrieparks, hinzu, mit dem Ziel, diese in zirkuläre Öko-Industrieparks zu transformieren.

Die Entwicklungen zur Circular Economy werden in China stark von staatlicher Seite vorangetrieben und sind durch einen Top-down-Ansatz gekennzeichnet. Dennoch haben lokale Stellen auf Provinz-, Stadt- und Kreisebene die Möglichkeit, im Rahmen nationaler Politikvorgaben zu experimentieren und Lösungen zu finden, die den lokalen Gegebenheiten angemessen sind. Umgekehrt können dann lokal entwickelte Ansätze in Form von Demonstrationsprojekten verallgemeinert werden und weitere Anwendung in anderen Landesteilen oder auf nationaler Ebene finden. Im Unterschied zum europäischen Ansatz der Circular Economy mit einem Schwerpunkt auf Ressourceneffizienz und Abfallmanagement wurde in China stets Vermeidung von Umweltverschmutzung als wesentlicher Teil der Circular Economy angesehen.

Als Teil der Circular-Economy-Entwicklung hat China Normen und Indikatorensysteme zur Messung der Produktivität wesentlicher Ressourcen wie fossiler Brennstoffe, Metalle, Mineralien und Biomasse entwickelt, wie auch Indikatoren zu Recyclingraten und Aspekten der Recyclingindustrie. Normen gibt es in China u. a. für das zirkuläre Management und zur Leistungsbewertung von Industrieparks. Dazu kommen diverse Normen z. B. für „Repair“, „Remanufacturing“ und „Recycling“ für unterschiedliche Produktgruppen.

China trat bereits 1978 der ISO bei, hat sich aber in den letzten zehn Jahren immer stärker in der internationalen Normung engagiert. Im Juli 2022 war die Standardization Administration of the People’s Republic of China (SAC) Mitglied in 811 ISO-Komitees, von denen SAC in 76 Komitees das Sekretariat stellt und in 723 aktiv teilnimmt. Betrachtet man ausschließlich Komitees auf den Gebieten Ressourcen und Materialien, dann zeigt sich auch hier, dass Normung auf diesen Gebieten einen hohen Stellenwert für China hat. Auf dem Gebiet „Erze und Metalle“ führt SAC zehn Sekretariate und nimmt an 52 Komitees aktiv teil, auf dem Gebiet „Nicht metallische Materialien“ führt es acht Sekretariate und nimmt an weiteren 34 Komitees aktiv teil. Auf Vorschlag Chinas wurde zudem zwischen 2015 und 2022 eine Reihe neuer technischer Komitees in der ISO gegründet, so im Jahr 2015 das technische Komitee „Seltene Erden“, 2018 „Karst“ und 2020 „Lithium“ [30].

1.5 Standardisierung in der Circular Economy

1.5.1 Ziele und Inhalte der Normungsroadmap Circular Economy

Die Normungsroadmap Circular Economy bildet die Basis für ein nachfolgendes Umsetzungsprogramm, das auf Grundlage der Roadmap konkrete Normungsvorhaben einleiten und die schnelle Übertragbarkeit gewonnener Erkenntnisse in deutsche, europäische und internationale Standards und Prüfkriterien einleiten soll. Zentrale Themen hierbei sind unter anderem

- Standards für ein Design 4 Circularity auf Material-, Produkt-, Prozessebene,
- Qualitätsstandards für einen skalierbaren Einsatz von hochwertigen Sekundärrohstoffen und
- technische Standards für Bereitstellung und Austausch von digitalen Daten.

Normen und Standards spielen für die Transformation zu einer Circular Economy und zu einem nachhaltigeren Wirtschaften eine zentrale Rolle, was auch in der Normungsstrategie der EU-Kommission zum Ausdruck kommt. Für diesen Umbruch zu neuen zirkulären Geschäftsmodellen sind Innovationen nötig, denen auch die Normung Rechnung tragen muss. Die Normung hat neben der Aufgabe, den Stand der Technik und Best-Practice-Beispiele zu beschreiben, ebenfalls die Pflicht, für die künftigen technologischen Entwicklungen einen Rahmen zu schaffen. Harmonisierte Regeln fördern die Anerkennung innovativer Technologien bei Regierungen, Verbrauchenden, herstellenden Unternehmen und Institutionen und schaffen Transparenz und Vertrauen. Eine durch Normung geschaffene gemeinsame Sprache basierend auf technischen Sachverhalten erleichtert neuen, innovativen Technologien global den Markteintritt. Normung darf keinesfalls Marktbarrieren schaffen, sondern hat vielmehr die Aufgabe, die Hochskalierung von neuen Technologien zu unterstützen und zu befähigen.

Der Zeitpunkt, neue, innovative Technologien in die Normung zu integrieren, ist dabei entscheidend und muss exakt angepasst werden. Normungsprojekte können zwar jederzeit gestartet werden, jedoch ist der Normungsprozess heute wenig agil und somit können Normen nicht kurzfristig an technische Entwicklungen angepasst werden. Auch das Erarbeiten von neuen Normen ist verhältnismäßig lang und aufwendig. Die Integration von neuen Technologien in Normen muss daher

frühzeitig geplant und vorbereitet werden. Eine Normungsroadmap mit einer koordinierten Strategie ist daher für innovative Technologien ein wichtiges strategisches Werkzeug.

1.5.2 Rolle der Normung und Standardisierung

Der Normung fällt bei der Transformation eine wesentliche Aufgabe zu: Normen schaffen ein einheitliches Verständnis von Circular Economy. Sie helfen, bestehende, zumeist technische Hürden abzubauen. [Abbildung 4](#) zeigt die generelle Wirkungsweise von Normen und Standards als Katalysator für Innovation und den Wissenstransfer für Wirtschaft, Soziales und Umwelt. Diese können Transformationsprozesse hin zu einer Circular Economy unterstützen.

Normen und Standards haben im Allgemeinen folgende Funktionen [\[40\]](#):

- sie kodifizieren Wissen, das dann für Unternehmen verfügbar wird. Durch regelmäßige Updates von Normen wird sichergestellt, dass dieses Wissen überprüft und gegebenenfalls angepasst wird;
- sie reduzieren die Produktvielfalt und erlauben damit, Investitionen auf erfolgreiche Produkte zu konzentrieren, was zur Erweiterung des Marktes beiträgt;
- sie formulieren Grundanforderungen an die Qualität von Produkten und Dienstleistungen;
- sie definieren Kompatibilitätsanforderungen, was die Anschließbarkeit von Produkten zu Netzwerkprodukten und ihre Austauschbarkeit ermöglicht;
- sie tragen zur Kontinuität und der inkrementellen Innovation technischer Systeme bei und sichern damit getätigte Investitionen und bestehende Infrastruktur.

Normen und Standards unterstützen außerdem bei der Ausrichtung von Unternehmensstrategien und dabei, frühzeitig Wettbewerbsvorteile erzielen zu können. Zusätzlich steigern genormte Testmethoden die Vergleichbarkeit von Produkten und Dienstleistungen verschiedener Anbietenden. Liegen gesetzliche Anforderungen vor, stellen genormte Testmethoden für Unternehmen eine Grundlage dar, um die Produktkonformität nachzuweisen. Damit steht eine Grundlage für einen fairen Wettbewerb und eine geeignete Marktüberwachung zur Verfügung.

Unter Berücksichtigung von Normen und Standards können Produkte und Dienstleistungen von Grund auf kreislauffähiger gestaltet werden. Zugleich ermöglicht die in den Normen gesammelte Expertise den Normungsgremien einen fundier-

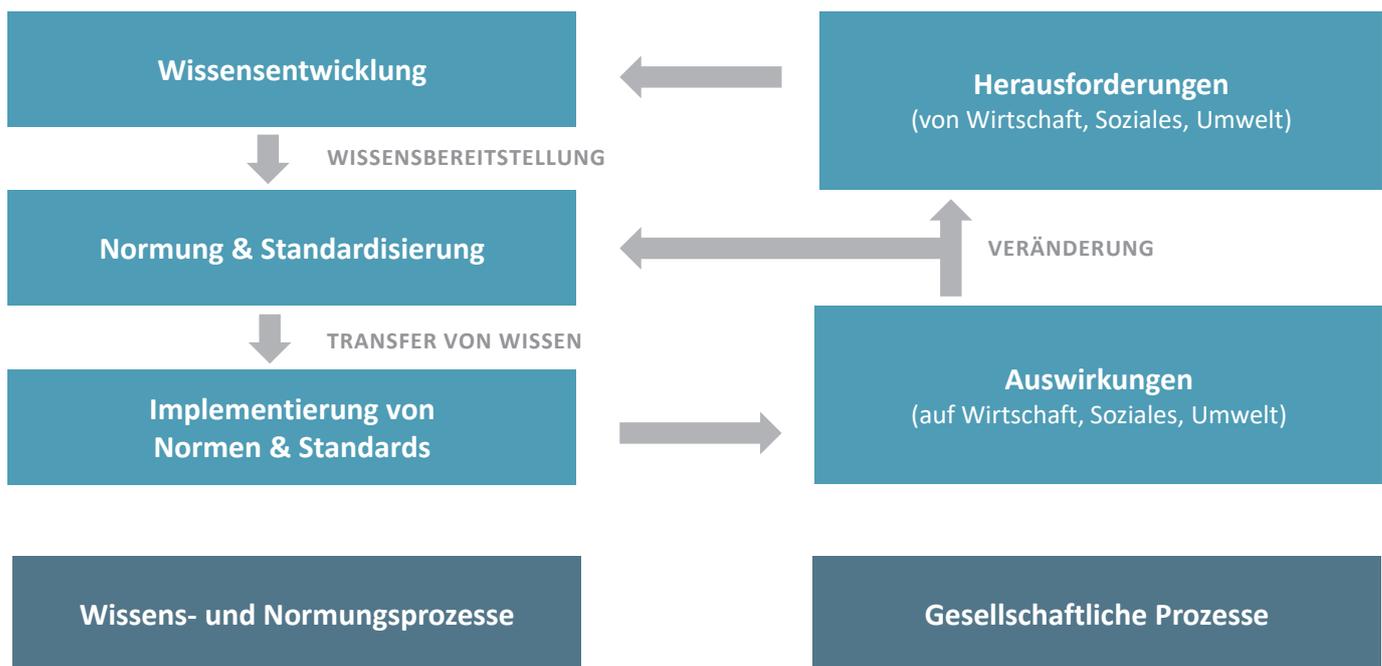


Abbildung 4: Wirkungsweise von Normen und Standards (Quelle: DIN)

ten Einstieg in die Aspekte der Circular Economy und eine Anknüpfung an den aktuellen Entwicklungs- und Wissensstand aus Wirtschaft und Wissenschaft. Doppelarbeiten und Fehlentwicklungen werden vermieden und eine effektive und effiziente Transformation gefördert, denn „Umwege des Denkens ersparen Umwege des Handelns“ [33].

1.5.3 Normungsumfeld national, europäisch und international

Normen und Standards werden in verschiedenen Organisationen auf unterschiedlichen Ebenen (national, europäisch, international) in Selbstverwaltung von den interessierten Kreisen (bspw. Wissenschaft und Forschung, Wirtschaft, Umweltschutz, Verbraucherschutz und öffentliche Hand) erarbeitet. Am Anfang steht stets ein Bedarf von interessierten Kreisen. Normen spielen ebenfalls eine wichtige Rolle als Instrumente für Gesetzgebende zur Unterstützung und Umsetzung gesetzlicher Regelungen und Vorgaben.

Im Sinne der vollkonsensbasierten Normung sind ISO [34], IEC [35] und ITU [36] die maßgeblichen Normungsorganisationen auf internationaler Ebene. Die entsprechenden Normungsorganisationen auf europäischer Ebene sind CEN [37] sowie CENELEC [38] und ETSI [39]. Mitglieder in ISO, IEC, CEN und CENELEC sind die jeweils nationalen Normungsorganisationen (siehe [Abbildung 5](#)).

Normen sind als Technische Regeln das Ergebnis nationaler, europäischer oder internationaler Normungsarbeit und werden von Ausschüssen nach festgelegten Grundsätzen, Verfahrens- und Gestaltungsregeln erarbeitet. An der Ausschussarbeit können sich alle interessierten Kreise beteiligen, beispielsweise herstellende Unternehmen, Verbrauchende, Handel, Hochschulen, Forschungsinstitute, Behörden, Prüfinstitute, Verbände etc. Normen entstehen im Konsens. Das bedeutet, die Fachleute verständigen sich unter Berücksichtigung des Standes der Technik auf gemeinsame Inhalte, welche die Interessen der Beteiligten berücksichtigen. Dabei sollen internationale Normen, wann immer möglich, vorrangig zu europäischen oder nationalen Normen erarbeitet und angewendet werden, denn sie sorgen weltweit für ein gemeinsames Verständnis unter den Marktteilnehmenden und unterstützen so den Abbau von Handelshemmnissen. Im Rahmen der Normungsroadmap Circular Economy werden alle Normungsdokumente der nationalen Normungsorganisationen (DIN/DKE), der europäischen Normungsorganisationen (CEN/CENELEC/ETSI) und der internationalen Normungsorganisationen (ISO/IEC/ITU) als „Normen“ bezeichnet.

Unter die allgemeine Bezeichnung „Standards“ fallen alle weiteren Technischen Regeln wie Technische Reports (TR), Fachberichte, Vornormen, Spezifikationen (TS, DIN SPEC), Konsortialstandards, Anwendungsregeln (AR), Richtlinien, Fachempfehlungen etc., für deren Erarbeitung und Herausgabe die zuvor genannten sowie auch andere Organisatio-

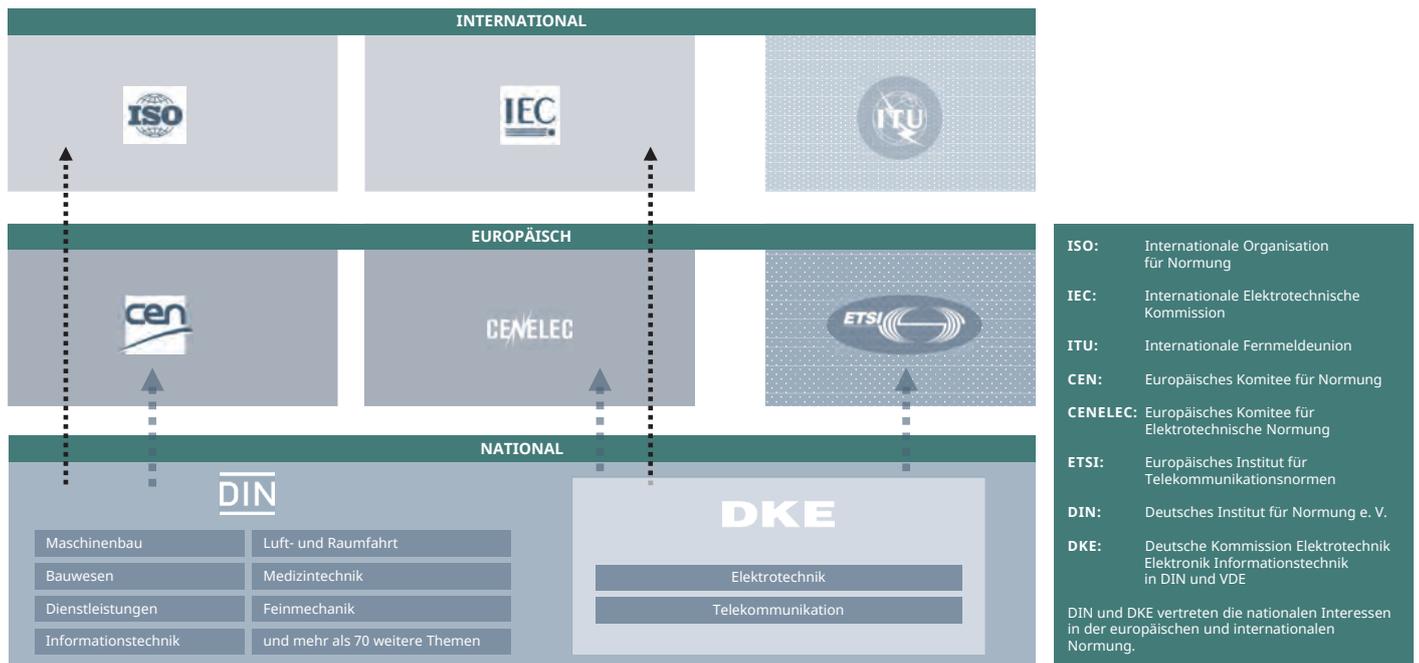


Abbildung 5: Organigramm der internationalen Normung (Quelle: DIN)

nen und technische Regelsetzer zuständig sein können. In (Konsortial-)Standards werden bspw. Themen, die noch nicht vollkommen im Markt angekommen sind bzw. deren Markt noch nicht existiert, behandelt. Hierbei ist die Einhaltung der Grundsätze der Normungsarbeit wie Konsens und die Beteiligung aller interessierten Kreise nicht zwingend erforderlich.

DIN, CEN und ISO

Das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN) ist die unabhängige Plattform für Normung und Standardisierung in Deutschland und weltweit. Bei DIN kommen rund 36.000 Fachleute aus Wirtschaft und Forschung, von Verbraucherseite und der öffentlichen Hand zusammen, die ihr Fachwissen bei der Erarbeitung von Normen und Standards einbringen. DIN bietet somit den „Runden Tisch“ für die Fachleute und übernimmt als privatwirtschaftlich organisierter Dienstleister das Projektmanagement zur Erarbeitung der Technischen Regeln.

Am Ende stehen Normen und Standards, die dazu beitragen, Handelshemmnisse abzubauen, Kosten einzusparen, Qualitäten zu sichern sowie Gesellschaft und Umwelt zu schützen. Darüber hinaus tragen sie zur Sicherheit bei und fördern die Verständigung.

DIN ist seit 1975 über einen Vertrag mit der Bundesregierung als einzige nationale Normungsorganisation anerkannt und vertritt die deutschen Interessen in der europäischen und internationalen Normung.

Heute ist die Normungsarbeit von DIN zu fast 90 % europäisch und international ausgerichtet. DIN organisiert als Dienstleister den gesamten Prozess der nicht elektrotechnischen Normung auf nationaler Ebene und stellt über die entsprechenden nationalen Gremien die deutsche Beteiligung auf europäischer und internationaler Ebene sicher. Normen werden von denen erarbeitet, die sie später anwenden. Die Grundsätze der Normungsarbeit von DIN wie die Beteiligung aller interessierten Kreise, Öffentlichkeit und Konsens sorgen für Vertrauen im Markt und dafür, dass Normen Anwendung finden.

DIN unterstützt die Marktfähigkeit von innovativen Lösungen durch Standardisierung – sei es in Themenfeldern wie künstliche Intelligenz (KI), Klimawandel oder Circular Economy sowie im Rahmen von Forschungsprojekten. Die DIN SPEC als Ergebnis des Standardisierungsprozesses fördert und beschleunigt insbesondere in Gebieten mit hohem Innovationsgrad den Wissens- und Technologietransfer.

Die Normung der Grundlagen zum Thema Circular Economy findet auf nationaler Ebene im DIN-Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes (NAGUS) im NA 172-00-14-01 AK „Circular Economy“ statt. Dieser Arbeitskreis spiegelt die Aktivitäten des internationalen Technischen Komitees ISO/TC 323 „Circular Economy“. Die Arbeitsgruppen des ISO/TC 323 befassen sich bspw. mit Themen wie Terminologie, Grundsätzen zur Umsetzung, Geschäftsmodellen sowie Rahmenbedingungen zur Messung der Zirkularität.

Auf europäischer Ebene stellt CEN-CENELEC Strategic Advisory Body on Environment (SABE) ein Beratungsgremium für strategische Umweltfragen dar, welches sich mit der Identifizierung und Koordinierung laufender Aktivitäten sowie der Ermittlung von Normungsbedarfen beschäftigt. Ein Schwerpunkt von SABE liegt im Informationsaustausch zwischen den relevanten Stakeholder in Umweltpolitik und Umweltnormung in Europa. SABE steht in regelmäßigem Austausch mit der Europäischen Kommission und hat sich zum Ziel gesetzt, insbesondere die Themen des Green Deal zu adressieren. In diesem Zusammenhang wurde die Circular Economy Topic Group (CE-TG) durch SABE ins Leben gerufen.

Darüber hinaus wurden im vergangenen Jahr weitere europäische Gremien und nationale Spiegelgremien mit einem Fokus auf bestimmte Produktgruppen gegründet, wie bspw. die Arbeitsgruppen CEN/TC 248/WG 39 „Circular Economy für textile Produkte und die textile Wertschöpfungskette“ und CEN/TC 207/WG 10 „Anforderungen und Methoden für die Kreislauffähigkeit von Möbeln“ (siehe auch im Anhang [Normungs- und Standardisierungsgremien im Kontext Circular Economy](#)).

DKE, CENELEC und IEC

Die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik wurde 1970 von VDE und DIN gegründet. Sie arbeitet auf Basis des „Normenvertrages“ von 1975 zwischen der Bundesrepublik Deutschland und DIN. Die DKE ist ein Organ von DIN. Darüber hinaus ist die DKE ein Geschäftsbereich des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. und wird von diesem getragen.

Die DKE ist in Deutschland für die Normungsarbeit im Bereich der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene zuständig. Als Kompetenzzentrum für elektrotechnische Normung vertritt die DKE die deutschen Interessen in den europäischen und internationalen Normungsorganisationen (IEC, CENELEC und ETSI). Die DKE dient als gemeinnützige Dienstleistungsorganisation der sicheren und rationellen Erzeugung, Verteilung und Anwendung der Elektrizität und so dem Nutzen der Allgemeinheit.

Die Aufgabe der DKE ist, Normen im Bereich der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik zu erarbeiten und zu veröffentlichen. Die Ergebnisse der elektrotechnischen Normungsarbeit der DKE werden in DIN-Normen niedergelegt, die als Deutsche Normen in das Deutsche Normenwerk von DIN und, wenn sie sicherheitstechnische Festlegungen

enthalten, gleichzeitig als VDE-Bestimmungen in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen werden.

Die Normung und Standardisierung der elektrotechnischen Grundlagen zum Thema Circular Economy findet auf internationaler Ebene im IEC/TC 111 „Environmental standardization for electrical and electronic products and systems“ statt.

Auf europäischer Ebene befasst sich CLC/TC 111X „Environment“ mit dem Thema Circular Economy.

National werden die Aktivitäten der oben genannten Gremien im DKE/K 191 „Umweltschutz und Nachhaltigkeit bei Produkten in der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik“ gespiegelt (siehe auch im Anhang [Normungs- und Standardisierungsgremien im Kontext Circular Economy](#)).

VDI

Der Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI) als Europas größter technisch-wissenschaftlicher Verein mit rund 135 000 persönlichen Mitgliedern, gegründet im Jahr 1856, ist der drittgrößte technische Regelsetzer in Deutschland. Er erstellt mit seinen VDI-Richtlinien allgemein anerkannte Standards mit Beurteilungs- und Bewertungskriterien sowie methodischen Grundlagen für nahezu alle Branchen und gibt auch über Ländergrenzen hinweg konkrete Handlungsempfehlungen. In den 12 VDI-Fachgesellschaften mit ihren 46 Fachbereichen und etwa 600 Gremien reichen die Themenfelder von Architektur, Bautechnik, Bionik über Kunststofftechnik, Energie- und Umwelttechnik bis hin zu Zuverlässigkeit.

Das VDI-Richtlinienwerk beinhaltet zurzeit mehr als 2 200 gültige VDI-Richtlinien. In VDI-Richtlinien wird der Stand der Technik laufender und zukünftiger Entwicklungen und der Stand der Wissenschaft in der Regel zweisprachig (deutsch und englisch) beschrieben. Das VDI-Expertenetzwerk (über 12 000 Fachleute) aus Wissenschaft, Industrie und öffentlicher Verwaltung erarbeitet ehrenamtlich und interdisziplinär VDI-Richtlinien. Dabei folgen die einzelnen Ausschüsse dem international gängigen Normungsprozess. Durch VDI-Richtlinien wird ein konsolidierter nationaler Standpunkt erarbeitet, ggf. als Vorarbeit zu europäischen/internationalen Normungsvorhaben. Hierzu bestehen Vereinbarungen zwischen VDI und DIN.

Der VDI setzt sich bspw. mit technikrelevanten Aspekten wie z. B. der Transformation der Energieversorgung, des Klimaschutzes, der Digitalisierung sowie der umweltgerechten

und ressourceneffizienten Produktion ein. Ausgehend davon werden Empfehlungen und Standards abgeleitet.

Das Thema Circular Economy ist in vielen Bereichen und Fachgesellschaften des VDI beheimatet. Denn Produkte aller Art sollen durch innovative Technologien auf ihren höchsten Nutzen und Wert gebracht und im Kreislauf geführt werden. Viele der 12 000 ehrenamtlich im VDI aktiven Gremienmitglieder aus Querschnittstechnologien wie Werkstofftechnik und Produktionstechnik und branchenorientierten Technologien wie Bautechnik, Energietechnik und Fahrzeugtechnik befassen sich daher eingehend auch mit der Erarbeitung technischer Lösungen zur Etablierung der zirkulären Wertschöpfung. Der VDI betrachtet dieses Thema mit Stakeholder aus unterschiedlichen Branchen und aus unterschiedlichen Perspektiven, um aus Wertschöpfungsketten gut aufeinander abgestimmte Wertschöpfungsnetzwerke zu machen. Neben den VDI-Richtlinien schafft der VDI einen breiten Wissenstransfer durch Fachtagungen, Kongresse und Workshops. Und mit seinen Stellungnahmen, Statusberichten und Roadmaps stellt der VDI allen Fachleuten und Interessierten aus Gesellschaft, Medien, Industrie und Politik Informationen zu aktuellen Themen zur Verfügung. Das Thema Circular Economy ist beim VDI unter dem Dach der VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (VDI-GEU) beheimatet. Komplexe Themen wie die Transformation der Energieversorgung, Klimaschutz sowie umweltgerechte und ressourceneffiziente Produktion werden bei der VDI-GEU in den vier Fachbereichen Energietechnik, Umwelttechnik, Betriebliches Sicherheitsmanagement und Integrale Energie- und Umweltthemen sowie in 48 Arbeitsgremien behandelt (siehe auch im Anhang [Normungs- und Standardisierungsgremien im Kontext Circular Economy](#)).

1.5.4 DIN/DKE-Fachbeirat Circular Economy in der DIN-Koordinierungsstelle Umweltschutz (KU)

Schon heute beschäftigen sich bei ISO, IEC, CEN, CENELEC, DIN, DKE und VDI verschiedenste Gremien mit dem Querschnittsthema Circular Economy. Das Normungsinteresse beschränkt sich jedoch oft nur auf die eigene Produktgruppe, sodass das Thema Circular Economy nur partiell bearbeitet wird. Gleichzeitig wird aber auch deutlich, dass sich sektorspezifische Interessen der jeweiligen Gremien in einen Gesamtkontext einfügen müssen. Und wenn sich viele mit dem „Gleichen“ beschäftigen, ist Doppelarbeit ebenso zu vermeiden wie konträre Entscheidungen, mit anderen Worten: Koordination, Kommunikation und Kooperation sind er-

forderlich! Aus diesem Grund wurde am 20. Januar 2021 der KU-Fachbeirat 2 „DIN/DKE-Fachbeirat Circular Economy“ in der DIN-Koordinierungsstelle Umweltschutz (KU) gegründet. Er fungiert als zentrale Anlaufstelle und als Kontaktpunkt zur Informationsbündelung und -verbreitung von Normungs- und Standardisierungsaktivitäten mit Relevanz für die Circular Economy und nimmt u. a. folgende Aufgaben wahr:

- die Facharbeit mit den relevanten DIN- und DKE-Gremien sowie die laufenden und zukünftigen Normungs- und Standardisierungsprojekte auf nationaler Ebene koordinieren;
- die Bearbeitung europäischer und internationaler Projekte und die Spiegelung von CEN/CENELEC- und ISO/IEC-Gremien bei DIN und DKE organisieren – die Entscheidungsfreiheit der DIN- und DKE-Managementgremien (z. B. Beiräte, Fachbeiräte, Lenkungs-gremien) bleibt davon unberührt;
- neue Arbeitsfelder auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene identifizieren;
- Empfehlungen aussprechen, welches Gremium die Federführung bei Normungsaktivitäten übernehmen bzw. ob ein neues Gremium gegründet werden sollte und welche weiteren DIN- und/oder DKE-Gremien einbezogen werden sollten;
- gemeinsam mit den relevanten DIN- und DKE-Gremien darauf hinwirken, Doppelarbeit oder sich widersprechende Festlegungen in den zu erarbeitenden Normen und Standards zu vermeiden;
- Empfehlungen (auch inhaltlicher Natur) an die zuständigen DIN- bzw. DKE-(Arbeits-) Gremien abgeben, wie zu nationalen, europäischen und internationalen Projekten abgestimmt werden sollte, wobei die endgültige Entscheidung das fachlich zuständige Gremium trifft;
- einen Aktionsplan erarbeiten, verabschieden und veröffentlichen, regelmäßig auf Aktualität prüfen und aktualisieren.

Der DIN/DKE-Fachbeirat Circular Economy in der KU setzt sich zusammen aus Vertretenden der DIN-Normenausschüsse, DKE-Gremien, des VDI, des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), des Umweltbundesamtes (UBA) sowie weiteren Fachleuten der interessierten Kreise (z. B. Öffentliche Hand, Wirtschaft, Umwelt- und Verbraucherverbände, Wissenschaft). Die Normungsroadmap Circular Economy ist ein erstes Projekt unter der Schirmherrschaft des DIN/DKE-Fachbeirats Circular Economy in der KU.

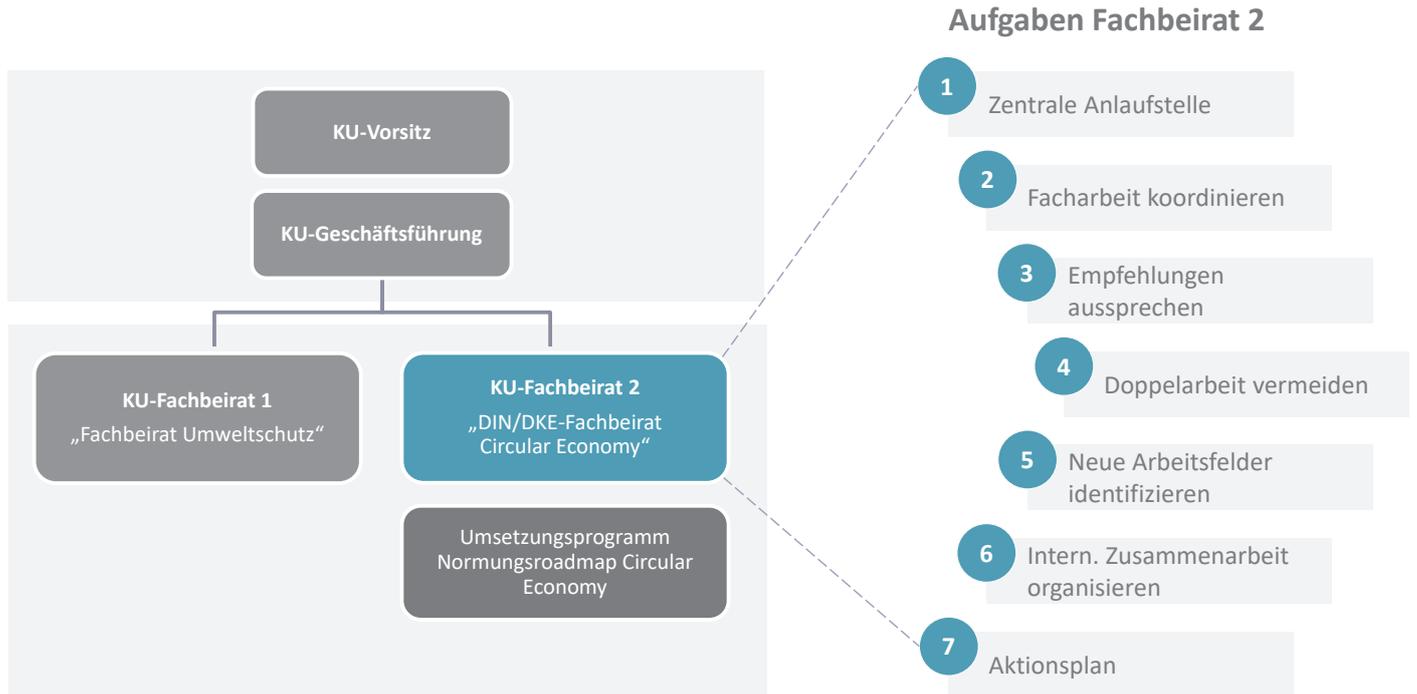


Abbildung 6: Aufgaben und Organisation DIN/DKE-Fachbeirat Circular Economy in der DIN-Koordinierungsstelle Umweltschutz (Quelle: DIN)

1.5.5 Standards für Circular Economy: Fünf praktische Beispiele

Für den Erfolg einer Idee ist häufig entscheidend, wie schnell sie im Markt verbreitet wird. Mit Normen und Standards setzen Unternehmen und Organisationen – vom Start-up über den Mittelstand bis zu Großunternehmen oder Forschungsinstitutionen – Leitplanken zur Orientierung.

In Normen und Standards beschriebene Anforderungen hinsichtlich z. B. Qualität, Schnittstellen und Sicherheit können damit die Produktentwicklung und -verbreitung, also die Durchsetzung von Innovationen, beschleunigen und Sicherheit in der Anwendung der darauf basierenden Produkte geben. Insbesondere in einem so zeitkritischen Themenfeld wie der Circular Economy können dadurch entscheidende Schritte eingeleitet werden, die zu Vertrauen in zirkuläre Produkte und Dienstleistungen führen.

Durch die Mitarbeit in der internationalen Normung können sowohl technologische Entwicklungen unterstützt, als auch versucht werden, deutschen Innovationen internationale Geltung zu verschaffen. Beispielhaft soll an dieser Stelle dargestellt werden, welche große Relevanz Normen in der Circular Economy haben:

DIN SPEC 91446, Klassifizierung von Kunststoff-Rezyklaten durch Datenqualitätslevel für die Verwendung und den (internetbasierten) Handel [49]

Bei der Wiederverwertung von Kunststoff gibt es deutliche Defizite – große Mengen des Materials schaffen es nicht in den Recyclingkreislauf, sondern landen in der Verbrennung oder gar in den Weltmeeren. Denn Kunststoffabfälle zu Rezyklaten aufzubereiten, die sich erneut in gleich- oder höherwertigen Produkten einsetzen lassen, ist bis heute eine Herausforderung. Die Materialqualität schwankt und lange fehlte eine einheitliche und nach Informationstiefe abgestufte Beschreibung von Rezyklaten aller Polymerarten – das macht die Erfüllung von Qualitätsanforderungen umständlich und schwer nachvollziehbar. Aufgrund der mangelhaften Datengrundlage müssen herstellende Unternehmen von Rezyklaten meist individuelle Produktions- und Lieferbeziehungen mit einem*r Abnehmer*in eingehen.

Die DIN SPEC 91446 [49] ändert dies und baut Hindernisse für den industriellen Einsatz ab. Sie beschreibt erstmals ein gemeinsames System für alle Marktteilnehmenden, um Kunststoff-Rezyklate entsprechend der Datenmenge bei normungskonformer Materialcharakterisierung einzustufen. So lässt sich das Material nach vier unterschiedlich umfangreichen Datenqualitätsstufen klassifizieren. Zudem enthält die DIN SPEC Regelungen für nicht klar definierte oder unterschiedlich verwendete Begriffe bei Inputmaterial, Recyclingprozessen sowie Kunststoff-Rezyklaten als Werkstoffen. Der Standard soll allen Beteiligten entlang der Wertschöpfungskette als gemeinsame Sprache für eine konsistente Kommunikation und den (internetbasierten) Handel mit Rezyklaten dienen.

VDI 2074, Recycling in der Technischen Gebäudeausrüstung [51]

Die Richtlinie VDI 2074 gibt für die einzelnen Phasen des Lebenszyklus von Gebäuden und Anlagen Hinweise zur Schaffung von Kreisläufen, indem sie für alle Beteiligten an Planung, Errichtung, Nutzung und Modernisierung oder Rückbau mögliche Beiträge aufzeigt. Sie verfolgt einen integrierten Ansatz unter Berücksichtigung eines umfassenden Wertschöpfungsgedankens und behandelt die Herstellung von Komponenten, die Planung und Durchführung von Baumaßnahmen und Rückbau, ebenso wie Sammeln und Aufbereiten von Altprodukten. Die Richtlinie trägt durch die Bevorzugung der stofflichen Verwertung dem Recyclingansatz Rechnung. Durch die Vermeidung von Behandlungs- und Deponiekosten bei regionalen Entsorgern können Kosten eingespart werden.

VDI 2343, Recycling elektrischer und elektronischer Geräte [52]

Die Blätter 1 bis 7 der Richtlinienreihe VDI 2343 stellen allen betroffenen Kreisen Handlungsempfehlungen zum Recycling von elektrischen und elektronischen Produkten zur Verfügung. Sie präzisiert die Begriffe im Elektro(nik)schrottreycling, beschreibt die notwendigen Planungen und Abläufe der Logistik und die Strukturen zur effizienten Erfassung von Elektro(nik)-Altgeräten, das Betreiben von Sammelstellen und/oder Übergabestellen sowie die Verbringung in Behandlungsanlagen unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten.

Sie gibt Handlungsanweisungen für die Demontage von Elektro(nik)-Altgeräten und für die Aufbereitung von Elektro(nik)-Altgeräten und berücksichtigt Vorgaben und Einflüsse wie gesetzliche Rahmen, Vorgaben herstellender Unternehmen, Absatzmärkte für zurückgewonnene Stoffströme und die Art und Tiefe der Demontage. Darüber hinaus gibt die Richtlinie konkrete Handlungsanweisungen und Empfehlungen für die stoffliche und energetische Verwertung von Elektro(nik)-Altgeräten im Sinne der aktuellen Rechtssituation und zeigt auf, dass durch eine sparsame Verwendung von natürlichen Ressourcen der Vorrat von Rohstoffen zur Herstellung von Produkten geschont werden kann und bei wiederholtem Einsatz von Produkten zusätzlich Ressourcen gespart werden können.

DIN EN 643, Papier, Karton und Pappe – Europäische Liste der Altpapierstandardsorten [6]

Die DIN EN 643 [6] gibt Hilfestellung für die Entsorgungswirtschaft, den Handel, die Papierindustrie und andere Organisationen im Altpapiersektor. Sie unterstützt beim Einkauf und Verkauf von Altpapier und ist dabei insbesondere Geschäftsgrundlage zwischen lieferndem und herstellendem Unternehmen von Papier, Karton oder Pappe. Weil die DIN EN 643 Altpapiersorten festlegt, lässt sich der nach Norm gekennzeichnete Rohstoff beim Recycling ohne zusätzliches Vorsortieren einsetzen. Herstellende Unternehmen können sich auf die Reinheit der genormten Altpapiersorte verlassen und auf dieser Basis entsprechende Papierqualitäten produzieren. Auch Zollbehörden und Steuerbeamt*innen nützt die DIN EN 643: Sie müssen in Zusammenhang mit grenzüberschreitenden Verordnungen und der Kontrolle der Abfallverbringung zwischen Rohstoff und Abfall unterscheiden. DIN EN 643 definiert „unzulässige Materialien“ und die Grenzwerte für papierfremde Bestandteile, sodass sich Altpapier eindeutig als Rohstoff kennzeichnen lässt. Ein Vorteil für Kaufende und Verkaufende sind zudem die festgelegten Toleranzgrenzen – das erspart individuelle Vereinbarungen zwischen den beiden Parteien.

Nachdem bei der Nutzung von Altpapier im Verpackungsbereich Probleme mit Mineralölrückständen aufgetaucht sind, hat man hier mit der DIN SPEC 5010 Probennahme- und Messverfahren spezifiziert, mit denen man die Nutzbarkeit auch für Verpackungen überprüfen kann [48].

DIN VDE V 0510-100, Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien aus dem Fahrzeugbereich für den Einsatz in ortsfesten Anwendungen [50]

Wenn Traktionsbatterien für Straßenfahrzeuge 80 % ihrer ursprünglichen Energiespeicherkapazität erreicht haben, werden sie von den Automobilherstellern für diese Anwendung als nicht mehr geeignet angesehen. Die Speicherkapazität ist aber absolut und dauerhaft ausreichend für andere stationäre Anwendungen (Umwidmung bzw. Umnutzung (2nd Use/Repurposing)). Dieser Entwurf für eine nationale Vornorm enthält grundlegende Sicherheitsanforderungen für diese Umnutzung, z. B. in der Industrie als Zwischen- oder Zusatzspeicher. Der Entwurf stammt aus dem Jahr 2021. Die Veröffentlichung als Vornorm wird in den nächsten Monaten stattfinden. Diese nationale Vornorm wird auch auf internationaler Normungsebene eingebracht. Die Norm hilft, die sich stark unterscheidenden Anforderungen an Traktionsbatterien (z. B. Fahrzeug-Zulassungsverordnung) und die zusätzlichen Konformitätsanforderungen im stationären Bereich zu berücksichtigen. Das Dokument bezieht sich auf Industriespeicher, die für Laien nicht zugänglich sind.

zu verschiedenen Schwerpunktthemen. Die Schwerpunktthemen orientieren sich am Circular Economy Action Plan. Für die inhaltliche Leitung dieser Themen konnten erfahrene Fachleute gewonnen werden:

Unter Einbeziehung von über 1 300 Fachleute aus verschiedenen Branchen und mit unterschiedlichen Erfahrungshintergründen ist die Roadmap aufgesetzt worden. Davon haben über 500 Verfasser ihr Fachwissen in den sieben Arbeitsgruppen aus diversen Gesellschaftsbereichen eingebracht. Die hohe Zahl der Interessierten und aktiven Verfasser sowie die Vielfalt der Personen und Institutionen decken eine breite fachliche Expertise ab. Im Abschnitt [Autor*innenverzeichnis](#) erhalten Sie eine Übersicht. Es zeigte sich, dass das Projekt Normungsroadmap Circular Economy auf großes Interesse gestoßen ist und viele Personen dazu motiviert hat, sich in Normung und Standardisierung zu engagieren. Damit besteht die Möglichkeit, neue Fachleute für die Zukunftsthemen bei DIN, DKE und VDI zu gewinnen, die gleichzeitig in die komplexe und vielschichtige Welt der Normung und Standardisierung einzuführen sind. Die neuen Fachleute wurden über das Instrument „Normung und Standardisierung“ und seine Wirkungsmechanismen in drei groß angelegten Schulungen im März und April informiert, die sehr gut angenommen wurden.

Die Leitungsstruktur der Normungsroadmap Circular Economy ist in [Abbildung 7](#) ersichtlich. Die Zusammensetzung der interessierten Kreise, Teilnehmende in den Arbeitsgruppen (AGs) und Aufschlüsselung der Verfasser zeigt die nachfolgende [Abbildung 8](#).

Nach einer ersten Themenclusterung verlagerte sich die operative Erarbeitung größtenteils in Unterarbeitsgruppen (UAGs), die produktgruppen- oder prozessspezifisch organisiert sind. Die themenspezifischen Leitungen erfassten gemeinsam mit den interessierten Fachleuten die konkreten Bedarfe und identifizierten gemeinsam mit den AG-Leitungen Schnittstellen zu anderen AGs und UAGs. In der AG Elektrotechnik & IKT und Batterien arbeiteten die Gruppen innerhalb von Themen und definierten keine UAGs.

Anzumerken ist, dass der Prozess und die Bedarfserhebung durch das vorhandene Wissen der mitarbeitenden Fachleute bestanden. So war eine Hintergrundrecherche nicht in der Breite der Themen möglich und abhängig von dem Wissensstand der Fachleute und deren individuellen Verfügbarkeit und Teilnahme an Arbeitstreffen.

1.6 Methodisches Vorgehen in der Normungsroadmap Circular Economy

1.6.1 Aufbau der Projektstruktur

Die Mitwirkung von Fachleuten aller relevanten Kreise stellt die wesentliche Grundlage bei der Erarbeitung der Normungsroadmap dar. Zu den einzubeziehenden Stakeholder gehören Wirtschaftsvertreter der relevanten Branchen, Fachleute aus der Wissenschaft, Vertretungen aus der Politik und der Zivilgesellschaft sowie Repräsentant*innen bereits konstituierter und mit dem Thema Circular Economy befasster Kreise. Hierbei ist die Berücksichtigung verschiedener Sichtweisen und damit verbundener Anforderungen von hoher Bedeutung, sodass sowohl technische als auch nicht technische Aspekte gleichermaßen Eingang in den Entstehungsprozess der Normungsroadmap fanden. Die Erarbeitung der Normungsroadmap Circular Economy erfasste die übergeordnete Koordination und Orchestrierung der relevanten Stakeholder und erfolgte in sieben Arbeitsgruppen

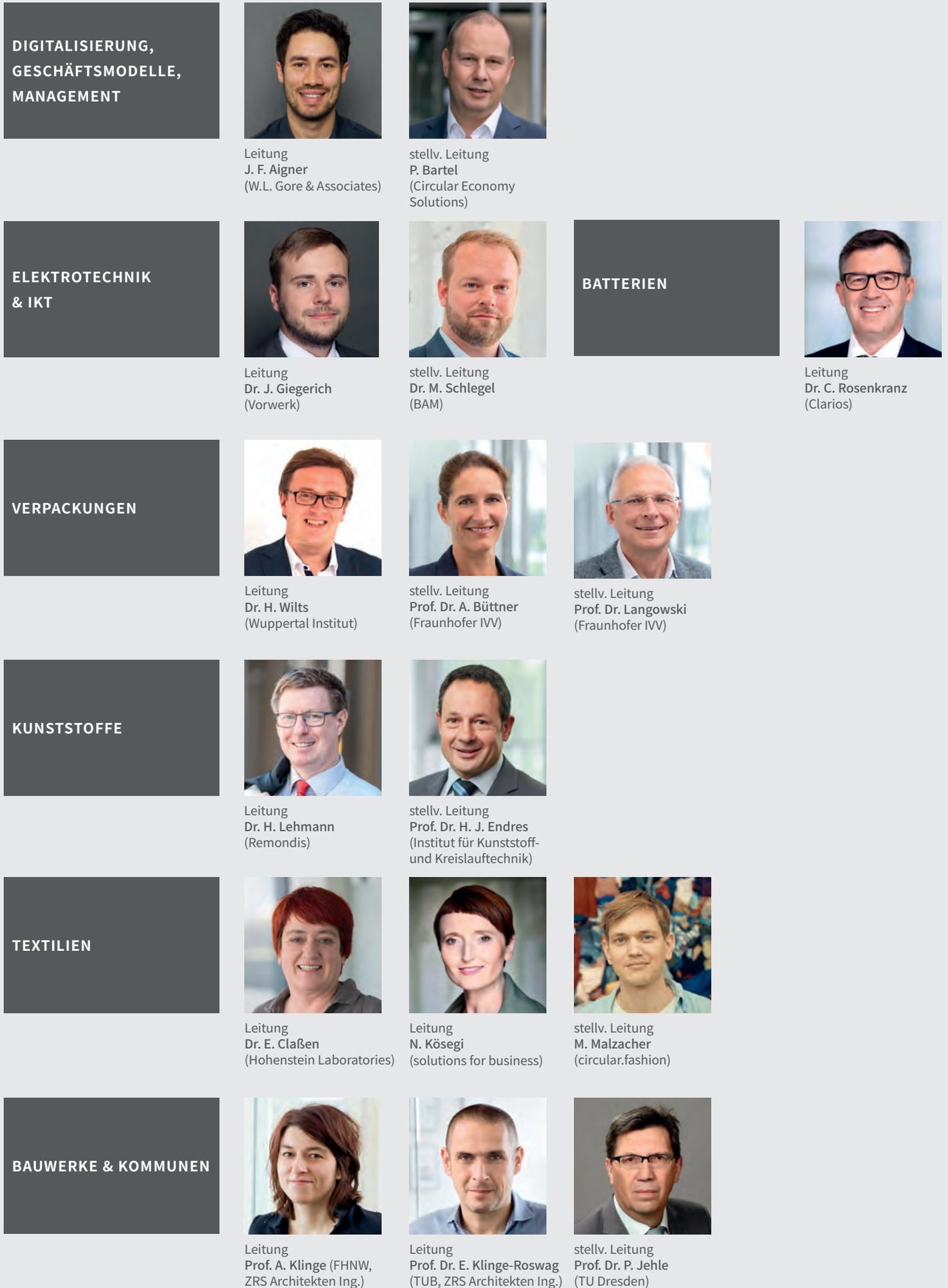


Abbildung 7: Leitungsstruktur der Normungsroadmap Circular Economy (Quelle: DIN)

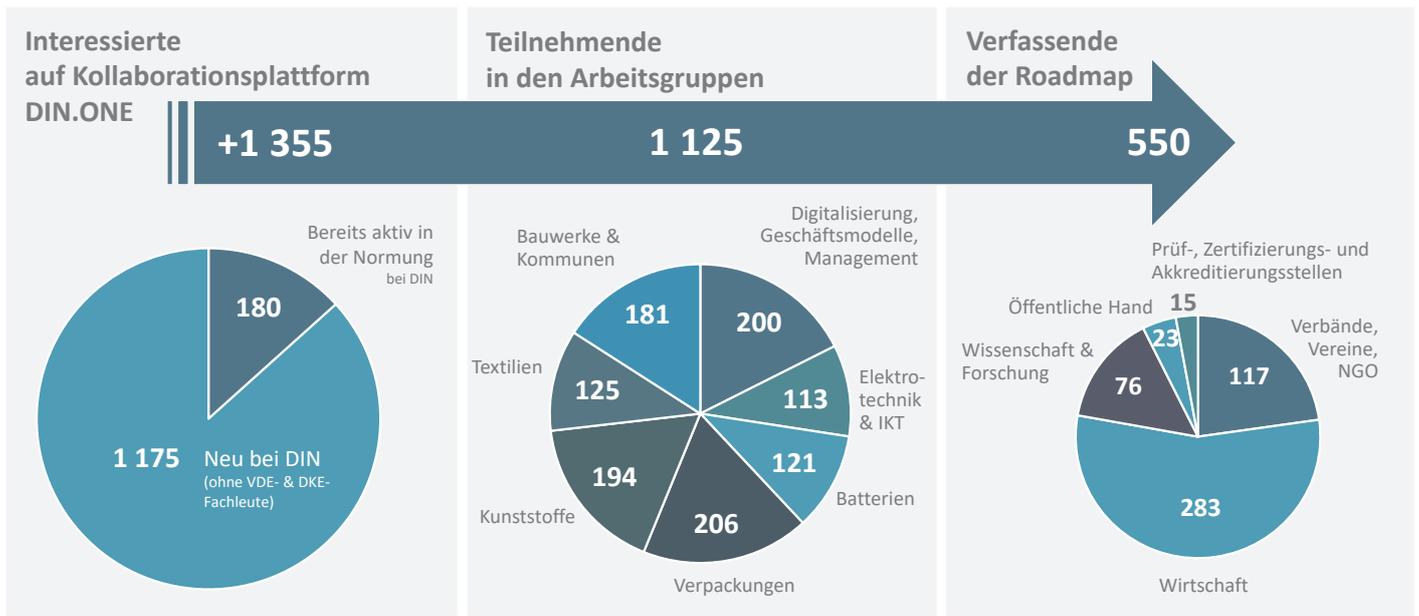


Abbildung 8: Teilnehmende in den Arbeitsgruppen, Stand 09.09.2022 (Quelle: DIN)

	Digitalisierung, Geschäftsmodelle, Mgmt.	Elektrotechnik & IKT	Batterien	Verpackungen	Kunststoffe	Textilien	Bauwerke & Kommunen
Leitung	J. F. Aigner (W.L. Gore & Associates)	Dr. J. Giegerich (Vorwerk)	Dr. C. Rosenkranz (Clarios Germany)	Dr. H. Wilts (Wuppertal Institut)	Dr. H. Lehmann (Remondis)	Dr. E. Claßen (Hohenstein Laboratories)	Prof. A. Klinge (FHNW, ZRS Architekten Ing.)
stv. Leitung	P. Bartel (Circular Economy Solutions)	Dr. M.-C. Schlegel (BAM)		Prof. Dr. A. Büttner (Fraunhofer IVV)	Prof. Dr. H.-J. Endres (IKK)	M. Malzacher (circular.fashion)	Prof. Dr. P. Jehle (TU Dresden)
Themen & Unterarbeitsgruppen (Namen gekürzt)	Bewertungs- & Indikatorensysteme R. Weissinger (Universität Genf)	Hausgeräte	Digitaler Produktpass (DPP)	Design 4 Rec./Recycling C. Grünewald (TÜV SÜD Product Service GmbH) M. Korbmann (DHBW)	Recyclingfähigkeit H. Lühn (Kautex Textron GmbH & Co. KG) Dr.-Ing. S. Kabasci (Fraunhofer-Institut UMSICHT)	Reduce D. Stellmach (DITF)	Baumaterialien Dr. Jan Kortmann (TUD) Prof. Dr. Jürgen Graf (TUK) Prof. Maren Kohaus (TUM)
	Daten- & Informationsstruktur J. F. Aigner (W.L. Gore & Associates GmbH)	Großgeräte, Anlagen, Installationen	2nd Use	Nachhaltigkeitsbewert. J. Walther-Thoß (Berndt+Partner Consultants) H. Sittel (Effizienz-Agentur NRW)	Lebenszyklus Prof. Dr. G. Beck (IARS, SRH Berlin) I. Welke (Greenance)	Designstrategien	Gebäude C. Dorn und C. Senkel (TUD) K. Meyer (Energie Impuls OWL e. V.)
	Operationalisierung & Monitoring P. Bartel (Circular Economy Solutions GmbH)	IKT	Recyclingmaterial	Zirkuläre Supportstruk. K. Hunger (IPV e. V.) Prof. Dr. H.-C. Langowski (Fraunhofer IVV) Dr. H. Wilts (WI)	Inputströme/ Traceabili. M. Harting Pfeifer (REMONDIS Recycling GmbH & Co. KG) Holger Alwast (Alwast Consulting)	Informationen K. Sattlegger (XIPHOO GmbH)	Kommunen J. Rodehutsors (Innovation Campus Lemgo e. V.) G. Schock (Umweltberatung Gabi Schock)
	Kollaboration K.-A. Weiß (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE)			Konformität K. Hunger (IPV e. V.) Prof. Dr. H.-C. Langowski (Fraunhofer IVV)	Qualität M. Doedt (Kunststoff-Institut Lüdenscheid) K. Blay (SGS Institut Fresenius GmbH)	Kennzeichnung I. Zwickel-Bakker (CPV Circular Performance & Verification)	Tools und Methoden S. von Oppen (Bundesarchitektenkammer e. V.)
Produktentstehungsprozesse Dr. S. Pankov (DFGE Institute for Energy, Ecology and Economy)			Mehrweg, „Unverpackt“, E-Commerce N. Seyring (circulatemore) Stv: Kathrin Lenz, (SEA ME GmbH) / Dr. Anika Oppermann (Mehrwegverband Deutschland e. V., shafuto)	Chem. Recycling Dr. J. Migenda (BASF SE) Dr. A. Ilzhöfer (Covestro AG)	Sammlung & Sortierung A. Bünemann (cyclos GmbH)	Rezyklate & Fasern J. Leis (Sächsisches Textilforschungsinstitut e. V.)	
				Mech. Recycling A. Hoffmann (HOFFMANN + VOSS GmbH) R. Zies (MKV GmbH Kunststoffgranulate)	Reuse R. Weissinger (Universität Genf)		

Abbildung 9: Projektstruktur Normungsroadmap Circular Economy (Quelle: DIN)

1.6.2 Normenrecherche zu Circular Economy

DIN, DKE und VDI haben in Vorbereitung der Arbeitstreffen eine breit angelegte Recherche zu bestehenden Normen und Standards in der Circular Economy vorgenommen. Dabei wurde das gesamte nationale und internationale Normenwerk nach relevanten Circular-Economy-Normen gescannt und ausgewertet. Insgesamt wurde in 280 Regelwerken mit über 700 000 aktuellen Nachweisen und damit in der umfangreichsten Normendatenbank der Welt recherchiert:

Das Gesamtergebnis von 3 313 Basisdaten wurde seitens DIN, DKE und VDI manuell auf Relevanz geprüft und den sieben Schwerpunktthemen sowie übergeordneten Themenfeldern zugeordnet. Relevant waren nach der qualitativen Prüfung insgesamt 2 101 Dokumente. Diese wurden durch die Fachleute in den Arbeitsgruppen geprüft und um aktuell laufende Projekte ergänzt. Das Ergebnis der Recherche kann folgenden Websites entnommen werden:



www.din.de/go/normenrecherche-circular-economy



www.dke.de/normenrecherche-circular-economy



www.vdi.de/go/normenrecherche-circular-economy

Rechercheergebnisse insgesamt

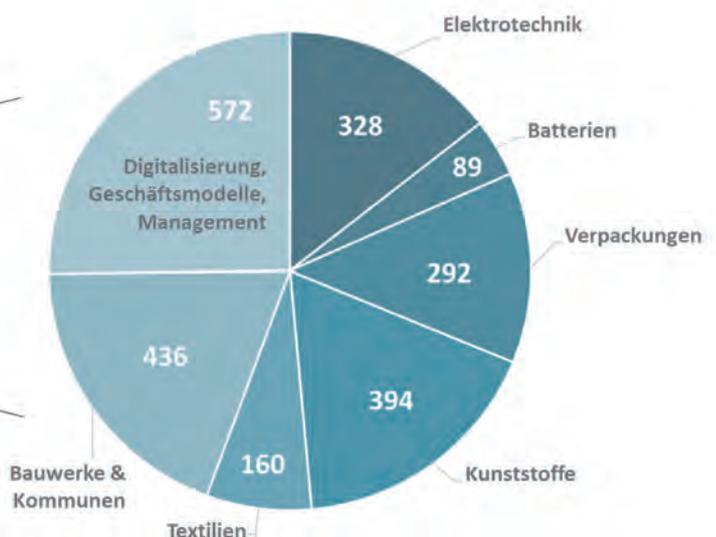
(Anzahl; absolut)

Summe: 3 313 Basisdaten



Nach Schwerpunktthemen

(Anzahl Treffer pro Thema; absolut, Doppelte Zählung möglich)



(Stand 2022-09)

Abbildung 10: Ergebnis der Normenrecherche Circular Economy (Quelle: DIN)

Der Basisdatensatz wurde im Januar 2022 der Datenbank entnommen, der letzte Überarbeitungsstand der Recherche ist vom 19.09.2022.

Folgende Ergebnisse konnten für die Schwerpunktthemen der gesamten Roadmap gewonnen werden:

Für die Schwerpunktthemen existieren unterschiedlich viele Normen und Standards mit Relevanz für die Circular Economy. Es zeigt sich, dass es bereits eine große Anzahl von für die Circular Economy relevanten Normen und Standards gibt, die jedoch in den meisten Fällen nicht direkt, sondern eher im erweiterten Sinne Bezug zur Circular Economy haben und auch nicht systematisch über alle R-Strategien wirken (siehe Kapitel 1.6.3). Denn ein Großteil der Normen wirkt im Bereich Recycling, der in der Vergangenheit als Schwerpunktthema im Bereich der Circular Economy behandelt wurde. Dies zeigte sich über alle Schwerpunktthemen hinweg. Höherwertige Strategien wie „Rethink“, „Refuse“ und „Repurpose“ wurden kaum adressiert. Diese Strategien haben kaum oder keine Abbildung im Normenwerk.

In den Schwerpunktthemen wurde anschließend eine Auswertung nach Produktgruppen pro R-Strategie (siehe Kapitel 1.6.3) vorgenommen. Die Ergebnisse dienen einer Gap-Analyse für fehlende Normen, aber auch für Überarbeitungsbedarfe in den Gruppen. Diese werden in den folgenden Kapiteln detailliert aufgegriffen.

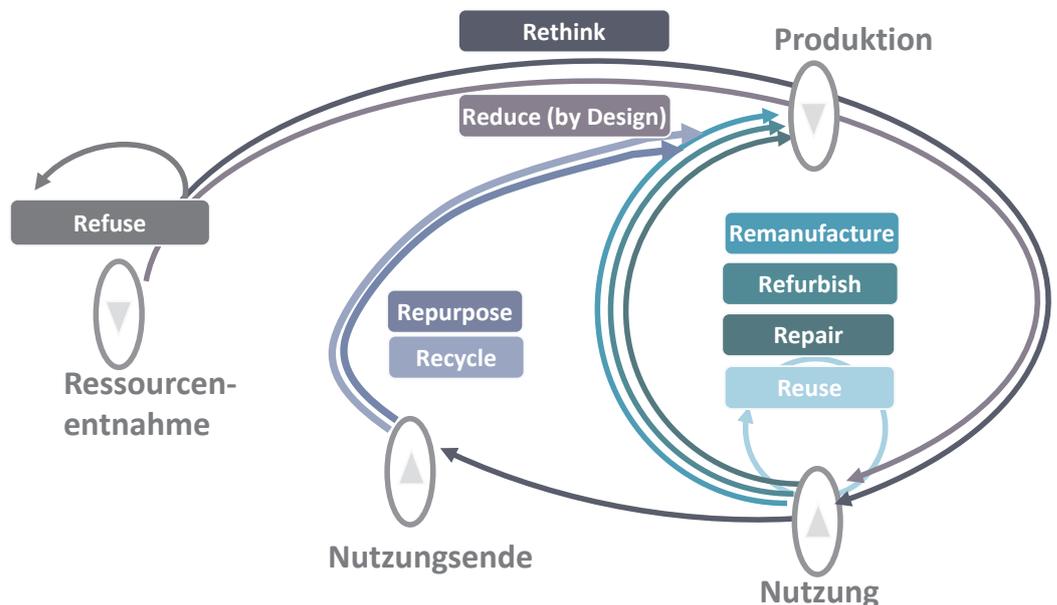
1.6.3 Erarbeitung von Normungsbedarfen nach R-Strategien

Die Normungsroadmap Circular Economy orientiert sich an dem Modell der R-Strategien der Circular Economy. Diese Strategien haben zum Ziel, den Verbrauch von natürlichen Ressourcen zu reduzieren und die Kreislaufführung von Materialien zu unterstützen. Sie systematisieren verschiedene Verwertungsstrategien in einer Hierarchie, ergänzen sich gegenseitig und koexistieren. Diese werden als Kerngerüst der Transformation hin zur zirkulären Wertschöpfung angesehen. Im Folgenden soll das 9R-Framework, das auch in UN-Publikationen Anwendung findet, dargestellt werden. Im Anschluss wird gezeigt, wie Normung zur Unterstützung der verschiedenen R-Strategien eingesetzt werden kann. Eine Detaillierung der Strategien fand in den jeweiligen Schwerpunktthemen statt. Die ermittelten Normungsbedarfe wurden jeweils einer Fokusstrategie zugeordnet.

Refuse (Verzicht): Auf ein Produkt verzichten oder die gleiche Funktion mit einem radikal anderen (z. B. digitalen) Produkt oder Dienstleistung ersetzen. Verzicht oder Reduktion der Verwendung von Rohstoffen, Gestaltung von Produktionsprozessen zur Vermeidung von Abfall

Rethink (Überdenken): Eine systemische Sicht einnehmen, für Kreisläufe planen und designen (auch zirkuläre Systeme rund um das Produkt planen, inkl. Reverse Logistics), Ent-

Abbildung 11: R-Strategien der Circular Economy als Ausgangspunkt für die Gliederung der auszuarbeitenden Normungsbedarfe (Quelle: Vgl. 9R-Framework der UNEP [44] (basierend auf Potting et al. (2017) [45]))



wicklung neuer Geschäftsmodelle, bewusste Materialwahl für Kreisläufe (Substitution bedenklicher Stoffe, Materialinnovationen). Intensivierung der Produktnutzung (z. B. durch Product-as-a-Service, Wiederverwendungs- und Sharing-Modelle oder durch das Angebot, multifunktionale Produkte auf den Markt zu bringen)

Reduce (by design) (Reduktion (durch Design)): Implementierung eines Designs, das Zirkularität ermöglicht (Design for Circularity), Erhöhung der Effizienz bei der Herstellung oder Verwendung von Produkten durch den Verbrauch von weniger natürlichen Ressourcen und Materialien sowie Energie, Reduktion des ökologischen Fußabdrucks

Reuse (Wiederverwendung)¹: Wiederverwendung eines Produkts, das noch in gutem Zustand ist und seine Funktion erfüllt (und kein Abfall ist), für denselben Zweck, für den es konzipiert wurde, möglicherweise nach einer Reparatur oder Wiederinstandsetzung (Refurbish) [41]

Repair (Reparatur)¹: Reparatur und Wartung eines defekten Produkts, damit es wieder benutzt werden kann mit seiner ursprünglichen Funktion

Refurbish (Instandsetzung/Aufarbeitung): Ein altes Produkt wiederherstellen und es auf den neuesten Stand bringen (auf ein bestimmtes Qualitätsniveau)

Remanufacture (Wiederaufarbeitung)²: Verwendung von Teilen eines ausrangierten Produkts in einem neuen Produkt mit der gleichen Funktion (und im Neuzustand)

Repurpose (Umnutzung): Verwendung eines überflüssigen Produkts oder seiner Teile in einem neuen Produkt mit anderer Funktion

Recycle (Recycling)^{1, 3}: Rückgewinnung von Materialien aus Abfällen zur Wiederaufbereitung zu neuen Produkten, Materialien oder Stoffen für den ursprünglichen oder einen anderen Zweck. Er umfasst die Wiederaufbereitung von organischem Material, nicht aber die Energierückgewinnung und die Wie-

deraufbereitung zu Materialien, die als Brennstoffe oder für Verfüllungsmaßnahmen verwendet werden sollen

Funktionen von Normung zur Unterstützung der R-Strategien

Traditionell bestanden die wesentlichen Ziele von Normen darin, Funktionalität, Sicherheit, Qualität und Kompatibilität von Produkten und Dienstleistungen sicherzustellen. Durch eine Konzentration auf Ressourcenschonung, Produktlebenszeitverlängerung, Wert- und Qualitätserhaltung und Abfallvermeidung können Normen dazu beitragen, diesen Aspekten ein weit höheres Gewicht zu geben, als dies in der Vergangenheit der Fall war.

Normen mit den folgenden Funktionen können diese Ziele unterstützen. Normen bezüglich

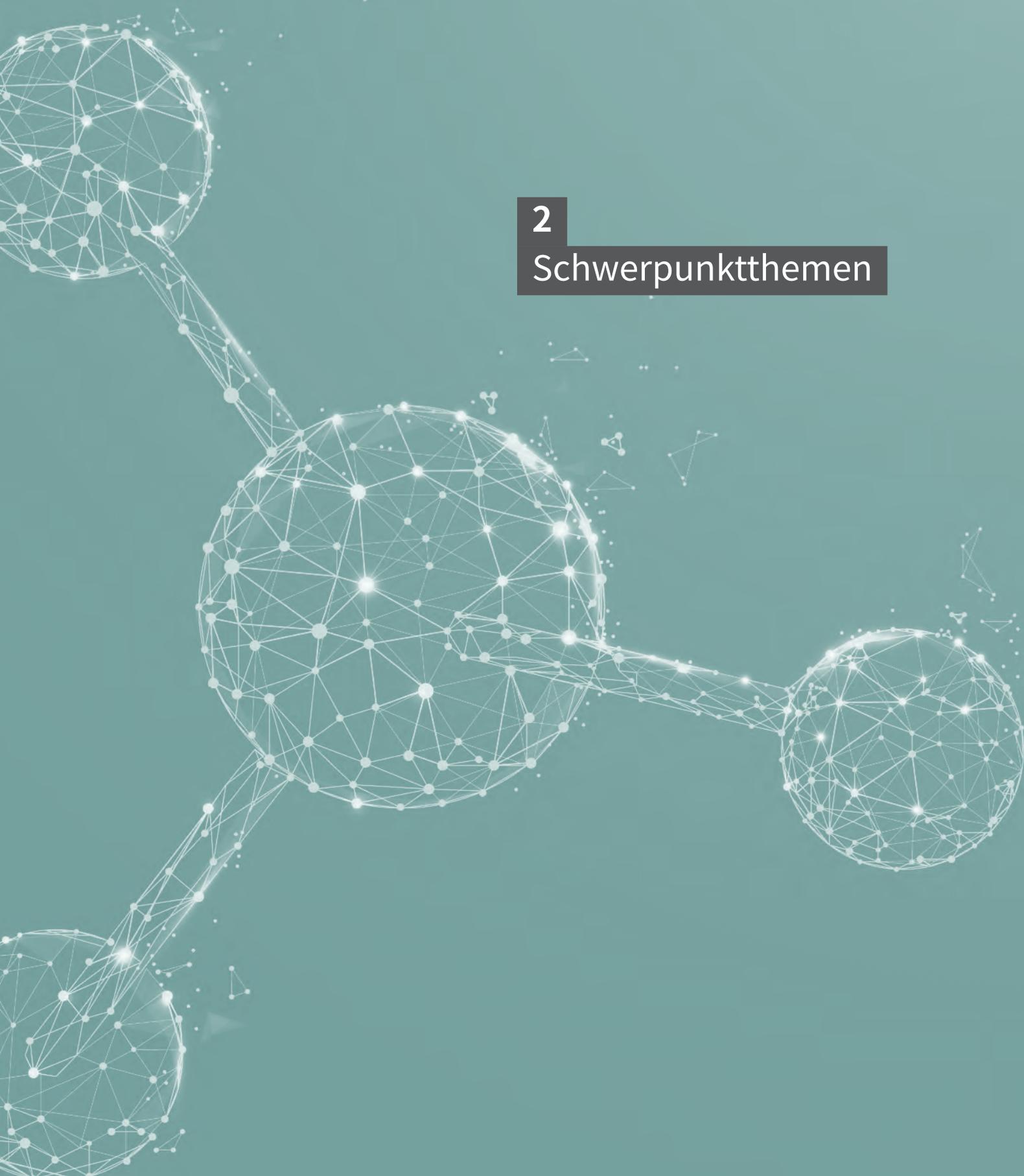
- Umweltgerechter Produktgestaltung (environmental conscious design, Design 4 Circularity) für alle Produktgruppen und Ressourcen (nicht nur Energie)
- Modularer Designprinzipien für die Steigerung der Reparierbarkeit von Produkten
- Reduktion von Produkt- und Materialvarianten (variety reduction) durch Konzentration auf Grundfunktionen von Produkten
- Design 4 Circularity (z. B. Design 4 Repair, „Remanufacturing“ und „Recycling“)
- Qualitätsklassen von Rezyklaten (unterstützt durch entsprechende Prüfverfahren)
- Minimierung des Einsatzes oder völlige Ersetzung toxischer Substanzen
- Entwicklung Digitaler Produktpässe mit Material- und Produktinformationen
- Digitaler Plattformen, auf denen Informationen zu Materialien, Teilen und Produkten und zu deren Verfügbarkeit gespeichert werden

Als generelles Prinzip muss in der Normenerarbeitung vermieden werden, Anforderungen in einer Weise festzulegen, die sinnvolle R-Strategien in späteren Phasen des Produktlebenszyklus einschränken oder behindern. Durch die Integration von Prinzipien der Circular Economy in betriebliche Geschäftsmodelle und Managementsysteme und die systematische Anwendung von Normen mit Indikatoren, Bewertungsmethoden und technischen Verfahren, die Circular Economy unterstützen, können Normen und Standards dazu beitragen, schrittweise eine Transformation von Unternehmensprozessen und Netzwerken kooperierender Unternehmen zu einem höheren Grad an Zirkularität in Gang zu setzen.

1 Übersetzung gemäß DIN EN 4555X [46]

2 Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Normungsroadmap befindet sich die DIN SPEC 91472 Remanufacturing (Reman) – Qualitätsklassifizierung für zirkuläre Prozesse in der Erarbeitung [132]

3 Übersetzung gemäß Richtlinie 2008/98/EWG [47]



2

Schwerpunktthemen

Ziel der Normungsroadmap Circular Economy ist es, frühzeitig einen Handlungsrahmen zu beschreiben, der die deutsche Wirtschaft, Politik und Wissenschaft bei der Markteinführung von zirkulären Dienstleistungen und Produkten stärkt und damit das Fundament für eine Transformation schafft. Damit leistet die Roadmap einen wesentlichen Beitrag, um zirkuläre Geschäftsmodelle, Innovationen und skalierbare Anwendungen zu entwickeln.

Normen und Standards sorgen für Transparenz, Qualität und Zuverlässigkeit und tragen maßgeblich zum Vertrauen in Circular-Economy-Lösungen bei. Sie sind essenzielle Bausteine, wenn es um die Skalierung der Circular Economy geht. Dadurch kann eine breite gesellschaftliche Akzeptanz von zirkulären Produkten und Dienstleistungen erreicht werden, die wiederum Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg ist. Damit bietet die Normungsroadmap großes Potenzial, dass Deutschland eine Vorreiterrolle in der Circular Economy einnimmt. Nicht zuletzt deshalb sollte die Umsetzung der vorliegenden Normungsbedarfe zeitnah angestoßen werden.

Die Normungsroadmap Circular Economy stellt sieben Schwerpunktthemen in den Mittelpunkt und gibt konkrete Normungsbedarfe zu: (Kapitel 2.1 bis 2.7)

- Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management
- Elektrotechnik & IKT
- Batterien
- Verpackungen
- Kunststoffe
- Textilien
- Bauwerke & Kommunen

In dieser Roadmap wurden während der Erarbeitung Querschnittsthemen identifiziert, die für mehrere Schwerpunktthemen relevant sind (Siehe Kapitel 3).

Alle Kapitel enthalten sowohl normative, politische als auch forschungsspezifische Normungsbedarfe. Alle Normungsbedarfe haben gemein, dass das Instrument der Normung spezifisch berücksichtigt und forciert wird. Normungsbedarfe richten sich vorrangig an die nationalen und internationalen Standardisierungsgremien, jedoch, je nach Reifegrad und Rahmenbedingungen, auch an Gesetzgebende und die Wissenschaft.

Im folgenden Kapitel werden die Normungsbedarfe und Adressaten konkret beschrieben, hergeleitet und begründet. Eine Übersicht in tabellarischer Kurzform befindet im [Annex: Normungsbedarfe in der Übersicht](#)



2.1

Digitalisierung, Geschäftsmodelle und Management

2.1.1 Status quo

Im Rahmen dieses Schwerpunktthemas, das grundsätzlich als horizontales Thema zu den nachfolgenden sechs sektor- oder produktspezifischen Schwerpunktthemen verstanden wird, sollen Ansatzpunkte der Normung erarbeitet werden, die entweder als strategischer bzw. managementorientierter Rahmen oder als grundlegendes Fundament für die spezifischen und umsetzungsorientierten Normungsbedarfe in unterschiedlichen Sektoren dienen.

Für die Identifikation dieser Bedarfe (d. h. potenzielle Lücken in der derzeitigen Normungslandschaft) soll zwischen folgenden Ansatzpunkten für die Normung unterschieden werden:

- neue Bedarfe, die neue, transformative Elemente der Circular Economy (im Vergleich zur derzeitigen linearen Wirtschaftsweise) adressieren, um entsprechende Impulse zu geben;
- systematische Harmonisierung von bestehenden Normen und Standards, um fragmentierte Elemente der Circular Economy zu verknüpfen;
- punktuelle Ergänzung bzw. Revision von existierenden Normen, um relevante Aspekte der Circular Economy zu integrieren.

Bisheriges Vorgehen

Die teilnehmerabhängige Identifizierung und vorläufige Beschreibung der potenziellen Normungsbedarfe erfolgten innerhalb von fünf untergeordneten Themenclustern, die insgesamt das breite Spektrum des Schwerpunktthemas „Digitalisierung, Geschäftsmodelle und Management“ abbilden sollen. Die Ableitung dieser Themencluster basiert auf der initialen Sammlung und Konsolidierung von möglichen Themen und wurde im Laufe der Arbeiten iterativ angepasst bzw. ausgestaltet.

Auswertung der Normenrecherche

Im Rahmen der kollaborativen Arbeitstreffen innerhalb des Schwerpunktthemas „Digitalisierung, Geschäftsmodelle und Management“ wurde deutlich, dass sich eine klare Zuordnung der identifizierten Bedarfe zu den R-Strategien als schwierig erweist. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass die normengestützte Umsetzung von R-Strategien vornehmlich branchenspezifisch auszugestalten ist. Horizontale Themen und Normungsbedarfe sind per Definition branchen- und produktübergreifend. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die identifizierten Bedarfe dieses Schwerpunktthemas zumeist mehrere R-Strategien implizit abdecken bzw. diese potenziell unterstützen, wenngleich die

eigentlichen Bedarfe ggf. eher unspezifisch im Hinblick auf die branchenspezifische Umsetzung der R-Strategien sind.

Aufgrund vorangegangener Überlegungen und Diskussionen wird im horizontalen Schwerpunktthema „Digitalisierung, Geschäftsmodelle und Management“ daher eine neuartige Klassifizierung [53] von bestehenden Normen zur Auswertung der Normenrecherche herangezogen. Dieser heuristische Ansatz differenziert zwischen vier Ebenen von Normen (siehe [Abbildung 12](#)).

Ebene 1 – Circular-Economy-System-Normen:

Die grundlegende Funktion dieser Normen besteht darin, dass sie eine grundsätzliche Kreislauforientierung herstellen sollen, indem durch sie ein einheitliches Verständnis der Circular Economy festgelegt wird. Normen auf dieser Ebene umfassen übergeordnete Konzepte, Indikatorensysteme, Definitionen, Taxonomien, Frameworks, Bewertungs- und Berechnungsverfahren, durch die eine Orientierung von Organisationseinheiten unterschiedlicher Ebenen zur Zirkularität hin erreicht werden kann. Dies beinhaltet sowohl generische Normen als auch sektorspezifische Normen, die für einen Sektor eine Zirkularitätsarchitektur definieren.

Ebene 2 – Managementsystem-Normen:

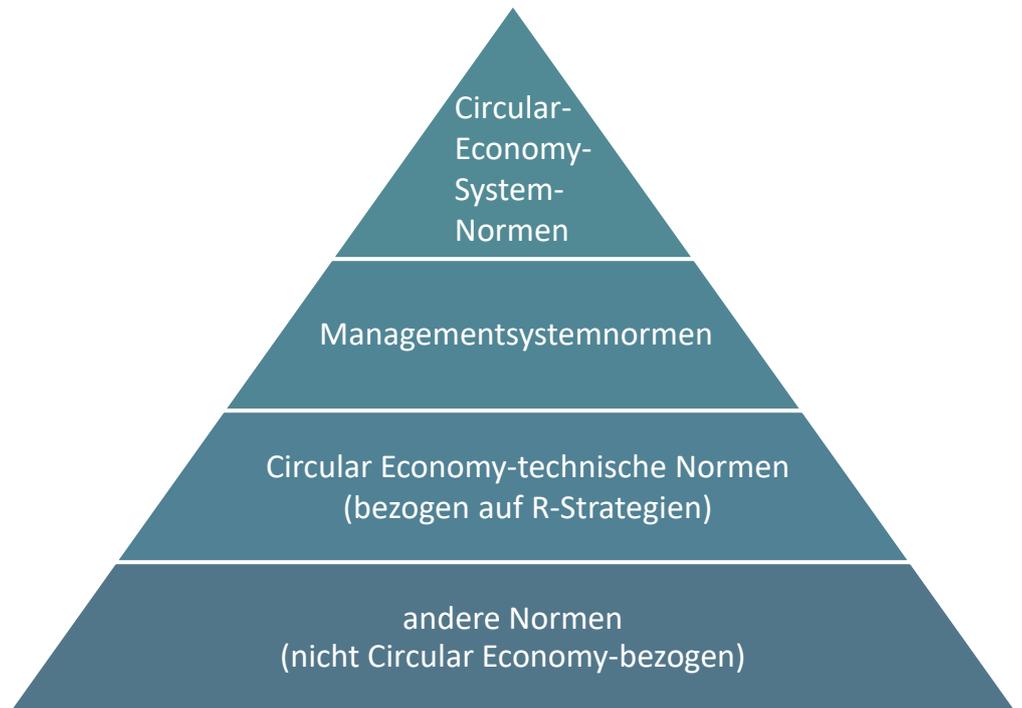
Wie bereits in der Einleitung dieser Normungsroadmap erwähnt, sind Marktpotenziale der Circular Economy eng mit steigenden Anforderungen an das Management von Komplexität und der radikalen Umgestaltung ganzer Wertschöpfungsketten verknüpft. Normen und Standards auf dieser Ebene tragen dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit der zirkulären Industrie gegenüber den heute etablierten linearen Modellen zu erhöhen. Dies kann z. B. durch Normung von operativen und organisatorischen Regelungen und Abläufen sowie durch entsprechende Policies erfolgen. Managementsystem-Normen haben u. a. die Funktion, die Circular-Economy-System-Normen in Organisationen zu verankern, Zielsetzungen zirkulärer Abläufe umzusetzen und Erfolge in der Umsetzung messbar zu machen.

Ebene 3 – Circular Economy-technische Normen:

Normen der dritten Ebene dienen zumeist dazu, technische Hilfestellungen bereitzustellen, um auf dieser Ebene kreislauffähiger zu werden. Es gibt viele Normen, etwa zur „Reparierbarkeit“, „Remanufacturing“, „Recycling“ usw., d. h. Aspekten oder Segmenten der Circular Economy, die außerhalb von expliziten Circular-Economy-Konzepten entwickelt wurden und jetzt durch übergreifende Circular-Economy-Konzepte stärker in zirkuläre Betriebsabläufe integriert werden können.

Abbildung 12:

Circular Economy –
vier Ebenen von Normen
(Quelle: DIN [53])



Damit leisten diese Normen einen Beitrag, Produkte und Dienstleistungen von Grund auf kreislauffähiger zu gestalten. Normen dieser Ebene mögen in manchen Fällen einen Bezug zu bestimmten R-Strategien herstellen; in vielen Fällen lassen sie sich diesen häufig eindeutig zuordnen.

Ebene 4 – Andere (nicht Circular Economy-bezogene) Normen:

Bei diesen Normen handelt es sich um potenziell relevante Regelungen und Voraussetzungen für eine erfolgreiche Circular Economy, ohne dass die jeweiligen Normen direkten Bezug auf das Konzept der Circular Economy nehmen. In diese Kategorie fallen z. B. Normen über Probenahmen und Prüfverfahren [53].

Methodik

Die über DIN.ONE zur Verfügung gestellte Normenrecherche [54] beinhaltet im April 2022 für dieses Schwerpunktthema bibliographische Daten zu insgesamt 538 Dokumenten. Die Normenrecherche wurde in drei Stufen durchgeführt:

- **Stufe 1:** Generische Suche mit Titelwörtern, Deskriptoren und ICS-Gruppen etc.
- **Stufe 2:** Zuordnung der Ergebnisse aus Stufe 1 zu den definierten sieben Fachgebieten (aufgrund einer Kombination von ICS-Gruppen)
- **Stufe 3:** Intellektuelle Nachbearbeitung der Ergebnisse, um offensichtliche Fehlzuordnungen oder andere Probleme zu beheben

Weiterhin lassen sich die Normen innerhalb dieses Schwerpunktthemas in die folgenden Unterbereiche (siehe [Abbildung 14](#)) einordnen (Mehrfachzuordnungen möglich):

Die jeweilige Zuordnung zu den Unterbereichen dieses Schwerpunktthemas erfolgte anhand des Titels der Normen. Somit handelt es sich um eine indikative Zuordnung zu den Bereichen.

Interpretation

Aus der Analyse lassen sich die folgenden vorläufigen Erkenntnisse für die weiteren Arbeiten und die Verortung der Normungsbedarfe ableiten:

- Grundsätzlich wird bereits an vielen strategischen und grundlegenden Themen der Circular Economy gearbeitet (vgl. 1. Ebene). Hierbei sind insbesondere die Arbeiten im Rahmen des ISO/TC 323 „Circular Economy“ hervorzuheben, deren Inhalte auf konsolidierten nationalen Positionen beruhen. Im Rahmen dieser Normungsroadmap sollten Bedarfe auf dieser Ebene daher vornehmlich einen ergänzenden oder harmonisierenden Charakter aufweisen.
- Auf den Ebenen 3 und 4 sind hauptsächlich sektor- bzw. produktspezifische Normungsbedarfe zu erwarten. Diese werden wiederum in diesem Schwerpunktthema nur am Rande bzw. punktuell angezeigt und sind vor allem Gegenstand der nachfolgenden Schwerpunktthemen. Hierbei ist davon auszugehen, dass viele Normen zu erarbeiten sind, um (1) vorhandene Verfahren und

Abbildung 13:

Verteilung der identifizierten Normen und Standards für Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management zu vier Ebenen von Normen für Circular Economy (Quelle: DIN [54])

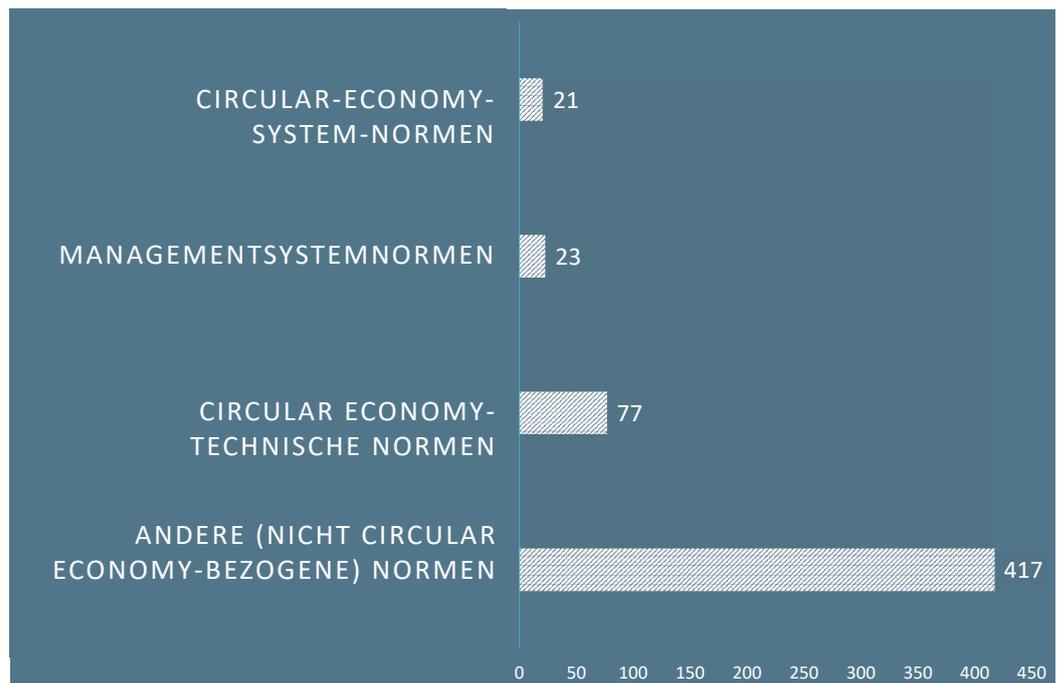
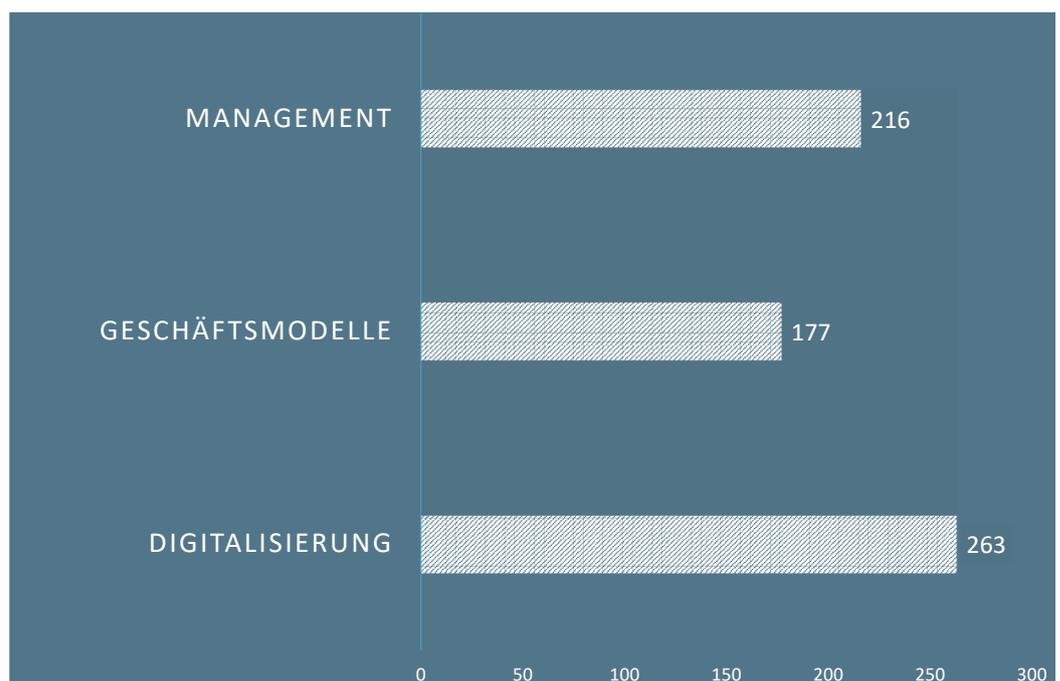


Abbildung 14: Zuordnung zu den Unterbereichen dieses Schwerpunktthemas (Quelle: DIN [55])



Technologien auf Zirkularität auszurichten und (2) ursprünglich für andere Zwecke entwickelte Normen in zirkuläre Strukturen zu integrieren. Daneben werden auch Normen benötigt, die für bestimmte Prozesse und Anwendungen Zirkularitätsbewertungen und -messungen unterstützen.

→ Basierend auf diesem heuristischen Analysekonzept lassen sich potenziell Lücken (v. a. hinsichtlich der Anpassung von bestehenden Managementsystemen) auf der

2. Ebene vermuten, da diese im Vergleich zur 1. Ebene eine deutlich höhere Anzahl aufweisen sollten. Lücken lassen sich vor allem im prozessbezogenen Ansatz der Circular Economy ausmachen. So ist die Operationalisierung der Circular Economy derzeit nicht ausreichend genormt (ISO 14009 [56] geht in diese Richtung, ist aber limitiert auf Material Circularity und Umweltaspekte). Demnach existieren Normungsbedarfe hinsichtlich der werterhaltenden Prozesse der Circular Economy als

Ergänzung von heutigen produktlebensendebezogenen Normen und Standards.

- Die drei Bereiche (Digitalisierung, Geschäftsmodelle, Management) sind nicht getrennt voneinander zu verstehen, sondern sind idealerweise eng verzahnt. Daher ist die Zuordnung einer Norm zu einer der drei Dimensionen so zu verstehen, dass dort der jeweilige Haupt-, aber nicht alleinige Fokus der entsprechenden Norm liegt.

2.1.2 Anforderungen und Herausforderungen

Mit Blick auf das Themenspektrum des Schwerpunktthemas „Digitalisierung, Geschäftsmodelle und Management“ wurden die nachfolgenden allgemeinen Herausforderungen (Hindernisse) im Zusammenhang mit der Operationalisierung der Circular Economy identifiziert (u. a. basierend auf Corvellec et al. (2021) [57]):

- Circular Economy ist keine gänzlich neue Strategie oder Agenda, sondern eher eine Kombination von bisherigen Ansätzen (z. B. Recycling)
- Keine einheitliche Definition des Konzeptes (> 100 unterschiedliche Definitionen)
- Forschung und Praxis fokussieren meist auf die Materialflüsse und ignorieren die Materialbestände von Erzeugnissen (sowie auch die mit Effizienzgewinnen zusammenhängenden Rebound-Effekte)
- Fehlende betriebsinterne Fachkompetenzen für Umsetzung
- Unzureichende Verfügbarkeit von Standards und zugehörigen Messmethoden, um eine objektive Aussage über die Anwendung und Entwicklung der messbaren Komponenten und Indikatoren der von den Vereinten Nationen vorgeschlagenen R-Strategien zu ermöglichen
- Unklarer Beitrag zu Nachhaltigkeit (z. B. Messung des Beitrags eines Geschäftsmodells zu Nachhaltigkeit muss fallspezifisch und systemisch erfolgen, unter Berücksichtigung aller Interessensgruppen)
- Häufig wird die Einführung der Circular Economy beschrieben, jedoch seltener die operative Umsetzung

Normen können daher zum Abbau o. g. Hindernisse beitragen. Insbesondere können Normen als Bindeglied zwischen den Beiträgen von Politik, Industrie und Wissenschaft fungieren. Hierbei sind die generischen Beiträge wie folgt zu verstehen [58]:

- Politik setzt Rahmenbedingungen, Ziele und ökonomische Anreize, um dabei kürzeren Loops („Reuse“, „Repair“, „Refurbish“ und „Remanufacture“) Priorität zu geben

- Unternehmen evaluieren den generellen Ansatz der Circular Economy und identifizieren spezifische technische sowie organisatorische Ansatzpunkte
- Wissenschaft erarbeitet Konsens in Bezug auf Definitionen, Grad der Zirkularität, normativen Charakter und Relation zu anderen Nachhaltigkeitskonzepten

Weiterhin wird anerkannt, dass ein großer Teil der Standardisierung in den Themenbereichen Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management horizontal sein könnte (d. h. generisch und produktübergreifend).

2.1.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe

Bewertungs- und Indikatorensysteme

Bedarf 1.1: Entwicklung von produktkategorienbezogenen Zirkularitätskriterien

Es gibt bereits eine große Anzahl von Zirkularitätskriterien und -indikatoren, die fast alle aus dem Bereich der Material-Flow-Analyse (MFA) stammen und derzeit im ISO/TC 323 Circular Economy genormt werden. Daher besteht für MFA-Indikatorensysteme kein zusätzlicher Normungsbedarf, sondern für produktbezogene Zirkularitätskriterien (siehe auch Bedarf 2.1).

Produkte können aufgrund ihres Ressourcenverbrauchs und ihrer Umweltauswirkungen grob in drei Gruppen eingeteilt werden [59]:

Produktgruppe 1: Einwegprodukte mit sehr kurzer Lebensdauer (für Einmalnutzung).

Produktgruppe 2: Produkte, die während ihrer Gebrauchsphase keinen oder nur einen geringen Verbrauch von Wasser, Strom oder anderen Ressourcen erfordern.

Produktgruppe 3: Produkte, die während ihrer Gebrauchsphase einen hohen Ressourcenverbrauch aufweisen.

Es besteht Bedarf für produktbezogene Zirkularitätskriterien und -indikatoren für alle drei Produktgruppen, insbesondere für Produktgruppe 2. Folgende Aspekte sollten dabei adressiert werden (ohne die Leistung oder Funktionalität von Produkten zu beeinträchtigen):

- Haltbarkeit eines Produkts und damit Langlebigkeit (unter Annahme eines typischen Nutzendenverhaltens)
- Modularität im Design

- Instandhaltbarkeit (inkl. Verfügbarkeit von Teilen und Instandhaltungsanleitungen)
- (De-)Montagemöglichkeiten für das Gesamtprodukt und von Produktteilen
- Wiederverwendbarkeit des Produkts und von Produktteilen
- Messung des Anteils wiederverwendeter Materialien und Teile (in neuen und Secondhandprodukten)
- Identifikation von toxischen Substanzen, die Langlebigkeit und Wiederverwendung von Materialien und Teilen be- oder verhindern
- Umfang und Messung des erwarteten Abfalls, der bei der Produktion anfällt
- Erfolgreiche Ressourcenreduktion durch die Nutzung von wiederverwendeten Materialien und Teilen
- Einsparung von Energie durch Wiederverwendung
- Generelle Reduzierung negativer Umweltauswirkungen
- Weitere

Ziel dieser Kriterien und Indikatoren ist es, die Lebenszeit von Produkten durch entsprechendes Produktdesign zu verlängern. Dabei ist jedoch nicht Zirkularität, sondern Nachhaltigkeit mit ihren drei Dimensionen – ökologisch, ökonomisch, sozial – das Hauptziel. Zirkularitätsmaßnahmen müssen stets darauf hin überprüft werden, ob sie mit Nachhaltigkeitskriterien in Einklang stehen.

Empfohlene Maßnahmen für Bedarf 1.1:

- Entwicklung von generischen Kriterien- und Indikatorenkatalogen, die – wie die oben genannten – für eine große Anzahl an Produktgruppen unterschiedlicher Felder anwendbar sind und eine Orientierungsfunktion haben können.
- Auf dieser Grundlage: Entwicklung von produktgruppenspezifischen Indikatorenkatalogen, die das Design und spätere Nutzungsphasen der Produktgruppen betreffen, insbesondere für Produktgruppe 2 mit geringem Ressourcenverbrauch während der Nutzungsphase.
- Monitoring der Umsetzung dieser Vorschläge und Prüfung der Anwendung der Indikatorenkataloge (auch mit der Absicht, diese inkrementell zu optimieren und neuen Anforderungen anzupassen).
- Erarbeitung von Normen, um die Erreichung der Kriterien und Indikatoren durch geeignete technische Verfahren zu unterstützen.

Derartige (Produkt-)Kriterien und Indikatoren könnten MFA-basierte Kriterien ergänzen und dazu beitragen, innere Kreisläufe zu unterstützen und Produktentwicklungen zu

fördern, die auf Materialeinsparung und die Verlängerung der Produktlebenszeit angelegt sind.

Bedarf 1.2: Qualitätssicherung, Konformitätsbewertung und -erklärung von wiederverwendeten Produkten und Produkten mit erweiterter Lebensdauer („Produktlebenszeitverlängerung“)

Der Markt für Secondhandprodukte und Produkte mit verlängerter Lebenszeit sollte wesentlich erweitert werden. Potenzielle Kaufende sollten die Möglichkeit haben, sich bei vielen Kaufentscheidungen zwischen dem Erwerb von Neuprodukten und von bereits gebrauchten, qualitativ guten oder hochwertigen Produkten zu entscheiden. Dies würde dazu beitragen, Ressourcennutzung durch den Ersatz von Neuprodukten durch bereits gebrauchte Produkte zu reduzieren. Zudem könnte eine solche Umstellung dazu beitragen, dass sich Firmen mehr auf Serviceleistungen zum Funktionserhalt von Produkten, also auf Wartung und Instandhaltung, konzentrieren könnten. Dies würde zur Steigerung des Angebots in diesem Dienstleistungssektor führen und damit zur Reduzierung der derzeit oftmals hohen Preise für Instandhaltungsdienstleistungen.

Eine signifikante Erweiterung des Secondhandmarkts und von Produkten mit erweiterter Lebensdauer erfordert es jedoch, die Transparenz in diesem Markt wesentlich zu erhöhen.

Abbildung 15 zeigt die grundlegende Herausforderung: Zwischen Erstnutzung („Use“) und weiterer Nutzung durch spätere Nutzende („Reuse“) können oft Jahre liegen, während derer auch Instandhaltungsarbeiten und Aufarbeitungen („Refurbish“) an Produkten durchgeführt worden sein mögen.

Ein zuverlässiges System der Qualitätssicherung vor der Weitergabe an nachfolgende anwendende Personen könnte die Transparenz und das Vertrauen bzgl. Funktionalität und Qualität von Produkten mit erweiterter Lebensdauer wesentlich steigern. Erfolgreiche Inspektionen würden durch ein Konformitätsbewertungssystem (das Zertifizierung umfassen kann) mit Konformitätserklärungen unterstützen, um in einer einfachen Form Informationen über die aktuelle Qualität und Funktionalität an potenzielle Kaufende zu kommunizieren. Im Zentrum sollte hier der Zustand der Kernfunktionalität von gebrauchten Produkten stehen und z. B. die Frage adressieren: „Was ist eine realistische Nutzungserwartung eines Produkts (gemessen in Anzahl von Nutzungszyklen oder über einen Zeitraum), ohne Funktionseinbußen erwarten zu müssen?“

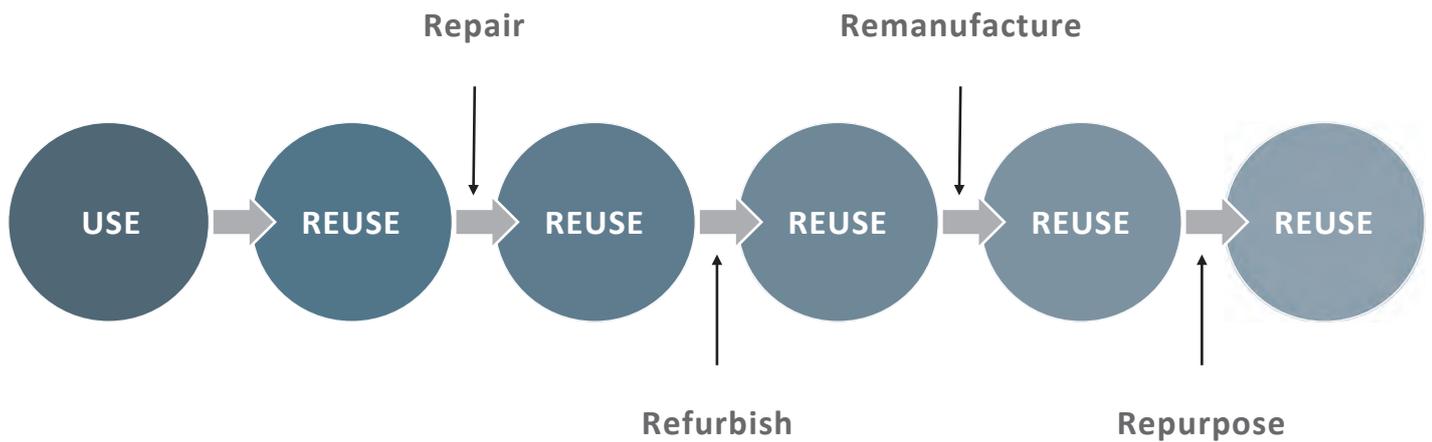


Abbildung 15: Produktlebenszeitverlängerung aufgrund von Reuse durch Sequenzen von Nutzenden (Quelle: DIN)

Empfohlene Maßnahmen für Bedarf 1.2:

- Es sollte ein **zuverlässiges System der Qualitätssicherung für Produkte in späteren Lebensphasen** entwickelt werden. Qualitätssicherung kann durch Qualitätsindexe für unterschiedliche Produktgruppen unterstützt werden, in denen unterschiedliche Qualitätsklassen definiert sind, die potenziellen Kaufenden den aktuellen Zustand von Produkten signalisieren, um Sicherheit und Vertrauen für alle Geschäftspartner*innen zu erreichen.
- Qualitätssicherung sollte durch ein **System der Konformitätsbewertung und -erklärung** für Produkte in späteren Lebensphasen unterstützt werden.

Bedarf 1.3: Definition und Bewertungs-/Messmethode zur Bestimmung des finanziellen Werts von Rohstoffen (ursprünglich Abfall)

Wie im Querschnittsthema „End-of-Waste“ (EoW, 3.4) erläutert, wird der Begriff „Abfall“ in den Rechtssystemen unterschiedlicher Länder und Normen verschieden definiert. Unterschiedliche Abfallrichtlinien erzwingen es, Abfall in unterschiedlicher Weise zu klassifizieren und zu deklarieren, was Einfluss auf die Möglichkeiten hat, Abfall als Rohmaterialquelle weiterzuverwenden (inklusive Abfall zu exportieren). Aus diesem Grunde sollte die Definition von Abfall vereinheitlicht werden, insbesondere um, wo immer möglich, die Weiterverwendung von Abfall als sekundäre Rohstoffquelle zu fördern.

Der wirtschaftliche Verlust durch die Nichtnutzung von wertvollen Materialien in Abfall ist enorm. Ein Beispiel ist eWaste, der für 2019 im Global eWaste-Monitor 2020 [60] auf ca. 57 Milliarden USD geschätzt wird, von denen nur ca. 10 Milliarden durch Recycling (17,4 %) zurückgewonnen werden. Andere Beispiele sind Textilien (Wertverlust von

USD 460 Milliarden pro Jahr, nach der Ellen MacArthur Foundation [61]) sowie Nahrungsmittel.

Empfohlene Maßnahmen für Bedarf 1.3:

- Technische Richtlinien zur Definition von Abfall und Abfallkategorien vereinheitlichen mit der Absicht, die Weiterverwendung/Rückführung als Rohstoff (Siehe Kapitel 3.4) wo immer möglich, zu fördern und damit die Mengen an Abfall signifikant zu senken.
- Es sollte ein Verfahren zur Berechnung des Werts von bestimmten Materialien oder Substanzen, die derzeit als Abfall deklariert oder behandelt werden, entwickelt werden.

Bedarf 1.4: Circular Economy und Nachhaltigkeitsberichterstattung

Die Nachhaltigkeitsberichterstattung hat durch die Entscheidung der Europäischen Kommission im Jahr 2019, die Anforderungen an Nachhaltigkeitsberichte zu verschärfen und die Entwicklung von Europäische Standards zur Nachhaltigkeitsberichterstattung (engl.: European Sustainability Reporting Standards, ESRS) zu initiieren, weiter an Bedeutung gewonnen. Die Verantwortung für die Entwicklung dieser Standards liegt bei EFRAG, der European Financial Reporting Advisory Group [62]. Im April 2022 wurde von EFRAG eine Reihe von Entwürfen publiziert, von denen einer die Ressourcennutzung und Circular Economy von Organisationen betrifft (ESRS E5) [63]. Weitere Standards betreffen Klimawandel, Umweltverschmutzung, Biodiversität und andere ökologische sowie ökonomische und soziale Themen.

Die Indikatoren in ESRS E5 betreffen Strategie, Governance und Materialitätsbewertung für ein Unternehmen. Die Indika-

toren, die für die Performancebewertung angewendet werden, sind MFA-basierte Indikatoren (Input von Ressourcen, Output von Ressourcen, Abfallerzeugung, Optimierung der Ressourcennutzung und Maßnahmen zur Unterstützung einer zirkulären Wirtschaftsweise). Zusätzlich soll über finanzielle Auswirkungen des Ressourcenverbrauchs und über Auswirkungen, Risiken und Chancen von Circular-Economy-Maßnahmen berichtet werden.

Die Bedeutung der Standards zur Nachhaltigkeitsberichterstattung wird sehr hoch sein. Dies eröffnet nationalen, regionalen und internationalen Normungsorganisationen die Möglichkeit, die verschärften Berichterstattungspflichten durch die Bereitstellung von Listen geeigneter technischer Normen und Standards, z. B. zur Messung von erfolgten Zirkularitätsmaßnahmen in betrieblichen Prozessen und Produkten, zu unterstützen.

Empfohlene Maßnahmen für Bedarf 1.4:

- Normungsorganisationen sollten solche Normen und Standards identifizieren, die geeignet sind, das neue Berichterstattungsformat von EFRS E5 und der anderen neuen Berichterstattungsstandards zu unterstützen. Listen von relevanten Normen (mit Schwerpunkt auf europäischen und internationalen, aber auch anderen Normen) sollten erstellt und up to date gehalten werden, die zur Umsetzung von Zirkularitätsmaßnahmen in Unternehmen und zur Erfüllung der unterschiedlichen Berichterstattungspflichten eingesetzt werden können.
- Beispielberichte nach dem neuen Berichtsformat sollten erstellt werden, um an praktischen Fällen zu zeigen, wie Normen und Standards unter Zuhilfenahme der erstellten Normenlisten zur Nachhaltigkeitsberichterstattung eingesetzt werden können. Dies könnte zu einem neuen Informationsservice seitens des DIN für seine Kunden entwickelt werden.

Daten- und Informationsstruktur

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN UND PRINZIPIEN

Bedarf 1.5: Definition und Abgrenzung der unterschiedlichen Konzepte zur Verfügbarmachung von produktbezogenen Daten anhand eines geeigneten Rahmenkonzepts

Digitale Lösungen wie der Digitale Zwilling (engl. Digital Twin, DT) und der Digitale Produktpass (DPP) können dazu beitragen, die Circular Economy umzusetzen, indem sie produktspezifische Daten und Informationen mit wirtschaftlich

vertretbarem Aufwand zur Verfügung stellen, um eine Operationalisierung der R-Strategien zu ermöglichen. Der DT gilt als Erfolg versprechender Trend in der Industrie und ist vielseitig einsetzbar. Das Anwendungsgebiet erstreckt sich von der Zustandsüberwachung hin bis zu autonomen Systemen. Resultierend ergeben sich vielfältige Anforderungen, Herausforderungen und Ziele für den DT, die in der Praxis dazu geführt haben, dass ein einheitliches Verständnis von dem Konzept des DT fehlt. Obwohl die Begriffe des DT und des DPP oft synonym verwendet werden, gilt es, zu bedenken, dass es sich hierbei um unterschiedliche Instrumente handelt, die ggf. durch entsprechende Schnittstellen verbunden sein können (siehe hierzu auch Bedarfe 1.24 und 1.26). Darüber hinaus lassen sich noch weitere Vorläufer und Umsetzungs-ideen identifizieren (z. B. Umweltproduktdeklaration nach DIN EN ISO 14025 [64], ISO/WD 59040 [65]), die ähnliche Ziele verfolgen. Daher besteht die Notwendigkeit, die grundlegenden Vorläufer und Umsetzungs-ideen (v. a. DT und DPP) ggf. voneinander abzugrenzen sowie deren verschiedene Ausprägungsformen zu definieren. Weiterhin wird angeregt, Begrifflichkeiten und Umsetzungsstrategien zu harmonisieren bzw. aufeinander abzustimmen durch die Herstellung der entsprechenden Verweise zwischen bestehenden Arbeiten (siehe z. B. Industrie-4.0-Verwaltungsschale (als Ausprägung eines DT) gemäß DIN EN IEC 63278-1 [66] sowie ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 6 (Digital twin). Hierfür eignet sich ggf. die Entwicklung eines Orientierungsrahmens (z. B. Abgrenzung anhand von den jeweiligen Eigenschaften und Möglichkeiten des Instruments: von passiv/statisch bis hin zu proaktiv/automatisiert), geknüpft an eindeutige Produktkategorien aus Perspektive der Circular Economy (siehe hierzu Bedarf 1.6 sowie DIN/DKE Normungsroadmap Industrie 4.0 [67]), da dort die Nutzung des Konzepts der Verwaltungsschale über den Lebenszyklus hinweg beschrieben wird).

Bedarf 1.6: Entwicklung einer Taxonomie von abstrahierten Produktgruppen im Kontext der Circular Economy

Die grundsätzliche Anwendbarkeit von Circular-Economy-Strategien und -Maßnahmen (Siehe Kapitel 1.6.3) hängt zunächst maßgeblich von den jeweiligen Produkteigenschaften ab. Zudem kann beobachtet werden, dass erfolgreiche Maßnahmen zur Verbesserung der Circular Economy sehr spezifisch auf das Produkt [68] und den entsprechenden Kontext (z. B. Wertschöpfungskette, Nutzendenverhalten) ausgelegt werden müssen. Die Komplexität in der Identifikation von geeigneten Maßnahmen erhöht sich noch durch die unvermeidbaren Wechselwirkungen und Zielkonflikte, die durch bestimmte Interventionen innerhalb eines Produktlebenszyklus induziert werden können. Um insbeson-

dere Industrieunternehmen sowie politischen Beteiligten geeignete Strategien, Instrumente, Geschäftsmodelle und Indikatoren empfehlen zu können bzw. den Findungsprozess zu erleichtern, könnte eine abstrahierte und kreislaufwirtschaftsorientierte Klassifizierung von Produktgruppen (siehe auch Bedarf 1.1) einen initialen Orientierungsrahmen geben. Hierbei sollte ein geeignetes Abstraktionslevel erarbeitet werden, um eine branchenübergreifende Anwendbarkeit (d. h. horizontaler Standard) zu gewährleisten. Potenziell geeignete Dimensionen zur Unterscheidung könnten z. B. wie folgt sein:

- Inhärente Produkteigenschaften (dimensional/nicht dimensional)
- Komplexität der Produkte
- Lebensdauer und Charakteristika der Nutzungsphase [59]

Ein weiterer Anhaltspunkt für die Entwicklung von möglichen Produktgruppen ist der von Blomsma und Tennant (2020) [69] entwickelte „Resources States Framework“, bei dem zwischen „Particles“ (Elemente, Substanzen, Moleküle, Materialien), „Parts“ (Komponenten, Module, Baugruppen) und „Products“ (Fertigerzeugnisse) unterschieden wird.

Die Ausarbeitung dieser Dimensionen sowie die letztliche Taxonomie von Produkten aus Perspektive der Circular Economy sind daher ein grundlegender Bedarf, der auf der Ebene der sog. Circular-Economy-System-Normen (siehe Kapitel 1.6.2) zu verorten ist.

Bedarf 1.7: Nutzung semantischer Technologien zum Datenaustausch im Kontext der Circular Economy

Der digitale Austausch von Informationen zu Produkten über den gesamten Lebenslauf hinweg wird als Voraussetzung für eine großflächige und wirtschaftliche Einführung einer Circular Economy gesehen. Digitaler Informationsaustausch kann auf verschiedenen Stufen der Digitalisierung erfolgen:

1. Digitalisiert: Der Austausch der Information erfolgt durch elektronische Medien (z. B. E-Mail) und nicht durch physische Medien (z. B. Papier). Die Information selbst muss jedoch durch einen Menschen gelesen und interpretiert werden. Beispiel: Scan eines Papierdokuments.
2. Maschinenlesbar: Die ausgetauschte Information ist so aufbereitet, dass eine Maschine (Software) die Daten einlesen kann. Die Interpretation der Information muss weiterhin durch einen Menschen erfolgen. Beispiel: Eine Software erkennt, dass es ein Feld „Wirkungsgrad“ mit einem Wert „95“ gibt. Da die Definition des „Wirkungsgrads“ für die Software nicht eindeutig ist (der Kontext fehlt), muss ein Mensch entscheiden, zu welchen Aus-

wertungen der angegebene Wert herangezogen werden kann. (Anmerkung: Systeme der künstlichen Intelligenz können möglicherweise ebenfalls eine Interpretation solcher Informationen leisten, dies soll hier jedoch nicht betrachtet werden.)

3. Maschineninterpretierbar: Zu den übertragenen Informationen ist der Kontext in einer eindeutigen Art angegeben, die es einer Maschine (Software) erlaubt, automatisiert Schlussfolgerungen zu ziehen. Beispiel: Das Feld „Wirkungsgrad“ wird durch einen eindeutigen „semantischen Identifikator“ bezeichnet. Dadurch kann eine Software ermitteln, welcher Energieverbrauch im Betrieb einer Maschine bei einem erwarteten Nutzungsprofil und dem angegebenen Wirkungsgrad entsteht. So können Entscheidungen zur Auswahl einer Maschine (teilweise) automatisiert werden.

Semantische Technologien umfassen eine Vielzahl verschiedener Methoden und Technologien, die der Darstellung, der Verwaltung, dem Austausch oder der Verarbeitung semantischer Daten dienen. Den Kern dieser Arbeiten bilden maschinenlesbare Formate für Daten und Schemainformationen (Ontologien) [70]. Seitens der Normung kommen hier semantische Merkmale des Common Data Dictionary (CDD) nach DIN EN 61360 [71] und ISO 13584-1 [72] und entsprechende Formate zur Beschreibung von DT ins Spiel (siehe auch Bedarf 2.13). Das CDD beschreibt die Merkmale, aber auch deren Klassifizierung (Semantik und Ontologie).

Durch die Nutzung semantischer Technologien kann eine eindeutige Nutzung der Daten über die Wertschöpfungskette und den Lebenslauf hinweg erreicht werden. Das ist eine Voraussetzung für Maschineninterpretierbarkeit der Daten und für Automatisierung von Arbeitsschritten.

Empfohlene Maßnahmen für Bedarf 1.7:

- Bei der Erarbeitung von produktspezifischen Normen zum Datenaustausch im Kontext der Circular Economy sollten die beschriebenen semantischen Technologien angewendet werden und auf die aufgeführten Normen verwiesen oder aufgebaut werden.
- Zur Erreichung von Interoperabilität sollten bei der Umsetzung von Anwendungsfällen zur Circular Economy die beschriebenen semantischen Technologien und die aufgeführten Normen angewendet werden.

DATENMODELLE

Bedarf 1.8: Normative Grundlagen zum Aufbau von definierten sektorübergreifenden Inhalten und deren Darstellung im Digitalen Produktpass (Grundstruktur zur Darstellung der für alle Produkte gleichermaßen darstellbaren Informationen)

Die inhaltlichen Anforderungen an den Digitalen Produktpass werden bereits in verschiedenen Gremien sektorspezifisch diskutiert. Bisher besteht jedoch kein übergreifender Ansatz für gleichbleibende Grundelemente und -strukturen. Es sind normative Grundlagen zum Aufbau von definierten sektorübergreifenden Inhalten und deren Darstellung im Digitalen Produktpass erforderlich. Als Analogie zu einem Reisepassdokument wäre das die Titelseite mit den für alle Produkte gleichermaßen darstellbaren Informationen wie z. B. Informationen zum herstellenden Unternehmen/Inverkehrbringenden, Bild/Zeichnung des Produktes, Maße/Korngröße des Produktes, Gewicht/Dichte, ggf. Liste der Zulassungen sowie ggf. Angabe kritischer bzw. besorgniserregender Stoffe nach der REACH-Verordnung [73].

Bedarf 1.9: Normative Grundlagen zum Aufbau und zur Gruppierung von produktspezifischen Inhalten und deren Darstellung im Digitalen Produktpass

Neben den sektorübergreifenden Informationen gibt es eine Vielzahl von produktspezifischen Informationen (z. B. CO₂-Fußabdruck, Energieeffizienzwerte, Rezyklatgehalte und Recyclinginformationen (z. B. Recyclingfähigkeit)), die relevant für den Ausbau der Circular Economy sein werden und somit in den DPP aufgenommen werden müssen. Alle sektorspezifischen Informationen auf einer Hauptseite darzustellen, führt zu unübersichtlichen Webseiten und erfordert daher standardisierte Teilmodelle (siehe auch Bedarf 1.10 und 1.11 für konkrete sektorübergreifende Teilmodelle). Des Weiteren ist eine Anleitung zum Befüllen der jeweiligen Informationsgruppen sowie die Zuweisung der Verantwortlichkeiten notwendig.

Bedarf 1.10: Definition von standardisierten Datenstrukturen von lebenszyklusrelevanten Daten im Digitalen Produktpass oder in Form von einem oder mehreren Teilmodellen für die Industrie-4.0-Verwaltungsschale zum Thema Circular Economy/Ökobilanzierung

Die Lebenszyklusanalyse (Synonyme: Umweltbilanz, Ökobilanz) von gefertigten Produkten, aber auch Produktionsressourcen, wie z. B. Roboter in Kombination mit bestimmten Fertigungstechnologien wie Schweißen, wird im Sinne der Ressourcenknappheit und steigender Energiekosten auch im

industriellen Kontext immer wichtiger. In der Lebenszyklusanalyse werden potenzielle Wirkungen auf die Umwelt systematisch über den gesamten Lebenszyklus gesammelt. Dies umfasst neben der Produktion auch die Nutzungsphase und die Entsorgung des Produktes sowie alle damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse für die Herstellung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen – also alle Aspekte der Circular Economy. Benötigte Informationen beziehen sich auf verarbeitete Rohstoffe, benötigte Energie/Luft/Wasser/... sowie Treibhausgas-/Kohlendioxidemissionen, die Abfallmenge und die damit einhergehende Belastung von Luft und Wasser. Informationen für die Ökobilanzierung kommen daher nicht nur aus dem Produktionskontext, sondern müssen über alle Phasen des Lebenszyklus und alle Dimensionen des Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [74] gesammelt werden. Dies ist ein Beispiel für einen Use-Case im Kontext der „Connected World“. Hierfür bedarf es einer Definition von standardisierten Datenstrukturen von lebenszyklusrelevanten Daten im Digitalen Produktpass oder in Form von einem oder mehreren Teilmodellen für die Industrie-4.0-Verwaltungsschale zum Thema Circular Economy/Ökobilanzierung. Dieser Bedarf richtet sich an alle Beteiligten aus dem produzierenden Sektor, vor allem aber an Komponenten und Anlagen herstellende Unternehmen aus der Industrie.

Bedarf 1.11: Standardisierte und austauschbare Simulationsmodelle für dynamische Informationen in Abhängigkeit der Zeit oder von verschiedenen anderen Parametern sowie Versionierung von Daten/Informationen über den Lebenszyklus bzw. verschiedene kombinierte Lebenszyklen hinweg

Der dynamische Digitale Zwilling erfordert neben den rein statischen Informationen im Produktpass auch standardisierte Simulationsmodelle, z. B. für den Energieverbrauch oder die Emissionen der Produkte/Anlagenkomponenten. Da sich Informationen über die Zeit ändern, müssen auch Grundlagen für die Versionierung und das damit einhergehende Konfigurationsmanagement für den Digitalen Produktpass und die zugehörigen dynamischen Modelle geschaffen und standardisiert werden. Eine entsprechende Versionierung von Daten/Informationen ist Voraussetzung für die Integration und auch den Abgleich verschiedener Informationen aus dem Digitalen Produktpass und dynamischen Digitalen Zwillingen. Das Thema Datensouveränität spielt hier auch eine Rolle, da verschiedene Versionen der Informationen mit unterschiedlichen Rechten, Pflichten, Besitzansprüchen und Garantien behaftet sein können. Der Bedarf richtet sich an alle Beteiligten aus dem produzierenden Sektor, vor allem aber Anlagenbetreiber aus der Industrie.

Bedarf 1.12: Normative Grundlagen zur Darstellung und Verknüpfung von Daten, die bereits in Datenbanken öffentlich zugänglich sind und Verknüpfung mit den neuen Anforderungen zum Digitalen Produktpass (Informationsbedarfe für verschiedene Produktgruppen)

Zum aktuellen Zeitpunkt ist nicht abschließend geklärt, wo und wie die Ablage von (Stoff-, Herkunft-) Informationen erfolgt (zentral oder dezentral) und wie der Zugang der relevanten Beteiligtegruppen im Produktlebenszyklus zu diesen erfolgen soll. Des Weiteren ist die Integration von Verknüpfungen zu weitergehenden Informationen von eventuell verwendeten Vorprodukten und von nachgelagerten relevanten Daten, die im Laufe des Lebenszyklus entstehen, notwendig. Bei dezentraler Datenablage könnte z. B. eine genormte Verlinkung zu jeweils anderen relevanten Daten, die vorgelegt entstehen, erfolgen sowie ein genormter Ablauf, wie nachgelagert entstehende Daten verlinkt werden. Einige Informationen zu Produkten werden bereits in verschiedenen Datenbanken abgelegt. So erfolgt z. B. basierend auf der REACH-Verordnung [73] eine Bereitstellung von Informationen in der Datenbank der Europäischen Chemikalien Agentur (ECHA) ausschließlich zu besorgniserregenden Stoffen in der SCIP-Datenbank (substances of concern in products) für alle Produktgruppen. Eine Mehrfachbereitstellung von Informationen birgt die Gefahr von unterschiedlichen Informationen zur gleichen Fragestellung, je nachdem, wo die Daten abgerufen werden. Weitere Datenbanken existieren zu Produktinformationen in der Automobilindustrie (z. B. IMDS [75]/ IDiS [76]) sowie in der Elektro- und Elektronikindustrie (I4R platform [77]). Es besteht der Bedarf, festzulegen, welche Daten öffentlich bereitgestellt werden müssen oder sollten und wie maschinell auf diese Daten zugegriffen werden bzw. wie man sie abfragen kann.

Bedarf 1.13: Entwicklung einer nutzerzentrierten, digitalen Lösung durch einheitliche Methoden und Instrumente sowie Anleitung zum Gebrauch des DPP für die verschiedenen Beteiligtegruppen

Digitale Lösungen (DPP und Digitaler Zwilling), die Daten und Informationen entlang der Wertschöpfungskette eines Produktes bereitstellen, können dazu beitragen, das Konzept der Circular Economy umzusetzen. Um die Bereitstellung der Daten sicherzustellen, bedarf es einer nutzerzentrierten Entwicklung. Dabei ist es wichtig, dass den Nutzenden der Mehrwert der digitalen Lösung vor Augen geführt wird und die Motivation der Datenbereitstellung sowie Akzeptanz der digitalen Lösung durch Einbeziehen der Nutzenden bei der Entwicklung steigt. Hierfür eignet sich ein definiertes Vorgehen zur Entwicklung einer nutzerzentrierten, digitalen Lösung

durch einheitliche Methoden und Instrumente. Zudem besteht der Bedarf, eine Anleitung zum Gebrauch des erstellten DPP für die verschiedenen Beteiligtegruppen zu entwickeln. Damit soll den Nutzendengruppen unter Berücksichtigung ihrer „Sichten“ die Funktionsweise des DPP als Werkzeug erklärt werden und wie die spezifische Verwendung des DPP bei der Schaffung und Etablierung einer Circular Economy unterstützen kann. Die genannten Bedarfe haben das Ziel, sowohl in der Entwicklungsphase als auch in der Gebrauchsphase des DPP den Mehrwert durch Integration der spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzendengruppen sichtbar zu machen und somit die Motivation und Akzeptanz zur Verwendung des DPP zu fördern.

Bedarf 1.14: Die Normung sollte Gesetzgebende bei der Festlegung und Umsetzung der individuellen Zugriffsrechte verschiedener Beteiligter entlang der Wertschöpfungskette unterstützen

Der Digitale Produktpass wird von einer Vielzahl unterschiedlicher Beteiligter mit unterschiedlichsten Informationsbedarfen genutzt werden. Datenschutzrechtliche Grundlagen, insbesondere eine DSGVO-konforme Gestaltung des DPP und individuelle Zugriffsrechte für unterschiedliche Beteiligtegruppen, müssen gesetzlich verankert werden. Dabei sollte konkret festgelegt werden, welche Mitwirkenden entlang der Wertschöpfungskette das Recht zum Einsehen, Bearbeiten und zur Nutzung der Informationen erhalten. Hierbei spielen sichere digitale Identitäten eine zentrale Rolle, also die Frage, wie sich die Mitwirkenden der Wertschöpfungskette identifizieren. Zudem ist die Datenintegrität mit entsprechenden Mechanismen sicherzustellen und ein Schutz der Daten vor unerlaubtem Zugriff und Manipulation zu gewährleisten. Insbesondere bei der Identifikation der Beteiligten und dem Schutz der Daten vor unerlaubtem Zugriff sollten bestehende Normen (z. B. ISO/IEC TR 10032:2003 [78]) und Normungsaktivitäten (z. B. NWIP ISO 22373 [79]) berücksichtigt werden.

Bedarf 1.15: Bestehende Normen und Standards, welche die technischen Merkmale für unterschiedliche Identifier festlegen, sollten auf ihre Verwendbarkeit für den DPP untersucht werden

Unterschiedliche mögliche Schnittstellen/Identifier (RFID, QR-Code, NFC ...) sollten für das Auslesen der im DPP hinterlegten Informationen betrachtet und deren Verwendbarkeit für unterschiedliche Produkte oder Sektoren bewertet werden.

DATENQUALITÄT UND -SICHERHEIT

Bedarf 1.16: Etablierung bzw. Anpassung von standardisierten Mechanismen zur Sicherstellung der Datenqualität und vertrauenswürdiger Informationen im Digitalen Produktpass

Der Digitale Produktpass soll beteiligten-spezifischen Zugang zu relevanten Informationen gewährleisten. Dabei wird gefordert, dass u. a. aggregierte quantitative Informationen (z. B. CO₂-Footprints sowie andere LCA-Indikatoren, berechnete Rezyklatgehalte) zur Verfügung gestellt werden sollen. Aufgrund der inhärenten Komplexität sowie der vorhandenen Freiheitsgrade und Unschärfe (z. B. unvermeidbare Allokation von Datenpunkten und/oder Abhängigkeit von generischen/nicht repräsentativen Industriedaten) in den zugrunde liegenden Berechnungsmethoden wird dieser Bereich bereits von einer Vielzahl an Normen und Standards sowie artverwandter Leitlinien adressiert. Dennoch lassen bestehende Normen und Leitfäden (z. B. DIN EN ISO 14040/44-Normen [80], [81], Greenhouse Gas Protocol [82]) und sektorale Leitlinien (wie die Product Category Rules (PCR) oder die Product-Environmental-Footprint (PEF)-Methoden) nach wie vor viel Spielraum für Manipulationen. Grundsätzlich kann zudem davon ausgegangen werden, dass durch die Etablierung einer Infrastruktur für den technologiegestützten (digitalen) Austausch von produktrelevanten Daten (z. B. Emissionsdaten) auch die Grundvoraussetzungen für mehr Transparenz und Nachverfolgbarkeit geschaffen werden. Dies ist jedoch kein Automatismus und es bedarf daher neben einheitlichen Spielregeln (wie z. B. bereits erarbeitet im Kontext der Product Category Rules (PCR) im Rahmen des EU Environmental Footprint Pilots (EFP) [83] oder anderer EPD-Programme oder auch vom (WBCSD) [84] in dessen Pathfinder Frameworks) zur Generierung und Verfügbarmachung von Daten auch Mechanismen zur Sicherstellung der Einhaltung der vereinbarten Spielregeln. Normung und Standardisierung könnten genau dort ansetzen und bestehende (bereits standardisierte) Prüfmechanismen entsprechend den neuen (digitalen) Gegebenheiten anpassen bzw. Lücken in der Konformitätsbewertung schließen. Somit könnte ein entscheidender Beitrag zur Sicherstellung von vertrauenswürdigen Informationen und Daten im Digitalen Produktpass und damit der Akzeptanz des Instruments geleistet werden, wie dies auch im aktuellen „Proposal for Ecodesign for Sustainable Products Regulation“ der EU-Kommission [85] gefordert wird.

Bedarf 1.17: Standards und Normen sollten einen Rahmen für die geforderte Datentiefe liefern

Um die Akzeptanz für den DPP zu stärken und die Handhabung und Darstellung der Datenmengen zu vereinfachen, sollte das Konzept der Datensparsamkeit Berücksichtigung bei der Ausgestaltung des DPP finden. Dabei sollte grundlegend erörtert werden, welche Daten zur Umsetzung des DPP wirklich unabdingbar sind.

Operationalisierung und Monitoring

MANAGEMENTSYSTEME/STRATEGIEN

Bedarf 1.18: Integration von Circular Economy in Strategien, Geschäftsmodelle und Managementsysteme von Unternehmen

Unternehmen sollten die Prinzipien der Circular Economy in ihre Strategie und ihr Geschäftsmodell aufnehmen, um neue Geschäftsmöglichkeiten zu entwickeln und um auf regulatorische Maßnahmen vorbereitet zu sein. Bestehende Normen und Managementsysteme in Unternehmen sollten um Circular-Economy-Prinzipien und -Methoden ergänzt werden. Damit würden sich die Firmen im Rahmen eines integrierten Managementsystems systematisch für die Anforderungen der Circular Economy auf strategischer Ebene vorbereiten. Das gewährleistet, dass es keine Stand-alone-Circular-Economy-Strategien sind und damit die Anschlussfähigkeit an bereits eingesetzte Managementsysteme im Unternehmen sichergestellt ist. Das trägt dazu bei, Circular-Economy-Prinzipien im Unternehmen operativ zu verankern und somit singuläre Aktivitäten in einem kontinuierlichen, aktiven Verbesserungsprozess zusammenzuführen und zu steuern.

Bedarf 1.19: Systematische Vorgehensweise zur Circular-Economy-Potenzialerschließung

Unternehmen benötigen systematische Vorgehensweisen und geeignete Werkzeuge, um alle damit verbundenen und notwendigen Handlungsfelder adressieren und bearbeiten zu können. Außerdem sollten die Potenziale zur Weiterentwicklung erkennbar sein und kommuniziert werden können. Im Rahmen der Integration von Circular-Economy-Aspekten in bestehende Managementsysteme hilft eine standardisierte Vorgehensweise, den Aufwand für den Prozess der Identifikation von Circular-Economy-Potenzialen und die Ableitung für das jeweilige Unternehmen geeigneter Strategien zu reduzieren und den Prozess im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses zu operationalisieren.

REIFEGRADMODELLE (MATURITY LEVELS)

Bedarf 1.20: Reifegrad für das gesamte Geschäftskonzept

Der Reifegrad eines Unternehmens in der Circular Economy sollte immer für das gesamte Geschäftskonzept und die gesamte Geschäftstätigkeit bewertet werden. Dadurch wird sichergestellt, dass dem Management beim Übergang zur Circular Economy eine realistische Bewertung des Startpunktes vorliegt sowie realistische Ziele und aufeinander aufbauende Einzelmaßnahmen definiert werden. Damit Unternehmen erkennen, auf welchem Reifegrad sie bzgl. verschiedener Parameter stehen (z. B. Geschäftsmodell, Strategie, Innovation/Produktentwicklung, Kundenprozesse), braucht es Standards zur Vergleichbarkeit dieser Parameter. So können Unternehmen erkennen, wo der größte Hebel zur Weiterentwicklung liegt.

Ein Reifegradmodell ermöglicht es dem Unternehmen, den Fortschritt bei der Transformation zur Circular Economy zu erkennen, um proaktiv den Prozess steuern zu können. Bestehende Normen und Standards wie DIN EN ISO 9004 [86] bewerten Circular Economy nicht und sollten dementsprechend ergänzt werden. Alle relevanten Bereiche einer Firma sowie der Status auf der Hierarchieebene aller R-Strategien müssen ganzheitlich erfasst und bewertet werden. Momentan fehlen auf der Produkt-/Unternehmensebene einheitliche Performance-Parameter, die eine Vergleichbarkeit von Unternehmen ermöglichen würden. Die Bewertung auf Meso(Unternehmen)-Ebene sollte so gestaltet sein, dass sie auch auf Makro-Ebene konsolidierbar ist. Diese sind notwendig, um eine Basis für qualifizierte Urteile zu Reifegraden zu ermöglichen, um die Glaubwürdigkeit von Beurteilungen sicherzustellen, um den Entwicklungsstand z. B. zwischen Firmen, Städten etc. vergleichen und um die Effektivität von Circular-Economy-Maßnahmen und Aktionsplänen bewerten zu können. Bedarfe aus dem Bereich Bewertungs- und Indikatorenssysteme sollten berücksichtigt werden. Ein Beispiel für einen Katalog von Kriterien und Indikatoren zur Bestimmung des Reifegrades von Unternehmen im Hinblick auf ihre Zirkularität bietet der Statusbericht der Schweizer Kreislaufwirtschaft [87] mit folgenden Hauptkriterien und Unterkriterien für einzelne Maßnahmen:

„Hauptkriterien zur Bestimmung des zirkulären Reifegrads von Firmen

Kriterium 1: Grad der Verankerung von Zirkularität und Zirkularitätsprinzipien im Geschäftsmodell und der Unternehmensstrategie eines Unternehmens

Kriterium 2: Umfang der Investitionen zur Förderung von Maßnahmen zur Steigerung der Zirkularität von Prozessen im Unternehmen und seinen Beziehungen zu Kooperationspartnern (anderen Unternehmen, R&D-Initiativen, Logistik etc.)

Kriterium 3: Anzahl einzelner Maßnahmen, die ein Unternehmen ergriffen hat, um Zirkularität in bestimmten Bereichen zu fördern (mit weiteren Unterkriterien 3.1 bis 3.7, siehe unten)

Kriterium 4: Anteil des Umsatzes, der aus zirkularitätsrelevanten Aktivitäten resultiert

Unterkriterien für einzelne Maßnahmen unter Kriterium 3 für bestimmte Unternehmensbereiche:

Kriterium 3.1: Zirkularitätsbezogene Maßnahmen bzgl. Beschaffung

Kriterium 3.2: Zirkularitätsbezogene Maßnahmen bzgl. Produkt- und Service-Design

Kriterium 3.3: Zirkularitätsbezogene Maßnahmen bzgl. interner Produktionsprozesse

Kriterium 3.4: Zirkularitätsbezogene Maßnahmen bzgl. Lagerung und Transport

Kriterium 3.5: Zirkularitätsbezogene Maßnahmen bzgl. Marketing und Verkauf

Kriterium 3.6: Zirkularitätsbezogene After-Sales Maßnahmen

Kriterium 3.7: Zirkularitätsbezogene Maßnahmen nach der Produktnutzungsphase

Hier ein Beispiel für die Messung der Zirkularität in bestimmten Unternehmensbereichen: Bei der Beschaffung können z. B. die Reduktion des ökologischen Fußabdrucks beim Neukauf bzw. die zunehmende Nutzung von gebrauchten Produktionsinputs, also die Reuse-Rate, als Messkriterien herangezogen werden.

Durch eine Anwendung eines derartigen Kriterienkataloges ist es möglich, den Reifegrad von Unternehmen bzgl. Zirkularität zu bestimmen und zwischen verschiedenen Unternehmen zu vergleichen.“ [87]

KENNZAHLEN UND BEWERTUNGSSYSTEME

Bedarf 1.21: Zirkularitätsbewertung von Dienstleistungen

Unternehmen, die auf Grundlage eines zirkulären Geschäftsmodells operieren, benötigen eine Bewertung für Services und deren Beitrag zur Zirkularität, um den Serviceanteil in den Einnahmen (engl: revenue stream) identifizieren und bewerten zu können. Der Fokus der Bewertung sollte auf der Verlängerung der Nutzungsdauer der Produkte liegen und eventuell auch den prozentualen Anteil der Einnahmen aus zirkulären Dienstleistungen berücksichtigen [14].

Bedarf 1.22: Kennzahl zur Nutzung von Rezyklaten

Für Einzelunternehmen und miteinander kooperierende Unternehmen besteht der Bedarf einer prozessorientierten Norm, die den In- und Outflow von Rezyklaten regelt und vergleichbar macht. Eine solche Norm gibt Kund*innen und anwendenden Personen die Möglichkeit, Produkte oder Herstellende miteinander zu vergleichen. Gleichzeitig kann die Norm einen Impuls an die Unternehmen geben, die Anteile zu erhöhen.

POTENZIALE UND GESCHÄFTSMODELLE

Bedarf 1.23: Circular-Economy-Potenzial zur Geschäftsmodellinnovation und Redesign ausschöpfen

Die Circular Economy eröffnet Potenziale für Unternehmen, neue, nachhaltige und zukunftsorientierte Geschäftsmodelle zu entwickeln. Bereits bestehende Lösungen zur Neuausrichtung des Geschäftsmodells können Unternehmen dabei unterstützen, diesen Transformationsprozess systematisch zu gestalten. Hilfreich hierzu wären Leitfäden und Fallstudien (Good Practices) von Unternehmen, die ihre linearen Wertschöpfungsprozesse erfolgreich durch ein zirkuläres Geschäftsmodell weiterentwickelt oder vollständig ersetzt haben. Ferner wäre eine strukturiert aufbereitete Sammlung möglicher Circular-Economy-Geschäftsmodellmuster zum systematischen Re-Design bzw. zur Neuausrichtung des bestehenden Geschäftsmodells von Nutzen, um zu veranschaulichen, welcher Mehrwert sich mit der Implementierung eines zirkulären Geschäftsmodells für das eigene Unternehmen ergeben kann. Dabei kann eine Sammlung möglicher Instrumente (Toolbox) zur systematischen Reifegrad- und Positionsbestimmung zur kontinuierlichen Evaluation und Weiterentwicklung des Geschäftsmodells in Richtung Zirkularität unterstützen (KVP).

Um den Zugang zu diesen Geschäftsmodelloptionen, Instrumenten und guten Praktiken für den Anwendenden zu

vereinfachen, sollten diese anhand relevanter Kriterien, differenziert nach Prozessen, R-Strategien (siehe Kapitel 1.6.3), Produktarten und Kundenangeboten oder Branchen, bereitgestellt werden. Dieses Feld könnte durch Technical Reports erfasst und unterstützt werden. Ob anschließend ein Standard oder eine Norm entsteht, ist zu entscheiden. Veröffentlichungen aus wissenschaftlicher Sicht liegen vor und eine Zusammenführung ist anzustreben [14], [89], [90], [91]. Dies kann im Rahmen der Normungsarbeit erfolgen.

Bedarf 1.24: Bemessungsgrundlagen schaffen, um „Zirkularitätserfolgskriterien“ zu ermitteln und um Vergleiche zu ermöglichen

Verschiedene Managementsystem-Normen (z. B. DIN EN ISO 9004) [86] empfehlen die Durchführung von Benchmarking. Dabei handelt es sich um eine Mess- und Analyseverfahren, mit der eine Organisation nach optimalen Vorgehensweisen innerhalb und außerhalb der Organisation suchen kann, um die eigene Leistung zu verbessern. Benchmarking setzt ein einheitliches Verständnis der Eigenschaften des zu untersuchenden Gegenstands voraus, um einen ordnungsgemäßen Vergleich mit der aktuellen Situation in der Organisation durchführen zu können. Es wäre daher sinnvoll, Erfolgsfaktoren in Normen festzulegen, um den Zirkularitätsgrad von Organisationen bewertbar und in der Umsetzung vergleichbar zu machen. Unternehmen können einen solchen Vergleich von Erfolgsfaktoren als Referenzpunkt nutzen, um die eigene Circular-Economy-Leistung bzw. das Circular-Economy-Geschäftsmodell zu verbessern. Es sollte daher festgelegt werden, welche Indikatoren dafür geeignet sind, diese Kreislaufpotenziale in Organisationen und Geschäftsmodellen adäquat abzubilden. Solche Zirkularitätsindikatoren könnten zum Bestimmen des Erfolgs implementierter Zirkularitätsmaßnahmen genutzt werden sowie zum Erkennen von Bereichen, in denen Optimierungspotenziale existieren [92], [93].

Kollaboration in der Wertschöpfungskette

Der Transfer des Wirtschaftssystems hin zu einer Circular Economy bringt umfassende Veränderungen in allen Bereichen der Wertschöpfungskette (dann des Wertschöpfungskreislaufs) mit sich. Hierbei werden insbesondere auch neue Formen der Zusammenarbeit erforderlich und neue Geschäftsmodelle werden entstehen. All diese Veränderungen betreffen die Kollaboration von verschiedenen Beteiligten der Industrie bzw. verschiedener Industrien und erfordern die Definition von Begriffen, Daten und Schnittstellen, um

effizient zu sein. Die Bereitstellung dieser Beschreibungen und Definitionen ist eine Kernaufgabe der Normungsarbeit und kann zu erheblichen Effizienzsteigerungen der Volkswirtschaft führen. Der aktuelle Zustand beinhaltet vielfach Hemmnisse für die Etablierung einer Circular Economy, da er einerseits ineffiziente Kommunikation zwischen Mitwirkenden durch unklare technische Daten/Angaben ermöglicht und zusätzlich unklare rechtliche Rahmenbedingungen beinhaltet, was massive Risiken für die Beteiligten mit sich bringt. Diese Probleme sollten durch die Normungsarbeit behoben werden, um die Entstehung von Geschäftsmodellen und die Entwicklung von Angeboten im Sinne einer Circular Economy gezielt zu fördern.

Um eine effiziente Zusammenarbeit und eindeutige Kommunikation innerhalb des Wertschöpfungskreislaufs zu sichern und um eine zirkuläre Wertschöpfung zu fördern, wurden folgende **fünf Bedarfe** (1.25–1.29) identifiziert.

Bedarf 1.25: Definition von Begriffen für die Circular Economy

Der Übergang des Wirtschaftens in eine Circular Economy bringt für die Zusammenarbeit der Stakeholder zahlreiche Begriffe mit sich, die bislang nicht eindeutig definiert sind und dementsprechend auch nicht einheitlich verwendet und verstanden werden [7], [9], [94], [95], [96], [97], [98]. Selbst fundamentale Begriffe wie „Circular Economy“ selbst sind nicht klar definiert und auch gegenüber etablierten Begriffen wie z. B. „Kreislaufwirtschaft“ nicht abgegrenzt. Auf dieser Basis ist es ebenfalls erforderlich, klare Vorgaben und Definitionen für zirkuläre Wertschöpfungskreisläufe zu erarbeiten, insbesondere auch für regionale und lokale Kreisläufe. Der Bedarf entsteht nicht nur aus dem Ziel einer effizienten Kommunikation zwischen den Beteiligten innerhalb der Wertschöpfungskreisläufe, sondern auch aus der Notwendigkeit, (politische) Ziele der Circular Economy klar interpretierbar und ihre Umsetzung messbar zu machen. Die inhaltliche Beschreibung der Ziele muss hierfür eindeutig werden, wofür in der Normungsarbeit klare Vorgaben erarbeitet werden müssen.

Empfohlene Maßnahmen:

- Erarbeitung einer Norm mit Definitionen der grundlegenden Begriffe der Circular Economy
- Erarbeitung von normativen Vorgaben zur Beschreibung von Zielen der Circular Economy, inklusive der Definition von Angaben zur Zielerreichung sowie zum räumlichen Bezug und zum Bezug auf einzelne Mitwirkende

- Erarbeitung von Begriffen und Beschreibungen der Hauptbeteiligten der zirkulären Wertschöpfungskreisläufe

Bedarf 1.26: Definition von Einheiten und Größen für die Circular Economy

Für die Kollaboration von verschiedenen Teilnehmenden eines Wertschöpfungskreislaufes ist die eindeutige und verlässliche Beschreibung von Sachverhalten unerlässlich. Fundamentale Voraussetzung hierfür ist eine klare Definition der relevanten Größen und Einheiten sowie Bezugsgrößen und Wirkungen. Bei Angaben bezüglich Sachverhalten der Circular Economy ist das aktuell oftmals nicht gegeben und dementsprechend sind Angaben nicht eindeutig interpretierbar und vergleichbar. Dies betrifft einerseits Angaben zu Informationen, die zwischen Firmen (B2B) ausgetauscht werden, sowie insbesondere auch Angaben gegenüber Endkunden (B2C). Im Kontext der Circular Economy sind hier besonders auch Bezugsgrößen zu definieren, um Angaben von Quoten eindeutig zu machen. Zu nennen sind hier Kriterien und Indikatoren der ökologischen und sozialen Wirkungen, wie beispielsweise Zirkularitäts- und Recyclingquoten sowie die unter anderem im Bedarf 1.1 Entwicklung von produktkategorienbezogenen Zirkularitätskriterien beschriebenen Angaben.

Empfohlene Maßnahmen:

- Erarbeitung von Normen mit Einheiten und Größen der Circular Economy
- Erarbeitung von normativen Vorgaben für die Nutzung von Bezugsgrößen für Datenangaben im Reporting sowie Reportingformaten für Circular Economy-relevante Angaben zu Firmen und Produkten, die z. B. auch für den DPP verwendet werden können
- Erarbeitung von normativen Vorgaben hinsichtlich der Datenangabe und der Datenqualität (siehe Bedarf 1.16), Genauigkeiten und Formate für die Angaben zu Messgrößen der Circular Economy

Bedarf 1.27: Management von technischen und rechtlichen Schnittstellen

Durch die erwarteten neuen Geschäftsmodelle und Formen der Zusammenarbeit sowie Flüsse von Ressourcen und Daten, die im Rahmen der Circular Economy erwartet werden, entsteht auch ein Bedarf, die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Stakeholder innerhalb einer und zwischen verschiedenen Produktwertschöpfungsketten zu definieren, um im Zusammenspiel Wertschöpfungskreisläufe zu ermöglichen. Es geht hierbei einerseits um die inhaltlichen (technischen) Schnittstellen, die Übergabepunkte von Ressourcen zwischen verschiedenen Schritten des Wertschöpfungskreis-

laufs. Andererseits besteht ein Bedarf für die Definition der rechtlichen Schnittstellen, insbesondere des Übergangs der Verantwortung für Produkte sowie zu Fragen der Produktzulassung und Konformitätsbewertung. Die Schnittstellen der Beteiligten sollten durch normative Regelungen so beschrieben sein, dass die Zusammenarbeit der verschiedenen Mitwirkenden effizient stattfinden kann. Von besonderer Bedeutung für die Etablierung von Maßnahmen zur effizienten Nutzung von Ressourcen und zur Förderung der Entwicklung von entsprechenden Angeboten und Geschäftsmodellen sind die Definition und Sicherung der rechtlichen Rahmenbedingungen und der Rechtssicherheit von Geschäftsmodellen und betrieblichen Entscheidungen, einschließlich der Erfüllung technischer und kaufmännischer Reportingvorgaben. Durch die Circular Economy werden auch elementare Fragen zur Produkthaftung und Produktzulassung aufgeworfen, insbesondere bei „Repair“, „Refurbishing“ und „Reuse“, welche aktuell unklar sind bzw. teilweise die Entwicklung direkt behindern.

Empfohlene Maßnahmen:

- Erarbeitung eines Leitfadens mit Spielregeln für die Zusammenarbeit in Circular-Economy-Netzwerken
- Erarbeitung von normativen Vorgaben für technische Schnittstellen zwischen verschiedenen Beteiligten eines Wertschöpfungskreislaufs bzw. verschiedener -kreisläufe
- Erarbeitung von normativen Vorgaben hinsichtlich des Übergangs der Verantwortung bei Reparatur und Aufarbeitung oder Weiternutzung von Produkten sowie bei der Nutzung von Materialien/Produkten nach Recycling
- Erarbeitung von normativen Vorgaben zu Fragen der Zulassung von Produkten nach Reparatur/Aufarbeitung/Weiternutzung
- Erarbeitung von normativen Vorgaben für (offene) Schnittstellen zum Austausch von Daten, beispielsweise Materialdatenbanken

Bedarf 1.28: Kommunikation zwischen Teilnehmenden der Wertschöpfungskreisläufe

Grundsätzlich ist Zusammenarbeit innerhalb der Supply-Chain für jedes Unternehmen notwendig. Für Geschäftsmodelle der Circular Economy ist das Zusammenspiel über Arbeits- und Aufgabenteilung intensiver erforderlich, um das Wertschöpfungspotenzial umzusetzen. Um den Anforderungen gerecht zu werden, muss eine Neubetrachtung der Kernkompetenzen erfolgen. Welche vorhandene Expertise kann eingebracht und welche selbst aufgebaut werden? Welche

Leistungen müssen zusätzlich besetzt werden und welches Partnerportfolio wird dafür benötigt? Gleichzeitig steigen die Anforderungen an bereits involvierte Leistungskomponenten wie IT-Performance, Logistik oder Marketing. Daraus entstehen normative Bedarfe für festzulegende Kommunikationsgrundlagen auf der Basis der notwendigen Beteiligten und ihrer Rollen (siehe Bedarf 1.34).

Empfohlene Maßnahmen:

- Aufbau einer Stakeholder-Map für zirkuläre Geschäftsmodelle und ihre Wertschöpfungskreisläufe (siehe auch Bedarf 1.29).
- Ableitung einer Kommunikationsmatrix für die relevanten Stakeholder (u. a. für die zu kommunizierenden Mindestinformationen zu den Rollen, Aufgaben, Funktionalitäten und Verantwortlichkeiten innerhalb der Wertschöpfungskreisläufe).
- Beschreibung von Kommunikationsabläufen zur Sicherstellung der Umsetzung der Aufgaben- und Arbeitsteilung („zirkuläres Pflichtenheft“).

Bedarf 1.29: Klassifizierung von Geschäftsmodellen

Es wird erwartet, dass im Zusammenhang mit dem Übergang der Wirtschaftsweise zu einer Circular Economy zahlreiche neue Geschäftsmodelle entstehen bzw. bestehende Geschäftsmodelle eine Anpassung erleben werden. Diese Entwicklung ist erforderlich, explizit erwünscht und ist zu unterstützen, siehe auch die Beschreibung im Rahmen der Bedarfe 1.18 und 1.19. Für die Zusammenarbeit in einer Circular Economy wird es jedoch als wichtig erachtet, dass Geschäftsmodelle und die damit verbundenen Aktivitäten und Beiträge innerhalb eines Wertschöpfungskreislaufs für alle Stakeholder klar sind und somit auch in der Zusammenarbeit Missverständnisse vermieden werden. Die Arbeiten können insbesondere auch Vorarbeiten nutzen [14] und ihren Fokus auf die Konkretisierung bereits definierter und klassifizierter Geschäftsmodelle legen.

Empfohlene Maßnahmen:

- Erarbeitung von Beschreibungen von Geschäftsmodellen der Circular Economy zur Klassifizierung, jedoch nicht im Sinne der Normung von Geschäftsmodellen oder einer Ausschließlichkeit der beschriebenen Geschäftsmodelle
- Erarbeitung von Klassen von Geschäftsmodellen der Circular Economy

Produktentstehungsprozesse und Serviceentwicklung (Design 4 Circularity)

NORMUNGSBEDARFE IM BEREICH ZIELFESTSETZUNG, BUDGETPLANUNG UND STRATEGIEENTWICKLUNG

Bedarf 1.30: Aufbau einer Infrastruktur zur Unterstützung von Reverse-Logistik

Zahlreiche Unternehmen planen die Integration von flexiblen Verbrauchsmodellen in ihr Geschäftsmodell ein und bieten ihre Produkte „As-a-Service“ (XaaS) an. Für eine gelingende Umstellung bedarf es einer geeigneten Infrastruktur, die die Reverse-Logistik unterstützt und einen effizienten Ablauf gewährleistet. Meist scheitert die Umstellung auf ein XaaS-Geschäftsmodell aufgrund des hohen Umfangs sowie der Komplexität. Im Vergleich zu traditionellen sind XaaS-Geschäftsmodelle kunden- und nicht produktorientiert. Daher bedürfen XaaS-Geschäftsmodelle einer gesonderten Infrastruktur, die Kunden entlang der Wertschöpfungskette betreut und einen reibungslosen Ablauf von Prozessen ermöglicht (z. B. End-of-Life-Treatment von Produkten, neue Revenue-Modelle). Komplexer wird das Angebot von XaaS, wenn Unternehmen dies auf bestehenden Geschäftsmodellen aufbauen und parallel weiterführen.

Der Kerngedanke eines Service-Geschäftsmodells besteht darin, dass dieses aus einer Vielzahl von kundenbezogenen, nutzungsorientierten Einheiten (Services) besteht, die unabhängig voneinander verwaltet werden. Anders als ein traditionelles Produkt haben diese Einheiten klar definierte Kunden, die sie adressieren. Die Leistungen des Services sind für den jeweiligen Kunden eindeutig ersichtlich und müssen über die Nutzungsphase einen Mehrwert schaffen, der über den Kauf eines Produktes hinausgeht. Die Verantwortung des Services und auch Produktes wird vom Unternehmen getragen (Service Owner), das die Leistungserbringung sicherstellen muss [99].

Empfohlene Maßnahmen:

- Normung kann hier u. a. die (Reverse-)Logistik und weitere Kooperationen in der Entwicklung von „Service-Sphären“ über Planungsgrundlagen unterstützen, die eine Grundlage der R-Strategien sowie der Perspektive „vom Besitz zum Nutzen“ sind
- Erarbeitung von normativen Vorlagen hinsichtlich der Entwicklung einer Infrastruktur, die die Implementierung von „As-a-Service“ unterstützt

Bedarf 1.31: Gestaltung und Tiefe des Servicegrads/-levels (Servicetiefe und -breite)

Die Gestaltung von Servicetiefe und -breite über Servicelevel-Management wird heute mit 62 % deutlich häufiger von den Topperformern angewendet. Nur 31 % der Follower geben an, dieses in über 50 % der Servicefälle im Einsatz zu haben [100]. Eine stärkere Integration würde die Abwicklung und vor allem die Administration effizienter und effektiver gestalten. Hier kann Normung helfen, da heute in den Unternehmen provisorische, händische Routinen etabliert sind ohne eine entsprechende Grundlage über Technologien, die in den Unternehmen installiert sein könnten. Und: Diese Gestaltungstechnologien sind nur voll einsetzbar, wenn sie auch an entsprechenden Schnittstellen beim Kunden integriert sind.

Empfohlene Maßnahmen:

- Normung kann bei der Gestaltung und Tiefe des Servicegrads/-levels helfen, sodass innerhalb von und zwischen Unternehmen neue Services entstehen können.
- Erarbeitung von normativen Vorlagen hinsichtlich Kriterien für Servicegrad/-level

Bedarf 1.32: Definition von zirkulären Geschäftsmanagementprozessen

Circular Economy bedeutet für Unternehmen nachhaltiges Handeln im Einklang mit ökonomischen, ökologischen und sozialen Zielen. Die Basis bildet dabei ein gelebtes und messbares Nachhaltigkeitsmanagement (siehe auch Kapitel 3.1). Die festgelegten Nachhaltigkeitsziele werden mit dem Fokus auf die zirkuläre Geschäftsentwicklung (Circular Horizon) weiter definiert. Gleichmaßen muss die Ausrichtung auf die notwendigen zirkulären Fachkompetenzen zur Umsetzung der Unternehmensstrategie fixiert werden. Daraus entstehen normative Bedarfe für die Definition von zirkulären Geschäftsmanagementprozessen in Bezug auf Struktur, Transparenz und Messbarkeit.

Empfohlene Maßnahmen:

- Entwicklung einer normativen Begriffsdefinition eines zirkulären Unternehmenszieles (Circular Horizon) und der notwendigen Inhalte.
- Aufbau einer normativen Struktur für zirkuläre Geschäftsmanagementprozesse unter Einbeziehung der R-Strategien als Rahmen und zirkulärer Key-Performance-Indicator (KPI) als Messinstrumente.
- Aufbau eines normativen Anforderungskataloges für relevante zirkuläre Kompetenzen innerhalb und außerhalb (Stakeholder-Map) des Unternehmens.

Bedarf 1.33: Circular Economy in der Designphase inkludieren

Alles beginnt beim Design. Für die Entwicklung von zirkulären Unternehmensphilosophien und Geschäftsmodellen. Für die Gestaltung von zirkulären Produkten.

Circular Economy Design (CED): Die Aufgabenstellung – wie können die Ressourcen im ökologischen Kreislauf gehalten werden? Hier startet die Gestaltung. Für alle nachfolgenden Elemente wird die Grundlage für den Erfolg gelegt. Design initiiert die Prozesse für Produktion, Distribution, Nutzung, Refurbishment, Remanufacturing, Upcycling, Upgrading und Rückgewinnung.

Circular Product Design (CPD): Die Qualität und die Verarbeitung der einzusetzenden Rohstoffe und Materialien spielen eine große Rolle. Sie müssen eine lange Nutzungszeit der Produkte ermöglichen. Belastbar, robust und dabei sicher – Anforderungen für eine Mehrfachnutzung. Durch die Art der ökologischen Herstellung und Endbehandlung wird die Basis u. a. für Remanufacturing und Refurbishment gelegt. Die Entscheidungen werden im Design getroffen. Daraus entstehen normative Bedarfe für die Designdefinitionen (CED/CPD), welche alle ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen über alle Phasen eines Produkt- oder Prozesslebenszyklus hinweg berücksichtigen sollen.

Empfohlene Maßnahmen:

- Entwicklung einer normativen Begriffsdefinition für Circular Economy Design (CED) unter Einbeziehung des Life Cycle Thinking (LCT)
- Entwicklung einer normativen Begriffsdefinition für Circular Product Design (CPD).

NORMUNGSBEDARFE IM BEREICH ZIRKULÄRE PROZESSE

Bedarf 1.34: Einheitliche Beschreibung von Rollen und Verantwortlichkeiten für einen effektiven Change-Management-Prozess

Normung kann sicherstellen, dass innerhalb von Unternehmen die Rollen und Verantwortlichkeiten klar sind und ein effektiver Change-Management-Prozess sowie eine unterstützende funktionsübergreifende Unternehmenskultur Platz finden.

Die Fixierung der Anforderungen des gesamtheitlichen Transformationsprozesses – inklusive der relevanten Elemente aus Change-Management, Service Design und Servitization – bilden die Grundlage für das Initiieren und Implementieren

der Sustainability-Circularity-Strategy. Daraus entstehen normative Bedarfe für die unterschiedlichen Anforderungen der o. g. Veränderungsprozesse hinsichtlich Definition der Rollen, Verantwortlichkeiten und Zielsetzungen.

Empfohlene Maßnahmen:

- Evaluierung einer normativen Beschreibung der Rollen, Verantwortlichkeiten und Zielsetzungen im Transformationsbereich „Change-Management“ (u. a. Fokussierung auf CSR-Umsetzung, Aufbau USP Innovation, Implementierung Thought Leadership).
- Evaluierung einer normativen Beschreibung der Rollen, Verantwortlichkeiten und Zielsetzungen im Transformationsbereich „Service Design“ (u. a. Fokus Customer Journey)
- Evaluierung einer normativen Beschreibung der Rollen, Verantwortlichkeiten und Zielsetzungen im Transformationsbereich „Servitization“ (u. a. Fokus Servicestrategie und Servicephilosophie)

Bedarf 1.35: Recht zur Instandhaltung (Maintenance/Wartung/Reparierbarkeit) und Bereitstellung von dazu notwendigen Informationen

Die Instandhaltung hängt von der technischen Möglichkeit der Verfügbarkeit einer Instandhaltungsdienstleistung und von den Kosten ab. Wichtig sind die Möglichkeit einer zerstörungsfreien Demontage, die Verfügbarkeit von Ersatzteilen und das Verfügbarmachen von Wissen zur Reparatur oder Wartung. Herausforderung: Wechselwirkung mit anderen Parametern wie Preise, Innovationszyklen, demografische Entwicklung [101], [102].

Empfohlene Maßnahmen:

- Normung sollte sicherstellen, dass die Möglichkeit oder das Recht zur Instandhaltung (Maintenance/Wartung/Reparierbarkeit) von Produkten langfristig gegeben ist.
- Normung sollte zu einer Verbesserung der Verbraucherinformationen führen, z. B. ökologische Vorteile von langlebigen Produkten, Wissen um Self-Service-Optionen. Damit geht der Erhalt einer herstellerunabhängigen Instandhaltungsszene einher. Aus Umweltgesichtspunkten ist die Wahl des Instandhaltungsdienstleistenden, herstellereigen oder unabhängig, eher zweitrangig. Außerdem geht es um eine Erhöhung der Informationspflichten der Herstellenden, z. B. eine eindeutige Deklaration von Verschleißteilen.
- Weiter geht es um die Prüfung und Anpassung der bestehenden Sicherheitsnormen und Standards auf der Komponentenebene (mit Fokus auf defekt- und ver-

schleißanfällige Komponenten) im Hinblick auf deren Eignung für Lebensdauer- und Haltbarkeitsprüfungen. Dazu geht es um das Schaffen von Wissen über die realen Belastungen sowie Einsatzbedingungen von Produkten mit einer umfangreichen Erhebung bei Verbrauchenden und anschließenden Untersuchung des Einflusses der Randbedingungen der realen Benutzung (z. B. thermische Belastungsspitzen und Spitzen der Versorgungsspannung) auf die Produktlebensdauer.

NORMUNGSBEDARFE IM BEREICH PEOPLE

Bedarf 1.36: Soziale Standards für zirkuläre Jobs

Viele Organisationen bauen ihre Circular Economy Strategy auf einem „Cherry Picking“-Ansatz auf, um die Circular-Economy-Agenda auszufüllen. Dabei wird wenig darauf geachtet, ob oder wie sich diese Strategien positiv oder negativ auf Menschen auswirken. Dies ist problematisch, da zirkuläre Praktiken auf Kosten sozialer Wertschöpfung gehen können. Der Zwang, Kreisläufe so schnell und effizient wie möglich zu schließen, intensiviert diese Gefahr, sofern keine sozialen Mindeststandards gefordert werden. Die Implementierung eines Circular-Economy-Geschäftsmodells (CE GM) sollte daher integrativ gedacht werden und neben ökologischen auch die Einhaltung sozialer Standards sicherstellen [79], [103], [104]. Ein Rahmenwerk für soziale Standards in der Circular Economy ist bisher noch nicht vorhanden. Vielmehr bringen Circular-Economy-Standards soziale Prinzipien an, ohne diese näher zu spezifizieren. Im Sinne eines holistischen Ansatzes muss die Circular Economy auch soziale Prinzipien inkludieren, um den kollektiven Nutzen dieses Systems zu priorisieren. Konkret in den Bereichen: Geschäftspraktiken, Geschäftsmodelle, Rechtsvorschriften und Finanzierungsmechanismen. Hier braucht es soziale Mindeststandards und Parameter entlang der gesamten Wertschöpfungskette (siehe auch Kapitel 3.1).

Empfohlene Maßnahmen:

- Überprüfung bestehender sozialer Standards für zirkuläre Geschäftsmodelle (z. B. Sharing Economy)
- Erarbeitung von normativen Vorgaben für soziale Standards zur Umsetzung zirkulärer Geschäftsmodelle

Bedarf 1.37: Schulung/Qualifizierung für Circular Economy

Die Circular Economy erfordert eine Neudefinition der Rolle von personellen Ressourcen für die Implementierung und Durchführung von Circular-Economy-Geschäftsmodellen. Hier bedarf es spezieller Trainings, Wissen, Fähigkeiten und

Absicherungen, um den sozialen Wert zu erhalten bzw. zu steigern. Welche Anforderungen erfüllt werden müssen, ist bisher noch nicht geregelt. Daraus ergibt sich der Bedarf des Aufbaus von inter- und transdisziplinären Ansätzen, die losgelöst sind vom aktuellen Verständnis von Humankapital und die Transformation der Circular Economy unterstützen. Konkret: Welches technische Wissen (z. B. Repairing) ist erforderlich, welche Netzwerke (z. B. Circular-Economy-Ökosysteme) müssen hierfür geschaffen werden und welche Formate (z. B. Trainingsprogramme, Repairlabels) können dabei unterstützen?

Empfohlene Maßnahmen:

- Erarbeitung von normativen Vorgaben für die (Mindest-) Qualifikation von Personen zur Umsetzung zirkulärer Geschäftsmodelle
- Erarbeitung von normativen Vorgaben für Schulungen von Personen zur Umsetzung zirkulärer Geschäftsmodelle

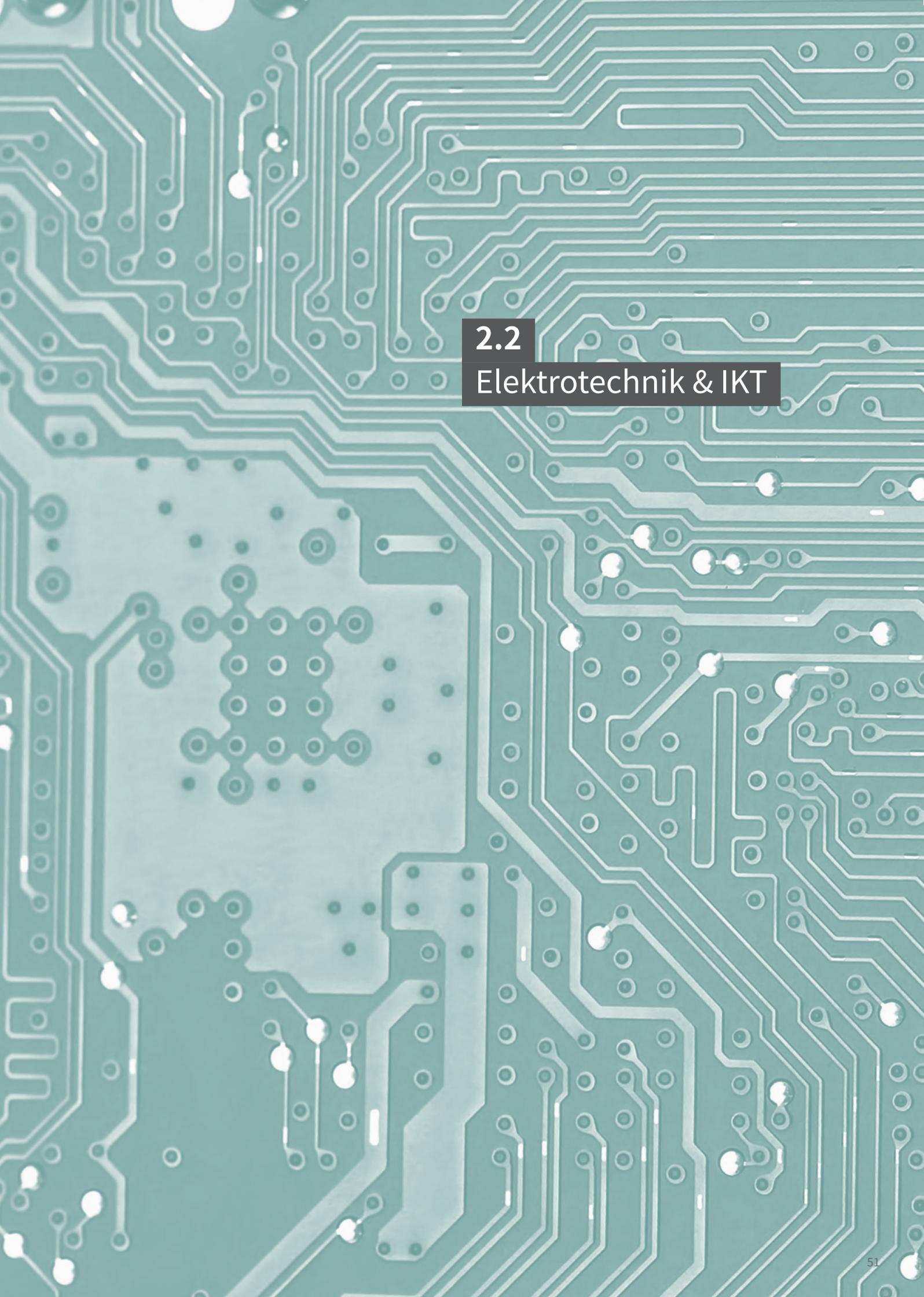
NORMUNGSBEDARFE IM BEREICH GESCHÄFTSMODELLE

Bedarf 1.38: Definition von Merkmalen zur Identifikation von Services für die Circular Economy

Die Umsetzung zirkulärer Geschäftsmodelle ist mit regulatorischen, finanziellen, technischen und organisatorischen Barrieren verbunden, die sowohl bei Verbrauchenden als auch in der Wertschöpfungskette zu Herausforderungen führen [14]. Anders als gängige Services weisen Services für die Circular Economy eine höhere Komplexität auf und erfordern eine multidimensionale Betrachtung in der Ausgestaltung. Wir sind zu keiner Konkretisierung dieser Merkmale gekommen, möchten die Relevanz der Reduktion von Barrieren durch Services jedoch hervorheben.

Empfohlene Maßnahmen:

- Normung sollte sicherstellen, dass Services für die Circular Economy spezifischen Merkmalen unterliegen und einer multidimensionalen Betrachtung in der Ausgestaltung bedürfen
- Erarbeitung von Kriterien zur Identifikation von Services für die Circular Economy



2.2

Elektrotechnik & IKT

2.2.1 Status quo

Die Elektro- und Elektronikindustrie ist die zweitgrößte und innovativste Branche Deutschlands, die 2021 einen Umsatz von rund 200 Milliarden Euro erzielt hat. Das entspricht 10 % der deutschen Industrieproduktion. Ein Viertel der Erlöse erzielt sie mit neuen Produkten. Sie ist gekennzeichnet durch ein breites Produktportfolio und einen hohen Grad an Internationalisierung. Mehr als 90 % der Firmen sind KMUs. Die Elektroindustrie beschäftigt aktuell 876 000 Menschen in Deutschland [106].

Im Folgenden werden der Status quo, Anforderungen und Herausforderungen sowie die einzelnen R-Strategien in Hinblick auf deren Bedeutung für die Elektrotechnik und IKT eingeleitet und anschließend wird auf die identifizierten Normungsbedarfe inklusive des jeweiligen Kontextes eingegangen. Bei einigen Themenschwerpunkten wird aufgrund der unterschiedlichen Zielgruppen, Anwendungs- und Nutzungsprofile oder Geschäftsmodelle zwischen Hausgeräten, Großgeräten, elektrotechnischen Anlagen, Gebäudeinstallationen und Installationsgeräten sowie IKT unterschieden.

Zur Erfassung des Status quo wurde von DIN, DKE und VDI eine Normenrecherche durchgeführt (siehe Kapitel 1.6.2, [Version 1.8.8, September 2022]). Aus der Ergebnisliste von insgesamt 2 101 Circular Economy-relevanten Normen konnten 328 Dokumente dem Bereich Elektrotechnik und IKT zugeordnet werden. Um einen ersten Eindruck zu Bedarfen zu erhalten, wurden diese Normen anhand der neun R-Strategien (1.6.3) sowie den Querschnittsthemen CO₂-Fußabdruck (siehe auch Abschnitt Nachhaltigkeitsbewertung) und Digitaler Produktpass (siehe Kapitel 3.1) ausgewertet. Einige normative Dokumente ließen sich in keine dieser Kategorien sortieren und wurden daher unter „Allgemein“ zusammengefasst (Abbildung 16).

Es zeigt sich, dass vor allem zu den Strategien „Rethink“, „Reduce“ und „Recycle“ bereits eine signifikante Anzahl an relevanten Normen angefertigt wurde. Die Strategien „Reuse“, „Repair“, „Refurbish“ und „Remanufacture“ sind Gegenstand einzelner Normen. „Refuse“ und „Repurpose“ werden kaum berücksichtigt.

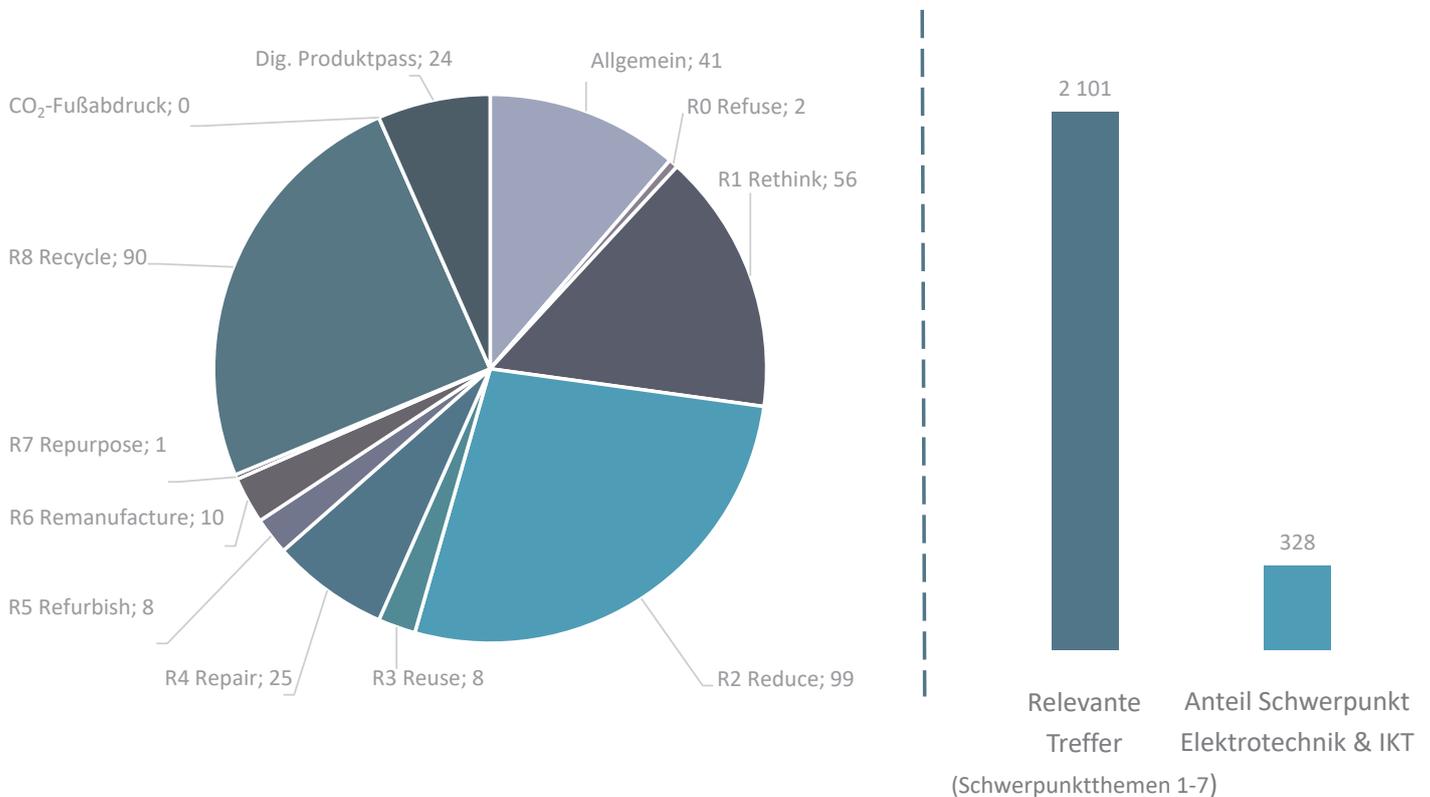


Abbildung 16: Zuordnung der Normenrechercheergebnisse zu den jeweiligen R-Strategien (Quelle: DIN)

Das gleiche Bild zeigt sich auch bei der Betrachtung der einzelnen Sektoren Hausgeräte, Großgeräte, Anlagen und Installationen sowie IKT (Abbildung 17).

Die Vielzahl an Normen für die R-Strategien „Reduce“ und „Recycle“ kann dadurch erklärt werden, dass die Elektrotechnik und IKT seit geraumer Zeit Gegenstand umweltrelevanter europäischer Gesetzgebung ist. Die darin enthaltenen Schutzziele werden im Allgemeinen durch Normen technisch konkretisiert bzw. messbar gemacht. Beispiele für relevante europäische Gesetze sind:

- Ökodesign-Richtlinie zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (2009/125/EG) [21] sowie darauf aufbauende Durchführungsrechtsakte, welche vornehmlich Mindestanforderungen an die Energie-, Ressourcen- und Materialeffizienz der regulierten Produkte stellen,
- Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (2012/19/EU) [108], welche die Sammlung und das Recycling von Elektro- und Elektronik-Altgeräten regelt,

- Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (2011/65/EU) [109], welche den Einsatz bestimmter Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten einschränkt, sowie die
- Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (1907/2006/EG) [73], welche die Verwendung bestimmter Stoffe in Produkten einschränkt bzw. gänzlich verbietet

Ferner zu erwähnen ist das Normungsmandat M/543 [110], das im Jahr 2016 im Kontext der damals geplanten Weiterentwicklung der Ökodesign-Richtlinie ausgegeben wurde. In diesem Mandat wurden die europäischen Normungsorganisationen CEN, CENELEC und ETSI aufgefordert, Normen und Standards zur Bewertung unterschiedlicher Materialeffizienzaspekte (durability, reparability, reusability, remanufacturability, recyclability, recycled content) bei energieverbrauchsrelevanten Produkten zu entwickeln. Daraus hervorgegangen ist die horizontale DIN EN 4555x-Serie [46], die die Grundlage für die Entwicklung produktspezifischer Normen zu den R-Strategien liefert (siehe auch Bedarfe 2.3, 2.22, 2.31, 2.43).

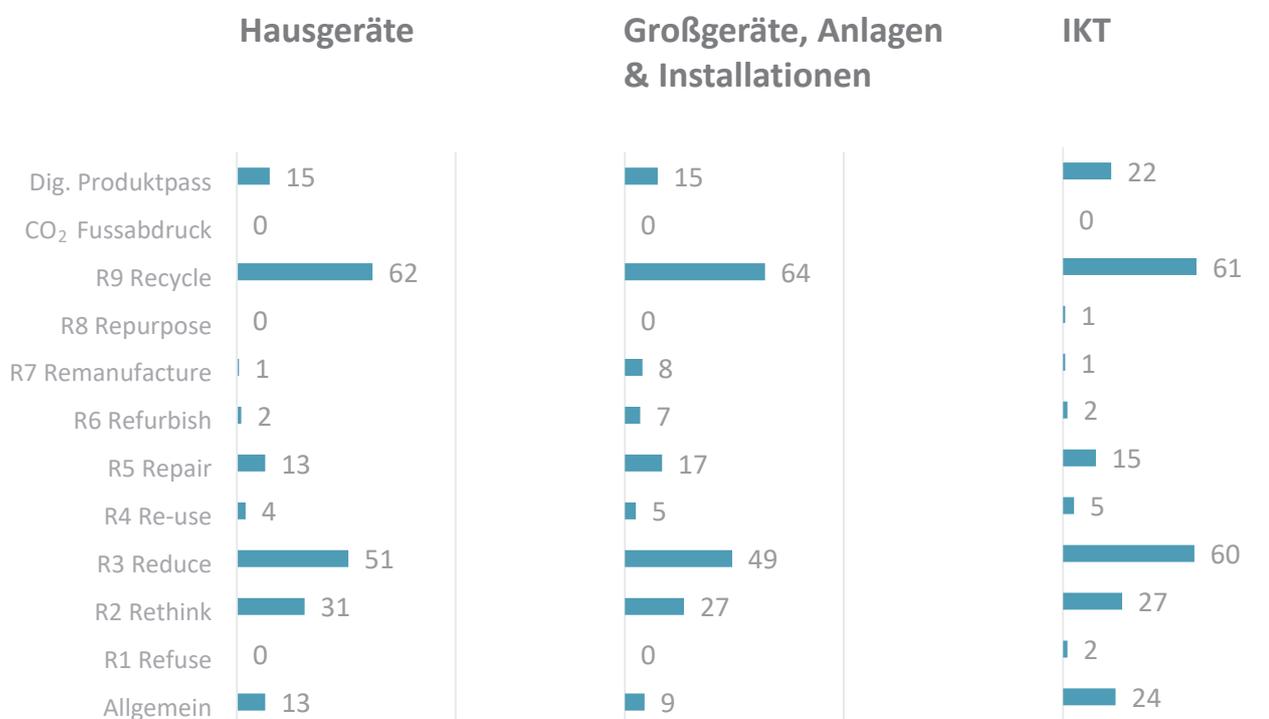


Abbildung 17: Auswertung der Recherche nach Sektoren (Quelle: DIN)

2.2.2 Anforderungen und Herausforderungen

Während der Diskussionen mit den Fachleuten zu horizontalen und normativen Grundlagen zur Steigerung der Zirkularität von Produkten aus der Elektrotechnik und IKT wurden zwei wesentliche Aspekte benannt: (i) die allgemeine Notwendigkeit einer umfassenden Indikatorik bezüglich aller R-Strategien und (ii) Normen zur Begleitung bestehender und zukünftiger digitaler Abbildung von Produkteigenschaften, z. B. der Befüllung von einschlägigen Datenbanken. Ebenfalls wurde berichtet, dass eine zeitnahe und ambitionierte Umsetzung von politischen Grundsatzentscheidungen zur Energiewende stattfindet, jedoch die normative Grundlage und damit die Einheitlichkeit der Umsetzung bislang nicht mitgedacht wurden. Grundsätzlich wird die von den Normungsbedarfen begleitete Rechtsetzung von den Fachleuten im Bereich der Produktregulierung und nicht im Bereich der Abfallgesetzgebung gesehen.

Bei der Steigerung der Zirkularität von Produkten bestehen beinahe keine Einschränkungen durch die Art des Produktes. Zwei Gemeinsamkeiten haben unterschiedliche Produkte jedoch: Zum einen ist es vorteilhaft, den Blick auf den gesamten Zyklus zu lenken, zu abstrahieren und zukünftige Szenarien einzubeziehen. Zum anderen dürfen die Produktsicherheit sowie weitere Sicherheitsaspekte, z. B. der Arbeitsschutz, nicht beeinträchtigt werden. In beiden Bereichen ist die Normungslandschaft sowohl national als auch international sehr gut aufgestellt und eine Steigerung der Produktzirkularität in Aussicht.

Das Design der Produkte gemäß den R-Strategien stellt einen entscheidenden Schritt hin zur Circular Economy dar. Zur erfolgreichen Umsetzung der R-Strategien muss nicht nur bei den Unternehmen, sondern auch bei den Verbrauchenden angesetzt werden. Hier sollte eine Bewusstseinsbildung für die Circular Economy stattfinden, damit auf dem Markt eine entsprechende Nachfrage nach Produkten generiert wird, die mit Blick auf die R-Strategien designt wurden.

Bei den Bereichen Wiederverwendung, Instandsetzung, Wiederaufarbeitung und Neuverwendung findet ggf. ein Nutzer-/Besitzer*innenwechsel statt. Entsprechend umfassende Produktinformationen ermöglichen eine detaillierte Beschreibung der Produkte und eine darauf aufbauende feingranulierte Differenzierung der Produkte am Markt. Produkte könnten gezielter und bedarfsgerechter eingekauft, verwendet oder installiert werden. Dieses schließt eine größere Anzahl an wiederverwendeten, reparierten, aufgearbeiteten oder wieder-

aufgearbeiteten Produkte ein und erhöht damit die Gesamtzirkularität von Elektro- und IKT-Produkten⁴ im Allgemeinen. Ebenfalls kann die Zweitverwendung von Produkten durch die hohe Transparenz der Produkteigenschaften gesteigert und insgesamt das Vertrauen in die Produktqualität bei der Zweitverwendung gestärkt werden.

Ein Informationsstandard für Verbrauchende kann diese dabei unterstützen, die Zirkularität der Produkte einzuschätzen. Eine Bewertung in dieser Hinsicht sollte allerdings ebenfalls auf der Seite der Unternehmen stattfinden. Hierzu sollte eine geeignete Indikatorik entwickelt werden, die eine zahlenmäßige Bewertung der Zirkularität von Produkten ermöglicht und so dazu geeignet ist, Produktweiterentwicklungen in Bezug auf die R-Strategien zu beurteilen.

In einigen Themenbereichen ist die Zusammenarbeit und Abstimmung mit der Politik zur Initialisierung neuer Normprojekte von besonderer Bedeutung, z. B. in Bezug auf mögliche Mandatierungen. Folgende Ressorts der Bundesregierung und Generaldirektionen der EU-Kommission sollten zu einzelnen Themenkomplexen angesprochen werden:

- Generaldirektion Umwelt (DG ENV) [111], der Ausschuss für Umwelt des EU-Parlaments [112] und die zuständigen Fachreferate in BMUV und BMWK:
 - Thema: Eine intensivere Sammlung und Erfassung von Produkten, um sie länger im Kreislauf zu halten bzw. wieder dem Kreislauf zuzuführen. Hier sollte auf bestehende Normen hingewiesen werden und weitere Normungsaktivitäten sollten initialisiert und abgestimmt werden (Bsp.: Anwendung der DIN EN 4555x-Reihe) [46].
- Generaldirektion Kommunikationsnetze, Inhalte und Technologien (DG CONNECT) [113]:
 - Thema: Relevante Normung zu Software- und Update-themen sowie dem Cybersecurity Act [107].
- Generaldirektion Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU (DG GROW) [114] und das BMWK:
 - Thema: Zur Konkretisierung der technischen Ausgestaltung von Gesetzen und Richtlinien werden Normen referenziert. In diesen Zusammenhang wird auf eine konkrete Version der Normen verwiesen. Allerdings sind Normung und Gesetzgebung nicht synchronisiert: Wird die Norm überarbeitet, wird im Gesetz weiterhin die gleiche, nun veraltete Version zitiert. Dieser Aspekt

4 Elektronikprodukte werden als Untergruppe der Elektroprodukte verstanden.

wird mit zunehmender Komplexität und Dynamik der technischen Entwicklung immer kritischer. Hier ist zu klären, wie mit den neueren Normausgaben umgegangen werden soll.

2.2.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe

Einige Normungsbedarfe lassen sich mehreren R-Strategien zuordnen. Bedarfe mit möglicher Mehrfachzuordnung wurden der relevantesten R-Strategie (oder den allgemeinen Normungsbedarfen) zugeordnet.

Allgemeine Normungsbedarfe

Bedarf 2.1: Normative Grundlagen für Indikatoren für den Vergleich einzelner R-Strategien, kombinatorischer Ansätze und zur Bemessung der Gesamtzirkularität

Die Schaffung einheitlicher Berechnungsgrundlagen zu Indikatoren der einzelnen R-Strategien würde die Betrachtung der Gesamtzirkularität eines Produktes, einer Anlage und/oder Installation erlauben (siehe auch Bedarf 1.1). Die Indikatoren ermöglichen somit eine aktive Berücksichtigung der Circular Economy im Controlling und letztendlich Möglichkeiten der (Neu-)Ausrichtung von Geschäftsmodellen und Unternehmensstrategien. Grundlegend wären Methoden zur Vergleichbarkeit der R-Strategien und Möglichkeiten kombinatorischer Betrachtungen, beispielsweise durch eine Umrechnung in CO₂-Einsparungen. Für Letzteres bedarf es einer Definition von Systemgrenzen auf europäischer und ggf. internationaler Ebene. Eine nationale Betrachtung der Zirkularität von Produkten, besonders vor dem Hintergrund internationaler Wertschöpfungsketten, wird nicht als zielführend erachtet. Als Beispiele für internationale Normungsaktivitäten wurden IEC/TC 111 „Environmental standardization for electrical and electronic products and systems“ [115] und IEC SMB ahG 94 „Carbon Footprint Data Collection“ [116] genannt. Durch die Anwendung von R-Strategien dürfen wesentliche Produkteigenschaften wie die Produktsicherheit nicht herabgesetzt werden, Herstellerpflichten und -verantwortungen sollten berücksichtigt werden.

Bedarf 2.2: Leitfäden zur Befüllung und Kontrolle der SCIP-, EPREL- und weiterer Datenbanken

Produkteigenschaften lassen sich durch Kennzahlen beschreiben. Das können perspektivisch die im vorherigen Absatz erwähnten Indikatoren zur Zirkularität sein. Weitere Kennzahlen wie die Energieeffizienz oder die Schadstofffracht

eines Produktes werden bereits erhoben und an einschlägige Stellen gemeldet bzw. in den bereits bestehenden Datenbanken SCIP (**S**ubstances of **C**oncern **I**n articles as such or in complex objects (**P**roducts)) und EPREL (Europäischen Produktdatenbank für die Energieverbrauchskennzeichnung) eingetragen [126], [127]. Bezüglich der Datenbanken wurde vermehrt die Reduzierung von Aufwänden zur Dateneingabe erwähnt. Herstellende bzw. importierende Unternehmen würden Leitfäden zur Dateneingabe, zugeschnitten auf bestehende und zukünftige (Siehe Kapitel 3.3), würden die Qualitätssicherung bzw. die Kontrolle der Vollständigkeit und Richtigkeit der Angaben für herstellende und importierende Unternehmen effizienter und effektiver gestalten.

Bedarf 2.3: Produktgruppenspezifische Normen zur Funktionsbeständigkeit (durability), Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Wiederaufarbeitbarkeit und Recyclingfähigkeit auf Basis der DIN EN 4555x-Reihe

Die Europäische Kommission hat den Bedarf an einer normativen Grundlage zur Etablierung einer Circular Economy erkannt und 2015 ein Mandat (M/543) [110] zur Schaffung einer Normungsreihe zu verschiedenen Themen der Ressourcen- und Materialeffizienz an CEN/CENELEC und ETSI erteilt. Die daraus hervorgegangene Normenreihe DIN EN 4555x [46] beinhaltet Normen mitunter zur Beurteilung der Funktionsbeständigkeit (durability), Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit von sog. energieverbrauchsrelevanten Produkten (ErP). Die Gruppe der ErP wurde erstmals in der Öko-design-Richtlinie [21] definiert und umfasst eine Vielzahl an Hausgeräten und Produkten aus der IKT, jedoch auch Großgeräte mit industrieller Anwendung. Die Normen der DIN EN 4555x-Reihe sind generisch. Sie sollen Fachgremien der Normungsorganisationen als Handlungsrahmen für die Gestaltung produktspezifischer Normen dienen. Bislang hat ein Gremium die Anwendbarkeit der Serie für Hausgeräte geprüft (CEN/CLC TC 59X WG 23 „Material efficiency of household and similar electrical appliances“) [117] und erarbeitet momentan eine produktgruppenspezifische Norm zur Funktionsbeständigkeit von Waschmaschinen. Sollten die Ankündigungen der Kommission im European Green Deal [2], Circular Economy Action Plan [4] und dem Entwurf der Ecodesign for Sustainable Products Regulation [140] in Bezug zur Schaffung gesetzlicher Anforderungen an die Materialeffizienz von ErP umgesetzt werden, bedarf es einer Vielzahl produktgruppenspezifischer Normen zur Ressourcen- und Materialeffizienz und die DIN EN 4555x-Reihe [46] bietet die geeignete Grundlage dafür.

Bedarfe 2.4: Leitlinien zum „Design 4 Recycling“ und „Design 4 Circularity“ sowie ein Ansatz zur Bewertung der optimalen R-Strategie für ein spezifisches Produkt

Um die R-Strategien umsetzen zu können, ist es essenziell, dass diese bereits in der Entwicklungsphase der Produkte berücksichtigt werden. Zu diesem „Design 4 Recycling“ bedarf es Leitlinien mit einem globalen Ansatz, wie sie derzeit zum Beispiel von der Circular Plastics Alliance [118] zum Recycling entwickelt werden. Zu berücksichtigen ist hier, dass bei einem Produkt in der Regel nicht alle R-Strategien gleichwertig umgesetzt werden können, sondern ein entsprechender Schwerpunkt gesetzt werden muss. So stehen bei einigen Produkten z. B. die Wartung und Reparierbarkeit im Vordergrund, bei anderen Produkten hingegen die Recyclingfähigkeit. Daher sollte ein praktikabler Ansatz zur Lebenszyklusanalyse gefunden werden, der (ggfs. mit speziellem Fokus) die Prüfung und Bewertung der einzelnen Strategien für ein spezifisches Produkt oder eine Produktgruppe ermöglicht, um einen optimierten Ausgleich zwischen den R-Strategien zu finden. Grundsätzlich sind produktgruppenspezifische Designrichtlinien für alle R-Strategien notwendig.

Bedarf 2.5: Koordinierung von Normungsaktivitäten zur Circular Economy

Die Steigerung der Zirkularität betrifft nicht nur einzelne Märkte. Die durch die Globalisierung entstandenen internationalen Wertschöpfungsketten, Vertriebe und Wiederverwendungen von Produkten aus der Elektrotechnik und IKT bedürfen einer engen Zusammenarbeit nationaler und internationaler Normungsorganisationen. Vorteilhaft wäre eine Abstimmung und Zusammenarbeit bestehender supranationaler Organisationen, um Entwicklungen zu den einzelnen R-Strategien zu koordinieren und ein ganzheitliches Verständnis einer Circular Economy auf internationaler Ebene zu erreichen. Eine Beteiligung des International Resource Panel des UN Environment Programme (UNEP IRP) [119] wäre zu prüfen. Ein bereits bestehendes Positivbeispiel ist die Zusammenarbeit zwischen ISO/TC 262 „Risk Management“ [120] und ASTM F42 „Additive Manufacturing Technologies“ [121] zur additiven Fertigung – weitere wären wünschenswert.

Bedarf 2.6: Etablierung einer standardisierten Informationsweitergabe auf Basis internationaler Standards und Entwicklung kostengünstiger und einfacher Analytik zur Qualitätssicherung sekundärer Rohstoffe

Gerade bei der Qualitätssicherung sekundärer Rohstoffe kommt einer standardisierten Informationsweitergabe (siehe auch Bedarf 1.5) bei der Umsetzung der Circular Economy eine entscheidende Rolle zu. Es ist zu erwarten, dass durch

eine Steigerung der Zirkularität ebenfalls die Vielfalt an Materialien und Materialzusammensetzungen steigen wird. Aufgrund der sehr langen Lebenszyklen bestimmter Produkte und dementsprechend nicht immer vorhandener Informationen können deshalb in Zweifelsfällen Normen zur Analytik bestimmter Stoffe für die Qualitätssicherung sekundärer Rohstoffe benötigt werden.

Bedarf 2.7: Notwendigkeit europäischer/internationaler Normen

Bei der Circular Economy handelt es sich um eine grundlegend andere Wirtschaftsweise, welche, wenn vollständig umgesetzt, nicht auf ein Land bzw. eine Region begrenzt ist. Daher sind bei Circular Economy-relevanten Normen europäische (CEN, CENELEC, ETSI) bzw. internationale Normen (ISO, IEC, ITU) zu bevorzugen, um ihr Potenzial optimal ausschöpfen zu können. Hierbei ist es unter anderem wichtig, Limitierungen aus der Historie entgegenzuwirken. So gibt es derzeit in Europa bspw. noch immer nationale Normen zu spezifischen technischen Lösungen für die Sicherheit von Steckdosen. Im Zuge einer Circular Economy ist darauf zu achten, eine Harmonisierung der Anforderungen, soweit möglich, zu erzielen.

Ein besonderes Augenmerk sei an dieser Stelle auf den Bereich der Abfallbehandlung bzw. den Recyclingbereich gelegt. Um Produkte am Ende ihrer Nutzung effizient recyceln zu können, sind z. T. entsprechende Kennzeichnungen an diesen notwendig. Die freien Warenflüsse im europäischen Binnenmarkt machen eine einheitliche, die Mitgliedstaaten übergreifende Kennzeichnung notwendig. Zusätzlich kann eine europäische Harmonisierung von national erarbeiteten Prozessstandards zu einer weiteren Verbesserung führen.

Bedarf 2.8: Bewertung zur Sinnhaftigkeit der Digitalisierungsrate von Produkten und Services

Bei den Ausschreibungen von Förderprogrammen ist zu beachten, dass selbst im Zeitalter der digitalen Transformation nicht jede Form der Digitalisierung positiv in die Bewertung der Förderfähigkeit von Projekten einfließen sollte. Hier wäre eine genormte Betrachtung der Sinnhaftigkeit der Digitalisierungsrate von Produkten und Services vorteilhaft. Eine zu weit gehende Digitalisierung schafft vermeidbare Verbräuche bei der Bereitstellung von Rechenleistungen durch Rechenzentren und Datentransfer.

Bedarf 2.9: Aufnahme von kreislaufforientierten Förderkriterien zur Innovations- und Forschungsförderung in Ergänzung zur Energieeffizienz von Produkten

Ein zusätzliches Handlungsfeld zur Etablierung einer Circular Economy wäre in der öffentlichen Förderung gegeben.

Die Bewertung der Förderfähigkeit beinhaltet vorwiegend Kriterien zur Energieeffizienz, Nachhaltigkeitsstrategien und -ziele etc. Kreislauffrelevante Aspekte wie eine Wiederverwendung oder Aufarbeitung von Produkten finden bislang keine Anwendung. Häufig werden im Rahmen von Innovations- und Forschungsförderungen die Entwicklung neuartiger Produkte gefördert und Aspekte der Wiederverwendung z. T. ausgeschlossen. Hier wäre bei der Förderung eine Öffnung des Kriterienkataloges vorteilhaft, um ein kreislaufforientiertes Produktdesign zu forcieren. Normen zur Circular Economy unterschiedlichster Produkte könnten hier ergänzt werden, ohne die bislang berücksichtigte Energieeffizienz von Produkten zu vernachlässigen.

Bedarf 2.10: Normen zur Stilllegung und zum Rückbau von erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen

Die Maßnahmen der Bundesregierung und der Europäischen Union zur Erreichung klar definierter Energie- und Emissionsersparungen sind in mehreren Strategieplänen festgehalten. Als wesentlich wird die Etablierung erneuerbarer Energien, beispielsweise durch den Ausbau von Windkraft- oder Solaranlagen, erwähnt. Die Fachleute diskutierten dahingehend die prognostizierten Lebensdauern von Anlagen zur Erzeugung von erneuerbaren Energien und verwiesen vermehrt auf die Notwendigkeit, die Stilllegung und den Rückbau veralteter Anlagen (siehe auch Abschnitt Rückbau von Gebäuden) in der Normungslandschaft abzubilden. Eine Betrachtung der Zirkularität der Anlagen fördere zum einen deren gesamtheitlichen Nutzen, schaffe zum anderen neue Geschäftsmodelle und senke ggf. die Abhängigkeit von Zulieferern von Bauteilen bzw. Rohstoffen zur Produktion von Bauteilen. In Bezug auf den Rückbau von Bauwerken kann auch Bedarf 7.14 in Kapitel 2.7 betrachtet werden.

Refuse

Eine Anknüpfung an die Refuse-Strategie der UN (siehe Kapitel 1.6.3) befindet sich in konzeptionellen (Produkt-)Normen, beispielsweise in Normen zur umweltbewussten Produktgestaltung oder die hier diskutierte Orientierung an den Prinzipien der Circular Economy. Entsprechend der Definition der Refuse-Strategie soll auf ein Produkt verzichtet oder die gleiche Funktion mit einem radikal anderen (z. B. digitalen)

Produkt oder einer anderen Dienstleistung ersetzt werden. Ein entsprechendes Feld ist beispielsweise die normenbegleitete Etablierung von sog. Digitalen Zwillingen, die analoge Kennzeichnungen von Services, Materialien und Produkten ersetzen sollen.

Bedarf 2.11: Revision der normativen Grundlage zur Verwendung von Flammenschutzmitteln unter Berücksichtigung von Rezyklaten und integrierten Messsystemen

Ein Bedarf an einer Revision wurde in einer Diskussion zur Verwendung von Flammenschutzmitteln im Anlagenbau benannt. Angeregt wird zum einen die Berücksichtigung von Rezyklaten im Allgemeinen, zum anderen von integrierten Messsystemen. Sollten durch Messsysteme und damit verbundene intelligente Anlagensteuerung Temperatur- oder Spannungsspitzen vermieden werden können, sollten andere Anforderungen zur Verwendung von Flammenschutzmitteln gelten als bei Anlagen ohne integrierte Messsysteme. Negative Auswirkungen auf den Arbeitsschutz und/oder die Produktsicherheit müssen jedoch vermieden werden.

Rethink

Die Rethink-Strategie (siehe Kapitel 1.6.3) eignet sich eingeschränkt zur Anwendung in (Produkt-)Normen. Bedingt kann sie ähnlich der Refuse-Strategie Anwendung in Normen zur umweltbewussten Produktgestaltung oder in Servicemodellen finden. Für Normungsgremien bedeutet dies, dafür Sorge zu tragen, dass in der zu er- oder überarbeitenden Norm Product-as-a-Service, Wiederverwendungs- oder Sharing- und Service-Modelle nicht behindert oder unterbunden werden. Dies kann im Allgemeinen durch einen technologie-neutralen Ansatz gewährleistet werden. Zusätzlich können Normen die Nutzung von Produkten intensivieren, indem sie Rahmen zu alternativen Anwendungen (siehe auch Abschnitt „Repurpose“), nicht zuletzt in Bezug auf sicherheitsrelevante Aspekte, setzen und die normative Basis für den entsprechenden gesetzlichen Rahmen bilden. Normen zur umweltbewussten Produktgestaltung in Orientierung an den Prinzipien der Circular Economy sollten hier entwickelt bzw. angewendet werden.

Bedarf 2.12: Holistische Produktbewertung anhand von Umwelt- und Materialeffizienzparametern

Ähnlich der Beschreibung zur Indikatorik im Kapitel zu den allgemeinen Normungsbedarfen (Bedarf 1) wird für die Bewertung der Produktzirkularität ein integrativer Ansatz zwischen verschiedenen Produktparametern angeregt.

Neben CO₂-Äquivalenten können zusätzliche andere Umweltauswirkungen (Schadstoffe, Landnutzung etc.) und Materialeffizienzparameter, wie die Funktionsbeständigkeit oder Recyclingfähigkeit, berücksichtigt werden. Wesentlich für eine Betrachtung wäre die negative Beeinflussung einzelner Parameter auf die Gesamtbewertung des Produktes. Zielkonflikte sind wahrscheinlich, da eine gleichzeitige Optimierung aller Parameter häufig technisch schwierig zu realisieren ist. Beispielsweise kann sich eine Erhöhung der Funktionalität von Produkten negativ auf die Recyclingfähigkeit niederschlagen, sollten für höher komplexe Funktionen ebenfalls komplexe Materialien wie Kompositwerkstoffe verwendet werden. Lösungen für die Zielkonflikte sollten angestrebt und dabei mögliche Synergieeffekte berücksichtigt werden.

Bedarf 2.13: Normen zu Datenschnittstellen im Digitalen Produktpass berücksichtigen

Holistische Betrachtungen haben in der Vergangenheit zu Designlösungen geführt, die technologieneutral umgesetzt werden konnten. Positivbeispiele lassen sich bei Schnittstellen finden, z. B. genormte, digitale Schnittstellen wie digitale Typenschilder gemäß DIN EN IEC 61406 [122]. Sie könnten mitunter als QR-Code auf dem Produkt oder auf Komponentenebene aufgebracht sein und auf die Produktdokumentation beim herstellenden Unternehmen verweisen. Dieses könnte ebenfalls mit der Service-Dokumentation „Identification Link“ verknüpft werden. Zu berücksichtigen wären statische (Herstellernamen, Produktionsstandort etc.) und dynamische Informationen (Nutzungszyklen, Reparaturen etc.). Ebenfalls positiv werden die digitalen Schnittstellen in der Haustechnik bewertet. Besonderes Augenmerk sollte hier auf die Entwicklungen im Rahmen der Etablierung eines DPP (siehe hierzu auch allgemeingültige Bedarfe 1.5–1.17) durch die Europäische Kommission und aktuelle Entwicklungen auf IEC-Ebene (CDD, Common Data Dictionary [105]) gelenkt werden. Die genormten digitalen Schnittstellen des Positivbeispiels in der Haustechnik bedeuten, dass keine Limitierungen vorliegen und Anbietende von Steuersystemen in der Regel einheitliche digitale Schnittstellen anbieten.

Um eine spätere automatisierte Systemsicht zu ermöglichen (bspw. einer Produktionsstätte, die viele Produkte verwendet), wird die Notwendigkeit der Zurverfügungstellung der DPP-Daten in standardisierter, maschinenlesbarer Form gesehen.

Der DPP soll Informationen zu digitalen Produkten, die in Verbindung mit IKT-Produkten stehen, berücksichtigen. Als Beispiel seien hier die Emission von CO₂-Äquivalenten bei Herstellung und Betrieb digitaler Produkte genannt.

Bedarf 2.14: Normen zur Bemessung von Produktveränderung beim Aufspielen und der Installation von Updates

Entsprechend der Rethink-Strategie könnte eine Intensivierung der Produktnutzung ebenfalls in Bezug auf die verwendete Software erreicht werden. Hierbei sollte eine Betrachtung von Haftung, Copyright und Lizenzbedingungen beim Aufspielen und der Installation von Updates vorgenommen werden. Zusätzlich wären Kriterien zur Beibehaltung der Typzulassung und Produktsicherheit zu beschreiben. Die Kriterien sollen auch abbilden, wie weit die Produktupdates vorgesehen und entsprechend im Vorfeld beschreibbar sind.

Reduce (by design)

Unter der häufig angesprochenen Produkteffizienz kann neben der Energieeffizienz ebenfalls die Material- und Ressourceneffizienz verstanden werden. Die „Reduce“-Strategie (siehe Kapitel 1.6.3) wird durch den Anhang „... by design“ ergänzt und spiegelt sich somit in unterschiedlichsten Normen wider. Neben der Messung und Berechnung des Energieverbrauchs von Produkten sowie den daraus resultierenden Designänderungen kann auch eine gesteigerte Funktionsbeständigkeit, Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit etc. zur Reduzierung des Ressourcen- und Materialverbrauchs über den gesamten Produktlebenszyklus beitragen.

Bedarf 2.15: Leitfaden zu kreislauforientierten Informationen zu den Inhaltsstoffen

Normen, welche die „Reduce“-Strategie berücksichtigen, fördern die längere Nutzung von Produkten und können Grundvoraussetzungen für etwaige Aspekte der Circular Economy durch das jeweilige Produktdesign schaffen (siehe hierzu Bedarf 1.10). Normative Rahmen zu Füge- und Befestigungstechniken können die Zerlegbarkeit von Produkten steigern und erhöhen die Ausbeute von Recyclingverfahren. Die Deklaration von Gefahrstoffen in standardisierten Formaten würde die Kenntnis über das Vorhandensein dieser Stoffe erhöhen und die für den Informationsaustausch benötigten Kapazitäten stark reduzieren.

Bedarf 2.16: Norm zur Änderung der Produktperformance durch Softwareupdates

Produktausfälle können ebenfalls durch Software(fehler) hervorgerufen werden. Es sollte der normative Rahmen geschaffen werden, Obsoleszenz durch Software bei Produkten aus der Elektrotechnik und IKT zu erschweren und die Betriebsfähigkeit ohne Einbuße der Produktsicherheit langfristig aufrechtzuerhalten. Zusätzlich sollten genormte

Kriterien geschaffen werden, die bestimmen lassen, wann ein Softwareupdate die Grundfunktion eines Produktes verändert, und eine Unterscheidung zwischen wiederverwendet, aufgearbeitet oder wiederaufgearbeitet ermöglichen.

Bedarf 2.17: Norm zur anwendungsbezogenen Differenzierung von Füge- und Befestigungstechniken

Einschränkungen der Zerlegbarkeit von Produkten verhindern teils einfache Reparaturen und verringern zusätzlich die Anzahl an potenziellen Recyclingprozessen am Ende des Produktlebenszyklus. Zur neutralen Bewertung und als Werkzeug zur Auswahl von Füge- und Befestigungstechniken während der Produktdesignphase wäre eine Norm zielführend, die anhand von häufig verwendeten Füge- und Befestigungstechniken, je nach Anwendung und Produktart, im Sinne der Ziele einer Circular Economy („Reuse“, „Repair“, „Recycling“) differenziert. Unter Anwendung dieser Norm kann anschließend die Steigerung der Produktzirkularität durch die Nutzung von Klebstoffen in jeweiligen Anwendungsfällen beurteilt werden.

Sollte für eine Reparatur oder auch für einen Recyclingprozess eine Demontage der Produkte nötig sein, bieten sich viele Möglichkeiten zum Lösen der Fügeverbindungen. Beispielsweise stellt die DIN/TS 54405 [123] den Anwendenden, und vor allem den Designenden von Produkten, eine Leitlinie zum Trennen geklebter Verbindungen mit dem Ziel der Wiederverwendung der Wertstoffe zur Verfügung.

Bedarf 2.18: Qualitätsstandards und Referenzmaterialien für Rezyklate

Die Steigerung des Einsatzes von recycelten Stoffen in neuen Produkten, v. a. Kunststoffen (Siehe Kapitel 2.5), kann durch definierte Stoffeigenschaften gefördert werden. Maßgeblich hierfür sind Materialstandards auf Grundlage des Materialtyps unter Berücksichtigung der benötigten technischen Eigenschaften der vorgesehenen Anwendung. Diese können ergänzt werden durch Informationen über das Vorhandensein von deklarationspflichtigen Stoffen entsprechend harmonisierten oder internationalen Normen und Standards. Dieses würde zusätzlich die Akzeptanz von sekundären Rohstoffen im Allgemeinen steigern und demnach einen wesentlichen Beitrag zu einer Circular Economy leisten.

Die im vorherigen Absatz genannten Betrachtungen gehen deutlich über Kunststoffe hinaus. Ein weiteres Beispiel wären Schwankungen bei der Schadstoffbelastung von Buntmetallen, welche über die bereits von REACH abgedeckten Substanzen inbegriffen sind. Nach Erfahrungen der Fachleute aus der Elektrotechnik und IKT sind bei Buntmetallen die Spann-

weiten an Inhaltsstoffen, auch bei Normlegierungen, sehr weit im Sinne einer möglichen Meldepflicht. Somit könnten Normwerkstoffe des einen herstellenden Unternehmens nicht meldepflichtig sein, die eines anderen herstellenden Unternehmen jedoch Anforderungen der REACH-Verordnung [73] unterliegen. Eine Norm zur Vereinheitlichung/Eingrenzung von Normmaterialien, ggf. in Begleitung durch die Entwicklung und Bereitstellung geeigneter Referenzmaterialien, kann hier Abhilfe schaffen und den Einsatz von neuem und recyceltem Material in neuen Produkten erhöhen.

Bedarf 2.19: Norm zur Bestimmung der Verbräuche von (industriellen) Anlagen

Weitere Normungsbedarfe bezüglich der „Reduce (by design)“--Strategie betreffen Großgeräte, Anlagen und Installationen. Bei industriellen Anlagen wäre eine Norm zur Bestimmung der Verbräuche der Gesamtanlage vorteilhaft, welche für Betreibende eine strategische Größe bei der Wahl des geeigneten Zeitpunktes für Modernisierungsmaßnahmen wären. Verbräuche könnten als ein weiteres Entscheidungskriterium für die Beschaffung neuer Anlagen bzw. Anlagenkomponenten herangezogen werden. Eine besondere Bedeutung haben Komponenten der funktionalen Sicherheit bzw. Gebäudesicherheit. Diese arbeiten oftmals nach dem Ruhestrom-Prinzip, werden also konstant mit Energie versorgt. Normen, die zum Absenken des Energiebedarfs dieser Bauelemente beitragen, können den Energiebedarf deutlich senken.

Bedarf 2.20: Norm zum funktionsbeständigen Betrieb

Eine normative Beschreibung der optimalen Betriebs- und Umgebungsbedingungen, der regelmäßigen Wartung sowie der Mindestqualifikation des Betreiberpersonals würde sich positiv auf die Funktionsbeständigkeit von Produkten, Anlagen und Installationen auswirken. Diese Beschreibungen dürften nicht die Anforderungen an den sicheren Betrieb umgehen und weiteren kreislaurelevanten Aspekten, wie der Reparatur, entgegenwirken, sollten jedoch über die Mindestanforderungen zur Inbetriebnahme durch die Betreibenden hinausgehen.

Bedarf 2.21: Genormte Bewertungskriterien zur Energie- und Materialeffizienz der Gebäudetechnik und -installation

Eine genormte Betrachtung der Energieeinsparungen bei Gebäudeinstallationen, ähnlich den Kriterien der bestehenden KfW-Förderungen für Wohn- und Nichtwohngebäude, wäre eine geeignete Möglichkeit, den Gebäudebestand hinsichtlich der Elektroinstallation und der eingesetzten elektrotechnischen Produkte zu modernisieren. Es bestünde erhebliches

Energieeinsparpotenzial durch die Verwendung effizienterer Anlagentechnik. Die Verbräuche würden gesenkt und moderne Schaltanlagen ermöglichten eine gezielte Nachsteuerung z. B. beim Wechsel des Nutzungsprofils eines Gebäudes oder Verschleiß einzelner Komponenten. Dieses wird im Bereich der Klima- und Lüftungsanlagen in der Norm zur Energetischen Inspektion (DIN SPEC 15240 [124]) z. T. berücksichtigt und könnte auf weitere Bereiche der Elektrotechnik im Wohn- und Nichtwohngebäudebereich erweitert werden.

Die häufig betrachtete Gebäudeautomation könnte um weitere, fundamentale Aspekte der Gebäudeinstallationen, gewinnbringend für Betreibende und Nutzende, ergänzt werden. Sollte zukünftig der Ausbau von erneuerbaren Energien ebenfalls im Wohn- und Nichtwohngebäudebereich durch Generierung und Speicherung von Energie im Gebäude unterstützt werden, bedarf es einer geeigneten Infrastruktur und Haustechnik. Zusätzlich unterstützen die zuvor beschriebenen Modernisierungen die Gebäudesicherheit wie zum Beispiel im Brandschutz. Dazu gilt es, entsprechende Normen zu erarbeiten. Bereits existierende Beispiele aus der Praxis sind die normativen Grundlagen zur Austauschpflicht von veralteten Heizungsanlagen und Fördermaßnahmen zur Optimierung von Klima- und Lüftungsanlagen im Gebäudebestand.

Bedarf 2.22: Normen zur Bestimmung der Funktionsbeständigkeit (durability) von Produkten

Bei Verbraucherprodukten würden Normen zur Bestimmung der Produktlebensdauer zukünftige gesetzliche Regelungen zur Verlängerung der Produktnutzung unterstützen. Sie könnten die Berechnungsgrundlage von gesetzlichen Mindestanforderungen bilden, entsprechend dem aktuellen Koalitionsvertrag [1] zu einer Garantieaussagepflicht beisteuern oder die Vergleichbarkeit unter den Produkten fördern und Verbrauchenden, analog zur Kennzeichnung der Energieeffizienz durch das EU-Energielabel [125], äußerst relevante Information für ihre Kaufentscheidung ermöglichen. Neben den umweltrelevanten Aspekten einer Verlängerung der Produktlebensdauer können auch zusätzliche Betriebskosten für die Verbrauchenden durch zusätzliche Reparaturen bzw. Beschaffung eines Ersatzproduktes betrachtet werden. Normen auf der Komponentenebene (Anzahl Schaltzyklen, Steckzyklen etc.) sind im Bereich der Typprüfung bereits vorhanden und könnten unter genormten Annahmen zur Produktumgebung und -nutzung beispielsweise in die Erarbeitung von produktgruppenspezifischen Normen unter Anwendung der DIN EN 45552 [318] einfließen. Weitere Normen zur Lebensdauer von Komponenten, beispielsweise dem Prozessor von smarten Produkten, wären zu entwickeln.

Bedarf 2.23: Normative Grundlage zur Definition von kreislauforientierten Garantieansprüchen von Verbraucherprodukten

Sollte die im vorherigen Absatz erwähnte Garantieaussagepflicht zum Tragen kommen, wären genormte Garantieansprüche grundlegend, um eine Verwirrung der Verbrauchenden am Verkaufsort zu vermeiden. Erfahrungen aus anderen gesetzlich vorgeschriebenen Kennzeichnungen, z. B. dem EU-Energielabel [125], haben gezeigt, dass einheitliche und von Inhalt und Gestaltung herstellerunabhängige Kennzeichnungen von einer Mehrzahl der Verbrauchenden bei ihrer Kaufentscheidung berücksichtigt werden. Zusätzlich wäre bei der Formulierung etwaiger Garantieansprüche zu prüfen, ob Handlungsoptionen zur Stärkung der Zirkularität von Produkten (z. B. eine Reparatur) vorgezogen werden können.

Reuse

Die „Reuse“-Strategie (siehe Kapitel 1.6.3) kann wie die „Reduce (by design)“-Strategie (s. o.) in unterschiedlichsten Normen angewendet werden. Für Normungsgremien gilt es, bei der Erstellung ihrer Dokumente darauf zu achten, dass eine Wiederverwendung von funktionierenden Produkten für den gleichen Zweck prinzipiell nicht verhindert wird, sondern Grundlagen zur Wiederverwendung berücksichtigt werden. Diese beinhalten Informationen für den Zweitnutzenden, beispielsweise über die Zusammensetzung/Aufbau, Schadstoffe, Nutzungshistorie etc. Sollten produktbezogene Daten auf einem Produkt gespeichert sein, sind der Umgang mit diesen Daten sowie die rückstandslose Löschung vor der Wiederverwendung des Produkts zu nennen.

Bedarf 2.24: Kriterien zur Klassifizierung reparierter, aufgearbeiteter und wiederaufgearbeiteter Produkte

Ein weiterer wesentlicher Aspekt beim Eingriff in das Produktdesign durch die Wiederverwendung von gebrauchten Komponenten, Reparatur, Aufarbeitung und Wiederaufarbeitung ist ein potenzieller Verantwortungsübergang. Kriterien müssen genormt werden, bis zu welchem Grad der Änderung an Software, Komponente und/oder dem Gesamtprodukt das originäre herstellende Unternehmen weiterhin verantwortlich ist, ab wann ein neues Inverkehrbringen stattfindet oder ein anderer Marktbeteiligter in der Verantwortung steht. Dieses könnte ebenfalls bei der Schaffung einer rechtlichen Grundlage zur Etablierung von Märkten für gebrauchte Komponenten, aufgearbeitete und wiederaufgearbeitete Produkte normativ abgebildet werden und entsprechende Bedenken

bezüglich der Produktsicherheit bei Verbrauchenden, Vertreibenden und bei der Beschaffung abbauen. Nach Einschätzung der Fachleute aus der Elektrotechnik und IKT sollten funktions- oder sicherheitsrelevante Änderungen nur von Personen durchgeführt werden, die anschließend die Herstellerverantwortung übernehmen. Vertrauen in wiederverwendete Produkte (und Komponenten) kann durch auf Normen basierende Produktkennzeichnung bzw. den Verbrauchenden zur Verfügung gestellte Informationen gesteigert werden. Hierfür können Normen zur Qualitätssicherung von „Reuse“-/„Refurbish“-Produkten herangezogen werden, welche die notwendigen Prozessschritte beschreiben. Auch hier ist ein produktspezifischer Normungsbedarf zu erkennen.

Bedarf 2.25: Designstandards für defektfreien Ab- bzw. Ausbau und Zweitinstallation bzw. Einbau

Die Wiederverwendung von Produkten, Anlagen oder Installationen kann mit einer Veränderung des Standortes einhergehen. Schäden beim Aus- und Einbau von Komponenten sollten entsprechend bei der Betrachtung von Normen zur Wiederverwendung berücksichtigt werden. Dieses beinhaltet die Schäden an den Komponenten, die an andere Stelle verwendet werden sollen, und ebenfalls das Produkt selbst, das bei dem Einbau der wiederzuverwendenden Komponente Schaden nehmen könnte. Diese Umstände sollten mindestens in Bezug zur Produktsicherheit bedacht und zusätzlich das Kosten-Nutzen-Verhältnis zur Überprüfung der Funktionalität von Komponenten und Gesamtprodukt abgebildet werden. Zusätzlich wäre zu prüfen, ab welchem Grad der Nutzung von wiederverwendeten Komponenten ein Produkt erneut in Verkehr gebracht wird und eine entsprechende Konformitätsbewertung oder Typzulassung erfolgen muss.

Um sicherzustellen, dass elektrotechnische bzw. IKT Produkte an einem anderen Ort für eine Zweitnutzung verwendet werden können, bedarf es Designnormen. Diese könnten Art und Ort von Befestigungselementen, Stromversorgung, Wasserzu- und -abfuhr etc. definieren.

Bedarf 2.26: Revision der Norm zur Datenvernichtung DIN 66399 hinsichtlich der Wiederverwendung, Aufarbeitung und Wiederaufarbeitung von Produkten der Elektrotechnik und IKT

Findet ein Eigentümer*innenwechsel statt und sind auf dem Produkt, der Anlage oder Installation sensible Daten gespeichert, sollten diese gelöscht werden können. Eine mögliche technische Lösung wäre ebenfalls die verschlüsselte Speicherung der Daten auf dem Datenträger. Anforderungen und Best-Practice-Beispiele für geräteinterne Datenlöschung

durch geräteexterne Lösungen zur sicheren und verbraucherfreundlichen Datenlöschung sollten entwickelt und genormt werden.

Repair

Der Kern der „Repair“-Strategie ist es, die Produktlebensdauer durch Wartung und Reparatur zu verlängern, um damit den Bedarf an Neugeräten zu reduzieren und demnach Rohstoffe und Energie bei der Produktion einzusparen. Normungsgremien sind bei der Erstellung ihrer Dokumente angehalten, Defekte sowie deren Behebung zu berücksichtigen. Dies betrifft zum einen das Produktdesign und eine entsprechende Vermeidung von normativen Vorgaben, die eine spätere Reparatur verhindern. Zum anderen sind auch andere Bereiche, wie z. B. Normen zur Gewährleistung der Produktsicherheit, betroffen. Hier gilt es, den Fall der Produktreparatur inklusive Anforderungen zu berücksichtigen, welche die Sicherheit des Reparateurs sowie die Sicherheit des Produktnutzenden (z. B. nach DIN EN 50678 [128]) abbilden. Beide Aspekte, die Möglichkeit und die Sicherheit der Reparatur, sollten durch genormte Informationen begleitet werden. Diesbezügliche Informationslücken würden eine Reparatur von Grund auf verhindern.

Ein wichtiger Aspekt bei der Reparatur eines Produktes ist die Verfügbarkeit von Ersatzteilen. Diese ist derzeit nicht uneingeschränkt über den Zeitraum der gesetzlichen Gewährleistung hinaus sichergestellt. Standardisierte Schnittstellen bei Bauteilen mit einer hohen zu erwartenden Fehleranfälligkeit könnten dazu führen, den Drittanbietermarkt zu stimulieren und so Engpässen bei Ersatzteilen entgegenzuwirken. Eine größtmögliche Wirksamkeit entfalten genormte Schnittstellen im Zusammenhang mit einer modularen Produktgestaltung. Eine produktgruppenspezifische Normung ist hierbei zielführend.

Die Förderung von Produktreparaturen und der damit einhergehenden Lebensdauererlängerung ist mit der voranschreitenden Gesetzgebung verknüpft. Nicht selten überdauern langlebige Produkte eine oder mehrere Revisionen relevanter Rechtsrahmen wie z. B. des Chemikalienrechts (RoHS [109], REACH [73]), der relevanten Gesetze zur Produktsicherheit (Niederspannungsrichtlinie [129], Maschinenrichtlinie [130]) oder der umweltverträglichen Produktgestaltung (Ökodesign-Richtlinie [21]). Dies kann dazu führen, dass Ersatzteile nicht uneingeschränkt in Verkehr gebracht werden dürfen. Eine Qualifizierung neuer Ersatzteile, welche dem aktuellen

Rechtsrahmen entsprechen, ist durch das Produktdesign lediglich bedingt gegeben. Eine Möglichkeit, dem entgegenzuwirken, wäre die Berücksichtigung des „Repair-as-produced“-Prinzips. Dieses Prinzip erhielt in der Rechtssetzung, z. B. bei der Erstellung der Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS) [109] bzw. der End-of-Life-Vehicles-Richtlinie [131], bereits Einzug und sollte über diese Beispiele hinaus normativ begleitet werden.

Zusätzlich kann vorhandenes Wissen zur Alterung verschiedener Produktbauteile aus Reparaturdatenbanken genutzt werden, um einem Produktausfall durch rechtzeitiges Eingreifen vorzubeugen. Damit dies gelingt, sollten diese Informationen öffentlich zur Verfügung gestellt und mit relevanten Sicherheitsaspekten ergänzt werden. Analog hierzu sei auf die Vertraulichkeit von geistigem Eigentum hingewiesen, welche sich negativ auf die Reparierbarkeit von Produkten auswirken kann (Monopolisierung von bestimmten Ersatzteilen bzw. Diagnosesoftware).

Bedarf 2.27: Normen zur Bewertung der Reparierbarkeit auf Produktebene

Zum Zeitpunkt des Produktkaufs ist es für die Nutzenden im Allgemeinen schwer, die Möglichkeit einer Reparatur im Defektfall zu antizipieren. Die Kennzeichnung von Produkten mit einem Reparaturindex kann dieses Informationsdefizit ausgleichen und zeitgleich, durch Etablierung eines Distinktionsmerkmals, zur Entwicklung reparaturfreundlicher Produkte beitragen. Grundsätzlich sollte eine Reparaturkennzeichnung von Produkten auf europäischen, idealerweise internationalen und auf zu den jeweiligen Produkten bzw. Produktgruppen zugeschnittenen Normen beruhen. Bei der Normerstellung sollte ein besonderes Augenmerk auf die externe Überprüfbarkeit der Bewertungsparameter gelegt werden, da nur so ein Vertrauen in die Bewertungsmetrik etabliert werden kann. Während eine Kennzeichnung der Reparierbarkeit für Verbraucherprodukte indirekt einen positiven Effekt auf die Langlebigkeit hat, so ist die Kennzeichnung für gewerbliche und Industrieprodukte nur bedingt geeignet und sollte sich auf Betriebsmittel wie z. B. Steuerungselemente beschränken. Neben Ersatzteilen und insbesondere für Verschleißteile sollte ebenfalls Verbrauchsmaterial und dessen Zugänglichkeit in Normen zur Produktgestaltung berücksichtigt werden.

Bedarf 2.28: Standards zu Produktinformationen (siehe Kapitel 3.3) und Interoperabilität von Bau- und Verschleißteilen

Ferner wird ein Bedarf an Normen mit Bezug auf die Verfügbarkeit von Informationen sowie zur Interoperabilität von Verschleißteilen gesehen, um die Vergleichbarkeit verschiedener Produkte sicherzustellen. Die Interoperabilität von Bauteilen beschränkt sich dabei nicht allein auf die notwendigen geometrischen und elektrischen Eigenschaften, um in unterschiedlichen Produkten eingesetzt zu werden, sondern kann auch die Kommunikation mit dem Produkt beinhalten. Als Beispiel sind Batterien zu nennen, welche z. B. den State of Health der Batterie an das Produkt übermitteln.

Bedarf 2.29: Genormte Kriterien für die Bereitstellung von Produkt- bzw. Anlageninformationen zur Zusammensetzung, zum Aufbau und zur Nutzungshistorie

Produkt- bzw. Anlageninformationen, z. B. zur Reparierbarkeit oder Nutzungshistorie, sollten über einen Digitalen Produktpass (siehe Kapitel 3.3) standardisiert zur Verfügung gestellt werden. Dazu gehören Angaben zur Verfügbarkeit von Ersatzteilen und benötigten (Spezial-)Werkzeugen. Ebenfalls die Frage der Gewährleistung nach einer nicht durch das originäre, herstellende Unternehmen erfolgten Reparatur sollte Eingang in die Gestaltung des Digitalen Produktpasses finden. Dieses könnte durch dynamische Anteile im Produktpass erfolgen, welcher sich über die Lebensdauer des Produktes weiterentwickeln und z. B. Einträge zu erfolgten Reparaturen enthalten kann. Beim Digitalen Produktpass ist allerdings zu überlegen, welche Informationen für die Verbrauchenden dienlich sind. Umfangreiche Informationen und Dokumentation können abschreckend wirken und die Verbrauchenden überfordern. Eine mögliche Umgehung wäre eine Unterteilung nach Servicelevel und zusätzlich können die Informationen datenbankbasiert zur Verfügung gestellt werden.

Bedarf 2.30: Norm zur Onboard-Diagnostik von Produkten

Eine Onboard-Diagnostik, wie beispielsweise in der Automobilindustrie bereits etabliert, könnte auf Verbrauchenden-, Gewerbe- und Industrieprodukte ausgedehnt werden. Ist kein Diagnostikwerkzeug verfügbar, hindert dies ggfs. die Reparatur, Produktaufarbeitung oder -wiederaufarbeitung. Zum Teil sind Produktgruppen mit der entsprechenden Diagnostik ausgestattet, jedoch sollten Zugriffsregelungen, beispielsweise eine Beschränkung auf das reine Auslesen der Fehlerquellen, in einer Norm berücksichtigt werden.

Refurbish

Die Refurbish-Strategie befasst sich mit der Verlängerung der Produktlebensdauer durch Erneuerung und/oder Instandsetzung einzelner, jedoch wesentlicher Komponenten.

Aufarbeitung (refurbishing) ist klar von Wiederaufarbeitung (remanufacturing) abzugrenzen: Bei der Aufarbeitung bleibt die Produktidentität erhalten, es wird also nicht erneut in Verkehr gebracht. Bei der Wiederaufarbeitung geht die Produktidentität verloren; bei dem wiederaufgearbeiteten Produkt handelt es sich um ein neues Produkt, welches neu in Verkehr gebracht werden muss. Entsprechend muss es den gesetzlichen Produkthanforderungen zum Zeitpunkt des erneuten Inverkehrbringens genügen (zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Normungsroadmap befindet sich eine DIN SPEC mit Ansätzen für Definitionen zur Aufarbeitung und Wiederaufarbeitung in Ausarbeitung [132]).

Für Normungsgremien bedeutet dies, dass die Möglichkeit einer Produktaufarbeitung mitgedacht und klar von der Wiederaufarbeitung unterschieden werden muss. Dies betrifft sowohl Anforderungen an die Produktsicherheit als auch an das Produktdesign.

Derzeit gibt es keine normative Grundlage, wann eine Umbenennung (Rebranding) des Produkts, also die Entfernung des urspr. Herstellernamens und die Ergänzung des Namens des Aufarbeiters, zu erfolgen hat. Während dieser Vorgang bei industriellen Maschinen üblich ist, ist die Sachlage bei Konsumgütern unklar. Die Möglichkeit der Umbenennung kann durch verschiedene Faktoren wie das Produktdesign und den Urheberrechtsschutz (Geschmacksmuster) eingeschränkt werden. Dadurch ist die Differenzierung zwischen Originalhersteller und Aufarbeiter z. B. bei haftungsrechtlichen Fragen schwierig. Daher wird ein Bedarf in einer Handreichung in Form eines Leitfadens erkannt, welcher eine Hilfestellung dabei gibt, unter welchen Umständen eine Umbenennung zu erfolgen hat.

Bedarf 2.31: Erweiterung der DIN EN 45554 um Metrik für Aufarbeitung

Um zukünftig Produkte gestalten zu können, die eine einfache Aufarbeitung ermöglichen, bedarf es einer einheitlichen Metrik, wie dies zu messen bzw. zu bewerten ist. Für die Wiederaufarbeitung existiert dies bereits als horizontale Europäische Norm (DIN EN 45554 [338]), welche explizit die Arbeitsschritte in einem Wiederaufarbeitungsprozess berücksichtigt. Diese Norm sollte um die Aufarbeitung von Produkten ergänzt werden bzw. sollte alternativ eine eigene, an die DIN EN 45554 angelehnte, Norm erarbeitet werden.

Bedarf 2.32: Normen zur Umsetzung von Upgradeability-by-Design

Bei aufgearbeiteten Produkten handelt es sich üblicherweise um Produkte, die bereits über einen längeren Zeitraum verwendet wurden. Je nach Produktgruppe haben neue Produkte eine höhere Leistung bzw. einen höheren Funktionsumfang (z. B. Speicherkapazität oder Prozessgeschwindigkeit von PCs). Daher ist es wichtig, bereits in der Produktgestaltung die Möglichkeit zu berücksichtigen, die Leistungsfähigkeit bzw. den Funktionsumfang eines Produktes zu einem späteren Zeitpunkt erhöhen bzw. erweitern zu können. Produktgruppenspezifische Normen zur Produktgestaltung sollten erarbeitet werden, um eine Hilfestellung bei der Produktentwicklung zu geben.

Remanufacture

Die „Remanufacture“-Strategie befasst sich mit der Bewahrung von in Bauteilen enthaltenen Rostoffen und Materialien durch die Substitution von bereits verwendeten Bauteilen in gebrauchten Produkten. Unabhängig von der Anzahl oder dem prozentualen Anteil an substituierten Bauteilen muss das Produkt neu in Verkehr gebracht werden und ist demnach kein gebrauchtes Produkt mehr. Dieses Produkt muss die Anforderungen der relevanten Produktnorm zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens erfüllen. Eine Abgrenzung von „Remanufacture“ und „Refurbish“ ist im vorherigen Kapitel „Refurbish“ enthalten.

Folgende Aspekte sind bei der Schaffung neuer bzw. bei der Revision bestehender Normen zu beachten: (i) modulare Produktgestaltung, (ii) vereinfachte Entnehmbarkeit von Bauteilen und, sofern relevant, Gewährleisten von (iii) genormten Schnittstellen (z. B. bei Elektronikprodukten und IKT). Grundlegend sind ebenfalls Normen zu Eignungsprüfungen von gebrauchten Bauteilen. Die Produktsicherheit des Gesamtproduktes darf nicht beeinträchtigt werden und muss den Anforderungen an das Inverkehrbringen/die Inbetriebnahme entsprechen.

Zusammenfassend konnte während der Erarbeitung der Normungsroadmap kein dringender Normungsbedarf zum „Remanufacturing“ identifiziert werden.

Repurpose

Die „Repurpose“-Strategie befasst sich mit der Nutzung eines Produktes zu einem anderen Zweck, als es eigens dafür hergestellt wurde, und grenzt sich dadurch von der Wiederverwendung, Aufarbeitung und Wiederaufarbeitung ab. Diese „gewollte Zweckänderung“ kann zu einer Erhöhung der Zirkularität eines Produktes führen. Ein häufig diskutiertes Beispiel ist die Verwendung von Energiespeichern aus dem Mobilitäts- für den Wärmesektor. Die Kapazität des Speichers ist für den Betrieb eines E-Autos nicht mehr ausreichend, jedoch kann er als Energiespeicher einer Wärmanlage verwendet werden (z. B. Kombination aus PV und Wärmepumpe), für deren Betrieb die Kapazität mittel- bis langfristig ausreichend ist.

Bedarf 2.33: Standardisierter Kriterienkatalog zur Bewertung der Änderung des Produktzwecks

Die Zweckänderung kann durch ein Softwareupdate vereinfacht bzw. erst ermöglicht werden. Wichtig dabei zu erwähnen ist, dass ein solches Softwareupdate dem Zweck dient, die Grundfunktion des Produktes zu ändern. Das Produkt ist nach dem geänderten Zweck zu kategorisieren und zu behandeln.

Die zukünftige „gewollte Zweckänderung“ kann durch die herstellenden Unternehmen und Normungsgremien nur bedingt vorhergesehen und demnach berücksichtigt werden. Findet sie jedoch statt, gilt es, sie durch einen entsprechenden normativen Rahmen zur Produktsicherheit und zu weiteren Sicherheitsaspekten, z. B. dem Arbeitsschutz, zu begleiten. Ebenfalls hilfreich wäre ein genormter Kriterienkatalog in Form eines Leitfadens, der hilft, klar zwischen Zweckbeibehaltung und „gewollter Zweckänderung“ zu differenzieren.

Recycle

Die Recycle-Strategie hat die Rückgewinnung von Wertstoffen aus entsorgten Produkten zum Ziel. Damit dies effizient gelingt, sind diverse Aspekte in der Normungsarbeit zu berücksichtigen: (i) Materialverbindungen müssen so weit wie möglich trennbar sein, wenn sie nicht im gleichen Prozess recycelbar sind, (ii) Additive (z. B. Flammschutzmittel) sollen Recycling nicht hemmen und (iii) bei sicherheitsrelevanten Anforderungen an Materialien bzw. Bauteile ist ebenfalls ein späteres Recycling des Produkts zu berücksichtigen. Technische Spezifikationen, insbesondere solche, welche die Sicherheit eines Produkts gewährleisten (z. B. gegen

Schlag oder Brand), sind zwingend einzuhalten und sollten auch durch Vorgaben mit dem Ziel der Erhöhung der Recyclingfähigkeit von Produkten nicht eingeschränkt werden. Ebenfalls entscheidend ist die Berücksichtigung von Normen zu Teilaspekten der Recyclingprozesse selbst, beispielsweise der Thermochemie, Prozessanalytik und Stofftrennung. Sie müssen mit Normen des Qualitätsmanagements und -sicherung ineinandergreifen. Sehr langlebige Produkte bedürfen besonderer Aufmerksamkeit. Gesetzliche Anforderungen ändern sich im Rahmen von Revisionen. Daraus kann resultieren, dass Produkte nicht mehr recycelbar sind bzw. der gewonnene Sekundärrohstoff nicht mehr in neuen Produkten eingesetzt werden darf. Als Beispiel seien hier z. T. sehr langlebige Batterien, aber auch Investitionsgüter, z. B. aus dem Maschinen- und Anlagenbau, zu nennen. Neuere europäische Vorgaben wie z. B. die POP-Verordnung [133] erschweren den Einsatz von Sekundärrohstoffen, welche aus stofflichem Recycling gewonnen wurden.

Bedarf 2.34: Norm zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Materialien (Umrechnungsfaktoren)

Die Entwicklung von harmonisierten Berechnungsmethoden von Recyclingeffizienzen sollte in der Normung stattfinden. Hier können die Berechnungsmethoden konsensorientiert etabliert werden, während die prozentualen Ziele im politischen Diskurs zu definieren sind. Die Berechnung der Recyclingeffizienz kann sowohl auf Basis der verwerteten Massen als auch auf Basis der vermiedenen Umweltauswirkungen erfolgen. Für Letztere fehlt es an standardisierten Umrechnungsfaktoren.

Bedarf 2.35: Norm zur Beschreibung von Referenzmaterialien für Sekundärrohstoffe

Standards zu Sekundärrohstoffen müssen in Zusammenarbeit mit den anderen betroffenen Sektoren erarbeitet werden, da die Elektrotechnik und IKT auf die Recyclingströme der Vorketten angewiesen ist (dort müssen einheitliche Konventionen erarbeitet werden). Dabei sollte zwischen Sekundärstoffen aus regulierten Produkten, wie z. B. Produkte im Geltungsbereich der Ökodesign-Richtlinie [21], dem Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) [134] oder RoHS [109] und Sekundärrohstoffen aus unregulierten Produkten differenziert werden, da diese Stoffe enthalten können, die nach gültigem Recht nicht in neuen elektrotechnischen oder IKT-Produkten in Verkehr gebracht werden dürfen. Grundsätzlich ist der Ausschluss von Gefahrstoffen notwendig, um Sekundärrohstoffe erneut einsetzen zu können. Um dies zu prüfen, ist die Entwicklung von genormten Referenzmaterialien notwendig (siehe auch Bedarf 2.18).

Bedarf 2.36: Informationsstandard zur Bereitstellung für das Recycling relevanter Informationen

Ein Materialpass (siehe hierzu Kapitel 3.3) für Produkte kann dazu beitragen, die Recyclingeffizienz von Produkten zu erhöhen und z. B. das Vorhandensein etwaiger, dem Recycling abträglicher Stoffe ausweisen. Hierfür sind allerdings darauf abgestimmte Prozessnormen für die Abfallbehandlung bzw. das Recycling notwendig. Der Materialpass sollte die notwendigen Informationen zu Gewichtsanteilen und Volumenanteil klar nennen und sich auf die notwendigen Informationen beschränken. Zusätzlich könnte der Materialpass dabei helfen, besonders werthaltige Komponenten kenntlich zu machen und auf dem Produkt zu kennzeichnen. Sowohl für den Materialpass als auch für eine einheitliche Markierung von Komponenten und Materialien bedarf es konkreter Normen.

Bedarf 2.37: Normen zum Themenkomplex Design 4 Recycling

Die Recyclingfähigkeit eines Produktes wird bereits in der Produktentwicklung durch die jeweilige Konstruktion festgelegt. Genau deshalb ist in der Produktentwicklung der größte Hebel für recyclinggeeignete Produkte zu sehen. Leitfäden bzw. Normen zur Gestaltung recyclinggerechter Produkte können dabei helfen. In diesen Leitfäden sollte unter anderem ein modularer Produktaufbau (siehe auch Abschnitt repair und remanufacture) berücksichtigt werden. Auch unterschiedliche Füge- und Befestigungstechniken sollten, je nach antizipiertem Recyclingprozess, in diese Leitfäden einfließen. Dies kann ggf. bedeuten, dass Gehäuseverbindungen mit einfachen Werkzeugen lösbar sein sollen.

Bedarf 2.38: Normen zur Berechnung der Recyclingquote von elektrotechnischen und IKT-Produkten basierend auf den tatsächlich entsorgten Produkten

Die Vorgaben der Europäischen Union bzgl. einer mindestens zu erreichenden Recyclingeffizienz nach der WEEE-Richtlinie [108] errechnen sich derzeit auf Basis der im jeweiligen Jahr in Verkehr gebrachten Elektrogeräte. Der zeitliche Verzug zwischen Erwerb eines Produktes und dessen Entsorgung führt zu einer Unschärfe in der Berechnung der tatsächlichen Recyclingeffizienz. Daher bedarf es zur Bestimmung des Recyclinganteils von elektronischen und IKT-Produkten entsprechender Normen, welche die qualitative Erfassung bzw. Sammlung von Altgeräten in Bezug auf die Anforderungen des ElektroGs beschreiben.

Bedarf 2.39: Erweiterung der DIN EN 50625-Normenreihe um Betrachtung des aktuellen Stands der Technik sowie Qualitätsanforderungen

Mit der DIN EN 50625-Reihe [135] existieren bereits Normen zur Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten. Diese beschäftigen sich weitestgehend mit der Beschreibung, wie die im ElektroG geforderten Monitoringzielvorgaben erfüllt werden können. Ein Mehrwert könnte durch die Erweiterung der DIN EN 50625-Normenreihe durch eine Betrachtung des aktuellen Stands der Technik sowie um Qualitätsanforderungen der resultierenden Sekundärrohstoffe erreicht werden.

Bedarf 2.40: Empfehlungen zur standardisierten Informationsweitergabe und Erweiterung der Analytiknormenreihe DIN EN 62321 um recyclingrelevante Stoffe

Eine Herausforderung beim Wertstoffrecycling, unter anderem von elektrotechnischen und IKT-Produkten, ist die Schadstoffentfrachtung. Damit aus dem Recycling stammende Stoffe als Sekundärrohstoffe eingesetzt werden können, muss die Abwesenheit von Schadstoffen gewährleistet werden. Hierbei können Normen zur Materialdeklaration (z. B. nach IEC, ISO/IEC oder IPC-Normen) bzw. zur Informationsweitergabe (z. B. nach DIN EN IEC 63000 VDE 0042-12, Technische Dokumentation zur Beurteilung von Elektro- und Elektronikgeräten hinsichtlich der Beschränkung gefährlicher Stoffe [137]) helfen, um gesicherte Aussagen zur Anwesenheit bzw. Abwesenheit von Schadstoffen zu geben. Die DIN EN 62321-Normenreihe [136] sollte verwendet werden, wenn das Vorhandensein bestimmter Produkte durch chemische Analytik geprüft werden soll.

Bedarf 2.41: Überarbeitung der DIN 66399-Reihe, um die Rückgewinnung kritischer Rohstoffe, wie z. B. Neodym aus Festplatten, zu ermöglichen

Ein konkreter Normungsbedarf konnte in Bezug zum Recycling von Festplatten und der Rückgewinnung seltener Erden, konkret Neodym, identifiziert werden. Die Datenvernichtungsnormen der DIN 66399-Reihe [138] sollten überarbeitet werden, um die Rückgewinnung kritischer Rohstoffe wie Neodym aus Festplatten zu ermöglichen. DIN 66399 fordert eine mechanische Zerstörung von Datenträgern wie z. B. Festplatten, welche daher üblicherweise vollständig geschreddert werden, ohne die Neodym-Magneten als Ganzes aus der Festplatte abzutrennen. Somit sind die Magnete fürs Recycling faktisch verloren, wenn Datenschutzanforderungen zu erfüllen sind. Datenschutz und Seltenerdmetall-Recycling verhalten sich gegensätzlich zueinander, da nach mechanischer Zerstörung bisher großtechnisch keine Separation von Neodym-Magneten mehr möglich ist. Zerstörungsfreie

Alternativen der Datenvernichtung (z. B. Degausser [\[139\]](#)) sind verfügbar, jedoch derzeit nicht in der DIN-Reihe berücksichtigt.

Bedarf 2.42: Bei etablierten technischen Lösungen, Normen zur Verfügungstellung von gängigen Materialzusammensetzungen

Normen sind grundsätzlich technologieneutral und erlauben verschiedene technische Lösungen für eine konkrete Anforderung. Somit wird ein fairer Wettbewerb sichergestellt und Innovationsprozesse werden nicht gehemmt. Sollte jedoch eine erhöhte Interoperabilität zu technischen Lösungen führen, die gleiche Materialien verwenden, wären Normen vorteilhaft, die auf die Zurverfügungstellung dieser Informationen abzielen. Die unter Anwendung dieser Normen generierten Informationen hätten einen Mehrwert für die Recyclingfähigkeit der betroffenen Produkte, da sich die Abfallverwertung darauf einstellen und unter Umständen maßgeschneiderte Lösungen bieten kann. Ein Beispiel, bei dem sich eine bestimmte technische Lösung durchgesetzt hat, ist der einheitliche Ladestecker für E-Fahrzeuge, der standardisiert ist.

Bedarf 2.43: Normen zur Rückverfolgbarkeit von Materialien für Sekundärrohstoffe

Um die Verwendung der durch das Recycling erzeugten Sekundärrohstoffe zu fördern, bedarf es Leitfäden bzw. Normen, mit denen der Anteil an Sekundärrohstoff im Produkt bestimmt werden kann. DIN EN 45557 [\[341\]](#) stellt eine horizontal anwendbare Metrik zur Verfügung, die je nach Material bzw. Produkt erweitert werden sollte. Gerade die Rückverfolgbarkeit (siehe hierzu auch Bedarf 1.22) entlang der Lieferkette wird häufig im Allgemeinen diskutiert und sollte differenziert betrachtet werden. Nur eine glaubhafte Bestimmung des Anteils von Sekundärrohstoffen in Produkten erlaubt es, Werbeaussagen zu treffen, Greenwashing zu vermeiden und den Kaufenden diese Informationen bei der Kaufentscheidung zur Verfügung zu stellen.



2.3

Batterien

2.3.1 Status quo

Das Zukunftsmodell der All-Electric-Society umfasst, dass der Energiebedarf fast vollständig über regenerative Energie gedeckt wird. Dafür sind Zwischenspeicher, wie in Form von großen Batterieenergiespeichersystemen, unabdingbar. Der Einsatz von Batteriespeichersystemen gewinnt durch den aktuellen Preisanstieg der fossilen Energieträger an Attraktivität. Auch im Kontext der Verkehrswende und des CO₂-emissionsfreien Individualverkehrs ist das vermehrte Aufkommen von Batterien in elektrisch betriebenen Fahrzeugen zu nennen. Die Entscheidung der EU-Kommission, Verbrennungsmotoren weitestgehend zu unterbinden, wird diese Entwicklung sicherlich noch beschleunigen.

Im Zuge des ganzheitlichen Ansatzes der Circular Economy wird es entscheidend sein, auch Batterien sektorübergreifend zu betrachten. Das heißt, eine Nutzung verschiedener Speicher in möglichst vielen Anwendungen zu ermöglichen. Aber auch andere R-Strategien, wie Reparatur, Umnutzung und Recycling, müssen verstärkt umgesetzt werden.

Die hier folgenden Betrachtungen unterliegen der Besonderheit, dass mit der anstehenden Batterieverordnung (BattVO) [141] (siehe auch Kapitel 2.3.2) die erste Verordnung

vorliegt, die den Green Deal [2] und den Circular Economy Action Plan der EU [4] berücksichtigt. Diese enthält bereits umfangreiche Anforderungen zur Etablierung einer Circular Economy im Bereich Batterien. Daher werden die Anforderungen für die Circular Economy innerhalb der BattVO nach aktuellem Stand in der Tabelle 1 wiedergegeben und insbesondere auf Bedarfe hingewiesen, die nicht oder nur teilweise von der BattVO abgedeckt sind. Über den Normungsauftrag M/579 [145] ist zudem bereits die Erstellung konkreter Normen angefordert worden (siehe auch Kapitel 2.3.2).

Auswertung der Normenrecherche

Im Rahmen der Normenrecherche [146] wurden insgesamt 89 Normen identifiziert, von denen 57 das Thema Circular Economy und Batterien behandeln. 32 weitere Normen und Standards könnten für einen Digitalen Produktpass herangezogen werden (siehe Abbildung 18). Die meisten Normen beziehen sich auf den Bereich des Recyclings (klassischer Bereich der Circular Economy), dagegen gibt es nur wenige zu den R-Strategien „Refuse“, „Rethink“ und „Reduce“. Die Bewertung der verschiedenen R-Kategorien aus ökologischer Sicht wird vor allem mit dem Indikator CO₂-Fußabdruck vorgenommen. Dafür gibt es lediglich einen Normentwurf, der sich mit dem CO₂-Fußabdruck konkret von Batterien beschäftigt. Drei weitere behandeln das Thema CO₂-Fußabdruck

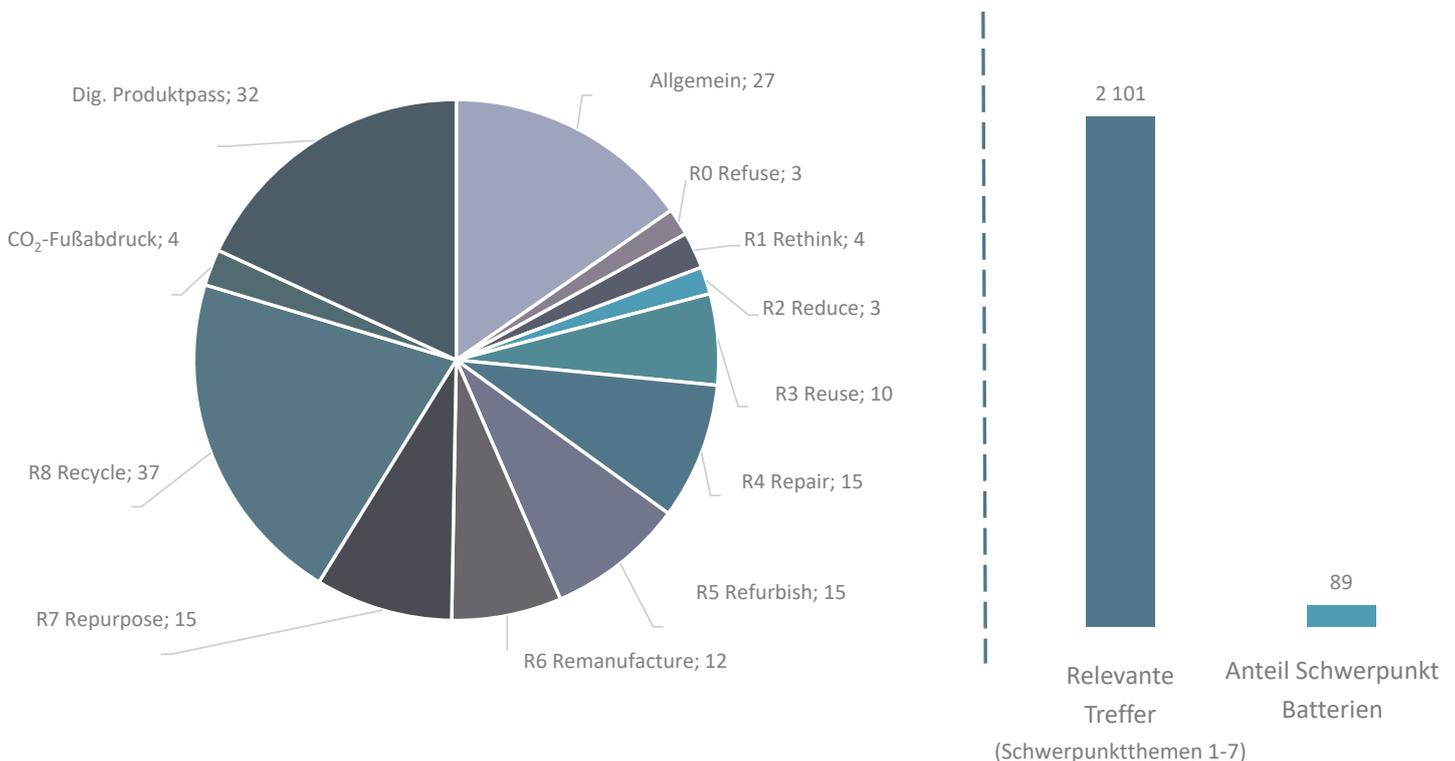


Abbildung 18: Zuordnung der Normenrechercheergebnisse zu den jeweiligen R-Strategien (Quelle: DIN)

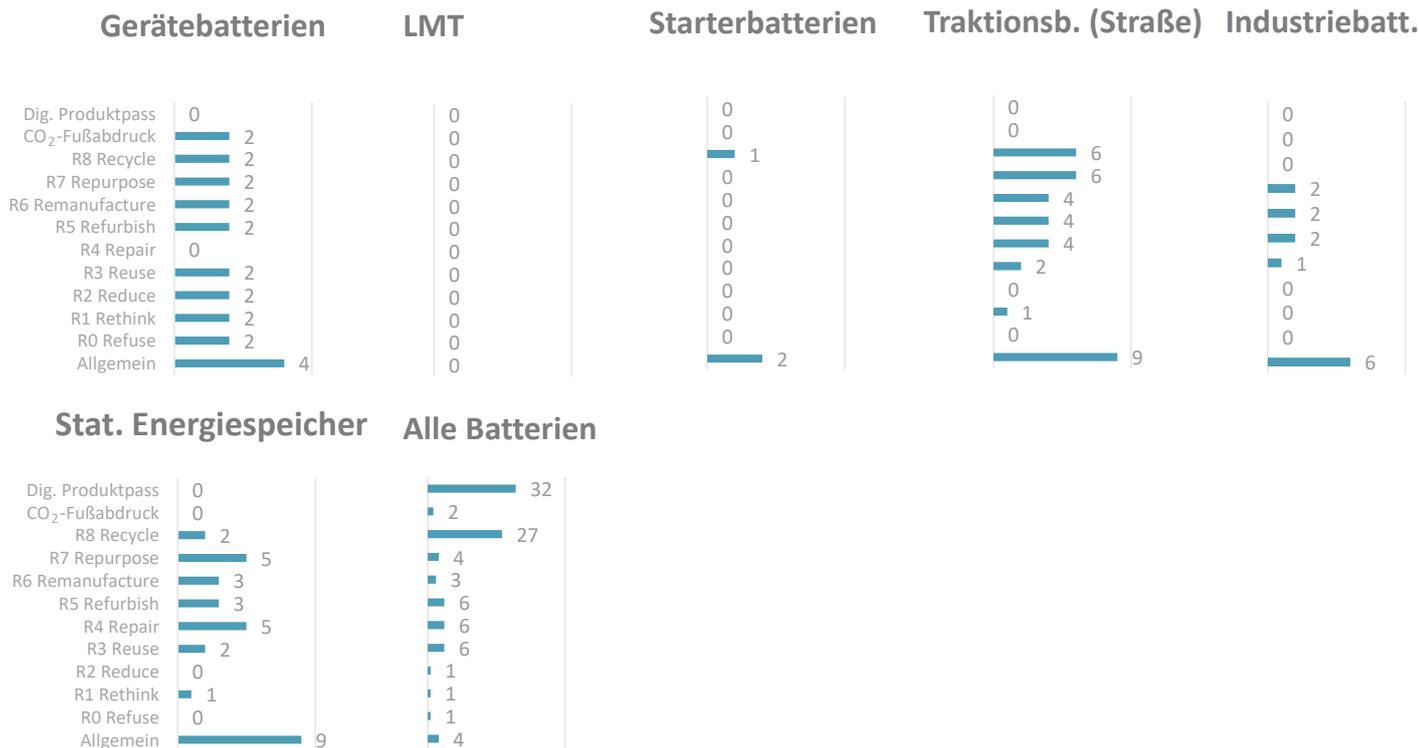


Abbildung 19: Zuordnung der R-Strategien zu den unterschiedlichen Batteriekategorien (Quelle: DIN)

nur am Rande (siehe [Abbildung 19](#)). Zu „Repair“ sind bereits viele Bedarfe in der BattVO formuliert, was zu einer Reihe von neuen Normen führen wird.

2.3.2 Anforderungen und Herausforderungen

Die Batterieverordnung (BattVO)

Die Mitte des Jahres 2023 zu erwartende Veröffentlichung der BattVO [141] ist ein integrativer Bestandteil des europäischen Green Deal. Sie löst das bisher gültige Batteriesgesetz (BattG) [147] ab. Neue Anforderungen wie der Batteriepass mit dem Elektronischen Austauschsystem und der CO₂-Fußabdruck sollen als Blaupause für die Einführung eines allgemeinen Produktpasses dienen und sind ein erster Schritt des Circular Economy Action Plan der EU. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Normungsroadmap befindet sich der Kommissionsvorschlag der BattVO, gemeinsam mit der Änderung durch das EU-Parlament und dem Entwurf des Rates, im sogenannten Trilog zwischen der Kommission, dem Parlament und den Mitgliedstaaten der Europäischen Union. Der genaue Zeitpunkt der Veröffentlichung und der Inhalt stehen somit noch nicht fest.

Im Vorschlag der BattVO führt die EU-Kommission drei Begründungen für dessen Erstellung an:

1. Stärkung des Funktionierens des Binnenmarkts (einschließlich Produkten, Verfahren, Altbatterien und Rezyklaten) durch Gewährleistung fairer Wettbewerbsbedingungen mithilfe eines gemeinsamen Regelwerks
2. Förderung der Kreislaufwirtschaft
3. Verringerung der ökologischen und sozialen Auswirkungen in allen Phasen des Lebenswegs von Batterien

Zur konkreten Bewältigung dieser drei Handlungsfelder wurden 13 Maßnahmen formuliert, welche Eingang in den Entwurf der BattVO erhalten. In der folgenden [Tabelle 1](#) sind die jeweiligen Maßnahmen aufgelistet und der von der EU-Kommission priorisierten Umsetzungsvariante gegenübergestellt. Zur besseren Nachvollziehbarkeit und Übersicht sind die einschlägigen Artikel der entsprechenden Maßnahmen aufgelistet sowie etwaige Rechtsakte daraus. Rechtsakte sind gesonderte Ergänzungen der Kommission, um spezifische Maßnahmen festzulegen.

Des Weiteren wurden, um eine differenziertere Marktabdeckung zu etablieren, neben den bislang bekannten Batterietypkategorien weitere Unterscheidungen unternommen. So findet die Batterie für leichte Verkehrsmittel (LMT,

engl.: Light Means of Transport) Eingang in die Verordnung, ebenso wie die Gewichtsgrenze der Geräte-/Industriebatterien von fünf Kilogramm. Ferner wird die BattVO auch Bereiche außerhalb des ordinären Aufgabengebietes betreffen. So sind in diesem Zuge ebenso die europäischen Abfall- und Chemikaliengesetze (z. B. REACH [73]) betroffen.

Übersicht der Maßnahmen in der kommenden BattVO

Die [Tabelle 1](#) stellt zusammengefasst die Maßnahmen der BattVO dar und zeigt, auf welche Batteriekategorien sich diese Maßnahmen beziehen. Ebenfalls ist der Zeitrahmen enthalten, welcher für die jeweilige Maßnahme vorgesehen ist; außerdem wird angegeben, ob Rechtsakte geplant sind. Die finale Version der BattVO wird voraussichtlich Anfang/Mitte 2023 veröffentlicht. Die folgende [Tabelle 1](#) gibt einen Überblick über die drei Vorschlagsvarianten zur BattVO.

Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass die folgende [Tabelle 1](#) nur eine Orientierungshilfe darstellen kann und immer die Originaltexte heranzuziehen sind. Insbesondere dann, wenn die BattVO veröffentlicht worden ist.

A: Zugrunde liegender EU-Kommissionsvorschlag vom 10.12.2020 [\[141\]](#)

B: Abweichungen gemäß Änderungstext des EU-Parlaments vom 10.03.2022 [\[142\]](#)

C: Abweichungen gemäß dem EU-Ratsentwurf vom 14.03.2022 [\[143\]](#)

Tabelle 1: Übersicht der Maßnahmen in der kommenden BattVO

Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	Batteriekategorien ¹												
				G	LMT	Stat	Trak EV	Ind	BESS	Allzw	R-Strategien	Zeitraumen	Rechtsakte			
Klassifizierung und Definition	A	Bestehende Vorschriften sollen aktualisiert werden, um auch etwaige neue Batteriekategorien zu erfassen; u. a. Unterscheidung zwischen Geräte- und Industriebatterien ab einer Grenze von 5 kg; neue Kategorie „Traktionsbatterie“; die präziseren Klassifikationen sollen dabei helfen, „sammelbare“ Batterien zu identifizieren; basierend hierauf soll eine neue Methode zur Sammelquote erstellt werden; Definition von R-Kategorien;	1, 2	X		X	X	X	X	X	X					
	B	Kategorie „Batterien für leichte Verkehrsmittel“ (LMT) wird ergänzt;		X	X	X	X	X	X	X	X					
	C	Kategorie „Batterien für leichte Verkehrsmittel“ (LMT) wird ergänzt;		X	X	X	X	X	X	X	X					

Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	Batteriekategorien ¹							R-Strategien	Zeitrahmen	Rechtsakte
				G	LMT	Start	Trak EV	Ind	BESS	Allzw			
2nd Life von Industriebatterien	A	Festlegung spezifischer Kriterien für das Ende der Abfalleigenschaft; die Umnutzung und Wiederaufbereitung gelten als Behandlungsverfahren – daraus entstandene Produkte sind als neuwertig anzusehen; Bereitstellung von Informationen von Stationär- und Traktionsbatterien (> 2 kWh) und Anforderungen der wirtschaftlichen Akteur*innen zur Umnutzung und Wiederaufbereitung	59			X	X				Repurpose Remanufacturing	59: Durchführungsrechtsakt für Anforderungen des Abfallstatus und zur Methodik zur Bestimmung des Alterungszustandes	
	B	Ausweitung auf mehrere Batteriekategorien (mit Batteriemanagementsystem, (BMS)), Leistungsgrenze entfällt; zusätzliche Aufnahme des Begriffs „Wiederverwendung“		X	X	X	X				Repurpose Remanufacturing Reuse		
	C	Ausweitung auf mehrere Batteriekategorien; Begriff „Wiederaufbereitung“ entfällt		X			X				Repurpose Reuse		
Sammelquoten für Starter-, Industrie- und Traktionsbatterien	A	Keine konkrete Formulierung der Sammelziele von Starter-, Traktions- und Industriebatterien; durch Bereitstellung eines neuen Berichtserstattungssystems wird jedoch eine hohe Sammelquote erwartet	49		X	X							
	B	-				X	X						
	C	-				X	X						

Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	Batteriekategorien ¹							Rechtsakte		
				G	LMT	Stat	Trak EV	Ind	BESS	Allzw			
Recyclingeffizienz	A	Formulierung chronologisch zunehmender Recyclingeffizienz von Li-Ionen- und Blei-Säure-Batterien; eine energetische Verwertung ist untersagt	57	X	X	X	X	X	X	X	X	R-Strategien Zeitrahmen Recycle bis zum 01.01.2025: Li-Ionen-Batterien: 65 % Blei-Säure-Batterien: 75 % bei sonstigen Altbatterien: 50 % bis zum 01.01.2030: Li-Ionen-Batterien: 70 % Blei-Säure-Batterien: 80 %	57-4: Durchführungsrechtsakt bis 31.12.2023 zu Berechnung und Überprüfung der Recyclingeffizienz und Verwertungsquoten 57-5: delegierter Rechtsakt zu Mindestquoten der stofflichen Verwertung
	B	Erweiterte R-Strategien; zusätzliche Quote für Nickel-Cadmium-Batterien; erhöhte Quote für sonstige Altbatterien in 2030;		X	X	X	X	X	X	X	X	Recycle Repurpose Reuse bis zum 01.01.2030: Ni-Cd-Batterien: +85 % bei sonstigen Altbatterien: 70 %	57-4: delegierter Rechtsakt bis 31.12.2023 zur Berechnung und Überprüfung der Recyclingeffizienz und Verwertungsquoten 57-5: delegierter Rechtsakt bis zum 31.12.2027 zur Mindestquoten der stofflichen Verwertung 57-5a: delegierter Rechtsakt zur Zusammensetzung von Batterien
	C	Geänderte Fristen zu Rechtsakten; geänderte Fristen zur Recyclingeffizienz; zusätzliche Quote für Nickel-Cadmium-Batterien		X	X	X	X	X	X	X	X	Recycle bis 36 Monate nach Inkrafttreten: Li-Ionen-Batterien: 65 % Blei-Säure-Batterien: 75 % bei sonstigen Altbatterien: 50 % Ni-Cd-Batterien: 75 % bis 96 Monate nach Inkrafttreten: Li-Ionen-Batterien: 70 % Blei-Säure-Batterien: 80 %	57-4: Durchführungsrechtsakt innerhalb 18 Monate nach Inkrafttreten zur Berechnung und Überprüfung der Recyclingeffizienz und Verwertungsquoten 57-5: delegierter Rechtsakt innerhalb 96 Monate nach Inkrafttreten zu Mindestquoten der stofflichen Verwertung und der Recyclingeffizienz 57-5a: delegierter Rechtsakt zur Aufnahme weiterer Bestandteile

Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	Batteriekategorien ¹						Rechtsakte	
				G	LMT	Start	Trak EV	Ind	BESS		Allzw
Stoffliche Verwertung	A	Formulierung chronologisch zunehmender Verwertungsquoten der Bestandteile Co, Ni, Li, Cu, Pb	57	X	X	X	X	X	X	Recycle	bis zum 01.01.2026: Co: 90 %, Cu: 90 %; Ni: 90 %, Li: 35 %, Pb: 90 % bis zum 01.01.2030: Co: 95 %, Cu: 95 %; Ni: 95 %, Li: 70 %, Pb: 95 %
	B	Änderungen der Verwertungsquote von Lithium		X	X	X	X	X	X	Recycle Repurpose Reuse	bis zum 01.01.2026: Li: 70 % bis zum 01.01.2030: Li: 90 %
	C	Geänderte Fristen zu Rechtsakten (siehe Recyclingeffizienz) und geänderte Fristen zur stofflichen Verwertung		X	X	X	X	X	X	Recycle	bis 48 Monate nach Inkrafttreten: Co: 90 %, Cu: 90 %; Ni: 90 %, Li: 35 %, Pb: 90 % bis 96 Monate nach Inkrafttreten: Co: 95 %, Cu: 95 %; Ni: 95 %, Li: 70 %, Pb: 95 %

Maßnahmen aus BattVO		Version		Zusammenfassung/Inhalt		Artikel		Batteriekategorien ¹		R-Strategien	Zeitrahmen	Rechtsakte
		C		Geänderte Fristen von Maßnahmen und Rechtsakten				G		Refuse Rethink Reduce	CO ₂ -Fußabdruck: Traktionsbatterien: ab 18 Monate nach Inkrafttreten oder 12 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsakts 7-1 Industriebatterien: ab 42 Monate nach Inkrafttreten oder 18 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsakts 7-1 Leistungsklassen: Traktionsbatterien: ab 36 Monate nach Inkrafttreten oder 18 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsakts 7-2 Industriebatterien: ab 60 Monate nach Inkrafttreten oder 18 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsakts 7-2 Höchstwerte: Traktionsbatterien: ab 54 Monate nach Inkrafttreten oder 18 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsakts 7-2 Industriebatterien: ab 78 Monate nach Inkrafttreten oder 18 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsakts 7-2	7-1: bis 6 Monate für Traktionsbatterien und bis 24 Monate für Industriebatterien nach Inkrafttreten delegierter Rechtsakts zur Berechnungsmethode und Durchführungsmethode und delegierter Rechtsakt zum Format; delegierter Rechtsakt zu Informationsanforderungen 7-2: bis 18 Monate für Traktionsbatterien und bis 42 Monate für Industriebatterien nach Inkrafttreten delegierter Rechtsakt zu Leistungsklassen und Durchführungsrechtsakt zu deren Format -Schwellenwerte werden alle drei Jahre überprüft 7-3-3: bis 36 Monate für Traktionsbatterien und bis 60 Monate für Industriebatterien nach Inkrafttreten delegierter Rechtsakt zu Höchstwerten
								LMT				
								Start				
								Trak EV	X			
								Ind	X			
								BESS				
								Allzw				

Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	Batteriekategorien ¹							R-Strategien	Zeitraumen	Rechtsakte	
				G	LMT	Stat	Trak EV	Ind	BESS	Allzw				
Leistung und Haltbarkeit	A	Vorab lediglich Informationsanforderungen über Leistung und Haltbarkeit von Allzweck-Gerätebatterien; später sollen anhand erhobener Daten Mindestanforderungen für den Marktzugang formuliert werden; für Allzweck-Gerätebatterien gelten Mindestwerte für Leistung und Haltbarkeit bereits ab dem ersten Schritt	Allzweck-Gerätebatterien: 9 Traktions- und Industriebatterien (> 2 kWh); 10	X	X		X	X			X	Rethink Reduce	ab 01.01.2027 müssen Allzweck-Batterien Werte für Haltbarkeit und Leistung erfüllen bis 31.12.2030 Prüfung zur schrittweisen Einstellung nicht wiederzuladbarer Allzweck-Gerätebatterien 12 Monate nach Inkrafttreten Angabe von Leistung und Haltbarkeit bei Industrie- und Traktionsbatterien ab 01.01.2026 Mindestwerte von Leistung und Haltbarkeit bei Industriebatterien	9-2: bis 31.12.2025 delegierter Rechtsakt zu Haltbarkeit und Leistung von Allzweck-Gerätebatterien; delegierter Rechtsakt zur Anpassung der Parameter möglich 10-3: bis 31.12.2024 delegierter Rechtsakt zu Mindestwerten von Industriebatterien
	B	Bezug auf Gerätebatterien ohne Allzweck-Gerätebatterien; Friständerungen bei Rechtsakten; LMT-Batterien werden aufgenommen; Leistungsgrenze 2 kWh entfällt; Verweis auf das Elektronische Austauschsystem (10-1a); Einführung neuer Rechtsakte		X	X		X	X			X	Rethink Reduce	bis 31.12.2027 Prüfung zur schrittweisen Einstellung nicht wiederzuladbarer Allzweck-Gerätebatterien bis 01.01.2026 Informationen zu Leistung und Haltbarkeit von Industrie-, LMT- und Traktionsbatterien über Elektronisches Austauschsystem ab 01.01.2026 Mindestwerte von Leistung und Haltbarkeit bei Industrie-, LMT- und Traktionsbatterien	9-2: bis 01.07.2025 delegierter Rechtsakt zu Haltbarkeit und Leistung von (Allzweck-)Gerätebatterien; delegierter Rechtsakt zur Anpassung der Parameter möglich 10-1b/c: delegierter Rechtsakt zu Leistung und Haltbarkeit von Traktionsbatterien 10-3: bis 31.12.2024 delegierter Rechtsakt zu Mindestwerten von Industrie-, LMT- und Traktionsbatterien; delegierte Rechtsakte zur Anpassung möglich (10-3a)
	C	Geänderte Fristen; Aufnahme von LMT-Batterien		X	X		X	X			X	Rethink Reduce	ab 72 Monate nach Inkrafttreten oder 24 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsakts 9-2 müssen Allzweck-Gerätebatterien Mindestwerte für Haltbarkeit und Leistung erfüllen ab 48 Monate nach Inkrafttreten oder 18 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsakts 10-3 Mindestwerte von Leistung und Haltbarkeit bei Industriebatterien	9-2: bis 48 Monate nach Inkrafttreten delegierter Rechtsakt zu Haltbarkeit und Leistung von (Allzweck-)Gerätebatterien; delegierter Rechtsakt zur Anpassung der Parameter möglich 10-3: bis 30 Monate nach Inkrafttreten delegierter Rechtsakt zu Mindestwerten von Industrie-, LMT- und Traktionsbatterien; delegierte Rechtsakte zur Anpassung möglich (10-3a)

Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	Batteriekategorien ¹							R-Strategien	Zeitraumen	Rechtsakte
				G	LMT	Start	Trak EV	Ind	BESS	Allzw			
Primärzellen	A	Festlegung von Leistung und Haltbarkeit für effiziente Ressourcennutzung; nur bei Einhaltung der Werte erfolgt eine Markteinführung	9							X	Rethink Reduce	ab 01.01.2027: Einhaltung von Leistungs- und Haltbarkeitsparametern von (Allzweck-)Gerätebatterien (s. o.) bis 31.12.2030: Prüfung, ob eine schrittweise Einstellung nicht wiederaufladbarer Batterien durchführbar ist	9-2: bis 31.12.2025 delegierter Rechtsakt zu Haltbarkeit und Leistung von Allzweck-Gerätebatterien; delegierter Rechtsakt zur Anpassung der Parameter möglich
	B	Änderung der Fristen								X	Rethink Reduce	bis 31.12.2027: Prüfung, ob eine schrittweise Einstellung nicht wiederaufladbarer Batterien durchführbar ist	9-2: bis 01.07.2025 delegierter Rechtsakt zu Haltbarkeit und Leistung von (Allzweck-)Gerätebatterien; delegierter Rechtsakt zur Anpassung der Parameter möglich
	C	Änderung der Fristen								X	Rethink Reduce	ab 72 Monate nach Inkrafttreten oder 24 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsakts 9-2 müssen Allzweck-Gerätebatterien Mindestwerte für Haltbarkeit und Leistung erfüllen bis 108 Monate nach Inkrafttreten Prüfung zur schrittweisen Einstellung nicht wiederaufladbarer Allzweck-Gerätebatterien	9-2: bis 48 Monate nach Inkrafttreten delegierter Rechtsakt zu Haltbarkeit und Leistung von (Allzweck-)Gerätebatterien; delegierter Rechtsakt zur Anpassung der Parameter möglich

		Batteriekategorien ¹											
Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	G	LMT	Stat	Trak EV	Ind	BESS	Allzw	R-Strategien	Zeitraumen	Rechtsakte
Rezyklatgehalt	A	Technische Unterlagen zeigen verbindliche Angabe des Rezyklatgehalts von Starter-, Industrie- und Traktionsbatterien (> 2 kWh); darauf folgend werden verbindliche Vorgaben zum Rezyklatgehalt von wiedergewonnenem Li, Co, Ni, Pb eingeführt	8			X	X	X			Recycling Reduce	ab 01.01.2027: verbindliche Angabe des Rezyklatgehalts Verbindlicher Rezyklatgehalt: ab 01.01.2030: 12 % Co; 85 % Pb; 4 % Li; 4 % Ni ab 01.01.2035: 20 % Co; 85 % Pb; 10 % Li; 12 % Ni (Revision der Werte bis 31.12.2027)	8-1: bis 31.12.2025 Durchführungsrechtsakt zur Berechnung und Überprüfung des Rezyklatgehalts; bis 31.12.2027 delegierter Rechtsakt zur Änderung des Rezyklatgehalts
	B	Aufnahme von Geräte- und LMT-Batterien; Änderungen von Fristen und Umfang;		X	X	X	X	X			Recycling Reduce	ab 01.07.2025: verbindliche Angabe des Rezyklatgehalts von Gerätebatterien Verbindlicher Rezyklatgehalt von Gerätebatterien: ab 01.01.2030: 12 % Co; 85 % Pb; 4 % Li; 4 % Ni ab 01.01.2035: 20 % Co; 85 % Pb; 10 % Li; 12 % Ni (Revision der Werte bis 31.12.2027)	8-4: Prüfung bis 31.12.2027, wie viel Rezyklat am Markt vorhanden ist 8-4a: delegierter Rechtsakt zur Aufnahme weiterer Rezyklate/Stoffe
	C	Geänderte Fristen				X	X	X			Recycling Reduce	ab 60 Monate nach Inkrafttreten oder 24 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsaktes 8-2 verbindliche Angabe des Rezyklatgehalts Verbindlicher Rezyklatgehalt von Gerätebatterien: ab 96 Monate nach Inkrafttreten: (siehe A) ab 156 Monate nach Inkrafttreten: (siehe A) (Revision der Werte bis 31.12.2027)	8-1-2: ab 36 Monate nach Inkrafttreten delegierter Rechtsakt zur Berechnung und Überprüfung des Rezyklatgehalts 8-4: bis 72 Monate nach Inkrafttreten delegierter Rechtsakt zur Änderung des Rezyklatgehalts

Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	Batteriekategorien ¹							Rechtsakte
				G	LMT	Start	Trak EV	Ind	BESS	Allzw	
Herstellerverantwortung	A	Klare Spezifikation für erweiterte Herstellerverantwortung und Mindeststandards für Organisationen, welche die Herstellerverantwortung für Gerätebatterien übernehmen; Informationen über Registrierung müssen von herstellenden Unternehmen auf Onlinemarktplätzen bereitgestellt werden	47	X	X	X	X	X	X	X	47-12: Durchführungsrechtsakt möglich, um Verzerrungen des Binnenmarktes entgegenzuwirken
	B	-		X	X	X	X	X	X		
	C	-		X	X	X	X	X	X		

Maßnahmen aus BattVO		Batteriekategorien ¹							Rechtsakte					
		Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	G	LMT	Stat	Trak EV		Ind	BESS	Allzw	R-Strategien	Zeitraumen
Gestaltung von Gerätebatterien	A	Verpflichtung zur leichten Entfernbar- und Austauschbarkeit von Gerätebatterien; Verfügbarkeit der Batterie als Ersatzteil soll zehn Jahre nach Markteinstellung gewährleistet sein;	11	X								Repurpose Reuse Remanufacturing Reduce Rethink		
	B	LMT-Batterien werden aufgenommen; Nennung von Einführungsfristen; Verhinderung der Obsoleszenz durch verlängerte Verfügbarkeit von Batteriemodell (11-1-2a); zusätzlicher Artikel zu Starter-, Traktions- und Industriebatterien (11a); zusätzlicher Artikel zur Sicherheit reparierter Batterien (11b); zusätzlicher Artikel für einheitliches Ladegerät für Traktions- und LMT-Batterien (11c); der Austausch von einzelnen Bauteilen und Zellen soll ermöglicht werden		X	X	X	X	X				Repurpose Reuse Remanufacturing Reduce Rethink	11-1: bis 01.01.2024 müssen Geräte- und LMT-Batterien entfern- und austauschbar sein 11c: bis 01.01.2024 Prüfung zu Normen zum einheitlichen Ladegerät, welches spätestens am 01.01.2026 eingeführt werden soll	11a-4: delegierter Rechtsakt zur Entfern- und Austauschbarkeit möglich (Starter-, Traktions- und Industriebatterien) 11b-2: delegierter Rechtsakt zur Prüfung reparierter Batterien möglich
	C	Geänderte Fristen; LMT-Batterien werden aufgenommen		X	X							Repurpose Reuse Remanufacturing Reduce Rethink	11-1: ab 24 Monate nach Inkrafttreten müssen Geräte- und LMT-Batterien entfern- und austauschbar sein	

Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	Batteriekategorien ¹						R-Strategien	Zeitraumen	Rechtsakte	
				G	LMT	Start	Trak EV	Ind	BESS				Allzw
Informationen	A	Ausbau der gedruckten und digitalen Bereitstellung von grundlegenden und spezifischen Informationen für Nutzende und wirtschaftliche Akteure; spätere Weiterentwicklung zum Batteriepass und Elektronischem Austauschsystem; Batteriepass gilt nur für Industrie- und Traktionsbatterien (> 2 kWh); er gibt Aufschluss über Leistung und Haltbarkeit; Zugang zu Daten auch über das Elektronische Austauschsystem; vorgeschriebenes Batteriemanagementsystem (BMS) für Industrie- und Traktionsbatterien (> 2 kWh);	Allgemein: 13, 14 Elektronisches Austauschsystem: 64 Batteriepass: 65	X	X	X	X	X	X	X	Repair Repurpose Reuse	Allgemein: ab 01.01.2027 verpflichtende Kennzeichnung. ab 01.01.2027 Angabe von Kapazität von Starter- und Gerätebatterien; Gerätebatterien zusätzlich noch Angabe von Betriebsdauer. ab 01.07.2023 Symbol „Getrennte Sammlung“ ab 01.07.2023 Angabe von Pb- und Pb-Gehalt über Schwellwert - obige und weitere Angaben müssen über QR-Code abrufbar sein Elektronisches Austauschsystem: ab 01.01.2026 Bereitstellung eines Elektronischen Austauschsystems. Batteriepass: ab 01.01.2026 verpflichtender Batteriepass für Traktions- und Industriebatterien	Allgemein: 13-7: bis 31.12.2025 Durchführungsrechtsakt zu Kennzeichnungsanforderungen. Elektronisches Austauschsystem: 64-5: bis 31.12.2024 Durchführungsrechtsakte zu Architektur, Format und Zugriffsregeln des Elektronischen Austauschsystems Batteriepass: 65-7: Durchführungsrechtsakte über Zugriffsregeln möglich

Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	Batteriekategorien ¹							R-Strategien	Zeitraumen	Rechtsakte
				G	LMT	Stat	Trak EV	Ind	BESS	Allzw			
	B	geänderte Fristen; erweiterte Angaben; neue Artikel zu nicht wiederaufladbaren Allzweck-Gerätebatterien (13-2a) und Farbcode zur Typen- und Zusammensetzungskennzeichnung (13-3a); BMS für Batteriesysteme, Traktions- und LMT-Batterien, Leistungsgrenze entfällt; Elektronisches Austauschsystem wird auf LMT-Batterien ausgeweitet;		X	X	X	X	X	X	X	Repair Repurpose Reuse	Allgemein: ab 24 Monate nach Inkrafttreten verpflichtende Kennzeichnung. ab 01.01.2027 Angabe von Kapazität und Betriebsdauer von Starter-, LMT- und Gerätebatterien. ab 01.01.2023 Kennzeichnung von nicht wiederaufladbaren Allzweck-Gerätebatterien und Angabe von Cd- und Pb-Gehalt ab 01.07.2023 einheitlicher Farbcode für Typ und Zusammensetzung und Symbol „getrennte Sammlung“ bis 01.01.2024 Konzeption der Kommunikation „BMS mit Ladesystem“ Elektronisches Austauschsystem: - Batteriepass: bis 01.01.2026 müssen alle Traktions-, Industrie- und LMT-Batterien über eine elektronische Akte (Batteriepass) verfügen.	Allgemein: 13-6a: delegierter Rechtsakt zur Alternative zum QR-Code möglich. 13-7: bis 01.07.2025 Durchführungsrechtsakt zu Kennzeichnungsanforderungen. 13-7a: bis 01.01.2023 Durchführungsrechtsakt zum einheitlichen Farbcode 14-3-1a: delegierter Rechtsakt zu Bestimmungsparemtern möglich. Elektronisches Austauschsystem: - Batteriepass: -

Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	Batteriekategorien ¹						R-Strategien	Zeitraumen	Rechtsakte	
				G	LMT	Start	Trak EV	Ind	BESS				Allzw
	C	geänderte Fristen; teils Ausweitung auf mehrere Batteriekategorien; Artikel 14 wird auf Batterien mit BMS beschränkt und auf LMT-Batterien erweitert; Ausweitung des Elektronischen Austauschsystems auf LMT-Batterien; Ausweitung des Batteriepasses auf LMT-Batterien;		X	X	X	X	X	X	X	Repair Repurpose Reuse	Allgemein: ab 48 Monate nach Inkrafttreten oder 18 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsaktes 13-7 verpflichtende Kennzeichnung. ab 48 Monate nach Inkrafttreten oder 18 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsaktes 13-7 Angabe von Kapazität von Traktions-, Industrie-, Starter- und Gerätebatterien. ab 48 Monate nach Inkrafttreten oder 18 Monate nach Inkrafttreten des Rechtsaktes 13-7 Angabe von Betriebsdauer von nicht wiederaufladbaren Gerätebatterien (13-2a). ab 24 Monate nach Inkrafttreten Symbol „Getrennte Sammlung“ ab 24 Monate nach Inkrafttreten Kennzeichnung Angabe von Cd- und Pb-Gehalt. ab 24 Monate nach Inkrafttreten Pflicht zum QR-Code (bei Traktions-, Industrie- und LMT-Batterien Zugang zu elektronischem Austauschsystem) Elektronisches Austauschsystem: ab 48 Monate nach Inkrafttreten Bereitstellung eines Elektronischen Austauschsystems. Batteriepass: bis 48 Monate nach Inkrafttreten müssen alle Traktions-, Industrie- und LMT-Batterien über eine elektronische Akte (Batteriepass) verfügen.	Allgemein: 13-7: bis 30 Monate nach Inkrafttreten Durchführungsrechtsakt zu Kennzeichnungsanforderungen 14-2b: delegierter Rechtsakt zu Bestimmungparametern möglich. Elektronisches Austauschsystem: 64-5: bis 36 Monate nach Inkrafttreten Durchführungsrechtsakte zu Architektur, Format und Zugriffsregeln des Elektronischen Austauschsystems Batteriepass: 65-6c: delegierter Rechtsakt zu bereitgestellten Informationen möglich. 65-7: bis 36 Monate nach Inkrafttreten Durchführungsrechtsakte über Architektur, Formate und Zugriffsregeln

Maßnahmen aus BattVO	Version	Zusammenfassung/Inhalt	Artikel	Batteriekategorien ¹							Rechtsakte	
				G	LMT	Stat	Trak EV	Ind	BESS	Allzw		
Sorgfaltspflicht in der Lieferkette für Industrie- und Traktionsbatterien	A	Verbindliche Normen und Standards im Rahmen des Bezugs von Rohstoffen für wirtschaftliche Akteure	39, 72			X	X					39-8: delegierter Rechtsakt zu Risikrohstoffen und Verpflichtungen möglich. 72-1/2/3: Durchführungsrechtsakte zur Anforderung an Informationen, zur Anerkennung von Nachweissystemen und zur Nachweismethode möglich. 72-3: Durchführungsrechtsakt zur Widerrufung möglich.
	B	Ausweitung auf alle Batterien; Wirkungsbereich wird durch Begriff „Wertschöpfungskette“ (anstatt „Lieferkette“) erweitert;		X	X	X	X		X			39-8a: delegierter Rechtsakt zu Verpflichtungen möglich.
	C	-						X				

¹ G Gerätebatterien
LMT Light Means of Transport, „leichte Verkehrsmittel!“
Start Starterbatterien
TrakEV Traktionsbatterien Straße (EV)
Ind Industriebatterien (inkl. Traktionsbatterien, die nicht für EV eingesetzt werden wie Schiff, Bahn, Flurförderfahrzeuge, mobile Maschinen etc.)
BESS Batterie-Energiespeichersystem (BESS, engl.: battery energy storage system), sind im Sinne der BattVO wiederaufladbare Industriebatterien „mit internem Speicher“
Allzw Allzweck-Gerätebatterien
Hinweis 1: BESS sind stationäre Systeme

Der Normungsauftrag M/579

Zur Unterstützung der Batterieverordnung und um das erklärte Ziel der Europäischen Union zu erreichen, die Umweltbilanz von Batterien zu verbessern, erließ die Europäische Kommission den Durchführungsbeschluss zum Normungsauftrag (früher „Mandat“) 579; kurz: M/579. s [145].

Intention ist, die in der Batterieverordnung auftretenden Normungsbedarfe zu konkretisieren und einer Umsetzung durch die europäischen Normungsorganisationen CEN und CENELEC zuzuführen. Beide Organisationen haben zur Realisierung des Normungsauftrages bereits ein Arbeitsprogramm verfasst und der Europäischen Kommission am 07. Juni 2022 überreicht. Bis zum finalen Abschlussbericht zum 31. Dezember 2025, zu welchem Zeitpunkt alle geforderten Normungsbedarfe umgesetzt sein sollen, werden jährliche Zwischenberichte über den Fortschritt informieren.

Im Normungsauftrag sind zum jetzigen Zeitpunkt folgende Aufgabenblöcke enthalten:

1. **Leistungs- und Haltbarkeitsaspekte** wiederaufladbarer und nicht wiederaufladbarer Gerätebatterien (BattVO Artikel 9)
2. **Leistungs- und Haltbarkeitsaspekte** wiederaufladbarer Batterien „mit internem Energiespeicher“ (BattVO Artikel 10)
3. **Wiederverwendung und Umnutzung** wiederaufladbarer Batterien „mit internem Energiespeicher“ (BattVO Artikel 14 und 59 u. a.)
4. **Sicherheitsaspekte** von stationären Batteriespeichersystemen „mit internem Energiespeicher“ (BattVO Artikel 12)

Die Aufgabenblöcke 1 und 2 sehen dabei die Etablierung von Methoden zur Bestimmung der Leistung und Haltbarkeit (gemäß Artikel 9 und 10 BattVO) vor. Im Falle von nicht wiederaufladbaren und wiederaufladbaren Allzweck-Gerätebatterien sind die Bestimmung der Kapazität, die durchschnittliche Mindestbetriebsdauer, die Haltbarkeitsdauer und die Dichtheitsprüfung gefordert; im Falle der wiederaufladbaren Gerätebatterien kommt die Bestimmung der Lebensdauer in Ladezyklen hinzu.

Im Falle von wiederaufladbaren Industrie- und Traktionsbatterien sollen Europäische Normen zur Kapazitätsabnahme, zur Erhöhung des Innenwiderstandes, des Wirkungsgrades und der erwarteten Lebensdauer erarbeitet werden. Dabei sollen nicht nur nachvollziehbare Angaben für Verbrauchende erbracht werden, sondern auch die Schaffung fairer und

einheitlicher Marktbedingungen für alle Wirtschaftsakteur*innen.

Aufgabenblock 3 behandelt Nachhaltigkeit und „Circular Economy“. Er enthält die Forderungen nach Normen zur Wiederverwendung und Umnutzung von Batterien, Batteriesätzen und Batteriemodulen (gemäß Artikel 14 und 59 BattVO). Hierbei wird noch einmal in drei Kategorien unterschieden: „Konstruktion“, „Diagnostik und Alterungszustand“ und „Batteriebewertung im Hinblick auf die Reparatur oder Umnutzung“.

Der Normungsbereich „Konstruktion“ fordert, dass die Wartung, die Reparatur, die Wiederverwendung und die Umnutzung von Batterien und Batteriesätzen erleichtert oder zumindest nicht verhindert werden. In diesem Zusammenhang ist auch die Forderung nach der Austauschbarkeit von einzelnen, ausfallenden Batteriebestandteilen zu nennen.

Unter der Kategorie „Diagnostik und Alterungszustand“ werden Verfahren zur Bestimmung des Alterungszustandes von Batterien thematisiert. Eine zuverlässige Einstufung der verbleibenden Kapazität und des zu erwartenden Verhaltens sollen eine Nutzung im „2nd Life“ ermöglichen. Dies ist besonders im Hinblick auf die stetig steigende Anwendung von ausrangierten Traktionsbatterien und ihrem weiteren Einsatz im stationären Bereich von besonderer Aktualität. Hier findet sich auch ein Querverweis auf die eingesetzten Batteriemagementsysteme, da ein Zugriff auf die Batteriehistorie für eine solche Diagnose und Bewertung von Vorteil scheint.

Die letzte Kategorie „Batteriebewertung im Hinblick auf die Reparatur oder Umnutzung“ befasst sich schließlich mit der Beschreibung der erforderlichen Schritte, Bedingungen und Protokolle, welche eine sichere Reparatur, Wiederverwendung und Umnutzung von Traktionsbatterien und deren Bestandteilen beschreiben.

In Aufgabenblock 4 sollen einheitliche Sicherheitsanforderungen für den Betrieb stationärer Batterien-Energiespeichersysteme formuliert werden (gemäß Artikel 12 BattVO). Prüfmethoden, unter anderem zum Wärmeschock, zu externen und internen Kurzschlüssen sowie thermischem Durchgehen und mechanischen Schäden sollen normativ festgeschrieben werden.

Da der Inhalt der BattVO noch nicht abschließend verfasst wurde, muss der Normungsauftrag M/579 ebenfalls als vorläufig angesehen werden. Es wird voraussichtlich nicht

nur an die finale Version der BattVO angepasst, es können darüber hinaus auch noch weitere Anforderungen hinzugefügt werden. Der Normungsauftrag wurde bereits vor dem Erscheinen der BattVO erteilt, damit bereits vor Inkrafttreten die Normungsarbeit begonnen werden konnte.

Das im Juni an die EU-Kommission weitergereichte und akzeptierte Arbeitsprogramm deckt alle Aufgabenblöcke des Normungsauftrags ab. Dabei werden neue Normen erarbeitet, aber auch bestehende Normen angepasst. Für Primärbatterien sollen drei IEC-Normen angepasst werden und durch CLC/SR 35 „Primärbatterien“ übernommen werden. Im Bereich der elektrisch angetriebenen Straßenfahrzeuge (EV) wird CEN/TC 301 „Elektrische Straßenfahrzeuge“ elf Normen bearbeiten. Die Anwendungen tragbare Batterien, LMT, industrielle und stationäre Batterien werden durch CLC/TC 21X „Akkumulatoren“ bearbeitet und es sind etwa 20 Normen im Arbeitsprogramm zur Bearbeitung und neuen Erarbeitung angegeben. Mit Anpassungen des Normungsauftrags M/579 bei Veröffentlichung der BattVO kann es auch noch zu Veränderungen des Arbeitsprogrammes kommen. Für diese umfassenden Arbeiten zu Leistung, Haltbarkeit, Design-Aspekten zur Wiederverwendung, Reparatur und Wartung, aber auch zum sicheren Betrieb wird eine breite Batterieexpertise benötigt. Aktive Unterstützung durch Mitwirken nationaler Fachleute in den nationalen Batteriegremien der DKE, K 371 „Akkumulatoren“ und K 372 „Primärbatterien“ sowie beim Bearbeiten und Entwickeln der europäischen Normen ist daher sehr willkommen.

Zusammenhang von BattVO, Normungsauftrag M/579 und der Normungsroadmap Circular Economy

Wie bereits eingangs erwähnt, enthalten die BattVO, welche sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Textes (September 2022) noch in Verhandlungen befindet, und der dazugehörige Normungsauftrag M/579 eine ganze Reihe von Anforderungen für die Circular Economy. Daher behandelt das folgende Kapitel speziell auch Bereiche, die nicht durch die BattVO abgedeckt sind, bzw. geht darauf ein, inwiefern Ergänzungen notwendig sind oder Verbesserungsbedarf besteht. Es werden auch kritische Aspekte der BattVO behandelt.

Welche Anforderungen tatsächlich über den aktuellen Normungsauftrag M/579 hinausgehend an die Normung gestellt werden und welche Aspekte durch Rechtsakte behandelt werden, ist derzeit noch nicht klar, da der endgültige Inhalt der BattVO noch nicht bekannt ist. Aufgrund des ambitionierten zeitlichen Rahmens werden Themen aus dem Normungsauftrag priorisiert in der Normung behandelt werden. So

beginnen bereits Normungsarbeiten im Bereich Batterien. Offen sind darüber hinaus die Zusammenhänge der kommenden BattVO mit der Ökodesign-Richtlinie [21] oder auch der Sustainable Product Initiative [225]. Überschneidungen und zum Teil auch Widersprüche gilt es, noch zu klären.

Eine große Herausforderung stellen unterschiedliche Bezeichnungen/Begriffe, also Unterschiede in der Sprache der Batterienormung und -verordnung, dar. Der Gebrauch bestimmter Begriffe ist in der Normung gewachsen und international abgestimmt. Sie mit Begriffen in der Batterieverordnung übereinzubringen, um Normungsbedarfe zu identifizieren, stellt sich teilweise als problematisch heraus. Als Beispiel ist zu nennen, dass es die Bezeichnung „Batterien mit internem Speicher“ in Batterienormen nicht gibt. Weitere Begriffe wie „Allzweck-Gerätebatterien“ sind in der Normensprache nicht definiert. Dennoch überschneiden sich viele Anforderungen mit denen, die in Normen für tragbare Batterien definiert sind. Darüber hinaus werden die Begriffe „Batterie-Typ“ und „Batterie-Kategorie“ nebeneinander verwendet, ohne dass diese in der BattVO konkret beschrieben oder unterschieden werden. Dies erschwert die Verständlichkeit des Textes und somit auch die Übertragung der Anforderungen aus der BattVO in die Normungsarbeit. Daneben wird der Begriff „Batterie-Modell“ jedoch klar definiert. Es ist also erforderlich, eine Übertragungsliste von Begriffen aus der BattVO und Begriffen aus der Normung anzulegen. Denn die abgestimmten Begriffe, wie sie auch im Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuch (IEV) hinterlegt sind, werden in Normen weiterhin angewendet werden [149].

Die Anwendung der R-Strategien auf Batterien, welche häufig eine Komponente und kein eigenständiges Produkt sind, bringt Herausforderungen mit sich. Der Aufbau von Batterien mit Modulen und Zellen macht es erforderlich, die Zuordnung von R-Strategien differenziert zu betrachten. Beispielsweise läuft eine Wiederverwendung („Reuse“) einer einzelnen Zelle innerhalb einer Batterie, bezogen auf die gesamte Batterie, auf eine Reparatur („Repair“) oder Wiederaufbereitung („Refurbish“) hinaus. Eine klare Abtrennung der einzelnen R-Strategien voneinander ist somit schwierig und von der jeweiligen Intention abhängig. Darüber hinaus ist eine Batterie als sicherheitskritische Komponente zu betrachten, bei der kleine Veränderungen große Auswirkungen haben können. Somit muss bei allen Überlegungen nicht nur der Nutzen abgewogen werden, sondern es müssen auch immer die Sicherheitsgrenzen mit bedacht werden.

Schließlich ist das Feld der Batterien aktuell durch Neuerungen gekennzeichnet wie kaum ein anderes. Vorangestellt befinden sich besonders Lithium-Ionen-Batterien als Schlüsseltechnologie der Energie- und Verkehrswende im Verlauf ständig neuer Entwicklungen. Normative Vorgaben zu Alterungsaspekten und Haltbarkeitsaussagen sind zurzeit noch schwierig zu realisieren, da beide Themenfelder noch Stand der aktuellen Forschung sind und bislang nur wenig Eingang in die technische Entwicklung gefunden haben.

2.3.2 Normungs- und Standardisierungsbedarfe

Anwendung der R-Strategien auf Batterien

In den folgenden Abschnitten wird genauer auf die einzelnen R-Strategien und die daraus resultierenden Normungsbedarfe eingegangen. Wie in den vorangegangenen Abschnitten bereits erwähnt, ist es nicht immer möglich, eine klare Grenze

zwischen den einzelnen Strategien zu ziehen, da sich viele der daraus hervorgehenden Anwendungen überschneiden. Im Besonderen kommt es bei den drei Strategien „Rethink“, „Refuse“ und „Reduce“ zu Übereinstimmungen, woraufhin die genannten Beispiele gleichzeitig für mehrere Strategien anwendbar sind. So weisen oftmals verschiedene R-Strategien die gleichen Handlungsempfehlungen auf. Des Weiteren betreffen auch R-Strategien für elektrische und informationstechnische Produkte den Bereich Batterien, als elektronische Komponenten. Somit sollen auch Normungsbedarfe aus Kapitel 4.2 mit in Betracht gezogen werden (Beispiel Bedarf 2.3 und 2.13). [Tabelle 2](#) gibt eine Übersicht zur Anwendung der R-Strategien auf Batterien und bringt sie mit den Angaben der BattVO in Verbindung. Ebenso werden die Auswirkungen bei Anwendung der jeweiligen Strategien auf die Produktkonformität aufgezeigt. Ferner sollen Beispiele verdeutlichen, wie die R-Strategien auf das Produkt „Batterie“ angewendet werden können.

Tabelle 2: Übersicht zur Anwendung der R-Strategien auf Batterien

R-Strategie	Beschreibung (Batteriesicht)	Definition nach BattVO	Auswirkung auf die Produktkonformität	Beispiele aus Batteriesicht für ein besseres Verständnis
Refuse Verzicht	Verzicht auf den Einsatz von Batterien z. B. durch Ersatz von menschlicher Arbeitskraft wie beim Fahrraddynamo oder Verzicht auf eine nicht der eigentlichen Funktion eines Produkts dienenden Zusatzfunktion	Nicht definiert	Kein Einfluss	Verzicht auf Primärbatterien, wann immer möglich. Verzicht von batteriebetriebenen Zusatzfunktionen in Produkten (z. B. Beleuchtung von Kinderschuhen).
Rethink Umdenken	Entwicklung einer Batterie aus einer systemischen Sichtweise heraus, sodass sie über den gesamten Lebenszyklus und mit einem zirkulären Ansatz entwickelt wird. Das bedeutet, dass Batterien z. B. durch Wiederverwendungs- und Sharing-Modelle intensiver verwendet werden sollen, wie bspw. dass Akkumulatoren wechselbar und in verschiedenen Geräten einsetzbar sind.	Nicht definiert	Kein Einfluss	Einheitlicher Akku für verschiedene Power-Tools (Elektrowerkzeuge). Austauschbare Akkus in Notebooks, Bluetooth-Lautsprechern, Handys, universelle Powerbanks. Vereinheitlichung von Modulen oder Packs. Existierende Tests (Bsp.: thermal runaway propagationstest) anpassen.

R-Strategie	Beschreibung (Batteriesicht)	Definition nach BattVO	Auswirkung auf die Produktkonformität	Beispiele aus Batteriesicht für ein besseres Verständnis
Reduce (by design): Reduzieren	Durch Veränderung des Designs der Batterie sollen weniger Ressourcen, Materialien und Energie verbraucht und damit deren Zirkularität und Effizienz gesteigert werden. Vor allem der Herstellungsprozess einer Batterie kann hier Potenzial zur Reduzierung bieten.	Nicht definiert	Kein Einfluss	Weniger Materialeinsatz bei Gehäusen, z. B. Pouch-Zellen statt Rundzellen. Optimierte Strukturen in der mechanischen Konstruktion. Dadurch weniger Materialeinsatz. Bestimmte kritische Rohstoffe (im Sinne der Circular Economy) ersetzen oder verringern.
Reuse Wiederverwendung	Jeder Vorgang, bei dem eine Batterie, die kein Abfall ist, wieder für die gleiche Anwendung verwendet wird, für den sie konzipiert wurde. Die Batterie bleibt als Ganzes erhalten und es werden keine Teile verändert.	die vollständige oder teilweise direkte Wiederverwendung der Batterie für den ursprünglichen Zweck, für den die Batterie ausgelegt war [141]	Konformität bleibt erhalten	Defektes Gerät, die Batterie ist noch intakt und wird in einem anderen Gerät unverändert übernommen.
Repair Reparatur	Änderungen, die an der Originalbatterie vorgenommen werden, die eine Fehlfunktion zeigt, um wieder eine voll funktionsfähige Batterie zu haben. Eine Reparatur kann beispielsweise durch den Austausch defekter Teile, durch das Hinzu-fügen oder durch eine Neuordnung von Teilen erfolgen.	Nicht definiert im Vorschlag der Kommission zur BattVO, aber enthalten; hauptsächlich in Artikel 47 (Extended Producer Responsibility), Artikel 60 (End of Life), Artikel 65 (Battery passport)	Die Zertifizierung ist hinfällig: Der Austausch von Teilen der Batterie führt zum Verlust der „Typgenehmigung“, was bedeutet, dass das Produkt den vollständigen Zertifizierungsprozess, z. B. nach UN-T 38.3, durchlaufen sowie nach der Reparatur erneut das Produktsicherheitsgesetz und alle geltenden (Sicherheits-) Normen einhalten muss.	Ein Austausch von defekten Modulen z. B. in stationären Batteriespeichern, Austausch eines defekten BMS.
Refurbish Instandsetzung oder Aufarbeitung	Nur „kosmetische“ Wartung eines Akkus, um ihn in seinen ursprünglichen Zustand zu versetzen. Es handelt sich nicht um den Austausch oder die Änderung von Teilen der Batterie, mit Ausnahme von nicht sicherheitsrelevanten Teilen, wie sie vom Originalhersteller definiert wurden.	Nicht definiert	Konformität bleibt erhalten	Nur kosmetische Überarbeitung, BMS-Update (Sicherheitsaspekte beachten), nichts Defektes auf den technisch neuesten Stand bringen, Reinigen verdreckter Teile (da Nebenschlüsse möglich), Austauschen korrodierter Kabel oder Kontakte, Auffüllen von Wasser bei Bleibatterien.

R-Strategie	Beschreibung (Batteriesicht)	Definition nach BattVO	Auswirkung auf die Produktkonformität	Beispiele aus Batteriesicht für ein besseres Verständnis
Remanufacture Wiederaufbereitung	Es werden Änderungen an einer gebrauchten Batterie vorgenommen, um ihre Leistungsfähigkeit wiederherzustellen. Dabei wird die Funktionalität verändert und es kommt zu Änderungen, bei denen zu Änderungen, bei denen sicherheitsrelevante Teile ausgetauscht werden. Dazu gehören auch alle an der Batterie durchgeführten Verfahren, die nicht vom Originalhersteller genehmigt wurden.	Ein Vorgang der Demontage, der Wiederherstellung und des Austauschs von Bauteilen gebrauchter Batteriesätze, Batteriemodule und/oder Batteriezellen, um eine Batterie wieder auf ein Leistungs- und Qualitätsniveau zu bringen, das dem der ursprünglichen Batterie entspricht, und zwar für den ursprünglichen oder einen anderen Zweck [142].	Die Zertifizierung ist hinfällig: Wiederaufbereitete Batterien verlieren die „Typgenehmigung“, was bedeutet, dass sie den vollständigen Zertifizierungsprozess, z. B. nach UN-T 38.3, Produktsicherheitsgesetz und allen anwendbaren (Sicherheits-) Normen, nach der Wiederaufbereitung erneut durchlaufen und bestehen müssen.	Teile, deren Zustand sicher bekannt ist, werden neu zusammengesetzt, z. B. Steckverbinder, BMS und Module (Sicherheit muss beachtet werden).
Repurpose Umnutzung	Jeder Vorgang, der dazu führt, dass zertifizierte Untereinheiten oder eine vollständig unveränderte Batterie für eine andere Nutzung verwendet werden/ wird als ursprünglich vorgesehen.	ein Vorgang, der bewirkt, dass eine Batterie zum Teil oder vollständig für einen anderen Zweck oder eine andere Anwendung genutzt wird als den bzw. die, für den bzw. die die Batterie ursprünglich ausgelegt war [141]	Batterien müssen entsprechend ihrem neuen Verwendungszweck neu zertifiziert werden.	Die Batterie hat noch ausreichend Leistung für bestimmte (andere) Anwendungen und wird in einer anderen Anwendung eingesetzt (Bsp.: Traktionsbatterie in stationären Anwendungen).
Recycle Recycling/ stoffliche Wiederverwertung	Rückgewinnung von Materialien aus Abfallbatterien durch Zerkleinerung oder Zerlegung der Batterie. Dazu ist die Kennzeichnung der Batteriechemie wichtig.	jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfügung bestimmt sind [47].	Kein Einfluss	Restladung vor Recycling zur Energiegewinnung nutzen. Die Abfallbatterie wird in einem Zerlegungsverfahren in ihre Bestandteile aufgeschlossen; diese können dem Wertstoffkreislauf wieder zugeführt werden.
Recover Verwertung	Batteriematerialien und Rückstände aus dem Recyclingprozess, die keiner weiteren stofflichen Verwertung zugeführt werden können, werden einer energetischen Verwertung zugeführt.	jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie andere Materialien ersetzen, die ansonsten zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen [150]	Kein Einfluss	Rückgewinnung der Energie einer Batterie (Elektrizität/ Wärme) durch thermische Verwertung ihrer Bestandteile.

Refuse

Bei Refuse geht es um den Verzicht. Dies kann Rohstoffe, Produktionsprozesse oder ganze Produkte betreffen, die nicht benötigt oder ersetzt werden können. Für Batterien ergibt sich hier eine Bedeutung, wenn man über den Verzicht oder Ersatz von Primärbatterien nachdenkt, wann immer möglich. Hier sieht die BattVO eine Evaluierung vor, ob ein gänzlicher Verzicht möglich ist. Ebenso können sich im Herstellungsprozess einer Batterie durch Verzicht auf bestimmte Schritte Ansatzpunkte für Refuse ergeben. Insbesondere sollte jedoch der komplette Verzicht von Batterien in Betracht gezogen werden, sofern diese keine notwendige Funktion erfüllen (z. B. Batterie zur Beleuchtung von Kinderschuhen) oder durch eine Alternative ersetzt werden können (Dynamo für Fahrradbeleuchtung).

Für die Normung von Batterien wird zum jetzigen Zeitpunkt im Bereich Refuse kein Bedarf gesehen.

Rethink

Bei Rethink geht es darum, aus einer systemischen Sichtweise heraus ein Produkt in Anbetracht seines gesamten Lebenszyklus und mit einem zirkulären Ansatz zu entwickeln. Das bedeutet, dass Batterien durch Wiederverwendungs- und Sharing-Modelle intensiver verwendet werden sollen, bspw., dass Akkumulatoren wechselbar und in verschiedenen Geräten einsetzbar sind. Im Bereich der Elektrogartengeräte und -werkzeuge wird die Austauschbarkeit und Vielfachnutzung von Akkumulatoren bereits umgesetzt. Dies ist allerdings nur innerhalb der Geräte eines herstellenden Unternehmens möglich. Es sollten auch neue Geschäftsmodelle ermöglicht werden, die eine Batterie multifunktionaler nutzbar machen. Bei Batterien muss allerdings immer beachtet werden, dass sie ein sicheres Betriebsfenster haben, das von weiteren Anwendungen eingehalten werden muss. Im Entwurf der BattVO wird für Gerätebatterien verlangt, dass diese von Endnutzenden und unabhängigen Wirtschaftsakteur*innen leicht entfernt und ausgetauscht werden können. Diese Vorschrift wird insbesondere Akkumulatoren in Laptops und Mobiltelefonen betreffen. Eine Definition, was unter „leicht austauschbar“ zu verstehen ist, gibt es bereits, z. B. bei den Hausgeräten (DIN EN 60335-1 [151]). Bereits umgesetzt sind auch Sicherungen für Kleinkinder und Kinder bei Kinderspielzeug [152].

Bedarf 3.1: Normen zur Austauschbarkeit von Batterien

Die Forderungen zur Normung in der kommenden BattVO sind hier klar und werden im Rahmen der Bearbeitung des Normungsauftrags umgesetzt. Dies betrifft vor allem die Entwicklung von Produkten, sodass die Austauschbarkeit der Batterie einfach und sicher möglich ist. Trotz allem muss geprüft werden, ob es Gerätegruppen gibt, bei denen die einfache Austauschbarkeit und Entnahmemöglichkeit normativ ergänzt werden müssen, z. B. bei Mobilfunkgeräten und Laptops. Für den Bereich der Elektrowerkzeuge und Gartengeräte könnte eine Einigung auf ein Format und Betriebsgrenzen helfen, die Wechselakku auch unter verschiedenen herstellenden Unternehmen tauschbar zu machen, sodass es einen Gewinn in der Mehrfachnutzung gibt.

Reduce (by Design)

Bei „Reduce“ geht es vor allem um die Veränderung des Designs eines Produktes oder Prozesses, um Zirkularität und Effizienz zu verbessern. Dadurch sollen weniger Ressourcen, Materialien und Energie verbraucht werden, was letztlich auch zu einer Verkleinerung des CO₂-Fußabdrucks führen würde. Im Falle von Batterien könnte dies beispielsweise bedeuten, dass beim Design des Gehäuses auf einen geringeren Materialeinsatz geachtet wird. Auch optimierte Strukturen in der mechanischen Konstruktion können dazu führen, dass die Verwendung vor allem von Kunststoffen, aber auch von Metallen, verringert werden kann. Höchste Priorität haben in allen Fällen die Sicherheitsaspekte.

Auch bei der Fertigung von Batterien kann durch optimierte Prozesse auf verschiedenen Ebenen (zeitliche Veränderung oder neue Verfahren) bereits Energie eingespart werden. Als Beispiel sei hier der Trocknungsprozess bereits auf Zellebene genannt.

Auf Batterien übertragen weisen die Kategorien „Reduce“, „Refuse“ und „Rethink“ immer wieder Überschneidungen auf, da diese nicht klar voneinander zu trennen sind. Vielmehr greifen sie ineinander, wenn es darum geht, das Design einer Batterie und ihren Herstellungsprozess zu überdenken und effizienter zu gestalten.

Bedarf 3.2: CO₂-Fußabdruck von Bleibatterien

Es ist eine Norm für die Berechnung des CO₂-Fußabdrucks für Lithium-Ionen-Batterien in der Entwurfsphase bei IEC/SC 21A „Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes“ (IEC 63369-1 Ed.1 gremieninterner

Entwurfsstatus (CD)) [153]. Mit Erscheinen der IEC Norm ist Ende 2024 zu rechnen. Diese sollte darauf überprüft werden, ob sie dem Leitfaden von IEC/TC 111 „Environmental standardization for electrical and electronic products and systems“ entspricht (Projekt IEC 63372 ED1) [154]. Darüber hinaus gibt es einen Bedarf nach einer Norm zur Ermittlung des CO₂-Fußabdrucks von Bleibatterien.

Reuse

Reuse bedeutet die Wiederverwendung einer Batterie, die kein Abfall ist, für die gleiche bestimmungsgemäße Verwendung, für welche sie konzipiert wurde und auch schon im Einsatz war. Dabei muss die Batterie als Ganzes unverändert wiederverwendet werden. Dies stellt sicher, dass die Konformität der Batterie erhalten bleibt. Es kann bei einer Wiederverwendung aber durchaus zu einem Besitzer*innen-/Eigentümerwechsel kommen, bei dem Nutzungshistorie und Zustand (SoH) der Batterie z. B. zur Wertbestimmung, relevant sind. In der kommenden BattVO wird das Thema Reuse, abweichend vom Vorschlag der Kommission, möglicherweise nicht mehr enthalten sein. Hintergrund ist, dass das Produkt „Batterie“ nicht verändert wird und sich somit keine neuen Anforderungen ergeben. Ein Normungsbedarf zur Bestimmung des SoH besteht aber weiterhin. Auf eine Umnutzung von einzelnen Zellen sollte aktuell verzichtet werden. Erst wenn entsprechende Informationen über den Zustand einzelner Zellen vorhanden sind, ist deren Umnutzung überhaupt denkbar. Darüber hinaus müssen Informationen über die Zellchemie und z. B. Betriebsfenster und Charakteristika bekannt sein. Dadurch entstehen Bedarfe, die teilweise noch im Rahmen der Forschung liegen.

Bedarf 3.3: Normen zum Digitalen Batteriepass für Reuse (siehe auch Bedarf 3.19)

Im Rahmen der Normung gibt es Aspekte, die die Wiederverwendung einer Batterie unterstützen können. Besonders wichtig für einen Zweitnutzenden sind Informationen über Zusammensetzung und Aufbau, aber auch zur Nutzungshistorie. Einige wichtige Informationen können über eine dauerhafte Kennzeichnung weitergegeben werden. Für andere wiederum ist ein Digitaler Produktpass (DPP) vonnöten.

Bedarf 3.4: Normen zu Zustandsdaten

Der Zugang zum BMS bzgl. der Nutzungshistorie und des Zustands (SoH) der Batterie bei Weiterverwendung sind essenziell. Berücksichtigt werden muss dabei immer, dass personenbezogene Daten zu löschen sind. Designhinweise für einen

Ausbau und eine erneute Installation sind mit dem Produkt im Idealfall über einen Digitalen Batteriepass zu verknüpfen.

Bedarf 3.5: Festlegung von Sicherheitsgrenzen zum Reuse

Darüber hinaus ist zu überlegen, ob für Batterien in verschiedenen Anwendungen unterschiedliche Bedingungen und Kriterien festgelegt werden müssen, wann es im Rahmen des „Reuse“ sicherheitskritisch wird. Der Einsatz einer 12-V-Starterbatterie bspw. in einem anderen Fahrzeug ist deutlich unkritischer als der Austausch einer Traktionsbatterie in einem Elektrostraßenfahrzeug. Es kann also je nach Anwendung deutlich mehr Anforderungen und Einschränkungen geben, wenn man die Batterie wiederverwenden möchte.

Repair

Reparatur findet Anwendung, wenn ein fehlerhaftes oder defektes Produkt wieder benutzbar gemacht wird, um seine ursprüngliche Funktion zu erfüllen. Dabei werden bei Batterien Änderungen am Originalprodukt vorgenommen, sodass diese ihre Typgenehmigung verlieren. Der Entwurf der BattVO sieht vor, dass grundsätzlich die Möglichkeit zur Reparierbarkeit eines Produktes, auch durch „unabhängige Wirtschaftsakteure“, gegeben sein muss und zudem erleichtert werden soll. In der Begründung wird auf Umweltvorteile und Ressourceneinsparungen durch Entfernbarkeit und Austauschbarkeit von Gerätebatterien hingewiesen.

Beispielhaft ist der Fall der Reparatur eines BESS zu betrachten: Ein BESS besteht aus einer Vielzahl von mechanischen, elektromechanischen, elektrischen, elektronischen und elektrochemischen diskreten Komponenten. Diese Komponenten unterliegen unterschiedlichen, aber bekannten Alterungs- und Verschleißmechanismen, die einen nicht mehr effizienten Betrieb oder einen Totalausfall bewirken können. Die effiziente Nutzbarkeit eines BESS kann deutlich verlängert werden, wenn man die Komponenten, bei welchen eine hohe Ausfallwahrscheinlichkeit oder Verschleißanfälligkeit diagnostiziert wurde, einfach austauschbar gestaltet. Dazu müssen diese Komponenten mit entsprechenden mechanischen und elektrischen Schnittstellen versehen sein, damit diese zerstörungsfrei vom übrigen Produkt getrennt werden können. Das Austauschen einzelner Batteriezellen oder verschalteter Zellverbände geht jedoch mit der Gefahr einher, dass große Ungleichgewichte in Bezug auf Alterungszustand und verbliebene Kapazität in dem gesamten Zellverbund entstehen, was sich auf den Gesamtzustand der Batterie auswirken kann.

Auf Modul- und Systemebene wird die Reparierbarkeit bzw. Austauschbarkeit nach Stand der Technik im Allgemeinen als sinnvoll angesehen. Batteriespeicher auch auf Zellebene reparierbar zu machen, so wie in der BattVO vorgesehen, wird dagegen kritisch gesehen, auch wenn dadurch eine hohe Materialeffizienz erreicht werden könnte. In der Praxis müssen die Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen werden, da dies auch einen hohen logistischen Aufwand mit sich bringen würde.

Derzeit gibt es keinen soliden technischen Rahmen für die Reparatur von Batterien, der auf die Typgenehmigung von Batterien abgestimmt ist und damit auf klar definierte Teilanforderungen, Produkt-/Produktionsprozessqualitäten, Produktverantwortlichkeiten, Zertifizierungen und Transport-sicherheitsaspekte sowie Sicherheitstests von Batterien. Ohne diesen Rahmen kann jede Art von Batteriereparatur zum Verlust der Typgenehmigung und auch zu unkontrollierten, potenziell unsicheren Situationen während des Gebrauchs führen.

Für den Originalhersteller von Batterien kann es aus Sicht der Produktsicherheit, für den Transport als Gefahrgut und vor allem in Haftungsfragen problematisch sein, wenn Reparaturen von unabhängigen Wirtschaftsakteur*innen durchgeführt werden können. In einem solchen Fall kann der Originalhersteller einer Batterie die Produkthaftung möglicherweise nicht weiter übernehmen. Es gibt derzeit im Allgemeinen keine expliziten Regeln für Reparatur- und Wiederaufarbeitungsdienste, um mit den ursprünglichen herstellenden Unternehmen zusammenzuarbeiten oder die Batterie sogar neu zu zertifizieren. Für den Fall, dass jeder unabhängige Marktteilnehmende eine Batterie reparieren darf, sind dafür klare Voraussetzungen zu schaffen, welche in angemessener Weise berücksichtigen, dass die Batterie eine sicherheitskritische Komponente ist.

Bedarf 3.6: Sicherheitsnormen zum Austausch von Batteriemodulen und -zellen

Das Ersetzen einzelner Zellen oder Module kann bei bestimmten Batterietypen, sofern nicht sachgemäß durchgeführt, gefährliche Folgen haben. Daher sind normative Vorgaben erforderlich, wie und unter welchen Bedingungen ein Austausch einzelner Module oder sogar Zellen erfolgen kann. Es müssen mindestens Informationen über den Zellhersteller und den Zelltyp vorliegen. Es muss sichergestellt werden, dass ausschließlich vom herstellenden Unternehmen zugelassene Zellen eingesetzt werden, weil es sonst zu gefährlichen Betriebszuständen kommen kann und die Batterie nicht mehr

normkonform wäre. Darüber hinaus müsste das herstellende Unternehmen den „unabhängigen Wirtschaftsakteuren“ Informationen zur Verfügung stellen, die genau darauf hinweisen, welche Module, unter welchen Bedingungen, wie ausgetauscht werden können und wann nicht. Hier dürfen keine Sicherheitslücken entstehen.

Bedarf 3.7: Normen zum mechanischen und elektrischen Design von Energiespeichern

Es sollen Anforderungen an das mechanische und elektrische Design von Batteriespeichern beschrieben werden, die ein zerstörungsfreies Austauschen von Komponenten ermöglichen. Bei den Komponenten sollen diejenigen identifiziert werden, die mit einiger Wahrscheinlichkeit während der Lebensdauer der Batteriespeicher ausfallen oder durch Verschleiß den sicheren und/oder effizienten Betrieb nicht mehr ermöglichen. Die Eigenschaften der auszutauschenden Komponenten müssen von deren herstellenden Unternehmen bzw. Inverkehrbringenden insofern offengelegt werden, dass adäquate Ersatzkomponenten beschafft werden können.

Bedarf 3.8: Normen zu Zustandsdaten für eine bessere Reparierbarkeit (siehe auch Bedarf 3.3)

Weiterhin müssen zur Reparierbarkeit von Modulen Daten über den State of Health (SoH) sowie über den State of Safety aller einzelnen Zellen vorliegen. Diese Zustände gilt es, zuerst normativ zu definieren. Die Informationen dazu lassen sich derzeit jedoch nicht unter wirtschaftlichen Bedingungen ermitteln. Hierbei können Normen helfen, die Sammlung von Daten zu erleichtern und effizienter zu gestalten.

Bedarf 3.9: Normen zum Digitalen Batteriepass für Reparaturen (siehe auch Bedarf 3.19)

Normen müssen sowohl die Sicherheits- als auch die Performancebedingungen zur Reparatur beschreiben. Dazu müssen alle notwendigen Informationen zur Reparatur beschrieben werden und auch die Reparatur selbst muss in den mitgegebenen Informationen zur Batterie dokumentiert werden. Hierzu wäre ein Digitaler Batteriepass ein geeignetes Mittel.

Bedarf 3.10: Normen zu mechanischen und elektrischen Prüfungen

Es sollen geeignete mechanische und elektrische Prüfungen beschrieben werden, die ein sicheres Betreiben reparierter Batterien und Batteriespeicher gewährleisten.

Refurbish

Refurbish bezeichnet die Aufarbeitung nicht sicherheitsrelevanter Komponenten einer Batterie zur Erreichung eines bestimmten vorherigen Leistungsniveaus. Die Batterie wird danach in der gleichen Anwendung weiterverwendet. Bei der Aufarbeitung können Softwareupdates im BMS durchgeführt werden oder verschlissene (nicht defekte) Teile durch vom Originalhersteller freigegebene Ersatzteile ersetzt werden. Damit kann die Einsatzdauer einer Batterie verlängert werden, denn das Leistungsniveau einer Batterie wird im Wesentlichen durch den Alterungszustand des Zellverbundes bestimmt.

Bedarf 3.11: Sicherheitsnorm mit zerstörungsfreien Prüfverfahren

Es sollen geeignete Prüfungen beschrieben werden, die ein sicheres Betreiben aufbereiteter Batteriesysteme gewährleisten. Dazu müssten die heutigen zerstörenden Prüfungen durch zerstörungsfreie ersetzt werden, sodass die Typprüfungen, die auf Stichprobenahme basieren, durch Stückprüfungen ersetzt werden können, die an jeder Zelle und jedem Zellverbund durchgeführt werden können.

Remanufacture

Beim Vorgang der Wiederaufbereitung (Remanufacturing) einer Batterie werden Teile der Batterie verändert, um ihre ursprüngliche Leistungsfähigkeit wieder zu erreichen. Es können auch nur Teile einer Batterie in einer anderen verwendet werden oder eine Batterie aus Teilen anderer Batterien neu zusammengesetzt werden. Dabei werden Funktionalitäten verändert und sicherheitsrelevante Teile ausgetauscht mit Verfahren, die vom Originalhersteller nicht freigegeben sind. Das ursprüngliche Produkt bleibt dabei nicht erhalten, sodass die Konformitätserklärung erneuert werden muss. Es entsteht ein neues Produkt, wofür der Remanufacturer die Gewährleistung übernehmen muss, und dies sollte aus der Kennzeichnung klar hervorgehen.

Bedarf 3.12: Normen zur modularen Bauweise von Batterien

In der Normung können mehrere Aspekte berücksichtigt werden, um Remanufacturing zu ermöglichen: Die Gestaltung der Batterie als modulare Einheiten auf verschiedenen Ebenen vereinfacht die Wiederverwendung der einzelnen Teile. Dies kann wiederum einen höheren CO₂-Fußabdruck der gesamten Batterie bedeuten, sodass dies normativ im Rahmen einer Lifecycle-Betrachtung zu berücksichtigen ist.

Um modulare Einheiten sicher weiterzuverwenden, sind auch die Schnittstellen wie Datenaustausch, Stecker usw. entscheidend. Diese sind im Rahmen der Normung somit übereinstimmend zu definieren.

Bedarf 3.13: Norm zur Eignungsprüfung gebrauchter Bauteile

Wenn gebrauchte Bauteile einer Batterie weiterverwendet werden, müssen Eignungsprüfungen definiert werden, denn die Batterieprüfung basiert bisher auf Typprüfungen. Dazu müssen Anforderungen an die Verwendbarkeit der Bauteile in einer anderen Batterie festgeschrieben werden. Zusätzlich entstehen neue Anforderungen an das Inverkehrbringen eines wiederaufbereiteten, aber dennoch neuen Produktes. Wiederaufbereitete Produkte müssen damit mindestens die gleichen Prüfanforderungen erfüllen wie neue Produkte auf dem Markt. Zusätzlich wäre eine geeignete Zertifizierung von einzelnen Bauteilen (Composite Certification) denkbar.

Repurpose

Bei der Umnutzung einer Batterie wird eine vollständige und unveränderte Batterie oder eine unveränderte, gegebenenfalls zertifizierte Untereinheit in einer anderen Anwendung bzw. zu einem anderen Zweck eingesetzt als die/den, für welche/n sie konzipiert wurde. Der häufigste Anwendungsfall für eine Umnutzung ist die Nutzung von ursprünglich für den Einsatz in Elektrostraßenfahrzeugen geplanten Batteriepacks oder Modulen in stationären Anwendungen. Dabei muss sichergestellt werden, dass die Batterie die Sicherheitsanforderungen der neuen Anwendung erfüllt, denn diese können sich von denen im ursprünglich geplanten Einsatz deutlich unterscheiden. Deshalb müssen Sicherheitsanforderungen festgelegt werden, die Batterien in der neuen Anwendung erfüllen müssen. Wenn es um die Umnutzung einzelner Zellen innerhalb eines Moduls oder einer Batterie geht, ist im Auge zu behalten, dass es sich um eine Kombination mit anderen R-Strategien wie „Remanufacturing“ oder „Repair“ handeln kann.

Bedarf 3.14: Normen zum 2nd Life

Ein Teil des Ansatzes wurde im Entwurf der VDE Norm 0510-100 „Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien aus dem Fahrzeugbereich für den Einsatz in ortsfesten Anwendungen“ [50] bereits umgesetzt, wenn es sich um den einfachsten Fall, also um neue, noch nicht gebrauchte Batterien oder Untereinheiten handelt. Deutlich schwieriger wird es, die Sicherheitsprüfungen für gebrauchte Batterien und Unter-

einheiten (2nd Life) festzulegen. Dazu ist die Bestimmung des SoH und die Kenntnis und Bewertung von Alterungserscheinungen notwendig. Hierzu werden im Normungsgremium DKE/K 371 [156] derzeit Kriterien evaluiert, die dann in einer Norm behandelt werden müssen. Weiterhin müssen dann die Qualität der Komponenten, Zertifizierungsaspekte und Auswirkungen auf die Gültigkeit der nach dem Gefahrguttransportrecht erforderlichen Prüfbescheinigungen dieser gebrauchten Batterien beachtet werden.

Recycle

Das Recycling bezeichnet die Rückgewinnung von Materialien aus Abfallprodukten, sodass diese verwertet werden können. Im Falle von Batterien beginnt der Recyclingprozess oftmals mit einer physikalischen oder chemischen Zerkleinerung der gesamten Batterie. Dabei entsteht ein meist feingranularer Rohstoffmix, dessen Zerlegung in die Ausgangsmaterialien zur Herstellung neuer Batterien energetisch aufwändig ist und eine ungenügende Rückgewinnungsquote aufweist. Außerdem kann das Zerkleinern je nach Batteriechemie ein Sicherheitsrisiko darstellen.

Die Effizienz beim Recycling ließe sich wesentlich steigern, wenn eine Batterie oder ein Batteriespeichersystem mit geringem Aufwand in einzelne Komponenten zerlegt werden könnte. Die diskreten Komponenten könnten dann dem für sie jeweils am besten geeigneten Recyclingverfahren zugeordnet werden bzw. könnten bei entsprechender Eignung in einen „Reuse“- oder „Repurpose“-Zyklus überführt werden. Um dies zu erreichen, müsste die Zerlegbarkeit von Batterien und BESS deutlich erleichtert werden, ohne einen sicheren Betrieb zu gefährden. Darüber hinaus müssen die Eigenschaften der diskreten Komponenten von den herstellenden Unternehmen bzw. Inverkehrbringende insofern bekannt gemacht werden, dass ein möglichst spezifischer Recyclingprozess ermöglicht wird.

Eine Circular Economy setzt voraus, dass Stoffe aus Altprodukten wieder in Neuprodukte eingesetzt werden können. Um dieses Schließen von Kreisläufen zu forcieren, sieht die neue BattVO aller Voraussicht nach Rezyklateinsatzquoten für Neubatterien vor.

Angesichts des anhaltend starken Marktwachstums, insbesondere bei Traktionsbatterien, wird die Erfüllung von Rezyklateinsatzquoten zur Herausforderung. Schließlich stehen Rezyklate aufgrund der langen Lebensdauer von Batterien

erst mit mehrjährigem Zeitverzug zur Verfügung. Dieser Effekt wird durch Ausweitung der Reparierbarkeit und von 2nd Use noch verstärkt. Umso wichtiger ist es, Altbatterien einem Recycling zuzuführen.

Bedarf 3.15: Kennzeichnung von Batterien für Recyclingzwecke

Wichtig für einen sicheren Recyclingprozess ist die Angabe der Batteriechemie. Ein entsprechendes Label für Sekundärbatterien wurde bereits in der Norm DIN EN IEC 62902 [315] festgelegt. Die farbliche Kennzeichnung und damit die schnelle Sichtbarkeit der Batteriechemie soll optional bleiben. Hier müssen Aufwand und Nutzen abgewogen werden. Der Parlamentsentwurf der BattVO sieht jedoch eine entsprechende Farbcodierung zum Batterietyp und dessen Zellchemie vor.

Bedarf 3.16: Zerlegbarkeit

Es soll normativ beschrieben werden, dass Batterie-Energiespeichersysteme nach ihrer Nutzungszeit bis auf eine sinnvolle Komponentenebene zerlegbar gestaltet werden. Die Komponentenebene soll so gewählt werden, dass auf die einzelnen Komponenten spezifische und effiziente Recyclingprozesse angewendet werden können.

Bedarf 3.17: Normen zum Digitalen Batteriepass (siehe auch Bedarf 3.19)

Ein Digitaler Batteriepass hilft, verschiedene für das Recycling wichtige Daten und Hinweise, z. B. auch über die Zerlegbarkeit, mitzugeben.

Bedarf 3.18: Verfügbarkeit von Rezyklaten

Die Normung kann dabei helfen, Qualitätsanforderungen an Rezyklate festzulegen, dadurch die Verlässlichkeit des Einsatzes von Rezyklaten zu stärken und damit die Entwicklung von Recyclingkapazitäten und von Märkten für Rezyklate zu unterstützen.

Digitaler Batteriepass

Um den Anforderungen der zirkulären Wertschöpfung gerecht zu werden, ist es an vielen Stellen auf dem Lebensweg der Batterie notwendig, bestimmte Informationen vorliegen zu haben. Um diese vielfältigen Informationen zur Batterie an den entscheidenden Stellen verfügbar zu haben, ist es sinnvoll, den Lebensweg einer Batterie in einem elektronischen Produktpass zu dokumentieren bzw. die notwendigen Daten unkompliziert und dennoch sicher abrufbar digital zu hinterlegen. Aus diesem Grund wird auch die kommende BattVO

Forderungen zu einem solchen Digitalen Produktpass enthalten, der wichtige Daten zum CO₂-Fußabdruck, zur Lieferkette, aber auch zur Identität der Batterie und ihrer Komponenten sowie deren Zustand enthalten soll. Da es bislang noch kein vergleichbares Verfahren zur Dokumentation eines Produktlebensweges gibt, kann ein solcher Digitaler Batteriepass als Pilotprojekt für einen generellen Produktpass angesehen werden (siehe Kapitel 3.3) und Normungsbedarfe 1.7–1.13 und 1.15, 1.16 und 1.22).

Bedarf 3.19: Normen zum Digitalen Batteriepass

Es gibt entsprechend einen großen Bedarf, die zugrunde liegenden Informationen eines Batteriepasses und den Datenaustausch standardisiert festzulegen und somit technische wie auch rechtliche Fragestellungen im Rahmen der Normung zu klären. Es wäre wünschenswert, wenn der Digitale Batteriepass im Rahmen eines allgemeinen Produktpasses integriert werden könnte. Für weiterführende Informationen wird auf das Querschnittskapitel „Digitaler Produktpass“ verwiesen.



2.4

Verpackungen

2.4.1 Status quo

Verpackungen sind aus Sicht einer Circular Economy mit einer Reihe besonderer Herausforderungen verbunden: Einerseits tragen Verpackungen dazu bei, die in ihnen transportierten Produkte zu schützen und somit beispielsweise das Aufkommen von Lebensmittelabfällen zu reduzieren. Andererseits sind die heute genutzten Verpackungssysteme überwiegend linear ausgerichtet: Nach der ersten Nutzung werden sie zu Abfall, der je nach Material unterschiedlich gut oder schlecht recycelt und in den Kreislauf zurückgeführt werden kann. In Deutschland allein fallen jedes Jahr fast 19 Millionen Tonnen an Verpackungsabfällen an, davon etwa acht Millionen Tonnen Papier, Pappe und Karton und je drei Millionen Tonnen aus Kunststoffen, Glas und Holz. Diese Menge hat sich in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich erhöht, für Kunststoffverpackungen mehr als verdoppelt [157].

Im Rahmen des Schwerpunktthemas „Verpackungen“ wurden unterschiedliche Strategien und Ansätze diskutiert, Verpackungssysteme zirkulär zu gestalten: Angefangen beim Design der Verpackung und der Gestaltung zirkulärer Infrastrukturen der Sortierung und Verwertung bis hin zur Konformität des Einsatzes von Rezyklaten. Ebenso wurden fehlende Normen für die Bereiche Mehrweg und Unverpackt identifiziert, die

den Einsatz solcher Konzepte in der Praxis bislang erschweren oder verhindern. Angesichts des breiten Spektrums möglicher Ansätze lag ein besonderer Fokus auf Normungsbedarfen für die Nachhaltigkeitsbewertung unterschiedlicher Verpackungslösungen. Die Analysen und Diskussionen in den einzelnen Unterarbeitsgruppen verdeutlichen die zentrale Rolle, die Normen und Standards zur Stärkung zirkulärer Verpackungssysteme zukünftig zukommen.

Auswertung der Normenrecherche

Die Arbeitsgruppe Verpackungen hat die Normenrecherche zur Circular Economy (siehe Kapitel 1.6.2) der DIN, DKE und VDI anhand der neun R-Strategien ausgewertet. Zusätzlich wurden die Themen CO₂-Fußabdruck und Digitaler Produktpass identifiziert. Insgesamt waren 292 von 2101 Normen und Dokumenten relevant für die Arbeitsgruppe.

Interpretation

Insgesamt gibt es viele relevante Ergebnisse für zirkuläre Verpackungen. Der Großteil der Normen wirkt im Bereich Recycling, einem klassischen Bereich der Circular Economy, oder sind allgemein gültige Ergebnisse. Danach folgen „Reuse“, Normen zum Digitalen Produktpass im weiteren Sinne und Normen zur Erfassung eines CO₂-Fußabdrucks. Einige, vor allem höherwertige Strategien, haben kaum oder keine Abbildung im Normenwerk für Verpackungen.

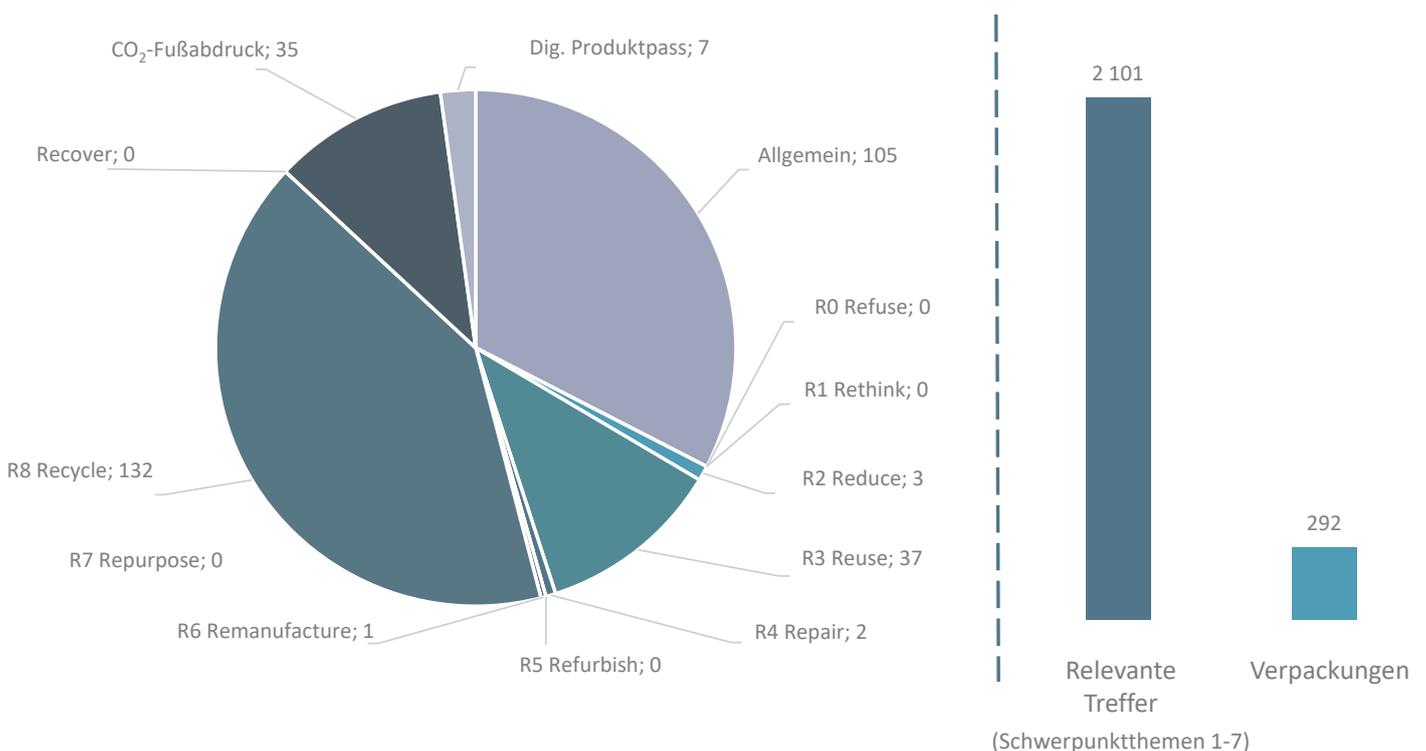


Abbildung 20: Aufgliederung nach R-Strategien (Quelle: DIN)

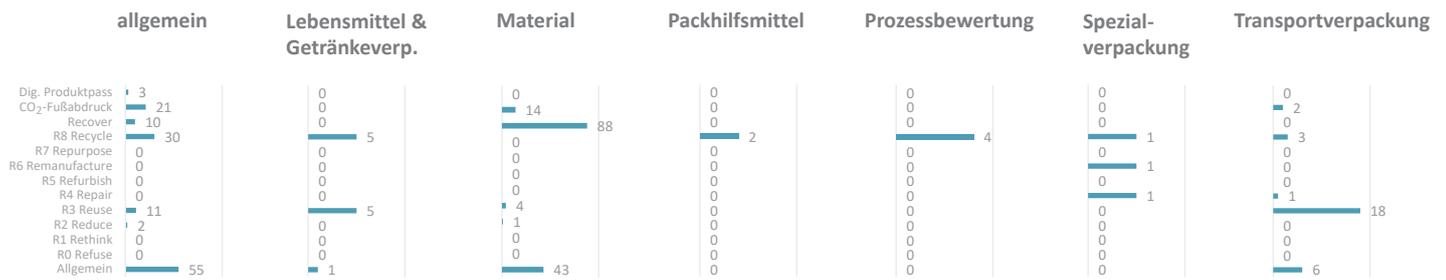


Abbildung 21: Aufgliederung nach R-Strategien und Produktgruppen (Quelle: DIN)

Aufgliederung nach Produktgruppen und R-Strategien

Im bestehenden Normenwerk ist keine Systematik zu den gängigen Strategien der Circular Economy erkennbar, so sind z. B. kaum Normen zu „Rethink“, „Refuse“ und „Reduce“ vorhanden. Die Strategien „Repair“ und „Reuse“ sind in vereinzelt Produktgruppen vertreten. Anwendungen für andere Produktgruppen sind zu prüfen. Es gibt eine hohe Anzahl der Recycling-Normen im Verpackungssektor. Festzustellen ist auch, dass keine durchgängige produktgruppenspezifische Normung im Bereich Circular Economy erkennbar ist. Das Fazit ist: Es gibt viele blinde Flecken in der Normungslandschaft und genauere Analysen für zirkuläre Verpackungen sind erforderlich.

2.4.2 Anforderungen und Herausforderungen

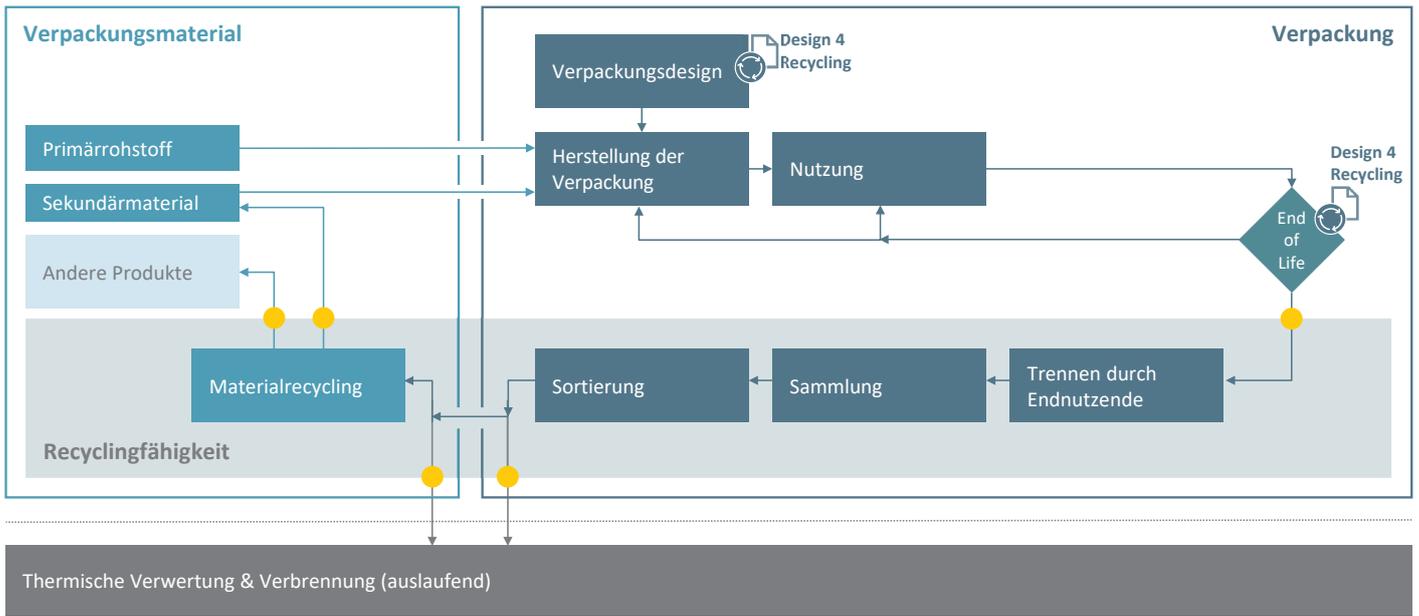
Design 4 Recycling/Recyclingfähigkeit

Für eine funktionierende Circular Economy im Bereich Verpackungen ist die Recyclingfähigkeit von großer Bedeutung. Dabei steht Design 4 Recycling vor der eigentlichen Verpackungsentwicklung und die Bewertung der tatsächlichen Recyclingfähigkeit eher am Ende des Lebenszyklus. Im nachfolgenden Schaubild wird der Verpackungskreislauf in Europa in abstrahierter Form dargestellt. In diesem wird ersichtlich, wie die Recyclingfähigkeit und das Design 4 Recycling in Bezug auf Verpackungsmaterialien und Verpackungsprodukte zusammenhängen.

Die Recyclingfähigkeit und die recyclingfähige Gestaltung von Verpackungen (Design 4 Recycling) sind komplexe Themenfelder, die im Querschnittskapitel Recyclingfähigkeit (siehe Kapitel 3.5) detailliert betrachtet werden. Die nachfolgende Grafik sowie die daran anschließenden ergänzenden Ausführungen stellen die Komplexität der Recyclingfähigkeit anhand von acht Aspekten dar, die einzeln wie auch in Abhängigkeit voneinander für die Recyclingfähigkeit in Erwägung gezogen werden sollten.

Werden die unterschiedlichen Verpackungsmaterialien betrachtet, existieren für die gängigen Materialfraktionen, wie z. B. Papier, Pappe und Karton, bereits funktionierende Recyclinginfrastrukturen, die auf einschlägigen Normen basieren. In der Materialfraktion Kunststoffe gibt es aktuell eine große Dynamik, aus der auch diverse Normungen entwickelt werden. Allerdings stellen auch Papierverbundverpackungen, die derzeit oftmals als Ersatz für Kunststoffverpackungen eingesetzt werden, Herausforderungen im Recycling dar. In diesem Bereich gibt es verschiedene Bemühungen, einheitliche Regelungen zu schaffen, um eine einheitliche Bewertung der Recyclingfähigkeit von Papierverbundverpackungen zu erarbeiten. Zudem ist dieses Feld von verschiedenen Beteiligten und Stakeholder geprägt, die unterschiedliche Interessen an der Recyclingfähigkeit von Verpackungen haben. So können Interessenskonflikte zwischen Marketing, Produktschutz und Design 4 Recycling eine Herausforderung für einheitliche Richtlinien sein. Werden die existierenden Tools und Labels zur Bewertung der Recyclingfähigkeit betrachtet, berücksichtigen diese unterschiedliche Aspekte (z. B. Länderkontext und deren Infrastruktur und Verpackungsmaterial) sowie unterschiedliche Metriken und tragen somit zur Komplexität oder Unstimmigkeit bei.

Die formulierten Normungsbedarfe zu Recyclingfähigkeit und Design 4 Recycling sollten gegebenenfalls auch von Gesetzgebern mitgetragen oder verpflichtend werden, indem diese an die Lizenzentgelte gekoppelt werden. Eine übergeordnete „Design 4 Recycling“-Leitfaden kann auch als Grundlage für regionale Vorgaben zur Bewertung der Recyclingfähigkeit herangezogen werden (wie z. B. der Mindeststandard für die Recyclingfähigkeit von Verpackungen in Deutschland [159]). Erst durch eine Verknüpfung der Lizenzentgelte an diese Vorgaben kann eine nachhaltige Wirkung erreicht werden, was in Deutschland über den § 21 im VerpackG [158] umgesetzt wird. Gesetzgebende sollten alle Möglichkeiten ausschöpfen, europaweit einheitliche Vorgaben zu machen, um sicherzustellen, dass Design 4 Recycling und die Recyclingfähigkeit angemessen eingesetzt werden.



■ Material ■ Produkt ● Normungsbedarf

Abbildung 22: Vereinfachte Prozessdarstellung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen in Europa (Quelle: DIN)



Abbildung 23: Vereinfachte Darstellung der Komplexität, die die Bewertung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen beeinflusst (nicht vollständig) (Quelle: DIN)

Nachhaltigkeitsbewertungen

Die Bewertung der Nachhaltigkeit von Verpackungen ist ein herausforderndes und vielfältiges Themenfeld, das durch dessen Komplexität zu Irritationen in der Wirtschaft und bei Konsumierenden führt. Dies beginnt bei unterschiedlichen Definitionen von Nachhaltigkeit und zieht sich über zahlreiche existierende Methoden, die Rahmensetzung der Nachhaltigkeitsbetrachtung bis hin zu geeigneten Datenquellen und deren Verfügbarkeit in den unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette. Viele Methoden der Nachhaltigkeitsbewertungen fokussieren sich auf bestimmte Rohstoffe oder bestimmte Produktanwendungen. Verpackungen aus unterschiedlichen Materialien oder mit unterschiedlichen Lebenszyklen wie Einweg oder Mehrweg werden mit sehr verschiedenen Methoden und Standards bewertet. Dies führt zu nicht vergleichbaren Ergebnissen und damit zu Aussagen über die Nachhaltigkeit einer Verpackung, die jedoch nicht auf einem methodischen und vergleichbaren Ansatz beruhen.

Bei der Auseinandersetzung mit dem Thema Nachhaltigkeitsbewertungen sind Normen, Standards und Gesetze einzubeziehen. Dies sind unter anderem bestehende Normen für Bewertungen im umweltrelevanten Bereich wie die DIN EN ISO 14040, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen [80], die DIN EN ISO 14044, Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen [81] sowie im sozialen Bereich die Regeln der ILO (International Labour Organisation) [163]. Zudem sollten auch aktuelle Entwicklungen wie die Erarbeitung der VDI 4095, Bewertung von Kunststoffen in der Kreislaufwirtschaft [164], die Aktivitäten zum Digitalen Produktpass oder die Initiative on Substantiating Green Claims der EU [165] in die Betrachtung einbezogen werden. Spezifischere Regelwerke, z. B. für die Bewertung/Zertifizierung von biobasierten, kompostierbaren, rezyklierbaren Einwegverpackungen (wie der Mindeststandards [159]) und solchen, die Rezyklate enthalten, sind auch für Mehrverpackungen anwendbar. Sie bilden aber die Spezifika der mehrfachen Nutzung nur unzureichend ab. Ökobilanzen nach DIN EN ISO 14040 [80] und DIN EN ISO 14044 [81] lassen viel Interpretationsfreiraum. Der auf EU-Ebene entwickelte PEF (Product Environmental Footprint) [166] versucht, durch Category Rules diesen Interpretationsfreiraum einzuschränken. Ob der PEF die Vergleichbarkeit verbessert, ist strittig. Grundsätzlich sollte in einem ersten Schritt eine Standardisierung der Kriterien für die Nachhaltigkeitsbewertung von Verpackungen erfolgen. Dabei sollte eine gleichwertige Betrachtung aller Kriterien aller drei Säulen im Fokus stehen, ohne dass bereits a priori eine Gewichtung einzelner Wirkungen erfolgt.

Aktuell existiert noch keine umfassende Bewertungsmatrix zur Einschätzung der Nachhaltigkeit von Verpackungen. Bei der Betrachtung sollten daher Schnittstellen zu anderen Themen, Bewertungen und Beurteilungen einbezogen werden, z. B. die Kommunikation in der gesamten Wertschöpfungskette, die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen, die Offenlegung der Bewertungskriterien sowie Gesetzeskonformität. Bisher werden im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertungen von Verpackungen nicht alle R-Strategien umfänglich betrachtet. „Reuse“, „Repair“ und „Refurbishment“ sowie die Langlebigkeit sind bisher meist noch unterrepräsentiert. Es bestehen Defizite bei der Definition der sog. funktionellen Einheit bzw. des gesamten zu betrachtenden Verpackungssystems, die sich besonders beim Vergleich von Einweg- mit Mehrwegsystemen auswirken. An der geeigneten Berücksichtigung der Effekte bei Kaskadennutzung/Downcycling oder nicht verwertbaren Anteilen wird aktuell geforscht. Aktuell werden bereits das Recycling von Kunststoffen und die Verwertung mit Energienutzung (Abfallverbrennung) bei der Bilanzierung als „Gutschrift“ berechnet. Dabei werden allerdings die konkreten Materialströme in die nachfolgenden Anwendungsfelder bisher kaum erfasst, bedingt durch Datenmangel und großen Bilanzierungsaufwand. Auch die temporäre Speicherung von atmosphärischem CO₂ in Verpackungsmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen wird betrachtet, allerdings nicht mit einheitlichen Methoden. Erst in Ansätzen werden unterschiedlich hohe Lebensmittelverluste bei unterschiedlichen Verpackungssystemen erfasst und entsprechend berücksichtigt [168]. Weitere übergreifende Aspekte werden im Querschnittsthema Nachhaltigkeitsbewertung (siehe Kapitel 3.1) betrachtet.

Zirkulare Support- und Infrastrukturen

Als zirkuläre Support- und Infrastrukturen werden alle technischen Maßnahmen und Einrichtungen bezeichnet, welche bei der Erfassung, dem Transport sowie der Sortierung von Verpackungen, unter anderem am Ende des Lebenszyklus, eingesetzt werden und die Wiederverwendung im Sinne der Circular Economy unterstützen.

Aktuell werden Verpackungen in Sortier- und Recyclinganlagen mittels ortsfester Sensorik (z. B. Nahinfrarotspektroskopie) verwertbaren Stoffströmen zugeordnet. Erste Lösungen, bei denen die Verpackung selbst bereits eine Identifikationsmöglichkeit zur Unterstützung der Zuordnung mitbringt, sind bereits im Projektstatus bzw. kurz vor der Marktreife. Hierbei handelt es sich jedoch zumeist um proprietäre Lösungen, welche nur in einem fest definierten „Ökosystem“ (Kennzeichnung/Sensorik/Produktpass-Datenbank) nutzbar

sind. Für Sortieranlagenbetreibende sind daher durch die Notwendigkeit des Betriebs von mehreren Systemen parallel hohe Aufwände zu erwarten. Inwiefern eine technische und inhaltliche Interoperabilität der Datenbanken für Produktpässe gegeben ist, kann derzeit nicht eingeschätzt werden. Zudem sind bei der inhaltlichen Beschreibung von Produktpässen in den Datenbanken aktuell noch keine Vorgaben für Mindestanforderungen zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft enthalten. Es ist erfahrungsgemäß zu befürchten, dass sich ohne Mindestanforderungen an die Interoperabilität eine Vielzahl von Produkten etabliert, welche auf reine Insellösungen in der Hoffnung eines zukünftigen marktbeherrschenden Standards setzen.

Ohne regulatorische Vorgaben zur Kennzeichnung, zu den Inhalten und dem Datenformat sowie zur Hinterlegung von Produktpässen ist aufgrund der notwendigen Anfangsinvestitionen insbesondere aufseiten der Inverkehrbringenden kaum Anreiz zu erwarten. Auch die unterschiedlichen Erfassungssysteme der Kommunen ohne allgemeine Grundanforderungen machen die Entwicklung von „Ökosystemen“ aus Kennzeichnungssystemen, Sensorik und Produktpass-Datenbanken unnötig komplex.

Konformität mit Regelungen für den Produktkontakt

Konformität wird einseitig erklärt und bestätigt die Übereinstimmung eines Produktes in Bezug auf den Produktkontakt mit den geltenden Vorschriften, bezogen auf die angegebenen Verwendungsbedingungen. Dabei werden die Aussagen der Konformitätserklärung vom Abgebenden verantwortet und dieser somit zur Einhaltung verpflichtet. Zu beachten sind dabei insbesondere die unterschiedlichen Anforderungen an Primär-, Sekundär- und Tertiärverpackungen. Während bei Lebensmittelverpackungen insbesondere mögliche Auswirkungen der Verpackungen auf das verpackte Produkt betrachtet werden, sind beispielsweise bei Gefahrgutverpackungen alle Wechselwirkungen zwischen Produkt und Verpackung zu prüfen.

Aufgrund der großen potenziellen Auswirkungen ist die Konformität für den Produktkontakt bereits weitgehend in Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien und weiteren Vorschriften national und europäisch geregelt. Einige Beispiele sind nachfolgend aufgeführt:

→ Verordnungen, Richtlinien und Arbeitspapiere der Europäischen Kommission wie die Rahmenverordnung (EG) Nr. 1935/2004 [169] und die Kunststoffverordnung (EU) – Nr. 10/2011 [170]

→ Deutsche Gesetze und Empfehlungen wie das Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) [171] und die Bedarfsgegenständeverordnung (BGVO)

→ Resolutionen des Europarates wie Einfärbemittel für Kunststoffe – AP (89)1 [172] und Polymerisationshilfen für Kunststoffe – AP(92)2 [173]

Für nahezu alle Materialien und Stoffe zeigt sich, dass umfassende Regeln bestehen, wobei es deutliche Unterschiede hinsichtlich der Umsetzung gibt. Da insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen die Konformitätsarbeit aufgrund der Vielzahl der Regelungen äußerst komplex ist, haben vielfach Verbände und Vereinigungen Leitfäden zur erleichterten Anwendbarkeit erstellt und veröffentlicht.

Bei der Optimierung von Verpackungen hinsichtlich Rezyklateinsatz, Rezyklierfähigkeit und der Konformität, z. B. im Bereich Lebensmittelkontakt, kommt es zu einem kaum auflösbaren Zielkonflikt. Der vermehrte Einsatz von Rezyklat bedingt bei Lebensmittelkontaktmaterialien zumeist den Einsatz von zusätzlichen Schichten als funktionale Barrieren gegen die Migration unerwünschter Stoffe. Oft reduzieren diese Barrieren dann die Rezyklierfähigkeit der Verpackungen, wodurch geringerwertiges Rezyklat entsteht. Dabei wurde bisher die Wirksamkeit der Barrieren gegen die unerwünschte Migration nur vereinzelt geprüft (z. B. DIN SPEC 5010 [48]).

Ein Einsatz von Rezyklat in Lebensmittelkontaktmaterialien ohne Barriere zum Produkt ist, bis auf wenige Ausnahmen, nahezu ausgeschlossen. Bei Kunststoff hat die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit bisher nur Recyclingverfahren für PET ohne zusätzliche Auflagen freigegeben [182].

Der hohe Druck aus Politik und Lieferketten zum vermehrten Einsatz von Rezyklat bei gleichzeitig steigender Komplexität der Konformitätsarbeit führt zu erhöhtem Unterstützungsbedarf bei kleinen und mittelständischen Unternehmen der Verpackungsbranche. Gleichzeitig führt der zunehmende Einsatz von visuell hochwertigen rezyklierten Materialien ohne Lebensmittelkontakt-Konformität in der Produktion zu höheren Anforderungen bei der Verhinderung von Verwechslungen.

Gefahrgutverpackungen müssen für flüssige Füllgüter hinsichtlich der chemischen Verträglichkeit des Produktes mit dem Verpackungswerkstoff bewertet werden. Die Prüfverfahren sind teilweise langwierig und bisher steht dabei nicht

das Diffusionsverhalten, d. h., wie weit das Produkt in den Verpackungswerkstoff eindringt, im Vordergrund.

Auch für Gefahrgutverpackungen kann die Forderung nach einem verbindlichen Anteil an Rezyklat in einer Verpackung unter gleichzeitiger Vermeidung eines direkten Produktkontaktes technisch durch die Anwendung von Mehrschichtverfahren gelöst werden. Weitestgehend unbekannt ist jedoch das Migrations-/Diffusionsverhalten aus dem verpackten Gut in den Verpackungswerkstoff hinein, sodass derzeit nicht abschätzbar ist, ob mit vereinfachten Verfahren bei der Zulassung von Gefahrgutverpackungen, die im Mehrschichtverfahren produziert werden, ein akzeptables Sicherheitsniveau gewährleistet werden kann.

Mehrwegverpackungen, Unverpacktlösungen, E-Commerce

Eine Mehrwegverpackung ist laut § 3 (3) VerpG eine Verpackung, die dazu konzipiert und bestimmt sein muss, nach dem Gebrauch mehrfach zum gleichen Zweck wiederverwendet zu werden, und deren tatsächliche Rückgabe und Wiederverwendung durch eine ausreichende Logistik sowie durch ein geeignetes Anreizsystem – in der Regel durch ein Pfand – gefördert werden muss. Mehrwegverpackungen sind daher der Kategorie „Reuse“ der europäischen Abfallhierarchie zuzuordnen und seit Jahrzehnten bei Getränken, Milchprodukten und Transportverpackungen (Steigen, Paletten) etabliert [158].

Unverpacktlösungen ermöglichen den Einkauf loser Waren, die in Großgebinden, Abfüllstationen oder Dispensersystemen angeboten und von der Kundschaft in eigens mitgebrachte wiederverwendbare Behältnisse oder in vor Ort verfügbare Mehrwegverpackungen abgefüllt werden. Ziel ist es, Verkaufspackungen zu vermeiden. In der Abfallhierarchie werden Unverpacktlösungen der Kategorie „Waste Prevention“ bzw. der R-Strategie Refuse zugeordnet. Auch Unverpacktlösungen sind generell nicht neu und werden z. B. bei Obst, Gemüse oder Trockenfrüchten seit vielen Jahren praktiziert.

In den letzten Jahren wuchs das Angebot an Produkten im Mehrweg- oder Unverpacktbereich und es kommen ganz neue Produktgruppen (z. B. Körperpflege, Reinigungsmittel) und Anwendungsbereiche, z. B. im Onlinehandel oder für Speisen und Getränke für den Außer-Haus-Verzehr inklusive Lieferdienste verpflichtend ab 2023, hinzu [158]. Auch die Weiterentwicklungen der Digitalisierung und Logistik machen diese Entwicklung möglich.

Die Reverse Logistics, also die Prozesse, die notwendig sind, um genutzte Mehrwegverpackungen von der Kundschaft zurück zur erneuten Befüllung zu führen, sind komplexer und aufwendiger als die Sammlung und Entsorgung von Einwegverpackungen. Branchen- bzw. Poollösungen existieren vereinzelt (Getränke, Milchprodukte) [161] und sind für andere Anwendungen derzeit im Entstehen (Außer-Haus-Verzehr, Onlinehandel, vorverpackte Lebensmittel und Konsumgüter). Hinzu kommen individuelle Lösungen von Handelsketten und herstellenden Unternehmen mit teils eigenen digitalen Voraussetzungen und Anforderungen an das Handling. Schlussfolgernd sind Handel und Kundschaft konfrontiert mit einer wachsenden Vielfalt von Mehrwegsystemen und Rückgabemöglichkeiten. Für die unterschiedlichen Produkte und Anwendungen ist eine Vielfalt an Formaten im Einsatz. Mehrwegsysteme sollten aber möglichst einfach nutzbar sein, um Kundenzufriedenheit im Umgang mit den eingesetzten Verpackungen zu erreichen und sich somit durchzusetzen. Die Anbietenden sehen die Notwendigkeit, grundlegende Aspekte vor allem für die Bereiche Rückgabe, Reinigung/Aufbereitung und Zuordnung/Asset Tracking zu koordinieren, um die Anwendung von Mehrweg- und Unverpacktlösungen effizient, ökonomisch und vor allem umwelt- und klimafreundlich zu gestalten. Für Mehrweg gilt: Kooperation schafft bessere Marktbedingungen, verbessert das Kundenerlebnis und die Umweltverträglichkeit.

Im Grundsatz basieren die Herausforderungen rund um das Thema Mehrweg auf zwei Umständen: Erstens, Mehrwegverpackungen sollten im Pool idealerweise von einer Vielzahl von herstellenden Unternehmen genutzt werden. Zweitens, das Handling bei der Rücklogistik, also Identifikation, Pooling, Transport und Reinigungsprozesse, soll für Mitwirkende entlang der Mehrweg-Wertschöpfungskette möglichst einfach, effizient und regional erfolgen. Ziel ist es, Mehrwegverpackungen möglichst oft wieder zu befüllen und im regionalen Kreislauf zu führen. Die stetig wachsende Vielfalt an Mehrweglösungen und die damit verbundene Vielfalt an Systemeigenschaften und Prozessen erhöhen die Komplexität deutlich und stellen eine wachsende Herausforderung dar.

Aus den Anforderungen und Herausforderungen ergibt sich eine Vielzahl konkreter Bedarfe für Normung, Gesetzgebung und Forschung. Jedoch sind nicht alle Normungsbedarfe für jede Anwendung notwendig. Die Normung sollte eine Grundlage schaffen, in der ein gewisser Grad der Individualisierung möglich ist. Das ist wichtig, damit Mehrwegverpackungen für den Markt attraktiv sind.

2.4.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe

Einige Normungsbedarfe lassen sich mehreren R-Strategien zuordnen. Bedarfe mit möglicher Mehrfachzuordnung wurden der relevantesten R-Strategie zugeordnet. Daher ist es möglich, dass einige R-Strategien nicht als eigener Abschnitt gelistet sind.

Rethink

RECYCLINGFÄHIGKEIT UND DESIGN 4 RECYCLING

Bedarf 4.1: Einheitlicher Definitionsrahmen angelehnt an den Mindeststandard ZSVR

Es gibt derzeit keinen einheitlichen Definitionsrahmen über Begrifflichkeiten im Sinne der Recyclingfähigkeit. Es existieren verschiedene Gesetze, Vertragswerke und Normen wie die EU-Verpackungsrichtlinie [175], Kreislaufwirtschaftsgesetz [176], VerpackG [158] oder der Koalitionsvertrag für den Bund [1], die DIN EN ISO 14021 [177] sowie Veröffentlichungen [178], [179], welche die zentralen Begrifflichkeiten definieren. Diese sind jedoch teilweise unterschiedlich oder nicht ausreichend detailliert. Insbesondere der Umfang der Recyclingfähigkeit (theoretische, praktische, reale Recyclingfähigkeit) unterscheidet sich teilweise. Dies führt zu Verwirrung und einem unterschiedlichen Verständnis der Marktteilnehmenden deutschland- und europaweit.

Die nachfolgend aufgeführten Begrifflichkeiten sollten einheitlich bzw. detaillierter definiert werden. Der **Mindeststandard ZSVR [159]** bietet hierfür eine sehr gute Basis. Der einheitliche Definitionsrahmen kann entweder alle Definitionen enthalten oder auf schon bestehende Gesetze/Normen verweisen. Dieser sollte nicht nur deutschlandweit einheitlich sein, sondern auf ganz Europa bezogen werden, da viele Verpackungshersteller in unterschiedliche Länder exportieren und ebenso Verpackungsabfälle über die Ländergrenzen hinweg verwertet werden.

- theoretische, technische und reale Recyclingfähigkeit (beispielsweise angelehnt an **Pomberger** (2020) [179] und **Mindeststandard ZSVR [159]**)
- hochwertiges werkstoffliches Recycling [178], ergänzt um die möglichen Zielanwendungen der entsprechenden Rezyklate („Open“ vs. „Closed Loop“ und „Design from Recycling“, siehe auch Bedarfe 5.12 und 5.35 des Schwerpunktthemas „Kunststoffe“ im Kapitel 2.5)
- Wertstoff und Berechnung des verfügbaren Wertstoffgehalts (detaillierte Definition, was als Wertstoff für

die jeweilige Verpackungsart zählt) (Faserstoff siehe Bedarf 6.12. sowie Kapitel Kunststoff Bedarf 6.14. des Mindeststandard ZSVR [159])

- Fremdmaterial, Gutmaterial, Verbundmaterial, Vollmaterial
- Rezyklat und Recyclingunverträglichkeit (ggf. inkl. Grenzwerten für Füllgutreste)
- Bemessungsgegenstand von Gesamtverpackungen und Kombinationsverpackungen

Bedarf 4.2: Einheitliche Methodiken, Metriken und Grenzwerte für die Bewertung der Recyclingfähigkeit

Bisher existieren verschiedene – im Detaillierungsgrad und Anforderungen variierende – Methodiken und Grenzwerte für die Bewertung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen. Dies betrifft unterschiedliche Grenzwerte für das Vorhandensein von Sammel- und Verwertungsinfrastruktur sowie unterschiedliche Grenzwerte für bestimmte materialspezifische Verpackungseigenschaften/-bestandteile, welche zu unterschiedlichen Ergebnissen der Recyclingfähigkeit führen. Des Weiteren unterscheiden sich die Methodiken in der Ergebnisausweisung von teilweise Prozentangaben oder einer Skala. Dadurch sind die Ergebnisse der Prüfverfahren nicht vergleichbar. Außerdem beziehen sich die Ergebnisse entweder auf einen Länderbereich oder auf ein spezifisches Land, was ebenfalls zu einer mangelnden Vergleichbarkeit und zu einer schlechten Praktikabilität für herstellende Unternehmen führt, die mehrsprachige Verpackungen einsetzen. Zudem werden teilweise nicht nur die Fertigverpackungen, sondern auch Halbfertigwaren wie Flaschen ohne Etikett und Deckel oder die reine Folie bewertet, was die Realität der Recyclingfähigkeit der Endverpackung nicht widerspiegelt.

Es sollte eine europaweit einheitliche Methodik geben, die jedoch spezifische Ergebnisse für die jeweiligen Länder zulässt. Gegebenenfalls kann ein Ergebnis auch auf ein Ländercluster bezogen werden, wenn die Infrastrukturen vergleichbar sind. Hier müsste genau festgelegt werden, ab wann die Infrastrukturen als vergleichbar gelten. Eine Basis für eine einheitlich geltende Bewertungsmethodik kann die in Anhang 4 des Mindeststandards ZSVR [159] dargestellte Methodik sein. Einheitliche Grenzwerte für das „Vorhandensein“ von materialspezifischen Sammelstrukturen sollten definiert werden. Es muss festgelegt werden, was als Stand der Technik bzw. dem detaillierteren und der Realität entsprechenden Stand der Praxis anerkannt wird. Dies muss länderspezifisch für die jeweilige Bewertung der Recyclingfähigkeit im jeweiligen Land mit einbezogen werden. Die Ermittlung der Praxis der Sortierung und Verwertung könnte

nach der in dem **UBA Forschungsvorhaben** definierten Methodik erfolgen [178].

Hierfür müssen Richtlinien für die Durchführung von Tests zu den Prozessen im Recycling und der sensorgestützten Abtrennbarkeit (Sortiertests) festgelegt werden. Stets ist zu klären, ob ein Labortest ausreichend aussagekräftig oder ein realer Test in einer großtechnischen Anlage notwendig ist. Außerdem muss festgelegt werden, wie das Ergebnis des Sortiertests einzelner Tests in der Gesamtbewertung der Recyclingfähigkeit berücksichtigt werden muss. Zudem sollten materialspezifische, einheitliche Abzüge für Merkmale, die die Recyclingfähigkeit einschränken, festgelegt und nachvollziehbar für herstellende Unternehmen und Konsumentende als einheitliche Prozentzahl ausgegeben werden.

Um der Entwicklung von innovativen Technologien und Verpackungen nicht entgegenzuwirken, sollten diese – wenn davon ausgegangen werden kann, dass sie in naher Zukunft (bspw. 3 Jahre) als Stand der Technik gelten – mit dem aktuellen Stand der Technik/Stand der Praxis mit betrachtet werden.

Bedarf 4.3: Katalog/Datenbank für standardisierte Verpackungen

Derzeit ist es für herstellende Unternehmen schwer, ohne größeren Aufwand ihre Verpackungen hinsichtlich Recyclingfähigkeit zu bemessen. Hinsichtlich der Weiterentwicklung des § 21 VerpackG [158] ist derzeit ein Katalog/eine Datenbank für Verpackungen mit standardisierter Ausführung (Material, Materialkombinationen, Größe etc.) im Gespräch. Da eine Vielzahl an Inverkehrbringenden wie bspw. Landwirtschaft betreibende Personen („Erdbeerbauern“) standardisierte Verpackungen verwenden, könnte ein Katalog/eine Datenbank helfen, solche Standardverpackungen entweder als grundsätzlich hochwertig oder grundsätzlich nicht recyclingfähig einzustufen. In solchen Fällen wäre eine aufwändige Zertifizierung der Recyclingfähigkeit nicht nötig. Auf EU-Ebene besteht diese Schwierigkeit ebenfalls. Ein solches Vorgehen würde solchen (Kleinst-)Inverkehrbringenden die Bewertung ihrer Verpackungen erleichtern. Der Katalog/die Datenbank muss ständig an die realen Bedingungen angepasst werden.

Bedarf 4.4: Katalog für Gesamt- und Kombinationsverpackungen

Aktuell gibt es nur vereinzelt Beispiele für die Einordnung von Verpackungen als Gesamt- oder Kombinationsverpackung im Sinne des Mindeststandards der ZSVR [159] (beispielsweise Dreikomponentenverpackungen). So kann es sein, dass individuelle Entscheidungen über die Einordnung der zu

bewertenden Verpackung als Gesamt- oder Kombinationsverpackung getroffen werden. Dies spiegelt sich wider in unterschiedlichen Ergebnissen der Recyclingfähigkeitsbewertung.

Analog zu dem bisher bestehenden Katalog für systembeteiligte Verpackungen und der Empfehlung eines Katalogs/Datenbank für (nicht) recyclingfähige Verpackungen würde ein Katalog mit einer Vielzahl an konkreten Beispielen von Gesamtverpackungen und Kombinationsverpackungen helfen, die Bemessungsgrundlage für die Recyclingfähigkeitsbewertung festzulegen. So würden Prüfinstitute, Sachverständige und duale Systeme dieselbe Basis für die einheitliche Bewertung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen nutzen. Dieser Katalog sollte optimalerweise die länderspezifischen Unterschiede für Europa in der Einordnung einer Verpackung als Gesamt- oder Kombinationsverpackung aufgrund des Verbrauchendenverhaltens hinsichtlich der Trennung von Materialien bei der Entsorgung berücksichtigen. Der Katalog ist regelmäßig zu aktualisieren.

Bedarf 4.5: Einheitliches Label für die Recyclingfähigkeit/ Digitaler Produktpass von Verpackungen

Derzeit existiert eine Vielzahl von unterschiedlichen Labels, welche die Recyclingfähigkeit der Verpackung ausweisen. Diese Labels werden entweder von akkreditierten Unternehmen, von dualen Systemen oder von Händlern und Markenartikelhersteller*innen selbst bereitgestellt. Dies führt zur Verwirrung bei Verbrauchenden, da diese Vielzahl die Glaubwürdigkeit, Verständlichkeit und Vergleichbarkeit der Labels mindert.

Ein einheitliches Label soll auf Basis einer einheitlichen Bewertungsmethodik für das Kennzeichnen der Recyclingfähigkeit einer Verpackung entwickelt werden. Die Daten zur Recyclingfähigkeit sollten europaweit einheitlich und in einem definierten Format verfügbar sein, sodass diese einfach in einen „Digitalen Produktpass“ integriert werden können.

Bedarf 4.6: Einheitlicher Leitfaden für das Design 4 Recycling für Verpackungen

Bestehende Leitfäden für das Design 4 Recycling sind oft auf eine Materialgruppe bezogen. Außerdem beruhen diese auf unterschiedlichen Kriterien. Diese Kriterien beziehen sich auf Restentleerbarkeit, Sammlung, Trennbarkeit, Sortierung und Verwertung [316].

Ein standardisierter Leitfaden sollte erstellt werden, der alle Verpackungsmaterialien mit einbezieht. Die Kriterien, die betrachtet werden sollen, müssen eindeutig definiert

werden und es soll deutlich werden, auf was sie sich beziehen (Sammlung, Trennbarkeit, Sortierung, Restentleerbarkeit oder Verwertung). Die Anforderungen an Materialien können unterschiedlich sein. Die Abgrenzung muss für alle Anwendenden (Inverkehrbringende, herstellende Unternehmen) verständlich sein. Mittelfristig ist die Angabe einer Zielanwendung für die jeweiligen Rezyklate vorzusehen, siehe auch Bedarf 4.1. sowie Bedarfe 5.12 und 5.35 des Schwerpunktthemas „Kunststoffe“ im Kapitel 2.5). Die Entwicklung von produktkategorienbezogenen Zirkularitätskriterien wird im Schwerpunktthema „Digitalisierung, Geschäftsmodelle und Management“ im Kapitel 2.1 im Bedarf 1.1 adressiert.

Bedarf 4.7: Europaweit gültige Leitfäden für die länderspezifische Bewertung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen

Nicht nur die Materialien von Verpackungen unterscheiden sich, sondern insbesondere die Infrastruktur in den einzelnen Ländern. Vorhandene Leitfäden bilden also entweder den kleinsten gemeinsamen Nenner einer Region wie der EU ab oder beziehen sich auf ein einzelnes Land. Bevorzugt soll ein Leitfaden erstellt werden, der ganz Europa umfasst.

Bedarf 4.8: Verknüpfung eines Leitfadens von Trennhinweisen/Produktkennzeichnung

Für den Endkonsumenten ist es oft nicht ersichtlich, wie Verpackungen bei der Entsorgung getrennt werden sollen. Trennhinweise fehlen häufig und sind nicht standardisiert. Außerdem ist oft nicht klar, welcher Entsorgungsweg in dem jeweiligen EU-Land der Richtige ist. Bei Papierverbundverpackungen ist es zudem oft nicht eindeutig, in welche Sammlung diese gegeben werden sollen. Oft haben Verpackungen den Anschein, aus Papier zu sein, obwohl es sich tatsächlich um ein Verbundmaterial handelt [158], [159].

Da die Erfüllung von „Design 4 Recycling“-Richtlinien ohne korrektes Trennverhalten durch Konsumenten nicht den gewünschten Nutzen bringt, ist dies ein wesentlicher Teil des Design 4 Recyclings, aber natürlich auch der Recyclingfähigkeit. Eine Normung allgemeingültiger Entsorgungshinweise kann hier Abhilfe leisten und die Aufbringung könnte als zusätzliches Kriterium in „Design 4 Recycling“-Richtlinien berücksichtigt werden, um schon in der Entstehungsphase der Verpackung betrachtet zu werden.

Die Sammelinfrastrukturen in den einzelnen europäischen Ländern sind unterschiedlich. Daher sollte eine Norm erarbeitet werden, die europaweit möglichst flexibel zwar einheitliche Trennsymbole für Verpackungen definiert, dabei

aber auch nationale Anforderungen berücksichtigt. Eine Normung der Gestaltung von Sortierhinweisen z. B. in Bezug auf Informationstiefe, Beschreibung sowie Umfang der Beispiele und Verständlichkeit kann sich positiv auf die Sortierqualität und Menge der für das Recycling getrennt entsorgten Materialien auswirken. Eine Analyse der existierenden Sortierhinweise der Kommunen, des Handels und im Gewerbe kann Aufschluss über Best-Practice-Ansätze geben. Hierbei sind allerdings keine konkreten Trennhinweise zu erarbeiten, denn diese unterscheiden sich ggf. je nach Infrastruktur und Sammelsystem. Bestehende nationale Trennhinweise sind beispielsweise in Dänemark dokumentiert [160].

NACHHALTIGKEITSBEWERTUNGEN

Bedarf 4.9: Begriffsdefinition Nachhaltigkeit

Eine einheitliche Definition der „zu betrachtenden Nachhaltigkeit“ bei Verpackungen und Verpackungssystemen sollte erfolgen. Unter anderem sollten auch eine Einigung auf das „Drei-Säulen“- oder „Vier-Säulen-Modell“ sowie eine Festlegung von Kriterien erfolgen, die eine ganzheitliche Bewertung der Nachhaltigkeit ermöglichen. Die DIN ISO 13065, Nachhaltigkeitskriterien für Bioenergie, bietet hierfür einen ersten Rahmen [183].

Bedarf 4.10: Aufstellung von Grundlagen zur einheitlichen Bewertung der Nachhaltigkeit von Verpackungen

Um eine Nachhaltigkeitsbewertung von Verpackungen durchzuführen, sind grundlegende Aspekte wie Schwerpunkte, Kriterien und Indikatoren sowie die Verwendung relevanter und transparenter Daten zu beschreiben. In der Normung sollte eine Liste von verpflichtenden und optionalen Kriterien für Nachhaltigkeitsbewertungen von Verpackungen, Festlegung von erforderlichen spezifischen Daten sowie Indikatoren für deren Qualität festgelegt werden.

Bedarf 4.11: Darstellung und Nennung von Branchenbezügen und -unterschieden

Es gibt für eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung branchenbezogene Unterschiede. Um dies zu berücksichtigen, sollten die relevanten Kriterien (die ggf. auch branchenübergreifend relevant sind) zusammengetragen und normativ erfasst werden. In Form einer Wesentlichkeitsanalyse können dann die spezifischen Kriterien/Indikatoren ergänzend hinzugefügt werden. Auch hier nur unter der Prämisse, dass belastbare und nachvollziehbare Datenquellen für eine Bewertung verfügbar sind. Grundsätzlich dabei ist, dass ein Ausschluss von Kriterien nur auf Basis einer transparenten Impact-Analyse erfolgen sollte.

Bedarf 4.12: Klare Definition des Terms Lebensphase unter Einbeziehung aller Rohstoffquellen, Produktionsschritte sowie Komponenten des betrachteten Verpackungssystems und möglicher Unterschiede in Produktlebensdauer/Produktverlusten

Der Lebenszyklus des gesamten für die Verpackungsfunktion („funktionelle Einheit“) erforderlichen Verpackungssystems sowie die zu betrachtenden Wirkungskategorien sollten korrekt und vergleichbar abgebildet werden. Hierfür könnten z. B. eine Art Checkliste bzw. ein Kriterienkatalog für eine iterative Bewertung entwickelt werden, welche Lebensphasen berücksichtigt werden sollten. Es sollte geprüft werden, inwieweit die Anforderungen an Datenqualität, Dokumentation und transparente Berichterstattung weiter standardisiert werden können. Es muss darüber informiert werden, dass Lebenszyklusanalysen (LCA) keine eindeutigen Ergebnisse liefern können, sondern dass es auch hier um Wahrscheinlichkeiten geht, die sich bspw. über Monte-Carlo-Simulationen abbilden lassen. Besonders relevant für den Verpackungsbe- reich sind dabei folgende beispielhaft genannten Aspekte:

Einsatz nachwachsender Rohstoffe

- Konsistente Betrachtung der CO₂-Aufnahme aus der Atmosphäre beim Pflanzenwachstum unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Zeithorizonte (jährlich nachwachsende Pflanzen, Kurzumtriebsplantagen, lange wachsende Forsten) und der unterschiedlichen Bindungskapazitäten für CO₂ bei aufgeforsteten Flächen gegenüber bestehenden Wäldern.
- Allokationsregeln beim Einsatz von Reststoffen, z. B. aus der Lebensmittelproduktion
- Erhebung regional spezifischer Daten für den Anbau

Verpackungsspezifische Produktverluste

- Berücksichtigung der Umweltlasten, die durch Herstellung des verpackten Produkts entstehen, in Kombination mit unterschiedlichen Verlustquoten für unterschiedlich verpackte Produkte, Erhebung produkt- und verpackungsspezifischer Daten zu Produktverlusten

Logistikstrukturen bei Einweg- vs. Mehrwegsystemen

- Verwendung realitätsnaher Umlaufzahlen, insbesondere bei erst im Aufbau befindlichen Poolsystemen
- Berücksichtigung der Unterschiede zwischen Pool- und Individual-Mehrwegsystemen
- Zuordnung realitätsnaher Transportentfernungen, Verwendung realer Daten vs. Betrachtungen von Szenarien

Bedarf 4.13: Definition von Kommunikationsregeln

Für Nutzende und Endverbraucher muss klar erkennbar sein, welche Nachhaltigkeitsbewertung die Verpackung hat. Hier sind die Regeln der Initiative on Substantiating Green Claims der EU [165] ein erster Schritt zu einer Harmonisierung der Kommunikation. Danach ist zu prüfen, ob weiterer Normungsbedarf besteht.

Reduce (by design)

MEHRWEGVERPACKUNGEN, UNVERPACKTLÖSUNGEN, E-COMMERCE

Bedarf 4.14: Hygiene- und Qualitätsstandards für Unverpackt- und Mehrweglösungen

Die Qualitätskontrolle spielt nicht nur bei vorverpackten Produkten, sondern ebenso bei den Unverpacktlösungen eine Rolle, da hier lose und offene Lebensmittel und Konsumgüter gehandhabt werden. Beim Umfüllen von Großgebinden in Abfüllstationen ist es für den regulären Lebensmitteleinzelhandel herausfordernd, die Hygienestandards einzuhalten. Transparenz und Rückverfolgbarkeit von nachgefüllter Ware und damit die Qualitätskontrolle stellen gelegentlich eine Herausforderung dar, beispielsweise bei der Kontrolle der Haltbarkeit der Ware oder bei Produktrückrufen. Für Unverpacktlösungen sollte daher untersucht werden, inwieweit bewegliche Gravitationsbehältnisse genormt werden könnten, sodass sie für die Handhabung im regulären Einzelhandel und in Unverpacktläden wie auch für herstellende Unternehmen bzw. Abfüller*innen geeignet sind. Bei Gravitationsbehältnissen, die ausschließlich im Laden aufgefüllt werden, besteht kein Standardisierungsbedarf. Generell muss differenziert werden, welche Waren in die Behältnisse abgefüllt werden dürfen (Food- bzw. Non-Food-Artikel). Es müssen zudem materialspezifische Anforderungen zur hygienischen Aufbereitung und Wiederbereitstellung von Mehrweg- und Unverpacktlösungen erarbeitet und definiert werden, z. B. die Anforderungen an Reinigungsmittel, Einwirkzeit, Trocknung etc. Grundsätzlich sind materialspezifische Testnormen zu entwickeln, anhand derer die Keimbelastung gereinigter Mehrwegverpackungen geprüft wird.

Reuse

MEHRWEGVERPACKUNGEN, UNVERPACKTLÖSUNGEN, E-COMMERCE

Bedarf 4.15: Definitionen der Begriffe von Mehrwegsystemen

Neben der sehr allgemeinen Definition des Begriffes „Mehrwegsystem“ in der ISO 18603 [180] braucht es eine erweiterte Definition/einen Standard. Mehrweg ist nicht gleich Pfand (es gibt auch Mehrwegsysteme, die mit anderen Anreizen arbeiten) und Pfand ist nicht gleich Mehrweg (z. B. wird auch auf Einweggetränkeverpackungen Pfand erhoben). Es sollte definiert und damit transparent nachvollziehbar werden, ab wann Mehrweg wirklich Mehrweg ist, um Greenwashing zu vermeiden. Es braucht daher einen Standard, wie die „Environmental Performance“ von Mehrwegsystemen gemessen werden kann. Auch für den Begriff „Unverpackt“ fehlt eine eindeutige und übergreifende Definition. Derzeit wird der Begriff in vielen verschiedenen Zusammenhängen und mit unterschiedlichen Bedeutungen verwendet, wodurch der Begriff verwässert wird. Erste Definitionsansätze beziehen sich auf die Einsparung von Primärverpackungen.

Bedarf 4.16: Standardisierte Anforderungen an Eigenschaften zur Kompatibilität von Mehrwegverpackungen bei der Rücknahme, Rückführung und Wiederaufbereitung

Anders als bei Einwegverpackungen müssen Mehrwegverpackungen langlebig sein und den Bedingungen von Rückgabe, Rücktransport und Reinigung standhalten. Das bedeutet auch, dass die Rücknahmesysteme wie Rücknahmeautomaten mit den verschiedenen Formaten kompatibel sein müssen und dass die Lagerung leerer Verpackungen und ein Rücktransport möglichst effizient gestaltet werden sollten (z. B. stapel- und nestbar, falt- oder klappbar, palettenfähig etc.). Mehrwegverpackungen sind oft für bestimmte Produkte/Produktkategorien und deren spezifische Anforderungen konzipiert. Der wachsende Markt lässt eine Vielfalt von (neuen) Formaten zu. Diese Offenheit der Marktentwicklung wird von den Beteiligten als essenziell betrachtet, um den teilweise noch neuen Anwendungen gerecht zu werden. Prinzipiell wurde für Materialien und Formate von Primärverpackungen kein genereller Normungsbedarf identifiziert. Vielmehr geht es um Anforderungen an Eigenschaften, die identifiziert werden müssen, um Formate kompatibel einerseits für eine gemeinsame Rückführung (Nestbarkeit, Stapelbarkeit, Modulschema) und andererseits für die (automatische) Rücknahme und Reinigung (Temperatur, Dauer, Chemikalien)

zu machen. Diese Anforderungen an das Verpackungsdesign sollten z. B. in Branchenstandards festgelegt werden. Auch mögliche Prüfverfahren für die Hygieneanforderungen sollten materialspezifisch festgelegt werden.

Bedarf 4.17: Normung für Sekundär- und Transportverpackungen im Bereich Mehrweg und Unverpackt

Sekundär- und Transportverpackungen sollten weiter standardisiert werden, um Transport und Rücktransport von Mehrwegverpackungen (auch bei Transportgebinden für Unverpacktlösungen) effizienter zu gestalten. Diese sollten mit den gängigen Logistikstandards kompatibel (z. B. Europalette [181]), qualitativ hochwertig und vollständig recycelbar sein, ohne Branding auskommen und zukünftig universell für verschiedene Produkte/Primärverpackungen eingesetzt werden. Alternativ sollte klar festgelegt werden, welche Sekundärverpackungen für welche Primärverpackungen genutzt werden dürfen. Die Formate von Primärverpackungen können dann so gestaltet werden, dass sie innerhalb der Lieferkette und mit den Sekundär-/Transportverpackungen kompatibel sind, um effiziente Prozesse bei Handling und Logistik zu ermöglichen (Stichwort: modulare Maßabstufungen) und auch Vorgaben für Verpackungen und Anforderungen von Unverpacktläden zu entsprechen [162]. Das Grundmaß von Mehrwegverpackungen (z. B. im Onlinehandel, bei vorverpackten Produkten) sollte palettenfähig sein und möglichst zu einer vollständigen Lage auf einer Standard-Europalette [181] gestapelt werden können, um Versand und Lagerung zu vereinfachen. Notwendig ist eine sortiments- und produktspezifische Betrachtung und individuelle Lösungsfindung.

Bedarf 4.18: Normung für die Verwendung von Etiketten, Tapes, Klebeband und Verschlüssen

Etiketten sind ein wichtiger Bestandteil einer Mehrwegverpackung. Sie enthalten Informationen zu Produkt, Inhalten und Verwendung, Kennzeichnungen oder – im Falle von Versandverpackungen – auch personenbezogene Daten für die Zustellung der Ware. Etiketten müssen beim Transport verschiedensten Umwelteinflüssen trotzen, z. B. wechselnder Witterung. Gleichzeitig müssen sie so konzipiert sein, dass sie im Anwendungsfall „Onlineversandhandel“ durch die Kundschaft direkt und am Stück ablösbar sind oder für den maschinellen Reinigungsprozess geeignet sind. Zudem ist es im Onlineversandhandel wichtig, dass nicht nur Etiketten möglichst nicht zu stark haften und „am Stück“ ablösbar sind, sondern auch zusätzlich genutzte Tapes/Klebebänder. Verwendete Verschlussysteme (z. B. Reiß- und Klettverschlüsse) oder angebrachte Hinweise zur Mehrwegverpackung sollten im Gegenteil dazu so ausgelegt sein, dass sie einem Reini-

gungsprozess standhalten. Zu prüfen ist ggf., ob standardmäßig eine Adresstasche angebracht werden kann, um die Etikettierung ganz zu vermeiden. Hierbei muss beachtet werden, dass dann ggfs. das automatische Scannen durch Reflexionen zu hohen Fehlerquoten führen kann. Auch Vorgaben zur Auslesung der Etiketten könnten von Vorteil sein. Die Herausforderung besteht generell in unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten der eingesetzten Materialien (Glas, Kunststoff, Metall) mit einer Vielzahl an Klebstoffen mit unterschiedlicher Lösbarkeit, Klebekraft, Umweltverträglichkeit etc. Es gilt, den „Sweet-Spot“ zu finden, bei dem die Label durch Umwelt- und Handlungseinflüsse (Temperatur, Nässe, Reibung durch Förderbänder o. Ä.) auf der Verpackung halten, nach Nutzung aber gut und möglichst einfach händisch oder maschinell ablösbar sind. Vorgaben sollten daher materialspezifisch gemeinsam mit herstellenden Unternehmen und Anbietenden von Reinigungsanlagen für verschiedene Oberflächenmaterialien und Anwendungen erarbeitet und geprüft werden.

Einheitliche materialspezifische Vorgaben bzgl. Klebstoffen und Etiketten in anderen Anwendungsbereichen sind bei Bedarf in Branchenstandards zu definieren, um bspw. zu vereinfachen, dass Mehrweggebinde unterschiedlicher Mehrwegsysteme in derselben Reinigungsanlage gereinigt werden können.

Bedarf 4.19: Normung der automatisierten Rücknahme für Mehrwegverpackungen

Die Rücknahme von Mehrwegverpackungen erfolgt oft manuell, über Rückgabekästen oder über Rückgabeautomaten. Zukünftig ist davon auszugehen, dass die Rücknahme gebündelt und vermehrt über Automaten erfolgen kann. Automaten müssen im Sinne einer übergreifenden Infrastruktur in der Lage sein, eine Vielzahl von Verpackungsformen und -größen zurückzunehmen. Dazu ist es wichtig, Standards für die Rückgabeautomaten zu entwickeln (z. B. minimaler Durchmesser der Rückgabeöffnung, zugelassene Formen), an denen sich die Entwickler*innen der Mehrwegverpackungen orientieren können. Für eine übergreifende Infrastruktur bedarf es zudem einer standardisierten Codierung auf Verpackungen, die von Automaten ausgelesen, erkannt und eindeutig zugeordnet werden kann. Dabei ist auch zu erarbeiten, wo die Verpackungskennzeichnung aufgebracht sein muss, um perspektivisch automatisierte Abläufe zu ermöglichen. Auch muss die erforderliche Bildverarbeitung weiter verbessert werden. Eventuell können auch über einen „Digitalen Zwilling“ die Sortierung und allgemein das Handling von Leergut verbessert werden.

Recycle

ZIRKULÄRE SUPPORT- UND INFRASTRUKTUREN

Bedarf 4.20: Interoperabilität zwischen Verpackungskennzeichnung, Erfassung, Sortierung und Datenbanken

Zur Unterstützung der Circular Economy bei gleichzeitiger größtmöglicher Technologieneutralität und Innovationsoffenheit sollte die technische und inhaltliche Interoperabilität durch die Normung gesichert werden. Dies betrifft die Schnittstellen zwischen den Kennzeichnungen von Verpackungen, der Sensorik zur Erfassung und Sortierung sowie den Datenbanken mit den hinterlegten Produktpässen. Hierbei sind sowohl die technischen Grundlagen einer Mindestinteroperabilität als auch die inhaltlichen und strukturellen Mindestanforderungen der Produktpässe zu betrachten.

Bedarf 4.21: Auslesbarkeit des Digitalen Produktpasses bei der automatisierten Sortierung von Wertstoffen

Der Digitale Produktpass soll während der Sortierung der Abfälle (Produkte und Verpackungen) lesbar sein, sodass die Inhalte zur Sortierung herangezogen werden können. Dazu soll die Kennzeichnung des Produktes oder der Verpackung auch nach Veränderung der Geometrie oder anderen Eventualitäten im Produktlebenszyklus auslesbar sein. Eine Standardisierung der Kennzeichnung (Größe, Ort der Anbringung, Fixierung, Ausleseverfahren) kann hier für die Verträglichkeit mit Hochgeschwindigkeitslesegeräten sinnvoll sein. Da in der Kreislaufwirtschaft Materialien mehrmals verwendet werden, ist eine Eignung der Kennzeichnung für mehrere Zyklen anzustreben. Die Auswahl des Datenträgers muss branchen- oder auch produktspezifisch erfolgen.

Bedarf 4.22: Kennzeichnung von Verpackungsmaterialien und Verpackungsanwendungen

Grundlage für den Erfolg der eindeutigen Identifikation und Zuordnung von Verpackungen zu definierten Stoffströmen kann nur die schrittweise Einführung einer Pflicht zur Kennzeichnung mittels einer frei wählbaren (interoperablen) Kennzeichnungstechnologie bei gleichzeitiger Hinterlegung der Mindestdaten in einer (interoperablen) Produktpass-Datenbank sein. Langfristig ist auch die Standardisierung der Erfassungs- und Sortiersysteme in Deutschland und Europa anzustreben, um die nationale und europäische Circular Economy zu stärken.

Bedarf 4.23: Einheitliche Gestaltung von Spezifikationen zur Beschreibung von sortierten Wertstoffen

Nach der Sammlung von z. B. Verpackungsabfällen bei Endverbrauchenden werden diese, wenn nötig, in Sortieranlagen in Fraktionen getrennt. Dabei entstehen mehrere unterschiedliche Sortierfraktionen, je nach Technologie und Aufwand, die anschließend in einen Verwertungsprozess gelangen. Die Sortierung der Abfälle erfolgt ggf. je nach Sortieranlage unterschiedlich. Ist es einem Recycler möglich, von verschiedenen Sortieranlagen Material zu erhalten, so kann dessen Verarbeitungskapazität erhöht werden.

Eine Normung der Wertstoffqualitäten für Post-Consumer-(Verpackungs-)Abfall auf europäischer Ebene ermöglicht den EU-weiten Handel von Recyclingrohstoffen und fördert die Entstehung von spezialisierten, effizienten Recyclinganlagen länderübergreifend. Folgende Aspekte sollen standardisiert werden: Für häufig vorkommende Wertstoffqualitäten in der EU sollten spezifische Werte festgelegt werden und mit Namen sowie Nummer identifiziert werden.

KONFORMITÄT MIT REGELUNGEN FÜR DEN PRODUKTKONTAKT

Bedarf 4.24: Leitfaden für KMU zur Konformitätsarbeit

Zur Sicherung der national und europäisch stark mittelständisch geprägten Branche bei absehbar weiterhin steigender Komplexität der Konformitätsarbeit ist ein allgemeiner Leitfaden für KMU und Start-ups zu prüfen. Dieser könnte einen ersten Einstieg in die Konformitätsarbeit sowie einen Überblick über bestehende Regelungen geben. Für material- oder branchenspezifische Themenstellungen sollte dann der Verweis auf die bestehenden Verbändedokumente erfolgen.

Bedarf 4.25: Kennzeichnung von Material aus oder mit Rezyklat

Um sicherzustellen, dass es insbesondere im Lebensmittelkontaktbereich bei bereits teilgenutztem Material zu keinen Verwechslungen in der Verarbeitung zwischen konformem und nicht konformem Material kommt, ist die Einführung einer durchgehenden Markierung/Kennzeichnung zur Identifikation von Produkten aus Rezyklat zu prüfen.

Bedarf 4.26: Erweiterung der DIN SPEC 91446 um konformitätsrelevante Daten

Die DIN SPEC 91446:2021-12, Klassifizierung von Kunststoff-Rezyklaten durch Datenqualitätslevels für die Verwendung und den (internetbasierten) Handel [49] sollte auf mögliche Notwendigkeit einer Erweiterung um konformitätsrelevante

Daten (z. B. für Lebensmittelkontaktmaterialien, Gefahrgut) untersucht werden.

Werden zum Beispiel Gefahrgutverpackungen im CoEx-/Mehrschichtverfahren produziert, bei denen die produktberührende Innenschicht aus Neuware-Material besteht, wäre zu prüfen, ob Erleichterungen hinsichtlich des Einsatzes von Rezyklat eingeführt werden können, z. B. in Bezug auf ein mehrfaches Recycling. Derartige CoEx-Verpackungen sind im Bereich Gefahrgut derzeit die Regel, wenn Rezyklat bei der Produktion von Verpackungen eingesetzt wird.

Bedarf 4.27: Funktionelle Barrieren

Als Nachweis für die Wirksamkeit von Barrieren beim Einsatz von Rezyklat sollte die Nutzung der Ansätze aus der DIN SPEC 5010 [48] auch in anderen Bereichen geprüft werden.

Bedarf 4.28: Verträglichkeitsbewertung von Gefahrgut und Verpackung

Für Gefahrgutverpackungen für flüssige Füllgüter ist zu prüfen, ob ein vereinfachtes Verfahren zur Bewertung der chemischen Verträglichkeit des verpackten Produktes mit dem Verpackungsmaterial etabliert werden kann, bei dem auch der Einfluss des Rezyklates berücksichtigt wird.

MEHRWEGVERPACKUNGEN, UNVERPACKTLÖSUNGEN, E-COMMERCE

Bedarf 4.29: Kennzeichnung und Identifikation, digitale Schnittstellen

Um für Mehrwegverpackungen ein funktionierendes System inklusive Sortierung und Zuordnung zu herstellenden Unternehmen zu gewährleisten, sollten Informationen zum herstellenden Unternehmen und Eigentümer*in in eine noch zu definierende eindeutige (serialisierte) Kennzeichnung einbezogen werden. Prinzipiell können auch herstellerabhängige Identifikationsmerkmale abgespeichert werden sowie über entsprechende Codierungen/Identifikationssysteme weitere Informationen zur Zahl der Umläufe und Umlaufzeiten. Hierzu bedarf es Normungsansätze. Dabei ist die Recyclingfähigkeit durch eingesetzte Kennzeichnungsmethoden (In-Mould-Label, Nahfeldkommunikation, RFID etc.) zu beachten.

Für Rückgabe und Rücklogistik ist eine digitale Infrastruktur zu prüfen, welche die Schnittstellen der diversen Systeme und ggf. Apps verbindet und auch ein System zum Pfandclearing enthält.



2.5

Kunststoffe

2.5.1 Status quo

Kunststoff ist ein vielfach genutzter Werkstoff, der in unserer heutigen Gesellschaft nicht mehr wegzudenken ist. Kunststoffe sind gut zu verarbeiten, flexibel einsetzbar, langlebig und in vielerlei Hinsicht recyclingfähig. Im Rahmen der Normungsroadmap Circular Economy nehmen die Kunststoffe eine Schlüsselrolle ein, was sich an vielen Stellen der konkreten Arbeit zeigt. Hier seien insbesondere die Schnittstellen zu den Verpackungen, Textilien und zur Elektrotechnik & IKT genannt.

Beim verantwortungsvollen Umgang mit Kunststoffen geht es um den Einsatz von Primärkunststoffen, die Lebensdauer von Produkten, die Wiederverwendung, das Recycling und den Einsatz von Sekundärrohstoffen. Nachfolgend werden die Ansätze der Circular Economy beschrieben und der Normungs- und Standardisierungsbedarf unter Betrachtung der neun R-Strategien festgelegt. Kunststoffe werden im nachfolgenden Kapitel als Material beschrieben und umfassen damit alle Kunststoffarten.

Auswertung der Normenrecherche

Die Arbeitsgruppe Kunststoffe hat die Normenrecherche der DIN, DKE und VDI anhand der neun R-Strategien ausgewertet.

Zusätzlich wurden das Thema CO₂-Fußabdruck und Digitaler Produktpass identifiziert. Insgesamt wurden 393 von 2101 Bedarfen als relevant eingestuft.

Ein Großteil der Normen wirkt bereits im Bereich Recycling (klassischer Bereich der Circular Economy) oder sind allgemeingültige Ergebnisse. Einige R-Strategien haben dagegen kaum eine oder gar keine Abbildung im Normenwerk.

Nach der Auswertung der Recherche und Zuordnung zu den Herausforderungen (hier waren mehrfache Zuordnungen möglich) zeigt sich in der Pareto-Analyse in der [Abbildung 25](#), dass vier Bereiche für potenziell neue Standards existieren, da dort unterdurchschnittlich viele Normen gefunden wurden:

- Nachhaltigkeitsbewertung
- Inputströme/Traceability/Digitaler Produktpass
- Recyclingfähigkeit
- Chemisches Recycling

Es existieren zwei Bereiche für potenziell zu überarbeitende Standards:

- Qualität
- Mechanisches Recycling

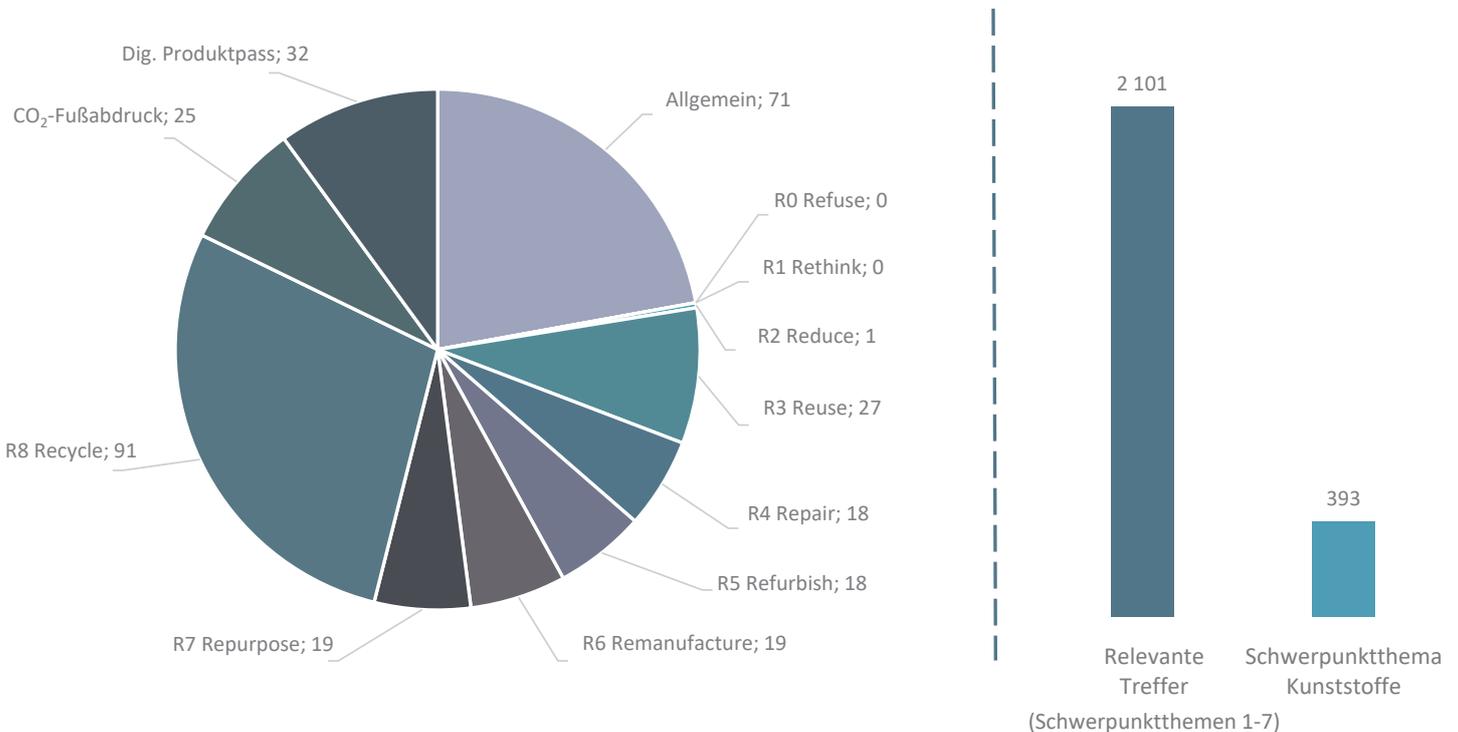


Abbildung 24: Aufgliederung nach R-Strategien (Quelle: DIN)

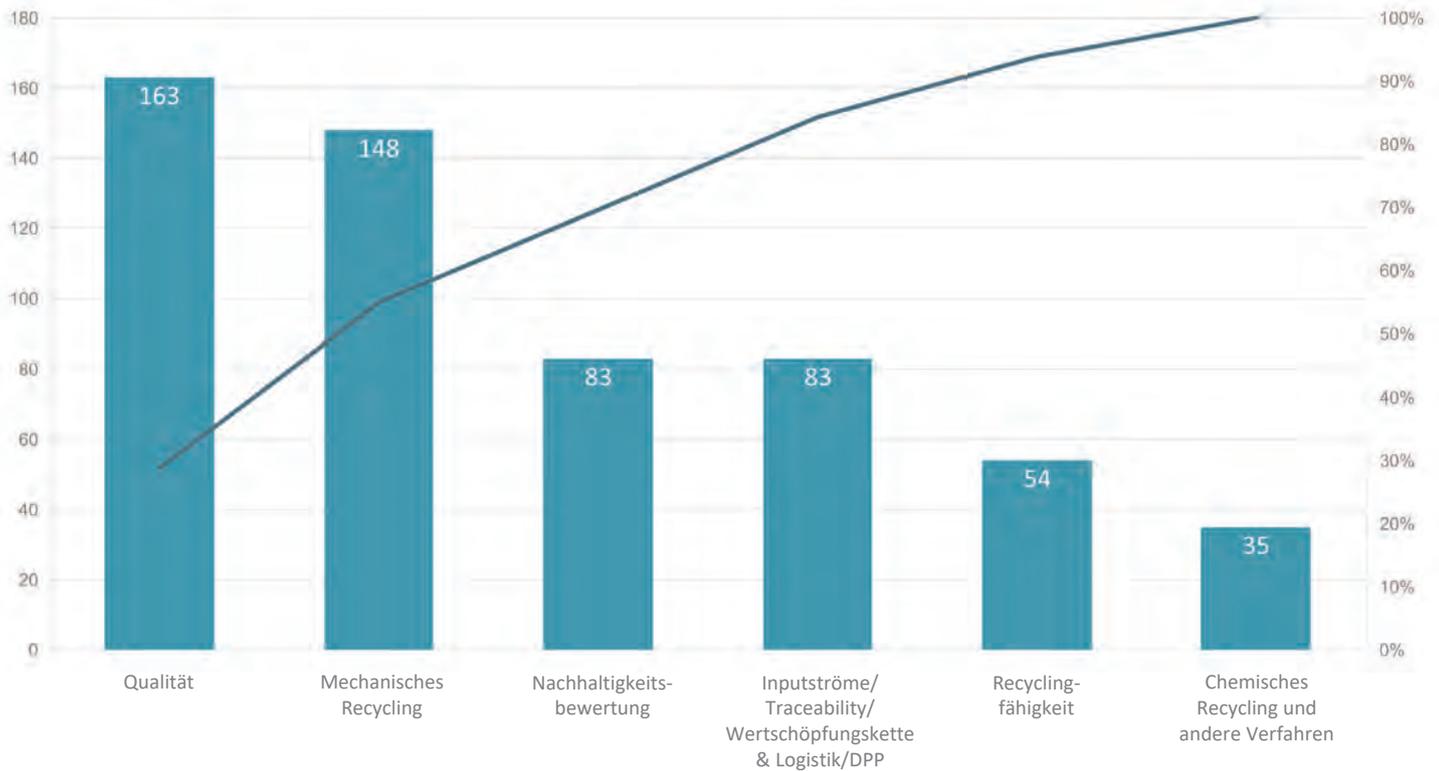


Abbildung 25: Aufgliederung bestehender Normen nach Herausforderungen (Quelle: DIN)

2.5.2 Anforderungen und Herausforderungen

Die Anforderungen und Herausforderungen im Bereich des Schwerpunktthemas „Kunststoffe“ wurden in den sechs Herausforderungsbereichen Recyclingfähigkeit, Nachhaltigkeitsbewertung, Inputströme/Traceability/Digitaler Produktpass, Qualität, chemisches Recycling und andere Recyclingverfahren sowie mechanisches Recycling erarbeitet und werden nachfolgend beschrieben. Die ermittelten Handlungsempfehlungen werden daran anschließend nach den R-Strategien strukturiert aufgeführt.

Recyclingfähigkeit

Ein Rezyklat bezeichnet im Sinne der EU-Kommission „Kunststoffmaterialien, die aus dem Recycling von Kunststoffabfall gewonnen werden, die kein Abfall mehr sind und für die Herstellung neuer Artikel oder Produkte eingesetzt werden und unter Verwendung von Zusatzstoffen nach einer neuen Rezeptur zusammengesetzt werden können“ [184].

Bei der Beurteilung der Recyclingfähigkeit im Allgemeinen müssen zum einen die Zusammensetzung (Polymere, Füllstoffe, Additive etc.) der Kunststoffprodukte und zum anderen die möglichen Recyclingverfahren – mechanisches Recycling, lösemittelbasierte Aufbereitung und physika-

lisches Recycling, Depolymerisation und Chemolyse und thermo-chemisches und rohstoffliches Recycling (Pyrolyse und Vergasung) – zusammen betrachtet werden. Außerdem muss zwischen der Recyclingfähigkeit von Kunststoffmaterialien an sich, z. B. dem homogenen Granulat bekannter Zusammensetzung für die Herstellung eines Laptopgehäuses, und der Recyclingfähigkeit von Kunststoffabfallströmen, z. B. den gemahlten Kunststoffabfällen, die bei einem Elektrogeräterecyclingbetrieb anfallen, unterschieden werden. Bei dem Material sind dessen Zusammensetzung sowie die chemischen und physikalischen Eigenschaften der einzelnen Ausgangsstoffe bestimmend. Die Qualität des Abfallstroms wird durch den Gebrauch der Materialien beeinflusst (z. B. Alterung durch Wärme- und/oder UV-Exposition, Kontakt zu Füllgütern und mechanische Belastungen). Weiterhin erschwert die Zusammensetzung aus unterschiedlichen Materialien die Recyclingfähigkeit. Um die reale Recyclingfähigkeit zu erhöhen, müssen die technischen Möglichkeiten und Qualitätsanforderungen weiter definiert, ausgebaut und mit den neun R-Strategien in Einklang gebracht werden.

Digitalisierte und transparente Wertschöpfungskette

Mit der Steigerung des Rezyklatanteils in verschiedenen Produkten (inkl. Verpackungen) nimmt die Verantwortung der am Recycling Beteiligten, inkl. der Recyclingwirtschaft

als lokale und umweltschonende Rohstoff liefernde Unternehmen, zu. Die Rückverfolgbarkeit von Informationen zu den rezyklierten Kunststoffen ist eine wichtige Aufgabe, um die Konformitäts- und Qualitätsanforderungen auf der Ebene der Endprodukte zu erfüllen. Dabei ist gerade bei Kreislaufprodukten die Frage, wo die Lieferkette beginnt und an welcher Stelle welche relevanten Informationen dokumentiert werden sollen. Mit einer Standardisierung in den Bereichen Datenverarbeitung, Dokumentation, Konformitätsbewertung sowie Messverfahren kann hier der Sprung von einzelnen Insellösungen zu einem harmonischen europäischen und weltweiten Markt geschaffen werden.

Das Design für Kunststoffprodukte hat einen großen Einfluss auf deren Eignung zur Kreislauffähigkeit und kann in den Dimensionen „Refuse“, „Rethink“ und „Reduce“ positive Auswirkungen haben. Ergänzende Kennzeichnungsanforderungen für die Kunststoffprodukte müssen das „Reuse“, „Repair“, „Remanufacture“, „Refurbish“ und „Repurpose“ sinnvoll unterstützen sowie das Recycling der Kunststoffe effektiver, hochwertiger und zuverlässiger machen. Wenn außerdem verschiedene Kunststoffe in Gegenständen verwendet werden oder wenn Kunststoffe mit anderen Materialien kombiniert werden, ist es häufig zu schwierig und kostspielig, sie für das Recycling zu trennen.

Kunststoffe sind in Bezug auf deren Recycling komplex, da es mehrere Ebenen der Sortierung gibt. Jeder Kunststoffabfall muss polymerspezifisch getrennt werden, da ein Kunststoffgemisch nur zu Anwendungen mit sehr geringer Wertschöpfung wie z. B. Bahnschwellen oder Parkbänken verarbeitet werden kann. Häufig verwendete Verpackungsmaterialien und gängige Varianten von Standardkunststoffen werden aufgrund ihrer weiten Verbreitung bereits in hohen Anteilen sortenrein erfasst bzw. können auch aus Gemischen gut sortiert sowie rezykliert werden. Neben der Unterscheidung in die verschiedenen Polymere – also z. B. Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP), Polyethylen (PE), Polyvinylchlorid (PVC), Polyamide (PA) etc. – ist für deren Recycling zusätzlich relevant, dass sie häufig für eine vorgesehene Verarbeitung, wie z. B. Spritzguss oder Extrusion, bzw. für eine noch speziellere Anwendung konzipiert sind. Außerdem kommen noch Zusatzstoffe, Füllmaterial etc. hinzu, die ebenfalls den Eigenschaften des Produktes entsprechend in die Polymerstruktur eingebaut werden, z. B. flammenhemmende Zusätze für Elektro- und Elektronikgeräte-Abfall (WEEE). Um Kunststoffgemische nun für die Wiederverwendung aufzubereiten, müsste dies in einem ersten Schritt in diejenigen Kunststoffe einer Fraktion sortiert werden, die für die angedachte Anwen-

dung kompatibel sind. So wird für eine Lebensmittelanwendung kein Rohstoff verwendet, der möglicherweise Risiken für die Gesundheit der Verbrauchenden birgt. Je mehr Information über das Material im Recycling vorhanden ist, desto zielgerichteter kann es sortiert bzw. aufbereitet werden.

Während bei den Post-Consumer-Verpackungsmaterialien bereits erfolgreiche Sammel- und Sortierinfrastrukturen geschaffen wurden, werden andere Polymere, wie z. B. technische Kunststoffe, heute aufgrund geringerer Menge bzw. höherer Spezialisierung weniger einer recyclingorientierten Sortierung zugeführt. Freiwillige Sammel- und Trennsysteme der Circular Economy stellen hierbei den größten Nutzen für die Nachhaltigkeit sicher.

Mechanisches Recycling

Das mechanische Recycling ist das Urgestein der Kunststoff-Kreislaufwirtschaft. Seitdem mit Kunststoffen Teile produziert werden, gibt es Abfälle in Form von Angüssen, Randabschnitten und Fehlteilen. Diese werden seit jeher, sicherlich anfangs allein aus Kostengründen, aufbereitet und in den Kreislauf zurückgeführt. Das mechanische Recycling umfasst unter anderem die Verfahrensschritte Sortieren, Waschen, Zerkleinern, Nachsortieren (z. B. Dichtentrennung oder spektroskopische Trennung), Zermahlen oder Compoundieren. Diese können je nach Art und Komplexität des Abfalls kaskadierend und mehrfach durchlaufen werden. Es ist die wichtigste und effektivste Recyclingart und stellt für viele weitere Recyclingverfahren einen Vorbereitungs-, Zwischen- oder Endschnitt dar: Kein chemisches Recycling würde ohne das vorhergehende Sortieren, Waschen oder Vermahlen effizient funktionieren. Am Ende müssen die getrennten Wertstoffe zu Compounds mit definierten Eigenschaften weiterverarbeitet werden.

Über die letzten Jahre hat sich allerdings die Art des Abfalls stark gewandelt. Wo früher fast nur industrielle, saubere und sortengleiche Polymere (post-industrial) aufbereitet wurden, stellen die polymeren Abfälle aus dem Haushalt, dem Rückbau von Gebäuden und aus Altfahrzeugen (post-consumer) das mechanische Recycling vor neue Herausforderungen. Heutzutage reichen ein händisches Sortieren und Vermahlen nicht mehr aus. Es wird beispielsweise detektiert und sortiert; es wird zentrifugiert, kryogen vermahlen, entlackt und am Ende durch Zugabe spezieller Additive compoundiert, um dem Rohstoff ein weiteres Leben in einem neuen Bauteil zu ermöglichen. Um weitere Sekundärrohstoffquellen erschließen zu können, ist es wichtig, dass die Innovationskraft und die Entwicklung des mechanischen Recyclings

vorangetrieben werden. Zum einen sind die Abfälle qualitativ minderwertiger geworden, zum anderen werden die Qualitätsanforderungen an den recycelten Kunststoff immer höher. Außerdem sind Additive oder Farbstoffe, die noch vor ein paar Jahren gängig waren, inzwischen verboten und müssen im Polymer sicher detektiert und aus dem Recyclingstrom ausgeschleust werden.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass Anwendungen aus einigen Industrien vor Jahren ohne den Gedanken an ein Design 4 Recycling entwickelt worden sind und heute erst in den Recyclingstrom zurückkommen. Diese Stoffströme, die heute weitestgehend thermisch verwertet werden, bieten ein hohes Potenzial an hochwertigen Kunststoffen, wenn man sie denn wirtschaftlich getrennt und aufbereitet bekommt. Parallel dazu können aber auch schon der Compoundhersteller und der Designer einiges tun, um aus einer linearen in eine zirkuläre Kunststoffwirtschaft zu gelangen: Mithilfe spezieller Additive, wie zum Beispiel Markern oder IR-detektierbaren Färbemitteln, wird das mechanische Recycling erleichtert. Einen großen Einfluss hat natürlich auch das Design 4 Recycling: Multilayer-Anwendungen oder 2-Komponenten-Verfahren mit Polymeren, die sich wenig oder nicht zusammen recyceln lassen, sollten vermieden werden. Verbindungen von Kunststoffbauteilen sollten leichter lösbar sein, der Einsatz von unterschiedlichen Polymersorten sollte sich auf ein Minimum beschränken.

Chemisches Recycling und andere Recyclingverfahren

Derzeit haben mechanische Recyclingverfahren den größten Marktanteil bei der Kunststoffverwertung, jedoch sind neue, komplementäre Recyclingverfahren bereits in der Forschung und Entwicklung oder stehen an der Schwelle zu einer industriellen Kunststoffverwertung und Marktimplementierung. Aufgrund der Rückführlogistik von Kunststoffabfällen (Sammlung und Trennung), aber auch der hochfunktionalisierten und komplexen Kunststoffprodukte unseres Alltags zeigt sich eine Limitierung im mechanischen Recycling. Hochgefüllte, eingefärbte und mit Additiven zum Schutz und der Sicherheit der Produkthanwendung ausgerüstete Kunststoffe, Kunststoffblends und faserverstärkte Kunststoffe sind nur bedingt für ein mechanisches Recycling geeignet. Um die Gesamtmenge an rückführbaren Kunststoffprodukten und -komponenten in einer Kreislaufwirtschaft zu erhöhen, müssen neue, innovative Technologien zum Einsatz kommen, die das klassische mechanische Recycling ergänzen.

PHYSIKALISCHES RECYCLING

Unter dem Begriff physikalisches Recycling werden die Methoden des lösemittelbasierten physikalischen Recyclings zusammengefasst. Durch das selektive Herauslösen des Zielpolymers durch ein geeignetes Lösemittel ist es möglich, das Zielpolymer von den anderen Polymeren zu separieren und Additive, Farb-, Füll- und Störstoffe aus der Polymerlösung abzutrennen (z. B. bei der Trennung von Mehrschichtfolienabfällen). Das Verfahren ermöglicht somit die Generierung hochwertiger sortenreiner Rezyklate aus Abfallströmen. Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zu chemischen Recyclingmethoden, welche auch im Lösungsmittel durchgeführt werden können, ist, dass die Polymerstruktur erhalten bleibt. Dabei hängt der Wirkungsgrad des Recyclingprozesses beim physikalischen Recycling auch stark vom Inputmaterial ab (z. B. Konzentration Zielpolymer im Inputmaterial) [201].

CHEMISCHES RECYCLING

Hinter dem chemischen Recycling von Kunststoffen verbergen sich chemische Prozesse, bei welchen sich die Polymere, Polymergemische und Verbundsysteme unter Druck und Temperatur und häufig unter Verwendung von chemischen und enzymatischen Katalysatoren in Monomere oder andere chemische Bausteine zerlegen lassen. Aufgrund der Konversions- und Downstreamverfahren (Aufreinigung) sind chemische Recyclingprozesse energieintensiv. Dennoch kann chemisches Recycling unter Ressourceneffizienzaspekten und Einsparungen von CO₂-Emissionen (auch unter Einsatz von regenerativen Energien in Recyclingprozessen) aus Umweltsicht vorteilhaft sein.

Recyclingverfahren wie die Depolymerisation zerlegen die Polymere wieder in ihre Grundbausteine (Monomere), die dann in einem separaten Schritt wieder dazu verwendet werden können, neue Kunststoffe herzustellen. Bei der Pyrolyse spricht man von einer bewusst induzierten thermischen Degradation der Polymerketten, was abhängig von der Prozessführung (Temperatur, Druck, Katalysator und Reaktionszeit) zu Pyrolysekondensaten (Pyrolyseöl) mit unterschiedlichen Molekülstrukturen und Kettenlängen führt. Diese können abhängig von der Zusammensetzung analog zur Rohölverarbeitung wieder in einem petrochemischen Prozess zu Kunststoffausgangskemikalien weiterverarbeitet werden (Cracken, Hydrieren). Im Vergleich zur Pyrolyse, welche in einer sauerstofffreien Atmosphäre gefahren wird, steht die Gasifizierung (auch als partielle Oxidation von Kunststoffen bezeichnet) am Ende des chemischen Recyclings.

Hierbei wird unter definierten Prozessbedingungen der Kunststoff in ein Synthesegas (hauptsächlich CO, H₂, CO₂) überführt, aus welchem sich jegliche chemische Grundstoffe wieder aufbauen lassen (siehe [Abbildung 27](#)).

STATUS QUO DER NORMUNG NEUER RECYCLING-TECHNOLOGIEN

Dass es einer Strategie bedarf, um neue Recyclingtechnologien für Kunststoffabfälle in das bestehende Normensystem einzubringen, wird bei einem Blick auf die etablierte Normenlandschaft im Bereich des Kunststoffrecyclings deutlich. Das Normensystem ist derzeit fokussiert auf das mechanische Recycling und bildet einen Technologiestand ab, der nicht mehr den Anforderungen und Bedürfnissen der Gesellschaft und des Markts gerecht wird. Eine konzeptionelle Anpassung der Normen ist nötig, um den aktuellen Entwicklungen und künftigen Technologien Rechnung zu tragen. In Bezug auf die Circular Economy kommt hierbei der Technologieoffenheit bei allen Normungsbeteiligten eine wichtige Rolle zu. Die bestehenden Technologien ergänzen einander.

Das chemische sowie das physikalische Recycling werden in den bestehenden Normen so gut wie gar nicht berücksichtigt. Es gibt nur sehr wenige Normen, die sich z. B. mit Definitionen für das chemische Recycling befassen und dieses technologisch beschreiben. Hinzu kommt, dass diese Festlegungen veraltet sind und es damit einer Anpassung an den aktuellen Stand der Technik bedarf. Hier ist Grundlagenarbeit in Form der Beschreibung der Technologien und ihrer Charakteristiken sowie Methodiken und Definitionen nötig. Erste Projekte zu chemischem und physikalischem Recycling sind derzeit auf internationaler Ebene gestartet. Bei der Überarbeitung bestehender Normen im Bereich des Kunststoffrecyclings ist eine Anpassung oder Erweiterung bestehender Konzepte, z. B. die Definition von Rezyklat oder Sekundärmaterial, für neue Technologien, wie das chemische oder das physikalische Recycling, von zentraler Wichtigkeit. Neue Konzepte wie die Chain-of-Custody müssen ebenfalls in die Entwicklung der Normen im Kunststoffrecyclingbereich einfließen [\[201\]](#).

Qualität

Qualität schafft Vertrauen – dieser Satz mag durch die vielfache Verwendung im Marketing vieler Unternehmen etwas abgenutzt sein, bringt aber dennoch den Wert des Themas Qualität genau auf den Punkt. Über viele Jahre und Jahrzehnte wurden Rezyklate oftmals mit minderen Qualitäten und Downcycling in Verbindung gebracht, wodurch der Einsatz in einigen Branchen stark beschränkt wurde. Um hier die Wende

zur Circular Economy zu schaffen, muss Vertrauen in Rezyklate geschaffen werden, wobei eine verlässliche Qualität der Materialien ein zentraler Baustein ist, der alle Einsatzgebiete betrifft.

Nur durch vergleichbare und verlässliche Materialqualitäten kann eine dauerhafte Steigerung von Rezyklateinsatzquoten insbesondere in hochwertigen Anwendungen aller Branchen sichergestellt werden. Die Bedeutung des Themas Qualität sieht man zudem in der Vielzahl nationaler und internationaler Normungsprojekte, z. B. des aktuellen, umfangreichen Normungsauftrags der EU-Kommission, im Rahmen dessen in den nächsten drei Jahren neue Standards im Bereich Qualität entstehen werden [\[184\]](#). Zudem gibt es auch viele weitere normative und privatwirtschaftliche Bemühungen, Qualitäten über gemeinsame Projekte oder individuelle Lieferspezifikationen für Rezyklate festzulegen. Auch im Koalitionsvertrag der Bundesregierung wird die Entwicklung von Qualitätsstandards für Rezyklate erwähnt [\[1\]](#). Insgesamt ist man sich in allen diesen Initiativen einig, dass die Qualität als zentraler Baustein sichergestellt werden muss, auch wenn es beim „Wie“ unterschiedliche Ansätze in der aktuellen Normenlandschaft gibt. Es gibt sowohl Normen wie die DIN SPEC 91446 [\[49\]](#), die als Rahmenstandard über alle Anwendungen und Materialien gelten, Standards wie z. B. die EN 1534X-Serie [\[187\]](#), [\[189\]](#), [\[190\]](#), die Festlegungen für einzelne Materialien beinhalten, als auch material- und anwendungsspezifische Standards in gut funktionierenden Kreisläufen, z. B. für PET-Flaschen (ISO 12418-1) [\[199\]](#) oder PVC-Türen und -Fenster (DIN EN 17410 [\[204\]](#)).

Betrachtet man die Normenrecherche von DIN zum Thema Circular Economy, so findet man heutzutage bereits fast 250 Standards und Spezifikationen, die einen Bezug zum Thema Qualität haben (siehe Kapitel [2.5.1](#)). Dies klingt im ersten Moment viel, jedoch zeigt die Istanalyse auch eine Vielzahl an Lücken, da viele Materialien, Anwendungen und Prozessschritte des Recyclings bisher kaum normiert sind. Die hohe Anzahl bereits vorhandener Normen zeigt daher vor allem, wie umfangreich und komplex das Thema Qualität rund um den gesamten Recyclingprozess und die unterschiedlichen Prozessschritte der unterschiedlichen Recyclingverfahren (mechanisch, chemisch, physikalisch, bioenzymatisch) ist. Beschäftigt man sich im Detail mit der Standardisierung von Qualitäten der Rezyklate, stößt man auf die hohe Komplexität in mehreren Dimensionen des Themas. Auf der einen Seite ist der Recyclingprozess von der Abfallsammlung über Sortierprozesse bis hin zur Aufarbeitung und Verarbeitung neuer Materialien zu betrachten. Weiterhin haben unterschiedliche

Arten des Recyclings unterschiedliche Qualitätsfragestellungen an In- und Outputströme. Zudem gibt es eine hohe Vielfalt an Materialien und an Anwendungen, welche oft spezifische Qualitätsanforderungen haben.

Hinsichtlich Qualitäten, standardisierten Datenblättern und Güteklassen von Rezyklaten bieten einige Normen bereits erste Lösungen, jedoch gibt es teilweise unterschiedliche Ansätze und gleichzeitig fehlen an einigen Stellen noch normative Regelungen. Gerade beim Thema Schadstoffe oder Additiven, sowohl aus dem ersten Lebenszyklus als auch durch Zugabe während des Recompoundierprozesses, fehlen noch einheitliche Normen zur Bestimmung und Dokumentation. Die Themen Probenahme und -homogenisierungen werden bereits für einige Prozessschritte betrachtet, wobei diese Standards oft in der Praxis nicht zur Anwendung kommen oder nicht alle Schritte des Recyclingprozesses miteinschließen. Hier besteht ein Überarbeitungsbedarf mit Blick auf den praktischen Einsatz. In diesem Zusammenhang sollte zudem die Definition von Chargen und Schwankungen von Kennwerten tiefergehend betrachtet werden. Die Gap-Analyse zeigt zudem fehlende Prüfnormen, welche für Klarheit der chemischen Analytik sorgen. Hier sind insbesondere Prüfungen zu Geruch, Schadstoffen und Ausgasungen zu nennen. Hilfreich wäre zudem eine Richtlinie zur Bewertung von Fehlern und Fehlergruppen für Rezyklate und Produkte aus Rezyklaten, ähnlich der VDI-Richtlinie 3822 zur Schadensanalytik [205].

Normen könnten durch Richtlinien zum Design, zur Konstruktion und zur Verarbeitung von Rezyklaten helfen, den Einsatz von Rezyklaten zu vereinfachen. Solche Normen würden auch im Bereich Arbeitssicherheit während der Verarbeitung von Rezyklaten Sicherheit schaffen und eine bessere Einschätzung ermöglichen. Im Allgemeinen sollte bei neuen Normungsprojekten betrachtet werden, inwieweit eine Unterscheidung zwischen Neuware und Rezyklat tatsächlich notwendig ist. Zudem sollte bei künftigen Projekten bewertet werden, inwieweit eine Normung notwendig ist oder eine Lieferantenspezifikation für eine Fragestellung zielführender ist.

Nachhaltigkeitsbewertung

Um weltweit soziale Mindeststandards und dauerhaft umweltverträgliche Lebens- und Wirtschaftsziele zu erreichen, ist eine globale Nachhaltigkeitstransformation in Richtung der 17 UN-Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals (SDGs) [203]) notwendig. Diese kann u. a. durch die Behandlung von Materialien im Sinne der Circular Economy erreicht werden. Gerade für Kunststoffe ist das besonders wichtig, da bisher riesige Mengen kaum abbaubarer Kunststoffabfälle in

die Umwelt gelangen und dort dauerhaften Schaden (u. a. als Mikroplastik) anrichten. Deshalb ist der Ausbau der R-Strategien für Kunststoff zügig voranzutreiben. Um im Sinne der globalen Nachhaltigkeitstransformation zu handeln, müssen die R-Maßnahmen wiederum in höchstem Maße die Nachhaltigkeitskriterien erfüllen. Für nachhaltige Prozesse (also z. B. auch für das mechanische und chemische Recycling von Kunststoffen) hat sich die Einteilung in drei Dimensionen – soziale, ökonomische und ökologische – etabliert. Die Nachhaltigkeitsbewertung von Recyclingprozessen (und von den anderen R-Maßnahmen) sowie von Produkten (hier vor allem von Rezyklaten, siehe Abschnitt Nachhaltigkeitsbewertung im Kapitel 2.4) und den relevanten Organisationen (z. B. Recyclingfirmen) muss in diesen drei Dimensionen stattfinden. Es sind dazu Konformitätssysteme notwendig, die qualitativ und quantitativ eindeutige und nachvollziehbare Entscheidungsgrundlagen beinhalten und letztendlich zur Erfüllung der 17 SDGs [203] führen. Einige Konformitätsbewertungen im Kontext von Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft existieren bereits, die als Grundlage auch über Deutschland hinaus dienen können.

Für die Kreislaufführung von Kunststoffen besteht jedoch der Bedarf, die Nachhaltigkeitsbewertung spezifisch auf der Basis eines einheitlichen Standards zu zertifizieren.

Bewertungssysteme für die ökologische Nachhaltigkeit sind mittlerweile etablierte Methoden, aber es gibt gerade in Bezug zur Kreislaufführung von Kunststoffen Herausforderungen. Beispielsweise ist die Wahl des Allokationsverfahrens von End-of-Life-Kunststoffen in der entsprechenden Norm nicht festgelegt. Eine weitere Herausforderung ist das Thema Greenwashing. Darunter werden alle Handlungen verstanden, mit denen Unternehmen nach außen ein umweltfreundliches Image suggerieren, obwohl sie nicht nachhaltig arbeiten bzw. produzieren. Anders als der Begriff „bio“ in der Lebensmittelbranche sind Aussagen wie „nachhaltig“, „klimaneutral“ oder „umweltfreundlich“ gesetzlich nicht definiert und es gibt keine geschützten Label. Deshalb sind Kriterien für eine verbindliche Kennzeichnung von Produkten (also z. B. Kunststoff-Rezyklaten und daraus gefertigten Bauteilen) notwendig. Neben der ökologischen Nachhaltigkeit sind die ökonomische und die soziale Nachhaltigkeit genau so wichtige Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung. Trotzdem gibt es für diese noch keine Normen, sondern nur einige gängige Methoden. Zur Bewertung der ökonomischen Nachhaltigkeit kann z. B. die Lebenszykluskostenrechnung (Life Cycle Costing, LCC) oder die Materialflusskostenrechnung (Material Flow Cost Analysis, MFCA) genutzt werden.

Eine besondere Herausforderung stellt die Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit dar. Im Bereich zur Kreislaufwirtschaft sind hier, neben der Bewertung von Prozessen bezüglich der Arbeitsbedingungen und -sicherheit, auch Aspekte wie Gleichstellung und Inklusion innerhalb der Prozessdurchführung von Produkten oder innerhalb der Organisationen wichtig. Bisherige Methoden bauen auf der Bewertung anhand der 17 UN-Nachhaltigkeitsziele (mit ihren Unterzielen und den zugeordneten Indikatoren) auf oder erfolgen anhand der sozialen Lebenszyklusbewertung (Social Life Cycle Assessment (sLCA)).

2.5.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe

Die neun R-Strategien sind auf Kunststoffe als Material nicht eins zu eins übertragbar. Die identifizierten Normungsbedarfe zahlen auf eine oder mehrere R-Strategien ein und sind nachfolgend nach R-Strategie geordnet aufgeführt. Bedarfe mit Mehrfachzuordnung wurden der relevantesten R-Strategie zugeordnet und R-Strategien ohne Bedarfszuordnung nicht aufgeführt.

Um einen Überblick zu bekommen, welche unterschiedlichen Stoffstrompfade die R-Strategien von Kunststoffen beschreiben und wie diese entlang der Wertschöpfung sowie einer kreislaufführenden „Werterhaltung“ voneinander abhängen, wurde nachstehend gezeigtes Schema entwickelt. Es beschreibt die Wertschöpfung ausgehend von der Rohstoffquelle über die Verfahrensschritte der Kunststoffproduktion bis hin zum Produkt sowie die Rückführung des Produktes und des enthaltenen Kunststoffes unter Werterhaltung in unterschiedlichen Recyclingverfahren zurück in den Prozess. Dabei sind die neun R-Strategien auf die werkstoffliche Ebene des Kunststoffes, insbesondere die darin enthaltenen Polymere, in Bezug auf Chemie, Qualität und Recyclingverfahren heruntergebrochen worden. Die Bedarfe an die Standardisierung und Normung sind in diesem Schaubild als die roten Punkte hervorgehoben worden, die beschreiben sollen, nach welchen Kriterien die Richtungszuweisung des anzuwendenden weiteren Verfahrensschritts im Stoffstrombild ausgerichtet werden kann.

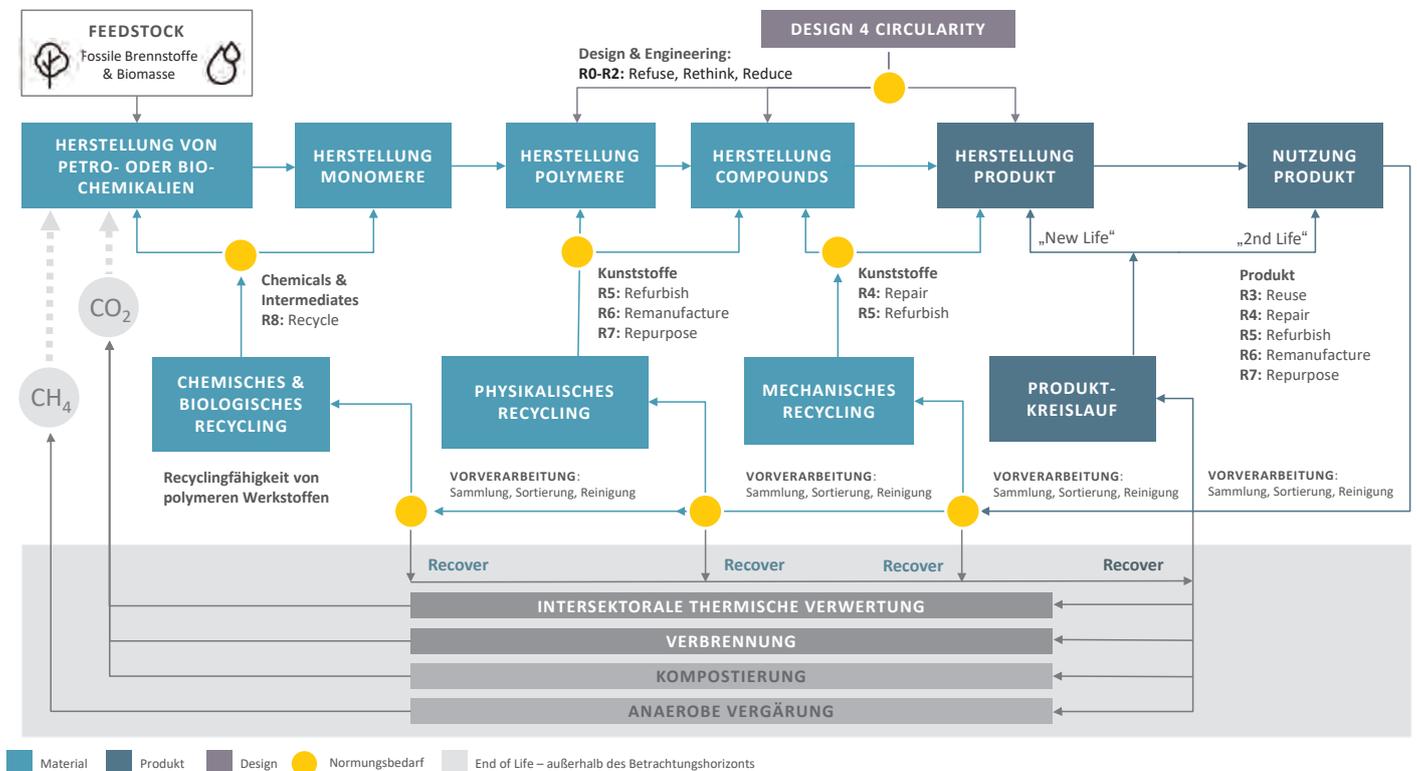


Abbildung 26: R-Strategien für Kunststoffe und Entscheidungspunkte für die Recyclingfähigkeit (Quelle: DIN)

Rethink

DESIGN 4 RECYCLING

Wie kann man die Recyclingfähigkeit eines Produktes, einer Bauteilkomponente oder eines Polymers steigern und welche Standards und Normen können hierbei unterstützen?

Generell ist zwischen der Recyclingfähigkeit eines Produktes aus Kunststoffen, den Kunststoffbauteilen, welche in vielen Fällen aus unterschiedlichen Polymeren sowie Additiven, Füll- und Farbstoffen bestehen, sowie den Polymeren selbst zu unterscheiden. Die Recyclingfähigkeit eines Polymers ist abhängig von der technologischen Reife der Recyclingverfahren sowie der Effizienz im Sinne der Ausbeute, Selektivität der Zielmoleküle und der Verfahrensführung. Für die Steigerung der Recyclingfähigkeit entscheidend sind neben dem Design und dem Aufbau der Produkte auch das der Komponenten der Polymerwerkstoffe.

Ziel sollte sein,

1. Polymere so zu „designen“ (bspw. zu additivieren, einzufärben), dass daraus am Ende des Lebenszyklus hochwertige Rezyklate produziert werden können,
2. Produktkomponenten und Produkte so zu designen, dass das Einsammeln und die Sortier- und Verwertungstechnologien unterstützt werden, sowie
3. die ganzheitliche ökologische, ökonomische, technische und soziale Bewertung der Recyclingfähigkeit in den verschiedenen Verwertungswegen darzulegen.
4. bestehende Normen darauf zu prüfen, ob ein eventuell früher festgeschriebener, genereller Ausschluss des Einsatzes von Rezyklaten aufgrund des derzeitigen Standes der Technik und der Werkstoffqualitäten heute noch verhältnismäßig ist.

Hierbei fehlen in vielen Produktbereichen und Anwendungsbereichen Standards und Normen, welche „Design 4 Recycling“-Prinzipien zur Steigerung der Recyclingfähigkeit von Produkten, Komponenten und Polymeren beschreiben und am Beginn eines Produktlebenszyklus dem Produktentwickler an die Hand gegeben werden können. Auch bei der Einstufung der Recyclingfähigkeit selbst und der Kopplung mit spezifischen Recyclingverfahren fehlen heute Technische Regeln und Standards, die über eine standardisierte Polymerauswahl die Kreislauffähigkeit der Produkte und die Recyclingfähigkeit der Komponenten und Polymere erhöht. Darüber hinaus wird bisher dem Zusammenspiel von Polymeren mit Additiven und Zuschlagsstoffen, welche z. B. bei

der Verarbeitung und dem Recycling der Kunststoffe eine wichtige Rolle spielen, sowie chemischen Bausteinen zur Funktionalisierung, Stabilisierung, Homogenisierung und Verstärkung zur Steigerung der Lebensdauer zu wenig Aufmerksamkeit im Kontext der Recyclingfähigkeit geschenkt.

Erste Leitfäden wurden von Recyclingverbänden [193], Forschungsstellen [194], Stiftungen mit hoheitlichen Aufgaben [195], Beratungsfirmen und Konsumgüterherstellenden vorwiegend im Verpackungssektor und mit dem Fokus auf das mechanische Recycling entwickelt. Es fehlen von allen Stakeholder ausgearbeitete allgemein anerkannte Regeln und Standards für alle Anwendungsbereiche von Kunststoffen und mit Bezug auf alle Recyclingverfahren.

Generell fehlen sektorspezifische Standards zur Bestimmung der Recyclingfähigkeit wie Leitfäden zur Klassifizierung von Produkten und Produktkomponenten in Kopplung mit den heute bestmöglichen Verwertungs- und Recyclingverfahren. Solche Normen unterstützen nicht nur beim Design von Kunststoffen, sondern sie geben auch allen, die Kunststoffe und daraus hergestellte Produkte anwenden, transparente Hinweise auf die Recyclingfähigkeit.

Bedarf 5.1: Allokation des End-of-Life von Kunststoffen

Im Rahmen der Lebenszyklus- und Nachhaltigkeitsbewertung von Kunststoffen stellt insbesondere die Allokation des End-of-Life eine Herausforderung dar. Etablierte Normen (DIN EN ISO 14040/14044 [80], [81]) sprechen keine Handlungsempfehlungen bei der Auswahl geeigneter Allokationsverfahren für Kunststoffe aus. Gleichzeitig weisen die gängigsten Methoden (Cut-off & Avoided-Burden) bei der Anwendung für Kunststoffe Probleme auf. Die Cut-off-Methode rechnet keinerlei Gutschriften für ein späteres Recycling ein. Einerseits wird dadurch ein Produktentwickler dazu motiviert, Sekundärmaterial zu nutzen und möglichst wenig Primärmaterial zu verwenden, andererseits gibt es keinerlei Anreize für den Entwickler, auf die Recyclingfähigkeit des Produktes zu achten. Die Avoided-Burden-Methode hingegen erlaubt eine Gutschrift von zukünftigem Recycling und setzt damit große Anreize, ein möglichst recyclingfähiges Produkt zu generieren, spiegelt jedoch häufig nicht die Materialdegradation oder die reale Recyclingquote des Kunststoffes wider. Der Allokationsansatz des Product Environmental Footprint [166] versucht, dieses Problem zu beheben, indem mittels weiterer Informationen die Marktnachfrage an recyceltem Material ermittelt wird. Je höher diese ausfällt, desto positiver wirkt sich ein zukünftiges Recycling auf die Bilanzergebnisse aus. Anwendende stehen jedoch häufig vor der Herausforderung,

dass bei dieser Allokationsmethode weitere Daten, welche über die Sachbilanz hinausgehen, notwendig sind, um die entsprechenden Faktoren in der Berechnungsmethode zu bestimmen. Insbesondere vor dem Hintergrund von Additiven und der Sortierbarkeit des Materials fehlt es bei der Bilanzierung an geeigneten Normen, um einerseits eine für Kunststoffe geeignete Allokationsmethode auszuwählen und andererseits eine der Realität entsprechende Recyclingquote zu ermitteln. Durch Normung der Auswahlverfahren und Anwendung von Allokationsmethoden wird einerseits ein recyclingfähiges Design gefördert und andererseits ein realistisches und vergleichbares Bilanzergebnis generiert.

Bedarf 5.2: Abgrenzung einer LCA und PCF und PEF durch Wirkungskategorien und Anwendungsbereich sowie Kommunikationsart

Aufgrund der Komplexität eines LCA sind PCFs oftmals ein probates Mittel, um ein Indiz für die Nachhaltigkeit zu erhalten. Oft ist aber nicht klar: Wann muss welches Instrument verwendet werden? Ein PCF ist eine LCA mit nur einem Indikator GWP 100 (Global Warming Potential, Zeithorizont von 100 Jahren) [167]. Für die Erstellung von Lebenszyklusanalysen im Bereich Kunststoffe ist eine Konkretisierung erforderlich, um relevante und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Diese Konkretisierungen betreffen u. a. die Definition des Bewertungsansatzes, Systemgrenzen und Eingangsparameter.

Normung kann an dieser Stelle unterstützen, die Einordnung (Sinnhaftigkeit einer ökologischen Bewertung) und Anwendungen (interne oder externe Kommunikation der Ergebnisse) von Materialien für Industrie, Verbrauchende und weitere Stakeholder zu erhöhen. Eine LCA sollte immer ein ganzheitliches Bild von ökologischen Leistungen von Produkten/Materialsystemen liefern und die Kreislauffähigkeit bewerten. Es besteht die Notwendigkeit, eine Hierarchie der ökologischen Bewertung (zwischen LCA, PCF und PEF) aufzuzeigen. Unterschiede und Grenzen der Anwendung sollten hier beschrieben werden.

Bedarf 5.3: Standardisierte Begriffsdefinitionen, Verfahren/Auswahl übergeordneter Kriterien und Methoden zur Überprüfung

Umweltaussagen, Zertifikate oder Nachhaltigkeitssiegel, die sich auf Umwelt- oder Sozialaspekte beziehen, sind nur dann zulässig, wenn es sich beim Herausgeber um ein anerkanntes Institut oder eine unabhängige Organisation handelt oder wenn sie auf der Grundlage des EU-Umweltzeichens, der EN ISO Umweltkennzeichnung oder spezifischen EU-Rechts-

vorschriften, die für die Aussage relevant sind, basieren oder die Aussage unabhängig durch Dritte validiert wurde.

Es existiert heute bereits eine ganze Reihe von Zertifikaten und Siegeln, welche aufgrund der dahinterstehenden Datenerfassung, -bereitstellung und Auditierung erheblichen Aufwand bei Recyclern verursachen können. Praktischer wäre eine Norm, nach der eine Konformitätserklärung abläuft, die dann von unterschiedlichen Dienstleistenden zusammen mit den Recyclern umgesetzt wird – eine Vorgehensweise, die sich bei der DIN EN ISO 9001 [206] seit vielen Jahren bewährt hat.

Normung kann hier durch ein standardisiertes Prüfverfahren unterstützen, welches eine transparente Grundlage für eine Kennzeichnung und eine Konformitätsbewertung gewährleistet. So wird wiederum auch der Schutz der Verbrauchenden vor Greenwashing geboten, da unbegründete, allgemeine oder vage Umweltaussagen schwieriger möglich sind. Die Festlegung von Kriterien für die Bewertung der Fairness von Umweltaussagen erleichtert auch die Durchsetzung durch Verbraucherschutzbehörden. Derzeit gibt es einen Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinien 2005/29/EG und 2011/83/EU [196]. Zwei weitere Initiativen auf EU-Ebene würden diesen Vorschlag ergänzen: die Green-Claims-Initiative [165] und die Initiative für nachhaltige Produkte [198]. Darüber hinaus ist die EU-Initiative Product Environmental Footprint (PEF) [166] zu nennen, welche zum Ziel hat, vergleichbare Bilanzierungen und Datengrundlagen für alle sicherzustellen.

Bedarf 5.4: Methoden für die Bewertung der Konformität der ökonomischen Nachhaltigkeit

Es besteht ein Bedarf bezüglich einer Norm für ökonomische Nachhaltigkeit. Zwar gibt es Verfahren, die ähnlich der ökologischen LCA durchgeführt werden, nämlich die Lebenszykluskostenrechnung (Life Cycle Costing, LCC) oder die Materialflusskostenrechnung (Material Flow Cost Analysis, MFCA), die beide die gesamten Kosten eines Prozesses oder Produkts über gesetzte Systemgrenzen erfassen und anteilig einzelnen Produkten und Materialverlusten zurechnen, aber eine Norm fehlt. Es muss auch hier mit Allokationsverfahren gearbeitet werden. Die MFCA ist etwas detaillierter als die LCC, aber beide Methoden unterscheiden sich grundlegend von der klassischen Kostenrechnung. Ihr größter Nutzen ist, dass sie es ermöglichen, Optimierungspotenziale im Produktionsprozess (also auch in Recyclingprozessen) zu identifizieren. Eine Art der MFCA wird im VDI-Leitfaden zur Ressourceneffizienz-Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA, VDI) [207] vorgestellt.

Daneben ist das Thema Versorgungskritikalität (vergl. Bewertung der Rohstoffkritikalität – VDI 4800 Blatt 2 [207]) bei der Anwendung der R-Strategien bei Kunststoffen relevant, da die heute noch dominierenden erdölbasierten Kunststoffe eine höhere Versorgungskritikalität haben als biobasierte oder recycelte Kunststoffe. Außerdem zeichnen sich einige der Additive in Kunststoffen durch eine hohe Kritikalität aus. Auch hier kann z. B. durch den Einsatz von Rezyklaten die Versorgungskritikalität verringert werden. Recycelte Materialien aus Kunststoffen sollten deshalb bei Nachhaltigkeitsbewertungen eine zusätzliche positive Bewertung erhalten, da bei deren Kreislaufführung keine (oder wenig) neue Rohstoffe benötigt werden.

Somit könnten künftige Kriterien zur ökonomischen Nachhaltigkeit, die in Normungsprozessen festgelegt werden müssen, die wahren Kosten der Nachhaltigkeit bei Materialien z. B. in Bonus- und Malussystemen abbilden. Hier können klassische Methoden der kontinuierlichen Verbesserung (z. B. Rohstoffreduzierung, Reduzierung von Materialverlusten, Reduzierung des Energieverbrauchs (Energieeffizienz), Nutzung „erneuerbarer“ Energiequellen) ebenso greifen wie ein wirkungsvolles Ideenmanagement, der Aufbau einer nachhaltigen Lieferkette und eine Nachhaltigkeitsstrategie, die z. B. in der Qualitätspolitik des Unternehmens verankert sein könnte. Daneben können auch indirekte Umweltkosten einbezogen werden, die durch den betrieblichen Umweltschutz entstehen (vergl. VDI 3800 [208]).

Empfehlenswert wäre außerdem die Einbeziehung von externen Umweltkosten (z. B. durch einen Schadenskostenansatz). Dabei werden die Kosten des Ressourcenverbrauchs innerhalb der gesetzten Systemgrenzen (also z. B. die Kosten durch den Flächen- und Wasserverbrauch bei der Gewinnung des Erdöls als Ausgangsmaterial für Kunststoffe) ermittelt, die kurz-, mittel- oder langfristig entstehen. Hierfür muss zuerst der „Schaden“ an der Umwelt quantifiziert und danach monetär bewertet werden.

Bedarf 5.5: Regelung zur Arbeitssicherheit beim chemischen und mechanischen Recycling bzw. bei der Verarbeitung von Rezyklaten

Beim mechanischen und chemischen Recycling von Kunststoffen treten besondere Gefahren auf. Beim chemischen Recycling kann das an den Polymeren selbst (z. B. PVC) liegen oder durch gesundheitsgefährdende Additive auftreten. Beim mechanischen Recycling sollten Arbeitssicherheitsthemen hinsichtlich der Verarbeitung von Rezyklaten (Stäube, flüchtige Schadstoffe) fokussiert werden. Dabei sollten die

Festlegung von Grenzwerten der arbeitssicherheitsrelevanten Stoffe und die Normung von Prüfverfahren und Messtechniken berücksichtigt werden.

In Rahmen von Forschungsprojekten sollte untersucht werden, inwieweit gesonderte Regelungen zur Arbeitssicherheit bei der Verarbeitung von Rezyklaten oder beim chemischen Recycling notwendig sind. Hierbei muss auch Berücksichtigung finden, dass z. B. Post-Consumer-Rezyklate unbekannte Schadstoffe und Mahlgüter höhere Staubanteile als Neumaterialien enthalten können. Bei der Bewertung der Stäube kann die Art der Stäube (Mikroplastik, Metallstäube) betrachtet werden. Falls die Forschungsaktivitäten die Notwendigkeit einer Unterscheidung zeigen, sollten entsprechende Grenzwerte durch Normen und Gesetze geregelt werden.

Repurpose

Bedarf 5.6: Überprüfung und Aktualisierung bestehender Normen bezüglich realistischer Umweltbedingungen bei der Bewertung der biologischen Abbaubarkeit von Kunststoffen

Im Bereich bioabbaubarer Kunststoffe ist eine Überprüfung der Normen hinsichtlich des Praxisbezugs zu empfehlen, da auch nach gängigen Standards kompostierbare Materialien oft aufwändig aussortiert werden (müssen). Es wäre empfehlenswert, die Umgebungsbedingungen des Abbaus (industrielle und Heimkompostierung, Sediment, Meer; aber auch Temperatur und Feuchtigkeit) stärker in den Fokus der Bewertung zu rücken, damit die Normen auch die Realität abbilden. Weiterhin könnten Betriebsparameter für die Kompostieranlagen empfohlen und normiert werden, um die Degradation tatsächlich zu erreichen.

Recycle

Polymerrecycling ist Stand der Technik. Unter mechanischem Kunststoffrecycling werden Verfahren verstanden, bei denen die Polymerstruktur nicht oder kaum verändert wird und die Kunststoffe als Material erhalten bleiben. Unter physikalischem Kunststoffrecycling werden Verfahren verstanden, bei denen dafür geeignete Kunststoffsorten in einem lösemittelbasierten Verfahren zurückgewonnen werden. Dabei bleibt die Polymerstruktur erhalten. Unter chemischem und biologischem Kunststoffrecycling werden Verfahren verstanden, durch die polymere Abfälle ihre Struktur ändern, um in Stoffe (v. a. Monomere) umgewandelt zu werden, die wieder

als Rohstoffe (Polymere) zur Herstellung von Produkten verwendet werden.

RECYCLINGFÄHIGKEIT

Bedarf 5.7: Qualifizierung von Kunststoffen für eine Wiederverwendung nach heutigem End-of-Life

Im Sinne der Abfallwirtschaft sind Abfälle alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihre Besitzer*innen entledigen, entledigen wollen oder entledigen müssen. Dabei wird unterschieden, ob es Abfälle zur Verwertung oder Beseitigung sind. Unter Abfall zur Verwertung fallen Wertstoffe wie Holz, Papier, Pappe und Metalle, die leicht recycelt werden können. In Bezug auf Kunststoffprodukte am Ende ihrer Nutzungsphase ist die klassische Abfallwirtschaft heute nicht differenziert genug, um alle anfallenden Kunststoffe geeigneten Wertstoffströmen zuführen zu können.

Ein verwendungsfähiger Kunststoff enthält nicht allein das Polymer, sondern qualifiziert sich darüber hinaus über Zuschlagsstoffe, Additive, Verstärkungsmaterialien, Stabilisatoren und vieles mehr für eine Anwendung. Hieraus ergeben sich unendlich viele Rezepturmöglichkeiten, die eine präzise Identifikation im Recycling erschweren. Die DIN EN ISO 1043 [191] bietet zwar Anhaltspunkte, ist aber zu aufwendig, als dass sie praxisnah im Sortierbetrieb angewendet werden könnte.

Erschwerend kommen Substanzen hinzu, die in der Produktanwendung in den Werkstoff eindiffundieren. Diese können die technischen Eigenschaften des Kunststoffes und dessen Recyclingfähigkeit beeinflussen. Umwelteffekte wie der Kontakt mit Sonnenlicht, Sauerstoff und Wasser können die Polymere oder auch die Additive durch Photolyse, Oxidation bzw. Hydrolyse chemisch verändern oder diese verbrauchen. Das Wissen über die End-of-Life-Qualität des Kunststoffes und die End-of-Waste-Einstufung sind fundamentale Informationen für jedwedes infrage kommende nachgeschaltete Recycling. Insbesondere steht auch die rechtliche Konformität der im Werkstoff enthaltenen Substanzen im Fokus, wenn zum Beispiel aktuell verbotene Weichmacher (z. B. Diethylhexylphthalat (DEHP)) oder Schwermetalle (z. B. Chrom VI) bei einer Wiederverwertung durch beispielsweise sehr langlebige Produkte neu in den Stoffkreislauf geraten würden. Tolerierbare Grenzwerte und Ausschlusskriterien sind hierfür zu definieren.

Bedarf 5.8: Bewertung der Wiederverwendbarkeit von Kunststoffen

Ziel dieses Bedarfes ist die Ermittlung möglicher Einsatzbereiche für sortierte und aufgearbeitete Rezyklate. Anhand teilweise noch zu entwickelnder und zu normender Prüfverfahren, für welche die Bedarfe im Abschnitt Qualität näher ausgeführt sind, sollen Materialien dahingegen qualifiziert werden, dass eine Bewertung der Wiederverwendbarkeit erfolgen kann. Die Bewertung der Wiederverwendbarkeit muss dabei aufgegliedert nach Anwendungsgebieten wie Verpackung, Automotive etc. erfolgen und muss dabei legislative Bestimmungen berücksichtigen. Die EN 15347 [190] behandelt die Charakterisierung von Kunststoffabfällen, geht jedoch nicht auf die Charakterisierung von Rezyklaten ein, dies erfolgt für einige Werkstoffe in anderen Teilen der EN 1534X-Serie [187], [189], [190].

Eine übergeordnete Norm zur Bestimmung der Wiederverwendbarkeit sollte dazu dienen, anhand der ermittelten Kennwerte und der erstellten Datenblätter potenziellen herstellenden Unternehmen und Abnehmer*innen eine Hilfestellung zur Wiederverwendbarkeit für bestimmte Anwendungsbereiche zu geben und so Rezyklate zielgerichteter in den Kreislauf zurückzuführen.

Bedarf 5.9: Standardisierte Angaben zu Additiven für das Recycling von Kunststoffen

Polymere werden nur in Ausnahmefällen als reine Stoffe eingesetzt. Additive werden, wie der Name es schon sagt, den Polymeren hinzugefügt. Sie haben unterschiedliche Funktionen und können z. B. helfen, ein Rezyklat wieder einsetzbar und verarbeitbar zu machen. Enthaltene Additive haben zudem Einfluss auf die Recyclingfähigkeit, vor allem wenn es sich um Substanzen handelt, welche nicht mehr stoffrechtlich zugelassen sind. In der Kürze sind hier nur einige wichtige Additivklassen beschrieben. Sie reichen von Füllstoffen wie Talkum, Ruß oder Kreide über Farbstoffe und Verarbeitungshilfsmittel zur Beeinflussung des Fließverhaltens oder der Entformung, Stabilisatoren zur Anpassung der Alterungsbeständigkeit bis hin zu den Verstärkungsstoffen und Vernetzern, um die Mechanik zu verändern. Restmengen an Monomeren, Katalysatorreste oder andere Synthese- oder Abbauprodukte aus der Polymerherstellung und -verarbeitung können auch in Kunststoffmaterialien enthalten sein, sind aber keine absichtlich hinzugefügten funktionellen Additive. Der Kunststoff lässt sich durch die Auswahl geeigneter Additive an die Anwendung anpassen und optimieren. Deswegen sind Kunststoffe bei der Betrachtung ihrer Recyclingfähigkeit nicht erst beim End-of-Life-Szenario immer

als ein Gemenge aus Polymer und weiteren Inhaltsstoffen zu betrachten, sondern bereits beim Design der Anwendung wie auch der Synthese des Polymers oder der Compoundierung und Formgebung des Kunststoffes. Ferner ist auch zu betrachten, dass weitere Additive in dem jeweiligen Recyclingprozess zielgerichtet dem Kunststoff hinzugefügt werden, um dessen Qualität, Stabilität und Dauergebrauchsfähigkeit für die erneute Nutzung zu verbessern. Dies können zum Beispiel Vernetzer, Stabilisatoren, Füllstoffe oder andere Substanzen und Materialien sein.

Die Auswahl und Kombination der Additive im Kunststoff kann für die spätere Wiederverwertung entscheidend sein, z. B. dahingehend, ob werkstoffliches oder rohstoffliches Recycling möglich ist oder ob die energetische Verwertung ökonomisch die einzig sinnvolle Option ist, um z. B. toxische und nicht mehr marktfähige Substanzen auszuschleusen. Allein die Zugänglichkeit der Information über die enthaltenen Additive eines Kunststoffes spielt bei der Bewertung seiner Wiederverwertbarkeit eine zentrale Rolle. Die bereits zuvor erwähnte DIN EN ISO 1043 [191], beschreibt in Teil 2 bis 4 zu verwendende Kürzel für Füll-/Verstärkungsstoffe, Weichmacher und Flammschutzmittel, aber für die Vielzahl an weiteren funktionellen Additiven oder Additivkombinationen fehlen darüber hinaus standardisierte Angaben. Hier besteht erheblicher Normungsbedarf. Des Weiteren sollte die Einbindung der in der Herstellungskette verwendeten Additive im Digitalen Produktpass standardisiert werden, damit Additive transparent und, wenn möglich, mit Recyclingfähigkeit und Recyclingempfehlung am Ende des Produktlebens ausgewiesen werden.

Bei der Umsetzung der Normungsroadmap wird dringend angeraten, das Recycling nicht durch die Angabe quantitativer, konkreter materialspezifischer Kennwerte unverhältnismäßig einzuengen. Für die Festlegung detaillierter Grenzwerte eines Produktes stehen im Kunden-Lieferanten-Verhältnis genügend bewährte Methoden zur Verfügung, z. B. über Lieferspezifikationen und Analysenzertifikate, die Eigenschaften und die Qualität eines Produktes hinreichend beschreiben. Hingegen kann Normung z. B. bei der Festlegung der Informationstiefe insbesondere für kleine und regionale Betreibende von Recyclinganlagen eine wertvolle Hilfe sein, siehe beispielsweise die Vorgehensweise der DIN SPEC 91446:2021-12 [49].

SORTIERUNG

Bedarf 5.10: Einheitliche Gestaltung von Datenblättern zur Beschreibung von sortierten Materialien

Gerade bei Kunststoffen muss die jeweilige Recyclinganlage speziell auf die Kunststoffsorte und die jeweilige Anwendung spezialisiert sein. Beispielsweise ist das Recycling von Folien aus Polyethylen ein anderer Prozess als die Wiederaufbereitung von Hohlkörpern, die ebenfalls aus Polyethylen bestehen. Haben die Wertstoffe eine möglichst konstante Zusammensetzung (Sortierung), kann ein Prozess optimal auf diesen Wertstoffstrom hin entwickelt werden. Wird ein Wertstoff bereits getrennt gesammelt, wie z. B. Pfandflaschen oder Logistikfolien, entfällt dieser erste großtechnische Sortierschritt, wobei ebenfalls ein aussagekräftiges Datenblatt zur Qualität des Materials vorhanden sein sollte. Die Datenreihenfolge und Datentiefe in der Spezifikation von Wertstoffqualitäten sowie, wenn nötig, die Messmethoden (aufbauend auf DIN EN 15347 [190], DIN SPEC 91446 [49]) sollten in einer Norm erarbeitet werden.

Bedarf 5.11: Harmonisierung der Rücknahme- und Sammelsysteme für gewerbliche Branchen und Produkte

Bei freiwilligen Rücknahme- und Sammelsystemen aus dem gewerblichen Bereich wie z. B. bei Bauprodukten ist eine Harmonisierung erstrebenswert, um die Menge des gesammelten Materials zu steigern und auch um den logistischen Aufwand zu minimieren.

Eine Normung der Sortierqualitäten und Trennhinweise im gewerblichen Bereich auf Produktebene fördern den Anstieg von Closed-Loop-Produkten und Material, das für eine Anwendung innerhalb derselben Branche geeignet ist. Dies kann durch eine Normung von Design 4 Sorting und Recycling ggf. branchenspezifisch unterstützt werden. Gelingt hier die Harmonisierung, so können einheitlichere Abfallmanagementstrukturen für die jeweiligen Produktkategorien geschaffen werden, z. B. für Elektro- und Elektronikgeräte-Abfall (WEEE) [135], Automobil- oder Bauindustrie.

Bedarf 5.12: Technische Richtlinie zur Definition von Open- und Closed-Loop-Systemen

Bisher gibt es keine einheitliche Definition von Open- und Closed-Loop-Systemen für Produkte oder Materialien und damit keine einheitliche Verwendung der Begriffe. Das verhindert auch ein einheitliches Verständnis darüber, ob das Material in denselben Kreislauf zurückgeführt werden kann. Ein weiterer Bedarf für Forschungs- und Normungsaktivitäten ist die Entwicklung eines Leitfadens, was als Open

und Closed Loop gilt, da diese Begriffe in der Praxis sehr unterschiedlich ausgelegt werden. Das verhindert auch ein einheitliches Verständnis darüber, ob das Material sinnvoll in denselben Kreislauf zurückgeführt werden kann. Daher bedarf es einer Definition der Begriffe und Festlegung eines Messverfahrens.

DIGITALER PRODUKTPASS, TRACEABILITY

Bedarf 5.13: Ergänzung von recyclingorientierten Informationen im Digitalen Produktpass für Kunststoffe

Ein Produktpass kann dazu beitragen, die Recyclingeffektivität von Kunststoffen zu erhöhen, z. B. das Vorhandensein bestimmter Stoffe auszuweisen, die einen Einfluss auf die Eignung für bestimmte Anwendungen haben (siehe Bedarf 1.8). Ebenso kann es die Akzeptanz von Recyclingmaterial in der Produktentwicklung erhöhen. Der Produktpass sollte die notwendigen Informationen zu Anteilen aller relevanter Bestandteile klar nennen, sollte sich hierbei jedoch auf die notwendigen Informationen beschränken. Dabei muss eine Ebene der Information gefunden werden, die die Vorteile für die Recyclingwirtschaft gewährleistet, jedoch die Geschäftsgrundlage der herstellenden Unternehmen schützt. Eine Möglichkeit ist eine Einteilung in „Erforderliche Daten“ (verpflichtend anzugeben) und zusätzliche „Optionale Daten“, die die Kommunikation der Wirtschaftsakteur*innen nachhaltig verbessern können. Folgende Informationen sind für die Sortierung, Aufbereitung und Verarbeitung von Wertstoffen relevant:

- Kunststofftyp und Anwendung (z. B. Verarbeitung Extrusion/Spritzguss oder Eignung Food/Non Food)
- Absichtlich hinzugefügte Zusatzstoffe und Füllstoffe
- Wahrscheinlich vorzufindende Stoffe, die durch Migration aus angrenzenden Stoffen während der Nutzung entstehen, z. B. bei Verpackung von Gefahrgut
- Enthaltene Stoffe durch Nutzung von Rezyklat bei der Produkt-/Verpackungsherstellung (Multi-cycle)

Für eine Sortierung ist der Zugang zu den Daten in Höchstgeschwindigkeit erforderlich. Dafür sind die Datenschnittstelle, die Datenformate (Reihenfolge, Semantik, Einheiten), Aktualisierungszyklen u. a. zu standardisieren. Der Zugriff für alle Beteiligten der Wertschöpfungskette (Datenschnittstelle und Gewährleistung Interoperabilität der Datenbanken) bzw. die Zugriffsstruktur (lesen/schreiben), die Datenverknüpfung (z. B. Charge zu Endprodukt) sowie die Datensicherheit sind ebenfalls festzulegen. Hier können Industriestandards und bereits bestehende Richtlinien eine Ausgangsbasis sein.

Besondere Aufmerksamkeit bedürfen auch die sehr langlebigen Produkte aus Kunststoffen, denn gesetzliche Anforderungen ändern sich innerhalb der EU periodisch im Rahmen von Überarbeitungen von Gesetzen, Normen, Standards etc. Daraus kann resultieren, dass diese Kunststoffe dann nicht mehr recycelbar sind bzw. das im Recyclingprozess gewonnene Rezyklat ggf. nicht mehr in neuen Produkten eingesetzt werden darf.

Bedarf 5.14: Einheitliche Dokumentationspflicht für die Rückverfolgbarkeit von Kunststoffen – Traceability

Um die Rückverfolgbarkeit von rezyklierten Kunststoffen zu gewährleisten, sollten alle Teilnehmenden des Wertschöpfungskreislaufs von Sammlung des Wertstoffes über Sortierung und Aufbereitung bis zum Inverkehrbringen in die Dokumentation eingebunden werden. Diese Information wird dann u. a. zur Qualitätsbeurteilung und Ausweisung des Rezyklatgehalts verwendet. Die jeweiligen zu dokumentierenden Informationen (inkl. Begriffsdefinitionen zur einheitlichen Interpretation), deren Datentiefe und Messverfahren sind zu standardisieren. Diese können je nach Verfahrensschritt festgelegt werden (z. B. Herkunft bei Sammlung, Qualitätseigenschaften bzw. Kontaminantenbewertung bei Aufbereitungsverfahren). Zusätzlich können Daten gefordert werden, die für den Digitalen Produktpass, eine Nachhaltigkeitsbewertung oder andere Konformitäten nötig sind. Ein Startpunkt kann hier die DIN EN 15343 [187] sein.

Als Zuordnung zwischen Dokumentation und Material muss die Nachvollziehbarkeit der Chargenbezeichnung oder Zuordnungsmethodik festgelegt werden. Wird die Chargenbezeichnung und -größe im Laufe der Verarbeitung geändert bzw. geteilt, so ist dies lückenlos in der Dokumentation nachvollziehbar festzuhalten. Der Ort für die Ablage sowie Speicherdauer dieser digitalen Dokumentation sind festzulegen, insbesondere ist auf eine Abstimmung der Anforderungen an einen Digitalen Produktpass und die zusätzlichen Ansprüche an Traceability zu achten.

Bedarf 5.15: Einheitliche Berechnungsregeln für die Ermittlung der Ausbringungsrates in Recyclingverfahren

Abhängig von der Qualität des aufbereiteten Wertstoffes und der gewählten Prozessstruktur wird eine spezifische Ausbringung für jede Recyclinginfrastruktur für ihr Zielprodukt erwartet. Nebenströme können allerdings wiederum in dafür spezialisierte Recyclinganlagen gelangen und die Gesamtverwertung aus Sicht des Wertstoffes ergänzen. Beispielsweise ist bei einer Recyclinganlage für Getränkeflaschen das PET im Fokus, während die Banderole und Kappen in jeweils

dafür spezialisierte Anlagen gelangen. Es ist daher bei der Festlegung einer Gesamtverwertungsquote die Kaskade der verschiedenen Prozesse sowie deren spezifische Ausbeute in der Kalkulation zu berücksichtigen. Ausgeschleuste Kontaminanten, sofern sie nicht weiter recycelt werden, sowie energetisch genutzte Anteile sollen nicht zu einer Verwertungsquote hinzugerechnet werden. Zudem müssen auch die Entfernung bzw. der Verbleib von Kontaminanten aus den jeweiligen Recyclingverfahren in den Bilanzierungsmethoden berücksichtigt werden.

Kommen Verfahren zum Einsatz, bei denen das Material mit anderen Stoffströmen gemischt wird und es am Produkt nicht erkennbar ist, aus welcher Quelle das Material stammt (z. B. angedacht bei der chemischen Aufbereitung), so muss die Berechnungsmethode der Ausbringungsrate festgelegt werden. Hat die Verdünnung des Recyclingrohstoffes z. B. mit Neuware einen Einfluss auf die Verarbeitbarkeit des Materials (z. B. bei starken Verdünnungen zu erwarten) und die Ausbringungsrate des Prozesses, so muss dies in der Berechnungsmethode berücksichtigt werden.

Werden Zwischenprodukte erzeugt (Monomere, Öle, Gase, Feststoffe), soll die Ausbeute anhand der resultierenden Menge Kunststoff aus den nachfolgenden Prozessschritten ermittelt werden. Werden die Stoffe nicht zur Erzeugung der ursprünglichen Kunststoffanwendung verwendet (z. B. Feststoffe oder für die Kunststoffherzeugung ungeeignete Gase), so sollen diese im Sinne der Kunststoff-Kreislaufwirtschaft von der Berechnung ausgeschlossen werden.

Bedarf 5.16: Regeln für die Berechnung des Rezyklatgehaltes

Werden ausschließlich Wertstoffe in einer Recyclinganlage verarbeitet und keine weiteren Materialien in der Herstellung des Produktes ergänzt, so ergibt sich ein Rezyklatgehalt für den erzeugten Recyclingrohstoff von 100 %. Werden Hilfsstoffe für die Aufbereitung benötigt (Wasser, Waschsubstanzen, Lösemittel, Katalysatoren etc.), so muss sichergestellt werden, dass diese vollständig entfernt werden bzw. nicht in die Erfassung des Recyclingrohstoffes eingehen. Wird aus technischen oder anderen Gründen eine Verdünnung des Recyclingrohstoffes benötigt, so ergibt sich aus dem Massenanteil des verwendeten Rezyklates derzeit der Rezyklatgehalt. Ein Startpunkt kann hier die DIN SPEC 91446 sein [49].

Derzeit berücksichtigen Normen (z. B. DIN EN 15343 [187]) allerdings nur Recyclingprozesse mit segregierten Wertschöpfungsketten oder Wertschöpfungsketten, bei denen jederzeit

die exakte Zusammensetzung der Produkte genau bekannt ist. Nicht alle neuen Recyclingtechnologien können diese Voraussetzungen für die Berechnung des Rezyklatgehalts erfüllen. Daher bedarf es einer Überarbeitung und Erweiterung der Berechnungsmethoden des Rezyklatgehalts in Normen, die den unterschiedlichen Technologien (mechanisch, physikalisch, chemisch, biologisch) Rechnung tragen. Dazu sollte eine allgemeingültige Formel für die Berechnung des Rezyklatgehalts, anwendbar für alle Recyclingtechnologien, entwickelt und spezifische Regeln für die verschiedenen Modelle der Rückverfolgbarkeit in der Lieferkette ergänzt werden.

Bei der Gestaltung solcher von der physikalischen Grundlage abweichenden Berechnungsmethoden (freie Allokation), z. B. als Übergangslösung für die Aufbauphase einer chemischen Recyclinganlage, sind folgende Kriterien festzulegen: erlaubte Verdünnungsrate, zeitliche Verbindlichkeit, örtliche Verbindlichkeit und Allokation zu verschiedenen unvermeidlichen Stoffströmen (Produkten).

MECHANISCHES RECYCLING

Bedarf 5.17: Abgrenzung der Recyclingtechnologien/ Verfahren für Kunststoffe und einheitliche Bilanzierung

Das mechanische Recycling umfasst eine Vielzahl von Verfahren und Technologien, manche Verarbeitungsschritte sind in der Vergangenheit technologisch zusammengefasst worden und haben so auch die Grenzen zu anderen Recyclingverfahren überschritten. Grundsätzlich wäre es im Vorfeld wichtig, die einzelnen Verfahren klar voneinander abzugrenzen. Hierzu bedarf es einer klaren Nomenklatur, vor allem in Richtung des chemischen und physikalischen Recyclings und zu einer einheitlichen Bilanzierung.

Um das mechanische Recycling zu qualifizieren und seinen Entwicklungsstand definieren zu können, wäre eine Auflistung der Technologien und Verfahren in einem Statusbericht beispielsweise in Form eines „Technical Report“ wünschenswert. Hierzu sollten Prozessschritte des mechanischen Recyclings (wie z. B. Zerkleinern, Dichtentrennung, Infrarot/Nahinfrarot(IR/NIR)-Sortierung, Compoundieren, Volatile Organic Compounds (VOC)-Extraktion u. v. m.) aufgegliedert und dementsprechende Technologien beschrieben werden.

Darüber hinaus sollten die Grenzen, Vorteile und Nachteile der Technologien zur Sammlung und Sortierung in der Vorbereitung des mechanischen Recyclings beschrieben werden. Der wichtige Bereich der Sortier- und Trenntechnologien sollte explizit beschrieben und bewertet werden, hier sollte auch

der Status quo herausgestellt werden. Es wäre sinnvoll, wenn ganze Aufbereitungsschritte wie das Waschen, Schmelzefiltrieren oder das Sortieren von Kunststoffabfällen mit seinen Möglichkeiten und Schwächen beschrieben werden. Der Bedarf richtet sich an Normung und Forschung, aber auch an die weiterverarbeitende Industrie.

Bedarf 5.18: Systematisierung von Markern und Anforderungen an den Prozess zur Zerstörung im zweiten Recyclingprozess sowie Quantifizierung der Umwelteinflüsse

Das Einbinden von Markern in Polymere hilft nicht nur beim Plagiatsschutz, sondern weist auch ein großes Potenzial in der Trennung und Sortierung des späteren Recyclingstroms auf. Die markierten Kunststoffteile werden mit einer hohen Trenngüte aus dem heterogenen Abfallstrom aussortiert und können so sortenrein weiterverarbeitet werden. Durch Marker-Kombinationen könnten wichtige Informationen über Zusammensetzung und Herkunft bis hin zu Digitalen Produktpässen hinterlegt werden.

Gegenwärtig verwendete Marker sind auf Langlebigkeit konzipiert; sie bleiben über den Recyclingprozess hinaus im Material vorhanden. Dieses Konzept kann durchaus Vorteile bieten, da die Historie des Materials ansatzweise hinterlegt bleibt. Allerdings könnte ein Marker, der zuvor nicht aus einem Recyclingstrom abgetrennt wurde, Probleme bei der weiteren Verarbeitung oder im nächsten anstehenden Trennschritt machen. Für den Wunsch nach Markern, die im Anschluss an die Sortierung im Verlauf des Recyclingprozesses vollständig, und ohne die weitere Anwendung negativ zu beeinflussen, entferntbar sind, könnte die Normung (in Verbindung mit der Forschung) ein wichtiges Werkzeug sein. Des Weiteren muss betrachtet werden, welche Umwelteinflüsse Marker beim mechanischen Recycling haben, wie z. B. eine Kontamination des Waschwassers.

Natürlich benötigt man in diesem Fall ein Minimum an Informationen über den Marker sowie eine Systematisierung der unterschiedlichen Markertypen; auch eine anwendungsspezifische Deklaration würde hier sehr helfen.

Bedarf 5.19: Anforderungen an ein Lacksystem im Sinne eines Design 4 Recycling und nachhaltige Entlackungsverfahren

Farben und Lacke erhöhen die Wertigkeit einer Anwendung, allerdings auch den Aufwand, diese zu recyceln, und verschlechtern zudem die Qualität des Rezyklates. Daher ist das Wissen über das Lacksystem (Vorbehandlung/Träger/Lack)

für alle Recyclingprozesse von immenser Bedeutung. Bei der einfachen und kostengünstigen Entlackung ohne störende Abbauprodukte besteht ein hoher Forschungsbedarf.

Grundsätzlich wäre es jedoch sinnvoller, schon beim Design 4 Recycling auf ein Lacksystem zurückzugreifen, welches sich einfach wieder entfernen lässt oder keinen bzw. nur wenig Einfluss auf den Prozess und auf die Qualität des recycelten Produktes hat. Hierfür sollten Farb- und Trägersysteme erforscht und definiert werden. Bereits während der Entwicklung dieser Systeme sollten die zu diesen Systemen passenden Verfahren zum Entlacken entwickelt und normiert werden.

Bedarf 5.20: Systematik der Kombinationen von organischen und anorganischen Pigmenten in Kunststoffen für ein optimales Recycling

Anders als Lacksysteme sind Färbemittel speziell für einzelne Polymere oder Polymergruppen entwickelt worden. Diese haben augenscheinlich nur wenig Einfluss auf den Prozess des mechanischen Recyclings. Allerdings gibt es Kombinationen von organischen und anorganischen Pigmenten, die einer hohen Qualität des Rezyklates im Wege stehen. Ein Risiko ist auch eine Überschreitung gesetzlicher Grenzwerte (wie z. B. für Schwermetalle) in einer neuen Anwendung. Daher ist auch hier das Wissen über die Art des Pigmentes und dessen Konzentration äußerst wichtig.

Problematische Vermischungen sollten erforscht und eine Systematik sollte entwickelt werden, welche Kombinationen sich ausschließen und welche Kombinationen, bezogen auf die Anwendung, u. U. zulässig sind. Hier besteht ein Bedarf an Forschung, aber auch an Normung.

Bedarf 5.21: Festlegung von Inputströmen in Bezug auf Fremdpolymere und Füll- und Verstärkungsstoffe

Die Thematik des Einflusses von in Rezyklaten enthaltenen Fremdpolymeren und Fasern befindet sich in den Anfängen der Forschung und Kommerzialisierung und ist bisher nur unzureichend in der Normung angekommen (siehe hierzu DIN CEN/TS 17627 „Bestimmung des Gehalts an Feststoffverunreinigungen“) [187]. Aktuell läuft intensive Grundlagenforschung, um in der Lage zu sein, die Notwendigkeit von Normen abschätzen zu können. Anzudenken wären Themen wie beispielsweise die Prozessdefinition zur Zerkleinerung von Multimaterialsystemen und deren Separation bis hin zum reinen Primärmaterial oder die Bestimmung der Länge von im Rezyklat enthaltenen Verstärkungsfaserlängen und Materialeigenschaften mit bspw. optischen Verfahren.

Durch den anwendungs- und eigenschaftsbezogenen vermehrten Einsatz von Kunststoffverbänden mit oder ohne Faserverstärkung, ohne grundlegende Prinzipien des Design 4 Recycling in der Phase der Produktentwicklung zu beachten, gewinnt dieses Thema immer mehr an Bedeutung. Dies liegt an Erfolgen im Recycling weniger komplexer Materialien, am zunehmenden Druck seitens der Politik, aber auch am Marktumfeld (steigender Rezyklatbedarf) und nicht zuletzt am steigenden Problembewusstsein in Industrie und Gesellschaft.

Eine grundlegende Fragestellung für eine Normung ist hierbei die Definition zielkomponentenspezifischer Methoden, um den sich stark unterscheidenden Materialien und Produkten individueller Rechnung zu tragen. Neben einer möglichst faserschonenden Behandlung in den einzelnen Prozessschritten bedarf es weiterhin einer Bestimmung und Nachverfolgung der Einkürzung der Faserlängen im Polymer während des mechanischen Recyclings, um basierend auf diesen Informationen gezielt die Eigenschaftsänderungen zu dokumentieren.

Bedarf 5.22: Mechanisches Recycling als Vorbereitung zum weiteren Depolymerisieren oder Lösen der Zielfraktion
 Bevor Polymere einem Depolymerisationsprozess zugeführt werden können, müssen Störstoffen wie z. B. Metalle, Polyole-

fine, PVC, Polymere mit bromierten Flammschutzmitteln, Papier etc. vom zu depolymerisierenden Polymer abgetrennt werden. Die Outputqualität ist analog der DIN SPEC 91446 [49] zu definieren unter Berücksichtigung der Vereinheitlichung der Datenblätter und Kriterien, um eine Vergleichbarkeit des Inputstromes für das chem. Recycling festzulegen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, da die Depolymerisation bisher nicht wirtschaftlich ist. Des Weiteren ist die Menge als „reiner“ Stoffstrom als Input zu gering. In Zukunft ist eine bessere Vorsortierung notwendig und Qualitätsanforderungen für den Depolymerisationsprozess sind festzulegen.

CHEMISCHES UND PHYSIKALISCHES RECYCLING

Die Normenbedarfe lassen sich, wie in [Abbildung 27](#) dargestellt, nach einer prozesstechnischen Logik, dem Materialfluss folgend, separieren. Zunächst werden Normungsbedarfe formuliert, die sich auf Kunststoffabfälle als Einsatzstoff für die Recyclingverfahren, also auf den Recyclingverfahren vorgelegte Prozesse beziehen. Danach folgen die Bedarfe für die chemischen und physikalischen Konversions- und Recyclingprozesse selbst sowie Normungsbedarfe zu Produkten der Recyclingverfahren und deren Weiterverarbeitung, also den Recyclingverfahren nachgelagerten Prozessen. [Abbildung 27](#) veranschaulicht die Differenzierung der Recyclingverfahren.

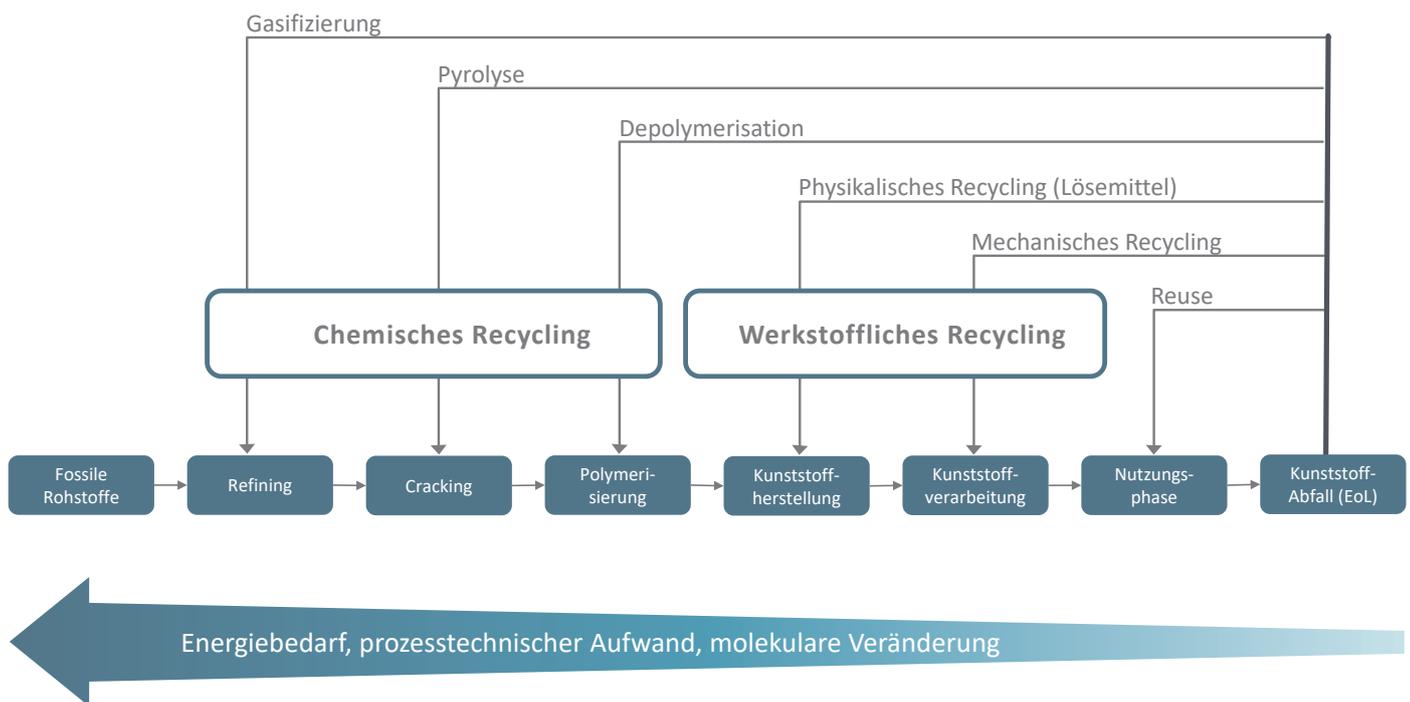


Abbildung 27: Übersicht der Normenbedarfslage im chemischen und physikalischen Recycling (Quelle: DIN)

Bedarf 5.23: Vorgelagerte Prozesse (up-stream) – Qualitätsbezogene Normung der Eingangsströme

Wie beim mechanischen Recycling ist auch für das chemische und das physikalische Recycling eine Klassifizierung und Qualitätsbeschreibung der Kunststoffabfälle sinnvoll und sollte national, europäisch und international standardisiert werden. Analog zum mechanischen Recycling sind auch für das physikalische und chemische Recycling Qualitätsanforderungen einzuhalten, damit die Prozesse nicht negativ beeinflusst werden. So werden chemische Recyclingprozesse wie die Pyrolyse und Vergasung von Halogenen wie Chlor oder Fluor beeinträchtigt, die z. B. chemische Bausteine der Polymere PVC oder Polytetrafluorethylen (PTFE) sind. Beim physikalischen Recycling muss das Zielpolymer für einen wirtschaftlichen Betrieb in einer möglichst hohen Konzentration im Inputmaterial vorliegen. Die Sortierung und Aufreinigung/Vorkonditionierung von recyclebaren Kunststoffabfällen spielt hier eine wichtige Rolle sowie die Erkennung von Störstoffen (Klassifikation, Onlinemonitoring von Abfall). Dies ermöglicht es, die anschließende Verwertung zu optimieren. Die Herausforderung besteht darin, die vielfältigen Anforderungen an die Inputströme der verschiedenen Recyclingverfahren abzubilden. Die Definition der Qualität der Inputströme sollte für alle Recyclingverfahren aufgeschlüsselt werden. Hier gibt es noch Potenzial der Unterstützung durch Normung.

Bedarf 5.24: Konversions- und Recyclingprozesse – Beschreibung chemischer und physikalischer Konversions- und Recyclingprozesse (Technische Berichte zum Abbilden des Stands der Technik)

Neben existierenden wissenschaftlichen Abhandlungen und zunehmenden Patentanmeldungen fehlen derzeit noch technische Berichte, die den Stand der Technik in den neuen Recyclingtechnologien offenlegen und eine großtechnische Implementierung der Technologien im Zusammenspiel mit der Abfallwirtschaft beschleunigen. Die Darstellung der sich etablierenden Technologien im Bereich des chemischen und physikalischen Recyclings sowie klare Begriffsabgrenzungen der verschiedenen Verfahren sind Voraussetzung, um ein allgemeines technisches Verständnis zu etablieren, und bilden die Basis für weiterführende Normungsvorhaben. Beispielsweise ist eine Beschreibung des Stands der Technik der unterschiedlichen Verfahren, der Input- und Outputströme Voraussetzung, um Qualitätsanforderungen an Kunststoffabfälle zu definieren. Die Entwicklung von allgemeinen Definitionen, Methoden und Berechnungsgrundlagen für das chemische und physikalische Recycling ist eine Grundlagenarbeit, die noch nicht durchgeführt wurde. Diese Lücke wurde bereits erkannt und es ist auf internationaler Ebene die Über-

arbeitung von ISO 15270:2008 [200] in Planung, die diesen Bedarf decken soll. Die Norm soll dabei in eine Normenreihe umgewandelt/erweitert werden. Diese Normenreihe, die das mechanische, chemische, physikalische und organische Recycling beschreiben soll, wird dabei helfen, eine gemeinsame Auffassung der bestehenden und neuen Recyclingtechnologien zu generieren und innovative Technologien in Abfallverwertungssystemen international zu etablieren. Nationale Vorarbeiten sollen, wenn möglich, auf internationaler Ebene mit eingebracht werden.

Bedarf 5.25: Nachgelagerte Prozesse (down-stream) – Qualitätsbezogene Normung der chemischen Produkte aus dem physikalischen und chemischen Recycling

Die Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen kann gestärkt werden durch die Definition von Klassen oder Kategorien, in die Produkte aus dem chemischen oder physikalischen Recycling entsprechend ihrer Qualität eingeteilt werden. Im chemischen oder physikalischen Recycling werden Kunststoffabfälle in Produkte bzw. Zwischenprodukte konvertiert, die das Rohmaterial darstellen für Prozesse zur Herstellung neuer chemischer Erzeugnisse einschließlich Kunststoffen. Bisher sind keine Qualitätsklassen festgelegt, in die die (Zwischen-)Produkte entsprechend Reinheit des Zielstoffes und/oder Anteil an Stör- oder Schadstoffen eingeteilt werden könnten. Solche Qualitätsklassen können als transparente, allgemein akzeptierte und somit verbindliche Schnittstellen zwischen der Recycling- und der verarbeitenden Industrie fungieren. Weiterverarbeitenden Betrieben bietet dies die Möglichkeit, auf einen Blick zu erkennen, ob ein (Zwischen-)Produkt aus dem Recycling als Rohmaterial in ihren Produktionsprozessen geeignet ist. Gleichzeitig wissen Recyclingunternehmen dadurch genau, welche Qualitäten sie produzieren müssen, um Abnehmer*innen zu finden. Durch die Einteilung in Qualitätsklassen werden Produkte unterschiedlicher Recyclingunternehmen vergleichbar und handelbar, sodass sich Märkte für die unterschiedlichen Qualitätsklassen entwickeln können. Daher sollten für die Produkte eines jeden Verfahrens des chemischen und physikalischen Recyclings Qualitätsklassen festgelegt werden und für jede Klasse sollten Mindestwerte für Zielstoffe und Höchstwerte für Stör- oder Schadstoffe festgelegt werden. Die Normung kann hier durch die Definition unterschiedlicher Qualitätsklassen für die unterschiedlichen Produkte des chemischen oder physikalischen Recyclings unterstützen.

Für eine zukünftige Rückführung von Rezyklaten in Kosmetik-, Medizin- und Lebensmittelanwendungen fehlen bislang Qualitätsklassen, die den Einsatz von Rezyklaten aus dem

physikalischen (und mechanischen) Recycling ermöglichen. Da die gegenwärtige Gesetzgebung hier eine nahezu unüberwindbare Hürde darstellt, ist hier eine Anpassung der Gesetzgebung notwendig (z. B. Ermöglichung des „Freitestens“ von Materialien anstelle einer lückenlosen Nachverfolgbarkeit der Herkunft des Materials). Nachgelagert müssen dann entsprechende Normen definiert werden. Nur so können Materialien aus physikalischen (und mechanischen) Recyclingprozessen in den Anwendungsgebieten Kosmetik, Medizin und Lebensmittel in eine Kreislaufwirtschaft integriert werden.

Bei der Charakterisierung von Rezyklaten aus dem physikalischen (und mechanischen) Recycling sehen wir Bedarf bei Forschung und auch Normung, speziell bei der Unterscheidung verschiedener PE-Typen (z. B. Linear low-density polyethylene (LLDPE)) im Rezyklat (aufbauend auf DIN EN ISO 11357-3 [192]; DIN EN 15344 [189]). Die Kenntnis über die Zusammensetzung der Rezyklate ist für den Ersatz von Neuware durch Rezyklate von zentraler Bedeutung.

QUALITÄT

Bedarf 5.26: Prüfnorm für die Bestimmung von NIAS (Non-intentionally added Substances) in Rezyklaten

Im Bereich der Rezyklate fehlen zurzeit Normen, die die Prüfung von NIAS als Störstoffe regeln. Daher unterscheiden sich die Analysemethoden und Ergebnisse unterschiedlicher Prüflabore teilweise stark. Geregelt werden müssen an dieser Stelle sowohl die Analyseverfahren (analysespezifische Probenvorbereitung und -aufarbeitung und instrumentelle Anforderungen an die Gerätschaft) als auch die zu analysierenden Substanzen und deren Identifikation inklusive Grenzwerten über Schadstofflisten, die material- und/oder anwendungsspezifisch sein können. Neben Normungsbedarf besteht hier auch ein Forschungsbedarf.

Bedarf 5.27: Strategien zur Probenahme, -homogenisierung und zu Rückstellmustern für alle Recyclingverfahren und Prozessschritte sowie zur Bewertung von Chargenschwankungen

Für aussagekräftige Materialqualitäten spielen die Probenahme und -homogenisierung eine entscheidende Rolle. Die CEN/TS 16010 [185] und CEN/TS 16011 [186] sowie einige andere Normen liefern bereits Vorgehensweisen hierfür. In der Praxis finden diese technischen Richtlinien oft allerdings wenig Anwendung, da der Probenahmeaufwand wirtschaftlich betrachtet zu hoch ist. Daher wird eine Überarbeitung mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit empfohlen. Zudem sollten Vorgehensweisen unterschiedlicher Normen vereinheitlicht

werden, z. B. die Aufnahme der vereinfachten Vorgehensweise der DIN SPEC 91466 [49] in die CEN/TS 16010 [185], und eine Systematik zu Rückstellmustern, inklusive deren Aufbewahrungszeiten, sollte implementiert werden. Berücksichtigt werden soll dabei auch die Art der Probenverpackung und -lagerung, da diese gerade für die Analyse flüchtiger Bestandteile entscheidend ist. Die Normung könnte an dieser Stelle durch Forschungsprojekte unterstützt werden, um mit weniger Proben oder Kennwerten vergleichbare Aussagen zu erhalten.

Zur Erhöhung der Vergleichbarkeit von Materialien/Stoffen und der Aussagekraft von Prüfergebnissen ist die Definition von Chargen sowie von Chargenschwankungen ein wichtiger Schritt, der in kommenden Forschungs- und Normungsprojekten daher betrachtet werden sollte.

Bedarf 5.28: Analyse von persistenten Schadstoffen und deren Anreicherung in Rezyklaten

Im Rahmen von Forschungs- und anschließenden Normungstätigkeiten sollten zukünftig Analyseverfahren für den einheitlichen Nachweis von persistenten Schadstoffen und deren Anreicherung in Kunststoff-Rezyklaten entwickelt werden. Für die Einstufung der Rezyklate sollten dabei der Inputstrom ebenso wie die spätere Anwendung der Materialien berücksichtigt werden. Eine Listung von Schadstoffen (spezifiziert auf die Polymersorte, den Inputstrom etc.) kann helfen, analytische Screeningverfahren zu vereinheitlichen (siehe auch Bedarf 4.28 im Kapitel 2.4).

Bedarf 5.29: Vereinheitlichung der Angabe der Qualitätsspezifikationen für Rezyklate (Datenblätter)

In der EN 1534X-Serie [187], [189], [190] und der DIN SPEC 91446 [49] wurde ein erstes Vorgehen für die Verwendung einheitlicher Datenblätter und die Angabe von Materialeigenschaften empfohlen. Zur besseren Vergleichbarkeit von Materialien sollte die EN 1534X-Serie [187], [189], [190] auf weitere Kunststoffsorten, die technisch recyclingfähig sind und in ausreichenden Tonnagen verwendet werden, erweitert werden, wie z. B. technische Kunststoffe wie Polyamide (PA), Polybutylenterephthalat (PBT) oder Polycarbonate (PC). Dabei sollten auch Angaben zu Additiven und im Material verbliebenen Kontaminanten getroffen werden.

Bedarf 5.30: Vereinheitlichung der Prüfnormen zur Schüttdichte

Für die Bestimmung von Schüttdichten werden unterschiedliche Vorgehensweise, z. B. in der EN 1534X-Serie [187], [189], [190] und der DIN EN ISO 60 [210], verwendet. Hier wird eine Vereinheitlichung empfohlen.

Bedarf 5.31: Prüfnorm zur Bestimmung des Geruchs

Der Geruch eines Rezyklates ist für fast alle Anwendungen ein kritischer Punkt. Daher wird eine Normung zur einheitlichen Bewertung des Geruchs für Rezyklate empfohlen. Hierbei ist eine Anlehnung an den VDA-Standard 270 [211] für den Automobilinnenraum denkbar.

Bedarf 5.32: Prüfnorm zur Bestimmung von Volatile Organic Compounds (VOC)

Um Risiken von Emissionen aus Bauteilen zu minimieren, werden diese für unterschiedliche Anwendungen, z. B. im Automobil oder bei Innenraummessungen im Bausektor, oft bestimmt und gegen Gefahrenstofflisten abgeglichen. Um diese Stoffe möglichst früh im Prozess detektieren zu können, sollte eine einheitliche Prüfnorm für VOC von Rezyklaten entwickelt werden, wobei eine Anlehnung an gängige Standards möglich ist, um den Aufwand hierfür zu minimieren. Hierbei sollten auch Grenzwerte von toxikologisch relevanten Einzelstoffen und/oder Gruppen (Aromate, Terpene, Nitrosamine etc.) festgelegt werden.

Bei den Analysen und Grenzwerten sollte zwingend die Zielanwendung berücksichtigt werden, da diese zu sehr unterschiedlichen Relevanzen für Schadstoffe führen kann. Für die Verwendung im Lebensmittelkontakt wird dies zukünftig in der erneuerten Verordnung 282/2008 [197] betrachtet.

Bedarf 5.33: Förderung der Forschung zur Korrelation von Rezyklat- und Produkteigenschaften und von Screeningmethoden

Da der Recyclingmarkt hinsichtlich von Prüfungen sowohl zeit- als auch kostengetrieben ist, wird eine Förderung der Forschung für Korrelationsmethoden von Prüfergebnissen von Rezyklaten und Produkten aus Rezyklaten ebenso empfohlen wie eine Förderung der Forschung an Screeningmethoden. Beides kann Grundlagen für kommende Normen liefern, die den Einsatz von Rezyklaten erweitern.

Bedarf 5.34: Förderung der Forschung zum Thema Schadstoffeintrag in Rezyklate

Für die Analyse des Schadstoffeintrags in Rezyklate, sowohl durch den vorherigen Lebenszyklus als auch durch den Recyclingprozess selbst, sollten Forschungsaktivitäten gefördert werden, da dieses Wissen zu standardisierten Prüfungen führen kann. Dabei sollten unterschiedliche Recyclingprozesse (mechanisch, chemisch, physikalisch, bioenzymatisch) betrachtet werden. Zudem muss in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden, aus welchem Abfallstrom das Inputmaterial stammt. Für die Bewertung der Relevanz der mög-

lichen Schadstoffe sollte zudem die Zielbranche berücksichtigt werden.

Bedarf 5.35: Richtlinie zu Design FROM Recycling

Ein weiterer Bedarf an Forschung und Normung liegt in der Entwicklung einer Richtlinie oder Handlungsempfehlung für Design, Konstruktion und Verarbeitung für Produkte aller Branchen, die von vornherein aus Rezyklaten oder mit möglichst hohen Rezyklatanteilen gefertigt werden sollen. Die Richtlinie soll dabei als Empfehlung dienen, wie mögliche Materialschwankungen bereits durch ein geeignetes Design oder Prozessparameter gut ausgeglichen werden können. Dieser Bedarf grenzt sich vom weit verbreiteten Design 4 Recycling bzw. Circularity dadurch ab, dass es nicht darum geht, ein Produkt recyclingfähig zu konstruieren, sondern ein Produkt so zu konstruieren, damit es einfach, prozess- und anwendungsstabil sowie wirtschaftlich aus Rezyklaten gefertigt werden kann.

Bedarf 5.36: Technischer Leitfaden zur Klassifikation von Fehlergruppen und -arten von Produkt-/Verarbeitungsfehlern speziell für Rezyklate

Entwicklungsbedarf besteht bei der Erstellung eines technischen Leitfadens zur Klassifizierung von Fehlergruppen und -arten für die Verarbeitung und Anwendung von Rezyklaten und Produkten aus Rezyklaten, da abseits von sofort ersichtlichen Oberflächenfehlern Polymere auch ohne offensichtliche Mängel geschädigt sind und dadurch unter Umständen die versprochene Qualität und Funktion in der Anwendung nicht mehr erfüllen. Der Leitfaden sollte auch typische Analyseverfahren zum Nachweis der Fehler enthalten. Der Aufbau könnte analog zur VDI-Richtlinie 3822 zur Schadensanalytik an Kunststoffen erfolgen [205].

Bedarf 5.37: Regelung zur Arbeitssicherheit bei der Verarbeitung von Rezyklaten

Im Rahmen von Forschungsprojekten sollte untersucht werden, inwieweit gesonderte Regelungen zur Arbeitssicherheit bei der Verarbeitung von Rezyklaten notwendig sind. Hierbei sollte Berücksichtigung finden, dass insbesondere Post-Consumer-Rezyklate unbekannte Schadstoffe enthalten können und z. B. Mahlgüter höhere Staubanteile verschiedener Zusammensetzungen als Neuwarematerialien aufweisen können. Falls die Forschungsaktivitäten die Notwendigkeit einer Unterscheidung zeigen, sollten entsprechende Grenzwerte durch Normen und Gesetze geregelt werden.

Bedarf 5.38: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bewertung des Abbaugrades und Richtlinie zur Zugabe von Additiven

Durch mehrfaches Verarbeiten von Materialien kommt es zum Abbau der Polymerketten und auch zum Abbau von Additiven, z. B. von Prozessstabilisatoren. Dies hängt stark von den Prozessparametern ab. Durch Forschung und darauf aufbauende Normen oder Richtlinien sollten Prüfverfahren entwickelt werden, die das Material hinsichtlich seines Zustands und möglicher Abbauprodukte, die Schadstoffe sein könnten, bewerten. Diese Norm oder Richtlinie sollte bei der Einschätzung helfen, inwieweit Neuware oder neue Additive zugegeben werden sollten, um die Zieleigenschaften des Materials wieder zu erreichen oder festzustellen, dass das Material z. B. aufgrund von Schadstoffen oder Vernetzung nicht mehr für diese Einsatzzwecke geeignet ist.



2.6

Textilien

2.6.1 Status quo

Der europäische Textilverbrauch ist nach der Lebensmittel-erzeugung, dem Wohnen und der Mobilität die viertgrößte Ursache von Umweltbelastung und Klimawandel [212]. Vor diesem Hintergrund wurde im Circular Economy Action Plan 2020 der EU [4] ein Fokus auf den Textilsektor gelegt. Eine Transformation des linearen Geschäftsmodells in eine zirkuläre Produktion, zu einem zirkulären Design sowie ein Wandel hin zu langlebigen Produkten, zur Wiederverwendung und zu Recycling ist notwendig, um Einflüsse auf Umwelt und Klimawandel zu minimieren.

Textilien sind sehr vielfältig und bestehen häufig aus unterschiedlichen Fasermischungen und anderen, nicht textilen Bestandteilen; in Abhängigkeit ihres Anwendungsbereiches müssen sie unterschiedliche Funktionen erfüllen. Vergleicht man beispielsweise den Gesundheits-, den Fahrzeug- oder Baubereich, so müssen Textilien jeweils ganz anderen Anforderungen genügen als im Bekleidungs- oder Heimtextilsektor.

Heute werden in Deutschland insbesondere (innovative) technische Textilien sowie hochwertige Bekleidungstextilien hergestellt. Die Unterteilung technischer Textilien erfolgt nach dem Konzept der Messe Techtextil in folgende Bereiche: Agrotech, Buildtech, Clothtech, Geotech, Hometech, Indutech, Medtech, Mobiltech, Ökotech, Packtech, Protech und Sporttech. Technische Textilien machen einen Umsatzanteil von ca. 30 % aus, die ebenso wie Bekleidung in großem Maße exportiert werden [213].

Der europäische Textilverbrauch zählt zu den drei größten Belastungen für Wasser- und Landressourcen und zu den fünf größten Belastungen in Bezug auf die Rohstoffnutzung und Treibhausgasemissionen. Insbesondere im Bereich der Modeindustrie hat sich der Verbrauch seit dem Jahr 2000 mehr als verdoppelt; die Tragedauer hat sich im Durchschnitt halbiert [215]. Die Fast-Fashion-Industrie produziert in immer kürzeren Abständen neue Trends. Der Kauf von Mode hat heute nichts mehr mit dem Bedarf zu tun, etwas zum Anziehen zu haben; es geht vielmehr um den Ausdruck eines Lebensgefühls und der Kauf wird stark beeinflusst durch das soziale Umfeld sowie (soziale) Medien [216]. Im europäischen Ländervergleich ist Deutschland auf Platz 2 beim Konsum von neuen Textilien [217]. Jährlich kommen in Deutschland ca. 1,5 Mio. Tonnen an Bekleidung, Schuhen und Heimtextilien auf den Markt [218]. Es wird geschätzt, dass ca. 40 % der Kleidung selten bis fast nie getragen werden [219]. Mehr als 90 % des deutschen Konsums wird importiert; die

Hauptproduktionsländer sind China, Bangladesch und die Türkei [221].

Vor dem Hintergrund der Produktionszahlen wie auch des Konsums in Deutschland und der EU haben die Fachleute entschieden, sich bei der Erarbeitung von Normungsbedarfen grundsätzlich auf Bekleidung und Heimtextilien (ohne Matratzen und Teppiche) zu beschränken. Zum Bereich der Bekleidung gehören auch Medizinbekleidung sowie Arbeitsbekleidung inklusive Kleidung für persönliche Schutzausrüstung. Andere Produkte aus textilen Materialien wie z. B. Faserverbundwerkstoffe, Bautextilien und Geotextilien sind in Bezug auf die Verwendung und Nutzungsart wie -dauer anders einzuordnen. Es wird daher angeregt, bei einer Weiterentwicklung der Circular Economy Normungsroadmap diese Produktgruppen ebenfalls zu berücksichtigen.

Für die Herstellung bzw. die Einfuhr von Textilien spielt insbesondere die EU-Chemikalienverordnung (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, REACH Verordnung) [73] eine große Rolle. Beim Herstellungsprozess und der Weiterverarbeitung (Färben, Ausrüsten, Finishing u. a.) kommen mehr als 7000 Chemikalien zur Anwendung [222], die im Textil verbleiben. Ebenso ist das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG, 2021) [220] in Deutschland mit Regelungen zu Sicherheitsanforderungen von technischen Arbeitsmitteln und Verbrauchendenprodukten zu berücksichtigen. Zusätzlich gibt es für sicherheitsrelevante Produkte wie z. B. persönliche Schutzausrüstung die europäische PSA-Verordnung (EU 2016/425) [232] und für Medizinprodukte die europäische Medizinprodukteverordnung (MDR, EU 2017/745) [269]. Für textile Produkte ist ebenfalls die EU-Textilkennzeichnungsverordnung (Verordnung EU Nr. 1007/2011) [238] zu beachten. Diese wird in Deutschland mit dem Textilkennzeichnungsgesetz von 2016 umgesetzt [236]. Eine Pflegekennzeichnung für Textilien ist in Deutschland, im Gegensatz zu anderen Ländern wie bspw. Österreich, nicht verpflichtend.

Für die Abfallbewirtschaftung von Textilabfällen aus Haushalten oder anderen Herkunftsbereichen wie Produktion, Reinigungsbetrieben, Hotels, Gastronomie, Verwaltung oder Handel gibt es bislang keine spezialgesetzliche Regelung. Die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) [233] sieht die Getrennterfassung von Textilien aus anderen Herkunftsbereichen bereits vor. Ab dem 01.01.2025 sind aufgrund der Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes in 2020 (KrWG) [176] darüber hinaus auch Textilabfälle aus Haushalten getrennt zu erfassen.

Mit Veröffentlichung der EU-Strategie für nachhaltige und kreislauffähige Textilien (EU-Textilstrategie) [215] im März 2022 teilt die EU-Kommission ihre Vision für nachhaltige und kreislauffähige Textilien in 2030 mit. Nach dieser Vision werden nur noch Textilerzeugnisse auf den EU-Markt gebracht, die langlebig und recyclingfähig sind, größtenteils aus Recyclingfasern bestehen, keine gefährlichen Stoffe enthalten und unter Einhaltung der sozialen Rechte und im Sinne des Umweltschutzes hergestellt werden. In einem wettbewerbsfähigen, widerstandsfähigen und innovativen Textilsektor übernehmen die Hersteller entlang der gesamten Wertschöpfungskette die Verantwortung für ihre Produkte – bis hin zur Entsorgung. Wirtschaftlich rentable Wiederverwendungs- und Reparaturdienste sind weiterhin verfügbar. Das kreislauffähige Ökosystem verfügt über ausreichende Kapazitäten für innovatives Faser-zu-Faser-Recycling, wohingegen die Verbrennung und Deponierung von Textilien auf ein Minimum reduziert werden. Insgesamt gibt es neun Schlüsselmaßnahmen, die die Transformation des Textilsektors herbeiführen sollen.

Zeitgleich wurde auch die „Sustainable Product Initiative“ (SPI) [225] veröffentlicht, die Schlüsselmaßnahmen für kreislauffähige und nachhaltige Produkte, u. a. auch für Textilien, aufzeigt. Die SPI schlägt vor, die Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG) [21] durch eine Verordnung zu ersetzen. Anforderungen sollen produktgruppenspezifisch in delegierten Rechtsakten erfolgen. Die EU-Textilstrategie [215] verweist auf die Erarbeitung der Ökodesign-Verordnung und sieht hier den Anknüpfungspunkt, um Anforderungen an Textilien zu verankern. Mit der Überarbeitung der Ökodesign-Richtlinie werden somit erweiterte Anforderungen an die Herstellung von Produkten gestellt, die sich für Textilien in der EU-Textilstrategie [215] widerspiegeln. Insgesamt kann festgehalten werden, dass in den nächsten drei Jahren signifikante Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen anstehen. Dies gilt es, bei der Normungsarbeit zu berücksichtigen. Auf Basis der Veröffentlichungen ist davon auszugehen, dass insbesondere nachstehende EU-Vorgaben für Textilien (weiter-) entwickelt werden.

- Ökodesign-Vorgaben (Langlebigkeit, Reparierbarkeit, Recyclingfähigkeit)
- Mindesteinsatzquote von Recyclingfasern/Rezyklaten
- Digitaler Produktpass (DPP)/Digitales Etikett
- Umweltbezogene Gebührenstaffelung bei einer erweiterten Herstellerverantwortung für Textilien
- Einführung einer Transparenzpflicht zur Veröffentlichung vernichteter und entsorgter Textilien

- Ziele für die Wiederverwendung und dem Recycling von Textilien
- Entwicklung von End-of-Waste-Kriterien für Textilabfälle
- Entwicklung von EU-Kriterien, die textile Abfälle von bestimmten gebrauchten Textilwaren unterscheidet

In Deutschland gibt es bislang keine Strategie für den nachhaltigen Umgang mit Textilien. Allerdings hat die Bundesregierung hinsichtlich der Veröffentlichung der EU-weiten Textilstrategie [215] und der Initiative für nachhaltige Produkte [223] im März 2022 mitgeteilt, dass sie die Initiativen unterstützt und an der Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung für Textilien arbeitet [198].

Auswertung der Normenrecherche

Über alle sieben Schwerpunktthemen wurden übergreifend 2101 Normen identifiziert, die dem Themenbereich Circular Economy zugeordnet werden können. **Abbildung 28** zeigt die Verteilung der Normen für den Bereich Textilien auf R-Strategien sowie CO₂-Fußabdruck, DPP und allgemeine Normen, die in mehrere der genannten Aspekte einzahlen. In Summe konnten 160 Normen den in **Abbildung 28** dargestellten R-Strategien zugeordnet werden. Bereits heute sind Normen vorhanden, die den R-Strategien „Recycle“, „Rethink“ und „Reduce“ – hier vor allem im Umfeld von textiler Wäschepflege – zugeordnet werden können.

Textile Materialien werden in zahlreichen, sehr unterschiedlichen Produkten verwendet (siehe **Abbildung 29**). Es zeigt sich, dass für die Produktgruppen Heimtextilien und Textilpflege schon heute Normen existieren, die Einzelaspekte der Circular Economy berücksichtigen. Die Normenrecherche beinhaltet auch Normen zu Textilgruppen (z. B. Geotextilien), die in der aktuellen Normungsroadmap ausgeschlossen wurden.

Abbildung 29 zeigt einen Einblick in die Produktgruppen mit den meisten Nennungen mit bereits vorhandenen Normen im Bereich der Circular Economy. Es zeigt sich, dass keine generelle Verteilung der R-Strategien und Systematik zwischen den verschiedenen Produktgruppen erkennbar ist und dass es heute kaum Normen zu den Begriffen CO₂-Fußabdruck, „Repurpose“, „Remanufacture“, „Refurbish“ und „Refuse“ gibt.

Es ist deutlich erkennbar, dass es heute noch keine durchgängige produktgruppenspezifische Normung zu Circular Economy für Textilien gibt. Es zeigen sich viele Lücken in der Normungslandschaft für spezifische Produktgruppen. Aufgrund der Heterogenität der textilen Produktgruppen muss

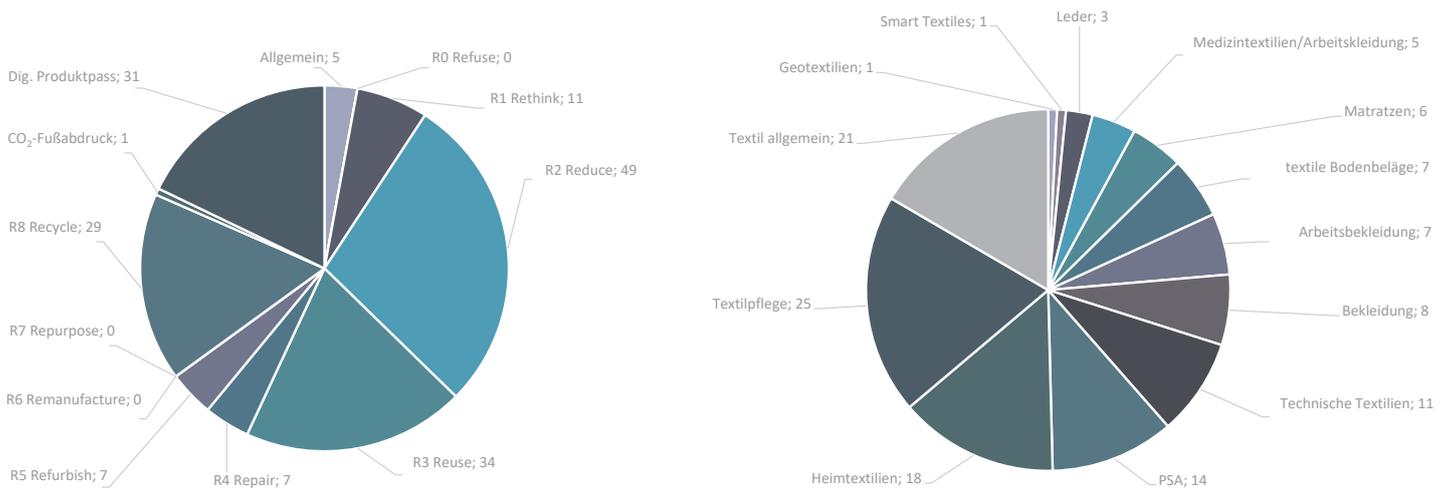
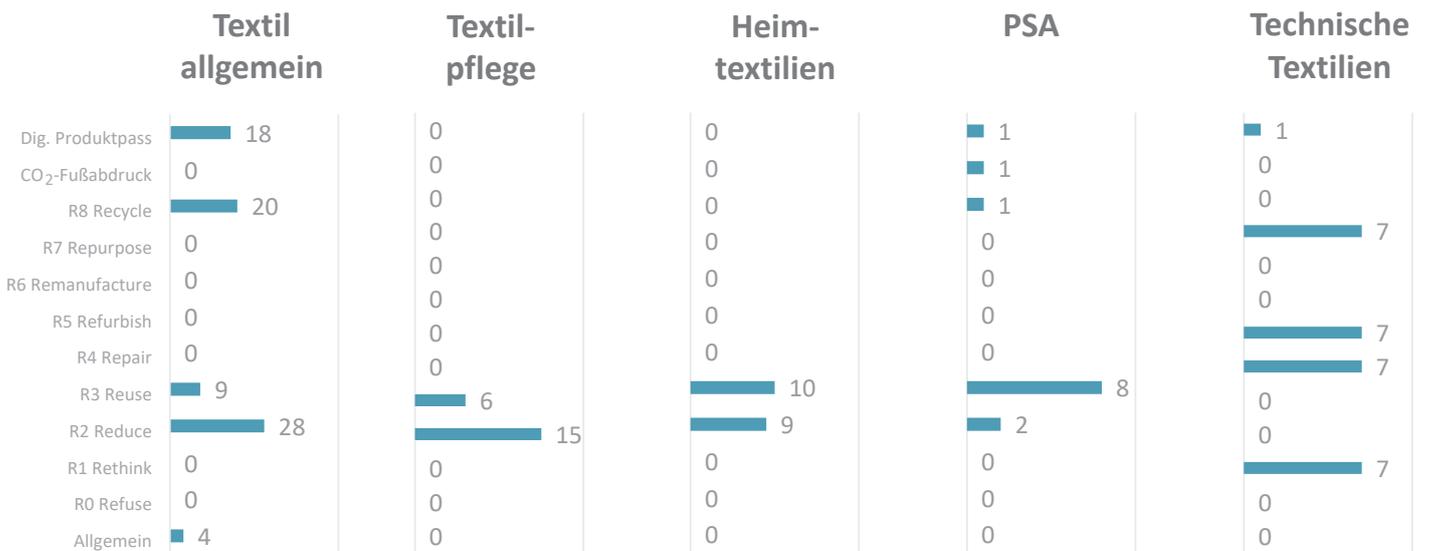


Abbildung 28: Verteilung der Normen auf die R-Strategien, den CO₂-Fußabdruck, DPP und allgemein sowie die Verteilung auf die Produktgruppen (Quelle: DIN)



*nur Produktgruppen mit > 10 Ergebnissen wurden weiter ausgewertet

Abbildung 29: Verteilung der verschiedenen R-Strategien sowie des CO₂-Fußabdruckes, des DPP und der allgemeinen Normen auf ausgewählte Produktgruppen (Quelle: DIN)

geprüft werden, inwieweit die Normen, die allgemein für die Produktgruppe Textil identifiziert wurden, konkret auf die verschiedenen Produktgruppen angewendet werden können oder adaptiert werden müssen.

2.6.2 Anforderungen und Herausforderungen

Die Wirksamkeit der Circular-Economy-Normen hängt von den politischen Rahmenbedingungen ab.

Die absolute Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und damit einhergehend die Senkung der Umweltbelastung können insbesondere durch die Lebenszeitverlängerung von Textilien und wiederholte Nutzung erzielt werden. Neben den technischen Aspekten gibt es zwei weitere Faktoren, die die Dauer der Produktnutzung beeinflussen: Konsumentenverhalten und Geschäftsmodelle.

Kreislauforientierte Geschäftsmodelle unterstützen die Lebensverlängerung und Produktnutzung von Textilien. Im Bereich Arbeitsbekleidung oder gewerblich genutzte Textilien sind diese bereits erfolgreich etabliert. Textilservice-Unternehmen (Reinigung, Reparatur etc.) verstehen sich als Dienstleistende und verkaufen ihre Leistung als „Product as a Service“. Ziel muss es sein, diese Geschäftsmodelle auch im Privatbereich zu etablieren. Des Weiteren muss es zukünftig selbstverständlich sein, Secondhandmode zu tragen. Der erfolgreiche Aufbau dieser Geschäftsmodelle kann aber nicht mit Billigmode konkurrieren. Deshalb braucht es ein fundamentales Umdenken im Konsum von Bekleidung. Dies kann Normung (alleine) nicht leisten. Hierzu sind vielmehr politische und gesetzgeberische Maßnahmen notwendig, wie eine umfassende Verbrauchenaufklärung und Kommunikation sowie Transparenz, Vorgaben zur Einbeziehung der umweltbezogenen Kosten und Forderung der Einhaltung von sozialen Rechten in Entwicklungsländern.

Normen sind oftmals sehr technisch und für Endverbraucher häufig nicht „lesbar“. Dies gilt es, mit im Blick zu behalten. Es ist wichtig, privat Konsumierende umfassend und verständlich in Bezug auf die technische Spezifikation sowie über die Zusammenhänge und Wechselwirkungen bei und in der Circular Economy zu informieren. Vor diesem Hintergrund ist die Kennzeichnung von Textilien und Informationsweitergabe nicht nur innerhalb der textilen Wertschöpfungskette von essenzieller Bedeutung.

Des Weiteren ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass die vorgenannten Maßnahmenpakete der EU im hohen Maße

die Grundlagen für die Normungsarbeit im Bereich Circular Economy bilden werden. Allerdings gibt es – Stand heute – noch keine konkrete Ausgestaltung der gesetzlichen Vorgaben. Da insbesondere die Umsetzung der zukünftigen Regelungen der Ökodesign-Verordnung [21] die Normungsarbeit im Detail vorgeben wird, wird vor diesem Hintergrund vorgeschlagen, sich mit den relevanten Bedarfen erst auseinanderzusetzen, wenn klar ist, wie die gesetzlichen Mindestanforderungen definiert sind. Bevor weitere Normungsprojekte aus den Bedarfen gestartet werden, sollte unbedingt der Status quo bei laufenden Projekten abgefragt werden; beispielsweise bei der europäischen Arbeitsgruppe CEN/TC 248/WG 39 „Circular Economy für textile Produkte und die textile Wertschöpfungskette“ oder bei der internationalen Arbeitsgruppe ISO/TC 38/WG 35 „Environmental Aspects“ zum Normentwurf DIN EN ISO 5157 [226].

Die Herstellung von textilen Produkten insbesondere von Bekleidungstextilien erfolgt heute nur zu einem geringen Marktanteil in Deutschland und in Europa. Daher sind für textile Produkte neben nationalen Normen europäische und internationale Normen zu erarbeiten, um die Kreislauffähigkeit von Textilien zu etablieren.

Textil ist nicht gleich Textil

Im Rahmen der Diskussion zu den einzelnen Normungsbedarfen wurde deutlich, dass die einzelnen Maßnahmen für die Zirkularität je nach Produktgruppe sehr unterschiedlich sein können und dies berücksichtigt werden muss. Insbesondere wurde dieser Punkt an der Fragestellung der Langlebigkeit von Textilien versus Recyclingfähigkeit diskutiert; die unterschiedlichen Ansätze wurden in Bezug auf den Einsatz von Materialien, die Konstruktion der Textilien, aber auch auf die Handhabung in der Nutzungsphase sehr deutlich, beispielsweise im Bereich der heute schnell wechselnden Modetrends, die möglicherweise in Konkurrenz zu einem langlebigen Design stehen.

2.6.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe

Die identifizierten Normungsbedarfe zählen auf eine oder mehrere R-Strategien ein und sind nachfolgend nach R-Strategie geordnet aufgeführt. Bedarfe mit Mehrfachzuordnung wurden der relevantesten R-Strategie oder den allgemeinen Normungsbedarfen zugeordnet und R-Strategien ohne Bedarfszuordnung nicht aufgeführt. Zu den allgemeinen Bedarfen zählen das Thema Kennzeichnung sowie der DPP.

Refuse

Die Ablehnung eines Produktes ist nachhaltig, wenn durch den Verzicht das Produkt erst gar nicht produziert wird. Dies ist jedoch eine individuelle Entscheidung des Konsumenten und oftmals eine ökonomische Entscheidung.

Bedarf 6.1: Priorisierung von Mehrwegprodukten in Produktnormen gegenüber Einwegprodukten

In manchen Nutzungsbereichen (z. B. Schutzmasken und -kittel, OP-Textilien, Händetrocknung) stehen wiederverwendbare Textilien Produkten zur Einmalverwendung auf dem Markt gegenüber. Einwegprodukte werden oft aus ökonomischen Gründen gewählt, da diese in der Beschaffung billiger sind als Mehrwegprodukte, die durch die Mehrfachnutzung letztendlich über das gesamte Produktleben betrachtet ökonomisch günstiger und im Sinne der Nachhaltigkeit sinnvoller sind. Mehrwegprodukte sollten im Sinne der Circular Economy bevorzugt werden und Einwegprodukte nur dann verwendet werden, wenn dies aus Sicherheitsgründen (z. B. Gesundheitsbelastung, Umweltbelastung) notwendig ist. Produktnormen in solchen Anwendungsbereichen können dazu beitragen, bereits existierende und neue Geschäftsmodelle für textile Mehrfachprodukte in Nutzungsbereichen zu fördern.

Bedarf 6.2: Produktion „on demand“

Eine vollständig bedarfsgerechte Produktion „production on demand“ führt zu einer Reduktion der erforderlichen Produktmengen und nur zur Produktion von Textilien, die tatsächlich genutzt werden. Damit wird die Überproduktion verweigert.

Reduce (by Design)

Reduce by design führt zum Design von Produkten und Dienstleistungen, die weniger Materialien pro Produktionseinheit und/oder während ihrer Verwendung verbrauchen. „Reduce by design“ beeinflusst alle Phasen des Lebenszyklus eines Produkts oder einer Dienstleistung. Bereits in der Designphase werden ca. 80 % der Umweltauswirkungen eines Produktes festgelegt [227]. Im Design werden Funktionalität, Material, Konstruktion und Konfektion definiert. Dies beeinflusst die Langlebigkeit wie auch die Trenn- und Recyclingfähigkeit. Heute sind die Informationen nicht leicht verfügbar, sondern müssen aus den verschiedenen Bereichen gesammelt, verknüpft und bewertet werden (siehe auch Bedarf 1.33). Hierbei sind die Aktivitäten der EU-Kommission zu berücksichtigen.

Bedarf 6.3: Datenbasis zur Pflege-, Trenn- und Recyclingfähigkeit für Materialauswahl/-einsatz – Materialindex

Die meisten textilen Produkte bestehen aus einem Materialmix. Grundsätzlich gilt: Je mehr unterschiedliche Faserarten miteinander kombiniert werden, desto geringer ist die Trenn- und Recyclingfähigkeit dieser Textilien und die Pflege wird negativ beeinflusst. Eine Datenbasis zur Trenn- und Recyclingfähigkeit von Faserkombinationen aller Art kann hierbei hilfreich sein. Eine Norm kann z. B. vorgeben, welche Faserkombinationen nach dem aktuellen Stand der Technik sowohl eine hohe Trenn- und Recyclingfähigkeit als auch eine einfache Aufbereitung (Wäsche, Pflege, Reparatur) aufweisen. Auch die Auflistung neuartiger Fasern, die als Monomaterial bestimmte Eigenschaften aufweisen – welche heute üblicherweise nur in Materialkombinationen vorliegen –, kann in dieser Norm erfolgen. In diesem Zusammenhang können auch die verschiedenen Recyclingverfahren je nach Faserkombination genannt werden, sodass der verantwortliche Produktdesigner bei seiner Designentscheidung auch diesen Aspekt berücksichtigen kann. Strebt der Produktdesigner z. B. an, ein Textil herzustellen, das im Closed Loop recycelt werden soll, so kann mithilfe der Norm ein Überblick verschafft werden, welche Faserkombinationen dafür infrage kommen. Eine Erweiterung um die Aspekte Füge-techniken sowie Zutaten und Accessoires ist möglich.

Bedarf 6.4: Erweiterung des Chemikalienmanagements um Kreislaufaspekte – Chemikalienindex

Chemikalien, die bei der Herstellung von Textilien und Produkten verwendet werden, müssen den derzeit in der EU geltenden Bestimmungen zur „Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals“ (REACH) [73] entsprechen. Unternehmen, die Produkte im Europäischen Wirtschaftsraum einführen, sind verpflichtet, die in einer dafür erstellten „Restricted Substances List“ (RSL) [228] aufgeführten Substanzen zu exkludieren. Bisher werden bei der Beurteilung vor allem die Umweltverträglichkeit, Sicherheit, Gesundheit etc. berücksichtigt, aber nicht die Kreislauffähigkeit für das fertige Produkt inkl. der Chemikalien betrachtet. Die derzeitigen Vorschriften für Chemikalien müssen umfassend um Aspekte der Circular Economy erweitert werden (siehe auch Hinweis an die Politik: Einsatz von Rezyklaten und die Vereinbarkeit mit anwendungsbezogenen Schadstoffgrenzwerten).

Hinweis an die Politik: Bisher werden durch REACH nicht die Aspekte der Circular Economy erfasst. Chemikalien, die in einem Produkt eingesetzt werden, können sich durch wieder-

holte Recyclingprozesse in recycelten Produkten anreichern und zu einer Gefährdung von Umwelt und Gesundheit führen, was zu vermeiden ist. Die RSL für REACH sollte um die Rohstoffanforderungen von Recyclern erweitert werden, sodass automatisch keine Chemikalien im Umlauf sind, die den Recyclingprozess stören könnten.

Bedarf 6.5: Clusterung für Produktgruppen

Bevor Kriterien und Parameter zur Definition des Themas Langlebigkeit aufgestellt werden können, muss eine sinnvolle Clusterung der Textilien erfolgen. Arbeitskleidung, die starken mechanischen Beanspruchungen und erheblichem Schmutz ausgesetzt ist und/oder bestimmten Schutzziele dient, muss andere Kriterien erfüllen als Alltagskleidung, die in der Regel nur gering belastet wird (siehe auch Bedarf 1.1).

Folgende Punkte sollten dabei unter anderem berücksichtigt werden: Faserart, Art der textilen Fläche (Gewirk, Gewebe etc.) und Flächengewicht, Ausrüstung des Textils, Art der Konfektionierung (Nähen, Schweißen etc.), Zutaten und Accessoires (Knöpfe, Reißverschlüsse etc.), Anwendungsbereich (z. B. Alltag, Haute Couture, Heimtextilien, Arbeitskleidung, PSA, Schuhe ...) sowie Aufbereitungsparameter (Waschen, Reinigen, Trocknen).

Bedarf 6.6: Definition von Langlebigkeit für die Produktgruppen (Langlebigkeitsindex)

Langlebigkeit als Nachhaltigkeitskriterium bei Textilien hängt von zahlreichen Faktoren ab, z. B. Produktion, Einsatzbereich, Nutzungsdauer, Strapazierfähigkeit u. v. a. m. sowie den verwendeten Geschäftsmodellen. Textilien in Miet- und Leasing-Systemen sind heute bereits langlebig designt und halten einer intensiven Pflege stand. Hier ist Langlebigkeit sowohl ein entscheidendes, nachhaltiges als auch ein ökonomisches Kriterium. Textilien im klassischen B2C-Bereich hingegen werden heute oft nur kurzzeitig gebraucht.

Mithilfe eines Langlebigkeitsindex könnten Produkte auf deren Langlebigkeit bewertet und Kundentransparenz für Kaufentscheidungen und potenziell gesetzliche Vorgaben ermöglicht werden.

Forschungsbedarf: Weiterführende Erkenntnisse im Bereich der Einflüsse auf die Langlebigkeit durch Materialauswahl (Welche Materialien, Fasern, Garne, Konstruktion, Nähzutaten beeinflussen die Langlebigkeit?), Chemikalien (Ausrüstung) (Wie umweltverträglich sind eingesetzte Chemikalien/wie schädlich sind diese?), Geschäftsmodelle, Produktattribute und Services, die zur emotionalen Langlebigkeit beitragen,

sowie Pflege (Welche Pflege wirkt sich positiv auf den Lebenszyklus aus?) sind notwendig. Weiterhin ist die „emotionale Langlebigkeit“ ein Aspekt, der heute kaum berücksichtigt wird. Methoden zur Bestimmung von einzelnen Eigenschaften, die für Aussagen zur Langlebigkeit notwendig sind, existieren bereits (wie z. B. Scheuerbeständigkeit eines Textils DIN EN ISO 12947 [229], DIN EN ISO 9073-4 [230], Zugfestigkeit und Weiterreißfestigkeit DIN EN ISO 13937 [231] und DIN EN ISO 13934-1 [234] und andere). Aber bisher gibt es in der Regel keine Pass/Fail-Kriterien, die erfüllt sein müssen, damit ein Produkt als langlebig angesehen werden kann. Auch werden bisher Verschmutzungen und deren Auswirkungen nicht berücksichtigt. Die verschiedenen Einflüsse können sich positiv ergänzen oder aber auch negativ aufeinander auswirken. Wegen ungenügender Daten fehlt bisher eine Gewichtung verschiedener Parameter, sodass ein leicht verständlicher Index erstellt werden könnte, um Kaufentscheidungen transparenter zu machen. Langlebigkeit kann die Recyclingfähigkeit beeinflussen, jedoch besteht hier auch noch eine große Datenlücke.

Bedarf 6.7: Leitlinien zu Design 4 Recycling

In der EU-Textilstrategie [215] wird gefordert, Textilien grundsätzlich recyclingfähig zu gestalten. Leitlinien für ein Design, welche Recycling des Produktes schon bei der Produktentwicklung berücksichtigen, können helfen, bereits bei der Materialauswahl folgende Fragen zu beantworten: Welche textilen Materialien und Komponenten ergeben das gewünschte Eigenschaftsprofil? Auf welche Art sind die möglichen Materialien recyclingfähig? Können die Materialien in einem Closed-Loop- oder Open-Loop-Prozess zurückgeführt werden? Es sind definierte Recyclinganforderungen und -standards notwendig, die in einen Recyclingindex einfließen können, damit direkt im Design die Kreislauffähigkeit eines Produktes involviert ist. Leitlinien würden den Designern eine wesentliche Unterstützung bieten, ein zirkuläres Design und damit ein zirkuläres Produkt zu realisieren, und könnten auch Motivation sein, ein recyclingfähigeres Produkt zu erstellen. Um diesen vielfältigen Herausforderungen Rechnung zu tragen, sind transparente Prozesse, beginnend bei der Sammlung und Sortierung für den Recyclingprozess bis hin zur Kennzeichnung der Produkte über den DPP erforderlich.

Hinweis an die Politik: Eine Hürde für die Realisierung der Anforderungen an die Circular Economy ist, dass das Know-how für Circular Economy bisher nicht in den Ausbildungsberufen für Textilien vermittelt wird. Es sind Veränderungen und Investitionen in Ausbildung und Fachkräfte, die textile

und darauf basierend umweltrelevante, in Kombination mit ökonomischen Fragestellungen abbilden können, notwendig.

Forschungsbedarf: Erweiterung der Forschung zur Anwendung von Textilfasern und Flächenkonstruktionen, die Designqualitäten verbessern, um auf dem Markt vorhandene Materialien zu verbessern, zu verwerten und zu reduzieren und zugleich Informationen digital transparenter aufzuzeigen und mithilfe übergreifender Software effizienteren Materialeinsatz zu ermöglichen.

Bedarf 6.8: Festlegung von Qualitätsanforderungen und standardisierten Prüfverfahren für Qualitätsindex

Materialien, Komponenten und Nähzutaten bestimmen nicht nur die Struktur der Wertschöpfungs- und Lieferkette, sondern sie bieten auch die Möglichkeit, die textilen Produkte länger in Gebrauch zu halten, die Lebensdauer zu erhöhen und gleichzeitig eine leichtere Reparatur zu ermöglichen. Um die Langlebigkeit und damit die Qualität von Kleidungsstücken zu erhöhen, wurden bisher Qualitätsanforderungen von den verschiedenen Stakeholdern (Brands, herstellende Unternehmen, Labels u. a.) für ihre Anwendungen definiert [235].

Qualitätsanforderungen können mit Prüfnormen, die die Prüfverfahren festlegen, untersucht werden; bisher gibt es keine allgemeingültigen Mindestanforderungen an die Eigenschaften. Qualitätsanforderungen, die anhand eines festgelegten Mindestwerts bewertet und verglichen werden, könnten dazu beitragen, die Kreislaufqualität eines Textilerzeugnisses zu definieren, spezifische Ziele festzulegen, und so verhindern, dass qualitativ minderwertige Textilerzeugnisse auf den Markt gelangen.

Aufgrund der Produktvielfalt müssen die Mindestanforderungen an die einzelnen Qualitätsstandards des zirkulären Gesamtqualitätsindex für jede Produktgruppe und/oder Funktion des Produkts angepasst werden (siehe auch Bedarf 1.2).

Bedarf 6.9: Bewertungskriterien von Langlebigkeit in Bezug auf andere Nachhaltigkeitskriterien

Ein Produkt aus einer langlebigen Synthefaser (z. B. erdölbasiert) ist nicht zwangsläufig das nachhaltigere Produkt (Stichwort Ressourcenkrise und Mikroplastik durch Abrieb). Langlebigkeit muss immer in Bezug zu anderen Kriterien der Nachhaltigkeit, wie z. B. Recyclingfähigkeit, biologische Abbaubarkeit, CO₂-Fußabdruck, gesetzt und danach bewertet werden.

Forschungsbedarf: Langlebigkeit kann die Trennbarkeit und die Recyclingfähigkeit von Textilien beeinflussen. Bisher gibt es keine systematischen Untersuchungen in diesem Bereich, die die Zusammenhänge zwischen Langlebigkeit und Recycling und der Qualität des recycelten Materials darstellen.

Reduce

Generell geht es bei „Reduce“ um Reduktion der eingesetzten (Verbrauchs-)Ressourcen für die Her- und Bereitstellung der erforderlichen Halbzeuge und Textilprodukte. Dies umfasst Rohmaterial (hier: Polymere, Fasern, Chemikalien, Zutaten, usw.) und Energie (inkl. Wasser). Material- und Energiequellen sind dabei entweder fossile, nicht erneuerbare oder erneuerbare Ressourcen. Mineralische Fasern oder metallische Rohstoffe werden im Folgenden nicht explizit berücksichtigt wie auch Hilfs- und Betriebsstoffe.

Bei der Materialeffizienz geht es u. a. um Einsatz von Neumaterial, Rezyklaten und entsprechenden Mischungen, immer unter Einhaltung der erforderlichen Produktfunktionalität und -qualität. Bei Energieeffizienz geht es überwiegend um die Optimierung der Herstellungs- bzw. Produktionsprozesse.

Bei Rohmaterialien geht es im Wesentlichen um Fasern, die typischerweise in einer Spinnerei (Sekundärspinnerei, Stapelfaserspinnerei) zu Garnen verarbeitet werden. Dabei werden sehr oft verschiedenste Fasern gemischt. Des Weiteren geht es um Polymere (in Form von Granulat o. Ä.). Diese werden typischerweise in der Primärspinnerei zu (Endlos-)Filamenten (und damit zu Endlos-Kunstfasern) extrudiert oder direkt für die Vliesstoffherstellung genutzt.

Sowohl Fasern als auch Polymere können Neurohmaterial oder rezykliertes Rohmaterial sein. Rezykliertes Rohmaterial stammt entweder aus dem Textilkreislauf oder aus anderen Kreisläufen (etwa r-PET aus PET-Flaschen). Ein weiteres charakterisierendes Merkmal ist die Erneuerbarkeit: Naturfasern sind typischerweise nachwachsend (also erneuerbar), Synthefasern, die aus Erdöl hergestellt werden, nicht. Sogenannte Celluloseregeneratfasern (etwa Viskose) werden aus Zellstoff (z. B. aus Holz) hergestellt und sind damit erneuerbaren Ursprungs.

Weiterhin können Reste und Abfälle bei Halbzeugen direkt wieder in den Kreislauf einfließen, etwa Garnreste direkt wieder in die Spinnerei oder Zuschnittabfälle zur Nutzung für weitere Textilprodukte.

Grundsätzlich umfassen die hier betrachteten Herstellungsprozesse (1) Faserherstellung und -aufbereitung, (2) Garnherstellung und -veredlung, (3) Flächenherstellung und (4) -veredlung und (5) Bekleidungsherstellung und -veredlung. Die Polymerherstellung sowie Logistikprozesse werden momentan nicht explizit berücksichtigt.

Für Kreislaufbetrachtungen sind darüber hinaus auch die zurückführenden „Bearbeitungsstufen“ – also nach Produktnutzung die Sammlung und Sortierung, Demontage, das mechanische Recycling sowie das chemische/biologische/thermische Recycling – aus Material- und Energieeffizienz-sicht zu betrachten.

Eine wichtige Festlegung ist die der funktionalen Einheit (kg Garn, m² Fläche, Bekleidungsstücke u. a.)

Ein wichtiger weiterer Aspekt ist die Datenqualität bzw. -genauigkeit: Handelt es sich um gemessene, reale Einzeldaten, aus denen ein Istbericht erstellt werden kann (Report, ex-post), oder handelt es sich um aus der Literatur entnommene, extrapolierte, (mehr oder weniger) geschätzte, gemittelte, vermutete, simulierte o. ä. realistische Daten, die für Szenarien und zur Entscheidungsunterstützung bei Design- und Prozessgestaltung/-planung genutzt werden können/sollen, also ex-ante? Auch für den (Textil-)Maschinenbau sind solche Ex-ante-Informationen wichtig, um Maschinen und Anlagen hinsichtlich Material- und vor allem hinsichtlich Energieeffizienz zu optimieren.

Bedarf 6.10: Methoden zur Bestimmung und Ausweisung Rezyklatanteil und -quelle u. a. im Halbzeug und Produkt auf Chargenebene

Für die Angabe eines Rezyklatanteils und der -quelle sind standardisierte Formate notwendig, um Anteile vergleichbar auszuweisen. Eventuell ist es sinnvoll, die Quellen des Rezyklatanteils ebenfalls auszuweisen. Dazu sind genormte Bezeichnungen für Prozessstufen erforderlich. Es ist sinnvoll, Methoden zur Bestimmung des Rezyklatanteils festzulegen. Damit können Fragen beantwortet werden wie: Wie viel (in Mengen-%) Rezyklat ist in diesem Material/Produkt? Welche Art Rezyklat (etwa rPET? rFaser)? Handelt es sich um Rezyklate aus Produktionsabfällen und -resten bzw. Überproduktion („Pre-Consumer Waste“) oder um Nutzungsabfälle („Post-Consumer Waste“)?

Für einen Einsatz von Rezyklaten müssen Sammlung und „Herstellung“ von ausreichenden bzw. großen Mengen an Rezyklaten vorhanden sein. Dazu müssen Fabriken mit ent-

sprechenden Anlagen und Maschinen erstellt und die erforderliche (Logistik-)Infrastruktur aufgebaut werden (Stichwort „Recycling-Hubs“ von EURATEX [237]).

Hinweis an die Politik: Nach europäischer Textilkennzeichnungsverordnung [238] und deutschem Textilkennzeichnungsgesetz [239] ist bisher nur die Angabe der Fasermaterialien notwendig. Dies behindert den Einsatz von Recyclingmaterial. Daher wäre eine Kennzeichnung des Recyclinganteils notwendig. Ergänzungen der Kennzeichnung, wie z. B. Ausweisung der Rezyklatmenge und -quelle, des Anteils des erneuerbaren Rohmaterials sowie Hinweise/Verweise für Weiterverwendung und Rezyklierung, wären sinnvoll.

Forschungsbedarf: Es sind systematische Kenntnisse notwendig, mit welcher Rezyklatqualität und welchen Mischungsverhältnissen sich welche Garnqualitäten erzielen lassen. Weiterhin muss untersucht werden, ob bisherige Faserkennwerte auch für rezyklierte Fasern anwendbar und ausreichend sind.

Bedarf 6.11: Messung bzw. Ermittlung von Verbrauchsdaten und Produktbestandteilen

Die Ökobilanz, im englischen Life Cycle Assessment (LCA), stellt eine Möglichkeit dar, Umweltauswirkungen von z. B. Produkten über den gesamten Lebensweg zu erfassen und zu bewerten. Dazu wird eine medienübergreifende Betrachtung aller potenziellen Schadwirkungen auf die Umwelt und aller Stoffströme, die mit dem betrachteten Produkt in Verbindung stehen, durchgeführt. Alle Stufen von der Rohstoffgewinnung über Produktion, Anwendung und Nutzung, Abfallbehandlung, Recycling bis zur endgültigen Beseitigung sollen berücksichtigt werden. Ziel ist es, den ökologischen Einfluss ganzheitlich darzustellen. Die Vorgehensweise zur Erstellung einer Ökobilanz sowie Anforderungen an eine Ökobilanz sind durch die Normen DIN EN ISO 14040 [80] und DIN EN ISO 14044 [81] festgelegt.

Aktuell kann nur unzureichend die Nutzungsphase und in Teilen die EoL-Phase kodifiziert werden. Damit ist gemeint, dass es eine Herausforderung ist, das Nutzungsverhalten oder auch die unterschiedlichen Kreislaufführungsoptionen in Datenmodellen zu beschreiben. Möchte man z. B. zum „Lebensbeginn“ eines Produktes Aussagen treffen zum Umweltimpact, welcher während der Nutzung und dem EoL entsteht, fehlen hier geeignete Methoden.

Informationen zu LCA-Analysen werden oft nicht klar kommuniziert, sodass im Zweifelsfall „falsche“ Erwartungen geweckt

werden. Insbesondere die Vergleichbarkeit von LCA-Ergebnissen wird hier oft falsch eingeschätzt – beruhen LCA-Ergebnisse auf unterschiedlichen Methoden und Herangehensweisen, sind Ergebnisse nicht vergleichbar! Dabei ist allerdings nicht zu unterschätzen, dass Umweltbewertungen (LCA, Ökobilanz, HotSpot-Analyse etc.) als interne Entscheidungshilfe für Verbesserungen oder Änderungen im Produktdesign z. B. in Entwicklungsteams innerhalb eines Unternehmens sehr wohl hilfreich sein können. Bestehende Normen sollten darauf hin überprüft werden, ob Anforderungen an eine bessere Kommunikation eingefügt werden können.

Kernfrage ist, wie Material- und Energieverbrauchsdaten sowie Produktbestandteile gemessen bzw. bestimmt werden.

Forschungsbedarf: Erarbeitung einer vereinfachten LCA „LCAlight“ bzw. entsprechenden Norm, um einfachere Handhabung für KMUs schon bei der Produktentwicklung zu erreichen. Entwicklung von Methoden zur Berechnung/Bestimmung von Ex-ante-Werten von Material- und CO₂-Mengen (Hochrechnung, Schätzung, Screening, Simulation, Szenarien), u. a. für Entscheidungsunterstützung während des Produktdesigns und der Prozessplanung.

Bedarf 6.12: Berechnungsmethodik und Datenmanagement

Zur Berechnung bzw. Aufbereitung der Informationen für obigen Kennzeichnungsbedarf (siehe auch Bedarf 6.10) auf Basis von gemessenen bzw. ermittelten Daten (siehe auch Bedarf 6.9) ist eine standardisierte Methode, zumindest aber eine standardisierte Managementsystematik erforderlich. Zurzeit sind Plan- und Istinformationen über Materialmengen- und CO₂-Flüsse für o. g. Prozessstufen im Allgemeinen nicht existent, nicht konsistent oder nicht kommunizierbar, weil nicht vorhanden. Ebenso ist die Ausweisung bzw. Zuordnung von Rezyklatmengen aus den Vorstufenmaterialien in den Produkten unklar. Die Herstellungsprozesse werden teilweise mit veralteten Technologien bzw. Maschinen und Anlagen durchgeführt. Dies führt zu Resten und Abfällen von Material und Chemie sowie zu Ineffizienzen bei Energie- und Wasserbedarf.

Ein Ansatz wäre die Ausrichtung/Ergänzung der Materialflusskostenrechnung (MFCA, nach DIN EN ISO 14051 [291]) zur integrierten Modellierung, Analyse und Simulation von Material-, Energie-, CO₂- und Kostenflüssen im Textilkreislauf. Damit kann eine standardisierte Methodik geschaffen werden, um den Mengenfluss und den CO₂-Fluss entlang der textilen Wertschöpfung (und damit unternehmensüber-

greifend) zu bestimmen und kommunizierbar zu machen, sowohl ex-post („Protokoll“, „Bericht“, „Ist“) als auch ex-ante („Simulation“, „Abschätzung“, „Szenario“).

Ein zweiter Ansatz wäre die Ergänzung der DIN EN ISO 14001 [240] Umweltmanagementsysteme um entsprechende Ausführungen zur Gewinnung und zum Handeln von Daten und Informationen für Aspekte der Circular Economy – sofern noch nicht vorhanden. Mögliche Aspekte sind Datenqualität (Ursprung, Genauigkeit, Vollständigkeit, Aktualität) sowie entsprechende Vorgehensweisen und Prozesse, um die Datenqualität sicherzustellen. Dasselbe gilt für Mess- und Prüfverfahren sowie für Berechnungsmethoden (etwa die Zuordnung von Energiebedarf zu Produktcharge).

Bedarf 6.13: Entwicklung einer Kennzahlenmethodik für Produkte sowie für Unternehmen (Stichwort: Ampelsystem) hinsichtlich Circular Economy (Kreislaufindikatorik)

Wie gut (oder schlecht) ist das Textil aus Mengensicht im Kreislauf sowie komplementär aus CO₂-Sicht?

Einer von zahlreichen Ansätzen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik ist der Material Circularity Indicator (MCI) [241], mitentwickelt von der EllenMacArthur Foundation. Mit einer Kennzahl zwischen 0 und 1 wird dieser Wert für ein Produkt bestimmt unter Eingabe von Informationen wie etwa Anteil Rezyklate, Wiedernutzung oder Lebensdauerverhältnis. Eine Aufbereitung für die (textile) Circular Economy ist momentan Gegenstand von Forschungsaktivitäten vom DITF [242]. Der MCI könnte auch eine angepasste LCA-Methodik erfordern. Des Weiteren sind Beurteilungen für die Kreislauffähigkeit bzw. Kreislaufausprägung von (einzelnen) Unternehmen erforderlich. Ausgangspunkt könnten hier die zahlreichen Vorlagen für Nachhaltigkeitsberichte von Unternehmen sein.

Forschungsbedarf: Aufbereitung und Anpassung des Material Circularity Indicator (MCI) auf textile Kreisläufe.

Reuse

Reuse betrachtet die Lebenszyklusphase der Textilien nach dem Erstverkauf bis hin zu dem Punkt, an dem das Produkt dem End-of-Life zuzuführen ist (=Nutzungsphase). In dieser Phase soll eine möglichst lange Nutzung des Produktes ermöglicht werden, damit durch die wiederholte Nutzung und die damit einhergehende Reduzierung von neu produzierten Produkten eine Verringerung des Ressourcenverbrauchs ermöglicht wird.

Eine Grundbedingung für eine lange Lebensdauer eines Produktes ist eine gute Ausgangsqualität. Insofern spielt das Produktdesign (siehe Abschnitt „Reduce by Design“) auch für „Reuse“ eine wesentliche Rolle sowie das Vorhandensein entsprechender Geschäftsmodelle in der Nutzungsphase (siehe auch Bedarf 1.30).

In der Nutzungsphase werden Textilien verschmutzt bzw. können beschädigt werden und müssen daher vor der erneuten Nutzung bearbeitet werden. Dies erfolgt von den Verbrauchenden oder Dienstleistenden mit professioneller Aufbereitung und Pflege von Textilien (z. B. Textilreiniger, Bügel- und Mangelstuben) sowie anderen Serviceunternehmen im Bereich des Färbens, Re-Imprägnieren von Textilien mit bestehenden oder neuen Geschäftsmodellen. In manchen Nutzungsbereichen (z. B. Schutzmasken und -kittel, OP-Textilien, Händetrocknung) stehen wiederverwendbare Textilien Produkten zur Einmalverwendung (z. B. Einweghandtücher) gegenüber. Mehrwegprodukte können mit Produktnormen in solchen Anwendungsbereichen gestärkt werden und bereits existierende Geschäftsmodelle für textile Mehrfachprodukte in diesen Nutzungsbereichen stärken.

Falsche Pflege kann zu einer Lebenszeitverkürzung des Textils führen. Schonende Wasch- und Reinigungsverfahren können zum Qualitätserhalt und zur Lebensverlängerung beitragen. Zusätze in den Verfahren können zum Erhalt der Funktionen oder auch zur Wiedererlangung von Funktionen beitragen (z. B. Avivagen, Appreturen, Re-Imprägnierungen, Flammschutz, Chemikalienschutz, UV-Schutz, Fleckschutz).

Bedarf 6.14: Erweiterung der Textilpflegekennzeichnung

Private Kleidung von Verbrauchenden sowie Dienstleistenden, die Bekleidung wie z. B. Alltagskleidung aus Altenheimen pflegen, werden über Etiketten am Textil über die geeignete Pflege (wie Wasch-, Reinigungs- und Trocknungsprozesse) und anhand der Pflegesymbole nach DIN EN ISO 3758 [243] informiert. Bisher fehlen Angaben zur Anzahl der Waschkzyklen, mit denen ein Textil ohne Qualitätsverlust gewaschen werden kann. Produkt- und materialbezogene Hinweise zur schonenden Pflege würden helfen, die Nutzungsphase zu verlängern [244].

Hinweis an die Politik: Ein Hindernis ist, dass die Textilpflegekennzeichnung bisher freiwillig ist und daher manchmal wichtige Informationen für Verbrauchende und Dienstleistende fehlen. Daher würde eine verpflichtende Vorgabe helfen, dass alle Angaben immer zur Verfügung stehen.

Bedarf 6.15: Zusätzliche Normen für verschiedene Pflege- und Aufbereitungsverfahren

Arbeitskleidung kann nach Verfahren zur professionellen Aufbereitung (siehe DIN EN ISO 15797 [245]) aufbereitet werden. Hersteller von Textilien für Leasing und Mietservice prüfen die Qualität der Textilien vor Markteinführung und dabei wird eine realitätsnahe Anzahl an Waschzyklen und Waschbedingungen verwendet. Anschließend werden Materialprüfungen (z. B. Reißfestigkeit, Farbveränderung, Maßhaltigkeit u. a.) durchgeführt, die eine Aussage zur Qualität der gewaschenen Textilien machen können. Bei Bekleidungstextilien sind solche umfangreichen Prüfungen nicht üblich. Für Arbeits- und Schutzkleidung stellt die DIN EN ISO 30023 [246] ein System von grafischen Symbolen zur Verfügung, das die Kennzeichnung von Arbeits- und Schutzbekleidung mit Informationen in Bezug auf die Eignung für die professionelle Industrielwäsche nach DIN EN ISO 15797 [245] abdeckt. Im Bereich der professionellen Reinigung gibt es zusätzlich verschiedene Prüfverfahren zur Bewertung der chemischen Reinigung und Nassreinigung (siehe DIN EN ISO 3175 (alle Teile) [247]), in denen besonderer Wert auf die lebenszyklusverlängernden Maßnahmen von Textilien gelegt ist.

Bei privat genutzten Textilien können weitere Produktinformationen (zusätzlich zu den o. g. Textil-Pflegekennzeichnungs-Codes) helfen, die Produkte optimal aufzubereiten. Unabhängig davon sollten bereits in der Designphase und bei der Auswahl der verschiedenen Materialien des Produktes mögliche (negative) Wechselwirkungen bei der Pflege mitberücksichtigt werden (siehe Abschnitt „Reduce by Design“) und diese Informationen im DPP mit einfließen.

Es besteht ein Bedarf an Normen für umweltschonende Wasch- und Reinigungsverfahren, für umweltschonende (Fleck-)Lösemittel oder auch Ausrüstungschemikalien sowie für Nachfärbungen der Textilien für die textilen Produktgruppen.

Bedarf 6.16: Förderung von Verleih- und Leasingsystemen

Verleih- bzw. Leasingsysteme beruhen auf dem „Kauf von Serviceleistungen“. Das Eigentum an Textilien bleibt beim Produzenten oder dem Verleiher, die gegenüber dem Kunden, als Teil ihrer Serviceleistungen, die Funktionalität und Qualität der Textilien und Kleidung über den vereinbarten Gewährleistungszeitraum sicherstellen. Verleihsysteme beinhalten: Rental, Pay-per-Use und Product-as-a-Service (siehe auch Bedarf 1.30). Diese Systeme können für Geschäftskunden und Einzelkunden zur Anwendung kommen.

Leasingtextilien zeichnen sich insbesondere durch eine hohe Haltbarkeit, Beständigkeit der Passform und Farbechtheit, aber auch Pflegbarkeit aus, weil die Häufigkeit der Nutzungszyklen für den wirtschaftlichen Erfolg entscheidend ist. Für diese Produkteigenschaften gibt es eine Vielzahl an einzelnen Prüfnormen (siehe Kapitel 1.6.2), die heute meist nur für Neuprodukte bzw. das Ausgangsmaterial angewendet werden und teilweise nach Alterung bzw. einer bestimmten Anzahl von Waschzyklen.

Im Bereich der Arbeitsbekleidung und gewerblich genutzten Textilien haben sich seit einigen Jahren Geschäftsmodelle im Verleihservice bzw. im Leasing etabliert. Für diese Geschäftsmodelle im B2B-Bereich gibt es zwar bereits in einigen Produktbereichen bestehende Verfahren und Normen (siehe Kapitel 1.6.2), die aber deutlich ausgeweitet werden müssen, um die Lebensdauer vieler Textilien zu verlängern, insbesondere auch für privat genutzte Kleidung.

Bedarf 6.17: Vorgaben für die Beschreibung/Kennzeichnung von Textilien für den Secondhandmarkt

Zur Verlängerung des Nutzungszyklus kann aber ebenso ein Besitzwechsel beitragen, wenn der Erstkaufende das Textil nicht mehr besitzen/nutzen möchte. Auch hierfür gibt es bereits Ansätze für entsprechende Geschäftsmodelle.

Bei der Secondhandnutzung findet ein Eigentumstransfer an Textilien statt, die Produkte werden wiederverkauft. Dieses Geschäftsmodell könnte im Vergleich zu den Verleihmodellen insbesondere im Privatbereich für „normale Alltagsbekleidung“ zum Einsatz kommen. Der Kauf sollte verbunden werden mit einer Prüfung der aktuellen Qualität der Secondhandtextilien vor dem Weiterverkauf. Kaufende und Wiederverkaufende dieser Produkte fehlt es manchmal an Informationen über Ausgangsmaterialien und Nutzungszustand von Secondhandware. Hier könnten der DPP (siehe Kapitel 3.3) und ggf. Normen für eine Zustandsbewertung des Produkts (siehe Bedarf 6.8), Herstellerangaben zur Anzahl möglicher Wasch-/Reinigungszyklen helfen, eine Zweitnutzung zu fördern und zu ermöglichen.

Bedarf 6.18: Zerstörungsfreie Methoden zur Zustandsbewertung gebrauchter Textilien

Eine systematische Qualitätssicherung könnte das Vertrauen der Verbrauchenden in den Kauf gebrauchter Textilien stärken und dadurch ein Mittel sein, den Umfang dieses Marktes signifikant zu erweitern. Qualitätseigenschaften werden z. T. mit zerstörenden Prüfungen ermittelt; hier besteht Bedarf an zerstörungsfreien Methoden zur Qualitätsbeurteilung von

gebrauchten Textilien [248], [249], [250]. Auch wenn die systematische Einführung von Qualitätssicherungsmaßnahmen für Secondhandtextilien zu zusätzlichen Kosten führen wird, können diese durch eine wesentliche Expansion des Secondhandmarktes kompensiert werden (siehe Bedarf 1.2).

Forschungsbedarf: Entwicklung von zerstörungsfreien Untersuchungsmethoden ist notwendig, um eine objektive Zustands- und Qualitätsbewertung von gebrauchten Textilien machen zu können.

Repair

Die Reparierfähigkeit von Textilien muss im Zuge des Wandels zur Circular Economy zwingend erhöht und unterstützt werden, weil sie wesentlich zur Verlängerung der Lebensdauer der Textilien und damit zur Ressourceneinsparung beiträgt. Hierfür ist eine Ausweitung des Reparaturservices notwendig. Normung und Standardisierung können dabei unterstützen:

Bedarf 6.19: Standardisierte Produktinformationen über Ersatzteile definieren

Für eine Reparierbarkeit sind die Produktion und Distribution von Ersatzteilen (neue oder aussortierte Produkte) sowie die Bereitstellung von Informationen zu deren Verfügbarkeit (auch auf digitalen Plattformen) notwendig.

Derzeit stellen nur wenige Hersteller von Textilien zusätzlich zum fertig konfektionierten Produkt Ersatzteile her und vertreiben diese auch separat. Dieser Geschäftsbereich ist von Kernbedeutung für Reparatur und Änderungsdiensten an Textilien. Ein spezielles Problem besteht darin, dass häufig nicht klar ist, wo welche Ersatzteile zu finden sind bzw. welche textilen Materialien im ursprünglichen Produkt eingesetzt worden sind, sodass dann entsprechende Stoffe für Reparaturen identifiziert werden könnten.

Bedarf 6.20: Festlegung von Reparatur- bzw. Ersatzteilanforderungen sowie -standards, die in einen Reparaturindex einfließen können (Reparaturindex)

Verbrauchende, die ein wertvolles Kleidungsstück besitzen, möchte dieses normalerweise so lange wie möglich behalten und wären höchstwahrscheinlich bereit, es im Falle eines (geringeren) Defekts zu reparieren. Dies wiederum würde die Nachfrage nach Reparaturdienstleistungen erhöhen. Im Einzelhandel könnten Reparaturen und andere Dienstleistungen in den Geschäften angeboten und Partnerschaften mit

Anbietenden von Reparaturen und Umgestaltungen in den lokalen Gemeinden eingegangen werden. Mehrere Marken bieten bereits Reparaturen in ihren Geschäften an und schaffen Anreize für die Nutzenden, ihre Kleidungsstücke in gutem Zustand zu halten, insbesondere Marken für Outdoor-Bekleidung.

Hinweis an die Politik a: „Recht auf Reparatur“ [251] auf Textilien ausweiten und dessen praktische Umsetzung vorantreiben (siehe Bedarf 1.35). Auch wenn Normen zu Reparaturanforderungen vorliegen würden, wird die Umsetzung durch die Freiwilligkeit der Normenanwendung behindert, da alle Aktivitäten zur Erweiterung der Reparierfähigkeit ein Mehraufwand sind.

Um Textilien reparieren zu können, müssen Ersatzteile zur Verfügung gestellt werden und dies ist heute nur selten der Fall. Die Hersteller könnten Ersatzteile für eine Mindestanzahl von Jahren nach dem Verkauf des Produkts zur Verfügung stellen oder Informationen darüber bereitstellen, wo Verbrauchende entsprechende Ersatzteile erhalten können. Auch wenn Normen zur Reparatur vorhanden wären, wird eine Umsetzung durch die Freiwilligkeit der Normenanwendung behindert.

Hinweis an die Politik b: Verpflichtung der Bekleidungsherstellenden, Ersatzteile zu bevorraten, zur Verfügung zu stellen bzw. über geeignete Bezugsquellen zu informieren.

Hinweis an die Politik c: Neben der Reduzierung der Kosten für Reparatur- und Änderungsdienste für Konsumierende und das „Recht auf Reparatur“ für Textilien (siehe Hinweis an die Politik a) sind die Stärkung des Handwerks als attraktiver Beruf (siehe auch Bedarf 1.36) sowie eine Erweiterung des Ausbildungsangebots für das Textilwesen (siehe auch Bedarf 1.37) notwendig.

Bedarf 6.21: Kennzeichnung der Reparierfähigkeit

Es sind Normen zu erstellen, die beispielsweise festlegen, wie ein textiles Produkt gekennzeichnet werden muss, damit dieses bestmöglich repariert werden kann. Auch die Frage, welche Arten von Reparaturen sinnvoll sind, kann aufgegriffen werden. Ebenfalls kann durch produkt(gruppen) spezifische Normen vorgegeben werden, wie ein Produkt gestaltet werden sollte, damit die Reparaturfähigkeit bestmöglich gegeben ist (Design 4 Repair).

Recycle

Vor dem Materialrecycling stehen die Erfassung und Sortierung als notwendige Prozessschritte.

ERFASSUNG VON ALTTEXTILIEN

Eine hohe Materialnutzung bedingt gut ausgebaute und einfach nutzbare Erfassungssysteme. Für alle Alttextilien, die nicht sortenrein erfasst werden, ist darüber hinaus eine Sortierung notwendig, um die erfassten Materialien einer Wiederverwendung oder einer Verwertung zuzuführen. Zu unterscheiden ist hierbei der Privatbereich, für den in Deutschland heute ein nahezu flächendeckendes Depot-Container-Sammelsystem für Alttextilien (als Sammelgemisch) zur Verfügung steht. Für Alttextilien aus sonstigen Herkunftsbereichen wie aus der Industrie, dem Handel oder dem Gewerbe sowie aus der Verwaltung gibt es unterschiedlichste Erfassungssysteme bzw. -lösungen [252].

Im Prozess der Entsorgung von Alttextilien stellt die Erfassung einen wichtigen Bereich dar. Im Fokus stehen Sammlungen über Depotcontainer, da mehr als $\frac{3}{4}$ der Alttextilien im Rahmen öffentlicher Sammlungen über Depotcontainer erfasst werden [252]. Im Mittelpunkt der Erfassung von Alttextilien stehen Sicherheit für den „Endkonsumenten“, der die Ware in Depotcontainer entsorgt, Verhinderung einer „Vermüllung“ von Standplätzen, „Information und Transparenz“, Schutz vor Nässe sowie eine „materialschonende Entnahme“ der Alttextilien aus den Depotcontainern, damit ein möglichst hoher Anteil der Alttextilien für die Vorbereitung zur Wiederverwendung genutzt werden kann.

Bedarf 6.22: Anforderungen an die Beschaffenheit und das Umfeld (Standplatz) der Depotcontainer

Über eine Normung sollten Anforderungen an die Beschaffenheit der Container und das Umfeld (Standplätze) der Container festgelegt werden. Ziel ist es, Unfallgefahr, Vermüllung und Beraubung zu minimieren. Die Depotcontainer müssen zudem gegen Witterung schützen und diebstahlsicher sein sowie alle sicherheitstechnischen Aspekte erfüllen.

Bestehende Arbeitsgruppe: CEN/TC 183/WG 1 „Abfallsammelbehälter“ [254]

Bedarf 6.23: Einheitliche Kennzeichnung am Sammelcontainer

Über eine Normung für eine einheitliche Kennzeichnung sollen Bürgerinnen und Bürger notwendige Informationen

erhalten, die für die Nutzung und Transparenz des Sammel-systems sowie die Akzeptanz erforderlich sind. Wichtige Informationen sind insbesondere Kennzeichnungen, aus denen sofort deutlich wird, wer der Sammler ist (vollständige Kontaktdaten des tatsächlichen Sammlers inkl. der direkten Telefonkontakte des Sammlers; das ist z. B. auch wichtig, um im Notfall direkt mit dem Sammler Kontakt aufnehmen zu können). Zudem muss deutlich erkennbar sein, welche Alttextilien in den Container gegeben werden dürfen und in welcher Form (z. B. „sauber und in Säcken verpackt“). Eine solche Kennzeichnung hilft bei der Feststellung, dass es sich um eine legale Sammlung handelt.

Bedarf 6.24: Anforderungen an den Prozess der Entnahme der Sammelware aus den Depotcontainern

Die Alttextilien sollen so erfasst werden, dass ein möglichst hoher Anteil zur Wiederverwendung vorbereitet werden kann. Die Erstsichtung und „materialschonende“ Entnahme sind von zentraler Bedeutung für den gesamten Verwertungsprozess, weil dadurch Querkontaminationen der Sammelware durch Fremd- und Störstoffe während der anschließenden Beförderung zur Sortieranlage vermieden werden können. Wichtig sind Anforderungen an den Prozess z. B. durch eine Separierung von Müll und anderen Dingen, die zu einer Verunreinigung der Alttextilien führen können. Bei der Übernahme der Sammelware an der Erfassungsstelle bzw. bei Leerung der Container sollte bereits eine erste Sichtung erfolgen. Hierbei sind offensichtliche Fremd- und Störstoffe zu entfernen.

Bedarf 6.25: Normung/Produktspezifikation nach sortenreiner Erfassung von Textilabfällen aus sonstigen Herkunftsbereichen

Alttextilien aus gewerblichen bzw. sonstigen Herkunftsbereichen fallen oftmals nur in geringen Mengen, aber sortenrein an. Somit ist eine hochwertige Verwertung dann möglich, wenn die Spezifikation der Abfälle konkret definiert und benannt werden kann. Auf diesem Wege sind „Poolbildungen“ für Absatzmärkte und eine Vermarktung nach konkreten Erfordernissen möglich. Zu den Textilabfällen aus anderen Herkunftsbereichen, die sortenrein anfallen, werden neben Post-Consumer- oder Pre-Consumer-Abfällen auch Produktionsabfälle (wie z. B. Schnittabfälle oder Webkanten) gezählt.

Durch die Erstellung von Produktspezifikationen können Materialpools gebildet werden. Dadurch können Absatzmärkte für verschiedene sortenrein erfasste Textilabfälle geschaffen bzw. ausgebaut werden. Die Normung kann z. B. Hinweise auf Materialfraktion, Textilbeschaffenheit/Kompo-

nenten, Herkunft, Reinheit und Lieferform enthalten (siehe auch Bedarf 5.11).

SORTIERUNG VON ALTTEXTILIEN

Für alle Alttextilien, die nicht sortenrein erfasst werden, ist eine Sortierung erforderlich, die bestimmten Qualitätskriterien und Produktspezifikationen sowie der Abfallhierarchie entspricht.

Dabei kann der Prozess der Sortierung sehr unterschiedlich sein. Während in einigen Anlagen sehr differenziert sortiert wird, erfolgt in anderen Anlagen nur eine grobe und oberflächliche Vorsortierung. Die Einhaltung der Abfallhierarchie kann nur durch ein Verfahren erreicht werden, das Alttextilien für eine Wiederverwendung vorbereitet und nicht mehr trag- und marktfähige Alttextilien in Fraktionen für bestehende Recyclingverfahren sortiert.

Bedarf 6.26: Festlegung von Regelungen und Kriterien für Alttextil-Sortieranlagen

Normung und Standardisierung von Regelungen und Kriterien für Alttextil-Sortieranlagen dienen einer Vorbereitung zur Zertifizierung von Anlagen nach einheitlichen Bewertungsstandards.

Bedarf 6.27: Produktspezifikation nach Sortierung gemischt erfasster Alttextilien

Nach der Sortierung von gemischt erfassten Alttextilien stehen sehr viele verschiedene Textilprodukte, aber auch weiterhin Textilabfälle zur weiteren Vermarktung zur Verfügung. Durch die Normung soll ein Datenqualitätslevel festgelegt werden, um ein Handelsgut zu definieren und darüber hinaus Informationen auszutauschen. Hauptziel hierbei ist es, dass ein möglichst hoher Anteil zur Wiederverwendung vorbereitet und vermarktet werden kann und die restlichen Mengen auf einer hohen nutzbringenden Ebene verwertet werden (siehe auch Bedarf 5.10). Dieses wird durch Transparenz und Sicherheit erreicht.

Für Alttextilien, die zur Wiederverwendung vorbereitet wurden, spielen die Qualitätssicherung, Tragfähigkeit, Reinheit und möglichst differenzierte und vertiefte Informationen über die Produkte sowie die Lieferform eine wichtige Rolle. An dieser Stelle wird auch auf das Arbeitsdokument zur Novellierung der Abfallverbringungsverordnung [255] hingewiesen, in dem die EU-Kommission ermächtigt werden soll, Kriterien für die Unterscheidung von Gebrauchsgütern und Abfällen für bestimmte Abfälle (u. a. Textilien) zu entwickeln.

Für die sortierten Textilien, die nicht für eine Wiederverwendung geeignet sind, soll über die Normung der Markt für die jeweils geeigneten Recyclingverfahren bedient werden. Im Rahmen der Normung sind daher neben der Materialfraktion auch die Reinheit, der tolerierte Anteil von Störstoffen und Substanzen, Farben und Lieferform von Bedeutung.

Eine Übertragung von bzw. weiterführende Normen: DIN SPEC 91446, Klassifizierung von Kunststoff-Rezyklaten durch Datenqualitätslevels für die Verwendung und den (internetbasierten) Handel [49]

RECYCLING/RECYCLINGVERFAHREN

Transparenz und Herkunft der Rezyklate und Fasern sind im Hinblick auf das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) [256] zu beachten und sollen Greenwashing verhindern. Um den heterogenen Recyclingmarkt für Textilien abzubilden, bedarf es aussagekräftiger Daten sowie einer einheitlichen Sprache. Es wird eine einheitliche, standardisierte Kategorisierung der Abfälle, welche als Sekundärrohstoff weiter nutzbar sind, benötigt.

Die Aufbereitung von Informationen bzgl. des Ausgangsmaterials ist essenziell für die Weiterverarbeitung, aber auch die Entscheidung, durch welchen Recyclingprozess (z. B. mechanisch oder chemisch) das Material für den erneuten Einsatz als Rohstoff gewonnen wird. Während beim chemischen Recycling ein qualitativ vergleichbarer Output erzielt wird, erfolgt beim mechanischen Recycling eine Qualitätsabwertung durch das Einkürzen der Fasern. Gleichzeitig sind aber auch Ressourcenverbrauch und -einsatz zur Materialaufbereitung zu berücksichtigen.

Materialien können durch die verschiedenen Recyclingtechnologien im geschlossenen Kreislauf (Closed Loop) geführt werden oder ihren eigenen Produktkreislauf verlassen (Open Loop). Hierfür kann es wirtschaftliche oder technische Gründe geben, beispielsweise wenn die Qualität des Rezyklates den Einsatz im Closed Loop nicht mehr zulässt. Anzustreben ist jedoch, dass sich die Kreisläufe zu einem großen Teil durch die bereits in Umlauf gebrachten Materialien selbst erhalten. Ein Abgleiten eines Produktes in den Open Loop, welches weiter im Closed Loop geführt werden könnte, ist zu vermeiden, sofern ökologische und ökonomische Aspekte nicht im kompletten Widerspruch stehen.

Die Verfügbarkeit von Informationen zu diesen Themen sowie die Aufklärung über mögliche Recyclingwege sowie die An-

wendungsoptionen von Rezyklaten und Recyclingfasern sind der Schlüssel für ein hochwertiges ganzheitliches Aufbereitungssystem. Dabei sollte ein Netzwerk aufgebaut werden, um den Zugang zu diesen Informationen zu vereinfachen. Ein Beispiel könnte die ReHubs-Initiative von EURATEX [237] sein.

Bedarf 6.28: Festlegung zulässiger Materialien und prüfbarer Angaben als „recycled content“

Für den Einsatz von Rezyklaten und Recyclingfasern kommen verschiedene Ausgangsmaterialien infrage. Aus der textilen Wertschöpfungskette sind dies zum einen (Schnitt-)Abfälle aus der Produktion (Post-Industrial Waste), ebenso wie Kollektionsüberhänge, Fehlproduktionen, Retouren (Pre-Consumer Waste) und Gebrauchstextilien (Post-Consumer Waste), sofern diese Abfälle weiter- bzw. wiederverwendet werden können.

Wichtig ist es, eine Abgrenzung zu schaffen und zu definieren, aus welchen Stoffströmen Rezyklate und Recyclingfasern den Zusatz „recycled content“ erhalten. Eine in sich geschlossene Rückführung, wie z. B. Flyerlunten/Vorgarne aus dem Spinnprozess, welche direkt im selben Prozess wieder zurückgeführt werden und deshalb wiederverwendet werden, sollten davon abgegrenzt werden. Dies soll Greenwashing verhindern.

Anmerkung: Recycled Claim Standard ist ein internationaler, freiwilliger Standard für Textilien mit einem Anteil an recycelten Materialien von mind. 5 %.

Global Recycled Standard ist ebenfalls ein freiwilliger Standard für Textilien mit einem Anteil an recycelten Materialien von mind. 20 % [267].

Bedarf 6.29: Festlegung von Kriterien und Definitionen zur Nachvollziehbarkeit der Stoffströme

Die Ermittlung des Recyclinganteils bzw. der Vorgeschichte eines Rezyklates oder einer Recyclingfaser ist nach aktuellem Stand der Technik nicht möglich. Daher besteht erhöhter Bedarf nach Transparenz bzw. Nachverfolgbarkeit der Stoffströme, um eine Plausibilitätsprüfung möglich zu machen. Wird mechanisch recycelt, sind die Fasern sehr eingekürzt. Aber auch neues, ursprüngliches Fasermaterial wird beim Durchlaufen der unterschiedlichen Verarbeitungsschritte zum Garn eingekürzt. Beim chemischen Recycling wird das zu recycelnde Material durch einen Transformationsprozess wieder zu neuwertigem Fasermaterial. Laut EU-Textilstrategie [215] sollen textile Produkte ab 2030 neben anderen Aspekten recycelbar sein und gleichermaßen recyceltes Material beinhalten. Das heißt, die Marktteilnehmenden werden sich bemühen,

dieser Forderung nachzukommen. Gleichermaßen werden Textilien mit recyceltem Faseranteil im Vergleich zu heute an Attraktivität gewinnen. Um das Schlupfloch für Greenwashing zu schließen, ist die Kontrolle und Transparenz der Stoffströme (Input = Output) von großer Bedeutung.

Woher die Materialien stammen und die Nachverfolgbarkeit innerhalb der Lieferkette sind ebenfalls in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen, mit dem Hinweis auf die Anforderungen des LkSG [256]. Hier auch der Hinweis auf den DPP, bei dem die Informationen über die Herkunft des Materials integriert werden kann.

EINSATZ VON REZYKLATEN UND DIE VEREINBARKEIT MIT ANWENDUNGSBEZOGENEN SCHADSTOFFGRENZWERTEN

Am 01.06.2007 wurde die REACH-Verordnung [73] von der Europäischen Union zum Schutz von Mensch, Tier und Umwelt erlassen. Unternehmen müssen die Risiken der von ihnen in Verkehr gebrachten Stoffe und Produkte identifizieren und beherrschen. In REACH sind Verfahren zur Erfassung und Bewertung von Informationen über die Eigenschaften und Gefahren von Stoffen festgelegt. Die gefährlichsten Stoffe sollen auf lange Sicht durch weniger gefährliche ersetzt werden. Gleichzeitig ist aber zu berücksichtigen, dass diese Verordnung dem Einsatz von Rezyklaten und Recyclingfasern, die oftmals aus gemischten, inhomogenen Abfällen hergestellt wurden, nicht entgegensteht. In jedem Fall soll ein erhöhter Schadstoffeintrag durch die Verwendung von Rezyklaten und Recyclingfasern weiterhin ausgeschlossen werden; gleichzeitig dürfen zu hohe Prüf- und Nachweisanforderungen den Einsatz nicht behindern.

Hinweis an die Politik: Anpassung der gesetzlichen Rahmenbedingungen mit dem Ziel, den Eintrag von grenzwertübersteigenden Schadstoffen zu verhindern, jedoch den Einsatz von Rezyklaten zeitgleich nicht zu behindern.

Bedarf 6.30: Festlegung der Prüfkriterien und des Prüfzeitpunktes zur Detektion des potenziellen Schadstoffeintrages

Werden Rezyklate oder Recyclingfasern aus Alttextilien hergestellt, welche vor der Einführung von Schadstoffgrenzwerten hergestellt wurden, oder aus Textilien, welche nur bestimmten Schadstoffgrenzwerten unterliegen, können diese Schadstoffe als Verunreinigung im Rezyklat auftreten. Label (wie z. B. OEKO-TEX [257], Grüner Knopf [258]) können Aufschluss über vergangene Schadstoffprüfungen und

Schadstoffgrenzwerte geben, allerdings ist nicht bekannt, ob es in der Gebrauchsphase zu einem Schadstoffeintrag kam. REACH schließt Secondhandkleidung bisher nicht ein. DIN CEN/TS 16010 [185] und DIN CEN/TS 16011 [186] geben nützliche Hinweise zu den allgemeinen Probeentnahmeverfahren für die Untersuchung von Kunststoffabfällen als Rohstoff für Recycling und Rezyklate. Auch auf die in Bearbeitung stehende E DIN EN ISO 5157 [226] wird in diesem Zusammenhang hingewiesen, um eine Vereinbarkeit mit der darin enthaltenen Terminologie sicherzustellen.

Bedarf 6.31: Normen und Standards für die Bewertung von Textilabfällen und deren Rezyklate/Recyclingfasern

Die Verfügbarkeit von aussagekräftigen Daten sowie einer einheitlichen Sprache bezüglich der Entstehung und Verwendung dieser Daten ist wichtig, um Abfälle einer bestimmten, dafür vorgesehenen Recyclingtechnologie zugänglich zu machen. Aufgrund der dynamischen Entwicklung des Standes der (Maschinen-)Technik muss die Angabe dieser Daten flexibel sein. Schon heute können sich erforderliche Materialparameter für verschiedene Recyclingtechnologien (z. B. mechanisches Reißen oder chemisches Lösen) deutlich unterscheiden. Die Werkzeuge der Normung sollen deshalb der Erzeugung von Informationen, der Einordnung in den Kontext und der Vergleichbarkeit dieser Informationen dienen (siehe auch Bedarf 5.9).

Die DIN SPEC 91446 [49] bietet einen alle verschiedenen Polymerarten umfassenden Ansatz, der die konsistente Kommunikation entlang der Wertschöpfungskette erleichtern und so die Etablierung einer Circular Economy für Kunststoffe befügeln soll.

Es geht um Qualitätslevel und Angaben, die zu dem jeweiligen Material bereitgestellt werden können. Je mehr Angaben verfügbar sind, desto höher das Level (max. Level 4). Untergliedert sind die Angaben in Informationen, Eigenschaften und optionale Angaben des Materials. In der Kategorie Informationen sind Angaben wie der Materialtyp (PES, PP, PA etc.), Farbe, Recyclingmethoden (welcher Prozess), Informationen zur bereits durchlaufenen Nutzungsphase oder Form und Zustand des Materials enthalten. In der Kategorie Eigenschaften sind Prüfdaten enthalten und durch welche Prüfmethodik diese gewonnen wurden. Optionale Angaben sind weiterführende Materialeigenschaften, die für das Recycling wichtig sein können. Da sich dies je nach Recyclingtechnologie unterscheiden kann, sind diese Angaben nur optional, nicht verpflichtend und haben keinen Einfluss auf die Einstufung in die Qualitätslevel.

Im Bereich der Textilien sind die Kunststoffe jedoch nur ein Teil der etablierten Faserstoffe. Naturfasern fallen folglich nicht in den Anwendungsbereich dieses Standards. Zusätzlich ist zu diskutieren, ob der Katalog der jeweiligen Angaben für Informationen, Eigenschaften und optionale Angaben für Textilien gegenüber dem allgemeinen Kunststoffhandel weiter editiert bzw. erweitert werden sollte.

Hinweis an die Politik: Bisher ist für Textilien nur die Kennzeichnung der Materialzusammenstellung Pflicht und Angaben zu Recycling sind nicht notwendig. Dies ist ein Hindernis, da Verbrauchende im Moment keinerlei Angaben über die Recyclingmethode u. a. erhalten. Eine entsprechende Kennzeichnung und Angaben zu recyceltem Material im Textil und der eingesetzten Recyclingmethode am Textil kann Verbrauchende bei der Kaufentscheidung unterstützen. Darüber hinaus können diese Informationen Mitwirkende der Aufbereitungs- und Recyclingbranche unterstützen, für die jeweiligen Textilabfallprodukte die optimale Recyclingmethode anzuwenden. Dies schafft darüber hinaus Transparenz für die textile Lieferkette. Die Informationen sollten gleichermaßen in den DPP übernommen werden.

Bedarf 6.32: Fälschungssichere Materialkennzeichnung bzw. -markierung

Eine fälschungssichere Materialkennzeichnung unterstützt die Vereinfachung im Trenn- und Recyclingprozess, da so eine einfache und sichere Materialerkennung möglich ist und so aufwendige nachfolgende Analytik vermieden werden kann.

Forschungsbedarf: Entwicklung geeigneter Markierungsmethoden für die verschiedenen Faserarten.

Allgemeine Normungsbedarfe

Die hier beschriebenen allgemeinen Normungsbedarfe „Kennzeichnung – Nachhaltigkeit, Kreislauffähigkeit und Zertifizierung“ und „Digitaler Produktpass (DPP)“ wirken sich auf mehrere R-Strategien aus.

KENNZEICHNUNG – NACHHALTIGKEIT, KREISLAUFFÄHIGKEIT, ZERTIFIZIERUNG

Nachhaltigkeit und Kreislauffähigkeit sind keine Synonyme, sondern ergänzende wechselwirksame Systeme, die gemeinsame Ziele unter verschiedenen Betrachtungsweisen verfolgen. Um quantitativ nachvollziehbare Entscheidungsgrundlagen zu erhalten, wurden verschiedene Circular-Economy-Rahmenbedingungen identifiziert, die eine Reihe spezifischer Indikatoren und Metriken berücksichtigen. Diese

beziehen sich sowohl auf die Nachhaltigkeits- und Circular-Economy-Ziele als auch auf die für die Branche spezifischen Schlüsselmerkmale.

Forschungsbedarf: Zusammenhang zwischen Kreislauffähigkeit und Nachhaltigkeitsleistung muss untersucht werden.

Während die Verbreitung von Circular-Economy-Indikatoren viel Aufmerksamkeit erhalten hat, fehlt es immer noch an einer kritischen Überprüfung der Kombinationen von Methoden, die die Nachhaltigkeitsauswirkungen von Circular-Economy-Strategien spezifisch quantifizieren [259]. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, um Klarheit und eine transparente Grundlage zu schaffen, auf der Label- und Zertifizierungssysteme aufgebaut werden können.

Bedarf 6.33: Standardisierte Begriffsdefinitionen zu Umweltaussagen

Umweltaussagen/Konformitätserklärungen/freiwillige Nachhaltigkeitssiegel, die sich auf Umwelt- oder Sozialaspekte beziehen, sind nur dann zulässig, wenn es sich beim Herausgeber um ein anerkanntes Institut oder eine unabhängige Organisation handelt oder wenn sie auf der Grundlage des EU-Umweltzeichens, der Umweltkennzeichnung (DIN EN ISO 14021 [177], DIN EN ISO 14024 [260]) oder spezifischen EU-Rechtsvorschriften, die für die Aussage relevant sind, basieren oder die Aussage unabhängig durch Dritte validiert wurde. Die Begriffe Nachhaltigkeit und Kreislauffähigkeit sind oft unklar und müssen eindeutig festgelegt werden – bei manchen Labels wird nicht deutlich, welche Nachhaltigkeits- oder Kreislauffähigkeitsmerkmale das Produkt aufweist (siehe auch Bedarf 1.25). Dazu besteht eine notwendige Differenzierung zwischen Nachhaltigkeits- und Kreislauffähigkeitsmerkmalen ohne Möglichkeit der Überprüfung, mit Möglichkeit der Überprüfung, aber ohne Zertifikat und/oder mit Möglichkeit der Überprüfung mit Zertifikat.

Hinweis an die Politik: Unter Greenwashing werden alle Handlungen definiert, mit denen Unternehmen nach außen ein umweltfreundliches Image suggerieren, obwohl sie nicht nachhaltig arbeiten bzw. produzieren. Anders als der Begriff „bio“ in der Lebensmittelbranche sind Aussagen wie „nachhaltig“, „klimaneutral“ oder „umweltfreundlich“ bei Textilien gesetzlich nicht definiert. Es gibt keine Vorschriften dazu, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, wenn Unternehmen mit diesen Begriffen werben. Greenwashing kann durch die Verwendung von nicht eindeutig definierten Begriffen erfolgen. Das Fehlen von allgemeingültigen Definitionen

behindert Nachhaltigkeitsangaben. Aus diesem Grund sind hier gesetzliche Vorgaben notwendig, um einen Missbrauch zu verhindern. Die DIN CEN/TS 16822 [214] und die sich in Erarbeitung befindende E DIN EN ISO 5157 [267].

Bedarf 6.34: Festlegung von übergeordneten Kriterien für eine Produktkennzeichnung, die den Circular-Economy-Rahmen definieren

Der Hauptgrund für die Einführung einer Kennzeichnung besteht darin, die Verbrauchenden darüber zu informieren, dass ein Produkt in Übereinstimmung mit der Vision und/oder technologischen Kenntnissen der Circular Economy hergestellt wurde und dass dieses Produkt eine Reihe ausgewählter Kriterien der Circular Economy erfüllt. Es gibt bereits eine Vielzahl an Labeln. Bei den meisten dieser Label stehen Schadstoffe, Material, Produktion, Nachhaltigkeit und/oder Soziales im Vordergrund. Angaben zu Gebrauchsqualität, Gebrauchsdauer, Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit („Reuse“) oder Recyclingfähigkeit fehlen bisher. Eine umfassende und einfach verständliche Circular-Economy-Kennzeichnung fehlt bislang. Die Anforderungen für eine Kennzeichnung für eine Circular Economy sollten entlang der Wertschöpfungskette festgelegt werden, insbesondere in den Phasen des Designs/der Produktentwicklung und der Produktion. Dies erfordert Transparenz über alle Schritte in der Produktion.

Die folgenden übergeordneten Kriterien wurden für eine gesamtheitliche Kennzeichnung identifiziert: Kreislaufinnovation (Geschäftsmodellbetrachtung, R-Strategien), Produktdesign (Eco-Design), Materialeinsatz (Sortenreinheit), Life Cycle Assessment (LCA), Langlebigkeit, Qualität, Chemikalien, Pflege, Produktionsort/-stätte, soziale und ökologische Aspekte in der Produktion, wo und wie das Textil am Ende der Nutzung „entsorgt“ werden soll [268].

Bedarf 6.35: Definition eines Gesamtindex (Composite Index) mit Variablen für eine Circular-Economy-Kennzeichnung

Ein Gesamtindex könnte ein geeignetes Instrument sein, um eine Reihe von Indizes zu erstellen, die auf Normen beruhen, daher messbar sind, wodurch eine Zertifizierung durchgeführt werden kann. Aufgrund der großen Diversität verschiedener Produktgruppen in der Textilindustrie könnte ein Gesamtindex praktisch sein, da dieser auf die Produktgruppe und/oder Funktion angepasst werden könnte. Eine Auswahl aus den übergeordneten Kriterien eines Circular-Economy-Kennzeichens sollte getroffen werden, um eine Reihe von Variablen zu definieren, die auf der Grundlage von

Normen gemessen werden können und die klare, objektive Ergebnisse liefern können. Kriterien sind z. B. geeignete Variablen für die Erstellung eines Gesamtindex (Qualitätsindex, Chemikalienindex, Pflegekennzeichnung, Reparaturindex, Recyclingindex) [261].

DIGITALER PRODUKTPASS (DPP)

Bedarf 6.36: Informationsbedarfe von verschiedenen Anspruchsgruppen

Dieser Bedarf wird im Querschnittsthema DPP beschrieben.

Bedarf 6.37: Informationsbedarfe für verschiedene Produktgruppen

Anforderungen nach Produktgruppen: Produktgruppen wie Heimtextilien, Bekleidung, PSA, medizinische Textilien usw. haben unterschiedliche Eigenschaften und können nicht alle mit dem gleichen Protokoll beschrieben werden. Deshalb benötigt es dafür produktspezifische Protokolle. In diesen sollten die für die Produktgruppe passenden Datenfelder/Parameter (z. B. Faserqualität, Inhaltsstoffe und Materialmix) definiert werden. Als Grundlage dafür könnte der circularity.ID Open Data Standard [262] dienen, der für Bekleidung ausgelegt ist.

Bedarf 6.38: Interoperabilität Produkt-, Event- und Metadaten durch einheitliche Ontologie/Taxonomie

Dieser Bedarf wird im Querschnittsthema DPP (siehe Kapitel 3.3) beschrieben. Spezifische Normen und Standards, die für die Textilindustrie angewendet werden können, sind nachfolgend aufgeführt. Die UNECE hat mit dem Projekt „Traceability for Sustainable Garment and Footwear“ [263] bereits angefangen, Rückverfolgbarkeitsstandards (traceability) zu entwickeln. Weitere De-facto-Standards, die als Grundlage berücksichtigt werden sollten, sind die „Materials, Processes & Product Classification“ von Textile Exchange [264], die „GTL Language“ von Global Textile Scheme [265], der „circularity.ID Open Data Standard“ von circular.fashion [262] und das „Web Vocabulary“ von GS1 [266].

Bedarf 6.39: Pflegehinweise für Waschmaschinen

Eine optimale Pflege kann dazu beitragen, dass Textilien länger genutzt werden können. Digitale und standardisierte Pflegeinformationen an Textilien könnten von intelligenten Waschmaschinen automatisiert ausgelesen und entsprechende Waschprogramme (Haus- und Industrewäsche) gewählt werden (Kommunikation zwischen Textil und Waschmaschine).

Bedarf 6.40: Datenträger (data carrier) für Textilien

Damit die Daten für alle Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette auslesbar werden, benötigt es Identifikationsnummern und Datenträger, auf denen die Identifikationsnummern gespeichert sind.

Für die Datenträger benötigt es Standards, die bspw. Angaben dazu enthalten, welche Datenträger sich für welches Anwendungsgebiet eignen. Beispielsweise nützt es wenig, wenn Textilhersteller QR-Codes als Datenträger nutzen, wenn Alttextilsortierbetriebe oder Recycler diese prozesstechnisch nicht einsetzen wollen, da es sich wirtschaftlich nicht lohnt. Es benötigt deshalb Datenträger, die maschinenlesbar sind und möglichst automatisch ausgelesen werden können in einer Alttextilsortierung (z. B. RFID). Gleichzeitig können auch optisch auslesbare Datenträger (z. B. QR, Data Matrix, Barcode) Sinn machen, da sie günstiger sind, keine zusätzlichen Materialien dem Textil hinzufügen und damit vor dem Recycling nicht entfernt werden müssen.

Bezüglich der Robustheit benötigt es Standards, wie viele Waschgänge (welches Waschprogramm) ein Datenträger überstehen muss, abhängig von der Produktgruppe (z. B. Unterwäsche wird öfter gewaschen als Jacken). Ebenfalls wichtig kann die Platzierung des Datenträgers sein, um zum einen zu vermeiden, dass Konsumierende diese entfernen, und um zum anderen zu gewährleisten, dass Alttextilsortierbetriebe diese auch finden, auslesen und ggf. entfernen können. Die Platzierung könnte auch als Datenfeld in der Produktbeschreibung integriert werden. Weiter muss definiert werden, wie die Identifikationsnummern auf den Datenträgern gespeichert werden (z. B. als Electronic Product Code).

Hinweis an die Politik: Die Politik sollte Richtlinien erlassen, damit sich alle Beteiligten entlang der textilen Wertschöpfungskette auf entsprechende Identifikationsmittel und Datenträger einstellen können. Dies ist idealerweise mit Technologien umzusetzen, welche bereits ohnehin langjährig in den Märkten eingesetzt werden. Weiter kann hier auch Forschung und Entwicklung helfen, Datenträger zu entwickeln, die einzigartige Identifikationsnummern speichern können, robust und maschinenlesbar sind und keine Metalle beinhalten.



2.7

Bauwerke und Kommunen

2.7.1 Status quo

Der Bausektor hat den größten Ressourcenbedarf, er ist der größte CO₂-Emittent und verursacht zudem den größten Anteil an der globalen Abfallproduktion [342]. Um die Klimaschutzziele auf deutscher und europäischer Ebene zu erreichen, kommt dem Bausektor eine Schlüsselrolle zu [343]. Der Beschluss des Pariser Übereinkommens von 2015 [270] und die im Dezember 2019 vereinbarten verbindlichen Klimaschutzziele [3] haben die Anforderungen zur Reduzierung von Treibhausgasen sowohl auf europäischer als auch nationaler Ebene verschärft. Der European Green Deal sieht als wichtige Lösungsansätze eine nachhaltige Transformation in den CO₂-intensivsten Sektoren hinsichtlich Klimaschutz, Ressourcenschonung sowie Digitalisierung an [2].

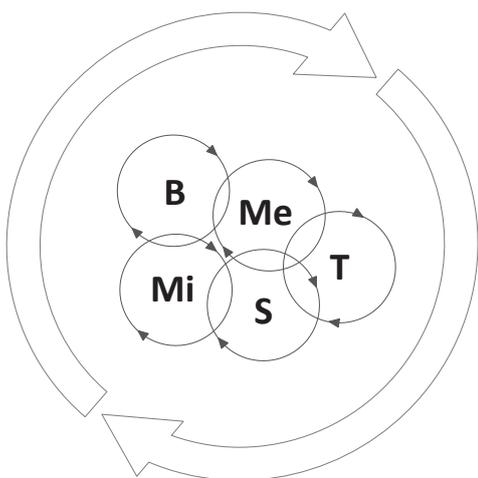
Die EU-Taxonomie-Verordnung, als ein Teil des European Green Deals, ist ein System zur Klassifikation nachhaltiger Finanzprodukte. Dabei wird auf Immobilien sowie die immobilienwirtschaftlichen Beteiligten Druck durch die Erfüllung von Nachhaltigkeitsanforderungen sowie deren transparente Offenlegung ausgeübt. So wird unter anderem eine lebenszyklusbasierte CO₂-Bewertung von Gebäuden und die Einhaltung und Offenlegung bestimmter Zielwerte bei der Zirkulari-

tät von Gebäuden gefordert. Denn die nachhaltige Circular Economy ist ein zentrales Mittel, um Ressourcen, u. a. Energie (graue Energie), Rohstoffe und CO₂-Emissionen, zu schonen, damit Klimaschutzziele erreicht werden können. Die EU-Taxonomie fordert deshalb konkret, dass prozentuale Anteile beim Einsatz von Sekundärrohstoffen und/oder biotischen Rohstoffen nachgewiesen werden. Die Wiederverwendung oder Weiterverwendung einzelner Bauteile oder ganzer Bauteilgruppen fehlt und ist zwingend aufzunehmen [271].

Einerseits ist mithilfe zukünftiger Normen und Standards die Ressourceninanspruchnahme durch eine verlängerte Lebensdauer auf allen Ebenen (Bauland, Gebäude, Bauteil, Bauteilkomponente, Verbindungsmittel, Ausstattung, Material) zu reduzieren sowie der stoffliche/technologische Materialkreislauf mit der Zielsetzung der Abfallvermeidung, der möglichst hochwertigen Wiederverwendung von Bauteilen und der stofflichen Verwertung von Baumaterialien (Recycling ohne Downcycling) zu fördern. Andererseits sind die bestehenden, übergeordneten Herausforderungen, wie beispielsweise die Prüfung/Zertifizierung/Zulassungen „gebrauchter“ bzw. bereits verbauter Bauteile/Baustoffe, und die Fragen zur Gewährleistung und Haftung durch Normung und Standardisierung zu lösen (siehe [Abbildung 30](#)).

GESCHLOSSENE MATERIAL- / TECHNIKKREISLÄUFE

FÖRDERN VON GESCHLOSSENEN KREISLÄUFEN HEMMNISSE AUS DEM WEG RÄUMEN



S SYNTHETISCHER KREISLAUF **Me** METALLISCHER KREISLAUF **T** TECHNISCHER KREISLAUF **Mi** MINERALISCHER KREISLAUF **B** BIOTISCHER KREISLAUF

Abbildung 30: Zirkularität der Betrachtungsebenen der Baumaterialien (Quelle: DIN)

Die Betrachtungsebenen und -komponenten im Kontext von Bauwerken und Kommunen sind in **Abbildung 31** ersichtlich. Weiterführend werden in der Abbildung die Begrifflichkeiten (Bauteile, Baukomponenten, Material etc.) visuell charakterisiert.

Auswertung der Normenrecherche

Im Schwerpunktthema „Bauwerke und Kommunen“ wurde die Normenrecherche zu Circular Economy (siehe Kapitel 1.6.2) der DIN, DKE und VDI anhand der neun R-Strategien ausgewertet. Zusätzlich wurden das Thema CO₂-Fußabdruck und Digitaler Produktpass identifiziert.

Insgesamt waren 432 von 2066 Normen und Dokumente relevant für das Thema.

Interpretation

Insgesamt gibt es viele relevante Ergebnisse für zirkuläre Bauwerke und Kommunen. Der Großteil der Normen wirkt im Bereich Recycling, einem klassischen Bereich der Circular Economy, oder es sind allgemein gültige Ergebnisse. Danach folgen Normen zum Digitalen Produktpass im weiteren Sinne und zur Erfassung eines CO₂-Fußabdrucks. Einige, vor allem höherwertige Strategien, haben kaum oder keine Abbildung im Normenwerk.

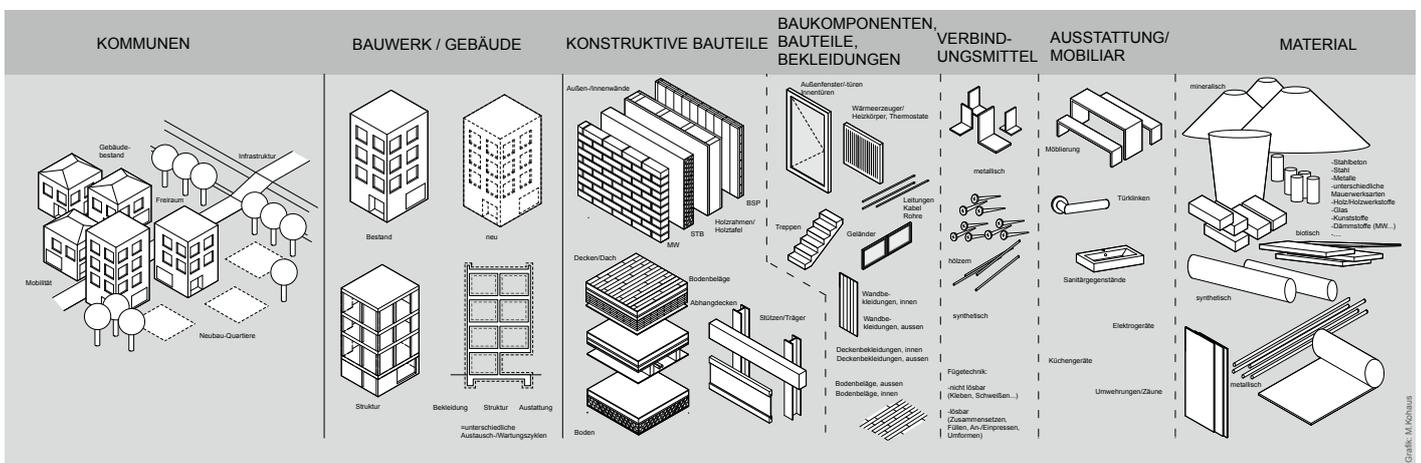


Abbildung 31: Betrachtungsebenen und -komponenten im Kontext von Bauwerken und Kommunen (Quelle: DIN)

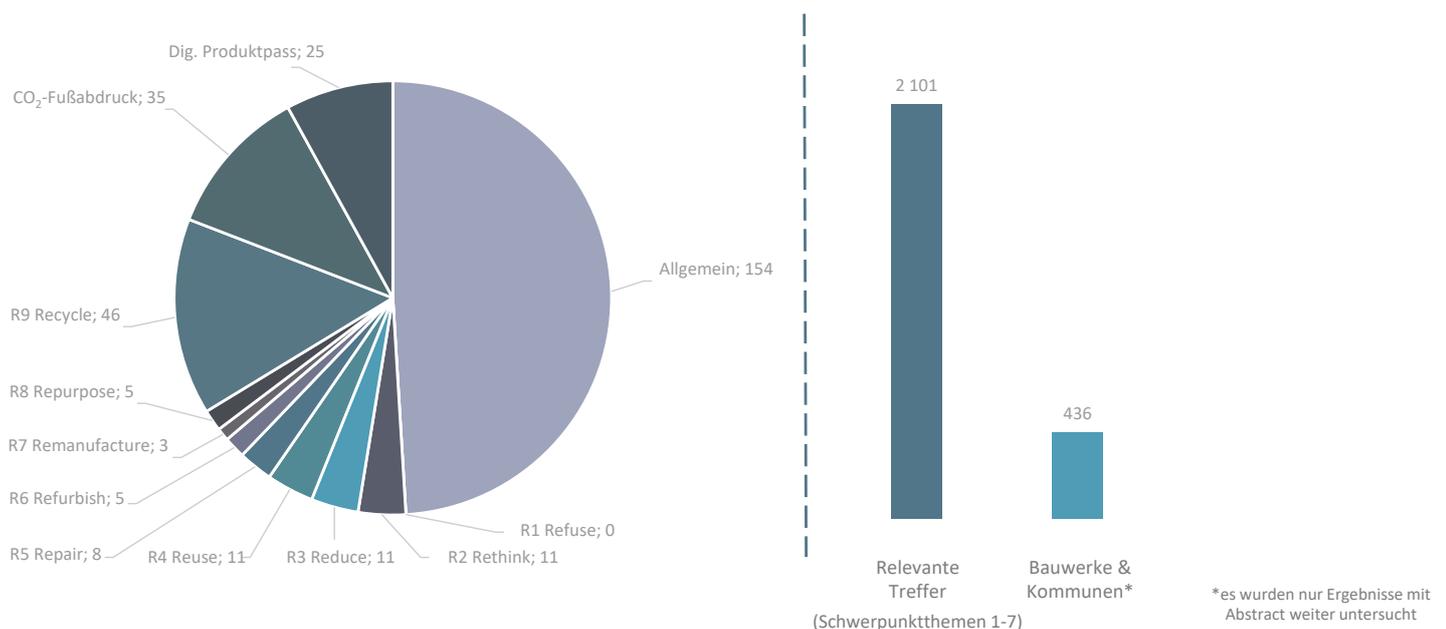


Abbildung 32: Aufgliederung nach R-Strategien (Quelle: DIN)

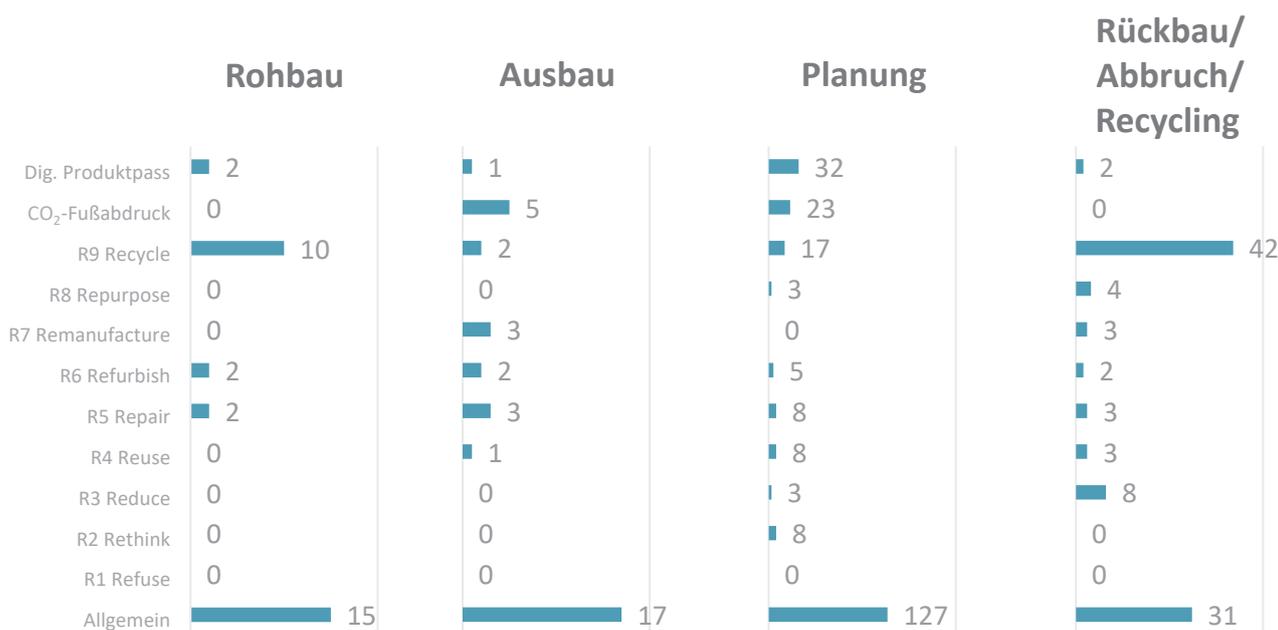


Abbildung 33: Aufgliederung nach R-Strategie und Produktgruppen (Quelle: DIN)

Aufgliederung nach Produktgruppen und R-Strategien

Im bestehenden Normenwerk ist keine Systematik zur Circular Economy erkennbar, so sind z. B. kaum Normen zu CO₂-Fußabdruck, „Refuse“, „Repurpose“, „Remanufacture“ und „Refurbish“ vorhanden. Die Strategien „Repair“ und „Reuse“ sind in vereinzelt Produktgruppen vertreten. Anwendungen für andere Produktgruppen sind zu prüfen. Es gibt eine hohe Anzahl von Recycling-Normen im Bausektor, besonders im Rohbau und Rückbau. Festzustellen ist, dass keine durchgängige prozessgruppenspezifische Normung im Bereich der Circular Economy erkennbar ist. Das Fazit ist: Es gibt viele blinde Flecken in der Normungslandschaft und eine genauere Analyse für das zirkuläre Bauen ist erforderlich.

2.7.2 Anforderungen und Herausforderungen

Die Anforderungen und Herausforderungen im Bereich des Schwerpunktthemas „Bauwerke und Kommunen“ wurden in den vier Herausforderungsbereichen Kommunen, Baumaterialien, Gebäude sowie Methoden und Tools erarbeitet und werden nachfolgend beschrieben. Die ermittelten Normungsbedarfe werden nach den R-Strategien strukturiert im daran anschließenden Kapitel aufgeführt.

Kommunen

In Deutschland lösen die Kommunen die Aufgaben der Daseinsvorsorge meist eigenverantwortlich und treffen

damit die Entscheidungen eigenständig. Daher können rechtliche Regelungen und Normen in den für die Kommunen relevanten Bereichen der Daseinsvorsorge nur den Rahmen bilden. Die Ausgestaltung treffen die Kommunen selbst. Große Kommunen haben in der Regel gute Kenntnisse über die verschiedenen Beteiligten, die für die Circular Economy benötigt werden, und sind meist in Netzwerke eingebunden, um die Circular Economy zu initiieren und voranzutreiben. Bei mittleren und kleinen Kommunen fehlen häufig die Personalressourcen, um sich intensiv mit diesen Themen zu beschäftigen. Ziele der europäischen Circular Economy sind: Ressourceneffizienz erhöhen, Verlust der Biodiversität stoppen, Schadstoffentfrachtung der Umwelt und Arbeitsplätze schaffen. Die globalen Themen unserer Zeit zwingen auch die lokalen Kommunen weltweit, sich auf den Weg zu einer „nachhaltigen Kommune“ zu machen. Die Städte und Kommunen haben sich meist den 17 UN-Nachhaltigkeitszielen [203] verpflichtet. Dabei spielt die Circular Economy im SDG 12 [203] „Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren“ eine zentrale Rolle. Die Digitalisierung ist hierbei ein unterstützendes Instrument der Circular Economy. Das Konzept einer intelligenten zirkulären Kommune rückt u. a. digital unterstützte Kreislaufkonzepte inklusive Gebäudedatenmodellierung und digitale Systeme in Quartieren in den Fokus (holistischer digitaler Transformationsprozess (Smart City)). Aus technisch-ökonomischer Sicht kann die Digitalisierung helfen, Prozesse in den unterschiedlichen kommunalen Handlungsfeldern, wie Energie, Mobilität, Infrastruktur, Ver-

sorgung oder Gebäude, effizienter zu gestalten und vor allem auch integrierter zu denken. Erste Schritte können in Quartieren erprobt werden. Durch eine vorausschauende Quartiersplanung (das Quartier der kurzen Wege), unterstützt mit digitalen Quartiersystemen, kann der Wandel hin zu einem zirkulären Quartier, welches z. B. mittels regenerativer und integrierter Energiesysteme sowie intelligenter Mobilitätslösungen CO₂-neutral ist, gelingen. Ein zentrales Thema einer zirkulären Kommune sind nachhaltiges (Multifunktions-) Flächen- und Gebäudemanagement. Öffentlichkeitsarbeit zum nachhaltigen Konsum und Partizipation bei Circular-Economy-Planungen und -Projekten sollten den Prozess begleiten. Know-how und Personal müssen für die zielgerichtete Circular Economy ausgebildet und vorgehalten werden. Festgehalten werden kann, dass die Rolle der Kommune in der Circular Economy sehr vielseitig ist – die Kommunen sind Initiatoren, Koordinatoren, Umsetzer, Finanziere und Begleiter von Maßnahmen der Circular Economy. Der Einfluss der Kommunen auf die Circular Economy über ihr eingeräumtes Satzungsrecht ist längst noch nicht ausgeschöpft. Im Rahmen der Erarbeitung der Normungsroadmap wurden neben konkreten Normungsbedarfen auch die folgenden Herausforderungen und Anforderungen im Kontext der Kommunen diskutiert, für die jedoch noch kein konkreter Normungsbedarf formuliert werden konnte.

Bereits in den Planungsprozessen von Stadtquartieren sollten die Sammlung und Wiederverwendung von Wertstoffen und Produkten reflektiert werden, indem u. a. in der Planung optimierte Sammelsysteme oder Räume für Sharing/Reparatur berücksichtigt werden. Dies führt zur Erhöhung der Qualität der Reststoffzusammensetzung durch optimierte Sammelsysteme. Zudem können Reparaturservices, E-Laden, Wartung, Reinigung etc. in Mobilitätsstationen integriert werden.

Eine an vielen Stellen wiederkehrende Problematik liegt in der Qualitätssicherung des Wissens. Hierzu benötigt die Kommune digitale Werkzeuge der Bewertung. Digitale Plattformen als Informations- und Austauschplattform mit Bewertungsmatrix zu entsprechenden Inhalten helfen bei einem schnellen und umfangreichen Aufbau von Wissen und Erfahrungen. Circular Economy muss als Kriterium bei Planungsprozessen aufgenommen werden, um diese in planerischen Abwägungsprozessen zu stärken. Die Circular Economy muss bei Klimaschutz-, dem Energie- sowie den Mobilitätskonzepten und in der Regional- und Stadtplanung Eingang finden.

In regionalen Knoten können regionale Ressourcen-, Kreislauf- und Stoffstromkonzepte entwickelt werden. Neben der Ermittlung des (Sekundär-)Rohstoffbedarfs und -potenzials sowie der Abstimmung bei kreislauffähigen Unternehmensansiedlungen können im Bereich Wiederverwendung eine gemeinsame Logistik, Sammel- und Sortierinfrastruktur aufgebaut werden. Zudem sollten kommunale Leitlinien und kreislauffähige Ziele, u. a. Ressourcenminderungsziele, festgelegt werden. Kommunen müssen formelle und informelle Instrumente der Planung nutzen, um die Circular Economy zu fördern. Zusammen mit den regionalen Knoten sind diese beiden Pläne wichtig für die Umsetzung der Circular Economy in den Kommunen und Regionen.

Müllverbrennungsanlagen stellen ein großes Investment dar und sind eine wichtige kommunale Infrastrukturmaßnahme. Sollten sich die Abfallmengen in den kommenden Jahren drastisch reduzieren, sollte ein Ausstiegsszenario auf regionaler Ebene existieren, das einen kommunalen Ausgleich vorsieht und den Einsatz alternativer erneuerbarer Energien im Wärmebereich fördert. Parallel hierzu muss der Aufbau einer neuen Erfassungs- und Sammelinfrastruktur für wiederverwendbare und recycelbare Produkte sowie für Infrastrukturprojekte zur Vorbereitung zur Wiederverwendung bzw. zum stofflichen Recycling auf kommunaler und regionaler Ebene aufgebaut werden. In diesem Zusammenhang sollten Kriterien für die Ausstiegsszenarien auf regionaler Ebene entwickelt und in Normen verankert sowie regionale Kooperationen gefördert werden.

Circular Economy sollte als ein Baustein in ein nachhaltiges kommunales Beschaffungswesen integriert werden. Hierzu wäre ein Kriterienkatalog/Leitfaden zur qualitativen Bewertung der Kreislauffähigkeit sinnvoll. Auch die Ausschreibung selbst sollte in Form und Inhalt vereinheitlicht werden. Circular Economy sollte in allen kommunalen Vorhaben eine feste Größe darstellen. Für eine einheitliche Anwendung und Sicherstellung der Qualitäten müssen handelnde Personen in den Kommunen entsprechend ausgebildet sein.

Ein Instrument zur Förderung des Flächenrecyclings von ungenutzten bzw. mindergenutzten Flächen und Immobilien können digitale Flächenpässe sein. Sie schaffen Transparenz zu den Rahmendaten der Fläche und zeigen das Entwicklungspotenzial auf. Hierbei werden neben den immobilienrelevanten Informationen auch Daten mit Altlastenrelevanz etc. erfasst, sodass potenzielle Investoren schnellstmöglich auf diese Flächen zugreifen können. Bei der Neuentwicklung von Industrieparks/Gewerbegebieten sollte darauf geachtet wer-

den, dass die Reststoffe des einen Unternehmens die Grundstoffe des anderen sind. Ferner können die Reverse-Logistik und die Ab- und Wärmepotenziale abgestimmt werden.

Die bisherige Warendistribution ist zeitlich und räumlich steuerbar. Wenn zukünftig Produkte mehrere Male wiederverwendet, repariert und refurbished werden, sind weder der Zeitpunkt der Erfassung noch der Transportweg vorhersehbar und damit kalkulierbar. Es bedarf somit einer geänderten Erfassung und Sammlung gegenüber der bisherigen Abfallsammlung – der Reverse-Logistik. Da Transporte auch mit Emissionen verbunden sind, sind diese zu optimieren. Dies verdeutlicht, dass neue Sammlungskonzepte dringend benötigt werden. Dies wird nur gelingen, wenn die Stoff- und Materialströme in den kommunalen Mobilitätskonzepten Berücksichtigung finden.

Neben der Umstellung auf die Circular Economy wird die bisherige Abfallentsorgung existent sein. Dies trifft insbesondere für die Planung/Instandhaltung und den Betrieb von Infrastrukturmaßnahmen sowie für die Logistik zu. Hierbei müssen Synergien gehoben und Systemalternativen im Rahmen der kommunalen/regionalen Circular-Economy-Konzepte geprüft werden.

Baumaterialien

Das Bauwesen (inklusive Betrieb von Gebäuden) verursacht 70 % aller Flächenveränderungen, 50 % des Ressourcenverbrauchs und 40 % des Energieverbrauchs sowie der Emission von Treibhausgasen [344]. Daher ist das ressourceneffiziente Bauen unter dem ökologischen Aspekt einer Ressourceneinsparung eines der großen Schwerpunktthemen. Nachhaltige Lösungsansätze zur Verringerung des Ressourcenbedarfs, aber auch der geschlossenen Materialkreisläufe rücken damit verstärkt in den Fokus. Maßgebende Ziele sind eine Reduktion des Rohstoffeinsatzes beim Neubau, eine längere Lebens-/Nutzungsdauer, eine Verlängerung der Lebensdauer durch nachhaltige Nutzung und Ertüchtigung der bestehenden Bausubstanz sowie die Wiederverwendung der beim Umbau und Abbruch gewonnenen Bauteile und Materialien. Es besteht die Herausforderung, dass Anforderungen oder zukünftige Normen zur Stärkung der Circular Economy nur schwer in bestehende Normstrukturen integrierbar sind. Parallele Normstrukturen führen zu einem erhöhten Aufwand und mindern die Akzeptanz des Gesamtanliegens.

Die Europäische Bauproduktenverordnung EU 305/2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten berücksichtigt Circular Economy

in Anhang 1, Nr. 7 [272]. Die wesentlichen Merkmale der Nachhaltigkeit sind demnach Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit, Dauerhaftigkeit und Rezyklateinsatz. Die Normungsaufgabe kann zukünftig darin bestehen, Produkteigenschaften festzulegen, welche zum Erreichen dieser wesentlichen Merkmale beitragen. Für diese Produkteigenschaften müssen, sofern die Verordnung maßgeblich ist, Prüfkriterien sowie die Ausweisung in Stufen und Klassen nach Artikel 27 per delegiertem Rechtsakt nach Artikel 60 festgelegt werden. Diese Kriterien sind in den jeweiligen Produktnormen zukünftig festzuschreiben. Diese Normungsaufgabe wurde für das wesentliche Merkmal der Nachhaltigkeit bislang noch nicht beschritten. Es besteht also ein immenser Normungsbedarf mit Blick auf zirkuläre Produkte, da sämtliche harmonisierte Spezifikationen betroffen sein könnten. Dabei bietet jede Produktnorm eigene Möglichkeiten und Grenzen, welche nicht zuletzt auch durch die weiteren Produkteigenschaften, welche zur Erfüllung der wesentlichen Merkmale nach Anhang Nr. 1–6 der EU 305/2011 beitragen, bestimmt sind. Das sind mechanische Festigkeit und Standsicherheit, Brandsicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz, Barrierefreiheit und Nutzungssicherheit, Schallschutz und schließlich Wärmeschutz. Die Herausforderung besteht in der Festlegung von für den Anwendungszweck aussagekräftigen Produkteigenschaften mit dazugehörigen standardisierten Prüfverfahren und Bewertungsstufen.

Gebäude

Im Sinne einer ressourceneffizienten und zirkulären Immobilienwirtschaft sind Thematiken wie die Wiederverwendung der Gebäudesubstanz von hoher Priorität. Die voranschreitende Verknappung für die Baubranche wichtiger Ressourcen wie Kies, Sand, Holz, aber auch Flächen unterstreicht die Relevanz der Wiederverwendung überdies. Die praktische Umsetzung flächendeckender Wiederverwendung innerhalb der Baubranche scheitert an nicht regulierten Vorgaben und den daraus entstehenden Herausforderungen bei der Informationsgenerierung. Als Hilfswerkzeug zur Erfassung und Sammlung von Informationen über den Gebäudebestand bzw. das einzelne Gebäude in seiner Bestandsform kann der Gebäudepass genannt werden. Der Grundgedanke des Gebäudepasses ist die Sammlung und Bündelung aller relevanten Informationen über das Gebäude und seine Komponenten. Diese Informationen können zu einem späteren Zeitpunkt, beispielsweise zum Ende des Lebenszyklus, genutzt werden, um einzelne Materialien, Komponenten oder Bauteile bzw. das Gebäude als solches weiterzuverwenden und -verwerten und somit im Kreislauf zu behalten. Um in

Zukunft nachhaltiger zu bauen, reicht es nicht, ausschließlich effizient mit Ressourcen umzugehen und neue Gebäude nachhaltiger zu planen. Vielmehr muss der Neubau zur Ausnahme werden und intensiver im Bestand gearbeitet werden. Dieser muss energetisch saniert, weiter- bzw. umgenutzt werden. Für den Neubau können bestehende Gebäude, die nicht mehr weitergenutzt werden können, das Rohstofflager der Zukunft bilden. Durch die Kreislaufführung von Bauteilen und Materialien steigt die Ressourceneffizienz und der Einsatz grauer Energie wird gesenkt.

Methoden und Tools

Methoden und Tools zur Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden, Bauteilen und Baumaterialien sind die Voraussetzung für die politisch gewollte Umsetzung der Circular Economy im Bauwesen. Sie müssen einheitlich und standardisiert sein. Die Tools müssen im Planungsprozess gut einsetzbar sein, um belastbare und vergleichbare Ergebnisse zu liefern. Sie müssen über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks anwendbar sein. Weiterhin sollten die Methoden und digitalen Tools möglichst kostengünstig und barrierearm für alle Beteiligten der Wertschöpfungskette Bau zugänglich sein und das einfache Bauen fördern und zur Unterstützung der Planung dienen. Die Zugänglichkeit und der Austausch von Informationen zu Materialien sind eine Grundvoraussetzung, um die Circular Economy im Bauwesen umzusetzen. Die zu standardisierenden Methoden und Tools konzentrieren sich zunächst auf die Materialien und Konstruktionen für Gebäude. Neben diesen Aspekten sollten in Zukunft bestehende Tools ergänzt oder weiter entwickelt werden, zum Beispiel zur Bewertung der Zirkularität von Fläche, Wasser und Energie. Zudem fokussieren sich die Betrachtungen im Rahmen dieser Normungsroadmap aufgrund der Unterschiedlichkeit des Bestandes zunächst auf die Normung und Standardisierung von Methoden und Tools für den Neubau bzw. Ergänzungen im Bestand. Diese müssen auch bei Arbeiten im Bestand erweitert werden. Bei der weiteren Betrachtung des Themas sollte die ISO 20887:2020 [273] berücksichtigt und insbesondere Hilfestellung zur Umsetzung der darin genannten Entwurfsprinzipien erarbeitet werden.

2.7.3 Normungs- und Standardisierungsbedarfe

Einige Normungsbedarfe lassen sich mehreren R-Strategien zuordnen. Bedarfe mit möglicher Mehrfachzuordnung wurden der relevantesten R-Strategie zugeordnet. Daher ist es möglich, dass einige R-Strategien nicht als eigener Abschnitt gelistet sind.

Refuse

BAUMATERIALIEN

Bedarf 7.1: Formulierung von Normen und Standards, die den Übergang vom Abfall zum Produkt (End-of-Waste) eindeutig beschreiben und/oder Mindestqualitäten im Hinblick auf Eignung und Gewährleistung sicherstellen

In Ausschreibungen sollen möglichst einfach und möglichst viele wiederverwendete Bauteile sowie qualitätsgesicherte RC-Baustoffe Berücksichtigung finden. Aktuell werden diese Bauteile oder Baustoffe durch fehlende Regularien oder zusätzlich notwendige Analysen, Testverfahren oder besondere Kenntnis beim Einbau gegenüber Standardneuprodukten benachteiligt. Die Benachteiligung von RC-Baustoffen muss abgeschafft werden. Vorrangig Satz 2 Nr. 3 § 45 KrWG [175] könnte in der Praxis deutlich besser umgesetzt werden, wenn standardisierte und verbindliche Erklärungen über diese Produkteigenschaften vorliegen würden, die sich auf harmonisierte Normen nach Verordnung EU 305/2011 unter Berücksichtigung von Anhang 1, Nr. 7 „Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen“ beziehen [272]. Die Akzeptanz von RC-Baustoffen erfordert gewissermaßen produktspezifische Bewertungsstandards, welche zudem die Regeln der Marktfähigkeit von Bauprodukten auf dem europäischen Binnenmarkt berücksichtigen.

Die Voraussetzung dafür ist der in [Tabelle 3](#) beschriebene Normungsbedarf. Die vier wesentlichen Eigenschaften nachhaltiger Bauprodukte wurden in prüfbare Eigenschaften übersetzt und jeweils einfache Stufen- und Klassensysteme vorgeschlagen. Die Vorschläge sind exemplarisch. Es besteht produktspezifischer Anpassungsbedarf und auch Ergänzungsbedarf hinsichtlich der Produkteigenschaften.

Tabelle 3: Ein Vorschlag für Produkteigenschaften, welche zur Erfüllung der wesentlichen Merkmale der nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen gemäß Verordnung (EU) 305/2011 beitragen

Wesentliche Merkmale Anhang I, Nr. 7	Produkteigenschaft	Leistung eines Bauprodukts in Stufen und Klassen, Artikel 27
Wiederverwendbarkeit	Selektive Demontierbarkeit	I. Demontierbarkeit A. einfache Demontage B. anspruchsvolle Demontage von z. B. Systemkomponenten C. schwierige Demontage von z. B. Verbundmaterialien II. Empfohlene Wiederverwendbarkeitsprüfung A. Sichtprüfung, B. teilweise Wiederholung der Prüfungen nach Norm, C. vollständige Wiederholung der Prüfungen nach Norm oder D. Wiederverwendung ausgeschlossen
Recyclingfähigkeit	Materiell Bezeichnung Verfahrensbedingt Standardrecycling-verfahren Herstellerrücknahme thermische Verwertung oder Deponierung	I. Werkstoffbezeichnung (z. B. DIN EN ISO 1043-1 [191], DIN EN 10020 [274], Holzart, Beton-Festigkeitsklasse nach Eurocode 2 [275] u. a.) II. Kreislauffähigkeit A. Standardrecyclingverfahren B. Herstellerrücknahme C. Beseitigung oder Deponierung
Rezyklatanteil	Massebilanz in %	A. 80–100 % B. 30–80 % C. 0–30 %
Dauerhaftigkeit	Sehr dauerhaft Dauerhaft Wenig dauerhaft	z. B. für Bauteile des Rohbaus A. > 50 Jahre B. 20–50 Jahre C. < 20 Jahre

Ein weiteres Hemmnis fällt, wenn anerkannte Prüfkriterien für die Bevorzugung von wiederverwendeten Bauteilen oder RC-Baustoffen nach § 45 KrWG vorhanden sind und die unter § 45 Abs. 2, Satz 1–4 genannten Kriterien vergleichend bewertet werden können. Auch diese Voraussetzung ist durch die Erklärung über Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit, Rezyklateinsatz und Dauerhaftigkeit in Stufen und Klassen möglich. Im Grunde geht die Differenziertheit der Produktanforderungen in § 45 Kreislaufwirtschaftsgesetz noch deutlich über die Forderungen der Verordnung (EU) 305/2011, Anhang 1, Nr. 7 hinaus [176], [272]. Der in Tabelle 3 skizzierte Normungsbedarf wird durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz bekräftigt.

Das Schließen von Materialkreisläufen erfordert beispielsweise:

- Produktnormen als Markteintrittsbarriere, die Auskunft über Dauerhaftigkeit, Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit, Umweltverträglichkeit und Rezyklateinsatz geben
- Prüfnormen, die eine Einstufung/Qualifizierung für die Wiederverwendung von Bauteilen oder Bauteilkomponenten ermöglichen
- Materialspezifische Rezyklatnormen, mit welchen der verfahrenstechnische Aufbereitungsprozess vorgegeben und der Aufbereitungserfolg prüfbar ist. Rezyklatnormen beinhalten Prüfverfahren und Qualitätskriterien

für Werkstoffe, die ein Recyclingverfahren durchlaufen haben. Diese Art von Normen sieht Verordnung (EU) 305/2011 nicht vor.

Bedarf 7.2: Erweiterung von Normen um den Rückbau

Der Bestandserhalt ist – im Sinne der Ressourceneffizienz – dem Neubau grundsätzlich vorzuziehen. Bauwerke, die zukünftig errichtet werden, stellen mit flexiblen Grundrissen entworfen und konstruiert sicher, dass sie über viele Jahrzehnte unterschiedlichen Nutzungen Raum bieten können. Im Sinne der Kreislauffähigkeit bedarf es also einer Abkehr von monofunktionalen Grundrissen und Bauten. Der Abbruch mit anschließendem Neubau von Bauwerken ist zu vermeiden. Ausnahmen sollten nur auf der Basis nicht nachweisbarer Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit (beispielsweise Brandschutz, Schallschutz, Schwingungen) erfolgen. Die Nachweispflicht setzt aber eine Genehmigungspflicht bei Abbrucharbeiten voraus, d. h. Abkehr von der Kenntnissgabe in den Landesbauordnungen. Ein alternativer Rückbau muss außerdem durch eine Nachhaltigkeitsbewertung gerechtfertigt werden, indem dabei die Vermeidung von CO₂-Emissionen, der Ressourcenerhalt, der Ressourcenverbrauch durch Neubau/Umbau/Ausbau sowie die Wirtschaftlichkeit gleichwertig jeweils zu z. B. 1/4 in die Bewertung eingehen. Zudem ist die Qualifizierung/Ausbildung für Architekt*innen und Ingenieur*innen auf den Bestandserhalt auszubauen. Normungsbedarf besteht in der Erweiterung bestehender Normen um die beschriebenen Anforderungen sowie konkret darin, die Nachweisführung sowie Prüfverfahren zu standardisieren.

Bedarf 7.3: Anforderungen an Bauelementkataloge nach einheitlichem Gliederungssystem

Die Bewertung von Bauwerken lässt sich standardisieren, wenn einheitliche Gliederungssysteme und Bauteilkataloge(-listen) zur Verfügung gestellt werden. Eine beispielhafte Gliederung ist in [Abbildung 34](#) aufgeführt. Die Ebenen sind nachfolgend beschrieben.

Normungsbedarf besteht in der Definition und Beschreibung dieser fünf Ebenen, die nachfolgend beschreiben sind.

- Die Gebäudeebene: Die Nutzungsneutralität ermöglicht Flexibilität sowie Anpassungsfähigkeit und Veränderbarkeit, sie bedeutet damit Langlebigkeit der Grundrissstruktur. Umnutzungs- und Aufstockungspotenziale im Bestand bedeuten Ressourcenerhalt sowie Einsparungen grauer Emissionen.
- Die Bauteilebene (z. B. Außenwand, Geschossdecke, Innenwand etc.): Sie besteht aus geschichteten Bauelementgruppen. Der zerstörungsfreie Rück-, bzw. Ausbau des gesamten (standardisierten) Bauteils garantiert die Wiederverwendung an anderer Stelle, in anderen Bauwerken.
- Die Bauelementebene (z. B. Tragelement/Konstruktionsschicht, Fenster, Türe, Sonnenschutzelement etc.): Die Bauelemente bestehen aus Baukomponenten. Die standardisierte Elementierung gliedert systematisch das Bauteil und steigert die Wiederverwendbarkeit. Die Ausbaufähigkeit auf der Bauteilebene erlaubt in Abhängigkeit der tektonisch lösbaren Elementgruppen (z. B. außen- und raumseitige Bekleidung) die Anpassung an Austauschzyklen.

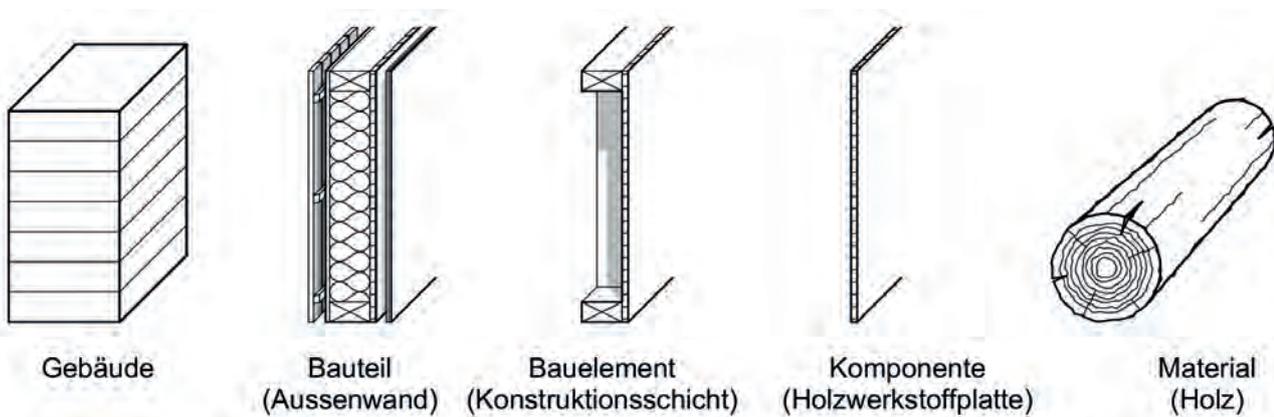


Abbildung 34: Die verschiedenen Ebenen der Kreislauffähigkeit von Bauwerken, hier am Beispiel Holzbau (Quelle: Graf, J., Birk, S., Poteschkin, V., & Braun, Y. (2022) [276])

- Die Baukomponentenebene (z. B. Rähm, Schwelle, Holzwerkstoffplatte, Verbindungsmittel, Elektrodose etc.): Standardisierung, Sortenreinheit, reversible Verbindungen und Schadstofffreiheit garantieren die Rückbaubarkeit aus der Bauelementebene und die anschließende Wieder- und Weiterverwendung der Komponenten. Die zerstörungsfreie Rückbaubarkeit (Reversibilität) wird durch formschlüssige Verbindungen erreicht.
- Die Materialebene (z. B. Holz, Lehm, Beton, Stahl, Fasern etc.)

Damit können bauwerksbezogene, standardisierte und zuverlässige Bewertungen zur Dauerhaftigkeit, zur Instandhaltung, zur Wartung, zur Rückbaubarkeit, zur Recyclingfähigkeit sowie zum Ressourcen- und Energieverbrauch (einschließlich grauer Energie) durchgeführt werden.

Bedarf 7.4: Anpassung bestehender Normen im Kontext der Nutzungsflexibilität und Langlebigkeit

Nachhaltiges Bauen bestimmt unsere Zukunft, weil es klimaschonend ist, den Ressourcenverbrauch reduziert und Abfall vermeidet. Ressourcen sind in biologische und technische Kreisläufe einzubinden. Das lineare Wirtschaften muss der Circular Economy weichen. Das Bauwesen ist der Abfallvermeidung, der Treibhausgasemissionsvermeidung sowie dem Ressourcenerhalt verpflichtet. Bauwerke sind daher auf Nutzungsflexibilität und damit für eine lange Nutzungsdauer (> 100 Jahre oder mehr, anstatt wie bisher für 50 Jahre) zu planen und in Entwurf und Konstruktion nachzuweisen. Neubauten sollten nur genehmigt werden, wenn der Nachweis der Notwendigkeit erfüllt ist.

Die aktuelle Ökobilanzierung von Gebäuden ist auf das lineare Wirtschaften ausgelegt (Rohstoffgewinnung/Produkt-erstellung/Errichtung Bauwerk/Nutzung/Entsorgung/Verbrennung (am Beispiel Holz)). Das sollte sich basierend auf VDI 2243 [277] unter Berücksichtigung des Stoffkreislaufes ändern – Wiederverwendung, Weiterverwendung, Wiederverwertung, Weiterverwertung. Die Norm DIN EN 15978:2012-10 [283] sollte auf das zirkuläre Wirtschaften hin angepasst werden. CO₂-Emissionen sind mit den Ressourcenverbräuchen in einer Nachhaltigkeitsbewertung zu koppeln und dafür sind Grenzwerte festzulegen, um CO₂-intensive Recyclingverfahren zu vermeiden.

GEBÄUDE

Bedarf 7.5: Anforderungen an einen Gebäudepass

Gebäude sind sehr komplex und werden aus einer Vielzahl unterschiedlichster Produkte als Ganzes zusammengesetzt und betrieben. Dabei verbleiben die Rohbauteile meist über den gesamten Lebenszyklus und werden bestenfalls partiell ergänzt oder ausgetauscht. Im Unterschied dazu werden die Bauteile des baulichen und technischen Ausbaus mehrfach, je nach Lebensdauer ausgetauscht und ersetzt. Deshalb ist die Erstellung eines Gebäudepasses bzw. eines Gebäudezeugnisses mit einer Vielzahl offener Fragestellungen verbunden, welche durch die nationale und europäische Normung nicht gedeckt sind. Zum aktuellen Zeitpunkt gibt es kein einheitliches Vorgehen zum Umgang mit einem Gebäudepass. Die Unsicherheiten in Bezug auf den Gebäudepass beginnen bereits in der Begriffsdefinition und damit einhergehend mit dem Verständnis, was der Gebäudepass ist, welcher Stellenwert diesem innerhalb der Baubranche beizumessen ist, welche konkreten Ziele die Einführung eines (verpflichtenden) Gebäudepasses verfolgt und wie ein Gebäudepass infolge der vorangehenden, offenen Fragestellungen zu erstellen ist. Auch die inhaltliche Ausgestaltung, die Bewertungsmethodik sowie die Anforderungen an die Informationsbeschaffung sind weitgehend undefiniert. Ohne eine einheitliche Regulierung der offenen Fragestellungen zum Gebäudepass ist eine flächige und effiziente Etablierung dieses Hilfswerkzeuges kaum möglich.

Die Anforderungen an den Gebäudepass entsprechen in wesentlichen Punkten den Anforderungen an den Digitalen Produktpass (DPP). Der Gebäudepass soll den Eigentümer*innen, den Nutzenden, den Planenden und Handwerker*innen in der Bauphase, während der Nutzungsphase und am Ende der Nutzung Aufschluss geben über die Art und Menge der verbauten Produkte, über die Art und den Umfang deren Nutzung, Art und Umfang des Ressourcen- und Energieverbrauchs bei der Herstellung und bei der Nutzung, einschließlich der Informationen zur Verwendung und Verwertung der jeweiligen Produkte und Stoffe (Zirkularität, Kreislauf-fähigkeit) am Ende derer Lebensdauern. Dabei beinhaltet ein Gebäudepass die Sammlung aller Digitalen Produktpässe der am Gebäude verwendeten Baustoffe und Anlagenteile, ergänzt um die durch die Nutzenden vorgenommenen nutzungsbedingten Veränderungen einschließlich möglicher Schadstoffeinträge.

Ein besonderes Augenmerk bei der Erstellung von Gebäude-pässen sollte auf der Unterscheidung der Herausforderungen

für den Neubau und den Bestand liegen. Während beim Neubau mit der Lieferung der Produkte an die Baustelle eine lückenlose Dokumentation möglich ist, kann im Bestand nur im Rahmen der Bestandsaufnahme bei Sanierung und Modernisierung ein Gebäudepass erstellt und um die neu hinzugefügten Produkte ergänzt werden.

Im Rahmen der Normung sollte in erster Instanz eine generelle Begriffsdefinition des Gebäudepasses und dessen Inhalte erfolgen. Der Gebäudematerialpass, der Gebäuderessourcenpass und andere sind beispielsweise integraler Bestandteil der Produktpässe und damit des Gebäudepasses.

Mittelfristig sollten die standardisierten Methoden und Tools für die Bewertung von Digitalen Gebäuderessourcenpässen (GRP) zur Verfügung stellen. Dabei müssen im Rahmen der Normung insbesondere der Inhalt des Gebäudepasses, die Definition von Parametern zur Bewertung von Zirkularität sowie der modulare Umfang der Betrachtung sowohl zeitlich als auch räumlich (zeitlich beispielsweise im Sinne der Phasen des Lebenszyklus nach DIN EN 15804:2022, Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte [284] und räumlich physisches Gebäudemodell) festgelegt werden.

Bedarf 7.6: Kreislauffähige Konstruktion (Modularität, Adaptivität und Low-Tech-Strategie)

Im Zuge der Digitalisierung und mit technologischem Fortschritt erweitern sich die Möglichkeiten zur Steuerung und Überwachung von Gebäuden und ihren Zuständen stetig. Dies birgt einerseits viel Potenzial zur Reduktion von Energieverbräuchen in der Nutzungsphase der Gebäude, setzt allerdings häufig ein gewisses Verständnis und die Bereitschaft eines angepassten Nutzungsverhaltens voraus (beispielsweise Fensterlüftung) und kann bei Fehlverhalten schlimmstenfalls zu einem erhöhten Energieverbrauch führen. Zudem werden auch für die eingebaute Technik Ressourcen benötigt, sodass eine Abwägung erfolgen muss, wann dieser zusätzliche Rohstoffaufwand durch erhöhten Effizienzgewinn in der Nutzungsphase gerechtfertigt ist. Mit zunehmender Komplexität der Gebäudetechnik sind Wechselwirkungen außerdem teilweise schwer vorherzusehen. Um Gebäude möglichst lange nutzbar zu halten, müssen die Behaglichkeitsanforderungen der Nutzenden berücksichtigt werden, ohne sie gleichzeitig mit erhöhtem Aufwand zu überfordern oder mit individuell schwer umsetzbarem erforderlichen Nutzungsverhalten zu konfrontieren. Der Einsatz von Aktoren und Sensoren kann in adaptiven Gebäuden zu Ressourceneinsparungen führen, wenn die Tragkonstruktion dadurch mit weniger

Material auskommt (beispielsweise Schwingungstilger gegen Wind/Erdbeben). Eine Abwägung von Ressourcenaufwand für die Aktorik/Sensorik gegenüber der Ressourceneinsparung in der schlankeren Konstruktion ist vorzunehmen.

Die modulare Bauweise hat viel Potenzial für die effektive Circular Economy durch Wiederverwendung bzw. Umnutzung der einzelnen Module in anderen oder demselben Gebäude. Dazu besteht jedoch noch enormer Forschungsbedarf, aus dem sich langfristig ein Normungsbedarf entwickeln kann. Hier sind insbesondere folgende Aspekte für die Normung geeignet.

- Leitlinie für Behaglichkeitsanforderungen sowie die Aktualisierung und Verankerung der Kriterien, z. B. im Informationsportal Nachhaltiges Bauen des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) [278]
- Leitlinien zur Ermittlung des wirklichen Baubedarfs (Funktions- und Nutzungsanforderungen), zur Dokumentation und Transparenz der Entscheidungen in der Planungsphase sowie Empfehlungen zum Umgang mit Zielkonflikten (zum Beispiel in Form einer Entscheidungs-/Bewertungsmatrix)
- Bewertung der Komplexitätsanforderungen eines Gebäudes sowie Leitfaden, in welchen Fällen welche Technologien/komplexen Bauweisen angewendet werden können.
- Leitlinie für die Zumutbarkeit verschiedener Technologien für verschiedene Nutzungsgruppen sowie Festlegung von Anforderungen an tolerantes Verhalten des Gebäudes gegenüber Fehlbedienung und Mängeln
- Beschreibung der Berechnung und Bewertung der Nutzungskosten eines Gebäudes im Rahmen der Abwägung Lowtech/Hightech, um den Funktions- und Werterhalt sicherzustellen

Rethink

KOMMUNEN

Bedarf 7.7: Standardisierte Planungs-, Berechnungs- und Bewertungstools für Kommunen und Regionen bei der Transformation zu einer Circular Economy

Die bedeutendste Herausforderung der Kommunen wird der Wandel von der kommunalen Abfallwirtschaft in eine Produkt-Circular-Economy sein. Hierbei strebt das EU-Parlament an, dass Europa bis 2050 abfallfrei ist und alle Produkte wiederverwendbar, reparaturfreundlich, recyclingfähig und

schadstofffrei sind [2]. Da die Circular Economy auf eine kreislauffähige Infrastruktur angewiesen ist, handelt es sich hierbei weiterhin in vielen Fällen um eine Daseinsvorsorge der Kommunen. Bisher herrscht in den Kommunen Unsicherheit, wie die Transformation zu einer zirkulären Wertschöpfung aussehen soll und welche Aufgaben zu leisten sind. Orientierung kann hier die kommunale Wärmeplanung sein, die derzeit vom Bundesgesetzgeber gesetzlich verankert werden soll [286].

Unterstützt werden könnte dieser Prozess durch einen Leitfaden, in dem die standardisierten Planungs-, Berechnungs- und Bewertungstools münden können. Dieser Leitfaden sollte alle Aspekte der Circular Economy berücksichtigen, u. a. die strategische Raumplanung und Flächenkreislaufwirtschaft, Infrastrukturmaßnahmen zur Wiederverwendung und Reparierbarkeit, Steuerung der mengenbedeutendsten Energie-, Stoff- und Produktströme, z. B. in der Bauwirtschaft, sowie Möglichkeiten der kommunalen Circular Economy. In diesem Leitfaden würde aufgezeigt, wie Circular-Economy-Potenziale in den Kommunen zu identifizieren sind, wie Netzwerke auf- bzw. ausgebaut und wie die kommunalen/regionalen Mitwirkenden in der Verwaltung, Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft eingebunden werden, welche Ziele gesetzt und Maßnahmen abgeleitet sowie die relevanten Mitarbeitenden qualifiziert werden können. Die Kommunen und Regionen ermitteln eigenständig ihre Rohstoffpotenziale, aber auch ihre Sekundärrohstoffbedarfe, verankern die Circular Economy in bestehende Konzepte und Pläne und bauen die notwendige Infrastruktur und Netzwerke hierzu auf.

GEBÄUDE

Bedarf 7.8: Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien für adaptive Gebäudestrukturen

Da für die Errichtung von Gebäuden viele Ressourcen benötigt werden, ist es umso wichtiger, die Gebäude so lange wie möglich in der Nutzungsphase zu halten. Neben Alterung, die durch die Nutzung selbst und durch Umwelteinflüsse hervorgerufen wird, sind auch veränderte Bedürfnisse der Nutzenden, z. B. durch die Verfügbarkeit neuer Technologien oder neue gesetzliche Vorgaben, Gründe, die ein Gebäude unattraktiv machen. Aktuell sind Umbau- und Sanierungsmaßnahmen häufig sehr teuer, sodass diese einerseits lange hinausgezögert werden und damit die Problemlage weiter verschärfen und andererseits durch Investoren realisiert werden, die die Bausubstanz auf eine Art umnutzen, die mit möglichst wenig Kosteneinsatz möglichst viel Einnahmen erzielt.

Im Rahmen von Normungsaktivitäten sollte in Anforderungen an Neubauten unterschieden werden, damit diese künftig länger genutzt und einfacher umgebaut und weitergenutzt werden können, bevor eine Kernsanierung oder gar Rückbau notwendig ist. Daneben braucht es Leitlinien für die Umnutzung und Sanierung bestehender Gebäude. Da seit Jahren ein Aufwärtstrend in der Flächenbeanspruchung pro Person zu beobachten ist, der den Ressourcenverbrauch zusätzlich ankurbelt, sind auch Empfehlungen für eine flächeneffiziente Bauweise für verschiedene Nutzungsbedarfe erforderlich.

Sinnvoll ist in diesem Zusammenhang die Erstellung von Leitlinien zur Entwicklung von Grundriss- und Gebäudestrukturen, die auch veränderten Funktionsanforderungen gerecht werden können. Dazu sollten verschiedene Nutzungsklassen festgelegt werden (siehe z. B. die BNB-Kriterien [279]), die den Rahmen vorgeben für allgemeine Funktionsanforderungen und deren Flexibilität. Anhand dieser Klasseneinteilung wäre es auch denkbar, für die Nachnutzung vorrangig Nutzungsszenarien derselben Klasse zu empfehlen oder sogar vorzugeben. Zum Beispiel wäre die Ergänzung von Belastungen entsprechend DIN EN 1991-1-1 [280] sinnvoll, womit das Tragwerk für die entsprechende Nutzung ausgelegt ist. In diesem Kontext wären auch Kriterien für das Umfeld des Gebäudes für die einzelnen Klassen festzulegen, sodass der Standort und die Infrastruktur (Erreichbarkeit nutzungsrelevanter Einrichtungen) für dieselbe Nutzungsklasse auch nach Jahrzehnten noch angemessen sind.

In diesem Zusammenhang sollten auch Kriterien für die Flexibilität von Gebäudestrukturen sowie die Trennbarkeit von Innenräumen für die Nachnutzung festgelegt werden. Auch sind Empfehlungen zu Grundrissstrukturen zu formulieren, die auch eine Umnutzung in anderen Nutzungsklassen ermöglichen mit der Empfehlung, diese Anforderungen vor allem bei diesen spezifischen Gebäuden zu berücksichtigen. Zu konkretisieren sind auch die Festlegung von Anforderungen an die Gebäudehülle, um eine zukünftige Gebäudeerweiterung einfach und z. B. unter Wiederverwendung der Außenwände durchführen zu können, sowie die Festlegung eines Flexibilitätsniveaus, das je nach Gebäudeklasse eingehalten werden sollte.

METHODEN UND TOOLS

Bedarf 7.9: Übergeordnete Begriffe definieren, fehlende Begriffe ergänzen und bereits in der Normung verwendete Begriffe harmonisieren

In der Normung existieren bereits viele Begrifflichkeiten zum Thema Zirkularität, die oft synonym, teilweise irreführend verwendet werden und unscharf abgegrenzt sind. Als Beispiel sind die Begriffe Wiederverwendung, Recycling und recycled Content zu nennen. Ziel der Begriffsdefinition muss sein, dass ein einheitlicher Sprachgebrauch zur Etablierung einer Circular Economy führt, in der Materialien hochwertig in geschlossenen Kreisläufen zirkulieren. Dies erfordert auch die Neudefinition von Begriffen und eine Abgrenzung von Begriffen wie zum Beispiel Recycling und Downcycling. Im Hinblick auf die Definition von Werkstoffgruppen sollten die Beschreibung und Abbildung der Materialien eine möglichst breite Anwendung und Verarbeitung ermöglichen und nicht auf einzelne Bereiche ausgelegt sein. Dazu ist eine möglichst neutrale und klare Struktur der Werkstoffgruppen und -arten in einem Bezeichnungssystem sinnvoll.

Bedarf 7.10: Harmonisierung bestehender Methoden und Tools

Für die Bewertung von Zirkularität (Kreislauffähigkeit) liegt derzeit noch kein Standard vor. Es existieren verschiedene Methoden, die auf verschiedenen Ebenen (Gebäude-, Bauteil-, Bauprodukt- und Materialebene) und mit unterschiedlichen Indikatoren die Zirkularität bewerten. Eine einheitliche/standardisierte Bewertung von Zirkularität/Kreislauffähigkeit auf Gebäude-, Bauteil-, Bauprodukt- und Materialebene sowie der Technischen Gebäudeausrüstung ist dringend notwendig – auch mit Bezug auf die Darstellung von Zirkularitätsbewertungen in digitalen Gebäuderessourcenpässen.

Für die Bewertung der Aspekte existieren derzeit verschiedene Methoden, um auf Gebäude-, Bauteil-, Bauprodukt- und Materialebene die Zirkularität bewerten zu können. Auch hier existiert noch kein Standard und damit ein großer Normungsbedarf, um eine abgestimmte Bewertung für Zirkularität im Bauwesen zu schaffen. Grundsätzlich zu formulierende allgemeine Anforderungen an Methoden und Tools zur Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden sind insbesondere die Ein-/Ausgabemöglichkeit für Building Information Modeling (BIM)-lose Projekte und Schnittstelle zu BIM (IFC-Standard nach ISO 16739-1:2018 [281]), die standardisierte Beschreibung der Bauteile und Materialien (z. B. unter Nutzung von BIM-Standards buildingSMART [282]) sowie eine Bewertungsmethode der Qualität der Eingangsdaten.

Bedarf 7.11: Klärung der Schnittstellen zur Gebäudeökobilanzierung sowie Anpassungen der DIN EN 15804

Da die Ökobilanz nur bedingt geeignet ist, um auch Aspekte der Zirkularität zu bewerten, bedarf es weiterer Bewertungsmethoden. Beispielsweise werden Einbau-, Montage- bzw. Verbundsituationen nicht durch die Ökobilanz erfasst bzw. berücksichtigt. Diese sind jedoch entscheidend für die Rückbaubarkeit und die Zuordnung von korrekt möglichen End-of-Life(EoL)-Szenarien innerhalb der Gebäudeökobilanz gemäß DIN EN 15978 [283] sowie DIN EN 15804 [284]. Das heißt, eine parallele Zirkularitätsbewertung kann helfen, eine Ökobilanzierung für Gebäude im End-of-Life (Modul C und D [284]) zu präzisieren. Dazu müssen in der DIN EN 15804 [284] jedoch auch entsprechende Szenarien bereitgestellt werden. Beispielsweise existiert kein Szenario für das Modul D, das eine Wiederverwendung eines Bauprodukts oder Materials abbildet. Es existieren bislang i. d. R. nur Szenarien zur stofflichen oder thermischen Verwertung. Die Wiederverwendung fließt nicht ein. Somit könnten die Vorteile eines Bauprodukts, das man wiederverwenden könnte, nicht in einem produktspezifischen Ökobilanzdatensatz (EPD) [284] bzw. generischen Ökobilanzdatensatz gemäß EN 15804 [284] sowie auch folglich in einer Gebäudeökobilanz korrekt abgebildet werden.

Reuse

GEBÄUDE

Bedarf 7.12: Überprüfung normativer Rahmenbedingungen/Regelungen

In der Planung ist es rechtlich und finanziell günstiger, neue, gut definierte Materialien mit Herstellergarantie einzusetzen. Die Wiederverwendung wird durch Fachvorgaben und Richtlinien behindert. Bauteile mit besonderen Anforderungen werden anhand von Normen und Standards über das Haftungsrecht geregelt. Die Bauproduktenverordnung ist maßgeblich für geregelte Bauprodukte. Bereits verwendete Bauprodukte sind „nicht geregelte Bauprodukte“ [272]. Sie müssen durch Zertifizierung oder Prüfung wieder den Status eines geregelten Bauteils erlangen, um eingebaut werden zu dürfen. So müssen z. B. Ziegelsteine im Prozess des Wiedereinbringens eine Zulassung im Einzelfall durchlaufen, Leuchten hingegen eine erneute CE- oder VDE-Prüfung erfahren, um Sicherheitsanforderungen, Schutzklassen und Standards zu genügen. Die Zweitnutzung erfordert also die erneute Prüfung nach aktuellen Vorschriften. Sekundärrohstoffe werden nur verwertet, wenn jemand die Verantwortung für

die erforderlichen Eigenschaften und Qualitäten übernimmt. Die Durchführung z. B. einer Zustimmung im Einzelfall zur Gewährleistung von Eigenschaften und Qualitäten sprengt zeitliche und finanzielle Rahmenbedingungen.

Es ist zu klären, ob, welche und unter welchen Bedingungen geregelte Bauprodukte ohne erneute Prüfung als geregeltes Bauprodukt neu eingebaut werden dürfen. Durch klare Kriterienkataloge ist eine Bewertungsgrundlage zu schaffen, die effizientes und wirtschaftliches Wiederverwenden begünstigt. Es sind rechtliche, strukturelle und normative Rahmenbedingungen zu schaffen, die die Kosten für eine Bestimmung und Gewährleistung von Eigenschaften und Qualitäten auf ein vertretbares Maß reduzieren. Bestehende Normen sind hinsichtlich möglicher Ausschlüsse bei der Wiederverwendung von gebrauchten Produkten zu überprüfen und anzupassen.

Refurbish

GEBÄUDE

Bedarf 7.13: Datenerfassung vor Ort

Die Grundlage zur Bewertung der Kreislauffähigkeit von Baustoffen im Bestandsbau ist eine umfassende Datenerfassung vor Ort. Alle Materialien sollten dabei präzise vermessen, gezählt, nach allen augenscheinlichen Eigenschaften beschrieben sowie fotografiert und mittels Produkt- und Herstellerangaben ergänzt werden, welche dann im Gebäuderessourcenpass hinterlegt werden. Die Bewertung der vorhandenen Substanz hinsichtlich Strukturerehalt (z. B. Betontragwerk), Materialerhalt/-wiederverwendung sind dabei insbesondere zu berücksichtigen. In Normen können Kriterien für eine anlassbezogene Datenerfassung sowie der dafür Verantwortlichen festgelegt sowie ein Leitfaden zur Erfassung und Bewertung des Bestands (Umfang, Detailtiefe, Inhalt, Vorgehensweise) erarbeitet werden.

Bedarf 7.14: Selektiver Rückbau

Ein selektiver, werterhaltender Rückbau bedeutet, dass zuvor beschriebene Bauteile und Materialien zerstörungsfrei ausgebaut werden. Sie müssen so verpackt und gelagert werden, dass sie weder beschädigt noch ihre Qualität gemindert oder ihre Eigenschaften geändert werden. Dabei ist zwischen statisch relevanten Bauteilen und Ausbauelementen zu unterscheiden.

In Normen können Kriterien zur Erstellung eines Rückbaukonzeptes für statisch relevante Bauteile und Ausbauelemente sowie Kriterien für die Weiterbildung von Rückbauunternehmen über selektiven, ressourcenschonenden Rückbau festgelegt werden sowie Konzepte zur Erfassung von nutzbaren Sekundärmaterialien vor dem Rückbau erarbeitet werden. In Bezug auf die Stilllegung und den Rückbau von erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen kann auch Bedarf 2.10 in Kapitel 2.2 betrachtet werden.

The background is a teal color with a grid pattern. It features several white wireframe cubes of varying sizes and orientations. Some cubes are partially obscured by others. Scattered throughout the scene are small white dots and lines, resembling a network or data points. Binary code (0s and 1s) is visible in several places, appearing as if it's floating or falling through the space. A dark grey rectangular box is positioned in the upper right quadrant, containing the number '3' and the text 'Querschnittsthemen'.

3

Querschnittsthemen

Die Arbeit an der Normungsroadmap hat gezeigt, dass es folgende fünf wesentliche Querschnittsthemen gibt, die keinem Schwerpunktthema allein zugeordnet werden können, sondern in einem größeren Zusammenhang erörtert werden müssen: Nachhaltigkeitsbewertung, Lebensdauererlängerung, Digitaler Produktpass (DPP), End-of-Waste (EoW) und Recyclingfähigkeit.

Hierbei ist erwähnenswert, dass die identifizierten Querschnittsthemen keine vorgegebenen Themen sind, sondern sich aus den Arbeiten und Diskussionen in den einzelnen Schwerpunktthemen erschließen. Somit kann ein Querschnittsthema als eine fokussierte Sichtweise auf die jeweiligen Schwerpunktthemen verstanden werden. Es ist jedoch nicht das Ziel, grundlegende Bedarfe im Zusammenhang mit den Querschnittsthemen aufzuzeigen, sondern lediglich eine integrierte Diskussion der jeweils identifizierten Bedarfe in den Schwerpunktthemen. Am Ende jedes einzelnen Querschnittsthemas ist eine Übersicht mit Verweisungen zu relevanten Normungsbedarfen aus den jeweiligen Schwerpunktthemen aufgeführt.

3.1 Nachhaltigkeitsbewertung

Grundlegender Aufbau von Nachhaltigkeitsbewertungssystemen

Ebenso wie der Transformationsprozess hin zu einer Circular Economy innerhalb der industriellen Produktion voranschreitet, entstehen kontinuierlich neue bzw. aktualisierte Nach-

haltigkeitsbewertungssysteme sowie die dafür maßgeblichen Standards und Normen. Parallel und oftmals zeitversetzt zur vorrangigen wissenschaftlichen (Weiter-)Entwicklung der Methoden und Tools werden durch praxisnahe Anwendung zahlreiche Daten und Informationen generiert, die sodann intern oder extern weiterverwendet und kommuniziert werden.

Nachhaltigkeitsbewertungssysteme bilden eine wichtige Grundstruktur des Informationsmanagements in einer Circular Economy. Diese Systeme bestehen im Allgemeinen aus drei generischen Elementen:

- Informationsbeschaffung – Datenbasis;
- Bewertung und Wirkungsabschätzung – Entscheidungsunterstützung;
- Aufbereitung – Steuerung/Planung, Kontrolle, externe Berichterstattung (Indikatoren).

Ein umfassendes Nachhaltigkeitsbewertungssystem wird in der Regel durch entsprechende Normen und Standards gestützt und operationalisiert. Der grundsätzliche Aufbau eines Nachhaltigkeitsbewertungssystems ist in [Abbildung 35](#) dargestellt.

Generell erfolgt die Akkumulation von Daten, die Entwicklung und Anpassung von Methoden sowie die Standardisierung der zweckgebundenen Aufbereitung als iterativer Prozess. Die Festlegung von Standards und Normen sowie Leitlinien zur Anwendung bestimmter Methoden oder Systeme ist ein unabdingbarer und befähigender Prozess dieser Entwicklung.

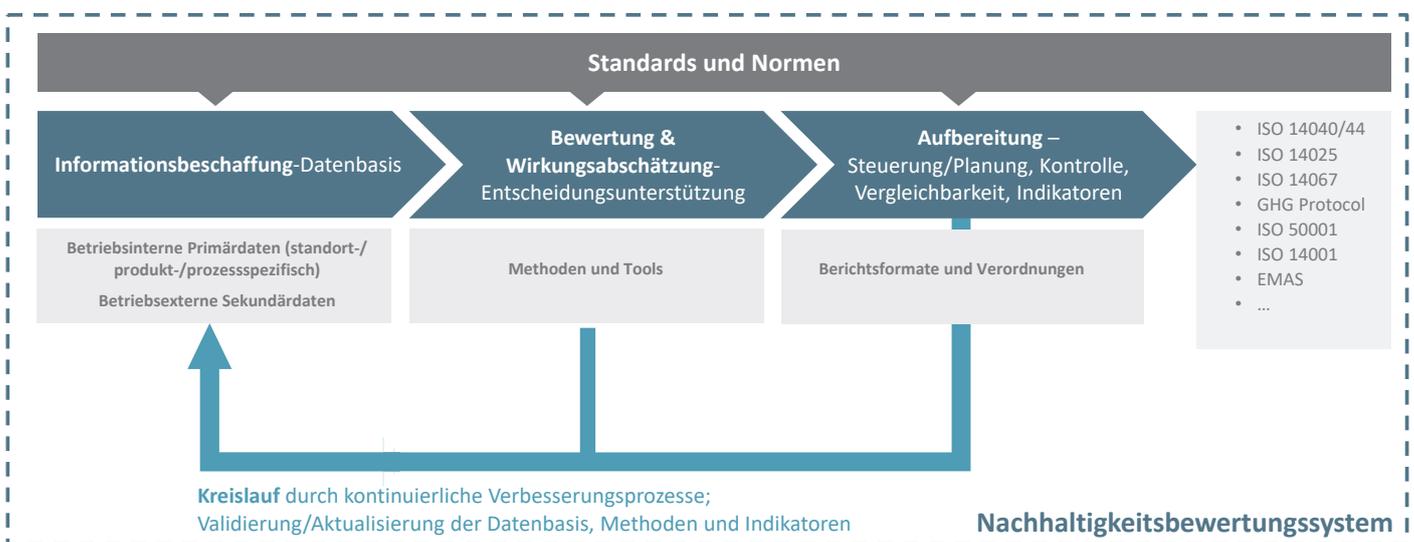


Abbildung 35: Aufbau eines Nachhaltigkeitsbewertungssystems (Quelle: DIN)

Für die Nachhaltigkeitsbewertung gibt es verschiedenste Ansätze, die häufig unabhängig voneinander und in unterschiedlichen Bereichen entstanden sind. Gleichzeitig gibt es jedoch zahlreiche Bestrebungen (v. a. in der Normung und Standardisierung), diese heterogene Landschaft von Nachhaltigkeitsbewertungssystemen sowie die zugrunde liegenden Methoden, Daten und Berichtsformate zu harmonisieren (z. B. neue EU-Standards zur Nachhaltigkeitsberichterstattung). Dadurch werden erhobene Daten und Informationen vergleichbarer und verlässlicher, was eine unabdingbare Voraussetzung für eine Circular Economy ist.

Vereinfachend kann davon ausgegangen werden, dass spezifische bzw. klar abgrenzbare Nachhaltigkeitsbewertungssysteme der in [Abbildung 35](#) dargestellten Logik folgen, ungeachtet dessen, ob diese ökologische, soziale oder ökonomische Nachhaltigkeit bewerten. Daher werden die im Rahmen der Schwerpunktthemen identifizierten Bedarfe entsprechend diskutiert. Insbesondere im Kontext der Circular Economy erscheint es weiterhin wichtig, Nachhaltigkeitsbewertungsansätze nicht nur anhand der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit zu unterscheiden, sondern auch deren jeweilige Betrachtungsgrenzen (Ebenen) zu berücksichtigen (siehe [Abbildung 36](#)).

Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit

Die Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment (LCA)) gilt als wichtigste Methode der produktbezogenen Umweltbewertung und kann als konzeptioneller Kern von diversen weiteren Methoden zur Nachhaltigkeitsbewertung angesehen werden.

Nicht zuletzt weist die Ökobilanz eine inhärente Lebenszyklusperspektive auf, die wiederum unverzichtbar ist für eine umfassende Bewertung von (zirkulären) Wirtschaftsaktivitäten. Je nach Ausprägung und Anwendung der methodischen Grundlagen kann die Ökobilanz auch ökologische Implikationen auf der Meso- oder Makroebene bewerten, die im Zusammenhang mit Produkt- und Servicesystemen stehen. Die methodischen Grundlagen und Rahmenbedingungen hierfür werden bereits im Kontext der sog. Consequential LCA⁵ [287] in der wissenschaftlichen Community diskutiert und angewandt. Insgesamt kann jedoch festgehalten werden, dass die Quantifizierung und Interpretation von potenziellen Umweltauswirkungen, die mit der Implementierung von Circular-Economy-Strategien verbunden sind, nicht oder nur unzureichend mit der gängigen Herangehensweise bei Ökobilanzen (d. h. „Attributional LCA“)⁶ [287] beschrieben werden können. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass es für die ökobilanzielle Bewertung von weitreichenden Veränderungen mit Auswirkungen auf den Markt auf der Meso- und Makroebene nur wenige methodische Anleitungen gibt. Entsprechend angepasste Standards könnten so bei der Entwicklung und Absicherung politischer Ziele und Maßnahmen, die zu den

5 Die Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment (LCA)) kann in zwei generische Modellierungsansätze unterschieden werden:
 → Attributive (engl. attributional) Ökobilanz: Zustandsbeschreibung der Umweltwirkungen, die einem durchschnittlichen Produkt zugeschrieben („attribuiert“) werden
 → Handlungskonsequenzorientierte (engl. consequential) Ökobilanz: Konsequenz aus Handlungen, die ein Produktsystem betreffen (z. B. Änderungen des Produktdesigns oder des Produktionsvolumens)

	Ökologie	Ökonomie	Soziales
Makroebene (volkswirtschaftliche Ebene)	...	z. B. Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Versorgungskritikalität	...
Mesoebene (Branchen, Technologien, Produktgruppen)	z. B. Ökologische Input-Output-Analyse	z. B. Input-Output-Analyse	z. B. Soziale Input-Output-Analyse
Mikroebene (Produktebene)	z. B. Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment (LCA))	z. B. Materialflusskostenrechnung (MFCA), Life Cycle Costing (LCC)	Social LCA

Abbildung 36: Unterscheidung Bewertungsansätze anhand der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit und jeweiligen Ebenen (Quelle: DIN)

gewünschten makroökonomischen Wirkungen führen, beitragen. Wenngleich die Grenzen zwischen den einzelnen Ebenen im Rahmen der Ökobilanz manchmal verschwimmen können, so zielen die Ökobilanz und davon abgeleitete Tools zumeist auf die Produktebene ab. Die produktbezogenen Tools der Circular Economy sind jedoch nicht als Selbstzweck zu verstehen. Das Ziel aller Maßnahmen ist eine höhere Nachhaltigkeit entsprechend den 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen (UN SDGs) [203]. Die LCA macht den Beitrag zur Nachhaltigkeit sichtbar und vergleichbar. Geht Nachhaltigkeitspotenzial beim Übergang auf die Produktebene der Circular Economy verloren oder erzeugt der Übergang zum Produkt den Bedarf an neuen Maßnahmen der Circular Economy wie der Servicegedanke, sind (globale) Bilanzierungssysteme z. B. auf Material-, Energie-, Stoff-, Finanz- oder Geschäftsmodellebene der Circular Economy vorzuziehen. Standardisierung im Rahmen der LCA sichert die Maximierung des Nachhaltigkeitspotenzials unter Einbeziehung aller Beiträge inklusive der Maßnahmen der Circular Economy.

Normen und Standards sollen im Kontext der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung in einer Circular Economy die nachfolgenden zentralen Aufgaben und Funktionen erfüllen:

1. Schaffen eines gemeinsamen Verständnisses und Orientierung für die Anwendung

Die breite Anwendung der Ökobilanz in Wissenschaft und Industrie kann als Erfolg der Standardisierung gesehen werden. Diese Entwicklung hat gleichzeitig zu einer Vielzahl von neuartigen Ausprägungen der Methode und begleitenden Standards oder konsortialen Rahmensetzungen geführt. Nicht zuletzt aufgrund dieser Entwicklungen gibt es zahlreiche Bestrebungen zur Harmonisierung der Ökobilanz-Praxis. Hierbei sind insbesondere die Initiativen der Europäischen Kommission im Rahmen der Entwicklung des Product Environmental Footprint (PEF) [166] hervorzuheben. Aufgrund der partiellen Inkonsistenzen zwischen dem PEF und den maßgebenden Normen (DIN EN ISO 14040 [80] und DIN EN ISO 14044 [81]) wird empfohlen, europäische und internationale Aktivitäten abzustimmen und die methodischen Unterschiede einzuordnen bzw. aufzulösen. Letztlich könnten Normung und Standardisierung eine geeignete Orientierungshilfe bieten und die bestehende Unsicherheit bzw. das Unwissen über die zielgerichtete Anwendung von ökobilanziellen Methoden und Tools verringern. Solch eine Orientierungshilfe ist ebenfalls für die letztliche Systematisierung und Auswahl von geeigneten Ökobilanzierungsansätzen wünschenswert. Als konkrete Beispiele ließen sich die orientierende und

prospektive (ex-ante) Ökobilanz anführen, um dadurch eine geeignete Entscheidungsunterstützung in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses zu ermöglichen.

2. Sicherstellen von vergleichbaren Informationen

Die Belastbarkeit sowie Vergleichbarkeit von Ökobilanzergebnissen wird zunehmend kritisch gesehen. Allein die Einhaltung der internationalen Standards DIN EN ISO 14040 [80] und DIN EN ISO 14044 [81] reicht hierzu nicht aus, da diese allgemeingültigen (horizontalen) Standards noch zu großen Spielraum bieten und damit für „standardkonforme“ Manipulationen anfällig sind. Demnach wird empfohlen, weitere Spielregeln für die einzelnen Elemente (siehe [Abbildung 35](#)) zu definieren:

- Mit Blick auf die Datenbeschaffung erscheinen eine erhöhte Transparenz sowie eine standardisierte Offenlegung von zugrunde liegenden Annahmen und der Datenqualität essenziell (z. B. durch aggregierbare Datenqualitätsindizes).
- Im Rahmen der Bewertung und Wirkungsabschätzung sollten einheitliche Zirkularitätsindikatoren definiert werden. Weiterhin werden klare Regelungen benötigt, wann und unter welchen Umständen eine Gewichtung und/oder Priorisierung von einzelnen Umweltwirkungskategorien erlaubt ist.
- Weiterer Standardisierungsbedarf wird zudem in der Aufbereitung von Resultaten sowie deren Kommunikation gesehen. Bei sogenannten Einzelbetrachtungen (engl. Stand-alone LCAs) wird dies bereits vielfach durch die entsprechenden Formate von Umweltproduktdeklarationen geregelt. Eine solche Regelung gibt es allerdings bisher nicht für vergleichende Studien (engl. Comparative LCA), die insbesondere im Kontext der Circular Economy zunehmende Bedeutung erlangen werden.

Zusammenfassung:

Wenngleich die Circular Economy ein makroökonomisches Leitbild ist, steht bei der Bewertung von entsprechenden Zielen und Maßnahmen (vgl. [1.6.3 R-Strategien](#)) oftmals das industrielle Erzeugnis oder Produkt im Fokus. Dies spiegelt sich auch im Kontext der Stoff- und Chemikalienpolitik, der Strategien zur Ressourcenschonung und der Ökodesign-Richtlinie im Rahmen der integrierten Produktpolitik der Europäischen Union. Diese produktzentrierte Sichtweise wird durch den Digitalen Produktpass (siehe [Kapitel 3.3](#)) zusätzlich manifestiert. Wenngleich die übergreifende Zielsetzung der Circular Economy die gesamtgesellschaftliche Ressourcenverminderung und die Pflege von Ressourcen ist, so erfordert die derzeitige Nachhaltigkeitsbewertung

vielfach eine Beurteilung auf Produktebene. Hierin zeigt sich auch ein Dilemma der Nachhaltigkeitsbewertung. Einerseits werden sehr spezifische Bewertungsansätze gefordert und benötigt, was unweigerlich zu einer erhöhten Komplexität der Ökobilanz-Praxis führt. Andererseits gibt es einen Bedarf für Bewertungsansätze, die weniger spezifisch, einfacher und damit einer größeren Interessensgruppe zugänglich sind.

Bewertung der ökonomischen Nachhaltigkeit

Für die Bewertung der ökonomischen Nachhaltigkeit gibt es mit der LCC (Life Cycle Costing) [290] und der MFCA (Materialflusskostenanalyse) [291] vergleichbare Methoden zur LCA, die der oben beschriebenen Logik der Nachhaltigkeitsbewertungssysteme folgen. Dabei ist die Datenbeschaffung allerdings noch aufwendiger, da Material- und Energieflüsse in monetäre Größen umgerechnet und weitere Kosten (wie z. B. Investment-, Lohn- und Abfallmanagementkosten) ermittelt und einbezogen werden müssen. Darüber hinaus können auch indirekte Umweltkosten, die durch den betriebsinternen Umweltschutz entstehen, Berücksichtigung finden. Die genannten Kosten können als Systemkosten zusammengefasst und durch Allokationsverfahren den Produkten, Nebenprodukten und Abfällen sowie den einzelnen Prozessschritten zugeordnet werden. Sinnvoll wäre es zudem, über den gesamten Lebensweg alle Ressourcenverbrauchskosten einzubeziehen (z. B. Kosten durch Umweltzerstörungen während des Abbaus und der Aufbereitung von Primärmaterialien). Gerade durch Letzteres könnte der Gewinn durch die Circular Economy monetär erfasst werden.

Durch die Einführung von R-Strategien sollen sich außerdem der Bedarf an Primärmaterialien und damit die wirtschaftliche Abhängigkeit der rohstoffarmen von den rohstoffreichen Ländern verringern. Dies kann über die Einbeziehung der Versorgungskritikalität in ökonomische Nachhaltigkeitsbewertungssysteme (z. B. über ein Bonussystem) erreicht werden.

Für die Aufstellung und Etablierung einer einheitlichen und umfassenden ökonomischen Nachhaltigkeitsbewertung ist noch Forschungsarbeit zu leisten (siehe auch Bedarf 5.4: Methoden für die Bewertung der Konformität der ökonomischen Nachhaltigkeit).

Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit

Die Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit gewinnt in letzter Zeit in verschiedenen Zusammenhängen immer mehr an Bedeutung. Dazu zählen die Nachhaltigkeitsberichterstattung (Corporate Sustainability Reporting, CSR) [292], die für immer mehr Unternehmen verpflichtend ist, und das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) [256]. Bei beiden sind z. B. Themen wie Arbeitssicherheit, Arbeitsbedingungen, Menschen- und Kinderrechte zu bewerten. Darüber hinaus werden auch bei der Nachhaltigkeitsbewertung von technologischen Prozessen (beispielsweise im EU-Rahmenprogramm Horizon 2020 [294]) die Bewertungen von sozialen Aspekten (wie unter anderem „Gender Dimension“) eingefordert. Es gibt hierfür noch wenige Methoden (z. B. social LCA) und keine umfassenden Methoden, sodass inter- und transdisziplinäre Forschung notwendig ist, die in der Entwicklung einer Norm münden sollte.

Ganzheitliche Bewertung von Nachhaltigkeit

Beim Thema „Nachhaltigkeit“ werden meistens die drei Dimensionen – „ökologisch“, „ökonomisch“ und „sozial“ – unterschieden. Im Rahmen von Normung ist bisher die ökologische Bewertung am besten repräsentiert, obwohl auch hier noch weiterer Normungsbedarf besteht. Ein neuer Ansatz wäre, eine Methode zu entwickeln, in der die drei genannten Dimensionen zusammen bewertet werden. Entsprechende Bedarfe wurden in den Schwerpunktthemen formuliert:

- Thema Verpackungen: Erstellung eines „Grundstandards zur Nachhaltigkeitsbewertung auf Basis des Drei-Säulen-Modells“
- Thema Textilien: Kombination mit anderen Nachhaltigkeitsaspekten (ökonomisch, sozial) sowie mit anderen Produkten
- Thema Elektrotechnik & IKT: Orientierung zum Umgang mit Zielkonflikten zw. einzelnen Parametern
- Thema Kunststoffe: Kriterien für eine einheitliche Kennzeichnung von Produkten

Darüber hinaus wird in weiteren Ansätzen eine vierte Nachhaltigkeitsdimension berücksichtigt. Diese kann je nach Perspektive „Kultur“, „Gesundheit“, „Organisation“ oder „Führung“ sein. Daneben können für eine Nachhaltigkeitsbewertung die 17 UN-SDGs [203] mit ihren Unterzielen und Indikatoren herangezogen werden. Dieser letzte Ansatz ist wahrscheinlich der umfassendste, inter- und transdisziplinärste.

Übersicht Normungsbedarfe zu „Nachhaltigkeitsbewertung“

Schwerpunktthemen	Digitalisierung/ Geschäftsmodelle Management/	Elektro- technik & IKT	Batterien	Verpackungen	Kunststoffe	Textilien	Bauwerke & Kommunen
Normungsbedarfe	1.1	2.1	3.1	4.12	5.1	6.1	7.2
	1.4	2.4	3.3	4.14	5.2	6.11	7.4
	1.6	2.12	3.6	4.15	5.3	6.12	7.8
	1.21	2.21	3.7	4.16	5.4	6.13	
	1.22	2.34	3.8	4.17	5.5	6.33	
	1.24		3.9	4.18	5.8	6.34	
	1.36		3.12	4.19	5.9	6.35	
			3.13	4.20	5.17		
		3.16	4.29				

3.2 Lebensdauererlängerung

Für die Lebensdauererlängerung von Produkten kommen verschiedene R-Strategien in Betracht. Neben den R-Strategien „Reuse“ und „Repair“, die bei allen Produkten der verschiedenen Schwerpunktthemen relevant sind, haben „Refurbish“, „Remanufacture“ oder „Repurpose“ je nach Produkt eine unterschiedliche Priorität oder spielen teilweise gar keine Rolle.

Neben der professionellen Wiederaufbereitung eines Produktes für die eigene Nutzung kommt bei der Verlängerung der Nutzungsphase auch der Aspekt zum Tragen, dass ein Besitzer*innenwechsel stattfinden kann. In Deutschland spielt der Konsum von Gebrauchsgütern heute nur in bestimmten Segmenten wie beispielsweise bei der Mobilität eine Rolle. Mittlerweile ist aber auch für verschiedene Elektronikgeräte (Smartphone, Tablets etc.) ein Gebrauchsgütermarkt entstanden. Entscheidend für die Wahl eines gebrauchten Produktes ist der (hohe) Preis der Neuware. Bei Produkten, die sowohl kostengünstig mit geringer Qualität als auch als hochpreisige Produkte mit hoher Qualität am Markt verfügbar sind, entscheiden sich Verbrauchende oftmals für die kostengünstigere Neuware. Hintergrund ist der Wunsch, sich „etwas Neues“ zu leisten. Dieses Verhalten ist insbesondere im Bereich der Mode erkennbar. Das Geschäftsmodell Fast Fashion ist darauf ausgerichtet, dass Kleidung billig hergestellt und verkauft wird, damit die Menschen oft neue Kleidung kaufen können. Das Einkaufsverhalten wird zudem stark durch das soziale Umfeld und soziale Medien beeinflusst.

Die Preissensibilität macht sich auch bei den Kunststoff-Rezyklaten bemerkbar. Grundsätzlich sind hochwertige Rezyklate gut zu verkaufen, da diese auch vielseitig für verschiedene Anwendungen einsetzbar sind, z. B. bei Rezyklaten aus PET-Flaschen oder anderen Rezyklaten aus selektiver Sammlung. Da solche Materialien teils teurer als Neuware sind, neigen einige Industriekunden auch eher zum Griff zur qualitativ mindestens gleichwertigen, kostengünstigeren Neuware.

Zur Stärkung der R-Strategien „Repair“, „Reuse“, ggf. „Repurpose“ bedarf es einer Verhaltensänderung im Konsum, zukünftig vermehrt Gebrauchsgüter zu kaufen. In diesem Zusammenhang können (neue) Geschäftsmodelle entstehen, die sich auf den Erhalt der Funktionsfähigkeit des Produktes fokussieren sowie Leasing- und Verleihmodelle (Pay-per-Use, Product-as-a-Service). Bei diesen Modellen verbleibt das Eigentum beim Verleihenden bzw. Leasinggebenden, der für den vereinbarten Zeitraum die Funktionalität und Qualität des Produktes sicherstellt.

Gemeinsame Bedarfe

In allen Schwerpunktthemen, die die Lebenszeitverlängerung von Produkten als wichtigen Beitrag zur Circular Economy identifiziert haben, wurden die nachfolgenden Bedarfe erarbeitet, wobei sich diese je nach Produkt teilweise in den Vorgaben oder Anforderungen unterscheiden. Diese Unterschiede werden bei den einzelnen Bedarfen aufgezeigt.

Designstandards für Langlebigkeit und Reparierbarkeit

Generell bestimmt eine gute Ausgangsqualität die Lebensdauer eines Produktes. Insbesondere beim Schwerpunktthema „Textilien“ wurde darauf verwiesen, dass ein Umdenken von Fast Fashion zu einer qualitativ hochwertigen Bekleidung Voraussetzung dafür ist, dass eine Wiederverwendung und der Aus- und Aufbau von neuen Geschäftsmodellen gelingen kann. Bei den Elektro- und IKT-Produkten sowie Batterien liegt der Bedarf bei der Möglichkeit, Ersatzteile bei verschleißanfälligen Komponenten zerstörungsfrei ein- bzw. ausbauen zu können. In jedem Fall stimmen alle Schwerpunktthemen überein, dass die Designphase eine große Bedeutung für die möglichst lange Produktnutzung hat. Generell bedarf es auch einer grundsätzlichen Bestimmung, welche zu erwartende Lebensdauer ein Produkt haben soll; diese kann je nach Produkt und dessen Funktion recht unterschiedlich sein. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass in Bezug auf die Lebensdauer auch die Reparierbarkeit und die Recyclingfähigkeit des Produktes mitgedacht werden sollten.

Die Förderung von Mehrwegprodukten oder Produkten für die Mehrfachnutzung wurde bei Verpackungen und Textilien thematisiert. Im Textilbereich werden bei der Händetrocknung oder im Medizinbereich häufig Einwegprodukte verwendet. Im Verpackungsbereich sind es die Verkaufsverpackungen im B2C-Bereich, die als Einwegprodukte konzipiert sind. Produktnormen und Standards können dazu beitragen, dass textile Mehrfachprodukte bzw. Mehrwegverpackungen gefördert werden. Neben Materialauswahl, Hygiene- und Qualitätsaspekten sollen in diesem Zusammenhang auch Rücknahmesysteme oder Leasing- bzw. Verleihmodelle unterstützt werden.

Produktinformationen

Alle Schwerpunktthemen haben gemeinsam, dass neben einer umfassenden und einheitlichen Produktinformation vor allem die Nutzungshistorie für die Zweitnutzenden relevant ist. Dies schafft Transparenz und Vertrauen für den Kauf eines gebrauchten Produkts. Für den Austausch und Einbau von Komponenten wurde in diesem Zusammenhang erwähnt, dass eine Fortschreibung der Nutzungshistorie für sinnvoll erachtet wird, da sich ggfs. die Gewährleistungsbedingungen für diese Komponenten ändern können. Der Einsatz eines Digitalen Produktpasses (Siehe Kapitel 3.3) kann die Fortschreibung der Nutzung erleichtern.

Repair-Index/Qualitätsindex

Um die Kaufentscheidung sowohl für Verbrauchende als auch Leasing- oder Verleihunternehmen zu erleichtern, bedarf es Normen, die die Qualität, die zu erwartende Lebensdauer

und die Reparierbarkeit eines Produkts bewerten. Diese Anforderungen müssen jeweils produktspezifisch erarbeitet werden. Einheitliche Standards zur Definition, Parameter und Prüfmethode schaffen Transparenz und eine Vergleichbarkeit von Produkten und deren Komponenten. Insbesondere für Elektroprodukte, Batterien und Kunststoffe wurde der zusätzliche Bedarf erarbeitet, dass für die Reparierbarkeit von Produkten auch die Sicherheit der Verbrauchenden und Reparierenden (Produktsicherheit und Arbeitsschutz) zu berücksichtigen ist. Ohne genormte Informationen zu Demontageanleitungen und Anforderungen an die Sicherheit des Reparierenden würde die Reparatur von vornherein behindert. Das Bewertungsergebnis, zusammengefasst in einem Repair-Index, hilft, die Reparierfähigkeit eines Produktes einfach zu erkennen. Hierbei könnte auch darüber informiert werden, ob das Produkt für Gewährleistungsansprüche nur von zugelassenen Werkstätten repariert werden darf.

Bei gebrauchten Produkten ist für die potenziellen Zweitnutzenden die bisherige Nutzungsphase von besonderer Bedeutung. Auch wenn das Originalprodukt qualitativ hochwertig war, kann durch unsachgemäßen Gebrauch oder falsche Pflege ein mangelhafter Zustand vorhanden sein, den ein Laie beim Kauf nicht erkennt bzw. er weiß nicht, wie lange die noch zu erwartende Lebensdauer für das gebrauchte Produkt ist. Um Vertrauen in die Qualität und Transparenz zu steigern, sollte ein System unabhängiger Qualitätssicherungen entwickelt werden, das von Vertreibenden von Secondhandprodukten angewendet werden kann. Diese Informationen können in vereinfachter Form als Qualitätsindex für potenzielle Kaufende zusammengeführt werden.

Verfügbarkeit von Ersatzteilen

Ohne Ersatzteile können keine Reparaturleistungen vorgenommen werden. Die Produktvielfalt ist riesig, sodass standardisierte Informationen für Ersatzteile notwendig sind, um die Beschaffung zu erleichtern. Des Weiteren muss die Frage beantwortet werden, wie lange Ersatzteile seitens des herstellenden Unternehmens vorzuhalten sind, wenn das Ziel ist, die Nutzungsphase von Produkten im Vergleich zu heute zu verlängern. Öffentlich zugängliche Informationen können darüber hinaus helfen, die Alterung und den Verschleiß von Komponenten zu kennen, um vor Ausfall eines Produktes eingreifen zu können („Wartungsroutine“ [101]). Insgesamt wird bemerkt, dass eine Kooperation im Bereich von Ersatzteilen, Wartung und Reparatur sowie die Zurverfügungstellung von Informationen über den Digitalen Produktpass (Siehe Kapitel 3.3) die Verlängerung der Nutzungsdauer erheblich steigern kann.

Herstellerverantwortung/Gewährleistungspflichten

Bei Reparaturen bzw. dem Einbau von neuen Komponenten kann es zu funktions- oder sicherheitsrelevanten Änderungen kommen. Für verschiedene Produkte wie beispielsweise für Batterien gibt es keinen technischen Rahmen für die Reparatur oder Wiederaufbereitung, sodass dies zu einem Verlust der Typengenehmigung führen kann. Um das Vertrauen der Verbrauchenden zu erhöhen, aber auch die Produktsicherheit weiter zu gewährleisten, bedarf es einheitlicher Kriterien, die festlegen, bei welcher Änderung das ursprünglich herstellende Unternehmen des Produktes noch verantwortlich ist oder ab wann der/die Reparatur*in oder auch Verkaufende eines Secondhandproduktes als neuer Inverkehrbringender für das Produkt haftet. In diesem Zusammenhang bedarf es normativer Grundlagen, welche Prüfungen bei der Reparatur, Wiederaufbereitung oder -aufarbeitung vorzunehmen sind, um die Typengenehmigung oder Zertifizierung eines Produktes wiederherzustellen. Die Fachleute sind sich darüber einig, dass funktions- und sicherheitsrelevante Änderungen nur von professionellen Dienstleistenden übernommen werden sollen, die dafür auch die Verantwortung übernehmen. Diese Kriterien können die Grundlagen bilden bei Etablierung eines gesetzlichen Rahmens für Märkte im Bereich der Wiederaufbereitung von Produkten und der Gebrauchsgüter.

Ausblick

Die Verlängerung der Nutzungsdauer von möglichst vielen Produkten spielt eine wesentliche Rolle in der Circular Economy. Geschäftsmodelle im Bereich der „Sharing Economy“ sind in Deutschland nur in einzelnen wenigen Segmenten etabliert wie zum Beispiel für die professionelle Berufsbekleidung, bei Mehrwegverpackungssystemen oder im Bereich der Mobilität. Neue Produkte sind oftmals zu günstig bzw. Ersatzteile zu kostenintensiv, um Reparaturdienstleistungen in Anspruch zu nehmen; auch gibt es für Verbrauchende kaum Anreize, Secondhandprodukte zu kaufen.

Normen und standardisierte Informationen helfen, die Transparenz und das Vertrauen in die Qualität der Wiederaufbereitung und -aufarbeitung von Produkten und von Gebrauchsgütern zu erhöhen, und bilden somit die Basis, diese Geschäftsmodelle erfolgreich zu etablieren. Zudem wird die Entwicklung bzw. der Ausbau von Kommunikationstechnologien (wie Apps, Internetplattformen etc.) es den Verbrauchenden erleichtern, Secondhand-, Miet- oder Leasingangebote zu nutzen. Allerdings bedarf es auch einer veränderten Einstellung zu Konsum und Besitz. Insofern sollten diese gesellschaftspolitischen Maßnahmen durch Normung begleitet werden.

Übersicht Normungsbedarfe zu „Lebensdauererlängerung“

Schwerpunktthemen	Digitalisierung/ Geschäftsmodelle Management/	Elektrotechnik & IKT	Batterien	Verpackungen	Kunststoffe	Textilien	Bauwerke & Kommunen
Normungsbedarfe	1.2	2.1	3.5	4.9	5.7	6.1	–
	1.33	2.3	3.6	4.10	5.8	6.6,	
	1.35	2.4	3.7	4.11	5.9	6.8	
		2.16	3.11	4.12	5.10	6.9	
		2.20	3.12	4.13	5.36	6.13	
		2.21	3.14			6.14	
		2.24	3.16			6.15	
		2.25				6.16	
		2.26				6.17	
		2.27				6.18	
		2.28				6.19	
		2.30				6.20	
						6.21	
					6.39		

3.3 Digitaler Produktpass (DPP)

Der DPP wurde themenübergreifend als zentrales Instrument zum Aufbau einer Circular Economy adressiert. Über ihn sollen Informationen bereitgestellt werden, die die Umsetzung verschiedener R-Strategien erleichtern oder sogar erst möglich machen. Die Forderung nach einem DPP vor Nachhaltigkeits- und Zirkularitätsaspekten wurde im Rahmen des European Green Deal [2] im Dezember 2019 erstmalig konkret seitens der Europäischen Kommission formuliert. Welche Informationen er enthalten und für welche Produkte er verpflichtend werden sollte, blieb zunächst offen. Im am 30. März 2022 veröffentlichten Legislativvorschlag des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte (ESPR) [294] wurden dann konkretere Ziele und zu erwartende Schritte genannt. Hiernach würden Digitale Produktpässe für alle Produkte, die unter die Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte fallen, die Norm sein. Allerdings ist noch nicht abschließend geklärt, wie der Produktpass – präziser formuliert: die Produktpässe – für unterschiedliche Produktgruppen aussehen und wann diese verpflichtend eingeführt werden sollen.

Bereits am 10. Dezember 2020 legte die Europäische Kommission einen Entwurf für eine neue Verordnung über Batterien und Altbatterien (BattVO) [141] vor. Diese soll künftig die bislang geltende Richtlinie 2006/66/EG [144] ersetzen und sieht eine Änderung der Verordnung (EU) Nr. 2019/1020 [148] vor. Eines der maßgeblichen Ziele der Initiative ist die Förderung der Circular Economy durch eine ganzheitliche Betrachtung des Batterielebenszyklus. Zu diesem Zweck wird in Artikel 65 vorgeschrieben, „[...] dass bis zum 1. Januar 2026 jede in Verkehr gebrachte Industriebatterie und Traktionsbatterie über eine elektronische Akte („Batteriepass“) verfügen muss. Jede Batterie erhält einen eigenen Batteriepass mit individueller Kennung. [...]“

Batterien werden somit die erste Produktgruppe sein, für welche ein DPP verpflichtend eingeführt wird. Aus diesem Grund beschäftigen sich derzeit bereits zahlreiche Beteiligten mit Lösungen zur Umsetzung des Batteriepasses. Doch nicht nur am Batteriepass wird geforscht: Auch andere Branchen bieten bereits vielversprechende Umsetzungskonzepte für Digitale Produktpässe (z. B. der Gebäuderessourcenpass [296] oder Ansätze aus der Verpackungs- und Lebensmittelindustrie [297]). Auch der Gesetzgebende verbindet mehr als Fragen der Nachhaltigkeit und Zirkularität mit dem DPP. So besteht die Diskussion hinsichtlich der Notwendigkeit

eines DPP für alle verpflichtenden Produktinformationen im Rahmen des New Legislative Framework (CE-Kennzeichnung) [298], diesbezüglicher Konformitätsnachweise, Zugang für die Marktüberwachung etc.

Der DPP wird sein Potenzial dann entfalten können, wenn eine anforderungs-, sektor- und systemübergreifende Interoperabilität erreicht wird. Die EU-Kommission verweist in der ESPR bereits an mehreren Stellen auf die Rolle von Normung und Standardisierung für den DPP. Zur Umsetzung eines DPP und der diesbezüglichen daten- und digitalisierungsbezogenen Aspekte strukturiert DG Connect die notwendigen Elemente entlang der folgenden sieben Punkte:

1. Datenträger und eindeutige Bezeichner (engl.: Data carriers and unique identifiers)
2. Verwaltung von Zugriffsrechten (engl.: Access rights management)
3. Interoperabilität (technisch, semantisch, organisatorisch) einschließlich Datenaustauschprotokolle und -formate (engl.: Interoperability (technical, semantic, organisation), including data exchange protocols and formats)
4. Datenspeicherung (engl.: Data storage)
5. Datenverarbeitung (Eingabe, Änderung, Aktualisierung) (engl.: Data processing (introduction, modification, update))
6. Authentifizierung, Zuverlässigkeit und Integrität von Daten (engl.: Data authentication, reliability, and integrity)
7. Datensicherheit und -schutz (engl.: Data security and privacy)

Der Rahmen, wie der DPP definiert werden könnte, ist in dem ESPR-Entwurf [297] aufgeführt. Dieser verweist beispielsweise schon auf die ISO/IEC 15459:2015 [299]. Dieser Vorschlag der ESPR soll durch „Delegated Acts“ für die einzelnen Produktgruppen spezifiziert werden. Im Hinblick auf die Umsetzung des Batteriepasses ist das vom BMWK geförderte „Battery Pass“-Projekt [300] als zentrale Aktivität zu nennen. Im Hinblick auf die Definition der Standardisierungsbedarfe zum DPP zur ESPR hat die EU-Kommission u. a. ein Coordination and Support Action Projekt, genannt CIRPASS, [301] vergeben, welches im Oktober 2022 startet.

Informationsbedarfe von verschiedenen Anspruchsgruppen

Vielen Mitwirkenden entlang der Wertschöpfungskette fehlt es an Informationen (beispielsweise über die Materialzusammensetzung), um Produkte oder Teile von Produkten und

somit wertvolle Ressourcen im System zu halten. Gleichzeitig wissen die Informationsquellen (z. B. herstellende Unternehmen) nicht, welche Informationen sie zur Verfügung stellen müssen, damit andere Beteiligte entlang der Wertschöpfungskette die R-Strategien umsetzen können. Hier wären Standards zielführend, die festlegen, welche Informationen von welcher Anspruchsgruppe (z. B. Recycler, Sortierer, Reparaturbetriebe, Wiederverkauf etc.) benötigt werden, um die R-Strategien zu realisieren. Das „Need to know“-Prinzip (es werden nicht mehr Daten angefordert, als für den Anwendungsfall wirklich benötigt) ist hierbei zu diskutieren und könnte eine erste Grundlage bei der Herangehensweise bieten.

Interoperabilität Produkt-, Event- und Metadaten durch einheitliche Ontologie/Taxonomie

Damit Produkt- (z. B. Materialzusammensetzung, Farben etc.), Event- (z. B. durchgeführte Reparaturen) und Metadaten (z. B. Nachhaltigkeitsbewertung) entlang der Wertschöpfungskette effizient über Schnittstellen ausgetauscht werden können, benötigt es Interoperabilität der sektor- und systemspezifischen Ausgestaltung von Produktpässen sowie der jeweiligen IT-Systeme. Dies dient unter anderem der Vermeidung von aufwendigen manuellen Datenzuordnungen. Um eine syntaktische und semantische Interoperabilität zwischen verschiedenen Systemen und Organisationen zu erreichen, werden standardisierte Datenstrukturen, Ontologien und Taxonomien zur Beschreibung der Produkte benötigt. Diese sollten auf den beiden vorgenannten Informationsbedarfen aufbauen und sich an bestehenden Normen und De-facto-Standards orientieren. Für Datenaustauschformate braucht es Standards als Grundlage, wie beispielsweise EDI-Standards [302]. Für Eventdaten ist beispielsweise das EPCIS Vocabulary von GS1 [303] zu nennen. Dieses müsste dementsprechend spezifisch um Events zur Erreichung der R-Strategien erweitert werden. Als Alternative könnte die sogenannte Verwaltungsschale aus dem Bereich Industrie 4.0 (DIN EN IEC 63278-1 [66]) in Verbindung mit dem IEC Common Data Dictionary der IEC 61360 [304] angewendet werden.

Datenauthentifizierung, -verlässlichkeit und -integrität

Eine zentrale Zielsetzung des DPP ist es, fundierte und abgesicherte Vergleiche zwischen Produkten zu ermöglichen, um dadurch u. a. nachhaltige Kaufentscheidungen zu incentivieren. Die Vergleichbarkeit wird einerseits durch eine gemeinsame Struktur und Deckungsgleichheit der bereitgestellten Informationen erreicht (siehe hierzu z. B. die Bedarfe 1.8 und 1.9). Mindestens genauso wichtig ist jedoch, vergleichbare oder einheitliche Verfahren der Datenerhebung und -aggregation zu definieren. So könnten beispielsweise die zugrunde liegenden Mess- und Erhebungsverfahren sowie die Datensätze definiert werden. Ist eine konsistente Datenerhebung nicht möglich, so sollten die entsprechenden Interessensgruppen zumindest in die Lage versetzt werden, die Unterschiede zwischen zwei Datenpunkten zu erkennen. Hierbei könnten beispielsweise klar definierte Datenqualitätsindikatoren unterstützen. Grundsätzlich sollten also Datenerhebungsverfahren sowie die Beurteilung der Datenqualität durch entsprechende Normen konkretisiert werden (siehe hierzu auch Bedarf 1.16).

Identifikationsnummern (identifizier)

Für die eindeutigen Identifikationsnummern ist zu definieren, auf welcher Ebene diese für Produkte eingesetzt werden. Hier gibt es drei mögliche Ebenen: Produktebene (model), Produktionscharge (batch) oder auf Stückerbene (item). Auch Teilnehmende in einem DPP-System benötigen Identifizier für ihre Organisation, um zu identifizieren, woher die Daten stammen. Weiter ist zu definieren, welche Anforderungen die Identifikationsnummern erfüllen müssen, Governance und Vergabe, sodass ein offenes System für verschiedene Anbietende entstehen kann.

In den sieben Schwerpunktthemen wurden vielfältige Normungsbedarfe für den DPP identifiziert und detailliert für die Sektoren beschrieben.

Übersicht Normungsbedarfe zu „Digitaler Produktpass“

Schwerpunktthemen	Digitalisierung/ Geschäftsmodelle Management/	Elektro- technik & IKT	Batterien	Verpackungen	Kunststoffe	Textilien	Bauwerke & Kommunen
Normungsbedarfe	1.5	2.6	3.1	4.3	5.12	6.3	7.5
	1.7-1.17	2.13	3.2	4.4	5.13	6.19	7.13
		2.15	3.3	4.5	5.14	6.32	
		2.28	3.4	4.19	5.18	6.34	
		2.29	3.5	4.20		6.35	
		2.36	3.6	4.21		6.36	
		2.40	3.8	4.22		6.37	
		2.43	3.9	4.29		6.38	
			3.14			6.39	
			3.17			6.40	
		3.19					

3.4 End-of-Waste (EoW)

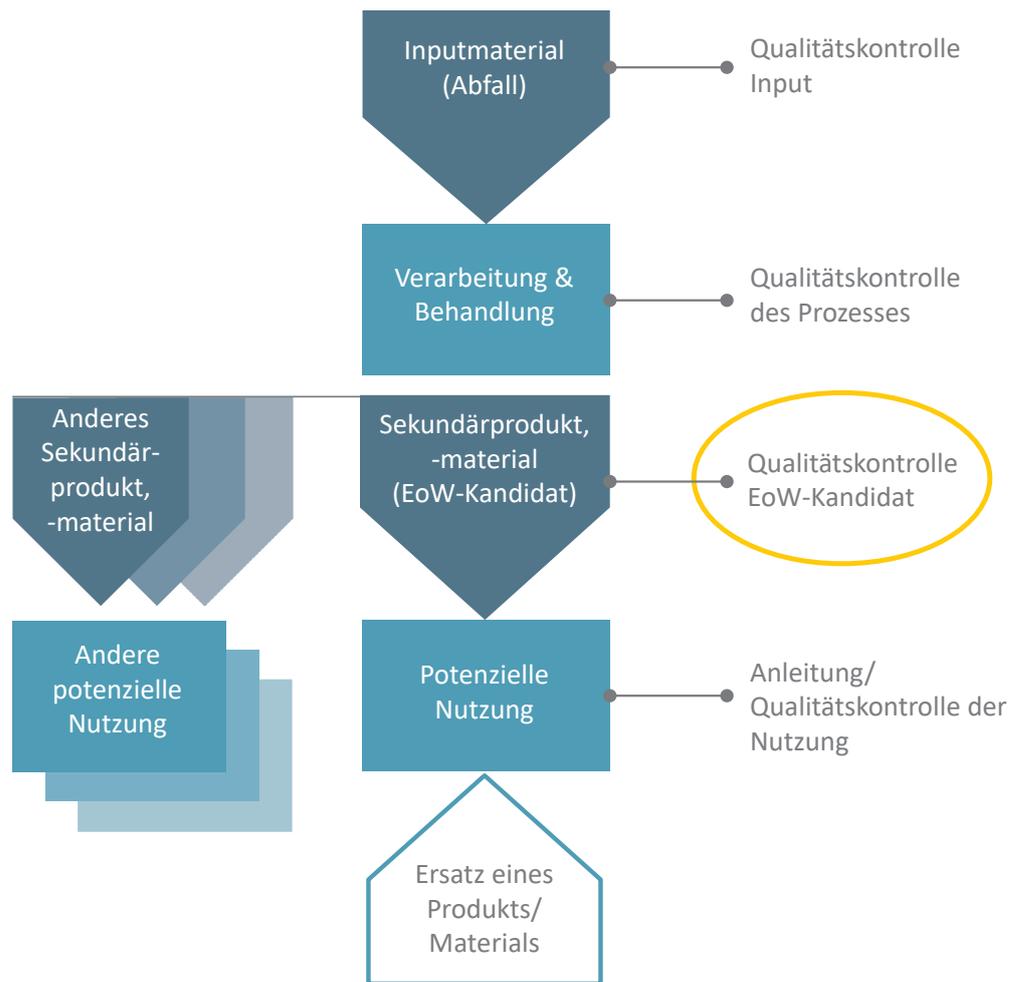
Eine der Schlüsselstrategien der Circular Economy ist das möglichst hochwertige Recycling von Abfällen, um diese wieder in Produktionsprozesse zurückzuführen. Dies erfolgt mit dem Ziel, dass aus Abfällen wieder Sekundärrohstoffe werden sollen, deren Erzeugung dann in der Regel mit deutlich niedrigeren Ressourcenverbräuchen und CO₂-Emissionen verbunden ist. Solche Sekundärrohstoffe sind frei handelbare Güter, die den gleichen rechtlichen Anforderungen unterliegen wie Primärrohstoffe. Um einen solchen Status zu erlangen, müssen recycelte Abfälle das sogenannte Abfallregime verlassen – also die Vielzahl an Rechtsvorschriften, die an den Umgang mit Abfällen, ihren Transport oder die Nutzung von Abfällen geknüpft sind. Grundsätzliches Ziel dieser abfallrechtlichen Regelungen ist im Kern die Vermeidung von Risiken, die durch Abfälle für den Menschen oder die Umwelt entstehen könnten – sie sind daher aus guten Gründen häufig sehr restriktiv: Es soll beispielsweise verhindert werden, dass eigentlich zu entsorgende Abfälle stattdessen einfach anderen Materialien beigemischt werden.

Das Themenfeld End-of-Waste wird heute auf verschiedenen politischen Ebenen diskutiert (zum Beispiel Anpassungen Basel Convention, Annex IV [305]). Die technische Umsetzung ist bedingt durch fehlende Standards (national) und je nach Branche sehr verschieden.

Es braucht daher klare Kriterien, ab wann ein behandelter Abfall nicht mehr als Abfall betrachtet wird, sondern beispielsweise frei im europäischen Wirtschaftsraum exportiert und importiert werden kann – wozu er als Abfall eine Vielzahl von Notifizierungs- und Dokumentationspflichten erfüllen müsste. Genau zu diesem Zweck definiert die Europäische Abfallrahmenrichtlinie [174] Anforderungen an sogenannte EoW-Kriterien: Anforderungen an Rezyklate und ihre Behandlungsprozesse, bei deren Erfüllung nicht mehr das Abfallrecht, sondern das Produktrecht Anwendung finden soll, vgl. [Abbildung 37](#).

Abbildung 37:

Anforderungen an Rezyklate
im Produktrecht
(Quelle: JRC 2009 [43])



Artikel 6 der Abfallrichtlinie definiert für die Entwicklung solcher Kriterien die folgenden vier allgemeinen Anforderungen:

1. Der Stoff oder der Gegenstand soll für bestimmte Zwecke verwendet werden;
2. es besteht ein Markt für diesen Stoff oder Gegenstand oder eine Nachfrage danach;
3. der Stoff oder Gegenstand erfüllt die technischen Anforderungen für die bestimmten Zwecke und genügt den bestehenden Rechtsvorschriften und Normen für Erzeugnisse und
4. die Verwendung des Stoffs oder Gegenstands führt insgesamt nicht zu schädlichen Umwelt- oder Gesundheitsfolgen.

Die Europäische Kommission kann EoW-Kriterien für einzelne Abfälle entwickeln oder dies auch den Mitgliedstaaten überlassen. Letzteres kann für die Entwicklung der Circular Economy zu einer Herausforderung werden, da möglicherweise ein Material in einem Land schon wieder als Produkt gilt, ab Überschreiten der Landesgrenze jedoch wieder zu Abfall wird.

Die Entwicklung konkreter Normen und Standards kann unterstützen, die Hürden, die für die Marktbeteiligten durch heterogene nationale Regelungen entstehen, zu überwinden. Leitfäden mit einer gezielten Beschreibung der Rechtslandschaft und die damit verbundenen Prozesse zur Aus- und Einfuhr von Abfällen/Produkten steigern die Bereitschaft von Marktbeteiligten, sekundäre Rohstoffe ebenfalls außerhalb des eigenen Mitgliedstaates zu handeln bzw. zu erwerben. Normen, die ein Monitoring von Stoffströmen über die Landesgrenzen hinweg ermöglichen, würden zu einer höheren Transparenz des Marktes für Sekundärrohstoffe führen und neue Geschäftsmodelle sowohl beim Handel als auch beim Rohstoffeinkauf auf Herstellerseite ermöglichen. Größere Stoffmengen wären sichtbar, könnten kumuliert angeboten und entsprechend größere Rohstoffbedarfe bedient werden. Die Nachfrage am Markt könnte genormt abgebildet und ggf. im Rahmen der jeweiligen nationalen und/oder europäischen Rechtssetzung mit betrachtet werden. Genormte Referenzverfahren und -materialien würden dazu beitragen, sicherzustellen, dass keine Gesundheits- und Umweltgefahren von den sekundären Rohstoffen ausgehen.

Darüber hinaus würden sie die Qualitätssicherung vereinfachen und ebenfalls einen Beitrag dazu leisten, die Hürden des Handels und die Verwendung von sekundären Rohstoffen zu senken.

Normen und Standards, die beispielsweise (i) verwaltungstechnische und bürokratische Aufwände zur Einhaltung gesetzlicher Regulierungen zum Gesundheits- und Umweltschutz reduzieren, (ii) zur Steigerung der Qualitätssicherung beitragen und/oder das Vertrauen in die sichere Anwendung sekundärer Rohstoffe steigern, tragen zu einer nachhaltigen Etablierung einer Circular Economy bei.

Normen und Standards unterstützen die Bundesregierung, die im Koalitionsvertrag beschriebene sozial-ökonomische Transformation der Wirtschaft durch eine sichere, nachhaltige und konkurrenzfähige Nutzung sekundärer Rohstoffe umzusetzen [1].

Zum Ende der Abfalleigenschaft im Bauwesen

Das Bauwesen belegt in der Abfallwirtschaft einen besonderen Rang. Bauwerke sind in der Regel sehr langlebige anthropogene Materiallager mit einem enormen Ressourcenverbrauch bei ihrer Herstellung. Der Fokus liegt dabei auf dem mineralischen Anteil, insbesondere bei den Baustoffen Beton und Ziegel. Allein in Deutschland wird die Menge an verbauten Baustoffen auf ca. 15 Mrd. t geschätzt, das ist nahezu das 40-Fache an Rohstoffen im Vergleich zu den übrigen Kapital- und Konsumgütern. Diese Zahlen spiegeln sich auch in den Abfallstatistiken. Mehr als die Hälfte der jährlich anfallenden nationalen Abfälle sind Bau- und Abbruchabfälle. Die Potenziale durch eine hochwertige Nutzung dieser Ressourcen werden aber nicht ausgeschöpft. Ein Beispiel dafür ist die Gewinnung und Weiterverarbeitung von Beton- und Stahlbeton.

Eine direkte Wiederverwendung ganzer Bauteile ist aus konstruktiven Gründen häufig nicht möglich. Bei der alternativlosen Zerkleinerung, zumindest für die in der Vergangenheit gebauten Bauwerke, der Beton- und Stahlbetontragkonstruktionen und deren Separation werden zwar die Bewehrungen nahezu vollständig in den Rohstoffkreislauf zurückgeführt, der mineralische Anteil aber vorzugsweise nur für Verfüllungen im Straßen- und Tiefbau eingesetzt. Hinzu kommt, dass ein nennenswerter Anteil wegen inerte oder nicht inerte Schadstoffbelastungen unbehandelt zur Deponierung

gelangt. Dieses Downcycling führt zum Ausschleusen der Abfälle aus dem Rohstoffkreislauf. Gründe dafür sind insbesondere das Fehlen von Standards im Umgang mit diesen Ressourcen, die einerseits die Verfahrensweisen eindeutig beschreiben und andererseits deren Umsetzung durch Beachtung und Nachverfolgung in den Genehmigungsverfahren sicherstellen.

Mit den „Leitlinien für Abbruch- und Umbauarbeiten an Gebäuden vorgeschaltete Abfallaudits“ als eine der drei Maßnahmen im Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft [306] bietet die EU ein Bewertungssystem zur methodischen Bewertung aller Abfallmengen und -ströme beim Abbruch an. Der Verbleib der Stoffe in den Rohstoffkreisläufen wird damit nicht gesichert. Diese Leitlinien regeln aber nicht, welche der ermittelten und bewerteten Baustoffe unmittelbar nach dem Anfallen auf der Baustelle die Abfalleigenschaften verlieren und als Sekundärrohstoffe in den Kreislauf zurückgeführt werden sollen. Sie verweisen auch nicht darauf, dass durch technische Prozesse eine Produktion von Sekundärrohstoffen aus den Abfällen möglich und zwingend zu beachten ist.

Das bei der Zerkleinerung der Betonkonstruktionen anfallende Rezyklat sollte zwingend als Rohstoff bei der Betonherstellung eingesetzt und nur in Einzelfällen für andere Einsätze oder für eine Deponierung zugelassen werden. Mit den wenigen, zum Teil überholten nationalen Standards lässt sich dies jedoch nicht verwirklichen. Notwendig sind Standards, die den Einsatz des Rezyklates als Rohstoffersatz sicherstellen, beispielsweise durch Vorgaben zur Beimischung bei der Verwendung natürlicher Rohstoffe, oder technische Standards zur Abfallvorbehandlung bei inerten und nicht inerten Schadstoffen. Gerade die sichere Bindung durch den Zement ist eine Verfahrensweise bei der Immobilisierung an Altlastenstandorten. Eine Gleichstellung der anthropogenen Schadstoffbelastungen im Rezyklat mit den geogenen Belastungen im Rohstoff ist technisch sinnvoll und einzufordern. Ziel dieser Regeln und Verfahrensweisen ist die Sicherstellung des Verbleibs der Stoffe im Rohstoffkreislauf und die Definition des Zeitpunktes, ab dem ein Abbruchstoff seine Abfalleigenschaften verliert.

Übersicht Normungsbedarfe zu „End-of-Waste“

Schwerpunktthemen	Digitalisierung/ Geschäftsmodelle Management/	Elektro-technik & IKT	Batterien	Verpackungen	Kunststoffe	Textilien	Bauwerke & Kommunen
Normungsbedarfe	1.3 1.7	-	3.18	4.1 4.6 4.7 4.8 4.12 4.21 4.22 4.29	5.1 5.7	-	7.1

3.5 Recyclingfähigkeit

Aus den Arbeiten der sieben Schwerpunktthemen ergeben sich fünf für den Aspekt „Recyclingfähigkeit“ wesentliche Themenfelder, welche hier genannt und anhand der Bedarfe konkretisiert werden:

1. Definitionen im Bereich der „Recyclingfähigkeit“
2. Design 4 Recycling/Circularity und Recyclingfähigkeit
3. Erfassung, Sammlung, Sortierung und Recyclingfähigkeit
4. Information und Kommunikation und Recyclingfähigkeit
5. Erfassung und Bewertung von Substanzen und Recyclingfähigkeit

Auch diese Themengebiete sind untereinander nicht frei von inhaltlichen Überschneidungen, aber sie lassen sich dennoch gut für sich darlegen. Die Überschneidungen spielen jedoch eine Rolle bei der Umsetzung der Normungsroadmap, da die Widerspruchsfreiheit sichergestellt werden muss.

Definitionen im Bereich der „Recyclingfähigkeit“

Die im Entstehen begriffene Circular Economy braucht klare Definitionen ihrer Begriffswelt, um in der Praxis bestehen zu können. Dies hat sich auch bei dem hier diskutierten Thema gezeigt. Ohne einheitliche, genormte Definitionen entstehen Verwirrung, Missverständnisse und in letzter Instanz ein Vertrauensverlust. Die Normungsaufgaben sollen das genaue Gegenteil bewirken. Daher stehen die Themen zur Definition auch bewusst am Anfang. Auch für die später diskutierten Themen, insbesondere die Informationsstandards, sind klare Definitionen essenziell.

Die Normung des Begriffes „Recyclingfähigkeit“ ist für das Thema selbstredend von elementarer Bedeutung. In der Literatur gibt es keine einheitliche Definition. Dies führt zu unterschiedlichen Auslegungen des Begriffes, je nachdem, welche Stakeholder involviert sind, was aufgrund unterschiedlich gelagerter Interessen problematisch sein kann. Unter „Recyclingfähigkeit“ wird an dieser Stelle die Fähigkeit eines Materials oder Produktes verstanden, das aus einer bereits existierenden Verwendung zurückgewonnen, einem Recyclingprozess zugeführt und so aufgearbeitet wird, dass ein beliebiges neues Erzeugnis daraus technisch, wirtschaftlich, ökologisch und sozial sinnvoll hergestellt werden kann.

Allgemein ließe sich „Recyclingfähigkeit“ ansatzweise definieren als die Fähigkeit eines Erzeugnisses, am Ende seiner Gebrauchsphase so aufbereitet werden zu können, dass neue Erzeugnisse daraus wirtschaftlich herstellbar sind. Die Recyclingfähigkeit eines Erzeugnisses ist abhängig von der technologischen Reife der Recyclingverfahren sowie der Effizienz im Sinne der Ausbeute und Selektivität der Verfahrensführung. Diese gedanklichen Ansätze mögen nicht alle Aspekte umfassen; dies weiter zu erarbeiten und allgemeingültig auszugestalten, soll dem entsprechenden Gremium vorbehalten sein.

Zu den Rezyklaten sollen hier sowohl Post-Industrial- (Pre-Consumer)- als auch als Post-Consumer-Materialien gezählt werden. Zum Ausbau einer Circular Economy ist es von großer Bedeutung, sich über deren Recyclingfähigkeit bewusst zu werden. Bei Wiedereinsatz und Recycling

stehen sowohl die Industrie als auch die Gesetzgebung vor der Herausforderung, dass die **theoretische (th)**, **technische (te)** und **reale (r)** Recyclingfähigkeit stark voneinander abweichen können (siehe [Abbildung 38](#)). Diese Unterschiede sind oft durch die Branche, die Anwendung des Materials und dessen Verfügbarkeit geprägt und machen Standardisierungen zum Einsatz und dem Recycling bis dato sehr schwierig. In der Regel ist die theoretische Recyclingfähigkeit weitaus höher als die technische Recyclingfähigkeit und diese wiederum höher als die reale Recyclingfähigkeit [\[179\]](#).

Design 4 Recycling/Circularity und Recyclingfähigkeit
 Das Design 4 Recycling (D4R) bzw. Design 4 Circularity (D4C) setzt am Anfang des Produktlebenszyklus an und ist ein wichtiger Aspekt in der Gewährleistung der Recyclingfähigkeit. Hierzu wurden sehr umfangreiche Bedarfe identifiziert. Es gibt sehr viele unterschiedliche „Design 4 Recycling“-Guidelines von unterschiedlichen Mitwirkenden [\[307\]](#), die ständig aktualisiert werden oder auch erst im Aufbau sind. Teilweise erstellen Markenartikelherstellende und Handelsunternehmen eigene Guidelines, die erheblichen Einfluss auf den gesamten Markt haben. Diese Guidelines setzen teil-

weise unterschiedliche Schwerpunkte, je nachdem, welcher Fokus gelegt wurde. Darüber hinaus sind weitere Design 4 Recycling-Guidelines in der Entstehung (z. B. ReWaste F, PTS-RH 025/2022, 4evergreen Guideline [\[308\]](#), [\[309\]](#), [\[310\]](#), [\[311\]](#)).

Für die Steigerung der Recyclingfähigkeit entscheidend sind das Design und der Aufbau der Produkte und die Komponenten und Werkstoffe. Ziel sollte sein,

- Produkte, Komponenten und Materialien so zu designen, dass daraus am Ende des Lebenszyklus hochwertige Rezyklate produziert werden können,
- Produkte, Komponenten und Materialien so zu designen, dass das Einsammeln und die Sortier- und Verwertungstechnologien unterstützt werden, sowie
- eine einheitliche Bewertungsmetrik für die Recyclingfähigkeit, die die unterschiedlichen Verwertungsmöglichkeiten berücksichtigt, zu erarbeiten.

Es fehlen in vielen Produktbereichen und Anwendungssektoren Standards und Normen, welche (einheitlich zu definierende) „Design 4 Recycling“-Prinzipien zur Steigerung der mechanischen Recyclingfähigkeit von Produkten, Komponenten

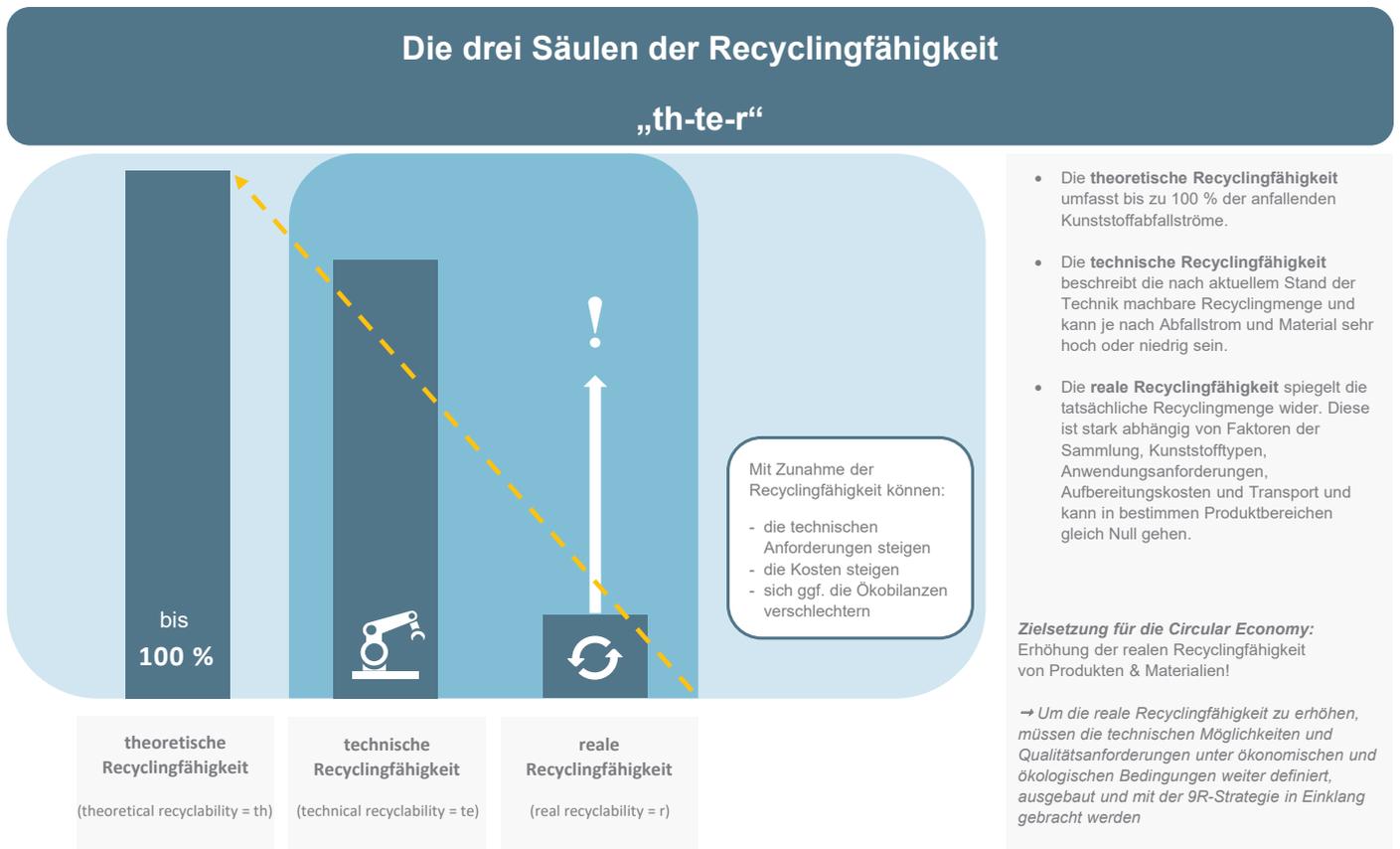


Abbildung 38: Die drei Säulen der Recyclingfähigkeit (Quelle: DIN, angelehnt an (Pomberger 2021) [\[179\]](#))

und Materialien beschreiben und am Beginn eines Produktlebenszyklus dem Produktentwickler an die Hand gegeben werden können, um die o. g. Ziele zu erreichen. Normen zur Gestaltung recyclinggerechter Produkte sollen so geschrieben sein, dass sie in Angebotsanfragen bzw. Ausschreibungen verbindlich werden. Auch bei der Einstufung der Recyclingfähigkeit selbst und der Kopplung mit spezifischen Recyclingverfahren fehlen heute Technische Regeln und Standards, die über eine standardisierte Wertstoffauswahl die Kreislauffähigkeit der Produkte und die Recyclingfähigkeit der Komponenten und Materialien erhöhen.

Erste Leitfäden wurden von Recyclingverbänden [193], Forschungsstellen [194], Stiftungen mit hoheitlichen Aufgaben [195], Beratungsfirmen und Konsumgüterherstellern vorwiegend im Verpackungssektor und mit dem Fokus auf das mechanische Recycling entwickelt. Es fehlen von allen Stakeholder ausgearbeitete allgemein anerkannte Regeln und Standards für alle Anwendungsbereiche mit Bezug zu allen Recyclingverfahren, um eine technologieoffene Normungslandschaft sicherzustellen.

Ein weiterer Bedarf an Forschung und Normung liegt in der Entwicklung einer Richtlinie oder Handlungsempfehlung für Design, Konstruktion und Verarbeitung für Produkte aller Branchen, die von vornherein aus Rezyklaten oder mit möglichst hohen Rezyklatanteilen gefertigt werden sollen. Die Richtlinie soll dabei als Empfehlung dienen, wie mögliche Materialschwankungen bereits durch ein geeignetes Design oder Prozessparameter ausgeglichen werden können. Dieser Bedarf grenzt sich vom weitverbreiteten Design 4 Recycling bzw. Circularity dadurch ab, dass es nicht darum geht, ein Produkt recyclingfähig zu konstruieren, sondern ein Produkt so zu konstruieren, damit es einfach, prozess- und anwendungsstabil sowie wirtschaftlich aus Rezyklaten gefertigt werden kann.

Erfassung, Sammlung, Sortierung und Recyclingfähigkeit

Um Produkte recyceln zu können, muss man ihrer zunächst habhaft werden. Dies ist zwar eigentlich selbstverständlich und logisch, ist aber in der Praxis aufgrund einer Reihe von Schwierigkeiten nicht trivial.

Die Prozesse der Sammlung und der Sortierung sind als entscheidende Schritte für gute Rezyklatqualitäten bisher nicht oder nur unzureichend genormt. Hier besteht Bedarf an geeigneten Normen, die Kennwerte für die Zusammensetzung und Verunreinigungen für beispielsweise Produkt- oder Materialgruppen definieren und eine aussagekräftige Klassi-

fizierung ermöglichen. Zudem sollte es Ziel dieser Standards sein, die Anzahl der sortierten Fraktionen im Rahmen der Wirtschaftlichkeit zu erhöhen.

Zielsetzung ist hierbei eine Systematisierung über entstehende Abfälle/Zwischenprodukte; diese steigert die Möglichkeiten des Materialpoolings, der Weiterverwendung und der ökonomischen und ökologischen Chancen für das Recycling. Eine Systematisierung der entstehenden Abfälle und Zwischen-/Nebenprodukte kann sowohl innerhalb einer Branche als auch übergreifend ökonomisch und ökologisch sinnvolle Stoffströme erzeugen.

Information, Kommunikation und Recyclingfähigkeit

Der Informationsbedarf in einer Kreislaufwirtschaft ist enorm. Um effizient zu sein und Lösungen auf hohem Niveau entwickeln zu können, ist ein erheblicher Umfang an Daten, Informationen und effektiver Kommunikation erforderlich. Hierzu braucht es dringend klarer, eindeutiger Randbedingungen und Definitionen. Dem erhöhten Informationsbedarf wird man durch gänzlich andere Ansätze der Informationsgewinnung, -bereitstellung, -verarbeitung und -sicherung Rechnung tragen müssen, als wir das heute kennen, will man das Recycling auf die nächste Entwicklungsstufe heben. Hierzu gehört allem voran die konsequente Digitalisierung. Es sei an dieser Stelle prognostiziert, dass sich nicht nur die Sortiertechnik in den kommenden 10 bis 15 Jahren grundlegend wandeln wird.

Sollte eine erhöhte Interoperabilität zu technischen Lösungen führen, die gleiche Materialien verwenden, wären Normen vorteilhaft, die auf die Zurverfügungstellung dieser Informationen abzielen. Die unter Anwendung dieser Normen generierten Informationen hätten einen Mehrwert für die Recyclingfähigkeit. Hervorzuheben ist der reine Bezug zu den Materialien. Zur Sicherstellung eines fairen Wettbewerbs dürfen diese Normen die Designfreiheit der herstellenden Unternehmen nicht einschränken und Innovationsprozesse damit verlangsamen.

Abhängig von der Qualität des aufbereiteten Wertstoffes und der gewählten Prozessstruktur wird eine spezifische Ausbringung für jede Recyclinginfrastruktur für ihr Zielprodukt erwartet. Nebenströme können allerdings wiederum in dafür spezialisierte Recyclinganlagen gelangen und die Gesamtverwertung aus Sicht des Wertstoffes ergänzen. Beispielsweise ist bei einer Recyclinganlage für Getränkeflaschen das PET im Fokus, während Sleeves und Kappen in jeweils dafür spezialisierte Anlagen gelangen. Es sind daher bei der Festlegung ei-

ner Gesamtverwertungsquote die Kaskade der verschiedenen Prozesse sowie deren spezifische Ausbeute in der Kalkulation zu berücksichtigen. Ausgeschleuste Kontaminanten, sofern sie nicht weiter recycelt werden, sowie energetisch genutzte Anteile sollen nicht zu einer Verwertungsquote hinzugerechnet werden. Zudem müssen auch die Entfernung bzw. Verbleib von Kontaminanten aus den jeweiligen Recyclingverfahren in den Bilanzierungsmethoden berücksichtigt werden.

Kommen Verfahren zum Einsatz, bei denen das Material mit anderen Stoffströmen gemischt wird und es am Produkt nicht erkennbar ist, aus welcher Quelle das Material stammt, so muss die Berechnungsmethode der Ausbringungsrate festgelegt werden. Hat die Anreicherung des Recyclingrohstoffes z. B. mit virginem Material einen Einfluss auf die Verarbeitbarkeit des Materials und die Ausbringungsrate des Prozesses, so muss dies in der Berechnungsmethode berücksichtigt werden. Werden Zwischenprodukte erzeugt, soll die Ausbeute anhand der resultierenden Menge in den nachfolgenden Prozessschritten ermittelt werden. Werden die Stoffe nicht zur Erzeugung der ursprünglichen Anwendung verwendet, so sollen diese im Sinne der Circular Economy von der Berechnung ausgeschlossen werden.

Erfassung und Bewertung von Substanzen und Recyclingfähigkeit

Werkstoffe werden in der Regel mit Zuschlagstoffen ausgerüstet, um bestimmte Anforderungen zu erfüllen. Hierzu können Flammschutzmittel zählen, UV-Stabilisatoren, Antioxidantien, aber auch Farbstoffe oder Oberflächenmodifikatoren und vieles mehr [312]. Diese werden der Neuware zugesetzt, um die produktspezifischen Anforderungen zu erfüllen. Beim Recycling kommen erschwerend noch undefinierbare Verschmutzungen z. B. durch organische Anhaftungen oder nicht vollständig entleerte Gebinde hinzu. Auch hierzu besteht ein Informationsbedarf, der sich auf die Recyclingfähigkeit auswirkt.

Im Bereich der Rezyklate fehlen zurzeit Normen, die die Prüfung von Non-intentionally added Substances (NIAS) als Störstoffe regeln. Daher unterscheiden sich die Analysemethoden und Ergebnisse unterschiedlicher Prüflabore teilweise stark. Geregelt werden müssen an dieser Stelle sowohl die Analyseverfahren (Probenvorbereitung, Probenaufarbeitung und instrumentelle Anforderungen an die Gerätschaft) als auch die zu analysierenden Substanzen, deren Identifikation inklusive Grenzwerten über Schadstofflisten, die material- und/oder anwendungsspezifisch sein können. Dem Normungsbedarf ist hier ein Forschungsbedarf vorgelagert.

Aufgrund der Anzahl der möglichen Substanzen ist hier eine geschickte, wissenschaftlich gesicherte Substanzliste im Sinne von Surrogaten sinnvoll, um den Aufwand wirtschaftlich tragbar zu halten.

Entsprechendes gilt für REACH [73]: Unternehmen müssen die Risiken der von ihnen in Verkehr gebrachten Stoffe und Produkte identifizieren und beherrschen. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, den zielführenden Einsatz von Rezyklaten zur Schaffung eines zirkulären Kreislaufs, welche diese Werte einhalten, nicht durch zu hohe Prüf- und Nachweishürden zu behindern. Ein erhöhter Schadstoffeintrag durch die Verwendung von Rezyklaten soll weiterhin ausgeschlossen werden. Es ist eine Lösung zu finden, welche diese beiden Ziele berücksichtigt.

Da aufgrund der End-of-Waste-Problematik Entsorgende den Schritt eben vom Entsorgenden zum Rohstoffherstellenden vollziehen, bekommt dieses Thema eine bedeutende Relevanz. Auch der Umgang mit Stoffen aus langlebigen Produkten, die bei der Herstellung erlaubt, heute verboten, aber dennoch im Stoffstrom enthalten sind, sollte z. B. durch einen harmonisierten Standard geregelt werden.

Ausblick

Die Recyclingfähigkeit ist allein ihrem Namen nach einer der entscheidenden Punkte in der Schaffung einer Circular Economy. Die Bearbeitung der fünf ausgeführten Schlüsselthemen hat – wie auch die anderen vier genannten Querschnittsthemen – wesentlichen Einfluss auf die Anhebung der Qualität von Rezyklaten und damit auf das Vertrauen der Märkte in diese Rezyklate. Hiermit geht ein kaum zu überschätzender Bedarf an schnell sowie dauerhaft und zuverlässig verfügbaren Daten und Informationen einher, angefangen bei den Verbrauchenden vor der Mülltonne, der zur richtigen Zeit die für ihn richtigen Informationen zur Sammlung/Trennung braucht, über Demontage- und/oder Reparaturbetriebe bis zum Recycler eines 20 Jahre alten Bauteils, der Angaben zu damals zugegebenen Substanzen braucht. Die allermeisten dieser Informationen sind auf klassischem Wege allein nicht mehr bereitzustellen, schon gar nicht in der erforderlichen Zeit. Hier dürfte ein DPP mit der dahinterstehenden – gewaltigen – IT-Infrastruktur der entscheidende Teil der Lösung sein. Diese Lösung ist nur mit geeigneten Normen und Standards zu erreichen.

Übersicht Normungsbedarfe zu „Recyclingfähigkeit“

Schwerpunktthemen	Digitalisierung/ Geschäftsmodelle Management/	Elektro- technik & IKT	Batterien	Verpackungen	Kunststoffe	Textilien	Bauwerke & Kommunen
Normungsbedarfe	1.3	2.3	3.15	4.1	5.6	6.3	7.1
		2.4	3.16	4.2	5.10	6.4	7.6
		2.11	3.17	4.3	5.15	6.7	7.14
		2.12		4.4	5.20	6.10	
		2.15		4.5	5.22	6.13	
		2.17		4.6	5.23	6.26	
		2.21		4.7	5.24	6.27	
		2.34		4.8	5.25	6.28	
		2.36		4.12	5.26	6.29	
		2.37		4.17	5.28	6.30	
		2.28		4.18	5.35	6.31	
		2.40		4.20	5.37	6.32	
		2.41		4.21	5.38		
		2.42		4.22			
				4.23			
				4.24			
			4.25				
			4.26				
			4.27				
			4.28				

4

Ausblick



4.1 Umsetzung der aktuellen Normungsbedarfe und Betrachtung weiterer Branchen und industrieller Sektoren

Bei der Erreichung der Ziele des Green Deals und des Klimaschutzgesetzes 2021 kommt der Circular Economy eine besondere Bedeutung zu. Um die ambitionierten Klimaschutzziele zu erreichen, werden jetzt neue und überarbeitete Technische Regeln für das zirkuläre Wirtschaften benötigt. Die Normungsroadmap Circular Economy legt hierfür den Weg fest und treibt so die grüne Transformation Deutschlands und Europas voran. Auch im Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP „Mehr Fortschritt wagen“ [1] heißt es: „In einer ‚Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie‘ bündeln wir bestehende rohstoffpolitische Strategien. Auf dieser Grundlage setzen wir uns in der EU für einheitliche Standards ein.“

Mit der Erarbeitung dieser Normungsroadmap wurde ein vielfältiges deutsches Meinungsbild für zukünftige Normungsaktivitäten im Kontext der Circular Economy geschaffen. Die diskutierten Herausforderungen der Beteiligten führten zu Normungsbedarfen mit unterschiedlichen Detailgraden und Verbindungen zu bereits bestehenden Normungsaktivitäten. Diese unterschiedlichen Ergebnisse der Normungsroadmap erfordern verschiedene Ansätze/Maßnahmen für die Umsetzung. So ist zum Teil eine klare Zuordnung zu bestehenden Normungsgremien möglich und Bedarfe können dort mit den relevanten Mitwirkenden kurzfristig bewertet und auf nationaler, europäischer oder internationaler Ebene in konkrete Normungs- und Standardisierungsaktivitäten überführt werden. Für andere Bedarfe sind weitere Maßnahmen wie Workshops notwendig, um die Bedarfe zu konkretisieren und weitere wichtige Beteiligte einzubeziehen.

Ein wichtiger Aspekt hierbei ist das Zusammenbringen von Beteiligten aus den Normungsgremien und den bisher Normungsfremden, die an der Erarbeitung der Roadmap mitgewirkt haben. Hier erschließt sich ein großer Hebel, um die erarbeiteten nationalen Interessen europäisch und international zu verbreiten und Normen zu schaffen, die der deutschen Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft einen Wettbewerbsvorteil bieten. Dies ist von entscheidender Bedeutung, denn Normen und Standards entwickeln diejenigen, die sie später anwenden.

Die Normungsroadmap Circular Economy stellte sieben Schwerpunktthemen in den Mittelpunkt, die sich an den Fokusthemen des Circular Economy Action Plans der Europäischen Kommission orientierten [4]: Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management, Elektrotechnik & IKT, Batterien, Verpackungen, Kunststoffe, Textilien sowie Bauwerke und Kommunen. Das Thema Circular Economy ist natürlich in zahlreichen weiteren Branchen und industriellen Sektoren wie Mobilität, Energie, Finanzdienstleistungen von essenzieller Bedeutung und Bestandteil von Zukunftsstrategien. Deshalb werden im Jahr 2023 nicht nur die identifizierten Normungsbedarfe umgesetzt, sondern es werden auch weitere Schwerpunktthemen und deren Beteiligte identifiziert und mit verschiedenen Maßnahmen wird auch hier der Weg von den Herausforderungen zu konkreten Normungsaktivitäten gemeinsam beschritten.

4.2 Von der industriepolitischen zur gesamtgesellschaftlichen Agenda der Circular Society

Kritische Auseinandersetzungen mit Circular-Economy-Ansätzen betonen, dass diese häufig als ökologische Modernisierung konzipiert sind, die auf einer am quantitativen Wirtschaftswachstum orientierten Auslegung von Fortschritt beruhen. Fragen der sozialen und kulturellen Nachhaltigkeit, der sozialen Teilhabe, der globalen Gerechtigkeit oder eines erweiterten Verständnisses von Wohlstand und Lebensqualität bleiben dagegen weithin unberücksichtigt [313]. Der Begriff Circular Society oder Kreislaufgesellschaft wird von verschiedenen Beteiligten in Forschung und Praxis benutzt, um Diskurse und Ansätze zu bezeichnen, die über eine hauptsächlich technologisch und ökonomisch orientierte Fortschrittsperspektive hinaus gehen und den Übergang zu Zirkularität in einem erweiterten Sinne als tiefgreifende sozial-ökologische Transformation verstehen.

Im Einklang mit der Agenda 2030 der Vereinten Nationen und den 17 Nachhaltigkeitszielen fallen bei der Transformation zu einer Circular Society Normung und Standardisierung wesentliche Aufgaben zu: Sie unterstützen die Erreichung wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und ökologischer Ziele, die, basierend auf Prinzipien der Zirkularität und Nachhaltigkeit, dazu beitragen, die Produktions- und Konsumsphäre grundlegend umzugestalten. Dabei stellt sich in Bezug auf Normung und Standardisierung folgende gesellschaftspolitische Frage: Ist weiterhin eine hauptsächlich an wirtschaftlichem Wachstum ausgerichtete industriepolitische Agenda

leitend oder sollte sich Normung – wie dies zuletzt von verschiedenen Seiten für die Innovationspolitik bereits eingefordert wurde – an einer missionsorientierten bzw. sozial-ökologischen Transformationsagenda orientieren? [314]

Normungsvorhaben im Kontext der Zirkularität müssen Normen und Standards entwickeln, die Methoden, Technologien und Werkzeuge bereitstellen, die, orientiert an einer ressourcenschonenden Kultur des Wirtschaftens, signifikante Reduktionen (Refuse, Suffizienz) in der Nutzung von Ressourcen erreichen. Entsprechende Normen und Standards sollten zudem Grundlagen dafür legen, dass die Entwicklungsprozesse von Produkten transparenter und inklusiver gestaltet werden. So können zukünftige Nutzende der Produkte in die Lage versetzt werden, selbst dazu beizutragen, wo immer möglich, die Lebensdauer von Produkten zu verlängern (Reparatur, Do-it-Yourself, Upcycling). Normen und Standards können auch neue Wege und Formen der öffentlichen Beteiligung an Produktionsprozessen eröffnen und zur Bildung von Produktions- und Nutzungsgemeinschaften beitragen (z. B. Normen zur Gestaltung von Open Source von Firmware). Beispielsweise könnten Nutzenden-Befragungen, Fokusgruppen oder Living Labs in den Prozess integriert werden, um die Bedürfnisorientierung von Produkten und Dienstleistungen zu erhöhen und die Kompetenzen der Nutzenden zu stärken.

Es wird deutlich, dass der Normungsbedarf einer Circular Society weit über die R-Strategien hinausgeht und auch eine Herausforderung für den Normungsprozess als solchen darstellt. Nichtstaatliche Regelsetzer wie DIN, DKE und VDI bieten mit ihrer Struktur und Arbeitsweise große Potenziale für eine auf breiter Beteiligung und Unterstützung beruhende, Konsens-basierte Anpassung technischer und prozessualer Systeme. So wird für den Aufbau einer Circular Society von entscheidender Bedeutung sein, dass Beteiligte aus allen Wertschöpfungsphasen in der Normung repräsentiert sind, dass regenerative und reproduktive Belange gegenüber den produktiven gestärkt werden und die Mitarbeit betroffener Fachleute aus nicht industriellen Sektoren unterstützt wird.

Anhang und Verweise

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
B2B	Business 2 Business
B2C	Business 2 Customer
BattG	Batteriegesetz
BattVO	Batterieverordnung
BESS	Batterie-Energiespeichersystem (engl.: battery energy storage system)
BMS	Batterie-Management-System
BNB	Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauen
CDD	Common Data Dictionary
CED	Circular Economy Design
CPD	Circular Product Design
CSRD	Corporate Sustainability Reporting Directive
D4C	Design 4 Circularity
D4R	Design 4 Recycling
DPP	Digitaler Produktpass
DT	Digitaler Zwilling (engl.: Digital Twin)
EFRAG	European Financial Reporting Advisory Group
ElektroG	Elektro- und Elektronikgerätegesetz
EoL-Phase	End-of-Life-Phase
EPD	Environmental Product Declaration
EPR	Extended Producer Responsibility
EPREL	Europäische Produktdatenbank für die Energieverbrauchskennzeichnung
ESRS	European Sustainability Reporting Standards
EV	Batteriefahrzeug (engl.: Electric Vehicle)
EVOH	Ethylvinylalkohol
GRP	Gebäuderessourcenpass
GWP 100	Global Warming Potential, Zeithorizont von 100 Jahren

Abkürzung	Bedeutung
IDIS	International Dismantling Information System
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IMDS	International Material Data System
IR/NIR	Infrarot/Nahinfrarot
IR/NIR-Sortierung	Infrarot/Nahinfrarot-Sortierung
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KRA	Ressourceneffizienz-Kumulierter Rohstoffaufwand
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Costing
LCT	Life Cycle Thinking
LkSG	Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz
LLDPE	Linear low-density polyethylene
LMT	leichte Verkehrsmittel (engl.: light means of transportation)
MCI	Material Circularity Indicator
MFA	Material-Flow-Analyse
MFCA	Material Flow Cost Analysis
NIAS	Non-intentionally added Substances
PA	Polyamide
PBT	Polybutylenterephthalat
PC	Polycarbonate
PCR	Product Category Rules
PE	Polyethylen
PEF	Product Environmental Footprint
PET	Polypropylen
PP	Polyethylenerephthalat
PSA	Persönliche Schutzausrüstung

Abkürzung	Bedeutung
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinylchlorid
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
REACH	Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (engl.: Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)
RoHS	Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten
SCIP	Substances of Concern In articles as such or in complex objects (Products)
SDGs	Sustainable Development Goals
sLCA	Social Life Cycle Assessment
SoH	Zustand (engl.: State of Health)
SPI	Sustainable Product Initiative
VOC	Volatile Organic Compounds
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WEEE	Elektro- und Elektronikgeräte-Abfall
XaaS	Everything-as-a-Service

Glossar

Wo keine Quelle angegeben ist, stammt die Beschreibung vom verfassenden Team dieser Normungsroadmap.

Schwerpunkthema	Benennung	Definition
Textilien	(Endlos-) Filament	eine Faser von sehr großer Länge, die als endlos angesehen wird [331]
Batterien	2nd Life Wiederverwendung	thematisiert zusätzlich Alterungserscheinungen/Degradation der Batterien, die in Betracht gezogen werden müssen. Dies gilt insbesondere für sicherheitsrelevante Aspekte [50]
Elektrotechnik & IKT Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management Textilien	Abfall	jeder Stoff oder Gegenstand, dessen sich sein Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss [47]
Elektrotechnik & IKT	Abfallverwertung (Verwertung)	jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie andere Materialien ersetzen, die ansonsten zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen [320]
Batterien	Batterie- managementsystem BMS	elektronisches System, das mit einer Batterie verbunden ist, mit den Funktionen der Regelung des Stroms im Falle von Überladung, Überstrom, Tiefentladung und Überhitzung, und das den Zustand der Batterie überwacht und/oder verwaltet, sekundäre Daten berechnet, diese Daten berichtet und/oder ihre Umgebung steuert, um die Sicherheit, Leistung und/oder Lebensdauer der Batterie zu beeinflussen [321]
Batterien	Batteriepack	Energiespeichervorrichtung, die aus einer oder mehreren elektrisch verbundenen Zellen oder Modulen besteht und eine Überwachungsschaltung aufweist, die Informationen (z. B. Zellspannung) an ein Batteriesystem liefert, um die Sicherheit, Leistung und/oder Lebensdauer der Batterie zu beeinflussen [321]
Batterien	Batteriesystem	System, das eine oder mehrere Zellen, Module oder Batteriepacks umfasst und ein Batteriemanagementsystem aufweist, das in der Lage ist, den Strom im Falle von Überladung, Überstrom, Tiefentladung und Überhitzung zu steuern [321]
Textilien	biologische Abbaubarkeit (biologisch abbaubares Material)	Material, das in der Lage ist, während eines bestimmten Zeitraums einem biologischen aeroben oder anaeroben Abbau zu durchlaufen, der in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen des Prozesses zu einer Freisetzung von Kohlenstoffdioxid und/oder Biogas und Biomasse führt [226]
Textilien	Cellulose- regeneratfaser	Fasern, die aus natürlich vorkommenden Cellulosepolymeren hergestellt werden, wobei eine Verarbeitung durch Auflösen erforderlich ist, um sie in eine Faserform umzuwandeln [226]

Schwerpunkthema	Benennung	Definition
	Circular Economy Kreislaufwirtschaft	Wirtschaft, die bewusst erhaltend und regenerierend gestaltet ist und darauf abzielt, die Gebrauchstüchtigkeit und den Wert von Produkten, Komponenten und Werkstoffen stets zu maximieren, wobei zwischen technischen und biologischen Kreisläufen unterschieden wird [8]
Textilien Kunststoffe Verpackungen	closed loop (System mit geschlossenem Kreislauf)	System, bei dem Produkte, Bauteile und Materialien verwendet und anschließend zurückgewonnen und auf unbestimmte Zeit in neue Produkte umgewandelt werden, ohne ihre inhärenten Eigenschaften zu verlieren [Quelle [226] modifiziert – Textilprodukt durch Produkte, Bauteile und Materialien ersetzt]
Kunststoffe Verpackungen	Design from Recycling	Design, Konstruktion und Verarbeitung für Produkte aller Branchen, die von vornherein aus Rezyklaten oder mit möglichst hohen Rezyklatanteilen gefertigt werden sollen
Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management Elektrotechnik & IKT Verpackungen	Digitaler Zwilling	ein Konzept, mit dem Produkte sowie Maschinen und ihre Komponenten mit Hilfe Digitaler Werkzeuge modelliert werden, und zwar einschließlich sämtlicher Geometrie-, Kinematik- und Logikdaten. Abbild des physischen ‚Assets‘ in der realen Fabrik und erlaubt dessen Simulation, Steuerung und Verbesserung [340]
Kunststoffe Verpackungen Bauwerke und Kommunen	Downcycling	Herstellung von recyceltem Material, die einen geringeren wirtschaftlichen Wert oder eine geringere Qualität als das ursprüngliche Produkt haben [226]
Textilien	Faser Textilfaser	ein Erzeugnis, das durch seine Flexibilität, seine Feinheit und seine große Länge im Verhältnis zum Höchstquerschnitt gekennzeichnet ist und sich somit zur Herstellung von Textilerzeugnissen eignet [238]
Textilien	Fast Fashion	Geschäftsmodell der Textilwirtschaft bei dem viele Kollektionen in kurzen Abständen zu niedrigen Preisen produziert und vermarktet werden
Elektrotechnik & IKT Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management Textilien	Funktionsbeständigkeit (durability) Haltbarkeit Langlebigkeit	Fähigkeit, unter bestimmten Nutzungs-, Wartungs- und Reparaturbedingungen nach Bedarf zu funktionieren, bis ein eingeschränkter Zustand erreicht ist [318]
Textilien	Garn	linienförmiges Gebilde, das aus textilen Faserstoffen (Spinnfasern, Filamente oder Bändchen siehe DIN 60001 Teil 2) hergestellt ist [327]
Textilien	Garnveredlung Flächenveredlung Bekleidungsveredlung (Textilveredlung)	chemische oder mechanische Einwirkung auf eine Textilie, z. B. Färben, Bleichen, Entschlichten, Bedrucken sowie ein Auftragen zur Erzielung eines festgelegten Aussehens (z. B. gebürstet), einer bestimmten Griffigkeit (Weichheit und Faltenwurf), einer bestimmten Qualität (z. B. Gewebestabilität) oder einer bestimmten funktionellen Ausrüstung (z. B. dauerhafte Wasserabweisung, Antifilzbehandlung, Pflegeleichtigkeit) auf die Textilie [226]

Schwerpunkthema	Benennung	Definition
Textilien	Geotextilien	gewobene, nicht gewobene oder geknüpft durchlässige Textilien für die Anwendung im Ingenieurbau und vergleichbaren Bereichen und üblicherweise aus synthetischen Materialien (wie Polypropylen) jedoch auch aus natürlichen Materialien hergestellt [334]
Textilien	Gewebe	ein textiles Flächengebilde, das (durch Weben auf einem Handwebstuhl oder einer Webmaschine) hergestellt wird durch Verkreuzung von Kettfäden mit Schußfäden normalerweise im rechten Winkel zueinander [329]
Textilien	Gewirk (Gestricke und Gewirke)	Flächengebilde, die aus einem oder mehreren Fäden oder aus einem oder mehreren Fadensystemen durch Maschenbildung hergestellt sind [328]
Textilien Kunststoffe	Greenwashing	unbegründete oder irreführende Behauptung über die positiven oder negativen Umweltaspekte eines Produkts, einer Dienstleistung, Technologie oder Unternehmenspraxis [337]
Elektrotechnik & IKT	harmonisierte Norm	eine Norm, die von einem der in Anhang I der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft aufgeführten europäischen Normungsgremien auf der Grundlage eines Ersuchens der Kommission nach Artikel 6 der Richtlinie 98/34/EG erstellt wurde [109]
Elektrotechnik & IKT Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management	Komponente	Hardwarekomponente eines Produkts, die ohne Zerstörung oder Beeinträchtigung ihrer bestimmungsgemäßen Verwendung nicht entfernt werden kann [319]
Elektrotechnik & IKT	kritischer Rohstoff CRM (en: critical raw material)	Materialien, die nach einem definierten Klassifizierungsverfahren ökonomisch wichtig sind und mit deren Bereitstellung ein hohes Risiko verbunden ist [317]
Textilien	Kunstfaser	durch Umwandlung natürlicher Polymere (in der Natur vorkommendes makromolekulares Material) hergestellte Faser [332]
Textilien Kunststoffe Querschnittsthemen Bauwerke und Kommunen Elektrotechnik & IKT Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management	Lebensende Ende der Nutzungsdauer Ende der Lebensdauer EoL	Lebenswegphase eines Produkts, wenn ein ordnungsgemäßes Abfallmanagement für entsorgte Endverbraucherprodukte eingesetzt wird [336] Aber auch: Phase im Lebensweg eines Produkts, die zum Zeitpunkt der Entfernung des Produkts aus seiner bestimmungsgemäßen Verwendungsphase beginnt [320]

Schwerpunkthema	Benennung	Definition
Kunststoffe Querschnittsthemen	Life Cycle Costing (LCC) Lebenszyklus-Kostenrechnung (Lebenswegkostenrechnung)	Methode zur Berechnung der Kosten von Waren oder Dienstleistungen während ihres gesamten Lebenswegs [8]
Elektrotechnik & IKT	Material	Stoff oder Stoffgemisch in einem Produkt oder Bauteil [317]
Batterien	Modul	Gruppe von Zellen, die miteinander entweder in einer Reihen- und/oder einer Parallelschaltung verbunden sind, mit oder ohne Schutzeinrichtungen (z. B. Sicherung oder PTC) und Überwachungsschaltung [323]
Textilien	Naturfasern	Naturfasern sind die in der Natur vorkommenden Fasern; diese können entsprechend deren Ursprung in tierische Fasern, pflanzliche Fasern und Mineralfasern eingeteilt werden [330]
Textilien	Neu-Rohmaterial (neuer Rohstoff)	Material, das keiner anderen als der für seine ursprüngliche Herstellung erforderlichen Verwendung oder Verarbeitung unterzogen wurde [226]
Kunststoffe Textilien Verpackungen	Ökobilanzierung/ Lebenszyklusanalyse (LCA, Analyse jeglicher Wirkungskategorien)	Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges [80]
Textilien Kunststoffe Verpackungen	open loop (Recycling mit offenem Kreislauf)	System von Produkten, Bauteilen und Materialien, die mit einem geringfügigen Verlust an Reinheit oder Qualität in eine andere Materialkategorie oder Anwendung überführt werden [Quelle [226] modifiziert – erster Halbsatz ersetzt durch System von Produkten, Bauteilen und Materialien]
Textilien Kunststoffe	Post Industrial Abfall Post-Industrial waste (post-industrieller Abfall)	Materialien, die aus nicht vermeidbarem Abfall aus der Textilproduktion stammen [226]
Textilien Kunststoffe Verpackungen	Post-Consumer Abfälle Post-Consumer Waste (Endverbraucherabfall)	Ausdruck zur Beschreibung von Material, das der Endverbraucher des Produkts entsorgt hat, das den beabsichtigten Zweck bereits erfüllt hat oder nicht mehr zu gebrauchen ist (einschließlich Rückware innerhalb der Verteilungskette) [335]

Schwerpunkthema	Benennung	Definition
Textilien	Pre-Consumer Waste Pre-Consumer Abfälle (Textilien vor Gebrauch)	beschreibender Begriff, der das Produkt umfasst, bevor es den Kunden erreicht, z. B. klassenfremde, beschädigte oder veraltete Produkte; wird oft austauschbar mit postindustriellen Textilien verwendet [226]
Batterien	Primärzelle Primärbatterie nicht wiederauf- ladbarer Allzweck- Gerätebatterien	Zelle oder Batterie, die nicht dafür ausgelegt ist, nach der Entladung elektrisch wieder aufgeladen zu werden [324]
Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management	Produkt	Ergebnis von Arbeit oder eines natürlichen oder industriellen Prozesses [339]
Textilien Bauwerke und Kom- munen	Recyclinganteil recycled content (Rezyklatgehalt)	Massenanteil von recyceltem Material in Produkten. Als Rezyklatgehalt dürfen in Übereinstimmung mit der folgenden Verwendung der Begriffe nur Abfälle vor Gebrauch und Abfälle nach Gebrauch in Betracht gezogen werden [226]
Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management	Referenzarchitektur- modell Industrie 4.0, kurz RAMI 4.0	Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0, kurz RAMI 4.0, stellt als dreidimensionales Schichtenmodell eine grundlegende Architektur für Industrie 4.0 unter Verwendung eines ausgeklügelten Koordinatensystems dar [74]
Textilien Elektrotechnik & IKT	Reparierbarkeit Reparierfähigkeit (Reparaturfähigkeit)	Eigenschaft eines Textilprodukts, die es ermöglicht, alle oder einige seiner Teile getrennt zu reparieren oder zu ersetzen, ohne das gesamte Produkt ersetzen zu müssen [226]
Textilien Kunststoffe	Schadstoff, Verun- reinigung, z.T auch Störstoff (Kontamination)	unerwünschte Substanz oder unerwünschtes Material [335]
Batterien	Sekundärbatterie wiederaufladbare Batterie	Zelle, vorgesehen für ein elektrisches Wiederaufladen [325]
Elektrotechnik & IKT	Substanz	chemische Elemente und ihre Verbindungen in natürlicher Form oder gewonnen durch ein Herstellungsverfahren, einschließlich der zur Wahrung der Produktstabilität notwendigen Zusatzstoffe und der durch das angewandte Verfahren bedingten Verunreinigungen, aber mit Ausnahme von Lösemitteln, die von dem Stoff ohne Beeinträchtigung seiner Stabilität und ohne Änderung seiner Zusammensetzung abgetrennt werden können [317]
Textilien	Synthesefaser (Chemiefaser)	Faser, die durch ein Herstellungsverfahren erhalten wird [333]

Schwerpunkthema	Benennung	Definition
Textilien	Textilerzeugnis Textilprodukt Textil	ein Erzeugnis, das im rohen, halbbearbeiteten, bearbeiteten, halbverarbeiteten, verarbeiteten, halbkonfektionierten oder konfektionierten Zustand ausschließlich Textilfasern enthält, unabhängig von dem zur Mischung oder Verbindung angewandten Verfahren [238]
Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management Kunststoffe	Upcycling	Verfahren zur Umwandlung von Abfallprodukten in neue Materialien, die einen höheren wirtschaftlichen Wert oder eine höhere Qualität haben als das ursprüngliche Produkt [226]
Elektrotechnik & IKT	Upgrade Upgradeability	Prozess der Steigerung der Funktionalität, Leistung, Kapazität oder Ästhetik eines Produkts [338]
Elektrotechnik & IKT	Verschleiß (Verschleißausfall)	Ausfall aufgrund kumulativer Verschlechterung verursacht durch Beanspruchung in der normalen Verwendung [318]
Textilien	Vliesstoffherstellung (Vliesstoff)	technisch hergestelltes, vorrangig flächiges Gebilde aus Fasern, dem durch physikalische und /oder chemische Mittel ein festgelegter Grad an Festigkeit verliehen wurde; mit Ausnahme von Weben, Stricken oder Papierherstellung [326]
Batterien	Zelle	funktionelle Grundeinheit, die aus einer Anordnung von Elektroden, Elektrolyt, Behälter, Anschlüssen und üblicherweise Separatoren besteht und eine Quelle elektrischer Energie durch direkte Umwandlung von chemischer Energie darstellt [322]
Textilien	Zuschnittabfälle Schnittabfälle Produktionsabfälle (Abfall aus der Textilverarbeitung)	Substanzen oder Gegenstände aus der Textilindustrie, die der Eigentümer für die Entsorgung vorgesehen hat oder die er entsorgen muss [226]
Elektrotechnik & IKT	Zuverlässigkeit (reliability)	Wahrscheinlichkeit, dass ein Produkt unter den gegebenen Bedingungen, einschließlich der Wartung, für einen bestimmten Zeitraum ohne einschränkendes Ereignis wie erforderlich funktioniert [318]

Autor*innenverzeichnis

Arbeitsgruppenleitungen

Joachim Felix Aigner, W. L. Gore & Associates GmbH

Peter Bartel, Circular Economy Solutions GmbH

Prof. Dr. Andrea Büttner, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV

Dr. Edith Claßen, Hohenstein Institut für Textilinnovation GmbH

Dr. Jens Giegerich, Vorwerk & Co. KG

Prof. Dr. Peter Jehle, Technische Universität Dresden

Prof. Andrea Klinge, Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, ZRS Architekten Ingenieure

Nicole Kösegi, solutions for business

Prof. Dr. Horst-Christian Langowski, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV

Dr. Harald Lehmann, REMONDIS Recycling GmbH & Co. KG

Mario Malzacher, circular.fashion UG

Dr. Christian Rosenkranz, Clarios Germany GmbH & Co. KG

Prof. Eike Roswag-Klinge, Technische Universität Berlin, ZRS Architekten Ingenieure

Dr. Moritz-Caspar Schlegel, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Dr. Madina Shamsuyeva, Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik, Leibniz Universität Hannover (LUH)

Dr. Henning Wilts, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Unterarbeitsgruppenleitungen

Holger Alwast, Alwast Consulting

Prof. Dr. Gesa Beck, Institut für Angewandte Ressourcenstrategien, SRH Berlin University of Applied Science

Karlheinz Blay, SGS Institut Fresenius

Agnes Bünemann, cyclos GmbH

Martin Doedt, Kunststoff-Institut Lüdenscheid

Charlotte Dorn, Technische Universität Dresden

Prof. Dr. Hans-Josef Endres, Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik, Leibniz Universität Hannover (LUH)

Prof. Dr. Jürgen Graf, Technische Universität Kaiserslautern

Christiane Grünewald, TÜV SÜD Product Service GmbH

Monica Harting Pfeifer, REMONDIS Recycling GmbH & Co. KG

Ansgar Hoffmann, HOFFMANN + VOSS GmbH

Karsten Hunger, Industrieverband Papier- und Folienverpackung e. V. (IPV)

Dr. Achim Ilzhöfer, Covestro AG

Dr.-Ing. Stephan Kabasci, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Prof. Maren Kohaus, Bayerische Architektenkammer, Technische Hochschule Rosenheim, sustainable architecture GmbH

Monika Korbmann, Duale Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe

Dr. Jan Kortmann, Technische Universität Dresden

Johannes Leis, Sächsisches Textilforschungsinstitut e. V.

Kathrin Lenz, SEA ME GmbH

Holger Lühn, Kautex Textron GmbH & Co. KG

Klaus Meyer, Energie Impuls OWL e. V.

Dr. Julia Migenda, BASF SE

Tom Ohlendorf, WWF Deutschland

Dr. Anika Oppermann, Mehrwegverband Deutschland e. V., shafuto

Dr. Susanne Pankov, DFGE Institute for Energy, Ecology and Economy

Jörg Rodehutsors, Innovation Campus Lemgo e. V.

Klemens Sattlegger, XIPHOO GmbH

Gabi Schock, Umweltberatung Gabi Schock

Carolin Senkel, Technische Universität Dresden

Nicole Seyring, circulatemore

Henning H. Sittel, Effizienz-Agentur NRW

Dieter Stellmach, Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF)

Sebastian von Oppen, Bundesarchitektenkammer e. V.

Jenny Walther-Thoß, Berndt+Partner Consultants GmbH

Dr. Karl-Anders Weiß, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Reinhard Weissinger, Universität Genf

Ingomar Welke, Greenance

Rainer Zies, MKV GmbH Kunststoffgranulate

Iris Zwickel-Bakker, CPV Circular Performance & Verification

Weitere Autor*innen

Thomas Ahlmann, Dachverband FairWertung e. V.

Levke Albertsen, Stiftung KlimaWirtschaft

Lore Ameel, Concular GmbH

Florian Andrews, Grüner Hering – Agentur für Circular Economy

Thomas Anton, Hochschule Trier – Umwelt Campus Birkenfeld

Fabian Anzmann, HKI – Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e. V.

Alexander Appel, MHP Management und IT-Beratung GmbH

Prof. Dr. Vasiliki-Maria Archodoulaki, Technische Universität Wien

Dr. Bastian Bach, Siemens AG

Daniel Bahro, EnBW Energie Baden-Württemberg AG

Dr. Sandra Balzereit, ALBIS Distribution GmbH & Co. KG

Maximilian Bannasch, circolution GmbH

Andreas Bastian, plastship GmbH

Ralf Benecke, sonnen GmbH

Alexandra Berendes, reCup GmbH

Anna Bergmann, reCup GmbH

Iris Berneder, TÜV SÜD AG

Jürgen Bertling, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik

Anton Berwald, Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM

Tobias Bielenstein, Arbeitskreis Mehrweg GbR

Stefanie Bierwirth, DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Prof. Stephan Birk, Technische Universität München

Dr. Petra Blumenroth, Bayern Innovativ GmbH

Anna Blunck, Avocado Store GmbH

Dr. Ralph Boch, Hans Sauer Stiftung & Circular Society Roadmap Team

Michel Böhm, GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e. V.

Tillmann Böhme, HolyPoly GmbH

Boris Böhme, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Pamela Böhmke, PerZero Stiftung & Co. KG

Janik Bollé, IVK-Industrieverband Klebstoffe e. V.

Evelin Bong, FALKE KGaA

Dr. Anne Bonhoff, UL GmbH (UL Solutions)

Simone Boyles, Duni Group

Stefanie Brauer, Forum MedTech Pharma e. V.

Manfred Braun, Schneider Electric GmbH

Michael Braun, Medienhaus Waltrop

Julia Breidenstein, HUMANA Kleidersammlung GmbH

Dr. Frank Brozowski, Umweltbundesamt

Dr. Tim Brückmann, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik

Dr. Andreas Bruckschen, BDE Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaft e. V.

Prof. Dr. Lennart Brumby, DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg

Bianca Brunke, DMK Deutsches Milchkontor GmbH

Robert D. Brunner, B´IMPRESS

Prof. Dr. Roman Brylka, THE GREEN BRIDGE Ingenieurgesellschaft mbH

Rainer Buchholz, Wirtschaftsvereinigung Metalle e. V.

Ina Budde, circular.fashion UG

Dr. Frauke Bunzel, Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI

Erik Bunzel, GOLDBECK GmbH

Katrin Büscher, ASA e. V. Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung

Dr. Rolf Buschmann, International Association for Sustainable Building an Living – natureplus e. V.

Dominik Campanella, Concular GmbH

Arne Campen, Apple GmbH

Dr. Alessio Campitelli, Technische Universität Darmstadt

Prof. Evelyn Canelas-Santiesteban, Universidad Privada Boliviana

Dr. Caroline Cassignol, Siemens AG

Dr. Bahar Cat-Krause, bck2planet

Dr. Mohammad Chehadé, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen

Sylvi Claußnitzer, Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e. V.

Tim Cramm, Flughafen Berlin Brandenburg GmbH

Prof. Dr. Rainer Dahlmann, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen

Sebastian Daus, FixFirst – Prodisfy UG

Jan de Meer, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, smartspacelab.eu GmbH

Ute Dechantsreiter, Dipl.-Ing. Architektin Ute Dechantsreiter Architekturbüro für nachhaltiges Bauen

Sascha Dechow, Talado Recycling GmbH

Gustav Dengel, Jokey SE

Prof. Dr. Michael Denzer, Hochschule Biberach

Kamelia Detig-Karlou, BMW AG

Marc Diefenbach, rhinopaq

Dr. Stefan Dirlich, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V.	Birgit Essling, Lippe zirkulär, Kreis Lippe
Thomas Dittrich, Beratung Normung und Gefahrgut	Helen Yi Fabian, Panasonic R&D Center Germany GmbH
Dr. Alice do Carmo Precci Lopes, Technische Universität Darmstadt	Alexandra Fabricius, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik
Merle Doliwa, Implement Consultin Group	Leonie Feist, Phoenix Contact Gruppe
Michael Dörnert, Hera GmbH & Co. KG	Prof. Dr. Sabine Flamme, Fachhochschule Münster
Bernd Dörre, European Pallet Association e. V. (EPAL)	Hermann Fraidling, HANS KOLB Wellpappe GmbH & Co. KG
Georg Dost, Polysecure GmbH	Dr. Christian Frank, SIKORA AG
Hagen Droste, droste consult	Gregor Franßen, Franßen & Nusser Rechtsanwälte PartGmbH
Chris Droste, Pöppelmann GmbH & Co. KG	Lorena Franz, GOLDBECK GmbH
Patrick Düren-Rost, Institut Feuerverzinken GmbH	Prof. Dr. Henning Friege, N ³ Nachhaltigkeitsberatung Dr. Friege & Partner
Danuta Dworaczek, Industrieverband Klebstoffe e. V.	Melanie Lisa Fürch, TEXAID Textilverwertungs-AG
Christian Dworak, BSH Hausgeräte GmbH	Susanne Gaksch, Siemens AG
Laura Echternacht, GS1 Germany GmbH	Creta Gambillara, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH
Prof. Dr. Silke Eckardt, Hochschule Bremen	Kai Garrels, ABB Asea Brown Boveri Ltd
Robert Eckert, FRIATEC Aktiengesellschaft	Dr. Jens Gayko, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik
Julia Eckert, Gesamtverband textil+mode	Dr. Anja Geburtig, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Andreas Ellenberger, QBE-ProSense GmbH	Dr. Frauke Germer, Hochschule Bremen
Dietmar Endres, TÜV SÜD Product Service GmbH	Tanguy Gernigon, Deutscher Textilreinigungsverband -DTV- e. V.
Alexandra Engelt, DIN Deutsches Institut für Normung e. V.	Andreas Gessner, Siemens Mobility
Heiner Englisch, Röchling SE & Co. KG	Jan-Hinrich, Gieschen, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Ludolf C. Ernst, ERNST | RECHT Anwaltskanzlei	Dr. Ludwig Glatzner, Dr. Ludwig Glatzner Münstersches Büro für Umwelt, Qualität und Sicherheit
Niklas Ernst, RecycleMe GmbH (Deutschland)	
Dr. Sonja Eser, Sinnenwandel	
Dominique Essigkrug, DIN Deutsches Institut für Normung e. V.	

Torsten Göth, Weberei Pahl GmbH

Kai-Uwe Götz, Gesamtmasche e. V.

Andrea Gräfe, bardusch GmbH & Co. KG

Manfred Graudejus, SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG

Dr. Kathrin Greiff, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen

Jakob Grelck, Concular GmbH

Laura Griestop, WWF Deutschland

Dr. Daniel Gruber, BellandVision GmbH

Sören Grumptmann, VDMA e. V.

Arne Grünewald, VDE Renewables GmbH

Elisa Guimaraens, Polysecure GmbH

Dr. Susanne Guth-Orlowski, Spherity GmbH

Andreas Habel, bvse-Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V.

Herbert Haberl, Fachgemeinschaft für Lebensdienlichkeit und Wohlergehen

Jens Hack, Umicore

Prof. Dr. Annette Hafner, Ruhr-Universität Bochum

Tabea Hagedorn, Technische Universität Darmstadt

Dr. Tim Hahn, Oexle Kopp-Assenmacher Lück Partnerschaft von Rechtsanwälten mbB

Carolin Hamm, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Sigrid Hams, Fachhochschule Münster

Dr. Ronny Hanich-Spahn, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie

Andreas Hänsch, Trans-Textil GmbH

Melanie Hanstedt, Handwerkskammer Braunschweig-Lüneburg-Stade Körperschaft des öffentlichen Rechts

Martin Hartmann, Verband der Keramischen Industrie e. V.

Marion Hasper, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND) – Friends of the Earth Germany

Fynn Hauschke, Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH

Christian Hauspurg, Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung Rudolstadt e. V. (TITK)

Dr. Vera Haye, Industrieverband Klebstoffe e. V.

Franziska Heckel, Hochschule Pforzheim – Gestaltung, Technik, Wirtschaft und Recht

Andrea Heil, EPEA GmbH – Part of Drees & Sommer

Benjamin Hein, DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Patrick Heininger, VDE Renewables GmbH

Beate Heisterkamp, BP Europa SE

Christoph Heller, Zentek GmbH & Co. KG

Andre Hempel, lab of rent e.K.

Nadja Hempel, Hans Sauer Stiftung

Nadja Hempel, Hans Sauer Stiftung & Circular Society Roadmap Team

Dr. Benedikt Hendan, TÜV SÜD Product Service GmbH

Isabelle Henkel, Deutsche Gesellschaft für Abfallwirtschaft e. V. (DGAW)

Dirk Hensch, Braskem, Open Innovation

Prof. Dr. Anja Hentschel, Hochschule Darmstadt

Dr. Robert Hermann, TÜV SÜD Landesgesellschaft Österreich GmbH

Sanya Hermes, LANXESS Deutschland GmbH

Barbara Hettche, Charta der Vielfalt e. V.

Dr. Marta Heuser, APK AG

Sandra Heydel, Verband der Chemischen Industrie e. V.
Landesverband Nordrhein-Westfalen

Thomas Hilche, Genossenschaft Deutscher Brunnen eG

Esther Hild, ZVEI e. V.

Uwe Hilmer, Detlef Hegemann Umwelttechnik GmbH

Christian Hinz-Morgenstern, DS Smith Plc

Dr. Thomas Hipke, Fraunhofer-Institut für Werkzeug-
maschinen und Umformtechnik IWU

Gudrun Höck, BTE Bundesverband des Deutschen Textil-,
Schuh- und Lederwareneinzelhandels e. V.

Daniel Hoffmann, Verband Deutscher Metallhändler und
Recycler e. V.

Detlef Hoffmann, Webasto SE

Dr. Florian Hofmann, BTU Cottbus-Senftenberg & Circular
Society Roadmap Team

Timm Hollstein, Umweltbundesamt

Stephanie Hölzen, CRRC New Material Technologies GmbH

Prof. Dr. Helmut Horn, Hochschule für Angewandte Wissen-
schaften Hamburg (HAW Hamburg)

Bernd Hormmeyer, PHOENIX CONTACT Deutschland GmbH

Sabine Huck, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz,
nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)

Roland Huempfer

Mona Huschyar, Verband der Nordwestdeutschen Textil- und
Bekleidungsindustrie e. V.

Merle Hüsgen, Rheinisch-Westfälischen Technischen
Hochschule (RWTH) Aachen

Prof. Dr. Wolfgang Irrek, Hochschule Ruhr West

Constance Ißbrücker, European Bioplastics e. V. (EUBP)

Dr. Anne Ixmeier, Ludwig-Maximilians-Universität München

Prof. Dr. Melanie Jaeger-Erben, BTU Cottbus-Senftenberg &
Circular Society Roadmap Team

Prof. Dr. Melanie Jäger-Erben, BTU Cottbus-Senftenberg,
Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration
IZM

Dr. Michael Jahr, APK AG

Pauline Jegen, INZIN e. V.

Robert Jöst, Bundesgemeinschaft der Architektenkammern,
Körperschaften des Öffentlichen Rechts e. V.

Uwe Junglas, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik
Elektronik und Informationstechnik

Christian Kalytta, CEMEX Deutschland AG

Tina Kammer, InteriorPark

Prof. Dr. Anette Kämpf-Dern, Frankfurt University of Applied
Sciences

Benjamin Kampmann, Pöppelmann GmbH & Co

Patric Kannberg, OBJECT CARPET GmbH

Robert Kapferer, Circularity Germany GmbH i.G.

Michael Kappler, rethink now GmbH

Marcus Keppelen-Frech, SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG

Marcel J.Q. Keuenhof, Netherlands Institute for Sustainable
Packaging (KIDV)

Nicole Kiefer, MEWA Textil-Service AG & Co. Management OHG

Prof. Matthias Kimmerle, Hochschule Albstadt- Sigmaringen

Rainer Kimmich, SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG

Dr. Manfred Kircher, KADIB-Kircher Advice in Bioeconomy

Karina Klaes, Phoenix Contact GmbH & Co. KG

Prof. Dr. Wolfgang Klett, Oexle Kopp-Assenmacher Lück Partnerschaft

Dr. Mathias Kliem, Kunststoff-Zentrum in Leipzig gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung

Dr. Christian Klünder, Philips Semiconductors GmbH

Gerald Knauf, Wissenschaftsladen Bonn e. V.

Dörthe Knefelkamp, Fachhochschule Bielefeld

Roland Knobloch, Saft Groupe SAS

Torben Knöß, IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e. V.

Beate Kolkmann, Food-Processing Initiative e. V.

Ludwig Kopp, De' Longhi Group

Lea Körber, BellandVision GmbH

Lena Kramer, iPoint-systems gmbh

Dipl.-Ing. Martin Krausewitz, HDB Recycling GmbH

Dr. Eike Kretzschmar, IVKP Vertreterin

Sven Kristen, Siemens AG

Petra Krücken, Trevira GmbH

Dirk Krüger, The Dow Chemical Company

Diana Krüger, Bayerischer Industrieverband Baustoffe, Steine und Erden e. V.

Jacques Kruse Brandao, SGS Société Générale de Surveillance SA

Dr. Wilhelmine Kudernatsch, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Marlene Kühn, Bündnis Textil der Cradle to Cradle NGO

Luise Henriette Kuhr, Hessischer Industrie- und Handelskammertag (HIHK) e. V.

Dr. Beate Kummer, Polysecure GmbH

Ulrike Künnemann, InnoZent OWL e. V.

Dr. Robert Kupfer, Technische Universität Dresden

Morris Kurz, hey circle GmbH

Tina Kussin, WWF Deutschland

Christoph Küsters, 3M Deutschland GmbH

Silke Küstner, WWF Deutschland

Tobias Lachnit, Technische Universität Berlin

André Lang-Herfurth, SEA ME GmbH

Isabella Leber, Hochschule RheinMain

Susanne Lehmann-Brauns, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Sebastian Lemp, ALPLA Werke Alwin Lehner GmbH & Co KG

Nicola Leopold Ackermann, SGS Holding Deutschland B.V. & Co. KG

Barbara Lersch, Hans Sauer Stiftung & Circular Society Roadmap Team

Bernd Lesker, MAPEI GmbH (DE)

Thomas Leucht, Weber & Leucht GmbH Application Lab

Selina Leusch, LANXESS Deutschland GmbH

Greta Leutzbach, Avocado Store GmbH

Frank Liesner, Knauf Gips KG

Thorsten Lindner, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi

Dr. Elske Linß, Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar

Michael Lipka, Huawei Technologies Co., Ltd.	Steffen Meyer, Pöppelmann GmbH & Co. KG
Michael Löscher, Schwarz Unternehmenskommunikation GmbH & Co. KG	Maximilian Meyer, Meyer Recycling und Bauschuttdeponie GmbH
Henning Ludwig, PrimePort GmbH	Gunter Miegel, HolyPoly GmbH
Ilona Maennchen, Art und Scenography-Design	Dr. Jürgen Miller, SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG
Stefan Maier, Forschungszentrum Jülich GmbH	Jochen Moesslein, Polysecure GmbH
Ines Mansfeld, NEVARIS Bausoftware GmbH	Wolfgang Möller, Schneider Electric GmbH
Marvin Marek, bauforumstahl e. V.	Volker Molthan, BUND e. V.
Dr. Max Marwede, Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM	Claudia Mommer, Lenzing AG
Nina Masson, Cyclic Design UG (haftungsbeschränkt)	Marina Mönikes, Phoenix Contact GmbH & Co. KG
Dr. Stefan Mathis, ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG	Christoph Mönigmann, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
Lisa Matthies, Brands Fashion GmbH	Yannick Motcheu, ElringKlinger AG
Ralph Matthis, Bundesinnungsverband des Glaserhandwerks	Janine Mügge, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
Prof. Dr. Johanna May, Technische Hochschule Köln	Dr. Michael Müller, Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG
Annekatriin Mayer, DIN Deutsches Institut für Normung e. V.	Franziska Müller, Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin
Dr. Martin Mayershofer, Sympatex Technologies GmbH	Peter Müller, logsolut AG
Julian Meier, MOCOM Compounds GmbH & Co. KG	Torsten Müller, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Prof. Dr. Gavin Melles, Technische Universität Dresden	Frank Müller, VG-ORTH GmbH & Co.KG
Aslihan Memisoglu, Hochschule Niederrhein	Markus Müller-Drexel, Interseroh+ GmbH
Kilian Menzel, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig	Brendan Muscutt, Umicore NV/SA
Dr. Thomas Merkel, FEHS – Institut für Baustoff-Forschung e. V.	Dr. Marcel Neitsch, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Dr. Renate Messing, UL LLC	Johanna Nesselhauf, PreZero Stiftung & Co. KG
Hannah Metzger, Horn & Co. Group	
Dr. Rüdiger Meyer, Phoenix Contact GmbH & Co. KG	

Arianna Nicoletti, Circular City – Zirkuläre Stadt e. V.

Martin Nieberl, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Jens Nießmann, Reclay Holding GmbH

Dieter Niggemeier, Duttenhöfer T+L GmbH & CO. KG

Heinz Noe, Schneider Electric GmbH

Harald Notz-Lajtkep, Hohenstein Laboratories GmbH & Co. KG

Dr. Ines Oehme, Umweltbundesamt

Dr. Ronald Orth, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK

Mario Ortmann, Rittal GmbH & Co. KG

Daniel Pacner, Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA)

Dina Padalkina, Circular City – Zirkuläre Stadt e. V.

Susanne Pass, Dialog Textil-Bekleidung e. V.

Jan Patzer, Crafting Future GmbH

Anna Pehrsson, TEXAID Beteiligungsverwaltung Deutschland GmbH

Falk Petrikowski, Umweltbundesamt

Jan Philipp Borrmann, Denso Corporation

Franziska Pichlmeier, Hochschule München

Dr. Christiane Plociennik, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI)

Martin Pohner, SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG

Martin Pool, POOL LEBER ARCH. Architekten Stadtplaner BDA

Michael Poschmann, WKW Aktiengesellschaft

Katja Prasol, Biophysical Tools GmbH

Lisa Pusch, Kreis Lippe

Bardo Quint, Mercedes-Benz Group AG

Julia Rätzer, Metecno Bausysteme GmbH

Andrea Rechtsteiner, RECHTSTEINER – Andrea Rechtsteiner CONSULTING Beratungs- und Dienstleistungsunternehmen

Dr. Max Rehberger, TÜV SÜD AG

Gregor Reischle, AM Entrepreneur

Dr. Jean-Francois Renault, Forschungszentrum Jülich GmbH

Matthias Reuter, Verband der Deutschen Heimtextilien-Industrie e.V

Anja Reveriego Wind, Interseroh+ GmbH

Albrecht Richter, InformationsZentrum Beton GmbH

Jörn Richter, Heidemann Recycling GmbH

Jakob Ries-Kalteich, Avocado Store GmbH

Dr. Lisa Risch, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.

Tim Risthaus, ElringKlinger AG

Lisa Rödig, Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH

Lukas Romanowski, GOLDBECK GmbH

Prof. Dr. Anja Rosen, Bergische Universität Wuppertal

Thiemo Rößle, SICK AG

Sascha Roth, BDE Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaft e. V.

Karl Rottnick, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA)

Christian Rudolf, MHP Management- und IT-Beratung GmbH

Christine Ruiz Duran, Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e. V.

Tilman Rüsich, Back Market Germany GmbH

Dr. Regina Sachse, TÜV SÜD Energietechnik GmbH

Cathrine Sachweh, LIST AG

Dr. Kerstin Sann-Ferro, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik

Elke Schäfer, Henkel AG & Co. KGaA

Nora Schäfer, Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Michael Scharpf, Holcim Deutschland GmbH

Manuel Schaubt, Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)

Dr. Robert Scherf, Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

Dr. Celine Schielke, DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.

Achim Schier, HARTING Deutschland GmbH & Co. KG

Michaela Schierholz, DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Maximilian Schildt, Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen (E3D), RWTH Aachen University

Levin Schilling, Technische Universität Dresden

Jennifer Schinkel, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

Adrian Schlegel, Hans Sauer Stiftung & Circular Society Roadmap Team

Dr.-Ing. Miriam Schleipen, EKS InTec GmbH

Barbara Chr. Schlesinger

Simon W. Schmeisser

Jonas Schmidle, Bananeira GmbH & Co. KG

Stefan Schmidmeyer, bvse-Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V.

Dr. Christian Schmidt, Jowat SE

Stephan Schmidt, Miele & Cie. KG

Christine Karin Schmidt, VDMA e. V. Textilmaschinen

Sebastian Schmidt, Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin

Stefan Schmidt, Industrieverband Veredlung-Garne-Gewebe-Technische Textilien e. V.

Dr. Julia Schmitt, Johannes Kepler Universität Linz

Christian Schmitz, Honeywell GmbH

Michael Schmitz, Jokey SE

Thorsten Schmitz, EKS InTec GmbH

Dr. Guido Schmülling, Commeo GmbH

Heike Schneeweiß, Knauf Gips KG

Andreas Schneider, Sony Professional Solutions Europe

Dr. Tanja Schneider, ElringKlinger AG

Nico Schneider, Technische Hochschule Deggendorf

Andreas Schneider, Global Textile Scheme GmbH

Fabian Schoden, Fachhochschule Bielefeld

Joachim Schonowski, msg systems ag

Juana Schons, Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA)

Sven Schöppe, LEO System GmbH

Theresa Schreiner, Kelheim Fibres GmbH

Karsten Schubert, CEMEX Deutschland AG

Anna Schulte, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Felix Schulz, HolyPoly GmbH

Jürgen Schulz, Metecno Bausysteme GmbH

Andreas Schumacher, Deutscher Textilreinigungs-
Verband e. V. (DTV)

Jörg Schumacher, Bundesarchitektenkammer e. V.

Marcel Schuricht, Hochschule für nachhaltige Entwicklung
Eberswalde (HNEE)

Anne Schütte, Handwerkskammer Hildesheim-
Süd-niedersachsen

Antonia Schüttler, Interzero GmbH & Co. KG

Rainer Schweda, Braskem Europe GmbH

7In memoriam Thomas Schwilling, Senatsverwaltung für
Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin

Hanna Seefeldt, VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V.

Uwe Seidel, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Stephanie Seidel, Duni Group

Bianca Seidel, Bianca Seidel Unternehmensberatung

Aliaksandra Shuliakovich, Verband der Chemischen
Industrie e. V.

Dr. Raban Siebers, bauforumstahl e. V.

Rudolf Siegle, wir.kiste.kreis. UG

Ramona G. Simon, DECHEMA Gesellschaft für Chemische
Technik und Biotechnologie e. V.

Angelika Smuda, Bundesministerium für Umwelt, Natur-
schutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Dr. Anna Sokol, FEHS – Institut für Baustoff-Forschung
eingetragener Verein (e. V.)

Juliane Spieker, PFABO GmbH

Dirk Staasmeier, Röben Tonbaustoffe GmbH

Frank Stammer, TecPart Verband Technische Kunststoff-
Produkte e. V.

Peter Starziczny, Allianz SE

Leo Stein, Siemens AG

Thomas Steinhauser, Bayern-Fass Rekonditionierungs GmbH

Jürgen Steinhäuser, ELESTA GmbH

Stephan Steinke, Schneider Electric GmbH

Dr. Anja Stenger, Bundesministerium für Wirtschaft und
Klimaschutz

Andreas Stiedl, HUAWEI TECHNOLOGIES Deutschland GmbH

Wendy Stikvoort, UL International Netherlands BV

Celestin Julian Stretz, Fachhochschule Münster

Franziska Struck, Fachhochschule Münster

Oliver Stübs, Infosim GmbH & Co. KG

Axel Subklew, Gemeinsame Stelle dualer Systeme
Deutschlands GmbH

Rebecca Tauer, WWF Deutschland

Prof. Dr. Angèle Tersluisen, ee concept GmbH

Christoph Teusch, AfB gemeinnützige GmbH

Sebastian Theißen, LIST AG

Matthias Thesing, rhinopaq

Philipp tho Pesch, Henkel AG & Co. KGaA

Bastian Tielmann, Bundesverband der Deutschen
Sportartikel-Industrie e. V. (BSI)

Thomas Timke, SOLARWATT GmbH

Anna Trawnitschek, DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Amy Treick, Polysecure GmbH

Christiane Trumpp, Verband der Wellpappen-Industrie e. V.

Birte Turk, Deutsche Gesellschaft für Abfallwirtschaft e. V.
(DGAW)

Michael Urs Hemm, Hemm Architekt

Dr. Anke Valentin, Wissenschaftsladen Bonn e. V.

Venkateshwaran Venkatachalam, Institut für Kunststoff- und
Kreislauftechnik, Leibniz Universität Hannover (LUH)

Christina Vogel, Institut für ökologische Wirtschafts-
forschung GmbH

Kai Vogt, VAUDE Sport GmbH & Co. KG

Jennifer von der Heydt, ProjectTogether gGmbH

Detlev von See, VELUX Deutschland GmbH

Rudolf von Stokar, Reco-Ventures AG

Dr. Reinhard von Wittken, acatech – Deutsche Akademie der
Technikwissenschaften e. V.

Andreas Wade, Viessmann Climate Solutions SE

Lena Wagner, Unverpackt-Verband e. V.

Florian Wagner, RecycleMe GmbH

Dr. Eduard Wagner, Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit
und Mikrointegration IZM

Dr. Reiner Wahl, SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG

Dr. Daniel Waldmann, BASF SE

Dr. Christof Walter, Verband der Chemischen Industrie e. V.

Daniel Weber, Rieber GmbH & Co. KG

Michael Weinert, Crafting Future GmbH

Dr. Petra Weißhaupt, Umweltbundesamt

Katja Wendler, DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik
und Biotechnologie e. V.

Johanna Weppel, Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische
Abfallbehandlung (ASA) e. V.

Daniela Werlich, CELLFORCE GROUP GMBH

Karl Wessel, Stadt Lemgo

Dr. Gottfried Weyhe, POLIFILM EXTRUSION GmbH

Michael Wieland, Kautex Textron GmbH & Co. KG

Dr. Mateusz Wielopolski, Circulix GmbH

Tim Winkler, dotch GmbH

Dirk Wissmann, AMETEK GmbH

Sven Witthöft, VYTAL Global GmbH

Matthias Wobbe, Mawos-Oeko-Modelfabrik

Dr. Nina Woicke, Freiberufliche Ingenieurin

Dr. Diana Wolf, MEWA Textil-Management

Johannes Wöllhaf, Alfred Kärcher Vertriebs-GmbH

Daja Wolter, Der Grüne Punkt – Duales System
Deutschland GmbH

Dr. Simone Wurster, Technische Universität Berlin

Dr. Antje Zehm, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Eva Zeitz, DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Petrumila Zhendova, TEXAID Beteiligungsverwaltung
Deutschland GmbH

Brigitte Zietlow, Umweltbundesamt

Normungs- und Standardisierungsgremien im Kontext Circular Economy

Nationale Normungs- und Standardisierungsgremien

Die folgenden Tabellen zeigen eine Auswahl an Gremien mit Bezug zum Thema Circular Economy.

Schwerpunktthema Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management	
DIN	
NA 147	DIN-Normenausschuss Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ)
NA 159	DIN-Normenausschuss Dienstleistungen (NADL)
NA 159-01-15 AA	Asset-Management-Systeme
NA 159-04-01 AA	Instandhaltung
NA 159-04-01-01 AK	Lebenslaufakte für technische Anlagen
NA 172	DIN-Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes (NAGUS)
NA 172-00-02 AA	Umweltmanagement/Umweltaudit
NA 172-00-14-01 AK	Circular Economy
DKE	
DKE/K 113	Informationsstrukturen und Informationselemente, Grundsätze der Identifikation und Kennzeichnung, Dokumentation und graphische Symbole
DKE/AK STD_1941.0.2	Digital Product Passport (DPP)
DKE/GAK 431.0.11	Produktdaten und Tools
DKE/K 931	Systemaspekte der Automatisierung
DKE/AK 931.0.12	Life Cycle Management
DKE/GK 914	Funktionale Sicherheit elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Systeme (E, E, PES) zum Schutz von Personen und Umwelt

VDI	
VDI 2882	Obsoleszenzmanagement aus Sicht von Nutzern und Betreibern
VDI 2885	Einheitliche Daten für Instandhaltungsplanung und Ermittlung von Instandhaltungskosten – Daten und Datenermittlung
VDI 4800	Ressourceneffizienz
VDI 4803	Methoden zum effizienten Umgang mit Ressourcen in Unternehmen
FA Produktionsintegrierter Umweltschutz	
FA Ressourceneffizienz	
Interdisziplinäres Gremium Digitale Transformation (IGDT)	
Schwerpunktthema Elektrotechnik & IKT	
DKE	
DKE/K 191	Umweltschutz und Nachhaltigkeit bei Produkten in der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik
DKE/K 135	Erfassung von Stoffen in Produkten der Elektrotechnik
DKE/K 513	Hausgeräte, Gebrauchseigenschaften
DKE/AK 742.0.12	Umwelt im K 742 (Audio-, Video- und Multimediasysteme, -geräte und -komponenten)
DKE/AK 931.0.10	Energieeffizienz in der industriellen Automatisierung
DKE/AK 931.0.15	Ressourceneffizienz in der Prozessindustrie

Schwerpunktthema Batterien	
DKE	
DKE/K 371	Akkumulatoren
DKE/AK 371.0.14	Stationärer Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien aus dem Fahrzeugbereich, einschließlich Second Life Anwendungen
VDI	
Fachausschuss Energiespeicher	
Schwerpunktthema Verpackungen	
DIN	
NA 115	DIN-Normenausschuss Verpackungswesen (NAVp)
NA 115-04-10 AA	Verpackung und Umwelt
VDI	
VDI 3617	Einweg-/Mehrwegverpackungen – Anforderungen und Entscheidungshilfen für den Kostenvergleich
Schwerpunktthema Kunststoffe	
DIN	
NA 054	DIN-Normenausschuss Kunststoffe (FNK)
NA 054-03-01 AA	Kunststoffe und Umweltaspekte
NA 054-03-02 AA	Bioabbaubare Kunststoffe
NA 054-03-03 AA	Recycling von Kunststoffen in der Kreislaufwirtschaft
NA 054-03-04 AA	Kreislauffähigkeit und Wiederverwertbarkeit von Fischfanggeräten und Aquakulturausrüstung
VDI	
Fachbeirat Kunststofftechnik	
VDI 4095	Bewertung von Kunststoffen in der Kreislaufwirtschaft

Schwerpunktthema Textilien

DIN

NA 106	DIN-Normenausschuss Textil und Textilmaschinen (Textilnorm)
NA 106-01-22 GA	Gemeinschaftsarbeitsausschuss Textilnorm/NAW: Textilien – Umweltaspekte, SpA ISO/TC 38/WG 35
NA 106-01-23 AA	Circular Economy für textile Produkte und die textile Wertschöpfungskette

VDI

VDI 3469 Blatt 3	Emissionsminderung – Herstellung und Verarbeitung von faserhaltigen Materialien – Textilien aus organischen und anorganischen Fasern
------------------	--

Schwerpunktthema Bauwerke & Kommunen

DIN

NA 005	DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)
NA 005-01-31 AA	Nachhaltiges Bauen (SpA zu ISO/TC 59/SC 17 und CEN/TC 350)

VDI

VDI 2074	Recycling in der Technischen Gebäudeausrüstung
VDI/WTA 3817 Blatt 1	Baudenkmale und denkmalwerte Gebäude – Allgemeine Anforderungen und Planungsgrundlagen
VDI-EE 4802 Blatt 1	Ressourceneffizienz im Bauwesen – Gebäude

Europäische und internationale Normungs- und Standardisierungsgremien

Schwerpunkthema Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management	
ISO	
ISO/TC 176	Quality management and quality assurance
ISO/TC 207	Environmental management
ISO/TC 251	Asset management
ISO/TC 323	Circular Economy
ISO/TC 324	Sharing Economy
ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5	Identity management and privacy technologies
ISO/IEC JTC 1/SC 31	Automatic identification and data capture techniques
ISO/IEC JTC 1/SC 32	Data management and interchange
CEN	
CEN/TC 319	Instandhaltung
CEN/CLC/JTC 13	Cybersecurity and Data Protection
IEC	
IEC/TC 3	Information structures, documentation and graphical symbols
IEC/SyC SM	Smart Manufacturing
IEC/SC 65A	System aspects
IEC/TC 65/WG 19	Life-cycle management for systems and products used in industrial-process measurement, control and automation
CLC	
CLC/SR 3	Informationsstrukturen, Dokumentation, graphische Symbole
CLC/TC 65X	Industrielle Prozessleit- und Automatisierungstechnik

Schwerpunktthema Elektrotechnik & IKT

IEC

IEC/TC 59	Performance of household electrical appliances
IEC/TC 65/JWG 14	Energy Efficiency in Industrial Automation (EEIA)
IEC/TC 100	Audio, video and multimedia systems and equipment
IEC/TC 111	Environmental standardization for electrical and electronic products and systems

CLC

CLC/TC 59X	Gebrauchstauglichkeit von elektrischen Geräten für den Haushalt und ähnliche Zwecke
CLC/TC 100X	Audio, Video- und Multimedia-Anlagen und -Geräte
CLC/TC 111X	Umwelt

Schwerpunktthema Batterien

IEC

IEC/TC 21	Secondary cells and batteries
IEC/SC 21A	Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes

CLC

CLC/TC 21X	Sekundärzellen und -batterien
------------	-------------------------------

Schwerpunktthema Verpackungen

ISO

ISO/TC 122/SC 4	Packaging and the environment
-----------------	-------------------------------

CEN

CEN/TC 261/SC 4	Verpackung und Umwelt
-----------------	-----------------------

Schwerpunktthema Kunststoffe

ISO

ISO/TC 61/SC 14 Environmental aspects

CEN

CEN/TC 249/WG 9 Biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe

CEN/TC 249/WG 11 Kunststoff-Recycling

CEN/TC 249/WG 24 Umweltaspekte

Schwerpunktthema Textilien

ISO

ISO/TC 38/WG 35 Environmental aspects

CEN

CEN/TC 248/WG 39 Circular Economy für textile Produkte und die textile Wertschöpfungskette

Schwerpunktthema Bauwerke & Kommunen

ISO

ISO/TC 59/SC 17 Sustainability in buildings and civil engineering works

CEN

CEN/TC 350 Nachhaltigkeit von Bauwerken

Annex: Normungsbedarfe in der Übersicht

Titel	
Digitalisierung, Geschäftsmodelle, Management	
1.1	Entwicklung von produktkategorienbezogenen Zirkularitätskriterien
1.2	Qualitätssicherung, Konformitätsbewertung und -erklärung von wiederverwendeten Produkten und Produkten mit erweiterter Lebensdauer („Produktlebenszeitverlängerung“)
1.3	Definition und Bewertungs-/Messmethode zur Bestimmung des finanziellen Werts von Rohstoffen (ursprünglich Abfall)
1.4	Circular Economy und Nachhaltigkeitsberichterstattung
1.5	Definition und Abgrenzung der unterschiedlichen Konzepte zur Verfügbarmachung von produktbezogenen Daten anhand eines geeigneten Rahmenkonzepts
1.6	Entwicklung einer Taxonomie von abstrahierten Produktgruppen im Kontext der Kreislaufwirtschaft
1.7	Nutzung semantischer Technologien zum Datenaustausch im Kontext der Circular Economy
1.8	Normative Grundlagen zum Aufbau von definierten sektorübergreifenden Inhalten und deren Darstellung im Digitalen Produktpass (Grundstruktur zur Darstellung der für alle Produkte gleichermaßen darstellbaren Informationen)
1.9	Normative Grundlagen zum Aufbau und zur Gruppierung von produktspezifischen Inhalten und deren Darstellung im Digitalen Produktpass
1.10	Definition von standardisierten Datenstrukturen von lebenszyklusrelevanten Daten im Digitalen Produktpass oder in Form von einem oder mehreren Teilmodellen für die Industrie-4.0-Verwaltungsschale zum Thema Kreislaufwirtschaft/Ökobilanzierung
1.11	Standardisierte und austauschbare Simulationsmodelle für dynamische Informationen in Abhängigkeit der Zeit oder von verschiedenen anderen Parametern sowie Versionierung von Daten/Informationen über den Lebenszyklus bzw. verschiedene kombinierte Lebenszyklen hinweg
1.12	Normative Grundlagen zur Darstellung und Verknüpfung von Daten, die bereits in Datenbanken öffentlich zugänglich sind, und Verknüpfung mit den neuen Anforderungen zum Digitalen Produktpass (Informationsbedarfe für verschiedene Produktgruppen)
1.13	Entwicklung einer nutzerzentrierten, digitalen Lösung durch einheitliche Methoden und Instrumente sowie Anleitung zum Gebrauch des DPP für die verschiedenen Beteiligtegruppen
1.14	Die Normung sollte Gesetzgebende bei der Festlegung und Umsetzung der individuellen Zugriffsrechte verschiedener Beteiligter entlang der Wertschöpfungskette unterstützen.
1.15	Bestehende Normen und Standards, welche die technischen Merkmale für unterschiedliche Identifier festlegen, sollten auf ihre Verwendbarkeit für den DPP untersucht werden
1.16	Etablierung bzw. Anpassung von standardisierten Mechanismen zur Sicherstellung der Datenqualität und vertrauenswürdiger Informationen im Digitalen Produktpass

	Titel
1.17	Standards und Normen sollten einen Rahmen für die geforderte Datentiefe liefern
1.18	Integration von Circular Economy in Strategien, Geschäftsmodelle und Managementsysteme von Unternehmen
1.19	Systematische Vorgehensweise zur Circular-Economy-Potenzialerschließung
1.20	Reifegrad für das gesamte Geschäftskonzept
1.21	Zirkularitätsbewertung von Dienstleistungen
1.22	Kennzahl zur Nutzung von Rezyklaten
1.23	Circular-Economy-Potenzial zur Geschäftsmodellinnovation und Redesign ausschöpfen
1.24	Bemessungsgrundlagen schaffen, um „Zirkularitätserfolgskriterien“ zu ermitteln und um Vergleiche zu ermöglichen
1.25	Definition von Begriffen für die Circular Economy
1.26	Definition von Einheiten und Größen für die Circular Economy
1.27	Management von technischen und rechtlichen Schnittstellen
1.28	Kommunikation zwischen Teilnehmenden der Wertschöpfungskreisläufe
1.29	Klassifikation von Geschäftsmodellen
1.30	Aufbau einer Infrastruktur zur Unterstützung von Reverse-Logistik
1.31	Gestaltung und Tiefe des Servicegrads/-levels (Servicetiefe und -breite)
1.32	Definition von zirkulären Geschäftsmanagementprozessen
1.33	Circular Economy in der Designphase inkludieren
1.34	Einheitliche Beschreibung von Rollen und Verantwortlichkeiten für einen effektiven Change-Management-Prozess
1.35	Recht zur Instandhaltung (Maintenance/Wartung/Reparierbarkeit)
1.36	Soziale Standards für zirkuläre Jobs
1.37	Schulung/Qualifizierung für Circular Economy
1.38	Definition von Merkmalen zur Identifikation von Services für die Circular Economy

Titel	
Elektrotechnik & IKT	
2.1	Normative Grundlagen für Indikatoren für den Vergleich einzelner R-Strategien, kombinatorischer Ansätze und zur Bemessung der Gesamtzirkularität
2.2	Leitfäden zur Befüllung und Kontrolle der SCIP-, EPREL- und weiterer Datenbanken
2.3	Produktgruppenspezifische Normen zur Funktionsbeständigkeit (durability), Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Wiederaufarbeitbarkeit und Recyclingfähigkeit auf Basis der DIN EN 4555x-Reihe
2.4	Leitlinien zum „Design 4 Recycling“ und „Design 4 Circularity“ sowie ein Ansatz zur Bewertung der optimalen R-Strategie für ein spezifisches Produkt
2.5	Koordinierung von Normungsaktivitäten zur Circular Economy
2.6	Etablierung standardisierter Informationsweitergabe auf Basis internationaler Standards und Entwicklung kostengünstiger und einfacher Analytik zur Qualitätssicherung sekundärer Rohstoffe
2.7	Notwendigkeit europäischer/internationaler Normen
2.8	Bewertung zur Sinnhaftigkeit der Digitalisierungsrate von Produkten und Services
2.9	Aufnahme von kreislauforientierten Förderkriterien zur Innovations- und Forschungsförderung in Ergänzung zur Energieeffizienz von Produkten
2.10	Normen zur Stilllegung und zum Rückbau von erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen
2.11	Revision der normativen Grundlage zur Verwendung von Flammschutzmitteln unter Berücksichtigung von Rezyklaten und integrierten Messsystemen
2.12	Holistische Produktbewertung anhand von Umwelt- und Materialeffizienzparametern
2.13	Normen zu Datenschnittstellen im Digitalen Produktpass berücksichtigen
2.14	Normen zur Bemessung von Produktveränderung beim Aufspielen und der Installation von Updates
2.15	Leitfaden zu kreislauforientierten Informationen zu den Inhaltsstoffen
2.16	Norm zur Änderung der Produktperformance durch Softwareupdates
2.17	Norm zur anwendungsbezogenen Differenzierung von Füge- und Befestigungstechniken
2.18	Qualitätsstandards und Referenzmaterialien für Rezyklate
2.19	Norm zur Bestimmung der Verbräuche von (industriellen) Anlagen
2.20	Norm zum funktionsbeständigen Betrieb
2.21	Genormte Bewertungskriterien zur Energie- und Materialeffizienz der Gebäudetechnik und -installation
2.22	Normen zur Bestimmung der Funktionsbeständigkeit (durability) von Produkten
2.23	Normative Grundlage zur Definition von kreislauforientierten Garantieansprüchen von Verbraucherprodukten

	Titel
2.24	Kriterien zur Klassifizierung reparierter, aufgearbeiteter und wiederaufgearbeiteter Produkte
2.25	Designstandards für defektfreien Ab- bzw. Ausbau und Zweitinstallation bzw. Einbau
2.26	Revision der Norm zur Datenvernichtung DIN 66399 hinsichtlich der Wiederverwendung, Aufarbeitung und Wiederaufarbeitung von Produkten der Elektrotechnik und IKT
2.27	Normen zur Bewertung der Reparierbarkeit auf Produktebene
2.28	Standards zu Produktinformationen (siehe Produktpass) und Interoperabilität von Bau- und Verschleißteilen
2.29	Genormte Kriterien für die Bereitstellung von Produkt- bzw. Anlageninformationen zur Zusammensetzung, zum Aufbau und zur Nutzungshistorie
2.30	Norm zur Onboard-Diagnostik von Produkten
2.31	Erweiterung der DIN EN 45554 um Metrik für Aufarbeitung
2.32	Normen zur Umsetzung von Upgradeability-by-Design
2.33	Standardisierter Kriterienkatalog zur Bewertung der Änderung des Produktzwecks
2.34	Norm zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Materialien (Umrechnungsfaktoren)
2.35	Norm zur Beschreibung von Referenzmaterialien für Sekundärrohstoffe
2.36	Informationsstandard zur Bereitstellung für das Recycling relevanter Informationen
2.37	Normen zum Themenkomplex Design 4 Recycling
2.38	Normen zur Berechnung der Recyclingquote von elektrotechnischen und IKT-Produkten basierend auf den tatsächlich entsorgten Produkten
2.39	Erweiterung der DIN EN 50625-Normenreihe um Betrachtung des aktuellen Stands der Technik sowie Qualitätsanforderungen
2.40	Empfehlungen zur standardisierten Informationsweitergabe und Erweiterung der Analytiknormenreihe DIN EN 62321 um recyclingrelevante Stoffe
2.41	Überarbeitung der DIN 66399-Reihe, um die Rückgewinnung kritischer Rohstoffe, wie z. B. Neodym aus Festplatten, zu ermöglichen
2.42	Bei etablierten technischen Lösungen, Normen zur Verfügungstellung von gängigen Materialzusammensetzungen
2.43	Normen zur Rückverfolgbarkeit von Materialien für Sekundärrohstoffe

Titel	
Batterien	
3.1	Normen zur Austauschbarkeit von Batterien
3.2	CO ₂ -Fußabdruck von Bleibatterien
3.3	Normen zum Digitalen Batteriepass
3.4	Normen zu Zustandsdaten
3.5	Festlegung von Sicherheitsgrenzen zum Reuse
3.6	Sicherheitsnormen zum Austausch von Batteriemodulen und -zellen
3.7	Normen zum mechanischen und elektrischen Design von Energiespeichern
3.8	Normen zu Zustandsdaten
3.9	Normen zum Digitalen Batteriepass
3.10	Normen zu mechanischen und elektrischen Prüfungen
3.11	Sicherheitsnorm mit zerstörungsfreien Prüfverfahren
3.12	Normen zur modularen Bauweise von Batterien
3.13	Norm zur Eignungsprüfung gebrauchter Bauteile
3.14	Normen zum 2nd Life
3.15	Kennzeichnung
3.16	Zerlegbarkeit
3.17	Normen zum Digitalen Batteriepass
3.18	Verfügbarkeit von Rezyklaten
3.19	Normen zum Digitalen Batteriepass
Verpackungen	
4.1	Einheitlicher Definitionsrahmen angelehnt an den Mindeststandard ZSVR
4.2	Einheitliche Methodiken, Metriken und Grenzwerte für die Bewertung der Recyclingfähigkeit
4.3	Katalog/Datenbank für standardisierte Verpackungen
4.4	Katalog für Gesamt- und Kombinationsverpackungen
4.5	Einheitliches Label für die Recyclingfähigkeit/Digitaler Produktpass von Verpackungen
4.6	Einheitlicher Leitfaden für das Design 4 Recycling für Verpackungen

Titel	
4.7	Europaweit gültige Leitfäden für die länderspezifische Bewertung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen
4.8	Verknüpfung eines Leitfadens von Trennhinweisen/Produktkennzeichnung
4.9	Begriffsdefinition Nachhaltigkeit
4.10	Aufstellung von Grundlagen zur einheitlichen Bewertung der Nachhaltigkeit von Verpackungen
4.11	Darstellung und Nennung von Branchenbezügen und -unterschieden
4.12	Klare Definition des Terms Lebensphase unter Einbeziehung aller Rohstoffquellen, Produktionsschritte sowie Komponenten des betrachteten Verpackungssystems und möglicher Unterschiede in Produktlebensdauer/ Produktverlusten
4.13	Definition von Kommunikationsregeln
4.14	Hygiene- und Qualitätsstandards für Unverpackt- und Mehrweglösungen
4.15	Definitionen der Begriffe von Mehrwegsystemen
4.16	Standardisierte Anforderungen an Eigenschaften zur Kompatibilität von Mehrwegverpackungen bei der Rücknahme in Mehrwegsystemen
4.17	Normung für Sekundär- und Transportverpackungen im Bereich Mehrweg und Unverpackt
4.18	Normung für die Verwendung von Etiketten, Tapes, Klebeband und Verschlüssen
4.19	Normung der automatisierten Rücknahme für Mehrwegverpackungen
4.20	Interoperabilität zwischen Verpackungskennzeichnung, Erfassung, Sortierung und Datenbanken
4.21	Auslesbarkeit des Digitalen Produktpasses bei der automatisierten Sortierung von Wertstoffen
4.22	Kennzeichnung von Verpackungsmaterialien und Verpackungsanwendungen
4.23	Einheitliche Gestaltung von Spezifikationen zur Beschreibung von sortierten Wertstoffen
4.24	Leitfaden für KMU zur Konformitätsarbeit
4.25	Kennzeichnung von Material aus oder mit Rezyklat
4.26	Erweiterung der DIN SPEC 91446 um konformitätsrelevante Daten
4.27	Funktionelle Barrieren
4.28	Verträglichkeitsbewertung von Gefahrgut und Verpackung
4.29	Kennzeichnung und Identifikation, digitale Schnittstellen

Titel	
Kunststoffe	
5.1	Allokation des End-of-Life von Kunststoffen
5.2	Abgrenzung einer LCA und PCF und PEF durch Wirkungskategorien und Anwendungsbereich sowie Kommunikationsart
5.3	Standardisierte Begriffsdefinitionen, Verfahren/Auswahl übergeordneter Kriterien und Methoden zur Überprüfung
5.4	Methoden für die Bewertung der Konformität der ökonomischen Nachhaltigkeit
5.5	Regelung zur Arbeitssicherheit beim chemischen und mechanischen Recycling bzw. bei der Verarbeitung von Rezyklaten
5.6	Überprüfung und Aktualisierung bestehender Normen bezüglich realistischer Umweltbedingungen bei der Bewertung der biologischen Abbaubarkeit von Kunststoffen
5.7	Qualifizierung für eine Wiederverwendung nach heutigem End-of-Life
5.8	Bewertung der Wiederverwendbarkeit von Kunststoffen
5.9	Standardisierte Angaben zu Additiven für das Recycling von Kunststoffen
5.10	Einheitliche Gestaltung von Datenblättern zur Beschreibung von sortierten Materialien
5.11	Harmonisierung der Rücknahme- und Sammelsysteme für gewerbliche Branchen und Produkte
5.12	Technische Richtlinie zur Definition von Open- und Closed-Loop-Systemen
5.13	Ergänzung von recyclingorientierten Informationen im Digitalen Produktpass für Kunststoffe
5.14	Einheitliche Dokumentationspflicht für die Rückverfolgbarkeit von Kunststoffen – Traceability
5.15	Einheitliche Berechnungsregeln für die Ermittlung der Ausbringungsrates in Recyclingverfahren
5.16	Regeln für die Berechnung des Rezyklatgehaltes
5.17	Abgrenzung der Recyclingtechnologien/Verfahren für Kunststoffe und einheitliche Bilanzierung
5.18	Systematisierung von Markern und Anforderungen an den Prozess zur Zerstörung im zweiten Recyclingprozess sowie Quantifizierung der Umwelteinflüsse
5.19	Anforderungen an ein Lacksystem im Sinne eines Design 4 Recycling und nachhaltige Entlackungsverfahren
5.20	Systematik der Kombinationen von organischen und anorganischen Pigmenten in Kunststoffen für ein optimales Recycling
5.21	Festlegung von Inputströmen in Bezug auf Fremdpolymere und Füll- und Verstärkungsstoffe
5.22	Mechanisches Recycling als Vorbereitung zum weiteren Depolymerisieren oder Lösen der Zielfraktion
5.23	Vorgelagerte Prozesse (up-stream) – Qualitätsbezogene Normung der Eingangsströme

Titel	
5.24	Konversions- und Recyclingprozesse – Beschreibung chemischer und physikalischer Konversions- und Recyclingprozesse (Technische Berichte zum Abbilden des Stands der Technik)
5.25	Nachgelagerte Prozesse (down-stream)- Qualitätsbezogene Normung der chemischen Produkte aus dem physikalischen und chemischen Recycling
5.26	Prüfnorm für die Bestimmung von NIAS (Non-intentionally added Substances) in Rezyklaten
5.27	Strategien zur Probenahme, -homogenisierung und Rückstellmustern für alle Recyclingverfahren und Prozessschritte sowie zur Bewertung von Chargenschwankungen
5.28	Analyse von persistenten Schadstoffen und deren Anreicherung in Rezyklaten
5.29	Vereinheitlichung der Angabe der Qualitätsspezifikationen für Rezyklate (Datenblätter)
5.30	Vereinheitlichung der Prüfnormen zur Schüttdichte
5.31	Prüfnorm zur Bestimmung des Geruchs
5.32	Prüfnorm zur Bestimmung von Volatile Organic Compounds (VOC)
5.33	Förderung der Forschung zur Korrelation von Rezyklat- und Produkteigenschaften und von Screeningmethoden
5.34	Förderung der Forschung zum Thema Schadstoffeintrag in Rezyklate
5.35	Richtlinie zu Design FROM Recycling
5.36	Technischer Leitfaden zur Klassifikation von Fehlergruppen und -arten von Produkt-/Verarbeitungsfehlern speziell für Rezyklate
5.37	Regelung zur Arbeitssicherheit bei der Verarbeitung von Rezyklaten
5.38	Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bewertung des Abbaugrades und Richtlinie zur Zugabe von Additiven
Textilien	
6.1	Priorisierung von Mehrwegprodukten in Produktnormen gegenüber Einwegprodukten
6.2	Produktion „on demand“
6.3	Datenbasis zur Pflege-, Trenn- und Recyclingfähigkeit für Materialauswahl/-einsatz – Materialindex
6.4	Erweiterung des Chemikalienmanagements um Kreislaufaspekte – Chemikalienindex
6.5	Clusterung für Produktgruppen
6.6	Definition von Langlebigkeit für die Produktgruppen (Langlebigkeitsindex)
6.7	Leitlinien zu Design 4 Recycling
6.8	Festlegung von Qualitätsanforderungen und standardisierten Prüfverfahren für Qualitätsindex
6.9	Bewertungskriterien von Langlebigkeit in Bezug auf andere Nachhaltigkeitskriterien

Titel	
6.10	Methoden zur Bestimmung und Ausweisung Rezyklatanteil und -quelle u. a. im Halbzeug und Produkt auf Chargenebene
6.11	Messung bzw. Ermittlung von Verbrauchsdaten und Produktbestandteilen
6.12	Berechnungsmethodik und Datenmanagement
6.13	Entwicklung einer Kennzahlenmethodik für Produkte sowie für Unternehmen (Stichwort: Ampelsystem) hinsichtlich Kreislaufwirtschaft (Kreislaufindikatorik)
6.14	Erweiterung der Textilpflegekennzeichnung
6.15	Zusätzliche Normen für verschiedene Pflege- und Aufbereitungsverfahren
6.16	Förderung von Verleih- und Leasingsystemen
6.17	Vorgaben für Beschreibung der Produkte/Kennzeichnung für Secondhandnutzung
6.18	Zerstörungsfreie Methoden zur Zustandsbewertung gebrauchter Textilien
6.19	Standardisierte Produktinformationen über Ersatzteile definieren
6.20	Festlegung von Reparatur- bzw. Ersatzteilanforderungen sowie -standards, die in einen Reparaturindex einfließen können (Reparaturindex)
6.21	Kennzeichnung der Reparierfähigkeit
6.22	Anforderungen an die Beschaffenheit und das Umfeld (Standplatz) der Depotcontainer
6.23	Einheitliche Kennzeichnung am Sammelcontainer
6.24	Anforderungen an den Prozess der Entnahme der Sammelware aus den Depotcontainern
6.25	Normung/Produktspezifikation nach sortenreiner Erfassung von Textilabfällen aus sonstigen Herkunftsbereichen
6.26	Festlegung von Regelungen und Kriterien für Alttextil-Sortieranlagen
6.27	Produktspezifikation nach Sortierung gemischt erfasster Alttextilien
6.28	Festlegung zulässiger Materialien und prüfbarer Angaben als „recycled content“
6.29	Festlegung von Kriterien und Definitionen zur Nachvollziehbarkeit der Stoffströme
6.30	Festlegung Prüfkriterien und des Prüfzeitpunktes zur Detektion des potenziellen Schadstoffeintrages
6.31	Normen und Standards für die Bewertung von Textilabfällen und deren Rezyklate/Recyclingfasern
6.32	Fälschungssichere Materialkennzeichnung bzw. -markierung
6.33	Standardisierte Begriffsdefinitionen zu Umweltaussagen
6.34	Festlegung von übergeordneten Kriterien für eine Produktkennzeichnung, die den Circular-Economy-Rahmen definieren

Titel	
6.35	Definition eines Gesamtindex (Composite Index) mit Variablen für eine Circular-Economy-Kennzeichnung
6.36	Informationsbedarfe von verschiedenen Anspruchsgruppen
6.37	Informationsbedarfe für verschiedene Produktgruppen
6.38	Interoperabilität Produkt-, Event- und Metadaten durch einheitliche Ontologie/Taxonomie
6.39	Pflegehinweise für Waschmaschinen
6.41	Identifikationsnummern (identifier) und Datenträger (data carrier)
Bauwerke & Kommunen	
7.1	Formulierung von Normen und Standards, die den Übergang vom Abfall zum Produkt (End-of-Waste) eindeutig beschreiben und/oder Mindestqualitäten im Hinblick auf Eignung und Gewährleistung sicherstellen
7.2	Erweiterung von Normen um den Rückbau
7.3	Anforderungen an Bauelementkataloge nach einheitlichem Gliederungssystem
7.4	Anpassung bestehender Normen im Kontext der Nutzungsflexibilität und Langlebigkeit
7.5	Anforderungen an einen Gebäudepass
7.6	Kreislauffähige Konstruktion (Modularität, Adaptivität und Low-Tech-Strategie)
7.7	Standardisierte Planungs-, Berechnungs- und Bewertungstools für Kommunen und Regionen bei der Transformation zu einer Circular Economy
7.8	Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien für adaptive Gebäudestrukturen
7.9	Übergeordnete Begriffe definieren, fehlende Begriffe ergänzen und bereits in der Normung verwendete Begriffe harmonisieren
7.10	Harmonisierung bestehender Methoden und Tools
7.11	Klärung der Schnittstellen zur Gebäudeökobilanzierung sowie Anpassungen der DIN EN 15804
7.12	Überprüfung normativer Rahmenbedingungen/Regelungen
7.13	Datenerfassung vor Ort
7.14	Selektiver Rückbau

Literaturverzeichnis

- [1] Mehr Fortschritt wagen, Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit Koalitionsvertrag 2021–2025 zwischen Der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90/Die Grünen und den Freien Demokraten (FDP), Berlin, den 7. Dezember 2021, <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173ee-f9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>
-
- [2] Europäische Kommission (2019), Green Deal, [Europäischer Grüner Deal | EU-Kommission \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/euro-pressroom/content/green-deal)
-
- [3] Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist, [KSG.pdf \(gesetze-im-internet.de\)](https://www.gesetze-im-internet.de/bundesgesetz_12_12_2019/ksg.pdf)
-
- [4] Europäische Kommission (2020), Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75e-d71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF
-
- [5] Vereinte Nationen (2015), Siebzigste Tagung, Tagesordnungspunkte 15 und 116, Generalversammlung der Vereinten Nationen, 18. September 2015, <https://www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>
-
- [6] DIN EN 643:2014-11, Papier, Karton und Pappe – Europäische Liste der Altpapier-Standardsorten, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-643/223947791>
-
- [7] Kirchherr et al. (2017), Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, in Resources, Conservation & Recycling 127, 221–232, at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
-
- [8] DIN ISO 20400:2021-02, Nachhaltiges Beschaffungswesen – Leitfaden (ISO 20400:2017), <https://www.beuth.de/de/norm/din-iso-20400/325002764>
-
- [9] Ellen MacArthur Foundation (2021), Circular economy glossary, <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/glossary>
-
- [10] ISO – ISO/CD 59004 – Circular Economy – Terminology, Principles and Guidance for Implementation, <https://www.iso.org/standard/80648.html>
-
- [11] W. Steffen et al., Science 347, 1259855 (2015), Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, <https://doi.org/10.3390/economies9020074>
-
- [12] Vereinte Nationen (1999), The World at Six Billion, <https://search.archives.un.org/uploads/r/united-nations-archives-/4/b/8/4b8e1e4538ee528ec43c72fcbdd3bddb9718410f3e414240617f97ac98d388e2/S-1092-0117-01-00002.pdf>
-
- [13] Sartor, O. et al. (2022), Mobilisierung der Kreislaufwirtschaft für energieintensive Materialien. Material Economics, Lund
-
- [14] Acatech, Circular Economy Initiative Deutschland, SYSTEMIQ (2021), Circular Economy Roadmap für Deutschland, <https://www.circular-economy-initiative.de/circular-economy-roadmap-fr-deutschland>
-
- [15] Eurostat (2021), Circular Material Use Rate, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_srm030/default/table?lang=en
-
- [16] Sachverständigenrat für Umweltfragen (2020), Kreislaufwirtschaft: Von der Rhetorik zur Praxis, https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Kap_03_Kreislaufwirtschaft.html;jsessionid=DB0166D519DC51C970022E4B7E09B76E.intranet211?nn=400294

-
- [17] Umweltbundesamt (Herausgeber) (2020), Innovationen für die Circular Economy – Aktueller Stand und Perspektiven: Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der deutschen Umweltinnovationspolitik, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_01_11_uib_01-2021_innovationen_circular_economy.pdf
-
- [18] H. Wilts et al. (2022), Zirkuläre Wertschöpfung 2030. Studie im Auftrag des MWIDE NRW, Wuppertal.
-
- [19] A. Tukker (2004), Eight Types of Product – Service System: Eight ways to sustainability, in: Business Strategy and the Environment Bus. Strat. Env. 13, 246–260 (2004), https://venturewell.org/wp-content/uploads/Tukker-2004-Business_Strategy_and_the_Environment.pdf
-
- [20] H. Wilts, M. Fecke, C. Zeher (2021), Economics of Waste Prevention: Second-Hand Products in Germany, Economies 9, no. 2: 74, <https://doi.org/10.3390/economies9020074>
-
- [21] RICHTLINIE 2009/125/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:0035:de:PDF>
-
- [22] Umweltbundesamt (Herausgeber) (2019), Evaluation des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms ProgRes, https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7298/file/7298_ProgRes.pdf
-
- [23] Endres, H.-J., Shamsuyeva, M. (2020), Kreislaufwirtschaft braucht bessere Standards, in: Plastikverarbeiter, 06/20
-
- [24] Government of the Netherlands (o. J.), Circular Dutch economy by 2050, <https://www.government.nl/topics/circular-economy/circular-dutch-economy-by-2050>
-
- [25] Langsdorf, Susanne; Duin, Laurens (2021), Absolute Reduktion der Ressourcennutzung. Vorreiter Niederlande – Ein Vorbild für Deutschland? Ecologic Institut, Berlin, https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2021/Langsdorf_Duin_Reduktion-Ressourcennutzung-NL.pdf
-
- [26] Green Deal (o.J.), Evaluation of Green Deals, <https://www.greendeals.nl/sites/default/files/2022-02/Evaluation%20Green%20Deals%20KWINK%202016-%20summary-%20EN.pdf>
-
- [27] S.K. van Langen, R. Passaro (2021), The Dutch Green Deals Policy and Its Applicability to Circular Economy Policies. Sustainability 2021, 13, 11683, <https://doi.org/10.3390/su132111683>
-
- [28] Ministère de la Transition écologique (2020), The anti waste law in the daily lives of the French people- what does it mean in practice? https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/en_DP%20PJL.pdf
-
- [29] Ellen MacArthur Foundation (2021), France’s Anti waste and Circular Economy Law: eliminating waste and promoting social inclusion, <https://emf.thirdlight.com/link/e9kl4x8ts2er-2za9sx/@/#id=0>
-
- [30] ISO – Technical Committees, <https://www.iso.org/technical-committees.html>
-
- [31] J. Zhu et al. (2018), Efforts for a circular economy in China. A comprehensive review of policies, in: Journal of Industrial Ecology, at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12754>
-
- [32] R. Bleischwitz et al. (2022), The circular economy in China: Achievements, challenges and potential implications for decarbonization, in: Resources, Conservation & Recycling 183 (2022) 106350, at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106350>
-
- [33] N. Luhmann (2021), Die Grenzen der Verwaltung, Auflage 1, Suhrkamp Verlag
-
- [34] International Organization for Standardization, Internationale Organisation für Normung, www.iso.org
-

-
- [35] International Electrotechnical Commission, Internationale Elektrotechnische Kommission, www.iec.ch
-
- [36] International Telecommunication Union, Internationale Fernmeldeunion, www.itu.int
-
- [37] Comité Européen de Normalisation, Europäische Organisation für Normung, www.cen.eu
-
- [38] Comité Européen de Normalisation Électrotechnique, Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung, www.cenelec.eu
-
- [39] European Telecommunications Standards Institute, Europäische Institut für Telekommunikationsnormen, www.etsi.org
-
- [40] K. Blind (2022), Standards and innovation. What does the research say? ISO R & I papers. Geneva, at: <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100466.pdf>
-
- [41] Basel Convention, Revised glossary of terms, document UNEP/CHW/OEWG.10/INF/10 (18 March 2016), at: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjJ14usgP34AhXInP0HHfYGaj-0QFnoECagQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.basel.int%2FPortals%2F4%2Fdownload.aspx%3Fd%3DUNEP-CHW-OEWG.10-INF-10.English.pdf&usg=AOvVaw3Fme5MrjoWtt8Qgg9vYbMe>
-
- [42] EUR 23990 EN – Joint Research Centre – Institute for Prospective Technological Studies
-
- [43] L. Delgado et al (2009), End-of-Waste Criteria, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC53238/jrc53238.pdf>
-
- [44] United Nations Environment Programme (2019), www.unenvironment.org/circularity abgerufen am 27.09.2022, basierend auf Potting et al. (2017, p. 5)
-
- [45] Denise Reike, Walter J.V. Vermeulen, Sjors Witjes (2017), The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? – Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options, Resources, Conservation and Recycling, Volume 135, 2018, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302756?via%3Dihub>
-
- [46] DIN EN 4555x. Normenreihe zu allgemeinen Verfahren zu Bewertung von Circular-Economy-relevanten Aspekten, zur Deklaration kritischer Rohstoffe und zur Bereitstellung von Informationen über Materialeffizienz Aspekte von energieverbrauchsrelevanten Produkten. Zugänglich über www.beuth.de
-
- [47] RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>
-
- [48] DIN SPEC 5010:2018-05, Prüfung von Papier, Karton und Pappe – Bestimmung des Übergangs von Mineralölkohlenwasserstoffen aus Lebensmittel-Bedarfsgegenständen, die mit Altpapierstoffanteilen hergestellt werden; Text Deutsch und Englisch, <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.31030/2842535>
-
- [49] DIN SPEC 91446:2021-12, Klassifizierung von Kunststoff-Rezyklaten durch Datenqualitätslevels für die Verwendung und den (internetbasierten) Handel; Text Englisch, <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.31030/3304036>
-
- [50] DIN VDE V 0510-100 (VDE V 0510-100):2021-11, Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien aus dem Fahrzeugbereich für den Einsatz in ortsfesten Anwendungen, <https://www.vde-verlag.de/normen/1500229/e-din-vde-v-0510-100-vde-v-0510-100-2021-11.html>
-
- [51] VDI 2074 – Recycling in der Technischen Gebäudeausrüstung | VDI. (n. d.), <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2074-recycling-in-der-technischen-gebaeudeausruestung>
-

-
- [52] VDI 2343 Blatt 1 – Recycling elektrischer und elektronischer Geräte – Grundlagen und Begriffe | VDI. (n. d.), <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2343-blatt-1-recycling-elektrischer-und-elektronischer-geraete-grundlagen-und-begriffe>
-
- [53] R. Weissinger (2022), DIN-Mitteilungen Ausgabe Dezember 2022, <https://www.din-mitteilungen.de/de/din-mitteilungen/aktuelle-ausgabe>
-
- [54] Normenrecherche Version 1.7.1 (April 2022)
-
- [55] Normenrecherche (August 2022), <https://www.din.de/go/normenrecherche-circular-economy>
-
- [56] ISO 14009:2020-12, Umweltmanagementsysteme – Leitlinien zur Einbeziehung der Kreislaufführung von Materialien bei Design und Entwicklung, <https://www.beuth.de/de/norm/iso-14009/334145171>
-
- [57] Corvellec, H., Stowell, A. F., & Johansson, N. (2022), Critiques of the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 26(2), 421–432, <https://doi.org/10.1111/JIEC.13187>
-
- [58] Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? – Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264, <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.08.027>
-
- [59] United Nations Environment Programme (2017), The Long View: Exploring Product Lifetime Extension, <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/22394>
-
- [60] Forti, V., Peter Baldé, C., Kuehr, R., & Bel, G. (2020), The Global E-waste Monitor 2020 -Quantities, flows, and the circular economy potential, https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf
-
- [61] Ellen MacArthur Foundation (2017), A New Textiles Economy: Redesigning fashion’s future. Summary of findings, at: [A New Textiles Economy – Full Report | Shared by Fashion \(thirdlight.com\)](#)
-
- [62] Sustainability reporting standards roadmap – EFRAG. (n. d.), <https://www.efrag.org/Activities/2010051123028442/Sustainability-reporting-standards-roadmap>
-
- [63] EFRAG PTF- ESRS. (2022), [Draft] ESRS E5 Resource use and circular economy, https://www.efrag.org/Assets/Download?assetUrl=%2Fsites%2Fwebpublishing%2FSiteAssets%2FED_ESRS_E5.pdf
-
- [64] ISO 14025:2006-07, Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren, <https://www.beuth.de/de/norm/iso-14025/92334997>
-
- [65] ISO – ISO/WD 59040 – Circular Economy – Product Circularity Data Sheet, <https://www.iso.org/standard/82339.html>
-
- [66] Entwurf DIN EN IEC 63278-1:2022-07 (VDE 0810-781:2022-07), Verwaltungsschale für industrielle Anwendungen – Teil 1: Struktur der Verwaltungsschale (IEC 65/867/CD:2021); Text Deutsch und Englisch, <https://www.beuth.de/de/norm-entwurf/din-en-iec-63278-1/354882246>
-
- [67] DIN & DKE. (2020), DIN und DKE ROADMAP Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0, <https://www.din.de/resource/blob/95954/fef3e0c46a3b5d042f25078c50547f0d/aktualisierte-roadmap-i40-data.pdf>
-
- [68] DIN EN IEC 62890 (VDE 0810-890):2021-06, Industrielle Automatisierungs- und Leittechnik – Lebenszyklus-Management von Systemen und Komponenten (IEC 62890:2020), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iec-62890/338000188>
-

-
- [69] Blomsma, F. & Tennant, M. (2020), Circular economy: Preserving materials or products? Introducing the Resource States framework. Resources, Conservation and Recycling, 156, 104698, <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.104698>
-
- [70] Semantische Technologien – International Center for Computational Logic. (o.J.), Retrieved July 22, 2022, https://iccl.inf.tu-dresden.de/web/Semantische_Technologien
-
- [71] DIN EN 61360 (alle Teile), Genormte Datenelementtypen mit Klassifikationsschema für elektrische Betriebsmittel
-
- [72] ISO 13584-1:2001, Industrielle Automatisierungssysteme und Integration – Teilebibliothek – Teil 1: Überblick und Grundlagen, <https://www.beuth.de/de/norm/iso-13584-1/43272129>
-
- [73] VERORDNUNG (EG) Nr. 1907/2006 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission, (2006), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20220501&from=DE>
-
- [74] DIN SPEC 91345, Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0), <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-91345/250940128>
-
- [75] IMDS | International Material Data System. (o.J.), <https://www.mdssystem.com/imsdnt/startpage/index.jsp>
-
- [76] IDiS – Initiative Digitale Standards. (o.J.), <https://www.dke.de/de/normen-standards/normung-strategie/deutsche-normungsstrategie/idis>
-
- [77] About – I4R Platform. (o.J.), I4R, <https://i4r-platform.eu/about/>
-
- [78] ISO/IEC TR 10032:2003, Information technology – Reference Model of Data Management, <https://www.vde-verlag.de/iec-normen/215825/iso-iec-tr-10032-2003.html>
-
- [79] ISO – ISO/AWI 22373 – Security and resilience – Authenticity, integrity and trust for products and documents – Framework for establishing trustworthy supply chains, <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/05/02/50276.html?browse=tc>
-
- [80] DIN EN ISO 14040:2021-02, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020), <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.31030/3179655>
-
- [81] DIN EN ISO 14044:2021-02, Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020), <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.31030/3179656>
-
- [82] Greenhouse Gas Protocol (o.J.), <https://ghgprotocol.org/>
-
- [83] Single Market for Green Products – The Product Environmental Footprint Pilots – Environment – European Commission. (n. d.). Retrieved September 30, 2022, from https://ec.europa.eu/environment/eusd/smgp/ef_pilots.htm
-
- [84] World Business Council For Sustainable Development (WBCSD). (o.J.), <https://www.wbcd.org/>
-
- [85] European Commission. (o.J.), Ecodesign for sustainable products, https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products_en
-

-
- [86] DIN EN ISO 9004:2018-08, Qualitätsmanagement – Qualität einer Organisation – Anleitung zum Erreichen nachhaltigen Erfolgs (ISO 9004:2018); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 9004:2018, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9004/283875061>
-
- [87] Stucki, T., & Wörter, M. (2021), Statusbericht der Schweizer Kreislaufwirtschaft Erste repräsentative Studie zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft auf Unternehmensebene, <https://www.arv.ch/data/docs/de/5970/Kreislaufwirtschaft-2021-11-repräsentative-Studie-zur-Umsetzung-der-Kreislaufwirtschaft.pdf?v=1.0>
-
- [88] acatech, Circular Economy Initiative Deutschland, & SYSTEMIQ. (2021), Circular Business Models: Overcoming Barriers, Unleashing Potentials, <https://en.acatech.de/publication/circular-business-models-overcoming-barriers-unleashing-potentials/>
-
- [89] The British Standards Institution (2017), BS 8001:2017 Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations-Guide.
-
- [90] ISO – ISO/CD TR 59032.2 – Circular economy – Review of business model implementation. Retrieved September 30, 2022, from <https://www.iso.org/standard/83044.html>
-
- [91] ISO – ISO/CD 59010 – Circular Economy – Guidance on the transition of business models and value networks. abgerufen am 30. September 2022, <https://www.iso.org/standard/80649.html>
-
- [92] Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., & Dewulf, J. (2019), Circular economy indicators: What do they measure? Resources, Conservation and Recycling, 146, 452–461, <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.03.045>
-
- [93] Circulytics Resources. (o.J.), <https://ellenmacarthurfoundation.org/resources/circulytics/resources>
-
- [94] ISO – ISO/CD 59004 – Circular Economy – Terminology, Principles and Guidance for Implementation, <https://www.iso.org/standard/80648.html>
-
- [95] Apra (o.J.), APRAs Remanufacturing Translations – Terms and Definitions, https://apraeurope.org/wp-content/uploads/2021/05/Remanufacturing_Translation_Matrix.pdf
-
- [96] Apra (2012), Remanufacturing Terminology Remanufacturing Term Guideline, https://apraeurope.org/wp-content/uploads/2021/04/Remanufacturing_Terminology.pdf
-
- [97] Ellen MacArthur Foundation (2013), TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY Economic and business rationale for an accelerated transition, <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
-
- [98] Hansen, Erik G.; Wiedemann, Patrick; Fichter, Klaus; Lüdeke-Freund, Florian; Jaeger-Erben, Melanie; Schomerus, Thomas et al. (2021), Circular Business Models: Overcoming Barriers, Unleashing Potentials (Full Report). Hg. V. ACATEC
-
- [99] wbcSD (2022), CIRCULAR TRANSITION INDICATORS V3.0 Metrics for business, by business, <https://www.wbcSD.org/Programs/Circular-Economy/Metrics-Measurement/Resources/Circular-Transition-Indicators-v3.0-Metrics-for-business-by-business>
-
- [100] KVD-Service-Studie 2021, www.kvd.de
-
- [101] Prakash, S., Dehoust, G., Gsell, M., Schleicher, T., & Stamminger, R. (2016), Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_11_2016_einfluss_der_nutzungsdauer_von_produkten_obsoleszenz.pdf
-

-
- [102] Dr. I. Oehme (2015), Umweltbundesamt (Hrsg.), Wirksame Unterstützung von Reparaturnetzwerken- Reparierbarkeit und Reparaturinformationen als mögliche Elemente von verbindlichen Ökodesign-Anforderungen, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/avdialog_3-reparieren_oehme_reparierbarkeit_als_oekodesignanforderung.pdf
-
- [103] Cradle to Cradle Certified 4.0 (o.J.), Vierte und weitreichendste Cradle to Cradle-Version angekündigt, <https://www.baulinks.de/webplugin/2021/0727.php4>
-
- [104] Cradle to Cradle Products Innovation Institute (o.J), Home, <https://www.c2ccertified.org/>
-
- [105] International Electrotechnical Commission (o.J.), Common Data Dictionary (CDD), <https://cdd.iec.ch/cdd/iec61360/iec61360.nsf>
-
- [106] ZVEI e. V. (2022), Die deutsche Elektro- und Digitalindustrie – Daten, Zahlen und Fakten, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/Regelmaessige_Publikationen/Daten_Zahlen_und_Fakten/Die_deutsche_Elektroindustrie_Daten_Zahlen_Fakten/Faktenblatt-September-2022.pdf
-
- [107] Europäische Union (2019), Amtsblatt der Europäischen Union L 151 – Verordnung (EU) 2019/881 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 über die ENISA (Agentur der Europäischen Union für Cybersicherheit) und über die Zertifizierung der Cybersicherheit von Informationen, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2019:151:FULL&from=DE>
-
- [108] Amtsblatt der Europäischen Union L 197 – Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, 38 (2012), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2012:197:FULL&from=DE>
-
- [109] Europäische Union (2011), Amtsblatt der Europäischen Union L174- Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. 88, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2011:174:FULL&from=DE>
-
- [110] Europäische Kommission (2015) M/543 COMMISSION IMPLEMENTING DECISION C (2015)9096 of 17.12.2015 on a standardisation request to the European standardisation organisations as regards ecodesign requirements on material efficiency aspects for energy-related products in support of the implementation of Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council, <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=564>
-
- [111] Generaldirektion Umwelt (DG ENV), https://ec.europa.eu/info/departments/environment_de
-
- [112] Ausschuss für Umweltfragen, öffentliche Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, <https://www.europarl.europa.eu/committees/de/envi/home/highlights>
-
- [113] Generaldirektion Kommunikationsnetze, Inhalte und Technologien (DG CONNECT), https://ec.europa.eu/info/departments/communications-networks-content-and-technology_de
-
- [114] Generaldirektion Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU (DG GROW), https://ec.europa.eu/info/departments/internal-market-industry-entrepreneurship-and-smes_de
-
- [115] IEC/TC 111 „Environmental standardization for electrical and electronic products and systems“, <https://tc111.iec.ch/#about>
-
- [116] SMB ahG 94 „Product carbon footprint data for the electrotechnical sector“, https://iectest.iec.ch/ords/f?p=103:85:700800350293008:::::FSP_ORG_ID:28126
-

-
- [117] CLC/TC 59X auf der CENELEC-Website:
https://standards.cenelec.eu/dyn/www/f?p=305:7:0::::FSP_ORG_ID:2672477
-
- [118] Europäische Kommission (o.J.), Commitments and deliverables of the Circular Plastics Alliance,
https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/circular-plastics-alliance/commitments-and-deliverables-circular-plastics-alliance_en
-
- [119] International Resource Panel des UN Environment Programme (UNEP IRP),
<https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/international-resource-panel>
-
- [120] ISO/TC 262 „Risk management“, <https://www.iso.org/committee/629121.html>
-
- [121] ISO/TC 261 „Additive manufacturing“, <https://committee.iso.org/home/tc261>
-
- [122] Entwurf DIN EN IEC 61406 (VDE 0810-406:2022-08), Identifizierungslink,
<https://www.vde-verlag.de/normen/1800736/e-din-en-iec-61406-vde-0810-406-2022-08.html>
-
- [123] DIN/TS 54405:2020-12, Konstruktionsklebstoffe – Leitlinie zum Trennen und Rückgewinnen von Klebstoffen und Fügeteilen aus geklebten Verbindungen, <https://www.beuth.de/de/vornorm/din-ts-54405/329917716>
-
- [124] DIN SPEC 15240:2019-03, Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Energetische Inspektion von Klimaanlage, <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-15240/300937690>
-
- [125] Europäische Union (2017), Verordnung (EU) 2017/1369 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2017 zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/30/EU (konsolidierte Fassung), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1369&from=DE>
-
- [126] SCIP – ECHA. (o.J.), Gesetzgebung, <https://echa.europa.eu/de/scip>
-
- [127] Europäische Kommission (2022), EPREL – Europäische Produktdatenbank für die Energieverbrauchskennzeichnung, <https://eprel.ec.europa.eu/screen/home>
-
- [128] DIN EN 50678:2021-02 (VDE 0701:2021-02), Allgemeines Verfahren zur Überprüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen von Elektrogeräten nach der Reparatur, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-50678/331987182> oder <https://www.vde-verlag.de/normen/0701293/din-en-50678-vde-0701-2021-02.html>
-
- [129] Europäische Union (2014), Amtsblatt der Europäischen Union L 96 – RICHTLINIE 2014/35/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt (Neufassung), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0035&from=DE>
-
- [130] Europäische Union (2006), Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006L0042-20190726&from=DE>
-
- [131] Europäische Union (2000), Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge (konsolidierter Text), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0053-20200306&from=DE>
-
- [132] Geschäftsplan DIN SPEC 91472 Remanufacturing (Reman) – Qualitätsklassifizierung für zirkuläre Prozesse, <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/din-spec/alle-geschaeftsplaene/wdc-beuth:din21:352617945>
-

-
- [133] Europäische Union (2019), Amtsblatt der Europäischen Union L 169 – Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe (Neufassung), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1021&from=de>
-
- [134] Elektro- und Elektronikgerätegesetz vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1739), das zuletzt durch Artikel 23 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist, https://www.gesetze-im-internet.de/elektrog_2015/ElektroG.pdf
-
- [135] DIN EN 50625 (alle Teile), Sammlung, Logistik und Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (WEEE), Zugänglich über www.beuth.de oder www.vde-verlag.de
-
- [136] Normenreihe DIN EN 62321. Normenreihe zu Verfahren zur Bestimmung von bestimmten Substanzen in Produkten der Elektrotechnik. Zugänglich über www.beuth.de oder www.vde-verlag.de
-
- [137] DIN EN IEC 63000:2019-05 (VDE 0042-12:2019-05), Technische Dokumentation zur Beurteilung von Elektro- und Elektronikgeräten hinsichtlich der Beschränkung gefährlicher Stoffe (IEC 63000:2016), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iec-63000/302205544> oder <https://www.vde-verlag.de/normen/0090086/din-en-iec-63000-vde-0042-12-2019-05.html>
-
- [138] DIN 66399 (alle Teile), Büro- und Datentechnik – Vernichten von Datenträgern. Zugänglich über www.beuth.de
-
- [139] Bitkom Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (2008), Leitfaden zum Sicheren Datenlöschen, Version 2.0, S. 8, <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/080602-Sicheres-Datenloeschen-Version-2-0-vom-300508.pdf>
-
- [140] European Commission (o.J.), Ecodesign for sustainable products, https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products_en
-
- [141] Vorschlag für eine VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52020PC0798>
-
- [142] Abänderungen des Europäischen Parlaments vom 10. März 2022 zu dem Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 (COM(2020)0798 – C9-0400/2020 – 2020/0353(COD)), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52022AP0077&qid=1664522002560>
-
- [143] Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 – Allgemeine Ausrichtung, (March 14, 2022), <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7103-2022-REV-1/DE/pdf>
-
- [144] Amtsblatt der Europäischen Union L266-Richtlinie 2006/66/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. September 2006 über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Alttakkumulatoren und zur Aufhebung der Richtlinie 91/157/EWG, (2006) (testimony of Europäisches Parlament & Rat der Europäischen Union), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2006:266:FULL&from=DE>
-
- [145] DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS DER KOMMISSION vom 7.12.2021 über einen Normungsauftrag an die europäischen Normungsorganisationen in Bezug auf Leistungs-, Sicherheits- und Nachhaltigkeitsanforderungen für Batterien, <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=603&lang=de#>, Hinweis: Es besteht die Möglichkeit, dass nach Erscheinen der BattVo das Mandat unter anderer Nummer erneuert wird, [Mandate \(europa.eu\)](http://Mandate.europa.eu)
-

-
- [146] Ergebnisse der Normenrecherche Circular Economy (Excel-Liste, Stand April 2022), www.dke.de/normenrecherche-circular-economy
-
- [147] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (Batteriegesetz – BattG), <https://www.gesetze-im-internet.de/battg/BJNR158210009.html>
-
- [148] Verordnung (EU) 2019/1020 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über Marktüberwachung und die Konformität von Produkten sowie zur Änderung der Richtlinie 2004/42/EG und der Verordnungen (EG) Nr. 765/2008 und (EU) Nr. 305/2011 (Text von Bedeutung für den EWR.), [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32019R1020#:~:text=Verordnung%20\(EU\)%202019%2F1020,von%20Bedeutung%20f%C3%BCr%20den%20EWR.](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32019R1020#:~:text=Verordnung%20(EU)%202019%2F1020,von%20Bedeutung%20f%C3%BCr%20den%20EWR.)
-
- [149] IEV-Woerterbuch. (o.J.), <https://www2.dke.de/de/online-service/dke-iev/Seiten/IEV-Woerterbuch.aspx>
-
- [150] Europäisches Parlament, & Rat der Europäischen Union. (2008). Amtsblatt der Europäischen Union L312 – Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. 3–30, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2008:312:FULL&from=DE>
-
- [151] DIN EN 60335-1:2020-08 (VDE 0700-1:2020-08), Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60335-1:2010, modifiziert + COR1:2010 + COR2:2011 + A1:2013, modifiziert + A1:2013/COR1:2014 + A2:2016 + A2:2016/COR1:2016), <https://www.vde-verlag.de/normen/0701249/din-en-60335-1-vde-0700-1-2020-08.html>
-
- [152] DIN EN IEC 62115:2021-04 (VDE 0700-210:2021-04), Elektrische Spielzeuge – Sicherheit (IEC 62115:2017 + COR1:2019), <https://www.vde-verlag.de/normen/0701295/din-en-iec-62115-vde-0700-210-2021-04.html>
-
- [153] Project IEC 63369-1 ED1 Methodology for the Carbon Footprint calculation applicable to Lithium-ion batteries. (Zugriff ggf. eingeschränkt), <https://www.dke.de/de/normen-standards/dokument?id=7179294&type=dke%7Cdokument>
-
- [154] Projects: IEC 63372 ED1 Quantification and communication of Carbon FootPRINT and GHG emission reductions/avoided emissions from electric and electronic products and systems – Principles, methodologies, requirements and guidance. (Zugriff ggf. eingeschränkt), <https://www.dke.de/de/normen-standards/dokument?id=7178801&type=dke%7Cdokument>
-
- [155] Entwurf DIN VDE V 0510-100:2021-11 (VDE V 0510-100:2021-11), Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien aus dem Fahrzeugbereich für den Einsatz in ortsfesten Anwendungen, <https://www.vde-verlag.de/normen/1500229/e-din-vde-v-0510-100-vde-v-0510-100-2021-11.html>
-
- [156] Normungsgremium DKE/K 371 „Akkumulatoren“, DKE/K 371 Akkumulatoren oder <https://www.dke.de/de/ueber-uns/dke-organisation-auftrag/dke-fachbereiche/dke-gremium?id=2000115&type=dke%7Cgremium>
-
- [157] Umweltbundesamt (o.J.), Verpackungsabfälle, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/verpackungsabfaelle#verpackungen-uberall>
-
- [158] Bundesministerium der Justiz (2017), Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (VerpackG), <https://www.gesetze-im-internet.de/verpackg/>
-
- [159] Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister (2021), Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG, https://www.verpackungsregister.org/fileadmin/files/Mindeststandard/Mindeststandard_VerpackG_2021.pdf
-

-
- [160] Dänischer Abfallverband danskaffaldsforening (o.J.), <https://danskaffaldsforening.dk/>
-
- [161] Arbeitskreis Mehrweg GbR (2020), Leitfaden zur Nutzung des MMP Pools, https://uploads.n-bnn.de/Leitfaden_zur_Nutzung_des_MMP-Pools_Nov.2020.pdf
-
- [162] Kröger, Melanie; Pape, Jens; Wittwer, Alexandra (Hrsg.) (2020), Einfach weglassen? München: Oekom Verlag.
-
- [163] International Labour Organization (ILO), ILO Kernarbeitsnormen, <https://www.ilo.org/berlin/arbeits-und-standards/kernarbeitsnormen/lang--de/index.htm>
-
- [164] VDI 4095 – Projekt: Bewertung von Kunststoffen in der Kreislaufwirtschaft, <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4095-bewertung-von-kunststoffen-in-der-kreislaufwirtschaft>
-
- [165] Europäische Kommission: Initiative on substantiating green claims der EU, https://ec.europa.eu/environment/eusssd/smgp/initiative_on_green_claims.htm
-
- [166] Europäische Kommission (2012), Product Environmental Footprint (PEF) Guide, <https://ec.europa.eu/environment/eusssd/pdf/footprint/PEF%20methodology%20final%20draft.pdf>
-
- [167] Umweltbundesamt (2019), Treibhauspotentiale (Global Warming Potential, GWP) ausgewählter Verbindungen und deren Gemische gemäß Viertem Sachstandsbericht des IPCC bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren, <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/treibhauspotentiale-global-warming-potential-gwp>
-
- [168] Casson, Andrea, et al. Beyond the eco-design of case-ready beef packaging: The relationship between food waste and shelf-life as a key element in life cycle assessment. Food Packaging and Shelf Life, 2022, 34. Jg., S. 100943.
-
- [169] Europäische Union (2004), Amtsblatt der Europäischen Union L388 – Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Oktober 2004 über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen und zur Aufhebung der R. 4–17, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2004:338:FULL&from=DE> und zur Aufhebung der Richtlinien 80/590/EWG und 89/109/EWG, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:338:0004:0017:de:PDF>
-
- [170] Europäische Union. (2011). Amtsblatt der Europäischen Union L12 Verordnung (EU) Nr. 10/2011 der Kommission vom 14. Januar 2011 über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:012:0001:0089:DE:PDF>, zuletzt abgerufen am 30.09.2022
-
- [171] Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. September 2021 (BGBl. I S. 4253), das durch Artikel 7 des Gesetzes vom 27. September 2021 (BGBl. I S. 4530) geändert worden ist, <https://www.gesetze-im-internet.de/lfgb/BJNR261810005.html>
-
- [172] Council of Europe Committee of ministers (partial agreement in the social an public health field), Resolution AP (89) 1 on the use of colourants in plastic materials coming in to contact with food, <https://rm.coe.int/16804f8648>
-
- [173] Council of Europe Committee of ministers (partial agreement in the social an public health field), Resolution AP (92) 2 on control of aids to polymerization (technological coadjuvants) for plastics materials and articles intended to come into contact with foodstuffs, <https://rm.coe.int/16804d0d41>
-
- [174] Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, (2008) (testimony of Europäisches Parlament & Rat der Europäischen Union), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20180705&from=EN>
-

-
- [175] Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 1994 über Verpackungen und Verpackungsabfälle, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A31994L0062>
-
- [176] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG), <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/>
-
- [177] DIN EN ISO 14021:2021-10, Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Umweltbezogene Anbietererklärungen (Umweltkennzeichnung Typ II), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-14021/336875741>
-
- [178] Dehoust et. al. (2021), Ökologische Gestaltung der Beteiligungsentgelte gemäß § 21 VerpackG, insbesondere Entwicklung einer Methodik zur Erfassung der Praxis der Sortierung und Verwertung (ÖkoGeB), https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-01-22_texte_11-2020_oeko-logische_beteiligungsentgelte.pdf, zuletzt angerufen am 30.09.2022
-
- [179] R. Pomberger (2020), Über theoretische und reale Recyclingfähigkeit. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft Volume 73, <https://doi.org/10.1007/s00506-019-00648-6>
-
- [180] ISO 18603:2013, Verpackung und Umwelt – Wiederverwendung, <https://www.beuth.de/de/norm/iso-18603/171300811>
-
- [181] DIN EN 13698-1:2004-01, Produktspezifikation für Paletten – Teil 1: Herstellung von 800 mm x 1200 mm-Flachpaletten aus Holz, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-13698-1/60040228>
-
- [182] European Food Safety Authority (o.J.), Plastics and plastic recycling, <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/plastics-and-plastic-recycling>
-
- [183] DIN ISO 13065:2017-07, Nachhaltigkeitskriterien für Bioenergie, <https://www.beuth.de/de/norm/din-iso-13065/271386386>
-
- [184] EU-Kommission (2022) (ENTWURF): DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS DER KOMMISSION über einen Normungsauftrag an das Europäische Komitee für Normung und das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung in Bezug auf Kunststoffrecycling und recycelte Kunststoffe zur Unterstützung der europäischen Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft
-
- [185] DIN CEN/TS 16010:2021-04, Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Probenahmeverfahren zur Prüfung von Kunststoffabfall und Rezyklaten, <https://www.beuth.de/de/vornorm/din-cen-ts-16010/324958916>
-
- [186] DIN CEN/TS 16011:2013-04, DIN SPEC 91011:2013-04, Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Probenvorbereitung, <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-cen-ts-16011/152250361>
-
- [187] DIN EN 15343:2008-02, Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Rückverfolgbarkeit bei der Kunststoffverwertung und Bewertung der Konformität und des Rezyklatgehalts, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-15343/99632421>
-
- [188] DIN CEN/TS 17627:2021-07, Kunststoffe – Rezyklate – Bestimmung des Gehaltes an Feststoffverunreinigungen, <https://www.beuth.de/de/vornorm/din-cen-ts-17627/330285919>
-
- [189] DIN EN 15344:2021-07, Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Polyethylen(PE)-Rezyklaten, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-15344/333190085>
-
- [190] Entwurf DIN EN 15347:2022-04, Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von sortierten Kunststoffabfällen, <https://www.beuth.de/de/norm-entwurf/din-en-15347/347420181>
-

-
- [191] DIN EN ISO 1043-1:2016-09, Kunststoffe – Kennbuchstaben und Kurzzeichen – Teil 1: Basis-Polymere und ihre besonderen Eigenschaften (ISO 1043-1:2011 + Amd.1:2016), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-1043-1/254567106>
-
- [192] DIN EN ISO 11357-3:2018-07, Kunststoffe – Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC) – Teil 3: Bestimmung der Schmelz- und Kristallisationstemperatur und der Schmelz- und Kristallisationsenthalpie (ISO 11357-3:2018), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-11357-3/282639092>
-
- [193] RecyClass. (o.J.), Homepage, <https://recyclclass.eu/>
-
- [194] Gürlich, U., Kladnik, V., & Pavlovic, K. (2021), CIRCULAR PACKAGING DESIGN GUIDELINE – EMPFEHLUNGEN FÜR DIE GESTALTUNG RECYCLINGGERECHTER VERPACKUNGEN, https://www.fh-campuswien.ac.at/fileadmin/redakteure/Forschung/FH-Campus-Wien_Circular-Packaging-Design-Guideline_V04_DE.pdf
-
- [195] Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister (2021), Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG. https://www.verpackungsregister.org/fileadmin/files/Mindeststandard/Mindeststandard_VerpackG_2021.pdf
-
- [196] Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Änderung der Richtlinien 2005/29/EG und 2011/83/EU hinsichtlich der Stärkung der Verbraucher für den ökologischen Wandel durch besseren Schutz gegen unlautere Praktiken und bessere Informationen – Publications Office of the EU (europa.eu), <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ccf4e0b8-b0cc-11ec-83e1-01aa75ed71a1/language-de/format-PDF>
-
- [197] Europäische Kommission (2022), Verordnung 2022/1616 der Kommission vom 15.09.2022 über Materialien und Gegenstände aus recyceltem Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 282/2008, Amtsblatt der EU L 243/3 vom 20.09.2022, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32022R1616>
-
- [198] Bundesregierung unterstützt Initiative der EU-Kommission für nachhaltige Produkte | Pressemitteilung | BMUV. (n. d.). abgerufen am 26. Juli 2022, <https://www.bmuv.de/pressemitteilung/bundesregierung-unterstuetzt-initiative-der-eu-kommission-fuer-nachhaltige-produkte>
-
- [199] ISO 12418-1:2012-09, Kunststoffe – Rezyklat aus gebrauchten PET-Flaschen – Teil 1: Kennzeichnungssystem und Grundlagen zur Spezifikation, <https://www.beuth.de/de/norm/iso-12418-1/165434703>
-
- [200] ISO 15270:2008-06, Kunststoffe – Richtlinie für die Verwertung von Kunststoff-Abfällen, <https://www.beuth.de/de/norm/iso-15270/110156950>
-
- [201] Prof. Dr. Hans-Josef Endres (2022): Hochwertigere Rezyklate und konstantere Inputströme, in: K-Zeitung vom 19.05.2022, <https://www.k-zeitung.de/hochwertigere-rezyklate-und-konstantere-inputstroeme>
-
- [202] Orth, P., Bruder, J., & Rink, M. (2022). Normung und Standardisierung für Kunststoffe im Kreislauf. In Kunststoffe im Kreislauf (pp. 183–193). Springer Vieweg, Wiesbaden, https://doi.org/10.1007/978-3-658-37814-1_14
-
- [203] United Nations, & UN Department of Economic and Social Affairs (2015), THE 17 GOALS | Sustainable Development, <https://sdgs.un.org/goals>
-
- [204] DIN EN 17410:2021-11, Kunststoffe – Geregelter Recyclingkreislauf von Fenster- und Türprofilen aus PVC-U, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-17410/339503681>
-

- [205] Entwurf VDI 3822, Schadensanalyse – Grundlagen und Durchführung einer Schadensanalyse, <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-3822-schadensanalyse-grundlagen-und-durchfuehrung-einer-schadensanalyse>
- [206] DIN EN ISO 9001:2015-11, Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9001/235671251>
- [207] VDI 4800 Blatt 2, Ressourceneffizienz – Bewertung des Rohstoffaufwands, <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4800-blatt-2-ressourceneffizienz-bewertung-des-rohstoffaufwands>
- [208] VDI 3800, Ermittlung der Aufwendungen für Maßnahmen zum betrieblichen Umweltschutz, <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-3800-ermittlung-der-aufwendungen-fuer-massnahmen-zum-betrieblichen-umweltschutz>
- [209] DIN SPEC 91466 – Geschäftsplan, Sortieranlagen für Leichtverpackungen – Wertstoffeffizienz und weitere Qualitätskriterien – Prüfverfahren und Dokumentation, <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/din-spec/alle-geschaeftsplaene/wdc-beuth:din21:346868777>
- [210] DIN EN ISO 60:2000-01, Kunststoffe – Bestimmung der scheinbaren Dichte von Formmassen, die durch einen genormten Trichter abfließen können (Schüttdichte), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-60/24622445>
- [211] VDA 270 (05/2022), Bestimmung des Geruchsverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeug-Innenausstattung, <https://webshop-dev.vda.de/VDA/en/vda-270-052022>
- [212] Europäische Kommission (2022), Nachhaltige und kreislauffähige Textilien bis 2030, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/FS_22_2017
- [213] Textil+Mode (2017), DIE ZUKUNFT IST TEXTIL Die deutsche Textil- und Modeindustrie stellt sich vor, https://textil-mode.de/de/documents/4/2017-03-13_Imagebroschüre_dt_web-2.pdf
- [214] DIN CEN/TS 16822:2016-02, DIN SPEC 64677:2016-02, Textilien und textile Erzeugnisse – Umweltbezogene Anbietererklärung – Verwendung von Begriffen, <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-cen-ts-16822/225404076>
- [215] Europäische Kommission (2022), EU-Strategie für nachhaltige und kreislauffähige Textilien, https://environment.ec.europa.eu/strategy/textiles-strategy_de
- [216] Greenpeace e. V (2017), After the Binge, the Hangover- International Fashion Consumption Survey Insights into the Minds of Clothing Consumers, <https://www.greenpeace.de/publikationen/2017-05-08-greenpeace-konsum-umfrage-mode.pdf>
- [217] Köhler, A., Watson, D., Trzepacz, S., Löw, C., Liu, R., Danneck, J., Konstantas, A., Donatello, S., Faraca, G., & Europäische Kommission Gemeinsame Forschungsstelle. (2021), Circular Economy Perspectives in the EU Textile sector, EUR 30734 EN, <https://doi.org/10.2760/858144>
- [218] Wagner, J., Steinmetzer, S., Theophil, L., Strues, A.-S., Kösegi, N., & Dr. Hoyer, S. (2022), UBA (Herausgeber), Evaluation der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft, Abschlussbericht, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/evaluation-der-erfassung-verwertung-ausgewaehlter>
- [219] Greenpeace e. V. (2015), Wegwerfware Kleidung, https://www.greenpeace.de/publikationen/20151123_greenpeace_modekonsum_flyer.pdf
-

-
- [220] Produktsicherheitsgesetz vom 27. Juli 2021 (BGBl. I S. 3146, 3147), https://www.gesetze-im-internet.de/prodsg_2021/ProdSG.pdf
-
- [221] Umweltbundesamt (2019), Die Textilindustrie in Deutschland, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industriebereiche/textilindustrie#die-textilindustrie-in-deutschland>
-
- [222] Nimkar, U. (2018), Sustainable chemistry: A solution to the textile industry in a developing world. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 9, 13–17, <https://doi.org/10.1016/J.COGSC.2017.11.002>
-
- [223] BMUV (o.J.), Bundesregierung unterstützt Initiative der EU-Kommission für nachhaltige Produkte | Pressemitteilung, <https://www.bmuv.de/pressemitteilung/bundesregierung-unterstuetzt-initiative-der-eu-kommission-fuer-nachhaltige-produkte>
-
- [224] BMUV (2022), Bundesregierung unterstützt Initiative der EU-Kommission für nachhaltige Produkte, <https://www.bmuv.de/pressemitteilung/bundesregierung-unterstuetzt-initiative-der-eu-kommission-fuer-nachhaltige-produkte>
-
- [225] EU-Kommission (2022), Sustainable product initiative (SPI), https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12567-Initiative-fur-nachhaltige-Produkte_de
-
- [226] Entwurf DIN EN ISO 5157, Textilien – Umweltaspekte – Vokabular, <https://www.beuth.de/de/norm-entwurf/din-en-iso-5157/357661382>
-
- [227] Hessische Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen (2021), Mit Ecodesign zu einer ressourcenschonenden Wirtschaft, https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2021/3319_ecodesign_2021_final_web.pdf
-
- [228] COMMISSION REGULATION (EC) No 552/2009 of 22 June 2009 amending Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards Annex XVII, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:164:0007:0031:EN:PDF>
-
- [229] DIN EN ISO 12947 (alle Teile), Bestimmung der Scheuerbeständigkeit von textilen Flächengebilden mit dem Martindale-Verfahren, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-12947-1/97753105>
-
- [230] DIN EN ISO 9073-4, Vliesstoffe – Prüfverfahren – Teil 4: Bestimmung der Weiterreißfestigkeit mittels des Trapezoidverfahrens, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9073-4/330766694>
-
- [231] DIN EN ISO 13937 (alle Teile), Weiterreißigenschaften von textilen Flächengebilden, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-13937-1/20269932>
-
- [232] Verordnung (EU) 2016/425 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2016 über persönliche Schutzausrüstungen und zur Aufhebung der Richtlinie 89/686/EWG des Rates (Text von Bedeutung für den EWR), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32016R0425>
-
- [233] Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen 1, https://www.gesetze-im-internet.de/gewabfv_2017/index.html
-
- [234] DIN EN ISO 13934-1:2013-08, Textilien – Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden – Teil 1: Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraft-Dehnung mit dem Streifen-Zugversuch (ISO 13934-1:2013), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-13934-1/187071021>
-

-
- [235] European Environment Agency (2022), Eionet Report – ETC/CE 2022/2, Textiles and the Environment The role of design in Europe’s circular economy, [ETC_Design-of-Textiles.pdf \(cscp.org\)](#)
-
- [236] Textilkennzeichnungsgesetz vom 15. Februar 2016 (BGBl. I S. 198), https://www.gesetze-im-internet.de/textilkennzg_2016/TextilKennzG.pdf
-
- [237] EURATEX (o.J.), A joint initiative for industrial upcycling of textile waste streams & circular materials, <https://euratex.eu/rehubs/>
-
- [238] VERORDNUNG (EU) Nr. 1007/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 27. September 2011 über die Bezeichnungen von Textilfasern und die damit zusammenhängende Etikettierung und Kennzeichnung der Faserzusammensetzung von Textilerzeugnissen und zur Aufhebung der Richtlinie 73/44/EWG des Rates und der Richtlinien 96/73/EG und 2008/121/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/LSU/?uri=CELEX:32011R1007>
-
- [239] Textilkennzeichnungsgesetz, https://www.gesetze-im-internet.de/textilkennzg_2016/
-
- [240] DIN EN ISO 14001:2015-11, Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-14001/236721041>
-
- [241] Ellen MacArthur Foundation (o.J.), Material Circularity Indicator (MCI), <https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>
-
- [242] Deutsche Institute für Textil + Faserforschung (DITF) (o.J.), Forschung, <https://www.ditf.de/de/forschung/kompetenzzentren/textilchemie-umwelt-und-energie.html>
-
- [243] DIN EN ISO 3758, Textilien – Pflegekennzeichnungs-Code auf der Basis von Symbolen, <https://www.beuth.de/de/norm-entwurf/din-en-iso-3758/349818212>
-
- [244] Clevercare.info (<http://clevercare.info>)
-
- [245] DIN EN ISO 15797:2018-05, Textilien – Industrielle Wasch- und Finishverfahren zur Prüfung von Arbeitskleidung (ISO 15797:2017). <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-15797/279031118>
-
- [246] DIN EN ISO 30023, Textilien – Qualifizierungssymbole zur Kennzeichnung von Arbeitsbekleidung für die industrielle Wäsche, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-30023/345625575>
-
- [247] DIN EN ISO 3175 (alle Teile), Professionelle Pflege, Chemischreinigung und Nassreinigung von textilen Flächengebilden und Kleidungsstücken, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-3175-1/279447041>
-
- [248] Gözet, Wilts (2022), Kreislaufwirtschaft als Baustein nachhaltiger Entwicklung, in: Christiane Meyer (Hg.), „Transforming our World“. Zukunftsdiskurse zur Umsetzung der UN-Agenda 2030. [transcript] Neue Ökologie, Seite 173-180
-
- [249] MIT Technology Review, Heft 2 (2022), REDUCE, REUSE, Recycle, REPEAT. Kreislauf statt Einbahnstraße: Neue Strategien für die zirkuläre Wirtschaft, Seite 14-21
-
- [250] H. Wilts, M. Fecke (2020), ReUse und Secondhand in Deutschland Einstellungen zum Thema Abfallvermeidung und Nachhaltigkeit, [OPUS 4 | ReUse und Secondhand in Deutschland : Einstellungen zum Thema Abfallvermeidung und Nachhaltigkeit \(wupperinst.org\)](#)
-
- [251] Entschließung des Europäischen Parlaments vom 7. April 2022 zu dem Recht auf Reparatur 2022/2515(RSP), https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0126_DE.html
-

-
- [252] Gemeinschaft für textile Zukunft (2021), Textile Zukunft Informationen – Hintergründe – Strategien zum Umgang mit Alttextilien, <https://textile-zukunft.de/wp-content/uploads/2014/10/Textile-Zukunft-Brosch%C3%BCre-der-Gemeinschaft-f%C3%BCr-Textile-Zukunft.pdf>
-
- [253] Fachverband Textilrecycling (Hrsg.) (o.J), Bedarf, Konsum und Wiederverwendung von Bekleidung und Textilien in Deutschland, https://www.bvse.de/dateien2020/1-Bilder/03-Themen_Ereignisse/06-Textil/2020/studie2020/bvse%20Alttextilstudie%202020.pdf
-
- [254] CEN/TC 183/WG 1 Abfallsammelbehälter, <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nkt/europaeische-gremien/wdc-grem:din21:54756197>
-
- [255] Europäische Kommission, & Generaldirektion Umwelt. (2021). Vorschlag für eine VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Verbringung von Abfällen und zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 1257/2013 und (EU) 2020/1056, <https://doi.org/10.1787/18166881>
-
- [256] Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz-LkSG) Abschnitt 1 (zukünftig in Kraft), (2021), <https://www.gesetze-im-internet.de/lksg/LkSG.pdf>
-
- [257] OEKO-TEX (2022), Startseite, <https://www.oeko-tex.com/de/>
-
- [258] Grüner Knopf, https://www.gruener-knopf.de/?gclid=EAlaIQobChMI39jl2sq8-gIVYY9oCR3foQExEAAAYASAAEgK8BfD_BwE
-
- [259] Baratsas, S. G., Masoud, N., Pappa, V. A., Pistikopoulos, E. N., & Avraamidou, S. (2021), Towards a Circular Economy Calculator for Measuring the „Circularity“ of Companies. Computer Aided Chemical Engineering, 50, 1547–1552, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88506-5.50239-4>
-
- [260] DIN EN ISO 14024:2018-06, Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Umweltkennzeichnung Typ I – Grundsätze und Verfahren (ISO 14024:2018), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-14024/288864675>
-
- [261] European Commission. Joint Research Centre. & Organisation for Economic Co-operation and Development. (2008), Handbook on constructing composite indicators : methodology and user guide. OECD, <https://www.oecd.org/els/soc/handbookonconstructingcompositeindicatorsmethodologyanduserguide.htm>
-
- [262] Circular Fashion (2020), circularity.ID Open Data Standard, <https://circularity.id/open-data-standard.html>
-
- [263] UNECE (o.J.), Projekt Traceability for Sustainable Garment and Footwear, <https://unece.org/trade/traceability-sustainable-garment-and-footwear>
-
- [264] Textile Exchange (2020), Material Processes Product Classification, <https://textileexchange.org/documents/materials-processes-products-classification/>
-
- [265] Global Textile Scheme GmbH (2020), GTL Language von Global Textile Scheme, [GTL Language: https://www.globaltextilescheme.org/](https://www.globaltextilescheme.org/)
-
- [266] GS1 (o.J.), 6.35 Web Vocabulary, <https://www.gs1.org/gs1-web-vocabulary>
-
- [267] Textile Exchange (2022), The RCS and GRS are designed to boost the use of recycled materials, <https://textileexchange.org/standards/recycled-claim-standard-global-recycled-standard/>
-
- [268] Greenpeace e. V. (2018), <https://www.greenpeace.de/sites/default/files/publications/e01211-greenpeace-chemie-einkaufsratgeber-textil-siegel-2018.pdf>
-

-
- [269] Amtsblatt der Europäischen Union L 117- Verordnung (EU) 2017/745 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2017 über Medizinprodukte, zur Änderung der Richtlinie 2001/83/EG, der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 und der Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 und zur Aufhebung der Richtlinien 90/385/EWG und 93/42/EWG des Rates, (2017) (testimony of Europäische Union), [EUR-Lex – 32017R0745 – EN – EUR-Lex \(europa.eu\)](#)
-
- [270] Übereinkommen von Paris – Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, <https://eur-lex.europa.eu/content/paris-agreement/paris-agreement.html?locale=de>
-
- [271] Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088 (Text von Bedeutung für den EWR), <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj?locale=de>
-
- [272] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates Text von Bedeutung für den EWR, [EUR-Lex – 32011R0305 – EN – EUR-Lex \(europa.eu\)](#)
-
- [273] ISO 20887:2020-01, Nachhaltigkeit von Gebäuden und Ingenieurbauwerken – Planung der Rückbaubarkeit und Anpassbarkeit – Grundsätze, Anforderungen und Leitlinien, <https://www.beuth.de/de/norm/iso-20887/320395771>
-
- [274] DIN EN 10020:2000-07, Begriffsbestimmung für die Einteilung der Stähle, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-10020/27404233>
-
- [275] Beton-Festigkeitsklasse nach Eurocode 2, [Eurocode 2: Betonbau \(eurocode-online.de\)](#)
-
- [276] Graf, J., Birk, S., Poteschkin, V., & Braun, Y. (2022), Kreislaueffektive Bauwende – Auf dem Weg zu einer neuen Tektonik. Bautechnik, <https://doi.org/10.1002/BATE.202100111>
-
- [277] VDI 2243:2002-07, Recyclingorientierte Produktentwicklung, <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2243-recyclingorientierte-produktentwicklung>
-
- [278] Funktional und komfortabel – Informationsportal Nachhaltiges Bauen, <https://www.nachhaltigesbauen.de/>
-
- [279] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.), Bewertungssystem – Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), <https://bnb-nachhaltigesbauen.de>
-
- [280] DIN EN 1991-1-1:2010-12, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 11: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-1991-1-1/134234392>
-
- [281] ISO 16739-1:2018, Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema, <https://www.iso.org/standard/70303.html>
-
- [282] buildingSMART (o.J.), Building smart, <https://www.buildingsmart.de/>
-
- [283] DIN EN 15978:2012-10, Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. (n. d.), <https://www.beuth.de/de/norm-entwurf/din-en-15978-1/337039423>
-
- [284] DIN EN 15804:2022-03, Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-15804/344735627>
-
- [285] Institut Bauen und Umwelt e. V. (2020), EDP, [Institut Bauen und Umwelt e. V. | Das Detail im Fokus.Das Ganze im Blick. \(ibu-epd.com\)](#)
-

-
- [286] BMWK (2022), BMWK startet Diskussionsprozess zu flächendeckender kommunaler Wärmeplanung, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/diskussionspapier-kommunale-waermeplanung.html>
-
- [287] Feifel, S., Walk, W., Wursthorn, S., & Schebek, L. (2009), Ökobilanzierung 2009 Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit; Tagungsband Ökobilanz-Werkstatt 2009; Campus Weihenstephan, Freising, 5. bis 7. Oktober 2009. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), KIT Scientific Publishing, <https://www.itas.kit.edu/pub/v/2009/walk09a.pdf>
-
- [288] RecyClass. (o.J.), <https://recyclclass.eu/>
-
- [289] Green Delta (2022), Product Environmental Footprint (PEF), <https://www.openlca.org/project/pef/>
-
- [290] Europäische Kommission (o.J.), Life cycle costing – GPP – Environment, <https://ec.europa.eu/environment/gpp/lcc.htm>
-
- [291] ISO 14051:2011-09, Umweltmanagement – Materialflusskostenrechnung – Allgemeine Rahmenbedingungen, <https://www.beuth.de/de/norm/iso-14051/146156682>
-
- [292] Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (o.J.), CSR – Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), <https://www.csr-in-deutschland.de/DE/CSR-Allgemein/CSR-Politik/CSR-in-der-EU/Corporate-Sustainability-Reporting-Directive/corporate-sustainability-reporting-directive-art.html>
-
- [293] Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022), Programmaufbau von Horizont 2020 – Horizont 2020, <https://www.horizont2020.de/einstieg-programmaufbau.htm>
-
- [294] EU-Kommission (o.J.), Ökodesign für nachhaltige Produkte, https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products_de
-
- [295] Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020, COM/2020/798 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0798>
-
- [296] DGNB (o.J.), Gebäuderessourcenpass, <https://www.dgnb.de/de/themen/gebaeuderessourcenpass/index.php>
-
- [297] R-Cycle Initiative (o.J.), R-Cycle Pilotprojekte, <https://www.r-cycle.org/pilotprojekte/>
-
- [298] New Legislative Framework – CE-Richtlinien.eu. (o.J.), <https://www.ce-richtlinien.eu/ce-richtlinien/new-legislative-framework/>
-
- [299] ISO/IEC 15459 (alle Teile), Information technology – Automatic identification and data capture techniques – Unique identification
-
- [300] Circular Economy Initiative (o.J.), Batteriepass (Battery Pass), <https://www.circular-economy-initiative.de/battery-pass-de>
-
- [301] DIGITALEUROPE (2022), Digital Product Passport (CIRPASS), <https://www.digitaleurope.org/digital-product-passport/>
-
- [302] EDICOM (o.J.), EDI-Standards, <https://edicomgroup.de/learning-center/edi/standards>
-
- [303] GS1 (o.J.), ECR – Electronic Product Code (EPC), <https://www.ecr.digital/book/gs1-standards/electronic-product-code-epc/>
-

- [304] IEC 61360- IEC/SC 3D – Common Data Dictionary (CDD – V2.0015.0004), <https://cdd.iec.ch/cdd/iec61360/iec61360.nsf>
- [305] Amtsblatt der Europäischen Union L 409 – Beschluss (EU) 2020/1829 des Rates vom 24. November 2020 über die Einreichung – im Namen der Europäischen Union – von Vorschlägen zur Änderung der Anlage IV und bestimmter Einträge in den Anlagen II und IX des Basl. 2020, 28–34, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2020:409:FULL&from=DE>
- [306] Europäische Kommission (2020), Änderung unserer Produktions- und Verbrauchsmuster: neuer Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft ebnet Weg zu klimaneutraler und wettbewerbsfähiger Wirtschaft mit mündigen Verbrauchern, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_20_420
- [307] IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e. V. (o.J.), ÜBERBLICK ZUM ECO DESIGN LEITFADEN. Retrieved September 30, 2022, from <https://ecodesign-packaging.org/leitfaden/management-ueberblick/>
- [308] AVAW, (o.J.), ReWaste F, https://www.avaw-unileoben.at/de/forschung-projekte-rewaste_f/
- [309] Papiertechnische Stiftung (PTS) (o.J.), Neue PTS Methode PTS-RH 025:2022 zur Analyse der wässrigen Phase bei der Faserstoffwiedergewinnung, <https://www.ptspaper.de/de/aktuelles/detailseite/pts-rh-0252022-for-the-analysis-of-the-aqueous-phase-in-fibre-recovery-processes/>
- [310] 4ever green alliance (2022), GUIDANCE ON THE IMPROVED COLLECTION AND SORTING OF FIBRE-BASED PACKAGING FOR RECYCLING, <https://4evergreenforum.eu/wp-content/uploads/4evergreens-Guidance-on-the-Improved-Collection-and-Sorting-of-Fibre-based-Packaging-for-Recycling.pdf>
- [311] 4ever green alliance (2021), guidelines and protocol, <https://4evergreenforum.eu/about/guidelinesandprotocol/>
- [312] Dr. Maier, R.-D., & Dr. Schiller, M. (2016), Handbuch Kunststoff Additive. In Handbuch Kunststoff Additive (4. Auflage, Vol. 4). Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, <https://doi.org/10.3139/9783446432918>
- [313] Calisto Friant, M., Vermeulen, W. J.V. & Salomone, R. (2020), A typology of circular economy discourses: Navigating the diverse visions of a contested paradigm. Resources, Conservation and Recycling, 161, 1–19, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec>.
- [314] Johan Schot/W. Edward Steinmueller (2018), Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change, Research Policy –1567, <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.08.011>; Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (Hrsg.) (2021): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2021, EFI, Berlin, https://www.e-fi.de/fileadmin/Assets/Gutachten/2021/EFI_Gutachten_2021.pdf
- [315] DIN EN IEC 62902 (VDE 0510-902), Sekundärbatterien – Symbole für die Kennzeichnung zur Identifikation ihrer Chemie (IEC 62902), <https://www.beuth.de/de/erweiterte-suche/272754!search?alx.searchType=complex&alx.search.autoSuggest=false&searchAreaId=1&query=62902&facets%5B276612%5D=&hitsPerPage=10> oder <https://www.vde-verlag.de/normen/0500169/din-en-iec-62902-vde-0510-902-2020-06.html>
- [316] IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e. V. (o.J.), Design For Recycling, <https://ecodesign-packaging.org/en/guidelines/strategies/design-for-recycling/>
- [317] DIN EN 45558:2019-10, Allgemeines Verfahren zur Deklaration der Verwendung kritischer Rohstoffe in energieverbrauchsrelevanten Produkten, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-45558/309791380>
- [318] DIN EN 45552:2020-05, Allgemeines Verfahren zur Bewertung der Funktionsbeständigkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-45552/316877675>

-
- [319] DIN EN 45556:2020-03, Allgemeines Verfahren zur Bewertung des Anteils an wiederverwendeten Komponenten in energieverbrauchsrelevanten Produkten, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-45556/317433757>
-
- [320] DIN EN 45555:2020-04, Allgemeines Verfahren zur Bewertung der Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-45555/311516381>
-
- [321] DIN EN IEC 62485-5 (VDE 0510-485-5:2021-12), Sicherheitsanforderungen an sekundäre Batterien und Batterieanlagen – Teil 5: Sicherer Betrieb von stationären Lithium-Ionen-Batterien (IEC 62485-5:2020), <https://www.vde-verlag.de/normen/0500212/din-en-iec-62485-5-vde-0510-485-5-2021-12.html>
-
- [322] DIN EN IEC 60086-4 (VDE 0509-4:2020-07), Primärbatterien – Teil 4: Sicherheit von Lithium-Batterien (IEC 60086-4:2019), <https://www.vde-verlag.de/normen/0500173/din-en-iec-60086-4-vde-0509-4-2020-07.html>
-
- [323] DIN EN 62620 (VDE 0510-35:2015-09), Akkumulatoren und Batterien mit alkalischen oder anderen nichtsäurehaltigen Elektrolyten – Lithium-Akkumulatoren und -batterien für industrielle Anwendungen (IEC 62620:2014), <https://www.vde-verlag.de/normen/0500056/din-en-62620-vde-0510-35-2015-09.html>
-
- [324] DIN EN 60086-1:2016-07, Primärbatterien – Teil 1: Allgemeines (IEC 60086-1:2015), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-60086-1/251340357>
-
- [325] IEC 60079-0:2017, Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements, <https://www.vde-verlag.de/iec-normen/225215/iec-60079-0-2017.html>
-
- [326] DIN EN ISO 9092:2019-08, Vliesstoffe – Wörterbuch (ISO 9092:2019), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9092/300001545>
-
- [327] DIN 60900-1:1988-07, Garne; Technologische Einteilung, Begriffe, <https://www.beuth.de/de/norm/din-60900-1/1389771>
-
- [328] DIN 30692-2:2012-07, Membranen für Gasverteilung und Installation – Teil 2: Anforderungen und Prüfung von verstärktem Elastomer-Membranwerkstoff, <https://www.beuth.de/de/norm/din-30692-2/150436903>
-
- [329] DIN 61101-1:1979-01, Gewebefbindungen; Allgemeine Begriffe, Grundbindungen, <https://www.beuth.de/de/norm/din-61101-1/766498>
-
- [330] DIN EN ISO 6938:2015-01, Textilien – Naturfasern – Gattungsnamen und Definitionen, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-6938/225357042>
-
- [331] DIN EN 12562:1999-10, Textilien – Para-Aramid-Filamentgarne – Prüfverfahren, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-12562/8541504>
-
- [332] DIN CEN ISO/TR 11827 (DIN SPEC 4869):2019-04, Textilien – Prüfung der Zusammensetzung – Identifizierung der Fasern, <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-cen-iso-tr-11827/287580578>
-
- [333] DIN EN ISO 2076:2022-02, Textilien – Chemiefasern – Gattungsnamen, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-2076/343339011>
-
- [334] DIN EN ISO 11074:2015-11, Bodenbeschaffenheit – Wörterbuch (ISO 11074:2015), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-11074/221924667>
-
- [335] DIN EN ISO 472:2013-06, Kunststoffe – Fachwörterverzeichnis (ISO 472:2013), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-472/127272445>
-

- [336] DIN EN ISO 17422:2019-11, Kunststoffe – Umweltaspekte – Allgemeine Richtlinien für die Aufnahme in Normen (ISO 17422:2018), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-17422/309798963>
- [337] DIN EN 17615:2022-12, Kunststoffe – Umweltaspekte – Vokabular, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-17615/348914344>
- [338] DIN EN 45554:2020-10, Allgemeine Verfahren zur Bewertung der Reparier-, Wiederverwend- und Upgradebarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte, <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-45554/327255150>
- [339] DIN EN 62569-1:2018-06, Allgemeine Regeln zur Erstellung von Produktspezifikationen – Teil 1: Grundsätze und Methoden (IEC 62569-1:2017), <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-62569-1/283805971>
- [340] Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB. Digitaler Zwilling – das Schlüsselkonzept für Industrie 4.0 [online], [Zugriff am 2022-11-09], <https://www.iosb.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/automatisierung-digitalisierung/anwendungsfelder/digitaler-zwilling.html>
- [341] DIN EN 45557:2020-09, Allgemeines Verfahren zur Bewertung des Anteils an recyceltem Material von energieverbrauchsrelevanten Produkten; Deutsche Fassung EN 45557:2020, [DIN EN 45557 – 2020-09 – Beuth.de](https://www.beuth.de/de/norm/din-en-45557-2020-09)
- [342] Suhendro, B. (2014), Toward Green Concrete for Better Sustainable Environment, in: Procedia Engineering 95, Seite 305–320, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.190>
- [343] Agustí-Juan, I., Habert, G. (2017), Environmental design guidelines for digital fabrication, in: Journal of Cleaner Production 142, Seite 2780–2791, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.190>
- [344] Wallbaum, H. (2008), Beton – ein nachhaltiger Baustoff? 14. Holcim Betontagung, Zürich
-

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Circular Economy und der 2°-Pfad in Deutschland	9
Abbildung 2:	Entwicklung der Circular Material Use Rate (CMR) für Deutschland, 2010–2020.	10
Abbildung 3:	Übergang von der Produkt- zur Dienstleistungsorientierung (Product-as-a-Service)	11
Abbildung 4:	Wirkungsweise von Normen und Standards	16
Abbildung 5:	Organigramm der internationalen Normung.	17
Abbildung 6:	Aufgaben und Organisation DIN/DKE-Fachbeirat Circular Economy in der DIN-Koordinierungsstelle Umweltschutz	20
Abbildung 7:	Leistungsstruktur der Normungsroadmap Circular Economy.	23
Abbildung 8:	Teilnehmende in den Arbeitsgruppen, Stand 09.09.2022	24
Abbildung 9:	Projektstruktur Normungsroadmap Circular Economy.	24
Abbildung 10:	Ergebnis der Normenrecherche Circular Economy	25
Abbildung 11:	R-Strategien der Circular Economy als Ausgangspunkt für die Gliederung der auszuarbeitenden Normungsbedarfe	26
Abbildung 12:	Circular Economy – vier Ebenen von Normen	33
Abbildung 13:	Verteilung der identifizierten Normen und Standards für Digitalisierung, Geschäftsmodelle & Management zu vier Ebenen von Normen für Circular Economy	34
Abbildung 14:	Zuordnung zu den Unterbereichen dieses Schwerpunktthemas	34
Abbildung 15:	Produktlebenszeitverlängerung aufgrund von Reuse durch Sequenzen von Nutzenden.	37
Abbildung 16:	Zuordnung der Normenrechercheergebnisse zu den jeweiligen R-Strategien.	52
Abbildung 17:	Auswertung der Recherche nach Sektoren	53
Abbildung 18:	Zuordnung der Normenrechercheergebnisse zu den jeweiligen R-Strategien.	68
Abbildung 19:	Zuordnung der R-Strategien zu den unterschiedlichen Batteriekategorien	69
Abbildung 20:	Aufgliederung nach R-Strategien	98
Abbildung 21:	Aufgliederung nach R-Strategien und Produktgruppen	99
Abbildung 22:	Vereinfachte Prozessdarstellung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen in Europa.	100
Abbildung 23:	Vereinfachte Darstellung der Komplexität, die die Bewertung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen beeinflusst (nicht vollständig)	100
Abbildung 24:	Aufgliederung nach R-Strategien	112
Abbildung 25:	Aufgliederung bestehender Normen nach Herausforderungen	113
Abbildung 26:	R-Strategien für Kunststoffe und Entscheidungspunkte für die Recyclingfähigkeit	118
Abbildung 27:	Übersicht der Normenbedarfslage im chemischen und physikalischen Recycling	127
Abbildung 28:	Verteilung der Normen auf die R-Strategien, den CO ₂ -Fußabdruck, DPP und allgemein sowie die Verteilung auf die Produktgruppen.	136
Abbildung 29:	Verteilung der verschiedenen R-Strategien sowie des CO ₂ -Fußabdruckes, des DPP und sowie der allgemeinen Normen auf ausgewählte Produktgruppen	136
Abbildung 30:	Zirkularität der Betrachtungsebenen der Baumaterialien	154
Abbildung 31:	Betrachtungsebenen und -komponenten im Kontext von Bauwerken und Kommunen	155
Abbildung 32:	Aufgliederung nach R-Strategien	155
Abbildung 33:	Aufgliederung nach R-Strategie und Produktgruppen.	156
Abbildung 34:	Die verschiedenen Ebenen der Kreislauffähigkeit von Bauwerken, hier am Beispiel Holzbau	161

Abbildung 35: Aufbau eines Nachhaltigkeitsbewertungssystems.	168
Abbildung 36: Unterscheidung Bewertungsansätze anhand der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit und jeweiligen Ebenen.	169
Abbildung 37: Anforderungen an Rezyklate im Produktrecht	178
Abbildung 38: Die drei Säulen der Recyclingfähigkeit	181



DIN e.V.
Am DIN-Platz
Burggrafenstraße 6
10787 Berlin
Tel.: +49 30 2601-0
E-Mail: presse@din.de
Internet: www.din.de



**DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik
Elektronik und Informationstechnik**
Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel.: +49 69 6308-0
E-Mail: dke@vde.com
Internet: www.dke.de



**VDI Verein Deutscher
Ingenieure e. V.**
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf
Tel.: +49 211 6214-0
E-Mail: vdi@vdi.de
Internet: www.vdi.de