VDI

Zirkuläre Wertschöpfung

VDI-Handlungsfelder
Dezember 2019

Bild: © VDI/PIE five Marketing/einraumapartment

Vorwort

Weltweit herrscht inzwischen das Bewusstsein, dass Werkstoffe nicht endlos aus Primärrohstoffen gewonnen werden können. Bisher werden Produkte jedoch zu einem Großteil nach ihrer Nutzungsphase nicht wieder einer erneuten stofflichen Nutzung zugeführt. Gleichzeitig steigt der globale Verbrauch von Materialien weiter an.

Die stoffliche Verwertung dieser Materialien findet nur zu einem verhältnismäßig kleinen Teil statt. Beispielsweise bei den wichtigen seltenen Erden liegt sie unter einem Prozent. Derzeit sind zwar noch genügend Rohstoffe vorhanden, doch wird eine lineare Wertschöpfung mit Blick auf zukünftige Generationen als nicht verantwortlich gesehen. Zudem rechnen Studien aus, dass ein Umstieg auf zirkuläre Wertschöpfung unter geeigneten ökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen gesamtwirtschaftliche Vorteile mit sich bringen wird. UN und EU fordern daher eine nachhaltige Entwicklung.

Eine Aufgabe der Ingenieure ist daher, durch die Schaffung einer zirkulären Wertschöpfung den Wert von Materialen zu erhalten und die verwendeten Stoffe nach der Gebrauchsphase dem Wertschöpfungskreislauf erneut zuzuführen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen Produkte möglichst so konzipiert werden, dass sie sich nach ihrer Verwendung wieder ökonomisch und ökologisch vorteilhaft in ihre Stoffkomponenten separieren lassen. Zudem werden geeignete Infrastrukturen und Geschäftsmodelle benötigt, mittels derer diese Stoffe gesammelt, sortenrein oder nach Fraktionen getrennt und den produzierenden Unternehmen wieder als Rohstoff zur Verfügung gestellt werden.

Studien kommen zu dem Ergebnis, dass durch die Einführung einer Circular Economy CO_2-Emissionen vermindert und neue Jobs geschaffen werden können und somit erhebliche wirtschaftliche Vorteile entstehen. Zur Umstellung von einer linearen auf eine zirkuläre Wertschöpfung müssen wir jedoch gewohnte Wege verlassen und geeignete Bedingungen für geschlossene Stoffkreisläufe erst schaffen. Dies erfordert ein konzertiertes Vorgehen, da Industrie, Wissenschaft, Politik und Verbraucher aufgefordert sind, Verhaltensweisen zielführend anzupassen. Der Begriff Industrie schließt hierbei immer auch den Dienstleistungssektor mit ein.

Mit dieser Publikation will der VDI die derzeitige Situation beschreiben, Herausforderungen benennen und Handlungsfelder für eine zirkuläre Wertschöpfung aufzeigen.

Düsseldorf im Dezember 2019

Prof. Dr.-Ing. Heinz F. Voggenreiter
Vorsitzender Wissenschaftlicher Beirat VDI

Dr.-Ing. Hans Jürgen Schäfer
Koordinator VDI-Fokusthema
Zirkuläre Wertschöpfung

Autoren

Dr. Ralf Brüning, Dr. Brüning Engineering UG

Prof. Dr. Martin Faulstich, Institut für die Zukunft der Industriegesellschaft

Dipl.-Ing. Kurt Gebert, ALLOD Werkstoff GmbH & Co. KG

Dr. Peter Heidemeyer, Consulting for Polymer Processing

Prof. Dr. Ralf Holzhauer, Westfälische Hochschule

Prof. Dr.-Ing. Peter Jehle, TU Dresden

Dr.-Ing. Stephan Kabasci, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik

Dr. Sabine Korte, VDI Technologiezentrum

Dr.-Ing. Ulrike Lange, VDI Zentrum Ressourceneffizienz

Klaus Meyer, Energie Impuls OWL e.V.

Dr.-Ing. Markus Mörtl, TU München

Michael Nolden, Zenit GmbH

Dr. Peter Orth, Orth Plastics Consulting

Dipl.-Ing. Manfred Rink, mrink-consulting

Dr.-Ing. Hans-Jürgen Schäfer, VDI e.V.

Prof. Dr. Mario Schmidt, Hochschule Pforzheim

Henning H. Sittel, Effizienz-Agentur NRW

Prof. Dr.-Ing. Dieter Stapf, Karlsruher Institut für Technologie

Dr. Stephanie Waschbüsch, Dr. Gupta Verlags GmbH

Susanne Weisheit, Rethinking Organisations

Herwart Wilms, REMONDIS Assets & Services GmbH & Co. KG

Inhalt

1 Bedeutung der zirkulären Wertschöpfung 4
2 Heutige Recyclingquoten – Eine Bestandsaufnahme 5
3 Wachstumschancen, Klima- und Umweltschutz 7
4 Handlungsfelder 8
4.1 Industrie 8
4.2 Wissenschaft 9
4.3 Politik 11
4.4 Verbraucher 12
5 Beiträge des VDI 14
Schrifttum 17

1 Bedeutung der zirkulären Wertschöpfung

Die zirkuläre Wertschöpfung wird als ein wirtschaftliches System beschrieben, das nach Intention und Design restaurativ und regenerativ ist und positive gesamtgesellschaftliche Vorteile erzeugt. Es ersetzt das Konzept des „End of Life“ (EOL) bestehender linearer Wertschöpfungsketten durch Wertschöpfungskreisläufe, die so weit wie möglich geschlossen werden.

Die zirkuläre Wertschöpfung

- vermeidet oder verwertet Abfälle und vermeidet dissipative Verluste (engl.: leakage) durch eine entsprechende Gestaltung von Materialien, Produkten, Systemen und Geschäftsmodellen,
- integriert Stoffstrommanagement und Energiesystem auf nachhaltige Weise und
- minimiert Klima- und Umweltbelastungen ganzheitlich.

Materialien aller Art sollen durch sorgfältiges Design, Management und technologische Innovation auf ihren höchsten Nutzen und Wert gebracht werden. Das übergeordnete Ziel ist, Materialien und Produkte im Kreislauf zu führen, was durch wirtschaftlich und ökologisch effiziente Stoff-, Energie-, Arbeits- und Informationsflüsse zu ermöglichen ist.

Durch die Einführung einer zirkulären Wertschöpfung soll das Wirtschaftswachstum schrittweise vom Verbrauch endlicher Ressourcen entkoppelt werden. Die EU ist davon überzeugt, dass der Übergang zu einer zirkulären Wirtschaft einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung einer nachhaltigen, CO_2-armen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft in Europa leisten wird.

Das Konzept der zirkulären Wertschöpfung lässt sich nicht auf ein bestimmtes Datum und nicht auf einen bestimmten Autor zurückführen. Angeführt von einigen Vordenkern und Unternehmen haben praktische Anwendungen bereits seit Ende der 1970er-Jahre an Dynamik gewonnen.

Quelle: shutterstock/barbaliss/85164343

2 Heutige Recyclingquoten – Eine Bestandsaufnahme

Siedlungsabfälle

Nach Angaben von Statista [1] liegt die Recyclingquote von Siedlungsabfällen im europäischen Durchschnitt bei rund 45 Prozent. Die bindenden Vorgaben der EU-Abfallrahmenrichtlinie für diese Recyclingquote liegen bis 2025 bei 55 Prozent, bis 2030 bei 60 Prozent und bis 2035 bei 65 Prozent [2]. Die heutigen Quoten variieren allerdings länderanhängig stark innerhalb der EU. Die Ermittlung dieser Quoten muss bezogen auf das Recycling outputbasiert erfolgen; Quoten und Zeitziele können im nationalen Recht verschärft werden (beispielsweise durch das am 01. Januar 2019 in Kraft getretene Verpackungsgesetz in Deutschland).

Kunststoffe

Bei Kunststoffabfällen beispielsweise wird heute in Deutschland der größere Anteil durch Verbrennung entsorgt. Damit wird Energie zurückgewonnen, jedoch nicht der Werkstoff erhalten. An zweiter Stelle folgt das Recycling des Kunststoffabfalls. Die Deponierung von Kunststoffabfällen ist nicht zulässig, wird in vielen EU-Ländern jedoch noch mit langen Auslaufzeiten praktiziert. Laut Veröffentlichung einer Forschergruppe um Roland Geyer, University of California, aus dem Jahr 2017 [3] werden im EU-Durchschnitt nur rund 30 Prozent der Kunststoffabfälle für das Recycling gesammelt. Für China wurden 25 Prozent und für die USA nur 9 Prozent errechnet. Für Deutschland beziffert die Bundesregierung die Recyclingquote von Kunststoff mit 38 Prozent [4]. Wenn Müllexporte und andere Verluste beim Recyclingprozess jedoch heraus gerechnet werden und nur Post-Consumer-Abfälle in die Betrachtung eingehen, errechnet sich eine reduzierte Recyclingquote von rund 17 Prozent. Zu diesem Ergebnis kommt eine von Plastics Europe, BDE, VDMA u. a. in Auftrag gegebene Studie von Conversio [5]. Zudem wurde bisher EU-weit die Hälfte des für das Recycling gesammelten Kunststoffs zur Weiterverarbeitung in Länder außerhalb der EU exportiert. Diese Abfallexporte werden zunehmend schwieriger, denn ein Großteil wurde nach China exportiert, was durch das im Jahr 2018 dort in Kraft getretene Einfuhrverbot von Kunststoffabfällen und anderen Recyclingabfällen unmöglich geworden ist. Dies hat zur Suche nach anderen Lösungen geführt. Grundsätzlich soll jedoch der Export in Länder mit geringeren Recyclingstandards nicht das Ziel der Wirtschaft sein.

Quelle: shutterstock/Arturs Budkevics/ 1333836371

Der verhältnismäßig geringe Anteil des Kunststoffrecyclings bedeutet nicht nur einen Verlust des Wertstoffs Kunststoff, sondern auch einen erheblichen Schaden für das Klima und im Falle des unkontrollierten Ausbringens auch für die Umwelt. Laut einer Studie des World Economic Forum und der Ellen MacArthur Foundation [6] gelangen schätzungsweise jährlich rund 8 Millionen Tonnen Kunststoff in die Weltmeere. 150 Millionen Tonnen sollen derzeit bereits in den Ozeanen vorhanden sein. Dort werden die Kunststoffpartikel durch Wellenbewegungen und UV-Strahlung sehr langsam zersetzt und sinken unter die Wasseroberfläche bis zu den tiefsten Stellen der Meere. Die EU schätzt, dass insgesamt ca. 95 Prozent des Werts von Plastikverpackungsmaterialien nach einem kurzen Nutzungszyklus verloren gehen [7].

Elektronische Geräte

Im Fall von elektronischen Geräten sehen die Bilanzen auch nicht zufriedenstellend aus. Weltweit errechnet eine Studie des World Economic Forum und der UN [8] eine Menge an Gesamtelektroschrott von 50 Millionen Tonnen jährlich mit einem Materialwert von 50 Milliarden Euro. Der rasant zunehmende Anteil an elektronischen Steuergeräten und die zunehmende Elektrifizierung von Fahrzeugen lässt für die Zukunft eine deutlich höhere Menge erwarten, wobei insbesondere die Rückgewinnung seltener Materialien aus Altbatterien entscheidend sein wird. Zudem ist zu erwarten, dass vor allem in Entwicklungsländern mit stark steigender Kaufkraft und damit auch der Bedarfsmenge an elektrischen und elektronischen Geräten die Menge an Elektroschrott erheblich anwachsen wird. Bisher werden laut UN nur 20 Prozent des Elek-

tro- und Elektronikschrotts weltweit gesammelt und wiederverwertet. Die Recyclingquote liegt in Europa mit 35 Prozent am höchsten. Oftmals werden Elektrogeräte nicht umweltgerecht entsorgt und zum Teil unter prekären Bedingungen auseinandergenommen.

Altpapier

Deutlich besser sieht es bei den Recyclingquoten von Altpapier aus. Laut Statista [1] beträgt die Recyclingquote europaweit 72 Prozent. 21 Prozent des verbrauchten Papiers sind nicht recyclingfähig. Laut European Recovered Paper Council (ERPC) [9] werden Papierfasern in Europa durchschnittlich 3,5-mal recycelt, weltweit sind es 2,4-mal. Der globale jährliche Papierbedarf liegt laut WWF bei etwa 450 Millionen Tonnen [10]. Altpapier ist hier der wichtigste Rohstoff für die Papierproduktion. Denn es benötigt 60 Prozent weniger Energie und bis zu 70 Prozent weniger Wasser als Frischfaserpapier. Zudem müssen keine Bäume für die Papierproduktion gefällt werden.

Baustoffe

Baustoff- und Aushubabfälle werden in Europa nach offiziellen Angaben zu über 60 Prozent recycelt. Nach Untersuchungen der Initiative „Kreislaufwirtschaft Bau“ [11] lag die Recyclingquote in Deutschland im Berichtsjahr 2016 bei 78 Prozent im Hoch- und Tiefbau und 95 Prozent im Straßenbau. Insgesamt rund 14 Millionen Tonnen wurden im Deponiebau/Auffüllungen verwertet und auf Deponien entsorgt. Die bestehenden Ziele zur weiteren Erhöhung der Recyclingquote von Baustoffen sind jedoch darauf ausgerichtet, das Volumen der Baustoff- und Aushubabfälle zu senken, die bisher auf Deponien entsorgt werden. Der Großteil der Baustoffe wird beispielsweise in Ausfüllungen und im Straßenunterbau verwendet, also nicht gleichwertig wiederverwertet. Dies liegt nur zum Teil an den geforderten Materialeigenschaften für neue Bauprodukte, die durch aufgearbeitete Recyclingwerkstoffe nicht erbracht werden können.

Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass recycelte Zuschlagstoffe eine gute Alternative zu neuen Zuschlagstoffen darstellen. Derzeit wird nur ein geringer Teil des recycelten Materials in der Betonherstellung eingesetzt. Richtlinien der australischen Regierung besagen, dass bis zu 30 Prozent an recycelten Zuschlagstoffen für Konstruktionsbeton verwendet werden können, ohne Abschläge in Verarbeitung und Festigkeit im Vergleich zu neuen Zuschlagstoffen hinnehmen zu müssen. Untersuchungen in der Schweiz [12] gehen von ähnlichen Größenordnungen aus. Auch in Deutschland wurden einige wenige Pilotprojekte dazu realisiert. Anzumerken ist, dass in Deutschland lediglich 0,6 Millionen Tonnen bei der Betonherstellung Verwendung finden. Der Anteil der RC-Gesteinskörnung im Beton, die als Sekundärrohstoff speziell in die Anwendung im Hochbau gelangt, liegt damit bei unter 1 Prozent. Von einem abgebrochenen Haus werden nach Aussagen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik [13] heute nur rund 5 Prozent der anfallenden Materialien recycelt. Und das, obwohl der für das Bauen geeignete Sand weltweit knapp wird. Als wichtigste Elemente für eine Circular Economy im Bauwesen werden nach einer Umfrage der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen [14] das Recycling von Baumaterialien (30 Prozent) und die Rückbaubarkeit von Baukonstruktionen (23 Prozent) genannt.

Quelle: shutterstock/Pasko Maksim/1092798047

3 Wachstumschancen, Klima- und Umweltschutz

Nach einer von Kienbaum verfassten Potenzialanalyse zur zirkulären Wertschöpfung für das Land Nordrhein-Westfalen [15] wird sich die weltweite Rohstoffverknappung durch das Wachstum der Weltwirtschaft – vor allem in den asiatischen und afrikanischen Ländern – deutlich verschärfen. Das bedeutet, dass die Versorgung in rohstoffarmen Ländern wie Deutschland deutlich beeinträchtigt sein wird. Von 61 untersuchten Materialien und Materialgruppen stufte die EU-Kommission zuletzt im Jahr 2017 insgesamt 26 Rohmaterialien und Materialgruppen bezüglich ihrer Verfügbarkeit als kritisch ein.

Es stellt sich also die Frage, wie wir im globalen Wettbewerb wirtschaftlich weiter wachsen können, ohne im selben Verhältnis wie heute Rohstoffe zu entnehmen, und zugleich unsere Rohstoffabhängigkeiten reduzieren können. Vor diesem Hintergrund hat die EU-Kommission bereits im Herbst 2015 eine Initiative zur Stärkung der zirkulären Wertschöpfung in der Europäischen Union [16] gestartet. Sie soll zu einem intelligenten, nachhaltigen und integrativen Wachstum in Europa beitragen. Insgesamt sind mehr als 50 Einzelmaßnahmen in den Bereichen Produktion, Verbrauch, Abfallwirtschaft, Innovation und Investment vorgeschlagen worden.

Eine zirkuläre Wertschöpfung hat auch einen erheblichen Einfluss auf die derzeitigen Klimaveränderungen, wenn sie weniger CO_2-Emissionen mit sich bringt als die lineare Wertschöpfung. Eine Studie zu Klimaschutzpotenzialen der Abfallwirtschaft [17], die u. a. in Kooperation mit dem Bundesumweltministerium erstellt wurde, kommt zu dem Ergebnis, dass die Verwendung von Sekundärrohstoffen in der Herstellung von Glas, Papier, Kunststoff und Metall den Energiebedarf um bis zu 50 Prozent gegenüber der Herstellung aus Primärrohstoffen senken kann. Insbesondere lassen sich CO_2-Emissionen in erheblichem Umfang einsparen, wenn Aluminium nicht aus Rohstoffen gewonnen, sondern aus verbrauchten Produkten wiederverwertet wird, da zur Aluminiumgewinnung aus Rohstoffen besonders viel Energie benötigt wird. Nach Angaben der Europäischen Union könnten durch das Recycling sämtlicher Kunststoffabfälle weltweit jährliche Energieeinsparungen im Äquivalent von 3,5 Mrd. Barrel Öl erzielt werden [18].

Die Anhebung der Ressourceneffektivität kann insbesondere in Deutschland zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen beitragen. Denn für die deutsche Industrie sind Ressourceneffizienz, klimaneutrale Energieversorgung und Klimaschutz auch wichtige Exportmärkte, die große Wachstumschancen beinhalten. Die deutsche Wirtschaft wird global als Vorbild angesehen. Schaffen wir es, in Deutschland ein auf zirkuläre Stoffkreisläufe, erneuerbare Energien und klimaangepasstes Bauen basierendes Wirtschaftsmodell zu errichten, bestehen gute Chancen, diese Modelle in andere Länder zu exportieren. Insbesondere für Schwellenländer werden hier große Potenziale ausgerechnet.

Für Deutschland lassen sich laut Kienbaum [15] allein in den Sektoren Mobilität, Lebensmittel und Wohnraum durch die Etablierung der zirkulären Wertschöpfung die Kosten des Rohstoffverbrauchs um bis zu 25 Prozent senken und bis zum Jahr 2050 ein zusätzlicher Wachstumseffekt von bis zu 12 Prozent generieren. Besonders stark profitieren alle Regionen, die durch produzierendes Gewerbe mit hoher Rohstoffabhängigkeit und mit hoher Innovationskraft geprägt sind.

In ganz Europa lässt sich die Ressourcenproduktivität als Quelle für Wohlstand, Wettbewerbsfähigkeit und Erneuerung massiv ausbauen. Studien rechnen aus, dass der technologische Umbruch hin zu einer zirkulären Wertschöpfung die Ressourcenproduktivität um bis zu drei Prozent jährlich steigern kann. Bis 2030 würde sie für die europäischen Volkswirtschaften zusammen um bis zu 0,6 Billionen Euro pro Jahr anwachsen. Weitere finanzielle Vorteile von 1,2 Billionen Euro addieren sich zu einem jährlichen Gewinn von rund 1,8 Billionen Euro. Der Anstieg des BIP beträgt demzufolge bis zu sieben Prozentpunkte gegenüber dem aktuellen Entwicklungsszenario an – mit positiven Auswirkungen auf die Beschäftigung.

Die EU-Abfallhierarchie als allgemein anerkanntes Prinzip (siehe Abfallrahmenrichtlinie) setzt (Abfall-) Vermeidung an oberste Stelle. Dann folgen die Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling, die sonstige Verwertung (vor allem die thermische Verwertung und die Verfüllung) und schließlich Beseitigung (hierzu gehört u. a. auch die Deponierung). Das Recycling kann sowohl werkstofflich (für Kunststoffe beispielsweise unter Erhalt des Polymers) als auch rohstofflich (für Kunststoffe in Form des Monomers oder als neue Chemikalien) erfolgen. Welcher Weg für ein Produkt der vorteilhafteste ist, ergibt sich produktspezifisch aus der Bewertung von Klimagasemissionen und Umwelteinfluss, Energieaufwand, Kosten usw. über den Lebenszyklus. Solche komplexen Bewertungen werden bisher jedoch weder beim Produktdesign noch bei der Erarbeitung gesetzlicher Regelwerke einheitlich und gesetzlich vorgeschrieben eingesetzt.

4 Handlungsfelder

4.1 Industrie

Um die Stoffkreisläufe schließen und Werkstoffe (= Wertstoffe) möglichst oft wieder verwenden zu können, benötigen wir nicht nur ein Umdenken im Umgang mit gebrauchten Produkten, sondern auch in der Produktentwicklung und in der Art der Produktnutzung. Produkte müssen so konzipiert werden, dass sie sowohl den Anforderungen des Gebrauchs wie auch der Zerlegung in ihre Komponenten und der Separierung in kreislaufgerechte Stofffraktionen gerecht werden. Am Ende der Produktnutzungsphase soll ein Produkt so wenig wie möglich und nur so viel wie nötig verändert werden müssen, um es wieder dem Stoffkreislauf zuführen zu können. Ein Hauptschlüssel zur Etablierung der zirkulären Wertschöpfung ist ein Umdenken bei der Produktkonstruktion. Ist eine werkstoffliche Verwendung nicht effizient, so soll die rohstoffliche Verwertung erfolgen.

Unter dem Begriff des Recyclings versteht man die Wiederverwertung von Produkten oder Teilen von Produkten und Werkstoffen in Stoffkreisläufen. Hier empfiehlt die Richtlinie VDI 2243 „Recyclingorientierte Produktentwicklung“ bei der Entwicklung von Produkten einfache Bewertungsmethoden, anhand derer die Eignung der verwendeten Werkstoffe zum Recycling geprüft werden können. So können beispielsweise höherwertige Werkstoffe verwendet werden, die recyclingfähig sind, und nicht wiederverwertbare Stoffe möglichst vermieden werden. Die verwendeten Materialien sollen nicht nur möglichst gut separierbar sein, sondern das Produkt soll eine Kennzeichnung aufweisen, die eine Identifizierbarkeit bezüglich seiner Verwertungskompatibilität, recyclingkritischer Stoffe und Gefahr- sowie Schadstoffe erlaubt.

Ein Produkt, das weitgehend werkstofflich recyclingfähig ist,

- enthält werkstofflich wiederverwertbare Komponenten,
- besteht aus langlebigen Werkstoffen,
- enthält lösbare Verbindungselemente,
- erlaubt eine leichte Demontage sowie Austauschbarkeit seiner Bestandteile,
- besteht aus möglichst wenigen unterschiedlichen Werkstoffen und
- ist möglichst mit standardisierten Bauteilkomponenten versehen.

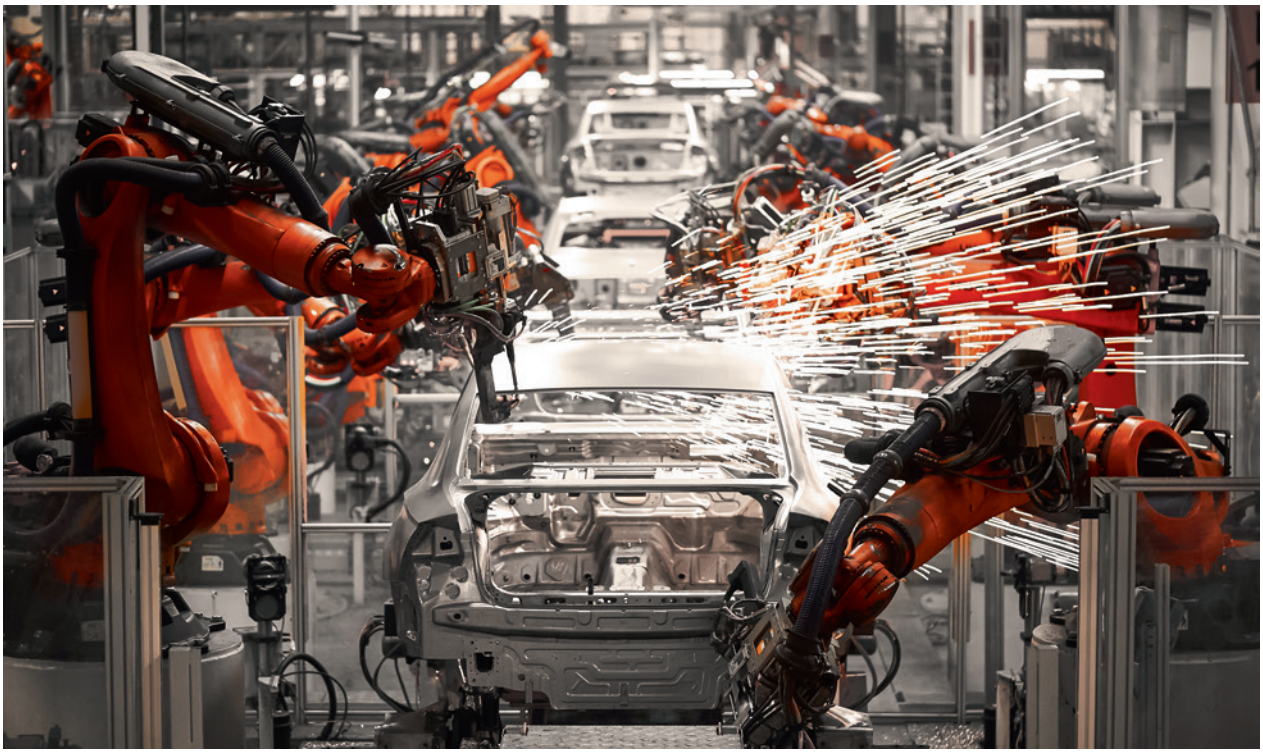
Die Aufstellung einer Komponenten-Kreislaufeignung versetzt Konstrukteure in die Lage, die Wirtschaftlichkeit einer erneuten Verwendung von Bauteilkomponenten gegenüber dem Einsatz von Neuteilen auszurechnen, die aus Rohstoffen hergestellt wurden. Dabei fließen alle kostenbehafteten Schritte wie Demontageabläufe und Logistik mit in die Rechnung ein.

Verbundmaterialien oder während des Gebrauchs chemisch oder physikalisch in ihren Eigenschaften veränderte Produkte können in der Regel nicht effizient werkstofflich recycelt werden. Hier ist das rohstoffliche Recycling notwendig, wie beispielsweise bei Eisenmetallen, aber auch bei Aluminium und Kupfer und damit auch bei vielen anderen Nichteisenmetallen bereits etabliert. Insbesondere auf dem Gebiet der gemischten Kunststoffe und vieler Abfälle, die als komplexe Mischungen anfallen, besteht dagegen noch ein Entwicklungsbedarf für die rohstoffliche Verwertung, da die Technologien hierfür noch nicht ausgreift kommerziell zur Verfügung stehen.

Die Auslegung eines Produkts nach seiner Recyclingfähigkeit verändert also gegenüber dem „Einmalprodukt“ die stoffliche Zusammensetzung sowie die Auswahl von Verbindungselementen und Montageverfahren. Denn die Auswahl langlebiger Werkstoffe und die erleichterte Demontage von verbrauchten oder verschlissenen Bauteilkomponenten erlauben eine kostengünstige Instandsetzung und eine wesentlich verlängerte Lebensdauer des Gesamtprodukts.

In der Folge können Rohstoffe und Energien zur Aufbereitung der Rohstoffe zu Werkstoffen und Produkten eingespart und Emissionen von Schadstoffen vermieden werden. Die stetige Zunahme des Einsatzes komplexer Verbundwerkstoffe, gerade z. B. im klimaschonenden Leichtbau, steht dem werkstofflichen Recycling entgegen. Hier ist es entscheidend, ob das Produkt insgesamt in seinem Lebenszyklus vorteilhaft für Klima und Umwelt ist und ob wertvolle Ressourcen durch rohstoffliches Recycling effizient zurückgewonnen werden können.

Recyclingfähigkeit und vollständige Kreislaufführung sind u. a. aus energetischen Gründen nicht in jedem Fall sinnvoll. Deshalb sind im Einzelfall und unter Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen Untersuchungen der Umweltwirkungen und der Kosten im gesamten Produktlebensweg erforderlich. Die Methodik der Ökobilanz entsprechend DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 stellt hierbei ein wesentliches Werkzeug dar. Die Anwendung dieser Empfehlung erfordert die Ermittlung von großen Datenmengen. Denn es werden alle ökologischen



Quelle: shutterstock/Jenson/733812400

Einwirkungen von Stoffströmen, Herstellungsverfahren, Transportvorgängen, Produktgebrauchsphasen und Entsorgungs- oder Recyclingverfahren aufgenommen. Die Einbeziehung von Bewertungsmaßstäben und Gesamtökobilanzen sind nicht nur für einzelne technische Bauteile anwendbar, sondern auch für die Herstellung von komplexen Produkten wie Flugzeugen, Gebäuden oder Industrieanlagen.

Die zirkuläre Wertschöpfung erfordert ein stark vernetztes Agieren aller Beteiligten. Die gesamte Gruppe der Akteure soll über die Rahmenbedingungen und Erfordernisse der einzelnen Partner informiert sein und sich untereinander abstimmen. So entstehen aus Wertschöpfungsketten Wertschöpfungsnetzwerke.

4.2 Wissenschaft

Das Umdenken in allen beteiligten Wissenschaftsdisziplinen ist bereits beim Studium anzusetzen. Das Bewusstsein der komplexen Zusammenhänge und Lösungswege zur Erreichung nachhaltigen Wirtschaftens soll dazu in die Studiengänge integriert werden, damit die Studierenden im Berufsleben ein entsprechendes Bewusstsein haben und wissen, wie sie vorgehen und miteinander kooperieren müssen. In den folgenden wissenschaftlichen Disziplinen ist ein auf Kreisläufe ausgerichtetes Wirtschaftssystem als Gegenstand wissenschaftlicher Forschung und Lehre zu behandeln und zu verankern:

- Ingenieurwissenschaften – Prozess- und Verfahrenstechnik, Produktkonzeption, Produktentwicklung
- Naturwissenschaften
- Informatik – Künstliche Intelligenz und Digitalisierung
- Mathematik
- Logistik
- Wirtschaftswissenschaften
- Gesellschaftswissenschaften – Soziologie, Psychologie, Politologie

Dabei sind mindestens folgende Querschnittsthemen interdisziplinär zu behandeln:

- Wirtschaftlichkeit
- systematische und umfassende Betrachtung
- Quantitäten und Qualitäten
- Innovationsfähigkeit und -treiber
- Aus- und Weiterbildung, Curricula

Quelle: shutterstock/Sergey Nivens/530127004

Mit folgenden übergeordneten Problemstellungen soll sich die Wissenschaft künftig verstärkt auseinandersetzen:

- Bürger und Gesellschaft – welche Teilhabe haben die Bürger an Entwicklungen und Entscheidungen hin zu einer zirkulären Wertschöpfung?
- Verbraucherverhalten – welche Rolle spielen die Verbraucher als Nachfrager einerseits und als Akteure andererseits?
- Wirtschaftsmodelle – wie wird zukünftig mit den externen Kosten von Wirtschaftsprozessen umgegangen und wie werden sie finanziert?
- Kreislauffähigkeit und Eco-Design – wie kann man Kreislauffähigkeit von Produkten, Waren und Dienstleistungen definieren und mit welchen Mitteln und Methoden kann dies befördert werden?
- Lebensdauer und -zyklen von Produkten – wie kann die optimale Lebensdauer von Produkten ermittelt und als Produkteigenschaft implementiert werden? Welche Einflüsse wirken auf die Nutzungs- und Lebensdauer eines Produkts?
- Product-Service Systems (PSS) – wie können diese Kombinationen in ihren unterschiedlichsten Ausprägungen umwelttechnisch bewertet werden?
- Zusammenspiel globaler, regionaler und lokaler Kräfte – wie können die oftmals globalen und makroökonomischen Zusammenhänge mit lokalen und mikroökonomischen Effekten und Aktionen korreliert und verknüpft werden?
- Produktsicherheit und -verantwortung – wie schaffen wir die Sicherheit von Produkten und entsprechende Verantwortung bei den Produzenten, Nutzern und Verbrauchern?

Rückhollogistik – ist als eigenständige Disziplin der Logistik zu entwickeln und zu implementieren.

Darüber hinaus sind die Herausforderungen zu den Technologien der Metalle, mineralischen Werkstoffe und Komponenten sowie der Polymere, insbesondere der Kunststoffe, verstärkt zu behandeln. Die Technologien der genannten Werkstoffe sind im Hinblick auf deren Nutzung im Kreislauf zu untersuchen und zu modifizieren. Werkstoffe sind entweder etablierten Kreisläufen zu entnehmen und auf diese auszurichten oder mit neuen Recyclingkonzepten verbunden auf den Markt zu bringen – auf atomarer wie auf molekularer Ebene. Reale Reststoffe sind jedoch in der Regel verunreinigte Stoffgemische – im Gegensatz zu vielen Rohstoffen der linearen Wirtschaft. Der disziplinenübergreifenden Forschung zu Recyclingtechnologien für diese Sekundärrohstoffe und deren Grundlagen kommt daher besondere Bedeutung zu.

Im Bereich der anorganischen Werkstoffe Stahl, Aluminium, Glas, Kupfer, Edelmetalle, Fahrbahndecken und Kunststoffe wie PET und PVC gibt es bereits funktionierende Kreisläufe – mit unterschiedlich großen qualitativen und quantitativen Einschränkungen. Jedoch lohnt es, diese zu analysieren und daraus

Kriterien für weitere Stoffkreisläufe zu extrahieren, zu überprüfen und zu verallgemeinern, sodass modulare Bauweisen entwickelt und übertragen werden können.

Die Verfügbarkeit preiswerter Energie aus erneuerbaren Quellen spielt eine essenzielle Rolle in der Kreislaufwirtschaft. Sie ist daher integraler Bestandteil einer darauf ausgerichteten Entwicklung des Wirtschaftssystems. Dabei müssen die Bereiche Energiebereitstellung, -verteilung und -speicherung einbezogen werden.

Bewertungssysteme wie Lebenszyklusanalysen (Life-Cycle Assessments) und die standardisierte Ermittlung von Indikatoren wie Treibhausgaspotenzial und Ressourceneffizienz sind notwendig, um Produkte, Waren und Dienstleistungen im Sinne einer Kreislaufführung zu entwickeln, zu produzieren und zu nutzen. Hierbei spielt die Bereitstellung vertrauenswürdiger und nachvollziehbarer Daten eine besondere Rolle.

Regelwerke sind von entscheidender Bedeutung, um sich auf einheitliche Vorgehensweisen zu verständigen. Der Verein Deutscher Ingenieure hat zahlreiche VDI-Richtlinien mit Bezug zur zirkulären Wertschöpfung herausgegeben und wird neue VDI-Richtlinien systematisch weiterentwickeln und vorhandene auf Kreislauforientierung überprüfen und modifizieren. Dies gilt nicht nur für den VDI, sondern sollte auch für die Regelwerke von DIN/ISO, REACH und weiteren gelten.

Auf allen beteiligten Entscheidungsebenen von Wirtschaft, Politik und Wissenschaft sind Offenheit für zirkuläre Wertschöpfungsverfahren und ein entsprechendes Bewusstsein notwendig und von den Entscheidungsträgern aktiv zu befördern. Change-Management-Systeme und -Projekte sind ein bewährtes Mittel, um den anstehenden gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Wandel voranzutreiben.

Besonders drängende Probleme mit Blick auf zirkuläre Wertschöpfungsverfahren bestehen derzeit in den Bereichen

- Kohlenstoff (u. a. Kunststoffrecycling),
- Wasser,
- Phosphat und
- Metalle.

Der VDI empfiehlt, durch wissenschaftliche Arbeiten in den oben genannten Stoffgruppen neue Stoffkreisläufe mit höchster Priorität zu entwickeln.

4.3 Politik

Ohne gesetzliche Rahmenbedingungen wird die Schaffung einer zirkulären Wertschöpfung nicht gelingen können. Die Politik kann die rechtlichen Rahmenbedingungen dafür setzen, dass zirkuläre Stoffkreisläufe wirtschaftlich begünstigt oder sogar eingefordert werden. Dabei sollen wirtschaftliche Vorteile und Chancen in den Vordergrund gestellt und zugleich ökologische Auswirkungen berücksichtigt werden.

Quelle: shutterstock/Salivanchuk Semen/ 1449056165

Die Festlegung konkreter Substitutionsquoten kann ein wirksames Instrument zur Förderung des Recyclings und damit der zirkulären Wertschöpfung sein. Definiert wird die Substitutionsquote als Verhältnis der eingesetzten Recyclingrohstoffe zu den insgesamt eingesetzten Rohstoffen. Diese Quote könnte national, sektoral oder auch der Produktebene implementiert werden. Die Festlegung der genauen Höhe der Quoten/Quoten müsste dabei noch Gegenstand wissenschaftlicher Bewertungen sein.

Der große Nutzen der zirkulären Wertschöpfung für alle Beteiligten soll durch entsprechende politische Aktionen herausgestellt und der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Die Politik soll durch die Ausarbeitung von Roadmaps verbindliche wirtschaftliche Zielvorgaben aufstellen, Netzwerke fördern, Förderprogramme aufsetzen und gezielte finanzielle Erleichterungen für nachhaltiges Wirtschaften schaffen. Durch themenspezifische Förderprogramme lässt sich die Schnittstelle zwischen wissenschaftsbetriebener Forschung und industriepolitischen Interessen verbessern. Zudem kann die kommunale Politik als öffentlicher Bauherr über geeignete Mantelverordnungen ihre Stadtentwicklung unter Berücksichtigung der zirkulären Wertschöpfung betreiben. Die für eine zirkuläre Wertschöpfung erforderlichen gemeinsamen Richtlinien sollte die Politik im Dialog zwischen Ländern, Bund, EU und anderen Wirtschaftspartnern aktiv vorantreiben.

Aufgrund verbindlicher gesetzlicher Vorschriften können auch neue Geschäftsmodelle oder Product-Service-Systeme etabliert werden, die auf zirkuläre Wertschöpfungsstrukturen einzahlen. Das In-Aussicht-Stellen der zu erwartenden technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gewinne wird zudem ein positives Grundklima zur Lösung bestehender Probleme erzeugen.

Wichtig für das Aufstellen regulatorischer Maßnahmen ist die Bewertung des Nutzens, der damit erzielt wird. Auf dem Gebiet des zirkulären Wirtschaftens muss dies ganzheitlich unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf Klima, Umwelt und Ökonomie erfolgen. Das Risiko von Trade-offs insbesondere zwischen Ressourcen- und Energieeffizienz oder Ressourcen- und Klimaeffizienz ist immens. Steigende Recyclingquoten beispielsweise müssen auch insgesamt sinkende Treibhausgasemissionen bewirken. Technologieneutralität ist ebenso ein wesentliches Prinzip. Methoden zur Darstellung und Evaluierung der Zusammenhänge wie die Lebenszyklusanalyse sind komplex und erfordern eine geeignete, transparente Kommunikation. Politik, Wissenschaft und Industrie sind hier aufgefordert, die notwendigen Kompetenzen zu bündeln und diese Veränderungen vorteilhaft zu gestalten.

Gesetzliche Rahmenbedingungen können sich dabei auch auf bestehende nationale Standards, wie VDI-Richtlinien, beziehen, die unter Einbeziehung aller interessierten Kreise im Konsens entstanden sind.

4.4 Verbraucher

Zu einer Erhöhung der Ressourceneffizienz ist eine veränderte Produktnutzungsweise erforderlich. Die Ausweitung des Produktsharings wird idealerweise eine veränderte Produktauslegung zur Erhöhung der Lebensdauer der verwendeten Materialien und einer guten Reparierbarkeit der Produkte mit sich bringen. Denn dies ist ein elementares Interesse der Verleiher, da die mit der Produktnutzung entstehenden Kosten so erheblich vermindert werden. Die Verwendung langlebiger Materialien, die Überwachung – auch unter Nutzung der digitalen Technologien – sowie regelmäßige Wartung der Produkte und die gezielte Erneuerung nur einzelner Komponenten tragen dazu bei, Nutzungsphasen deutlich zu verlängern. Materialien, Energie und Arbeit werden so eingespart, die durch die Herstellung eines neuen Produkts anfallen würden.

Dem Produktsharing und der Erhöhung der Lebensdauer von Produkten kommt aus umweltpolitischer und wirtschaftlicher Sicht heute schon eine zunehmende Bedeutung zu. Es besteht global der Trend, neue Geschäftsmodelle mit Mietcharakter zu etablieren, bei denen für den Kunden die kontinuierliche Verfügbarkeit des Produkts ein wesentliches Qualitätsmerkmal ist. Bekannte Beispiele aus dem Transportbereich sind hier das Carsharing und sogenannte „Power-by-the-Hour“-Modelle im Luftfahrtbereich, bei denen sich die Kunden Betriebsstunden statt Produkte kaufen. Das Mieten von Elektrogeräten ist ein weiteres Beispiel mit einem enormen Anwendungsbereich.

Zu den Partnern einer zirkulären Wertschöpfung gehört zwingend auch der Nutzer von Produkten, der diese nach Gebrauchsende in verantwortlicher Weise in den Verwertungskreislauf zurückzugeben hat. Um diesen Verbraucher für eine zirkuläre Wertschöpfung zu gewinnen, soll die positive und nachhaltige Wirkung auf Klima, Umwelt und die Ressourcen unseres Planeten in den Vordergrund gestellt werden. Die mit der zirkulären Wertschöpfung verbundenen wirtschaftlichen Vorteile werden für den Verbraucher weniger als persönlicher Gewinn wahrgenommen. Die Umweltbelastung hingegen ist derzeit ein öffentlich sehr intensiv dokumentiertes und diskutiertes, emotionales Thema. Insbesondere die Belastung der Weltmeere mit Plastik, die klimatischen Veränderungen durch CO_2-Emissionen und die Luftverschmutzung durch Schadstoffemissionen sind durch Berichte in den Medien jedem Verbraucher präsent. Der Wunsch nach einer sauberen Umwelt und nachhaltigem Wirtschaften insbesondere für zukünftige Generationen ist sehr ausgeprägt und schlägt sich u. a. in Kundgebungen von Bürgerinitiativen nieder.

Quelle: shutterstock/lovelyday12/1351245920

Der Anteil des Verbraucherverhaltens an der Verschmutzung der Weltmeere ist jedoch nicht unerheblich. Beispielsweise gelangen in das Mittelmeer, das durch seine geografische Lage und vergleichsweise wenig Wasseraustausch mit den großen Ozeanen wie eine Plastikfalle wirkt, aufgrund des Tourismusaufkommens in den Sommermonaten schätzungsweise rund 40 Prozent mehr Abfälle ins Meer als in den übrigen Zeiten. Weit mehr als 300 Millionen Menschen besuchen diese Region pro Jahr. Und mit der wachsenden Zahl der Urlauber wachsen auch die Müllberge aus Plastik, die schließlich im Meer ankommen.

Eine intensive Aufklärung über den Anteil des Verbraucherverhaltens am Anwachsen von Müllbergen und die Möglichkeiten des Verbrauchers, an einer zirkulären Wertschöpfung teilzunehmen, ist daher unbedingt notwendig. Zudem sind gesetzliche Anreize und Vorschriften empfehlenswert, um das Verbraucherverhalten im Sinne einer zirkulären Wertschöpfung positiv zu verändern.

Einfach erkennbare Kennzeichnungen von Produkten z. B. mit Farben sind hilfreich, um dem Verbraucher kenntlich zu machen, in welche Rücknahmesysteme sie eingebracht werden können. Dazu kann die Verfügbarkeit von neuen Abfalltonnen helfen, mit denen sich neben Verpackungsabfällen und Altpapier beispielsweise auch Batterien und Elektrogeräte sammeln lassen. Damit kann die Entsorgung von Elektroschrott in der schwarzen Tonne wirksam verhindert werden.

In Schulen können Informationen helfen, über geschlossene Stoffkreisläufe und den Beitrag jedes Einzelnen dazu aufzuklären. Hierzu sind Lehrern geeignete Informationsmaterialien zur Verfügung zu stellen.

5 Beiträge des VDI

Der VDI betrachtet das Thema „Zirkuläre Wertschöpfung“ mit Stakeholdern aus unterschiedlichen Branchen und aus unterschiedlichen Perspektiven, um daraus Informationen für VDI-Mitglieder, Experten und Interessierte aus Gesellschaft, Medien, Industrie, Politik zur Verfügung zu stellen. Mit VDI-Richtlinien (siehe unten) stellt der VDI konkrete technische Handlungsempfehlungen für den Experten in der Praxis bereit. Ein breiter Wissenstransfer erfolgt über Workshops, Fachtagungen und Kongresse sowie über regionale Veranstaltungen der Bezirksvereine und Landesverbände des VDI. Zentrale Informationen stehen unter www.vdi.de/zirkulaere-wertschoepfung bereit.

Um die zahlreichen Aktivitäten des VDI in seinen überregionalen und regionalen Einheiten zu bündeln, wurde ein **Interdisziplinäres Gremium Zirkuläre Wertschöpfung** eingerichtet.

Quelle: VDI

VDI-Richtlinien zu den Themen

Ganzheitliche Darstellung des vollständigen Produktlebenszyklus – VDI 2000

Die in Vorbereitung befindliche Richtlinie beschreibt ganzheitlich alle Phasen eines allgemeinen Produktlebenszyklus, die ein Produkt von der ersten Produktidee bis zur Produktentsorgung durchläuft, sowie Bausteine, die in diesen Phasen wesentlichen Einfluss auf den Produktentstehungsprozess haben.

Recycling in der Technischen Gebäudeausrüstung – VDI 2074

Die Richtlinie verfolgt einen integrierten Ansatz unter Berücksichtigung des Wertschöpfungsgedankens. Sie 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. Die Richtlinie trägt durch die Bevorzugung der stofflichen Verwertung dem Recyclingansatz Rechnung.

Mineralische Bau- und Abbruchabfälle – VDI 2095 Blatt 1

Die Richtlinie zeigt die erforderlichen Schritte zur Emissionsminderung für Anlagen zum Brechen und Klassieren von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen in mobilen oder stationären Recyclinganlagen auf. Der Gesamtprozess der Aufbereitung umfasst die Anlieferung und Lagerung des Ausgangsmaterials, die eigentliche Aufbereitung (einschließlich Zerkleinerung und Sortierung), die Förderung und Lagerung der erzeugten Recyclingkörnungen sowie notwendige Transporte während der Aufbereitung. Aus mineralischen Bau- und Abbruchabfällen können sortenreine Recyclingbaustoffe hergestellt werden.

Gemischte Bau- und Abbruchabfälle – VDI 2095 Blatt 2

Die Richtlinie gibt Anleitungen zur Emissionsminderung für Anlagen zur Behandlung von gemischten Bau- und Abbruchabfällen gemäß der Gewerbeabfallverordnung und für Anlagen, in denen diese zusammen mit Gewerbeabfällen und Sperrmüll vorbehandelt werden. Der Gesamtprozess der betrachteten Behandlung umfasst die Anlieferung und Lagerung des Ausgangsmaterials, die Aufbereitung einschließlich Zerkleinerung, Klassierung und Sortierung sowie die Förderung und Lagerung der erzeugten Materialien und die notwendigen Transporte.

Abfallgemische aus der haushaltsnahen Wertstofferfassung und von gemischten Gewerbeabfällen – VDI 2095 Blatt 3

Die Richtlinie befasst sich mit der Emissionsminderung für Anlagen zur Behandlung von Abfallgemischen aus der haushaltsnahen Wertstofferfassung (dazu zählen Leichtverpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen, Glas, Papier und Kartonagen) und von gemischten Gewerbeabfällen. Die Richtlinie gilt für Anlagen, die Sortierung, Zwischenlagerung und Umschlag der zuvor genannten Abfälle durchführen. Im Sinne dieser Richtlinie umfasst der Gesamtprozess der Behandlung die Anlieferung und Lage-

rung des Ausgangsmaterials, die Aufbereitung einschließlich Zerkleinerung, Klassierung und Sortierung sowie die Förderung und Lagerung der erzeugten Materialien und die notwendigen Transporte.

Emissionsminderung bei Kühlgeräterecyclinganlagen – VDI 2292

Die in Vorbereitung befindliche Richtlinie beschreibt den Stand der Technik von Anlagen zum Umschlag, zur zeitweiligen Lagerung und zur Behandlung der im Titel genannten Geräte sowie Maßnahmen und Einrichtungen zur Minderung der Emissionen, die beim Recycling dieser Geräte und Bauteile entstehen können. Sie gilt darüber hinaus auch für die Entsorgung von Abfällen (Bauteile und Geräte), die halogenhaltiges Isolationsmaterial enthalten.

Recycling elektrischer und elektronischer Geräte – VDI 2343 Blatt 6 und Blatt 7

Blatt 6 der Richtlinienreihe verdeutlicht, welche Verwertungswege die aus Elektro- und Elektronik-Altgeräten gewonnenen Stofffraktionen aus einer Behandlungsanlage einschlagen können.

Blatt 7 zeigt das wirtschaftliche Potenzial, das mit dem Re-Use von Produkten erschlossen werden kann. Sie zeigt weiterhin auf, dass durch eine sparsame Verwendung von natürlichen Ressourcen der Vorrat von Rohstoffen zur Herstellung von Produkten geschont und bei wiederholtem Einsatz von Produkten zusätzlich Ressourcen gespart werden können.

Lean Construction – VDI 2553

Die Richtlinie beschreibt die Grundlagen, um Bauprojekte im vorgesehenen Kostenrahmen mit möglichst geringem ungeplanten Aufwand und in der gewünschten Qualität fertigzustellen. Die ganzheitliche Betrachtung der Planung und Ausführung von Bauprojekten ermöglicht zum einen die Verbesserung der Qualität von Bauwerken und verhindert zum anderen unnötigen Ressourcenverbrauch.

Materialflussuntersuchungen – VDI 2689

Die Richtlinie liefert Basiswerkzeuge für Materialflussuntersuchungen und Prozessanalysen zur praktischen Anwendung für den Benutzer. Ausführliche Checklisten helfen bei zielorientierter Vorgehensweise ebenso wie solche für wichtige Untersuchungspunkte, damit Planungen umfassend erledigt werden können. Neuere Trends wie Lean Manufacturing werden durch bewährte Ansätze und Methoden fachlich in die Tiefe gehend unterstützt. Den Hintergrund der überarbeiteten Richtlinie bilden profunde betriebspraktische Erfahrungen sowohl bei Planungsdurchführung als auch bei Berichtsabfassungen. Projektmanagement und spätere Realisierungsansätze werden ebenfalls abgehandelt.

Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) – VDI 2872

Die Richtlinie gibt dem Anwender einen praxisorientierten Handlungsleitfaden, der aufzeigt, wie ein sogenanntes „Lean Enterprise“ eingeführt und genutzt werden kann. Sie wendet sich an alle produzierenden Unternehmen, die sich bereits mit ganzheitlichen Produktionssystemen beschäftigen und weitere Wettbewerbsvorteile generieren wollen. Ein Lean Enterprise ist dabei als eine in sich koordinierte Einheit anzusehen, die darauf ausgerichtet ist, Unternehmensziele unter Einbindung verschiedener Interessengruppen und unter Anwendung von Lean Prinzipien effizient und effektiv zu erreichen.

Asbest in Abbruchabfällen – VDI 3876

Die Richtlinie legt die Vorgehensweise zur Aufbereitung von Proben aus Bau- und Abbruchabfällen sowie daraus gewonnenen Recyclingmaterialien fest, wenn diese qualitativ auf Asbesthaltigkeit untersucht werden sollen. Weiterhin legt sie ein quantitatives Verfahren zur Bestimmung des Asbestgehalts in den Proben fest. Die Richtlinie ist anwendbar für Proben, die entsprechend DIN 19698 oder LAGA PN 98 genommen wurden.

Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS) – VDI 4075

Die Richtlinienreihe wendet sich an Praktiker aus vorwiegend kleinen und mittleren Unternehmen des dienstleistenden und produzierenden Gewerbes, die auf Erkenntnisse und Erfahrungen zum PIUS bei der Modernisierung oder Planung von Produktionsprozessen und -anlagen zurückgreifen wollen. Der Inhalt der Richtlinie ist so angelegt, dass ein Bezug zu betrieblichen Managementsystemen leicht hergestellt werden kann. Des Weiteren trägt die Anwendung dieser Richtlinie zu einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess in den Unternehmen bei.

Ressourceneffizienz – VDI 4800

Die Anwendung der Richtlinie leistet durch Steigerung der Ressourceneffizienz einen Beitrag zur Schonung der natürlichen Ressourcen insbesondere beim Einsatz von Rohstoffen und Wasser, bei der Inanspruchnahme von Flächen und zur Minderung von Umweltbelastungen. Dazu werden Handlungsansätze und Hilfestellungen zur Analyse und Bewertung von

technischen und sozioökonomischen Systemen angeboten. Sie dienen dazu, Strategien zur Ressourceneffizienz zu entwickeln und zu beurteilen. Die Richtlinie zeigt auf, dass eine Optimierung der Ressourcennutzung in allen Phasen des Produktlebenszyklus (Rohstoffgewinnung, Produktion und Fertigung, Nutzung und Ende der Lebensphase) und im Produktionssystem möglich ist. Zusätzlich beschreibt sie Strategien und Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz und gibt somit Unternehmen und Dienstleistungsanbietern Hilfestellung und Anregung, Potenziale für Verbesserungen zu identifizieren.

Abbruch von baulichen und technischen Anlagen – VDI 6210 Blatt 1 und Blatt 2

Die Richtlinie bestimmt für alle Beteiligten die Verfahren und Beurteilungsgrundlagen für die Planung und Durchführung des Abbruchs von Bauwerken und technischen Anlagen. Sie gilt für Abbrucharbeiten ortsfester und ortsveränderlicher baulicher sowie technischer Anlagen und beschreibt das Planen, Durchführen und Nachbereiten solcher Arbeiten sowie das Gewinnen, Bereitstellen, (Zwischen-)Lagern, Behandeln und Umschlagen der dabei anfallenden Materialien und Abfälle.

Bionik – VDI 6220

Stoff- und Energiekreisläufe orientieren sich bei zirkulären Konzepten an der Natur.

Blatt 1 gibt einen Rahmen für bionisches Arbeiten vor. Die Bionik wird klassifiziert und definiert. Der Prozess des bionischen Arbeitens mit seinen Grenzen und Potenzialen wird von der Ideenfindung bis zum bionischen Produkt beschrieben.

Blatt 2 (in Vorbereitung) ist Grundlage für Anwendungen in der Industrie, gibt Handlungsempfehlungen für die konkrete Nutzung der Bionik in der Produktentwicklung und bietet Hilfestellungen für die erfolgreiche Umsetzung eines Entwicklungsprozesses zur Entwicklung neuer und innovativer Produktideen in Industrie, Industriedesign und Architektur.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz

- Studien
  www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien
- Informationsbroschüren
  www.ressource-deutschland.de/publikationen/informationsbroschueren
- Kurzanalysen 1–26
  www.ressource-deutschland.de/publikationen/kurzanalysen

Schrifttum

Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften

Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (Abfallrahmenrichtlinie) ABl EU, 2008, Nr. L 312, S. 3-30. Berlin: Beuth Verlag

Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (Verpackungsgesetz – VerpackG) vom 05. Juli 2017 (BGBl I, 2017, Nr. 45, S. 2234–2261). Berlin: Beuth Verlag

Technische Regeln

DIN 19698 Untersuchung von Feststoffen; Probenahme von festen und stichfesten Materialien. Berlin: Beuth Verlag

DIN EN ISO 14040:2009-11 Umweltmanagement; Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006. Berlin: Beuth Verlag

DIN EN ISO 14044:2018-05 Umweltmanagement; Ökobilanz; Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018. Berlin: Beuth Verlag

LAGA-Mitteilung 32*LAGA PN 98:2019-05 Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen; Grundregeln für die Entnahme von Proben aus festen und stichfesten Abfällen sowie abgelagerten Materialien (LAGA PN 98). Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co.

VDI 2000 Ganzheitliche Darstellung des vollständigen Produktlebenszyklus (in Vorbereitung)

VDI 2074:2014-07 Recycling in der Technischen Gebäudeausrüstung. Berlin: Beuth Verlag

VDI 2095 Blatt 1:2011-03 Emissionsminderung; Behandlung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen; Stationäre und mobile Bauschuttaufbereitungsanlagen. Berlin: Beuth Verlag

VDI 2095 Blatt 2:2014-07 Emissionsminderung; Lagerung, Umschlag und Behandlung von gemischten Bau- und Abbruchabfällen (auch gemeinsam mit Sperrmüll, sowie Gewerbeabfällen). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2095 Blatt 3:2019-03 Emissionsminderung; Abfallbehandlung; Anlagen zur Behandlung von Abfallgemischen aus der haushaltsnahen Wertstofferfassung und von gemischten Gewerbeabfällen. Berlin: Beuth Verlag

VDI 2243:2002-07 Recyclingorientierte Produktentwicklung. Berlin: Beuth Verlag

VDI 2292 Emissionsminderung bei Kühlgeräterecyclinganlagen (in Vorbereitung)

VDI 2343 Blatt 6:2019-02 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte; Vermarktung. Berlin: Beuth Verlag

VDI 2343 Blatt 7:2014-12 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte; Re-use. Berlin: Beuth Verlag

VDI 2553:2019-03 Lean Construction. Berlin: Beuth Verlag

VDI 2689:2019-02 Leitfaden für Materialflussuntersuchungen. Berlin: Beuth Verlag

VDI 2872 Ganzheitliche Produktionssysteme GPS. Berlin: Beuth Verlag

VDI 3876:2018-11 Messen von Asbest in Bau- und Abbruchabfällen sowie daraus gewonnenen Recyclingmaterialien; Probenaufbereitung und Analyse. Berlin: Beuth Verlag

VDI 4075 Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS). Berlin: Beuth Verlag

VDI 4800 Ressourceneffizienz. Berlin: Beuth Verlag

VDI 6210 Blatt 1:2016-02 Abbruch von baulichen und technischen Anlagen. Berlin: Beuth Verlag

VDI 6210 Blatt 2:2018-10 Abbruch von baulichen und technischen Anlagen; Arbeiten an technischen Anlagen

VDI 6220 Bionik. Berlin: Beuth Verlag

Literatur

[1] Statista – Statistiken zum Thema Recycling. https://de.statista.com/themen/1549/recycling/ (abgerufen November 2019)

[2] https://www.bmu.de/pressemitteilung/hoehere-recyclingquoten-fuer-eu/ (abgerufen November 2019)

[3] Geyer, R.; Jambeck, J.R.; Law, K.L. et al.: Production, use, and fate of all plastics ever made. In: Science Advances 3 (2017) 7, p. e1700782

[4] Deutscher Bundestag: Drucksache 19/4634, S. 53. http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/19/046/1904634.pdf (abgerufen November 2019)

[5] https://www.bvse.de/images/news/Kunststoff/2018/181011_Kurzfassung_Stoffstrombild_2017.pdf (abgerufen November 2019)

[6] World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation: The new Plastics Economy – Rethinking the Future of Plastics. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics (abgerufen November 2019)

[7] https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20181212STO21610/plastikmull-und-recycling-in-der-eu-zahlen-und-fakten

[8] World Economic Forum in support of the United Nations E-waste Coalition: A New Circular Vision for Electronics – Time for a Global Reboot. www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf (abgerufen November 2019)

[9] http://www.paperforrecycling.eu/publications/ (abgerufen November 2019)

[10] https://www.wwf.de/themen-projekte/waelder/papierverbrauch/zahlen-und-fakten/ (abgerufen November 2019)

[11] http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/ (abgerufen November 2019)

[12] https://www.hslu.ch/de-ch/hochschule-luzern/ueber-uns/medien/medienmitteilungen/2019/05/09/erweiterte-einsatzmoeglichkeiten-von-recyclingbeton/ (abgerufen November 2019)

[13] https://www.ibp.fraunhofer.de/ (abgerufen November 2019)

[14] https://www.dgnb.de/de/themen/circular-economy/index.php (abgerufen November 2019)

[15] http://assets.kienbaum.com/downloads/Potenzialanalyse-Zirkulaere-Wertschoepfung-in-NRW_Kienbaum-EPEA-Studie_2016.pdf?mtime=20161108093017 (abgerufen November 2019)

[16] Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52014DC0398 (abgerufen November 2019)

[17] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_46_2015_klimaschutzpotenziale_der_abfallwirtschaft_0.pdf (abgerufen November 2019)

[18] Europäische Kommission: Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_3&format=PDF (abgerufen November 2019)

Der VDI

Sprecher, Gestalter, Netzwerker

Die Faszination für Technik treibt uns voran: Seit 160 Jahren gibt der VDI Verein Deutscher Ingenieure wichtige Impulse für neue Technologien und technische Lösungen für mehr Lebensqualität, eine bessere Umwelt und mehr Wohlstand. Mit rund 145.000 persönlichen Mitgliedern ist der VDI der größte technisch-wissenschaftliche Verein Deutschlands. Als Sprecher der Ingenieure und der Technik gestalten wir die Zukunft aktiv mit. Mehr als 12.000 ehrenamtliche Experten bearbeiten jedes Jahr neueste Erkenntnisse zur Förderung unseres Technikstandorts. Als drittgrößter technischer Regelsetzer ist der VDI Partner für die deutsche Wirtschaft und Wissenschaft.

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI-Gesellschaft Materials Engineering (GME)
Dr.-Ing. Hans-Jürgen Schäfer VDI
Koordinator Zirkuläre Wertschöpfung
Tel. +49 211 6214-254
schaefer@vdi.de
www.vdi.de/zirkulaere-wertschoepfung