



## Material mit Möglichkeiten: »Ressourceneffiziente Werkstofftechnologie« als Beitrag zur Nachhaltigkeit

Die natürlichen Ressourcen sind Voraussetzung zur Erhaltung des aktuellen und zukünftigen Lebens auf unserem Planeten. Die vom Menschen verursachte Verteilung von Stoffen, wie beispielsweise von Seltenen Erdmetallen oder Kunststoffen, beansprucht die Belastbarkeit des Erdsystems. Eine Orientierung der Ressourcennutzung an einer nachhaltigen Entwicklung auf Basis der Agenda 2030 innerhalb planetarer Leitplanken berücksichtigt hingegen die Tragfähigkeit des Erdsystems. Die derzeitige Ressourcenentnahme ist jedoch bereits heute nicht mehr nachhaltig. Wenn sich der bisherige Trend fortsetzt, wird die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen von derzeit weltweit 85 Milliarden Tonnen bis zum Jahr 2050 auf 186 Milliarden Tonnen sogar noch deutlich ansteigen. Das kann dazu führen, dass bedeutende Ressourcen zukünftigen Generationen nicht mehr in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen werden. Daher müssen bereits genutzte Ressourcen wieder verfügbar gemacht werden. Gleichzeitig sollte die Feinverteilung (Dissipation) von Stoffen unterbleiben.

Ein schonender und effizienter Umgang mit den natürlichen Ressourcen ist also dringend geboten. Um dies zu erreichen und trotzdem einen hohen Lebensstandard zu ermöglichen, sind zwei ambitionierte Bedingungen zu erfüllen: Die Entkopplung des wirtschaftlichen Wohlstandes vom Rohstoffverbrauch und die Entkopplung des Rohstoffverbrauchs von schädlichen Umweltauswirkungen. Überdies gilt es, Sozialstandards einzuhalten und Rebound-Effekte zu vermeiden. Letztere treten beispielsweise auf, wenn ursprüngliche Effizienzgewinne durch ein geändertes Nutzerverhalten wieder aufgehoben werden.

Um in dem großen Themenfeld des Ressourcenschutzes wirkungsvoll agieren zu können, konzentriert sich die DBU mit ihrem Förderthema 8 auf eine **Ressourceneffiziente Werkstofftechnologie**. Unterschiedliche Werkstoffe von Metallen über Keramik, Glas, anorganische Bindemittel, polymere Kunst- und Naturstoffe bis hin zu Halbleitern bieten ein hohes Innovations- und Ressourceneffizienzpotenzial.

Fortsetzung auf Seite 2

### DBU – Wir fördern Innovationen

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) fördert dem Stiftungsauftrag und dem Leitbild entsprechend innovative, modellhafte und lösungsorientierte Vorhaben zum Schutz der Umwelt unter besonderer Berücksichtigung der mittelständischen Wirtschaft. Geförderte Projekte sollen nachhaltige Effekte in der Praxis erzielen, Impulse geben und eine Multiplikatorwirkung entfalten. Es ist das Anliegen der DBU, zur Lösung aktueller Umweltprobleme beizutragen, die insbesondere aus nicht nachhaltigen Wirtschafts- und Lebensweisen unserer Gesellschaft resultieren. Zentrale Herausforderungen sieht die DBU vor allem beim Klimawandel, dem Biodiversitätsverlust, im nicht nachhaltigen Umgang mit Ressourcen sowie bei schädlichen Emissionen. Damit knüpfen die Förderthemen sowohl an aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse über planetare Grenzen als auch an die von den UN beschlossenen Sustainable Development Goals an.

Fortsetzung von Seite 1

Insbesondere durch die intelligente Kombination von Materialien zu Werkstoffverbunden entstehen Produkte mit verbesserten Gebrauchseigenschaften, die vielfach auch Material und Energie einsparen. Ein weiteres wichtiges Handlungsfeld ist die Funktionalität der Oberflächen von

Bauteilen, über die die Bauteile miteinander wechselwirken. Werden die Oberflächencharakteristika einzelner Bauteile gezielt eingestellt, lassen sich dadurch zahlreiche Gebrauchseigenschaften des Produktes beeinflussen.

## Werkstofftechnologie und Circular Economy (Kreislaufwirtschaft)

Circular Economy (Kreislaufwirtschaft) ist ein Wirtschaftsmodell, das auf die zuvor genannte Entkoppelung des wirtschaftlichen Wachstums vom Ressourcenverbrauch abzielt. In der Kreislaufwirtschaft wird der Wert von Produkten und Materialien so lange wie möglich erhalten. Abfall und Ressourcenverbrauch werden minimiert, und wenn ein Produkt sein Lebensende erreicht, wird es wiederverwertet, um neuen Wert zu schöpfen. Kreislaufwirtschaft kann erhebliche wirtschaftliche Vorteile verschaffen und Beiträge zu Innovation, Wachstum und Arbeitsplatzschaffung leisten. Bezogen auf die Strategie einer **Ressourceneffizienten Werkstofftechnologie** spielen vor allem die im Folgenden betrachteten Aspekte der Circular Economy eine Rolle, um einen nachhaltigeren Umgang mit Ressourcen zu erreichen.



## Werte erhalten, Stoffverluste vermeiden

Verbundwerkstoffe, Werkstoffverbunde sowie oberflächentechnische Beschichtungen stellen im Hinblick auf die Kreislaufführung von Stoffen eine Herausforderung dar. Oftmals lassen sich die einzelnen Werkstofffraktionen nicht wieder trennen und daher mit herkömmlichen Recyclingverfahren nicht zurückgewinnen. Auch kann der Recyclingaufwand in Relation zum Wert der eingesetzten Stoffe sehr hoch sein. Ein Beispiel dafür sind Konservendosen aus verzinnemtem Stahlblech («Weißblech»). Beim Recycling des Stahls verbleibt das knappe Metall Zinn atomar verteilt in der Stahlschmelze. Dies führt technisch irreversibel zum Verlust des wertvollen Produktbestandteils und zu einer verringerten Qualität des Recyclingmaterials.

Lassen sich die Bestandteile von Produkten dagegen sortenrein trennen – beispielsweise durch innovative physikalische, chemische oder biologische Verfahren sowie durch eine modulare Bauweise – und so wieder in den Kreislauf bringen, kann der Wert der eingesetzten Ressourcen erhalten werden.

Folgende Projekte aus der DBU-Förderung stehen für ein hochwertiges Recycling, bei dem die eingesetzten Materialien wieder für die ursprüngliche Anwendung genutzt werden können.



### Innovatives Carbonfaserrecycling (AZ 30692)

Für viele Anwendungen setzen sich zunehmend Carbon-Faser-Komposite (CFK) durch. Allerdings ist die Herstellung von Carbonfasern sehr energieaufwendig und teuer. Zudem sind bei der Fertigung von CFK-Bauteilen bis zu 40 % Abfall nicht zu vermeiden. Daher ist es wünschenswert, die im Abfall enthaltenen Carbonfasern wiederzugewinnen. Dies gelang der CFK-Valley Stade Recycling GmbH & Co. KG, Wischhafen, in Zusammenarbeit mit dem Kunststoff-Institut Lüdenscheid: Die Projektpartner entwickelten ein Verfahren, mit dem die in Verbundwerkstoffabfällen, Produktionsabfällen oder »end of life«-Produkten enthaltenen Carbonfasern recycelt und in neue hochwertige Carbonfaserprodukte überführt werden können. Dafür werden die CFK-Abfälle zunächst so aufbereitet, dass sie in einer Pyrolyseanlage behandelt werden können. Durch eine spezielle Prozessführung werden die Polymermatrix zersetzt und die Carbonfasern als locker verknüpfte, flächige Bündel zurückgewonnen. Um die Recyclingfasern in eine für die Verarbeitung günstige Form zu überführen, werden sie zu kleinen Kügelchen, den sogenannten Fiberballs kompaktiert. Die Fiberballs sind rieselfähig und lassen sich staubfrei in neue Compounds überführen. Die so hergestellten Compounds können im Spritzguss- als auch im Extrusionsverfahren weiter verarbeitet werden.



### Hochwertiges Recycling von PUR-Weichschaumstoffen (AZ 29395)

Bei der Produktion von Polyurethan-Blockweichschaumstoffen (PUR-BWS), beispielsweise für Matratzen und Polsterungen, fallen allein in Deutschland jährlich bis zu 30 000 Tonnen Produktionsabfälle an, für die bislang kein erfolgreicher direkter Recyclingprozess existierte: Nahezu alle herkömmlichen chemischen Recyclingverfahren beruhen auf Reaktionen zur Spaltung der Polyurethane, bei denen gesundheitsgefährdende aromatische Amine entstehen.

Die Firma H&S Anlagentechnik GmbH, Sulingen, entwickelte dagegen einen innovativen chemischen Recyclingprozess mithilfe von cyclischen Dicarbonsäuren und einem radikalbildenden Katalysator in Gegenwart von Polyolen, die üblicherweise bei der Herstellung von Weichschaumstoffen eingesetzt werden.

So wird ein Recycling-Polyol erzeugt, das sich direkt wieder für die PUR-Weichschaumherstellung eignet: Bis zu einem Recycling-Polyolgehalt von 25 % entsprechen die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der produzierten Matratzen- und Möbel-PUR-Schäume denen herkömmlicher Weichschäume. Auch ein erneutes Recycling ist möglich. Seit der Inbetriebnahme der weltweit ersten Industrieanlage im Jahr 2013 ist das Verfahren in der großtechnischen Anwendung.



## Materialeffizienz bewerten

Die Langlebigkeit von Produkten geht häufig mit einer hohen Materialeffizienz einher, da sie den Ressourcenverbrauch verringert. Allerdings kann Langlebigkeit auch negative Effekte haben, wenn sie in einer innovativen Branche mit kurzen Produktzyklen einem wenig aufwendigen, wertschöpfenden Recycling entgegensteht: Kommen Produktbestandteile zu spät aus der Nutzung zurück, sind sie unter Umständen schon durch neue Werkstoffe oder technische Innovationen abgelöst worden und daher nicht mehr einzusetzen. Langlebigkeit ist insbesondere dann schädlich, wenn die Nutzungsphase eines Altgerätes eine höhere

Umweltbelastung verursacht als ein Neugerät – der Austausch gegen ein Neugerät würde in diesem Fall umweltrelevante Vorteile versprechen. Beispielsweise dauert es durch die Langlebigkeit von Energiesparleuchten noch viele Jahre, bis das in ihnen enthaltene toxische Quecksilber entsorgt ist.

Um Rohstoffe zu bilanzieren und tatsächliche Effizienzen aufzuzeigen, bieten sich Lebenswegbetrachtungen und Materialflussanalysen an. Eine Umsetzungsmöglichkeit demonstriert das folgende DBU-Projekt.

### MOPS – Mobil unterstütztes Stoffstrommanagement (AZ 32176)

Materialeffizienz, Energieeffizienz und das Optimieren von Verfahren und Prozessen sind für Unternehmen sowohl in ökonomischer als auch ökologischer Hinsicht relevant. Besonders in kleinen und mittleren Unternehmen bleiben jedoch viele Potenziale ungenutzt. Der Grund: Fehlende Informationen zu Betriebsdaten und mangelnde Kenntnis der Produktionssysteme.

Das Institut für Umwelthinformatik Hamburg GmbH (ifu), und die Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin bieten nun eine Lösung, die das Datenerfassen erleichtert, vereinheitlicht und systematisiert, nämlich MOPS, das mobil unterstützte Stoffstrommanagement. Dazu entwickelten die Projektpartner eine App, mit deren Hilfe Daten, beispielsweise zu Betriebszuständen von Maschinen, Flussmengen, Stoffkonzentrationen oder Warenbeständen, in Eingabefeldern auf einem mobilen Endgerät erfasst werden können. Die erfassten Daten werden anhand von Sankey-Diagrammen dargestellt – also von Grafiken, in denen Stoff- oder Energieflüsse als Pfeile dargestellt werden, deren Breite proportional zur Flussmenge ist. Auf diese Weise lassen sich Betriebe individuell analysieren und spezifische Maßnahmen zur Effizienzsteigerung ableiten. Eine monetäre Bewertung der Einsparpotenziale ergänzt die Betrachtung der Stoffflüsse. So wird eine mobile Materialflusskostenrechnung (MFCA: Material Flow Cost Accounting) mit aktuellen betrieblichen Ist-Daten möglich.



## Substitution – umweltkritische Stoffe vermeiden und ersetzen

Werkstofftechnologie kann helfen, Material und Energie zu sparen und neue Produkteigenschaften zu kreieren. Einige dieser Innovationen basieren jedoch auf dem Einsatz von umweltkritischen Stoffen. Dies können zum einen Stoffe sein, die im globalen Maßstab strukturelle oder geopolitische Risiken mit sich bringen (»Konfliktrohstoffe«), unter umweltschädigenden und nicht sozialverträglichen Bedingungen gefördert werden oder die »knapp« werden können. Zu nennen ist hier vor allem die zunehmende Verwendung von strategischen Metallen, darunter auch die sogenannten »Seltene Erden«, in der Elektronikbranche und im Maschinenbau.

Viele Metalle sind Voraussetzungen für Zukunftstechnologien wie das Gewinnen und Speichern erneuerbarer Energien,

Elektromobilität, Hightech-Industrie und Digitalisierung. Umweltkritische Stoffe können aber auch gesundheitsbedenkliche Chemikalien sein, die in Problemstofflisten genannt werden und in einigen Ländern oder Branchen verboten sind oder werden, wie zum Beispiel Chrom (VI) oder perfluorierte Tenside (PFT).

Die nachfolgenden DBU-Projekte zeigen beispielhaft, wie sich der Einsatz umweltkritischer und gesundheitsbedenklicher Stoffe vermeiden lässt. Bezogen auf Unternehmen stärkt die Vermeidung und Substitution derartiger Stoffe die Compliance und damit den langfristigen Erfolg.



### Galvanische Metallisierung ohne Palladium (DBU-AZ 29737)

Metallisierte Kunststoffbauteile sind nahezu allgegenwärtig; beispielsweise als verchromte Automobilbauteile oder bei Badarmaturen. Um Polymere in einem Galvanikprozess mit einer Metallschicht zu veredeln, muss zunächst eine dünne, elektrisch leitfähige Beschichtung – meist Kupfer und Nickel – aufgebracht werden. Dazu ist Palladium notwendig, ein Element der Platinedelmetallgruppe, das sich erst nach verschiedenen Säurebädern aufbringen lässt.

Um diese umweltbedenkliche chemische Vorbehandlung zu vermeiden und die Ressource Palladium zu schonen, erproben die Projektpartner ITW Automotive Products GmbH, Röttingen, und das Fraunhofer Institut für Silicatforschung ISC, Würzburg, zurzeit eine Alternative: Sie wollen Polymere mit einer elektrisch leitfähigen Schicht aus anorganischorganischen Hybridpolymeren (Ormocere®) beschichten, die eine direkte Galvanisierung erlaubt.

Es ist bereits gelungen, für die Ormocere®-Schicht eine gute Haftung auf Polyamidsubstraten zu realisieren und darauf galvanisch eine Kupferschicht abzuschneiden.

### REACH-Radar ortet besorgniserregende Stoffe (DBU AZ 31728)

Die Europäische Chemikalienverordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) beruht auf dem Grundsatz, dass Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Anwender die Verantwortung für ihre Chemikalien übernehmen. Dazu gehört auch die »Pflicht zur Weitergabe von Informationen über Stoffe in Erzeugnissen«, das heißt, wenn ein Erzeugnis einen besorgniserregenden Stoff enthält, muss diese Information unaufgefordert in der Lieferkette weitergegeben werden.

Doch wie lässt sich für Unternehmen ermitteln, ob sie besonders besorgniserregende Stoffe einsetzen?





Fortsetzung von Seite 4

Hier hilft das REACH-Radar. Dieses Excel-basierte Werkzeug ermittelt, ob Stoffe auf der von der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) veröffentlichten sogenannten Kandidatenliste stehen und damit als besonders besorgniserregend gelten. Darüber hinaus nutzt das REACH-Radar weitere Listen, die angeben, ob Stoffe einer Zulassungspflicht unterliegen. Dafür müssen lediglich die CAS (Chemical Abstracts Service)-Registrierungsnummern der fraglichen Stoffe in eine Tabelle eingegeben werden. Das REACH-Radar kann aktuell bis zu 2 000 CAS-Nummern automatisch überprüfen.

Überdies: Besonders besorgniserregende Stoffe sollen laut REACH ersetzt werden, sofern dies technisch und wirtschaftlich möglich ist. Das REACH-Radar bietet Unternehmen also die Möglichkeit, zu erkennen, welche Stoffe möglicherweise in einigen Jahren nicht mehr verfügbar sein könnten. So lassen sich rechtzeitig Alternativen finden.

Das REACH-Radar wurde zunächst von der Hansgrohe SE, Schiltach, und der Hochschule Furtwangen erarbeitet und anschließend in einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, geförderten, vom Öko-Institut, Freiburg, geleiteten Projekt weiterentwickelt. Neben den oben genannten Projektpartnern wirkten auch die Unternehmen Kunststofftechnik Buzzi, Schiltach, und UNIWELL Rohrsysteme, Ebern, mit.

Die aktuelle Fassung des REACH-Radar lässt sich hier herunterladen: <https://www.oeko.de/REACH-Radar>. Mittelständische Unternehmen, die REACH-Radar bei sich anwenden möchten, können bei der Einführung vom Öko-Institut kostenfrei unterstützt werden.

## Funktion statt Ware – Ressourceneffizienz durch Geschäftsmodelle

Innovative Technologien, die auf Materialeffizienz, Recyclingfähigkeit und Vermeidung umweltkritischer Stoffe abzielen, stellen unabdingbare Bestandteile einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft dar. Eine weitere Chance für Circular Economy und Ressourcenschonung bieten dienstleistungsorientierte Geschäftsmodelle wie Leasing (Leihen) und Sharing (geteilte Nutzung). Ihr vorrangiger Zweck ist es, die Bedürfnisse der Kunden zu befriedigen, und nicht, ein Produkt zu verkaufen.

Beim Chemical Leasing beispielsweise wird nicht eine Ware angeboten, sondern eine Funktion, was auch die fachgerechte Nutzung und Entsorgung der eingesetzten Chemikalien umfasst. Dabei verdienen die Anbieter des Chemikalienleasings auch daran, dass sie die Kunden bei

der Prozessoptimierung unterstützen – und nicht, wie bisher, in erster Linie über die Menge der verkauften Chemikalien.

Insbesondere neue Geschäftsmodelle, aber auch die anderen Aspekte der Kreislaufwirtschaft setzen für ihren Erfolg eines voraus: Die Akzeptanz durch die Kundinnen und Kunden beziehungsweise Nutzerinnen und Nutzer.

Die Förderung von Akzeptanz und von systemischem Denken kann eine nachhaltige Anwendung und Nutzung von Produkten unterstützen und helfen, die Produkte und Materialien im Materialkreislauf zu halten – zum Beispiel durch Einsammeln und Zurückbringen zu Sammelstellen.

### Effizienter Chemikalieneinsatz durch Chemikalienleasing (Chemical Leasing) (AZ 26035)

Chemikalienleasing ist ein dienstleistungsorientiertes Geschäftsmodell: Verkauft wird nicht die Chemikalie, sondern eine Funktion zusammen mit einer fach- und umweltgerechten Nutzung. In Krankenhäusern wird beispielsweise die erbrachte Hygieneleistung vergütet und nicht die Menge an verbrauchtem Desinfektionsmittel.

Dieser Idee folgend startete die Firma Schülke & Mayr GmbH, Norderstedt, in Kooperation mit dem Klinikum Worms und der Leuphana Universität Lüneburg ein Chemikalienleasing-Projekt, um den Infektionsschutz in Krankenhäusern zu verbessern und den Desinfektionsmitteleinsatz zu mindern.

Die Ergebnisse zeigen, dass beispielsweise bei der Flächen-desinfektion und den Desinfektionsreinigern erhebliche Einsparpotenziale liegen. In anderen Bereichen wie der Instrumentendesinfektion führt hingegen eine Erhöhung der Desinfektionsmittelverwendung zu einer Verbesserung der Hygieneleistung. Das Modellprojekt zeigte, dass das Hygienemanagement in Krankenhäusern mithilfe des Chemikalienleasings deutlich optimiert werden kann.





## Ressourcen effizient und nachhaltig gebrauchen – die DBU-Position zum Förderthema 8 »Ressourceneffiziente Werkstofftechnologie«

Die Ressourceninanspruchnahme und die Verteilung von Stoffen müssen so weit sinken, dass die Tragfähigkeit unseres Planeten nicht gefährdet wird und den zukünftigen Generationen Ressourcen in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Hier kann die Kreislaufwirtschaft einen wichtigen Beitrag leisten. Im Hinblick auf die Strategie einer **Ressourceneffizienten Werkstofftechnologie** identifiziert die Deutsche Bundesstiftung Umwelt die folgenden Handlungsansätze, um die Ressourceneffizienz zu erhöhen, die Belastungen der Umwelt zu senken und die Kreislaufwirtschaft weiter zu entwickeln.

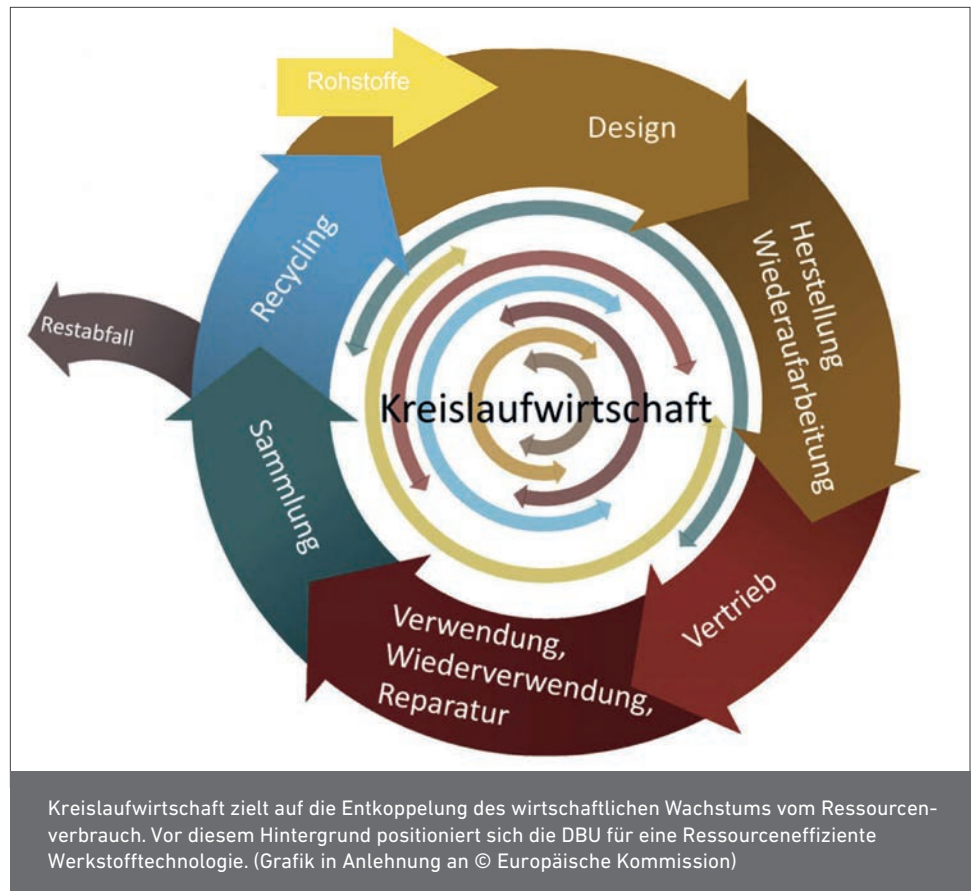
### 1. Qualität versus Quoten – Dissipation vermeiden

Kreislaufwirtschaft wird heute noch zu stark aus dem Blickwinkel eines »Abfallentledigungswillens« gesehen. Triebfedern sind hier Entsorgungskosten, die minimiert werden sollen und die Notwendigkeit, Verwertungsquoten zu erfüllen. Eine Kreislaufwirtschaft, die im Hinblick auf Ressourceneffizienz optimiert ist, sollte möglichst vollständig recyceln und dabei besonders auf die Qualität der Rezyklate achten. Um dies zu erreichen, müssen Produkte so konzipiert und gefertigt werden, dass ihre Bestandteile und die darin enthaltenen Stoffe auf einem möglichst hohen Werterhaltungsniveau »rückholbar« sind. Neben dem Hauptmassenstrom sollten hier auch die stofflichen Nebenströme wie Hilfs- und Betriebsstoffe beachtet werden. Die in Werkstoffbeschichtungen, Verbundwerkstoffen und Werkstoffverbunden enthaltenen Materialien sollten sortenrein wiederverwertet werden können, um Qualitätsverluste durch ein »Mischrecycling« zu vermeiden.

### 2. Ganzheitliche und globale Betrachtung anstelle eindimensionaler Optimierung

Die Langlebigkeit von Produkten ist oft ein geeigneter Indikator für eine hohe Ressourceneffizienz. Allerdings kann Langlebigkeit auch negative Effekte haben, wenn sie einem wenig aufwendigen, werterhaltenden Recycling entgegensteht oder wenn die Nutzung eines Altgerätes die Umwelt stärker belastet als ein Neugerät. Große Bedeutung kommt einem hochwertigen Recycling zu. Dies setzt voraus, dass ein Produkt entweder wiederverwertet werden kann oder dass sich die im Produkt genutzten Werkstoffe sortenrein voneinander trennen lassen. Produkte sollten daher diesen Erfordernissen entsprechend konzipiert werden, z. B. durch Werkstoffauswahl, Produktaufbau und Produktdokumentation.

Vor diesem Hintergrund plädiert die DBU für die Strategie einer **Ressourceneffizienten Werkstofftechnologie**, in der Effizienzsteigerungen nicht nur am konkreten Produkt, sondern auch auf volkswirtschaftlicher und globaler Ebene einbezogen werden. Lebenswegbetrachtungen



und Materialflussanalysen helfen dabei, auch die Wirkungen auf das Gesamtsystem beurteilen zu können und Rebound-Effekten vorzubeugen.

### 3. Umweltkritische und gesundheitsbedenkliche Stoffe substituieren

Rohstoffe werden laut Umweltbundesamt (UBA) als kritisch bezeichnet, wenn die Wirtschaft in besonderem Maße von ihnen abhängig ist und sie gleichzeitig bestimmten Versorgungsrisiken unterliegt, die Rohstoffe also »knapp« werden können – wie die Seltenen Erden im Jahr 2011. Die DBU erweitert diesen Blickwinkel um ökologische Faktoren, beispielsweise Emissionen am Arbeitsplatz.

Eine wachsende Rolle spielt auch die Herkunft von Rohstoffen, beispielsweise im Hinblick auf eine umwelt- und sozialverträgliche Förderung. Wenn möglich, sind umwelt- und gesundheitsbedenkliche sowie knappe Rohstoffe durch weniger kritische und besser verfügbare Alternativen zu ersetzen. Schwer substituierbare knappe Rohstoffe sollten hingegen möglichst verlustfrei im Kreislauf geführt werden, um eine größere Unabhängigkeit von der Rohstoffförderung zu erreichen. Das gilt zum Beispiel für Platingruppenmetalle, Indium, Kobalt und Seltene Erdmetalle.

Auskunft über umweltbelastende und gesundheitsbedenkliche Stoffe geben beispielsweise die EU-Richtlinie zur Beschränkung gefährlicher Stoffe (RohS-Richtlinie) beziehungsweise die EU-Chemikalienverordnung (REACH).



Fortsetzung von Seite 7

#### 4. Innovative Geschäftsmodelle entwickeln

Eine Transformation hin zu einem nachhaltigen Umgang mit Ressourcen wird nur gelingen, wenn neben den technologischen Innovationen auch profitable Geschäftsmodelle entwickelt werden. Dienstleistungsorientierte Businessmodelle im Bereich Sharing Economy wie Contracting, Chemical Leasing und Product as a Service bieten Chancen für mehr Effizienz. So können beispielsweise Wettbewerbs- und Innovationsdruck gesenkt werden, indem Redistributionszweige für die Rezyklate stärker in die Geschäftsmodelle der Hersteller einbezogen werden und daraus mehr Wertschöpfungs- und Marktdifferenzierungsmöglichkeiten entstehen.

#### 5. Systemisches Denken fördern und Akzeptanz steigern

In allen Phasen der Kreislaufwirtschaft ist ein bewusstes und gezieltes Vorgehen relevanter Akteure erforderlich, um ressourceneffizienzorientierte Strategien erfolgreich umzusetzen. Damit dies wissenschaftlich im Sinne einer Transformation zur Nachhaltigkeit erfolgt, muss ein Verständnis der komplexen Zusammenhänge bei den Akteuren aufgebaut werden. Gleichzeitig sollte die Akzeptanz für erforderliche Maßnahmen im Hinblick auf die Kreislaufführung

oder beim Produktdesign gesteigert werden. Dem systemischen Denken und Handeln kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Wissensbasiertes systemisches Denken und Handeln, das sozial und kulturell eingebettet ist, kann einen nachhaltigen Konsum und eine lange Nutzungsphase befördern und dabei helfen, die Produkte und ihre Materialien anschließend wieder in den Materialkreislauf zu bringen.

#### 6. Zukunftstrend Digitalisierung – Chancen nutzen

Im Hinblick auf die Zukunft lassen sich durch innovative Werkstoffe, neue technische Möglichkeiten, neue Geschäftsmodelle sowie durch ein gezieltes Vorgehen aller Akteure weitere Potenziale für eine **Ressourceneffiziente Werkstofftechnologie** erschließen. Besondere Aufmerksamkeit verdient außerdem die Digitalisierung, die alle Produktions- und Geschäftsbereiche erfasst. Dezentrale Fertigung oder neue Strategien, wie das Internet of Things (IoT) können interessante Hebel zur Einsparung von Ressourcen darstellen. Es gilt, die Chancen dieses Megatrends gewinnbringend in gesellschaftlichen Nutzen umzusetzen, mit einem möglichst geringen Materialeinsatz zu verknüpfen und strategisch für mehr Ressourceneffizienz zu nutzen.

## Literatur und Quellen

- BDA, ITAD, VDMA** (Hrsg.) (2016): Branchenbild der deutschen Kreislaufwirtschaft. Berlin, Düsseldorf, Frankfurt am Main.
- BMUB** (Hrsg.) (2016): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II, Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen, Berlin.
- Buchert, M. et al.** (2016): Policy Paper 3: Rohstoffspezifische Ziele. Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft. Öko-Institut e.V., Darmstadt.
- BMZ** (Hrsg.) (2010–2017): Agenda 2030 – 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung, siehe: [http://www.bmz.de/de/ministerium/ziele/2030\\_agenda/17\\_ziele/index.html](http://www.bmz.de/de/ministerium/ziele/2030_agenda/17_ziele/index.html)
- Hempel, M. et al.** (2015): Forschungen zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz aus Sicht der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). In: Akademie für Geowissenschaften und Geotechnologien e. V., Veröffentlichungen, Heft 31 (2015), S. 79–85, Neustadt/Hannover.
- Lacy, P.; Rutqvist, J.; Buddemeier, Ph.** (2015): Wertschöpfung statt Verschwendung. Redline Verlag, München.
- Öko-Institut** (Hrsg.) (2016): Rohstoffe: Gewinnung, Verarbeitung, Recycling. eco@work, Ausgabe September 2016, Freiburg.
- Rockström, J. et al.** (2009): A safe operating space for humanity. In: Nature, Vol. 461, (2009), S. 472–475, doi:10.1038/461472a.
- Steffen, W. et al.** (2015): Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. In: Science, Vol. 347, Issue 6223, 13 February 2015, doi: 10.1126/science.1259855.
- UBA** (Hrsg.) (2016): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2016, Dessau-Roßlau.
- UBA** (Hrsg.) (2015): Elemente einer erfolgreichen Ressourcenschonungspolitik. Position Oktober 2015; Dessau-Roßlau.
- UNEP** (Hrsg.) (2017): Resource Efficiency: Potential and Economic Implications. A report of the International Resource Panel. Nairobi, Kenya.

- Wilts, H. et al.** (2014): Recycling in Deutschland – Status quo, Potenziale, Hemmnisse und Lösungsansätze. Studie im Auftrag der KfW Bankengruppe. Wuppertal Institut, Wuppertal.

### Ihre Ansprechpartner für das Thema Ressourceneffiziente Werkstofftechnologie:

Felix Gruber (Projektgruppenleitung)  
Tel.: 0541 9633-201, E-Mail: [f.gruber@dbu.de](mailto:f.gruber@dbu.de)

Katrin Anneser  
Tel.: 0541 9633-242, E-Mail: [k.anneser@dbu.de](mailto:k.anneser@dbu.de)

Dr. Volker Berding  
Tel.: 0541 9633-311, E-Mail: [v.berding@dbu.de](mailto:v.berding@dbu.de)

Dr.-Ing. Jörg Lefèvre  
Tel.: 0541 9633-211, E-Mail: [j.lefevre@dbu.de](mailto:j.lefevre@dbu.de)

Ulrike Peters  
Tel.: 0541 9633-403, E-Mail: [u.peters@dbu.de](mailto:u.peters@dbu.de)

Dr. Michael Schwake  
Tel.: 0541 9633-213, E-Mail: [m.schwake@dbu.de](mailto:m.schwake@dbu.de)

Weitere Informationen unter [www.dbu.de](http://www.dbu.de)

## Wir fördern Innovationen

Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
Postfach 1705, 49007 Osnabrück  
An der Bornau 2, 49090 Osnabrück  
Telefon: 0541 | 9633-0  
Telefax: 0541 | 9633-190  
[www.dbu.de](http://www.dbu.de)



### Impressum

**Herausgeber:** Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU, An der Bornau 2, 49090 Osnabrück, Telefon 0541/9633-0, Telefax 0541/9633-190, [www.dbu.de](http://www.dbu.de) // **Redaktion:** Verena Menz, Dr. Maximilian Hempel, Dr.-Ing. Jörg R. Lefèvre, Ulrike Peters // **Verantwortlich:** Prof. Dr. Markus Große Ophoff // **Gestaltung/Satz:** Helga Kuhn // **Bildnachweis:** S. 1: © Kadmy - stock.adobe.com, S. 2 oben: © TSUNG-LIN WU - stock.adobe.com, S. 3 unten: © Wavebreak MediaMicro - stock.adobe.com, S. 4 Mitte: © Smileus - Fotolia.com, S. 4 unten: © magann - Fotolia, S. 7: in Anlehnung an © Europäische Kommission, alle anderen Fotos DBU.

01.09.2019