

# ForCycle

## – Projekte zur Nutzung von Sekundärressourcen –

Armin Reller und Sigrun Schmid

1.	Aktuelle Lage .....	107
2.	Kritikalitätsanalyse als Grundlage einer Ressourcenstrategie.....	110
3.	<i>ForCycle</i> -Projekte .....	113
4.	Gesellschaftliche Gestaltungspotentiale.....	116
5.	Literatur.....	117

Mit dem Forschungsverbund *ForCycle* – Ressourcenstrategie für Bayern unter besonderer Berücksichtigung von Sekundärrohstoffen setzt das Land Bayern ein deutliches Zeichen in Richtung Rohstoffwende. Das bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) finanziert die Erforschung und Entwicklung innovativer Recyclingtechnologien und -verfahren mit etwa drei Millionen EUR für eine Laufzeit von drei Jahren. Geplant ist, in einem soziokulturellen Begleitprojekt zudem den gesellschaftlichen Umgang mit Ressourcen zu beleuchten.

### 1. Aktuelle Lage

In den vergangenen hundert Jahren hat sich die Weltbevölkerung vervierfacht, die Wirtschaft ist um das 14-fache, der Energieverbrauch um das 16-fache gestiegen, die Industrieproduktion hat sich um den Faktor 40 erhöht. Seit den 1950er Jahren verzeichnen Flächenversiegelungen, Abfallaufkommen oder die Anzahl der Kraftfahrzeuge in den Industrienationen geradezu sprunghafte Zuwächse.<sup>1</sup> Der ressourcenintensive Lebensstil der westlichen Welt, den die Schwellenländer in nicht allzu ferner Zukunft eingeholt haben dürften, liegt damit bereits 1,5-mal über den vorhandenen Ressourcen-Vorräten der Erde.<sup>2</sup> Für 2030 wird bei weiter steigenden Bevölkerungszahlen und anhaltenden Konsumtrends der Verbrauch von 2,0 Planeten prognostiziert.<sup>3</sup>

Die Menschheit verbraucht so viele Rohstoffe, wie nie zuvor in der Geschichte. Ein Umdenken in der Rohstoffpolitik ist deshalb dringend erforderlich. Dabei ist die durch den enormen Bedarf erzeugte oder für kommende Jahre ermittelte Knappheit nicht

<sup>1</sup> Marschall, L.; Meißner, S.; Schmidt, C.: Bis zur Erschöpfung – Zur Geschichte der Ausbeutung natürlicher Ressourcen. In: Reller, A.; Marschall, L.; Meißner, S.; Schmidt, C. (Hsg.): Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2013, S. 15-37, hier S.16

<sup>2</sup> URL: [http://www.footprintnetwork.org/de/index.php/GFN/page/world\\_footprint/](http://www.footprintnetwork.org/de/index.php/GFN/page/world_footprint/)

<sup>3</sup> Ebd.

einmal der alleinige Grund für die Notwendigkeit dieses Wandels. Das Schwinden eines Stoffes kann bei einigen mineralischen Rohstoffen – bekannteste Beispiele sind Erdöl und Kohle, aber auch Phosphor<sup>4</sup> oder Sand<sup>5</sup> – zu einem gravierenden, im Falle des Phosphors zu einem lebensbedrohlichen Problem werden. Bei vielen Metallen deuten die statischen Reichweiten und erst recht die wahrscheinlichen Reichweiten und die Reserven mittelfristig noch keine besorgniserregenden Engpässe an. Zumal dann nicht, wenn durch Effizienzsteigerung, Recycling und Ressourcenschonung – wie im Folgenden noch dargelegt werden soll – Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Auch hängen die Verfügbarkeiten meist von mehreren Faktoren ab, die oftmals nicht vorhersehbar sind und starke Schwankungen aufweisen können. Verbindliche Aussagen über Rohstoffvorkommen, deren Quantitäten und Qualitäten können entsprechend nur mit fundiertem Fachwissen und auch dann nicht generell, sondern nur für eine jeweils aktuelle Zeitspanne ermittelt werden. Auf diese sogenannten Kritikalitätsanalysen wird weiter unten noch ausführlicher eingegangen werden. Die Ursachen für die schwer einschätzbare Lage sind unter anderem in den geographischen und geo- bzw. rohstoffpolitischen Kontexten des weltweiten Rohstoffhandels zu suchen. Genau aus diesem Grund ist es ratsam, die Rohstoffpolitik in Deutschland und Bayern, wo nahezu hundert Prozent der Metalle eingeführt werden müssen, dahingehend zu verändern, dass die Abhängigkeiten von den Rohstoffexporteuren so gering wie möglich gehalten werden können.

Wie oben bereits anhand von Zahlen illustriert, ist das anhaltende Wachstum in den aufstrebenden Ländern China, Indien und Brasilien sowie der ungebremst fortdauernde Konsumüberfluss in unserer eigenen Lebenswelt dazu angetan, den Rohstoffverbrauch weiter auf hohem und höchstem Niveau zu halten. Tatsächliche oder künstlich erzeugte Kapazitätsengpässe sowie Rohstoffspekulationen, besonders häufig mit Nahrungsmitteln, Edelmetallen und Öl wirken als zusätzliche Preistreiber. Bei stark nachgefragten Metallen für Hightech-Geräte bzw. Zukunftstechnologien kann ein rasanter Preisanstieg oder ein Versorgungsmangel erhebliche wirtschaftliche Konsequenzen nach sich ziehen. So geschehen in den Jahren 2009 und 2011, als China durch Exportbeschränkungen die Preise für einzelne Seltenerdmetalle innerhalb kürzester Zeit in die Höhe schnellen ließ. Länder, die aufgrund der regionalen Konzentration Monopolstellungen für bestimmte Rohstoffe innehaben, setzen dergleichen Maßnahmen (Quoten, Besteuerung) nicht selten aus strategischen Gründen zur Stärkung der eigenen Produktion und Marktposition ein. Auch ist die Rohstoffversorgung aus politisch instabilen Ländern aufgrund von Krisen, kriegerischen Auseinandersetzungen oder auch aus politisch-ideologischen Gründen nicht immer zweifelsfrei gesichert. Eine vergleichbare Machtfülle können auch Förderunternehmen auf sich vereinigen, die den Abbau einzelner Rohstoffe vollständig kontrollieren und die Handelsbedingungen entsprechend diktieren. Die Abhängigkeit von Rohstofflieferanten, gleich ob von Staaten oder von Firmen, kann für die Abnehmerländer ein hohes Risiko bedeuten, wirtschaftliche Einbußen bis hin zu massiven Schädigungen für die heimische Wirtschaft sind vorstellbar. Die Verknappung von

<sup>4</sup> Vgl. Shafy S.: Gold aus Gülle und Knochen. In: Der Spiegel 37/2013, S.122-123

<sup>5</sup> Vgl. hierzu Blasberg M., Henk M: Wie Gold am Meer. In: Die ZEIT, 14. August 2014, No. 34, S. 11-13

Seltenerden durch China hat dazu geführt, dass trotz hoher Explorationskosten weltweit neue Lagerstätten erkundet und stillgelegte Minen wieder in Betrieb genommen wurden (bspw. Mountain-Pass in Kalifornien, USA). Die Lieferungen aus China sind dadurch von 98 auf etwa 92 Prozent zurückgegangen. Zudem haben die Entwicklung alternativer Technologien sowie der Einsatz von Substituten die Nachfrage insgesamt um etwa ein Drittel verringert.<sup>6</sup> Doch nicht für jeden Rohstoff, nicht für jede Funktion steht bei Bedarf ein Substitut zur Verfügung, zumal auch die Ersatzrohstoffe auf die genannten Schwierigkeiten hin überprüft werden müssen und oftmals selbst als kritisch eingestuft werden. Auch darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die zunehmende Materialdiversität, also der Einsatz von immer mehr Elementen und deren immer kleinteiligere Verwendung in Produkten auf der einen Seite das Recycling dieser Gewürzmetalle<sup>7</sup> erschwert und auf der anderen Seite deren Dissipation befördert. Dissipation bedeutet, dass die Stoffe während der Herstellung, im Verlauf der Nutzung oder in der sogenannten End-of-Life-Phase als Kleinstpartikel in die Umwelt gelangen, als Stäube verwehen oder im Boden versickern. Sie sind nicht mehr rückholbar, können keinem Wiederverwendungskreislauf zugeführt werden, über ihre bioaktiven, möglicherweise toxischen Reaktionen in Luft, Wasser oder Erdreich ist bisher wenig bekannt.

Der globale Rohstoffmarkt mit seinen strategisch-politischen Unwägbarkeiten und Preisvolatilitäten weist aber außer der ökonomischen Seite noch weitere Faktoren auf, die aus dem Abbau und Handel mit Rohstoffen ein prekäres Geschäft machen: Es sind die ökologischen und sozialen Bedingungen, unter denen in weiten Teilen der Erde die Gewinnung von Rohstoffen sowie deren Weiterverarbeitung vonstattengehen. Seit sich die Unfälle in den textilverarbeitenden Fabriken Südostasiens häufen, in denen überwiegend Frauen für westliche Bekleidungsfirmen unter menschenunwürdigen Bedingungen für Hungerlöhne arbeiten, werden diese Zustände auch in der westlichen Welt, wo nicht nur die Auftraggeber, sondern auch die Kunden leben, vermehrt zur Kenntnis genommen. Entwicklungsminister Gerd Müller hat mit der Ankündigung eines Textilsiegels für nachhaltig produzierte Bekleidung auf den Einsturz eines Fabrikgebäudes in Rana Plaza/Bangladesch im April 2013, bei dem über 1.000 ArbeiterInnen ums Leben gekommen sind, reagiert. Doch nicht allein in der Textilindustrie werden die Umwelt- und Sozialstandards systematisch unterlaufen, für nahezu alle Rohstoffindustrien lassen sich Beispiele benennen. Ob beim Goldabbau in Brasilien<sup>8</sup> oder Peru, beim Kupferabbau in Chile, bei der Kobalt- sowie Coltan-/Tantalgewinnung<sup>9</sup> in der Demokratischen Republik Kongo oder der Seltenerdaufbereitung in Malaysia, um nur einige ganz wenige zu nennen, die Umweltfolgen und die Gesundheitsschäden der ArbeiterInnen und/oder der AnwohnerInnen sind stets gravierend. Hinzukommen schwerwiegende moralische Bürden: in vielen rohstoffreichen Ländern

<sup>6</sup> Vgl. Jung A.: Seltene Blasen. In: Der Spiegel 17/2014, S. 65

<sup>7</sup> Der Begriff Gewürzmetalle bezieht sich auf die zentrale Funktion dieser Metalle in einem Produkt, bei einer mengenmäßigen Verwendung im Mikrobereich.

<sup>8</sup> Vgl. Fischermann T.: Der giftige Schatz von Paracatu. In: Die ZEIT 20. März 2014, No. 13, S. 30-31

<sup>9</sup> Vgl. URL: <http://www.izmf.de/de/content/rohstoffgewinnung-%E2%80%93-ressourcenintensiv-und-konfliktreich>

herrscht Korruption, die Vergabe von Explorations- und Raffinationslizenzen erfolgt ohne Rücksicht auf die Rechte der Bevölkerung oder den Schutz der Natur. Auch gewalttätige Konflikte werden mit dem lukrativen Abbau und Handel von Rohstoffen finanziert. Die USA haben 2010 den Dodd-Frank-Act erlassen, der börsennotierte amerikanische Firmen dazu verpflichtet, die Lieferkette der Konfliktrohstoffe Gold, Zinn, Tantal und Wolfram offenzulegen. Im März 2014 hat die EU einen Gesetzesentwurf vorgelegt, der ebenfalls die Veröffentlichung der Lieferketten für die genannten Metalle vorsieht, allerdings auf freiwilliger Basis.<sup>10</sup> Doch neben der Politik und den Produzenten liegt die Verantwortung für verbesserte Sozialstandards und die Einhaltung von Umweltschutzbestimmungen in den rohstoffexportierenden Ländern mindestens zu gleichen Teilen auch bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern.<sup>11</sup>

Der kurze Abriss zum aktuellen Stand der globalen Rohstoffgewinnung und -verarbeitung macht unmissverständlich deutlich, dass neue Wege beschritten und forciert werden müssen. Instrumente hierfür sind Recyclingkonzepte, Effizienzsteigerung und Kritikalitätsanalysen.

## 2. Kritikalitätsanalyse als Grundlage einer Ressourcenstrategie

Die oben skizzierten komplexen Konstellationen und Auswirkungen des weltweit steigenden Rohstoffbedarfs und des weitverzweigten, intransparenten Rohstoffhandels benötigen Antworten auf mehreren Ebenen.

Die weitere Steigerung der Ressourceneffizienz sowie der kontinuierliche Ausbau des Recyclings, der Rückgewinnung und Wiederverwendung von Rohstoffen ist dabei eine ganz wesentliche Komponente. In Deutschland werden mit gängigen Sammel- und Trennverfahren bereits hohe Verwertungsquoten erzielt: etwa 78 Prozent der Haushaltsabfälle (= 33,7 Millionen Tonnen) werden energetisch oder stofflich verwertet. Die stoffliche Verwertung liegt bei 27,8 Millionen Tonnen, das heißt 64 Prozent des gesamten Hausmülls wird einem Recyclingverfahren zugeführt.<sup>12</sup> Gesetzliche Regelungen wie das Kreislaufwirtschaftsgesetz, mit dem 2012 die EU-Abfallrahmenrichtlinie in deutsches Recht umgesetzt wurde, sehen eine 5-stufige Abfallhierarchie aus *Abfallvermeidung, Wiederverwendung, Recycling und sonstiger, u.a. energetischer Verwertung von Abfällen und schließlich der Abfallbeseitigung*<sup>13</sup> vor. Zu wählen ist die jeweils beste Option aus Sicht des Umweltschutzes. Das Elektro- und Elektronikgeräte-Abfallgesetz

<sup>10</sup> Zur Kritik an den beiden Gesetzesvorgaben siehe: Tatje C.: Lieferketten offenlegen! In: Die ZEIT, 6. März 2014, No. 11; Endres A.: Obamas Finanzreform schadet dem Kongo. In: ZEIT online, 30. August 2013. URL: <http://www.zeit.de/wirtschaft/2013-08/kongo-konfliktrohstoffe-dodd-frank>

<sup>11</sup> Vgl. Bringezu, S.: Kampf um Rohstoffe: Die Ära der Hochrisiko-Förderung beginnt. In: WirtschaftsWoche Green 2.10.2014. URL: <http://green.wiwo.de/kampf-um-rohstoffe-die-aera-der-hochrisiko-foerderung-beginnt/>

<sup>12</sup> Gäth S., Meißner S.: Ressourcenschonung durch innovative Recycling- und Kreislaufkonzepte. In: A. Reller et al.: Ressourcenstrategien, S. 105-122, hier S. 105

<sup>13</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2012): Eckpunkte des neuen Kreislaufwirtschaftsgesetzes. URL: <http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/abfallpolitik/kreislaufwirtschaft/eckpunkte-des-neuen-kreislaufwirtschaftsgesetzes/>

(Umsetzung der europäischen WEEE-Direktive) soll zur *Nachhaltigkeit von Produktion und Verbrauch sowie zur effizienten Ressourcennutzung und zur Rückgewinnung von wertvollen Sekundärrohstoffen beitragen, indem vorrangig durch die Vermeidung von Abfällen von Elektro- und Elektronikgeräten und darüber hinaus durch Wiederverwendung, Recycling und andere Formen der Verwertung solcher Abfälle die zu beseitigende Abfallmenge reduziert wird.*<sup>14</sup>

Die im Vergleich zu vielen anderen Ländern fortgeschrittenen gesetzlichen Vorgaben müssen allerdings immer wieder aufs Neue mit den ökonomischen Anforderungen, den ökologischen Rahmenbedingungen und der technischen Machbarkeit aufeinander abgestimmt und bewertet werden. Berücksichtigt werden sollte beispielsweise, dass das rezyklierte Material die möglichst gleich hohe Qualität wie der Primärrohstoff aufweist.<sup>15</sup> Der Energieaufwand für das Recycling sollte den der Primärproduktion nicht überschreiten. Das Material sollte in entsprechender Menge vorliegen, damit das Recyclingverfahren wirtschaftlich ablaufen kann. Schließlich sollten die Gesamtkosten unter denen der Primärproduktion liegen.

Die exemplarisch genannten Bedingungen zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen offenbaren auch problematische Kehrseiten: aus ökonomischen Gründen beschränken sich die Rückholverfahren auf große Mengen möglichst gleichartiger Materialien (Eisen- und Nicht-Eisenmetalle, Glas, Kunststoffe usw.). In immer mehr Massenprodukten, insbesondere im Bereich der Kommunikationstechnik und der Mobilität, sind jedoch eine Fülle von Rohstoffen oder chemischen Elementen lediglich in Kleinstmengen vorhanden. Wenn diese Produkte nach der Nutzung nicht in den Wertstoffkreislauf zurückgeführt werden, oder ihre wertvollen Bestandteile beim Verbrennungsvorgang in Schlacken und Filterstäuben dissipieren, dann ist der Materialeinsatz bei diesen Produkten kein Beitrag zu einer nachhaltigen Produktivitätssteigerung, sondern verschärft das Problem der Rohstoffknappheit. Hier die Recycling- und Reuse-Quoten deutlich zu erhöhen, ist unbedingt erforderlich. Die ungelöste Frage der Wiedergewinnung der Gewürz- bzw. Funktionsmetalle sowie die oben beschriebene Gesamtproblematik der Rohstoffgewinnung machen deutlich, dass hierfür eine entsprechend umfassende Ressourcenstrategie erforderlich ist.

Diese spezifische Ressourcenstrategie reagiert auf die kaum noch überschaubare Vielzahl der Stoffe und Materialien in den Gebrauchsgütern, die wir im Alltag konsumieren, mit dem Ergebnis, dass selbst die Produzenten häufig keine hinreichende Kenntnis über die stoffliche Zusammensetzung der von ihnen hergestellten Produkte haben. Die Industriegesellschaften sind heute mit hochkomplexen Wertschöpfungsketten konfrontiert: in einem Automobil oder in einem Mobiltelefon sind hunderte, aus unterschiedlichen Metallen, Legierungen, Keramiken und Polymeren zusammengesetzte, Funktionselemente in das fertige Produkt bzw. in seine Funktionskomponenten eingebaut.

<sup>14</sup> Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. In: Amtsblatt der Europäischen Union L 197/38, Punkt (6). URL: [http://www.take-e-way.de/uploads/media/WEEE-Richtlinie\\_2012-19-EU.pdf](http://www.take-e-way.de/uploads/media/WEEE-Richtlinie_2012-19-EU.pdf)

<sup>15</sup> Hierzu und zum Folgenden vgl. Gäth S, Meißner S.: Ressourcenschonung, S. 111f

Die Kenntnis dieser komplexen stofflichen Zusammenhänge ist eine Voraussetzung für die Einschätzung der Kritikalität essentieller Stoffe und folglich für ein zukunftsfähiges Ressourcenmanagement.

Die Ressourcenstrategie zielt deshalb auf die stoffspezifische Untersuchung der Produktions- und Wertschöpfungsketten. Im Zentrum der strategischen Untersuchungen stehen die Lebenswege der Stoffe, die von der Förderung über die Aufbereitung, ihre Funktionalisierung für die Produktion und ihre Nutzung bis hin zur Entsorgung und ggf. ihre Rückführung in den Verwertungskreislauf verfolgt, analysiert und bewertet werden. Auf diese Weise können die technisch-funktionalen, die ökonomischen und ökologischen, die sozialen und politischen Dimensionen der Stoffe transparent gemacht und ihre Kritikalität bestimmt werden.

Das Kernstück der Ressourcenstrategie ist das in den letzten Jahren am Lehrstuhl für Ressourcenstrategie an der Universität Augsburg erarbeitete Kritikalitätskonzept. Es ist ein Bewertungsinstrument insbesondere für die primäre und sekundäre Nutzung limitiert verfügbarer Ressourcen, beispielhaft angewandt hinsichtlich der Kritikalität strategischer Metalle. Diese Bewertungsmethode ist mit einem Set quantitativer und qualitativer Kriterien ausgestattet, die die Einschätzung der Kritikalität eines Stoffes an die genannten Stoffdimensionen koppelt:

- die geologische Verfügbarkeit und die Abbaufähigkeit z.B. einer speziellen mineralischen Ressource,
- die technische Performanz und Substituierbarkeit einer spezifischen Ressource,
- die geopolitische Verfügbarkeit und der infrastrukturelle Zugang,
- die sozialen und ökonomischen Bedingungen in den Produzentenländern, z.B. in Niedriglohnländern,
- die ökologischen Folgelasten in den Abbaugebieten, bzw. bei dem agrarindustriellen Anbau von Kulturpflanzen,
- die Dissipationsraten mineralischer Ressourcen, z.B. von Phosphor als Düngemittel, oder der Seltenerdmetalle in Massenprodukten wie Handys und Flachbildschirmen,
- die ökonomische Bewertung von Wertschöpfungsketten im Kontext der sozialen, ökologischen und politischen Dimensionen der Ressourcennutzung im Unterschied zu einer rein betriebswirtschaftlichen Bewertung, z.B. die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der technischen Rückgewinnung und Wiederverwertung (Reduce, Reuse, Remanufacturing, Recycling, Reprocessing) von kritischen Wertstoffen,
- die Steigerung der Ressourcenproduktivität durch effizienten und maßvollen Gebrauch der Ressourcen und durch die vermehrte Nutzung von Sekundärstoffen,
- die Beachtung der Rebound-Effekte bei der Einführung neuer Technologien, z.B. die Miniaturisierung von Gerätschaften führt zu einer Reduzierung des Materialverbrauchs, die aber wieder durch die riesigen Stückzahlen aufgehoben wird (Handys, Laptops).

Die Einschätzung der Kritikalität eines Stoffes nach Maßgabe dieser Kriterien ist ein methodisch angeleitetes Verfahren und es ist Voraussetzung für die Evaluation der komplexen Stoffströme, die mit den Wertschöpfungsketten verbunden sind. Die angeführten Beispiele der Anwendung der Kriterien zeigen, dass sie nicht einzeln, sondern erst im Zusammenhang angewandt, Wege zu einem nachhaltigen Stoffstrommanagement ebnen. Das Kritikalitätskonzept ist also eine konkrete Anleitung für die viel beredete nachhaltige Ressourcennutzung: die Kriterien sagen konkret, wie die technischen, sozialen, ökonomischen, ökologischen und politisch kulturellen Dimensionen die Stoffströme prägen und welche Wegmarken beachtet werden müssen, wenn tragfähige Lösungen für die zukünftige Ressourcennutzung gefunden werden sollen.

Im folgenden Kapitel sollen die Einzelprojekte des Forschungsverbunds *ForCycle* vorgestellt werden und anhand ihrer thematischen Schwerpunkte Metalle, Minerale, Komposite und biogene Polymere demonstriert werden, wie die einzelnen Verfahren und technologischen Lösungen in dem Gesamtsystem aus Stoffen, Produktion, Konsumtion und Rückführung in den Stoffkreislauf ihren Stellenwert haben und eingebunden sind. Dieses Gesamtsystem ist nur unter Berücksichtigung der soziokulturellen Perspektive vollständig erfassbar.

### 3. ForCycle-Projekte

Im Forschungsverbund *ForCycle* werden zukunftsweisende, technologisch innovative Prozesse erforscht, mit denen essentielle sekundäre Ressourcen erschlossen und in hoher Qualität zur Wiederverwertung bereitgestellt werden können. In Anbetracht der genannten intensiven Nutzung von unterschiedlichsten Metallen in einem sehr breiten Anwendungsspektrum ist die selektive Rückgewinnung strategischer Funktionsmetalle aus verschiedenen Medien bzw. Matrices unabdingbar. Deshalb werden im Projekt *Entwicklung einer Gesamtlösung zur effektiven Rückgewinnung von Buntmetallen aus Industrieprozessen*<sup>16</sup> mittels Fällung aus Industrieabwässern und Aufarbeitung Delafossit-artige Mischoxide isoliert. Aus ihnen werden schließlich die wertvollen Buntmetalle gewonnen. Eine innovative und vielversprechende metallspezifische Methode wird in dem Projekt *Niedrig schmelzende Zucker-Harnstoff-Gemische zur Extraktion von Metallen und anderen Wertstoffen aus Metalloxiden und Metallsalzen*<sup>17</sup> verfolgt. Ausgehend von der Kenntnis des hohen Metalllösungsvermögens von Ionischen Flüssigkeiten wird hier versucht, mit ökonomisch und ökologisch günstigeren Lösungsmitteln bzw. Schmelzen analoge oder gar bessere Effekte zu erzielen. Mit einem weiteren, zukunfts-trächtigen Extraktionsverfahren *Auf-Reinigung von Gebrauchs- und Spezial-Gläsern zur Dissipationslimitierung und Rückgewinnung von Wertmetallen*<sup>18</sup> sollen Schwer- und Buntmetalle aus Glasschmelzen in Metallschmelzen aufgenommen werden. So lässt sich einerseits die Qualität von End-of-Life-Gläsern erheblich verbessern und andererseits die Dissipation von potentiell wiedernutzbaren oder aber umweltbelastenden

<sup>16</sup> Projektleitung: Prof. Dr. Soraya Heuss-Aßbichler, LMU München

<sup>17</sup> Projektleitung: Prof. Dr. Burkhard König, Universität Regensburg

<sup>18</sup> Projektleitung: Prof. Dr. Monika Willert-Porada, Universität Bayreuth



Funktionsmetallen verringern. In Anbetracht der großen Mengen von Recycling-Gläsern ist dieser praxisnahe Ansatz besonders relevant. Die Reihe der Metall-relevanten Projekte wird komplettiert mit der Forschungsarbeit *Geobiotechnologie: Innovative Verfahren zur Gewinnung Seltener Erden und anderer Wertmetalle aus hoch verdünnten Lösungen durch mikroalgenbasierte Bioadsorption*<sup>19</sup>. Seltenerdmetalle werden in großem Maß als essentielle Funktionsmaterialien in einer Vielzahl von High-Tech-Gerätschaften und -Applikationen eingesetzt. Da die eingesetzten Mengen einen oft sehr geringen Anteil der jeweiligen Funktionskomponente bzw. des Produkts ausmachen, sind die Dissipationsverluste besonders kritisch. Darüber hinaus gilt es zu berücksichtigen, dass über 90 Prozent der primären Seltenerdmetallproduktion in China stattfindet. Die im genannten Projekt angestrebte selektive algenbasierte Bioadsorption eröffnet den Weg zu einer sekundären Seltenerdmetallproduktion. Gleichzeitig vermögen die experimentellen Studien Erkenntnisse hinsichtlich des bislang wenig bekannten Bioaktivitäts- und des Bioakkumulations-Potentials von Seltenerdmetallionen zu liefern.

Technische Produkte bestehen vielmals aus Metall-Kunststoffverbunden. Damit lassen sich die Werkstoffeigenschaften der beiden Materialkomponenten synergetisch gestalten und optimieren. In einer anzustrebenden Stoffkreislaufwirtschaft sind Recyclingverfahren unabkömmlich, mit denen derartige Komposite in die Einzelkomponenten separiert werden können. Mit dem patentierten Verfahren *CreaSolv* wird ein kostengünstiges und effizientes Recycling von Metall-Kunststoffverbunden und Hybridwerkstoffen<sup>20</sup> realisiert werden. Die eingesetzten Lösungsmittel sollen selektiv und umweltverträglich bzw. wiederverwendbar sein und als sekundäre Rohstoffe lassen sich bestenfalls die Metallkomponenten und verwertbare Kunststoffrecyclate gewinnen.

Kompositbauteile mit duroplastischen Kunststoffen als Matrixmaterial gehören wegen ihres Leichtbaupotentials zu den wichtigsten Zukunftsmaterialien. Der Vorteil, der dem Material als Verbundwerkstoff von großformatigen Bauteilen aus duroplastischer Matrix und Füll- oder Verstärkungsstoffen aus Mikrofasern und/oder Partikeln zukommt, erweist sich im Hinblick auf die Entsorgung bislang als Nachteil. Das Recycling dieser Verbundmaterialien ist noch ungelöst. Im Jahr 2012 wurden in Deutschland 182.000 Tonnen glasfaserverstärkte Bauteile produziert. In knapp zehn Jahren wird allein aus den Rotorblättern der Windkraftanlagen mit bis zu 32.000 Tonnen Faserverbundmaterialien gerechnet. Eine nachhaltige Methode zur Rückführung der Komposite wird mit dem Projekt *Recycling von Kompositbauteilen aus Kunststoffen als Matrixmaterial*<sup>21</sup> angestrebt. Der Einsatz von Carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) ist ebenfalls ein wesentliches Element von mehreren Zukunftstechnologien, insbesondere für effiziente Mobilität. Trotz exzellenter gewichtsspezifischer und mechanischer Eigenschaften erschweren derzeit die hohen Materialkosten und der hohe Energiebedarf bei der Herstellung den CFK-Einsatz in der Serienproduktion. Das Recycling der Carbonfasern (CF) wird als mögliche Lösung für diese Problematik gesehen. Technische Lösungen

<sup>19</sup> Projektleitung: Prof. Dr. Rainer Buchholz, FAU Erlangen-Nürnberg und Prof. Dr. Thomas Brück, TU München

<sup>20</sup> Projektleitung: Dr. Martin Schlummer, Fraunhofer IVV Freising

<sup>21</sup> Projektleitung: Prof. Dr. Ulrich Teipel, TH Nürnberg



werden mit dem Projekt Ressourceneffiziente Faser-Matrix Separation für das Recycling von Carbonfaserstrukturen<sup>22</sup> eruiert. Das Hauptaugenmerk gilt hierbei der Faser-Matrix Separation, die einen signifikanten Einfluss auf die spätere mechanische Performance der rezyklierten CFK hat und bei der auch durch eine angepasste und optimierte Prozessführung der Aufwand für weitere Prozessschritte (z.B. Reinigung, Aufbereitung) drastisch reduziert werden kann.

Ganz neuartige sekundäre Rohstoffe lassen sich aus biologischen Quellen wie Zellstoffabfällen aus Baum- und Heckenschnitten oder Chitin gewinnen. Diese Wertstoffe, sind in großen Mengen verfügbar, günstig und unbedenklich. In der chemischen Industrie ist bisher ein Verfahren entwickelt worden, mit dem Zellstoff in Ionischen Flüssigkeiten aufgelöst und zu Spinnfasern verarbeitet werden kann. Die eingesetzten ionischen Flüssigkeiten sind relativ teure und wenig umweltfreundliche Stoffe, die toxisch, nur gering bioabbaubar und aus Erdöl hergestellt sind. Daneben ist Chitin, vor allem aus Schalen von Meerestieren, weltweit einer der größten Bioabfälle. Kürzlich wurde gezeigt, dass sich auch Chitin in Ionischen Flüssigkeiten lösen lässt. In der Forschungsarbeit *Neue biogene Hybridpolymere aus Cellulose und Chitin*<sup>23</sup> soll ein neues Lösungsmittel für die simultane Auflösung beider Biopolymere gefunden und daraus innovative biobasierte Polymerkomposite synthetisiert werden.

Sekundärmaterial aus Baustoffen, vor allem aus Bauschutt, stellt schließlich einen der größten Abfallströme in Bayern dar. Die Abnahme an natürlichen Ressourcen und die zunehmende Verknappung von Deponieraum können mit dem gegenwärtigen Stand der Technik auf dem Sektor des Bauschuttrecyclings nicht beantwortet werden. Vom Bauschutt, der sich hauptsächlich aus Ziegel, Beton und Mörtel zusammensetzt, werden gegenwärtig zwar 65 Prozent recycelt, doch nur knapp 5 Prozent davon gelangen erneut in den Hochbau. Recycling-Baustoffe werden derzeit vornehmlich im Straßen- oder Erdbau eingesetzt. In dem Projekt *Produktgestaltung mit Sekundärrohstoffen in der Baustoff- und Keramikindustrie*<sup>24</sup> sollen Aufbereitungsverfahren für Bau- und Keramikschutt entwickelt werden, um hochwertige Sekundärrohstoffe mit definierten Eigenschaften zu gewinnen.

Die Analyse und Bewertung der Ressourcennutzung in den hochindustrialisierten Ländern soll nicht nur – wie bislang in den Einzelprojekten des ForCycle-Verbundprojekts praktiziert – die Kritikalität bestimmter Funktionsmaterialien, Fertigungsprozesse, Produkte und Nachnutzungsstrategien untersuchen. Die Kritikalitätsbetrachtung muss erweitert werden und den alltäglichen massenhaften Ressourcenverbrauch einbeziehen. Es ist geplant, dies in einem Begleitprojekt Ressourcen in soziokulturellen Kontexten zu thematisieren.

---

<sup>22</sup> Projektleitung: Prof. Dr. Siegfried Horn, Universität Augsburg und Prof. Dr. Klaus Drechsler, Fraunhofer ICT Augsburg, Projektgruppe FIL

<sup>23</sup> Projektleitung: Prof. Dr. Werner Kunz, Universität Regensburg und Prof. Dr. Cordt Zollfrank, TUM und Wissenschaftszentrum Straubing für Wachsende Rohstoffe

<sup>24</sup> Projektleitung: Prof. Dr. Ulrich Teipel, TH Nürnberg

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den *ForCycle*-Projekten sowie der von Armin Reller und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am Lehrstuhl in Augsburg entwickelten Kritikalitätsanalysen wird eine Ressourcenstrategie für Bayern erarbeitet werden. Diese Aufgabe wird im Rahmen des Koordinations- und Strategieprojekts<sup>25</sup> ausgeführt.

## 4. Gesellschaftliche Gestaltungspotentiale

Natur- und ingenieurwissenschaftliche Forschung sowie unternehmerische Anwendung und Umsetzung innovativer Technologien zur Einsparung oder zum effizienteren Einsatz von Ressourcen als auch zur Rückgewinnung und Wiederverwertung von Wertstoffen sind notwendige und unverzichtbare Bestandteile einer Rohstoffwende. Doch ein zukunftsfähiger Umgang mit Ressourcen und Rohstoffen ist allein durch technologische Optimierung kaum zu erreichen, wie insbesondere am Rebound-Effekt deutlich gemacht werden kann. Die ressourcenschonende Wirksamkeit technischer Neuerungen wird durch den Mehrverbrauch an anderer Stelle – zumindest teilweise – wieder aufgehoben.<sup>26</sup> Diese Entwicklung wird entscheidend miterzeugt durch das alltägliche Konsumverhalten, das von den Produzenten bedient wird. Die Änderung des *Konsumhandelns*<sup>27</sup> ist ein gesamtgesellschaftlicher Prozess, der nicht weniger abverlangt als einen grundlegenden Wandel unserer Lebensstile.

Ein so weitreichendes Vorhaben ist nur realistisch, wenn es durch politische Rahmenbedingungen für Transparenz im Rohstoffhandel, wie beispielsweise durch das oben bereits genannte EU-Gesetzesvorhaben zur Regulierung des Handels mit Konfliktrohstoffen, gestützt wird. Auf dieser Ebene der politischen Lenkungsmöglichkeiten nachhaltiger ökonomischer Entwicklungen ist insbesondere die Einführung von Sozial- und Öko-standards in den produzierenden Ländern ein Instrument, das im ersten Schritt für im Ausland produzierende deutsche Unternehmen gezielt eingesetzt werden sollte, wie dies die erwähnte Initiative des Bundesentwicklungsministers anstrebt. Außerdem könnten Maßnahmen zur steuerlichen Entlastung von Unternehmen zusätzliche Anreize für die Umsetzung nachhaltiger Wirtschaftsmodelle geben, die das Ziel der

---

<sup>25</sup> Projektleitung: Prof. Dr. Armin Reller, Universität Augsburg

<sup>26</sup> Vgl. Madlener R., Alcott B.: Herausforderungen für eine technisch-ökonomische Entkoppelung von Naturverbrauch und Wirtschaftswachstum unter besonderer Berücksichtigung der Systematisierung von Rebound-Effekten und Problemverschiebungen. Enquete-Kommission *Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität des Deutschen Bundestages*, Berlin 2011. URL: [http://www.bundestag.de/bundestag/gremien/enquete/wachstum/datenaustausch/Kommissionsmaterialie/M\\_13\\_Madlener\\_Alcott\\_Reboundstudie\\_111208.pdf](http://www.bundestag.de/bundestag/gremien/enquete/wachstum/datenaustausch/Kommissionsmaterialie/M_13_Madlener_Alcott_Reboundstudie_111208.pdf)

<sup>27</sup> Der Begriff *Konsumhandeln* will deutlich machen, dass *Konsum [mehr ist] als nur das Kaufen von Produkten. Wenn wir von Konsumhandeln sprechen, meinen wir damit alle Handlungen des Auswählens, Beschaffens, Nutzens bzw. Verbrauchens und des Entsorgens oder Weitergebens von Konsumgütern. Unter Konsumgütern verstehen wir Produkte, Dienstleistungen und Infrastrukturen wie Lebensmittel, Urlaubsreisen, Fahrzeuge, Versicherungen, Wasserleitungen usw.* Syntheseteam des Themenschwerpunkts *Vom Wissen zum Handeln – Neue Wege zum nachhaltigen Konsum: Konsumbotschaften. Was Forschende für die gesellschaftliche Gestaltung nachhaltigen Konsums empfehlen.* Stuttgart: S. Hirzel Verlag, 2013, S.10

Kreislaufwertschöpfung – also Integration von Sekundärrohstoffen in die Produkte durch Reuse, Remanufacturing und Recycling – mit Sozial- und Ökostandards für die Wertschöpfungsprozesse verbinden.

Entscheidend für die gewünschte und notwendige Rohstoffwende aber ist ein gesamtgesellschaftlicher Bewusstseins- und Verhaltenswandel im Umgang mit den natürlichen Ressourcen. Die Initiativen gerade auch des Bundes, durch Förderprogramme die Bildungsinstitutionen in diesen Prozess einzubinden, setzen auf langfristig angelegte Lernprozesse, die zu einem nachhaltigkeitsgerechten Handeln führen sollen. Dieser Weg muss ergänzt werden durch Aufklärung über die soziokulturellen Prägungen unseres Handelns in konkreten lebensweltlichen Kontexten.

## 5. Literatur

- [1] Blasberg, M.; Henk, M.: Wie Gold am Meer. In: Die ZEIT, 14. August 2014, No. 34, S. 11-13
- [2] Böschen, S.; Reller, A.; Soentgen, J.: Stoffgeschichten – eine neue Perspektive für transdisziplinäre Umweltforschung. In: GAIA 13 (2004) No. 1, S. 19-25
- [3] Bringezu, S.: Kampf um Rohstoffe: Die Ära der Hochrisiko-Förderung beginnt. In: WirtschaftsWoche Green 2.10.2014
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Eckpunkte des neuen Kreislaufwirtschaftsgesetzes. 2012
- [5] Endres, A.: Obamas Finanzreform schadet dem Kongo. In: ZEIT online, 30. August 2013
- [6] Fischermann, T.: Der giftige Schatz von Paracatu. In: Die ZEIT, 20. März 2014, No. 13, S. 30-31
- [7] Gäth, S.; Meißner, S.: Ressourcenschonung durch innovative Recycling- und Kreislaufkonzepte. In: Reller, A. et al.: Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2013, S. 105-122
- [8] Jung, A.: Seltene Blasen. In: Der Spiegel 17/2014, S. 65
- [9] Madlener, R.; Alcott, B.: Herausforderungen für eine technisch-ökonomische Entkoppelung von Naturverbrauch und Wirtschaftswachstum unter besonderer Berücksichtigung der Systematisierung von Rebound-Effekten und Problemverschiebungen. Enquete-Kommission Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität des Deutschen Bundestages, Berlin 2011
- [10] Marschall, L.; Meißner, S.; Schmidt, C.: Bis zur Erschöpfung – Zur Geschichte der Ausbeutung natürlicher Ressourcen. In: A. Reller et al.: Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2013, S. 15-37
- [11] Reller, A.; Marschall, L.; Meißner, S.; Schmidt, C. (Hsg.): Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2013
- [12] Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. In: Amtsblatt der Europäischen Union L 197/38, Punkt (6)
- [13] Shafy, S.: Gold aus Gülle und Knochen. In: Der Spiegel 37/2013, S.122-123
- [14] Syntheseteam des Themenschwerpunkts Vom Wissen zum Handeln – Neue Wege zum nachhaltigen Konsum: Konsumbotschaften. Was Forschende für die gesellschaftliche Gestaltung nachhaltigen Konsums empfehlen. Stuttgart: S. Hirzel Verlag, 2013
- [15] Tatje, C.: Lieferketten offenlegen! In: Die ZEIT, 6. März 2014, No. 11

# Waste Management



#### Waste Management, Volume 1

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
Luciano Pelloni  
ISBN: 978-3-935317-48-1  
Erschienen: 2010  
Hardcover: 623 Seiten  
Sprache: Englisch, Polnisch und  
Deutsch  
Preis: 35.00 EUR

#### Waste Management, Volume 2

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
Luciano Pelloni  
ISBN: 978-3-935317-69-6  
Erschienen: 2011  
Hardcover: 866 Seiten,  
mit farbigen Abbildungen  
Sprache: Englisch  
Preis: 50.00 EUR

#### Waste Management, Volume 3

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
Stephanie Thiel  
ISBN: 978-3-935317-83-2  
Erschienen: 2012  
Hardcover: etwa 780 Seiten,  
mit farbigen Abbildungen  
Sprache: Englisch  
Preis: 50.00 EUR

#### Waste Management, Volume 4

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
Stephanie Thiel  
ISBN: 978-3-944310-15-2  
Erschienen: 2014  
Hardcover: 521 Seiten,  
mit farbigen Abbildungen  
Sprache: Englisch  
Preis: 50.00 EUR

#### CD Waste Management, Volume 2

Sprache: Englisch, Polnisch  
und Deutsch  
ISBN: 978-3-935317-70-2  
Preis: 50.00 EUR

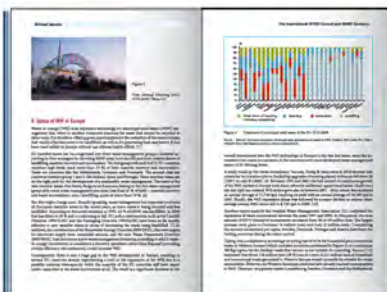
#### CD Waste Management, Volume 3

Sprache: Englisch  
ISBN: 978-3-935317-84-9  
Preis: 50.00 EUR

**160.00 EUR**  
statt 285.00 EUR

### Paketpreis

Waste Management, Volume 1 • Waste Management, Volume 2 • CD Waste Management, Volume 2  
Waste Management, Volume 3 • CD Waste Management, Volume 3 • Waste Management, Volume 4



Bestellungen unter [www.vivis.de](http://www.vivis.de)  
oder

Dorfstraße 51  
D-16816 Nietwerder-Neuruppin  
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10  
E-Mail: [tkverlag@vivis.de](mailto:tkverlag@vivis.de)

**vivis**  
TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.):  
**Recycling und Rohstoffe – Band 8**

ISBN 978-3-944310-20-6 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2015  
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky  
Erfassung und Layout: Ginette Teske, Sandra Peters, Carolin Bienert, Janin Burbott,  
Max Müller, Cordula Müller  
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.