Stephanie Thiel • Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann

Recycling und Rohstoffe

Band 11

TK

Stephanie Thiel
Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann

Recycling und Rohstoffe

Band 11

TK

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

Stephanie Thiel • Elisabeth Thomé-Kozmiensky • Daniel Goldmann (Hrsg.):
Recycling und Rohstoffe – Band 11

ISBN 978-3-944310-40-4 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2018
Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.
Erfassung und Layout: Claudia Naumann-Deppe, Janin Burbott-Seidel, Sandra Peters, Ginette Teske, Cordula Müller, Gabi Spiegel
Druck: Universal Medien 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 Funksendung, 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.

Inhaltsverzeichnis

Wirtschaft – Strategien – Umweltbewusstsein

Rohstoffwende – Wertstoffwende
Daniel Goldmann 3

Agenda Rohstoffwende 2049
Matthias Buchert 15

Die Recyclingwirtschaft in Deutschland vor dem Hintergrund der nationalen und europäischen Entwicklungen
Eric Rehbock 27

Volkswirtschaftliche Effekte durch Recycling ausgewählter Altstoffe und Abfälle
Ina Meyer, Mark Sommer und Kurt Kratena 49

Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 – Potenziale für kleine und mittlere Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes –
Liselotte Schebek 65

reCIRCLE – Mehrwegsystem für Takeaway-Betriebe
Jeannette Morath 79

Substitution als Strategie zur Minderung der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien
Winfried Bulach, Stefanie Degreif, Matthias Buchert, Siegfried Behrendt und Felix Müller 95

Die Lebenszyklusbetrachtung als Wegweiser für Recyclingtechnologien und Rohstoffe
Florian Gehring und Roberta Graf 115

Das Ende der Abfalleigenschaft – Kulturelle Mechanismen der Reinigung im Recycling –
Alena Bleicher 125

Akzeptanzförderung durch (frühe) Öffentlichkeitsbeteiligung in der Recycling- und Abfallwirtschaft?
Jutta Stender-Vorwachs 135

Recyclingregion Harz – Die Bildungsoffensive
Petra Hauschild 147

FORAM – Towards a World Forum on Raw Materials
Asja Mrotzek-Blöß und Mathias Schluep 157

Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Neue Förderinitiative des BMBF –
Helmut Löwe 175

r⁴ Forschungs- und Entwicklungsergebnisse

Landfill Mining als Quelle für wirtschaftsstrategische Rohstoffe – Das Modellprojekt REWITA –
Madita Flamm und Torsten Zeller 189

Rückgewinnung von Lanthan aus Rückständen der Raffineriekatalysatorherstellung für die Petrochemie mit Hilfe von Polyelektrolyt-ausgerüsteten Textilien (r⁴-Lan-Tex)
Klaus Opwis, Thomas Mayer-Gall, Jochen S. Gutmann, Peter Gronwald, Uwe Schneider, Thomas Siegfried, Markus Wißmann, Reinhard Schwarz und Frank Naujoks 203

Rückgewinnung von Metallen aus Oxiden metallurgischer Schlacken aus der Herstellung legierter Stähle
Rüdiger Deike, Ana Rosa Rabelo de Lima und Daniel Mapa Clemente 217

Silber-Recycling von Gasdiffusionselektroden aus der Chlor-Alkali-Elektrolyse
Jil Schosseler, Anna Trentmann, Gözde Alkan, Bernd Friedrich, Alexander Dressler, Michael Stelter, Stefan Brück, Hans-Dieter Dörner, Andreas Bulan, Konstantinos Douzinas, Raoul Meys, Sarah von Pfingsten und André Bardow 233

Entwicklung einer industriell umsetzbaren Recycling-Technologiekette für NdFeB-Magnete – SEMAREC
Tobias Elwert, Sabrina Schwarz, Maik Bergamos und Ulrich Kammer 253

Rückgewinnung und Wiedereinsatz von Antimontrioxid und Titandioxid aus Kunststofffraktionen der Elektroaltgeräteverwertung (Add Resources)
Martin Schlummer und Fabian Wolff 273

Metalle

Zukünftige Herausforderungen zum Schließen von Materialkreisläufen in einem vollintegrierten Aluminium-Recyclingwerk
Tom Rosenhagen und Michael Jordan 289

Metals for Progress – Nachhaltige Multi-Metall-Gewinnung bei Aurubis
Andreas Nolte 299

Optimierung von Recycling-Prozessen durch Variationen in Prozess- und Konstruktionstechnik eines Submerged Arc Furnaces (Elektroreduktionsofen)
Roland König, Martin Köneke, Andreas Liedtke und Ralf Nörthemann 307

Pyrometallurgische Recyclingprozesse zur Aufarbeitung bleihaltiger Messingschrotte
Simon Hilgendorf, Gert Homm, Carsten Gellermann, Rudolf Stauber und Bernd Friedrich 319

Betriebliche Konditionierung von Wertstoffen im Tantal-Recycling
Frank Schulenburg, Tobias Beckmann und Ulrich Bartmann 333

Stand der Technik und Potential von Biohydrometallurgie für Recycling
Axel Schippers und Sabrina Hedrich 351

Kunststoffe und Verbunde

Ermittlung von Substitutionsquoten durch Recyclingmaterial für verschiedene Verpackungsmaterialien mit besonderer Berücksichtigung der Kunststoffe
Roman Maletz, Nina Perschau und Christina Dornack 363

Close Loop – Von Schwierigkeiten und Erfolgen, Kunststoff-Recyclingmaterialien aus eigenen Altgeräten einzusetzen –
Klaus Hieronymi 377

Untersuchungen zum Aufschluss von faserverstärkten Sandwichblechen der Fahrzeugindustrie
Thomas Krampitz, Holger Lieberwirth, Sophia Thüm, Christian Paul, Mathias Klinger und Denise Klinger 381

Recycling von polymeren Verbundstrukturen aus Rotorblättern
Elisa Seiler und Ulrich Teipel 395

Kommerzielle Nutzung von Mikrowellen zur Depolymerisation und Pyrolyse von organischen Materialien, Biomasse, Kunststoffabfällen, Altreifen und Raffinerie-Rückständen
Helmut Federmann 415

Ghost Nets – Herausforderung an die Abfallwirtschaft?
Gilian Gerke, Lars Tegtmeier und Kim Cornelius Detloff 433

Elektro- und Elektronikgeräte

Praxis der kommunalen Erfassung von Elektro- und Elektronikaltgeräten
Alexander Neubauer 447

Sammlung von Elektroaltgeräten in Depotcontainern – Nutzen und Gefährdungsanalyse –
Markus Hertel, Hermann Nordsieck, Alexander Martin und Wolfgang Rommel 461

Neue Konzepte zur Sammlung, Reparatur und Recycling von Elektroaltgeräten in Hamburg – Erste Forschungsergebnisse des EU-Projekts FORCE –
Claudia Engelhard und Stefan Lübben 485

Ständiger Wandel bei der Elektroaltgeräte-Aufbereitung
Hannes Fröhlich 503

Rohstoffverbrauch von Smartphones
Britta Bookhagen, Ulrike Dorner, Sophie Damm, Jana Bergholtz, Christine Opper, Johanna Irrgeher, Thomas Prohaska und Christian Koeberl 519

Inverse Production Line for the Automated Dismantling of Mobile Phones with Selective Laser-based Detaching and Sorting of Valuable Components
Reinhard Noll, Sven Connemann, Cord Fricke-Begemann, Frederik Schreckenberg, Roland Ambrosch, Alice Tori and Marco Guolo 533

Elektromobilität

Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität
Stefanie Degreif und Peter Dolega 547

Verfügbarkeit des Batterie-Rohstoffs Lithium
Michael Schmidt 565

Recycling von Lithium-Ionen-Batterien
Astrid Arnberger, Eda Coskun und Bettina Rutrecht 583

Brandschutz

Brandschutz im Umgang mit gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien im Recyclingbetrieb
Sascha Bruns und Marc Dinse 603

Brandrisiken in Abfallaufbereitungsanlagen minimieren – Brandfrüherkennung und automatisches Löschen
Albert Orglmeister 615

Dank 627

Autorenverzeichnis 631

Schlagwortverzeichnis 656

Wirtschaft – Strategien – Umweltbewusstsein

Rohstoffwende – Wertstoffwende

Daniel Goldmann

1. Einführung 4

2. Der Weg zur Rohstoffwende 5

3. Die Wertstoffwende 5

4. Perspektiven einer *Advanced Circular Economy* und politische Lenkung und Unterstützung 6

5. Analysen und Strategien zur Steigerung von Umweltbewusstsein, Wiederverwendung und Verwertung 7

6. Initiativen und Netzwerke im Rohstoff- und Recyclingbereich 7

7. Elektro(nik)geräte, Elektrofahrzeuge und Batterien 9

8. Recycling von Metallen 10

9. Recycling von Kunststoffen und Verbunden 10

10. Forschungsansätze zur Lösung aktueller Probleme 12

11. Zum Abschluss 12

12. Quellen 13

Wie auch in den vorangegangenen Bänden dieser Schriftenreihe soll der vorliegende einführende Beitrag einen generellen Überblick zum Themenkomplex Recycling und Rohstoffe auf Basis der aktuellen Entwicklungen geben. Da auch für diesen elften Band eine strukturierte Auswahl aller Einzelthemen erfolgte, wird auf die entsprechenden Beiträge mit Verweisen auf die Autoren jeweils im Kontext eingegangen (Titel kursiv, Autoren in Klammern). Leider kann zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Beitrags nicht sichergestellt werden, dass alle Textbeiträge der angeführten Autoren rechtzeitig vor Drucklegung eingegangen sind.

1. Einführung

An den grundsätzlichen Prognosen zu einer langfristigen Steigerung des globalen Rohstoffbedarfs hat sich nichts geändert. Wieviel dieser Rohstoffe verbraucht werden, d.h. nach einer ersten Nutzung nicht mehr für den Wirtschaftskreislauf zur Verfügung stehen, hängt wesentlich von Rohstoffarten, unvermeidbaren dissipativen Verlusten und der Effizienz der Kreislaufwirtschaftsstrukturen ab. Lebensmittel, fossile und nukleare Energieträger werden in diesem Sinne großenteils verbraucht, d.h. eine effiziente Rückführung auf relativ kurzen Wegen ist nicht bzw. kaum möglich. Dennoch verlassen deren Bestandteile wie etwa Phosphor über den Klärschlammpfad nicht das Gesamtsystem und können rückgewonnen werden. Ökonomischer und ökologischer Aufwand sowie thermodynamische Parameter setzen dem jedoch Grenzen, die allerdings durch technologische Entwicklungen verschoben werden. Für andere genutzte Rohstoffe liegt das Potential für einen mehrfachen Rohstoffgebrauch in effizienten Wirtschaftskreisläufen je nach Material recht hoch. Die steigende Komplexität der Welt der Produkte erfordert dafür aber regelmäßig Weiterentwicklungen der Recyclingtechnologien und Kreislaufwirtschaftsstrukturen. Inwieweit diese vorangetrieben und umgesetzt werden, hängt von einer Reihe von Faktoren ab.

Zum einen sind dies die *Aktuellen Entwicklungen auf den Rohstoffmärkten* (P. Buchholz), für die im vorliegenden Band ein Update gegeben wird. Hierbei ist immer auch die grundsätzliche Frage der strategischen und unterbrechungsfreien Verfügbarkeit jener Rohstoffe zu betrachten, die für eine Volkswirtschaft von zentraler Bedeutung sind. Im Fokus stehen dabei produzierende Unternehmen von zentraler Bedeutung für Wertschöpfung und Arbeitsplätze. Gerade in Zeiten des Umbruchs, ausgelöst durch Klimawandel, Energiewende und dem dadurch ausgelösten Schub für die Elektromobilität sind im letzten Jahr etwa Fragen nach der *Verfügbarkeit des Batterie-Rohstoffs Lithium* (M. Schmidt) oder von Kobalt in den Fokus allgemeinen Interesses geraten. *Hohe Preisvolatilitäten spiegeln hohe Versorgungsunsicherheiten auf den Rohstoffmärkten wider. Dies schränkt die Planungssicherheit in der verarbeitenden Industrie ein.* Mit dieser Aussage der DERA ist das Dilemma rein marktwirtschaftlich ausgelegter Systeme gut umschrieben. Durch globale Entwicklungen, die zur Abschottung von Märkten und neuen Handelshemmnissen führen können (*America First*-Politik, Brexit usw.) wird die Situation noch unberechenbarer.

Zum anderen führen teils dramatische Entwicklungen im Bereich der Umweltverschmutzung zu politischem Handeln, welches im großen Stil Produktion, Nutzung und Recycling beeinflussen wird. Aktuell häufen sich Berichte über die Vermüllung der Meere durch Plastik, die im Januar 2018 etwa zu einem akuten Abfallnotstand an den Stränden von Bali geführt hat. Zudem hat die Volksrepublik China nun den Import bestimmter Kunststoff- und Papierabfälle sowie Elektronikschrotte verboten. Dies führt unter anderem zu einem Rückstau bislang exportierter Mengen und erhöht auch in Europa den Druck, Recycling- und Verwertungskapazitäten auszubauen. Wie es scheint, soll in China die Abfallautarkie konsequent umgesetzt und der Import unqualifizierter Abfallströme zurückgeschnitten werden. Da die chinesische Zentralregierung

auch im Rahmen einer Clean-Sky-Politik durch Stilllegung von Fabriken, das Verbot von Kohle als Brennstoff und das Produktionsverbot für bestimmte Fahrzeugtypen kürzlich drastische Maßnahmen ergriffen hat, ist davon auszugehen, dass noch einige Initiativen im Umweltbereich von China ausgehen dürften. Doch nicht nur dort finden Entwicklungen statt, die Einfluss auf den Produkt- und Recyclingbereich haben. Bereits seit 2004 haben etwa Ruanda, seit dem letzten Jahr auch Kenia Einfuhr und Gebrauch von Plastiktüten verboten. An einer anderen Front, der Frage nach Einsatz und Verschleppung von Schadstoffen durch Recycling ist ebenfalls seit Jahren einiges in Bewegung. In letzter Zeit standen die Diskussionen über Flammhemmer verstärkt im Fokus. Die Stockholm- oder POP-Konvention als Übereinkunft über völkerrechtlich bindende Verbots- und Beschränkungsmaßnahmen für bestimmte langlebige organische Schadstoffe trat bereits 2004 in Kraft und wird aktuell erneut diskutiert. Damit müssen bestimmte Abfallströme dem werkstofflichen Recycling entzogen und rohstofflich recycelt oder anderweitig verwertet oder beseitigt werden. Mittlerweile zeichnen sich dagegen auch schon Engpässe bei der Versorgung mit Sekundärrohstoffen ab, wenn diese durch den Wandel etwa in der Energieerzeugung nicht mehr entstehen. Die Verringerung der Kohleverstromung führt so zwangsläufig zu einem entsprechenden Rückgang anfallender Mengen an REA-Gips und Flugaschen, die nun aus anderen Quellen substituiert werden müssen.

2. Der Weg zur Rohstoffwende

Vor dem Hintergrund der angerissenen Thematiken bekommen Fragen zur Ausgestaltung einer zukunftsorientierten Abfall-, Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft neue Akzente, die nicht oder nicht ausschließlich mit Instrumenten von Recyclingquoten zu beantworten sind. Eine Null-Abfallgesellschaft oder eine vollständige Kreislaufwirtschaft kann schnell zu einer Illusion führen, die den Blick auf intelligente ganzheitliche Ansätze verstellt [1]. Wie also soll und kann eine Rohstoffwende aussehen? Hierauf gibt der Beitrag *Agenda Rohstoffwende 2049* (M. Buchert) Antworten. Rohstoffwende, das umfasst zum einen Maßnahmen im Bereich der Gewinnung primärer Rohstoffe und des materialeffizienten Umgangs mit diesen. Zum anderen sind Wege zur *Substitution als Strategie zur Minderung der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien* (W. Bulach) auszuloten. Der vierte zentrale Baustein ist die Wertstoffwende, also der Weg zu weiterentwickelten ganzheitlichen Recycling- und Verwertungstechnologien und Kreislaufwirtschaftsstrukturen.

Am Ende werden in nicht allzu ferner Zukunft auch die Fragen zur Rohstoffgerechtigkeit lauter werden, die nicht nur die Verteilung über Regionen sondern auch über Generationen thematisieren.

3. Die Wertstoffwende

Der Begriff *Wertstoffwende* wurde im Rahmen eines gemeinsamen Projektes der Hochschule Nordhausen, der Technischen Universität Clausthal, der Otto von Guericke Universität Magdeburg und der Hochschule Magdeburg Stendal geprägt. In einem

regionalen Cluster, auf das später noch eingegangen wird, wurden alle anfallenden und abgelagerten Abfallströme zusammengefasst und für deren Nutzung ein Netzwerk aller Stakeholder entwickelt. Ansatz ist, unter Einbeziehung aller gesellschaftlichen Gruppen ein Maximum an Nutzung dieser Ressourcen zu ermöglichen und die in einer Region gewonnenen Erfahrungen im Nachgang weiterzugeben.

Bezieht man den Begriff Wertstoffwende auf allgemeine Fragestellungen, so sind jenseits technologischer und betriebswirtschaftlicher Fragen *Volkswirtschaftliche Effekte durch Recycling ausgewählter Altstoffe und Abfälle* (I. Meyer u. M. Sommer) zu beleuchten. Technologien und Systeme sind in Deutschland weit entwickelt, die Anforderungen wachsen aber wie beschrieben stetig. Über *Die Recyclingwirtschaft in Deutschland vor dem Hintergrund der nationalen und europäischen Entwicklungen* (E. Rehbock) gibt der bvse Auskunft. Innovative Produkthersteller (OEMs) reagieren auf die Herausforderungen und berichten über *Close Loop – Von Schwierigkeiten und Erfolgen, Recyclingmaterialien aus eigenen Altgeräten einzusetzen* (K. Hieronymi). Letztlich führen einige offene Fragen zu wünschenswerten Ansätzen für ein Design for Circular Economy. Ein Beispiel hierfür bietet das *Simulationsbasierte Design for Recycling – das Beispiel Fairphone* (M. Reuter).

4. Perspektiven einer Advanced Circular Economy und politische Lenkung und Unterstützung

Werden diese Ansätze mit modernen Informations- und Kommunikationssystemen verknüpft, sollte eine Erhöhung der *Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 – Potenziale für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) des verarbeitenden Gewerbes* (L. Schebek) möglich sein. Diesen Weg verfolgt auch ein gerade startendes Projekt unter dem Akronym *Recycling 4.0* unter Einbindung der kompletten Kette vom Grundstoffhersteller über den Produkthersteller bis zum Entsorger (über Ergebnisse aus diesem Projekt wird zu gegebener Zeit in dieser Schriftenreihe berichtet werden).

Politische Lenkung und Unterstützung auf europäischer und nationaler Ebene sind für eine nachhaltige Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft hin zu einer *Advanced Circular Economy* unerlässlich. *Circular Economy – Schwerpunkte der EU Kommission und Entwicklungen* (G. Wolff) beleuchtet die Aktivitäten der EU. Nationale Unterstützung für die erforderlichen weiteren Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten wird in Deutschland durch die *Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Neue Förderinitiative des BMBF* (H. Löwe) gewährleistet.

Da aber weder Recycling noch Kreislaufwirtschaft Selbstzweck sind, sondern zum einen dem Ressourcenschutz und der Ressourcensicherung dienen, zum anderen aber im ökologischen Gesamtkontext zu sehen sind, ist *Die Lebenszyklusbetrachtung als Wegweiser für Recyclingtechnologien und Rohstoffe* (F. Gehring u. R. Graf) unentbehrlich.

5. Analysen und Strategien zur Steigerung von Umweltbewusstsein, Wiederverwendung und Verwertung

Ohne die intensivere Einbeziehung von Bürgern als Konsumenten und regionalen Stakeholdern sind allerdings auch beste technische Lösungen nicht umsetzbar, selbst wenn sie nachweislich wirtschaftlich, ökologisch sinnvoll und rechtlich abgesichert sind.

Die Berücksichtigung soziologischer und psychologischer Aspekte sowie Bildungsmaßnahmen sind Voraussetzungen hierfür. Gut lassen sich bestimmte Mechanismen untersuchen und entwickeln, wenn diese zunächst in einer geeigneten Region überprüft werden. Die *Recyclingregion Harz – Die Bildungsoffensive* (P. Hauschild u. J. Poerschke) über die später auch noch in anderem Kontext berichtet wird, steht beispielhaft für den Ansatz, in vernetzter Weise über Schulen bestimmte Informationen und Verhaltensweisen zu vermitteln. Dies wird umso wichtiger, da sich gezeigt hat, dass das Umweltbewusstsein mindestens in Deutschland in den letzten Jahren gerade im Bereich jüngerer Bevölkerungsgruppen nachgelassen hat. Aus der Sichtweise der Stadt- und Umweltsoziologie lohnt ein Blick auf *Das Ende der Abfalleigenschaft – Kulturelle Mechanismen der Reinigung im Recycling* (A. Bleicher). Hier steht nicht der abfallrechtliche Aspekt sondern der gesellschaftliche Aspekt im Fokus.

Wie sich abfallvermeidende Systeme in der Praxis durchsetzen lassen, die auf die Akzeptanz der Kunden angewiesen sind, lässt sich beispielhaft am System *reCIRCLE – Mehrwegsystem für Restaurants mit Take-away-Food in der Schweiz* (J. Morath) zeigen.

Abfallvermeidung und optimiertes Sammelverhalten adressieren den Bürger als einzelnen Konsumenten. Auch hier wirkt eine allgemeine gesellschaftliche Einstellung, die Entscheidung trifft jedoch im Einzelfall jeder Bürger selbst. Anders sieht es aus bei der Frage nach der Akzeptanz für Errichtung und Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen, denn hier wirkt der Bürger in Gruppen als regionaler Stakeholder, der verschiedene Aspekte gegeneinander abwägt. *Akzeptanzförderung durch (frühe) Öffentlichkeitsbeteiligung in der Recycling- und Abfallwirtschaft?* (J. Stender-Vorwachs) ist gleichzeitig Herausforderung und Mittel der Wahl.

6. Initiativen und Netzwerke im Rohstoff- und Recyclingbereich

Ohne die Etablierung von Initiativen und Netzwerken im Rohstoff- und Recyclingbereich lassen sich weder bestimmte komplexe Probleme angehen noch geeignete Lösungen so schnell verbreiten, wie es eine Rohstoffwende bis zur Mitte des Jahrhunderts erfordert. Mittlerweile haben sich Initiativen und Netzwerke auf lokaler, regionaler, nationaler, europäischer und internationaler Ebene gebildet, die es gilt, miteinander zu vernetzen. Im Idealfall lassen sich zum einen bestimmte Themenbereiche regional behandeln und zu übergeordneten Ansätzen bündeln. In den letzten drei Jahren hat es auf diesem Gebiet erhebliche Bewegungen gegeben. Einige der wichtigsten Initiativen sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Im Jahre 2016 wurde vor dem Hintergrund der Turbulenzen an den Rohstoffmärkten des Jahres 2015 und der Notwendigkeit, eine globale Basis für eine Rohstoffwende zu schaffen, das Netzwerk *FORAM – Towards a World Forum on Raw Materials* (A. Mrotzek-Blöß) gegründet. Mit Partnern aus Industrie, Hochschulen, Verbänden und Politik aus allen fünf Kontinenten wurde dieses Netzwerk unter Initiierung, Mitwirkung und Begleitung verschiedener UN-Organisationen aus der Taufe gehoben. Ziel ist die Schaffung eines globalen Systems unter Einbeziehung aller wesentlichen Einzelorganisationen und Akteure sowohl aus dem Primärrohstoff- wie dem Recyclingbereich. Auf europäischer Ebene sind insbesondere zwei Initiativen hervorzuheben. Zum einen ist dies die EIP (European Innovation Partnership) on Raw Materials, zum anderen die KIC (Knowledge and Innovation Community) EIT (European Institute of Innovation and Technology) Raw Materials, die 2015 aus der Taufe gehoben wurde. Während die EIP Aktivitäten im Wesentlichen die Plattform bilden, um Meinungsbildung und Informationsaustausch bis hin zur Politikberatung zu fördern, richten sich die EIT Aktivitäten hauptsächlich auf gemeinsame Bildungsaktivitäten, die Umsetzung europäischer Upscale-Projekte um die Markteinführung neuer Technologien zu erleichtern sowie die Unterstützung von Startups.

Auf nationaler Ebene wurde ebenfalls im Jahre 2015 das virtuelle deutsche Rohstoffforschungsinstitut GERRI (German Resource Research Institute) aus der Taufe gehoben. Im zehnten Band der Schriftenreihe *Recycling und Rohstoffe* erschien dazu ein Beitrag [4]. Mittlerweile ist die Aufbauphase weitgehend abgeschlossen und die Erweiterung dieses Netzwerks hat begonnen. Ziele von GERRI sind die Bündelung und Strukturierung von Forschungs-Knowhow und -Kapazitäten deutscher Hochschulen, außeruniversitärer Forschungseinrichtungen und Bundesanstalten. Basierend darauf konnten bereits erste Projekte mit internationalen Partnern in Angriff genommen werden, die die Versorgungsrisiken für Rohstoffe aus primären und sekundären Quellen für Deutschland durch Diversifizierung von Herkunftsregionen verringern sollen. Ergebnisse dieser Projekte sowie ein Update zum Stand der Entwicklung von GERRI soll Gegenstand von Beiträgen in nachfolgenden Bänden der vorliegenden Schriftenreihe sein.

Regionale Initiativen ergänzen das System. In diesen können Unternehmen, Forschungseinrichtungen, regionale Körperschaften und andere Stakeholder gemeinsam komplexe Probleme angehen. Beispielhaft sei das Recyclingcluster REWIMET genannt, welches gegründet im Jahre 2011 ausgehend von der Region Westharz zunächst Sammlung, Aufbereitung und Verwertung von Abfällen zur Rückgewinnung von wirtschaftsstrategischen Metallen vorantrieb. Im fünften Band der Schriftenreihe *Recycling und Rohstoffe* erschien dazu ein Beitrag [3]. Basierend auf den Erfahrungen und in enger Zusammenarbeit der Hochschule Nordhausen, der TU Clausthal, der Otto von Guericke Universität Magdeburg und der Hochschule Magdeburg Stendal wurde im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes Recycling 2.0 die Recyclingregion Harz aus der Taufe gehoben. Hierbei vollzieht sich eine Ausweitung der Aktivitäten von REWIMET auf andere Abfallströme, andere Teilregionen und weitere Aktivitäten auch jenseits forschungs- und innovationsdominierter Ansätze.

7. Elektro(nik)geräte, Elektrofahrzeuge und Batterien

Ein weiteres Zusammenwachsen und koordiniertes Vorgehen verschiedener Akteure der Abfall- und Recyclingwirtschaft ist jedoch generell auch vor dem Hintergrund der zunehmenden Verknüpfung und Überlappung von Produktkategorien und folglich von deren Abfällen zwingend.

Waren bisher Produktgruppen wie Automobile und Elektro(nik)geräte noch klar voneinander abgrenzbar, verschwimmen die Grenzen etwa durch die Einführung der Elektromobilität über Fahrerassistenzsysteme bis hin zu autonomem Fahren. Die Frage, was heute eigentlich keine Elektronikkomponenten enthält bis zur Überlegung, ob alte Turnschuhe mit Leuchtsystemen Elektroschrott sind, markiert einen Wandel zu immer komplexeren Fragestellungen.

So entsteht durch die intensive Marktdurchdringung einer Vielzahl komplexer neuer Produkte mit Elektronikanteilen ein gewaltiger Pool und Bedarf an kritischen Rohstoffen. Der Beitrag *Kumulativer Rohstoffverbrauch von Smartphones* (B. Bookhagen) im vorliegenden Tagungsband widmet sich diesem Thema. Die Rücklaufquoten der Altgeräte sind jedoch nach wie vor unbefriedigend. Zur *Praxis der kommunalen Erfassung von Elektro- und Elektronikaltgeräten* (A. Neubauer u. H. Thärichen) berichtet der VKS. Zu konkreten Ansätzen zur Verbesserung der Situation in Hamburg gibt der Beitrag *Neue Konzepte zur Sammlung, Reparatur und Recycling von Elektroaltgeräten in Hamburg – Erste Forschungsergebnisse des EU-Projekts FORCE – Cities cooperating for circular economy* (C. Engelhard u. S. Lübben) Auskunft. Aktuell werden auch in der Recyclingregion Harz im Rahmen des Projektes Recycling 2.0 neue Ansätze getestet, das Sammelverhalten und die Rücklaufsysteme für Elektroaltgeräte zu optimieren. Über die Ergebnisse wird in kommenden Bänden dieser Schriftenreihe berichtet. Hierbei werden auch Erfahrungen genutzt, die etwa das bifa Umweltinstitut aus Augsburg erarbeitet und veröffentlicht hat. Aktuell werden aus dieser Quelle Erfahrungen zur *Sammlung von Elektroaltgeräten in Depotcontainern* (M. Hertel et al.) vorgestellt. Letztlich wirken sich Sammelverhalten und -systeme auf die nachgeschalteten Betriebe der Erstbehandler und Aufbereiter aus, die den Entwicklungen des Marktes folgen müssen. Die Firma Electrocycling als einer der größten Elektronikschrott-Recycler gewährt in ihrem Beitrag *Ständiger Wandel bei der Elektroaltgeräte-Aufbereitung* (H. Fröhlich) einen Einblick in die Auswirkungen auf das operative Geschäft. Neue Ansätze bietet eine *Inverse Produktionslinie zur automatisierten Zerlegung von Mobiltelefonen mit selektiver lasergestützter Entstückung und Sortierung wertvoller Bauteile* (R. Noll).

Einer der großen Technologietreiber, der massiven Einfluss auf Rohstoffbedarfe und entstehende Abfallmengen hat, ist die Einführung der Elektromobilität. Im Beitrag *Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität* (S. Degreif et al.) wirft das Ökoinstitut einen Blick auf diese zentrale Herausforderung. Eine Reihe an Studien, wie etwa die der Initiative AGORA Verkehrswende [2] fokussiert in einem Synthesepapier auf Aussagen zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen. Ein Blick auf das Gesamtsystem Elektromobilität zeigt, dass die ausschließliche Fokussierung auf die Fahrzeuge zu kurz greift. Verdreifacht sich die Menge des Kupferbedarfs

bei Elektrofahrzeugen gegenüber Kraftstoff-betriebenen Automobilen bezogen auf das Fahrzeug selbst, so zeigen einige Prognosen, dass unter Berücksichtigung der erforderlichen Ladeinfrastruktur der Kupferbedarf gegenüber dem heutigen Verkehrssystem leicht das Acht- bis Zehnfache ausmachen kann. All dies führt zu veränderten Kupferkreisläufen und entsprechend zu veränderten Recycling-Infrastrukturen für dieses Metall. Dies schlägt durch auf die *Bedeutung von Rohstoffvorketten und Recycling für eine nachhaltige Elektromobilität* (C. Hagelüken).

Sowohl für Elektrofahrzeuge als auch für Elektronikgeräte stellen Batterien einen zentralen Energiespeicher. Über die Erfahrungen mit dem *Recycling von Li-Ionen-Batterie* (A. Arnberger) in Österreich berichtet Firma Saubermacher. Bekanntermaßen sind mit dieser Technologie aber auch erhebliche Brandrisiken verbunden. Das Brandschutzunternehmen Stöbich gibt einen Einblick zum *Brandschutz im Umgang mit gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien* (M. Dinse u. S. Bruns).

8. Recycling von Metallen

Ein zentrales Thema in der Recyclingforschung ist immer noch und immer wieder das Metallrecycling. Neue Herausforderungen und Entwicklungen gibt es sowohl bei Haupt- wie bei Nebenmetallen. So berichtet die Firma Novelis als Betreiber des weltgrößten Aluminiumrecyclingwerks über *Zukünftige Herausforderungen zum Schließen von Materialkreisläufen in einem vollintegrierten Aluminium-Recyclingwerk* (T. Rosenhagen u. M. Jordan). Die steigende Komplexität von Hightech-Produkten erfordert gerade auch in der Sekundär-Kupfermetallurgie stetige Weiterentwicklungen, um eine zunehmend größere Zahl an Wertstoffen effizient zurückzugewinnen. Der Beitrag *Metals for progress – Nachhaltige Multi-Metall-Gewinnung bei Aurubis* (A. Nolte) widmet sich diesem Thema. In der Entwicklung befinden sich weiterhin *Pyrometallurgische Recyclingprozesse zur Aufarbeitung bleihaltiger Messingschrotte* (S. Hilgendorf), zu denen an der RWTH Aachen geforscht wird. Über *Betriebliche Konditionierung von Wertstoffen im Tantal-Recycling* (F. Schulenburg u. T. Beckmann) berichtet H.C.Starck. Von zentraler Bedeutung sind ebenso neue Entwicklungen in der Ofentechnik. Die *Optimierung von Recyclingprozessen durch Variationen in Prozess- und Konstruktionstechnik eines Submerged Arc Furnace* (R. König et al.) ist Gegenstand eines Beitrages aus der SMS group.

Im Primärrohstoffbereich etabliert aber auch für den Recyclingbereich hochinteressant ist der Verfahrensansatz der Biohydrometallurgie. Über den *Stand der Technik und Potential von Biohydrometallurgie für Recycling* (A. Schippers) folgen Ausführungen seitens der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

9. Recycling von Kunststoffen und Verbunden

Das Thema Kunststoff hat durch eine Reihe von Vorfällen und neuen Erkenntnissen aktuell wieder hohe Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit erlangt. Der Einsatz von Mikroplastik in Hygieneprodukten, Gefährdungsaspekte durch bestimmte polybromierte

Kohlenwasserstoffe, die als Flammhemmer eingesetzt werden, der Eintrag von Kunststoffabfällen in Flüsse und Meere sowie die Problematiken, die beim Recycling von CFK auftreten, wirken sich auch auf die Verwertungsansätze und -wege aus. Das werkstoffliche Recycling hat politisch einen hohen Stellenwert, ist aber grundsätzlich nicht im Hinblick auf die Rohstoffverfügbarkeit relevant und in vielen Fällen nicht durch ökologische Effekte gedeckt. Eine ideologiefreie Bewertung geeigneter Behandlungs- und Nutzungswege auf Basis technologischer, ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte sollte Grundlage für Entscheidungen sein, ob eine werkstoffliche, eine rohstoffliche oder eine energetische Verwertung anzustreben ist.

In der Tat ist es von größerer Bedeutung, dass Kunststoffabfälle effizient gesammelt und nicht irregulär in die Umwelt ausgebracht werden. Dies trifft insbesondere auf Verpackungsabfälle zu, wobei die Probleme häufig nicht in mangelhaften Systemen sondern oft genug in unzureichendem Umweltbewusstsein der Bevölkerung liegen. Neuere Studien belegen, dass das Thema Umwelt etwa bei den jüngeren Generationen zwar als hochrelevant angesehen wird, die persönliche Lebensführung damit aber nicht immer in Einklang steht. Doch nicht nur über Verpackungsabfälle gelangen Kunststoffe in die Umwelt. Ein großes Problem stellen in den Weltmeeren auch die dort entsorgten Fischereinetze dar. Der Beitrag *Ocean Plastic/Ghost-Nets* (G. Gerke) widmet sich diesem Thema.

Moderne Aufbereitungstechnologien und der Einsatz von Recyclaten in neuen Produkten können nicht nur zur Schließung von Stoffkreisläufen beitragen sondern sollten idealerweise auch genutzt werden, um das Bewusstsein im Umgang mit Kunststoffabfällen zu schärfen. Einen Beitrag hierzu liefert die *Ermittlung von Substitutionsquoten durch Recyclingmaterial für verschiedene Verpackungsmaterialien mit besonderer Berücksichtigung der Kunststoffe* (R. Maletz). Die Entwicklung neuer Sortiertechnologien, erlaubt eine zunehmend differenzierte Separation verschiedener Kunststofftypen für eine nachgeschaltete hochwertige werkstoffliche Verwertung dort, wo dieses angezeigt ist. Beispielhaft hierfür steht das *Bottle-to-Bottle-Recycling von mittels UV-Fluoreszenzmarker gekennzeichneten Food- und Non-Food-PET-Flaschen unter Verwendung einer Sortieranlage* (M. Perl).

Ein weites Forschungsfeld stellt das Gebiet des Recyclings von hochwertigen Verbunden dar. *Untersuchungen zum Aufschluss von faserverstärkten Sandwichblechen der Fahrzeugindustrie* (T. Krampitz et al.) an der TU Bergakademie Freiberg und der ThyssenKrupp AG sowie Arbeiten zum *Recycling von polymeren Verbundstrukturen aus Rotorblättern* (E. Seiler u. U. Teipel) am Fraunhofer ICT und der TH Nürnberg belegen dies.

Jenseits der werkstofflichen Verwertung kommt Verfahren zur rohstofflichen Verwertung eine große Bedeutung zu. Solche Ansätze erlauben es, auch stärker vermischte, verunreinigte und aus verschiedenen Kanälen zusammengeführte Fraktionen effizient zu behandeln. Ein Weg hierzu kann die *Kommerzielle Nutzung von Mikrowellen zur Depolymerisation und Pyrolyse von organischen Materialien und Biomasse, Kunststoffabfällen, Altreifen und Raffinerie-Rückständen* (H. Federmann) sein.

Letztendlich ist jedem Verarbeiter von Kunststoffabfällen das Brandrisiko in seinen Anlagen bewusst. Der Beitrag *Brandrisiken in Abfallaufbereitungsanlagen minimieren – Brandfrüherkennung und automatisches Löschen* (A. Orglmeister) weist auf Ansätze zum Umgang mit diesem Problem hin.

10. Forschungsansätze zur Lösung aktueller Probleme

Dort, wo noch keine marktreifen Lösungen vorliegen, weisen zumindest Forschungsansätze die Richtung, um aktuelle Probleme künftig einer praktischen Lösung zuzuführen. Zur Initiierung entsprechender Forschungsvorhaben legen verschiedene Bundesministerien regelmäßig Förderprogramme auf. Eines der letzten großen Programme war die Fördermaßnahme Wirtschaftsstrategische Rohstoffe (r^4) – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe des BMBF.

Beispielhaft sollen im vorliegenden Tagungsband sechs Projekte aus dieser Fördermaßnahme vorgestellt werden, die sich mit der Metallrückgewinnung aus Abfällen entlang der Kette von der Rohstoffförderung bis zum finalen Produkt befassen.

Landfill Mining als Quelle für wirtschaftsstrategische Rohstoffe: Das Modellprojekt REWITA (T. Zeller) zeigt einen Weg zum Umgang mit Tailings bzw. bergbaulichen Rückständen unter komplexen Bedingungen. Ausgehend hiervon sind weiterführende Entwicklungen für weltweit vorkommende Problemfälle ähnlicher Art anzugehen. Rückstände aus der Grund- bzw. Werkstofferzeugung insbesondere der Hüttenproduktion stehen ebenfalls für beachtliche Mengen bislang nicht oder unzureichend genutzter Rohstoffpotentiale. Die *Rückgewinnung von Metallen aus Oxiden metallurgischer Schlacken aus der Herstellung legierter Stähle (DIBRAS)* (R. Deike) adressiert ein solches Thema. Als Beispiel für die Nutzung von Rohstoffen aus Abfällen der Halbzeug- und Produktherstellung stehen die *Rückgewinnung von Lanthan aus Rückständen der Raffineriekatalysatorherstellung für die Petrochemie mit Hilfe von Polyelektrolyt-ausgerüsteten Textilien (LanTEX)* (K. Opwis) sowie das *Ag-Recycling von Gasdiffusionselektroden aus der Chlor-Alkali-Elektrolyse (AgREE)* (B. Friedrich). Beispiele aus dem Bereich der Postconsumer-Abfälle bieten die *Entwicklung einer industriell umsetzbaren Recycling-Technologiekette für NdFeB-Magnete (SEMAREC)* (S. Schwarz u. T. Elwert) sowie *Rückgewinnung und Wiedereinsatz von Antimontrioxid und Titandioxid aus Kunststofffraktionen der Elektroaltgeräteverwertung (Add Resources)* (M. Schlummer).

11. Zum Abschluss

Wissenschaftliche Leitung und Programmkoordination der Veranstaltungsreihe Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz hoffen, auch in diesem Jahr ein gleichzeitig aktuelles und zukunftsweisendes Programm gestaltet zu haben, welches der gesamten Gemeinschaft des Recyclings in Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung und Politik Überblick und Impulse geben kann. Die Beiträge zu Konferenz und Tagungsband, die von einer breiten Gemeinschaft an Partnern mit hoher Kompetenz gestaltet wurden geben Anlass, den Herausforderungen der Zukunft mit Optimismus entgegenzusehen.

12. Quellen

[1] Bertram, U.: Ist eine Null-Abfallgesellschaft erstrebenswert? In: Thome-Kozmiensky, K.-J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012, S. 221-242

[2] Buchert, M. et al.: Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität. Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen. In: Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen. AGORA Verkehrswende, Ökoinstitut, 2017

[3] Goldmann, D.; Kruckow, T.; Westphal, R.: Der Recycling-Cluster wirtschaftsstrategische Metalle REWIMET e.V. In: Thome-Kozmiensky, K.-J.;Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012, S. 281-290

[4] Köpf, H. et al.: Das virtuelle Rohstoffforschungsinstitut GERRI – Innovationskatalysator für Deutschland. In: Thome-Kozmiensky, K.-J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 10. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2017, S. 45-52

Schlagwortverzeichnis

A

Abfälle
  mineralische 183
  nickelhaltige 240
Abfallströme
  Altholz 44
  Altpapier 43
  Bioabfälle 45
  Elektro(nik)-Altgeräte 35
  Fe-Schrotte 33
  Kunststoffe 40
  Textilien 38
Adsorbertextilien 207
Advanced Circular Economy 6
AgNi-Mischlegierung 243
Altholz 44
Altholzverordnung 45
Altpapier 43
Aluminium 206
Aluminium-Recyclingwerk
  vollintegriertes 289
Anti-Littering-Kampagnen 83
Antimon 275
Antimontrioxid 273, 281
Asphaltrecycling 20
Autoshredder 34

B

Badbewegung 313
Badhöhe 313
Batterien 547, 565
  Beschädigungsgrad, Kapazität
    und Ladezustand 469
  Brand 610
  Entladung und Demontage 590
  in Elektroaltgeräten 469
Battery
  extraction 534
Bergbauhalden 354
Beteiligungsverfahren 135
Betonrecycling 20
Bewertungsmatrix 342
Bildschirme 450, 457, 509
Bildung
  für nachhaltige Entwicklung 154
Bildungsoffensive 152
Bioabfallbehandlungsanlagen 46
Bioabfälle 45
Bioakkumulation 351
Bioelektrochemie 351, 357
Biohydrometallurgie 351
Biolaugung 351
  Bergbau 354
  Industrierückstände 355
Bioleaching 352
Biomineralisation 351
Biomining 351
Biooxidation 351
Biopräzipitation 356
Bioremediation 351
Biosorption 351
Bleigewinnung 300
Bleilimitierung
  in Produkten 320
BMBF-Forschungsförderung 177
Brandentstehung 473
Brandfrüherkennung 615
  in Recyclingbetrieben 616
Brandschutz
  Lithium-Ionen-Batterien 603
Brandüberwachung 617
Branntkalk 344
Brennstoffzellen 547
Bundesmobilitätsplan 20
Bürgerbegehren 138
Bürgerbeteiligung 138
Bürgerentscheid 138
Bürgerinitiative 137

C

Carbonfaser 398
carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) 395
CFK-Werkstoff 386
China
  Importverbot 32
Close Loop 377
CO2-Flottengrenzwerte 20
CRT-Bildschirmgeräte 509
cyber-physikalische Systeme 65

D

Datenbanken 168
Dematerialisierung 66
Demontage
  energetische 400
Demontagestudie 259
Depolymerisation 415
  mikrowellengestützte 416
Depotcontainer 491
  Sammlung von Elektroaltgeräten 463
digitale Transformation 67, 71
  Maßnahmen 72
Digitalisierung 66, 71
  der GreenTech-Branche 180
Dismantling 536
  automated 533
Dolly Ropes 437
Durchlaufofen 312
Dysprosium 104

E

Einschmelzen 309
Einwegbehälter 91
Einweg-Verpackungen 82
EIP (European Innovation Partnership)
  on Raw Materials 8
EIT (European Institute of Innovation
  and Technology) Raw Materials 8
Elektroantriebsmotor 102

Elektrodenstrang 309
Elektrodentragarm 309
Elektrofahrräder 264
ElektroG 35, 447, 458, 505
Elektromobilität 565, 581, 597, 603
  globale Szenarien bis 2030/2050 548
  Lithiumbedarf 550
  nachhaltige Rohstoffversorgung 547
Elektronikschrott
  Mengenaufkommen in Deutschland 508
Elektro(nik)altgeräte 35, 447, 460
  Aufbereitung 274, 503
  Batterien im Sammelgut 468
  Fraktionen 448
  Gefährdungsanalyse der Sammlung 470
  Gerätekategorien 507
  gesetzliche Rahmenbedingungen 276
  Kunststoffabfälle 274, 514
  Recycling 485
  Reparatur 485
  Sammelsysteme in Hamburg 490
  Sammlung 485
    in Depotcontainern 461
    Stand in Deutschland 462
  Schadstoffe 276
Eluat 311
Ende der Abfalleigenschaft
  kulturelle Mechanismen der Reinigung 125
Energiedichte 310
Energiespeicher
  in Form von Batterien 512
Energiespeichersystem 590
Entropie 222
Entsorgungswirtschaft 27
Epoxid-Harze 397
Erfassung
  kommunale 447
Erfassungssysteme 447
Erzkonzentrate 198
EU-Kreislaufwirtschaftspaket 30
EU-Kunststoffstrategie 31
EU-Projekt FORCE 485
Europa
  ressourcenschonendes 159
Europa2020 157
Europa2020-Strategie 158
Europäische Innovationspartnerschaften 159
Europäische Innovationspartnerschaft
  für Rohstoffe (EIP) 160
Europäisches Innovations- und Technologieinstitut
  (EIT) 159

F

Fahrzeuge
  Leichtbauweisen 381
Faserverbundkunststoff 397
Faserverbundwerkstoff 389
Fe-Metallschrott 33
Ferro-Legierungen 308
Fertigungsprozesse
  Optimierung 75
Festgesteinsvorkommen
  Lithium 567
Festplatten 259
  mechanische Aufbereitung 266
Filtermaterial
  textiles 206
Filterstäube 219
Flächenverbrauchssteuer 21
Flammschutzadditive 279
Flammschutzmittel 515
Flockungshilfsmittel 210
Fluid Catalytic Cracking 204
FORCE 492
Forschungsansätze 12

G

Gebrauchttextilbranche 39
Gebrauchtwarenkaufhaus 493
Gefährdungsanalyse 470
Gehäusekunststoff 377
Genehmigungsbehörde 142
Geobiotechnologie 351
Geräte
  NdFeB-haltige 265
Gerätebatterien 596
Germanium 189
GERRI
  (German Resource Research Institute) 8
Ghost Nets 433
Gießprozess 296
Glasfaser 398
Glas- und Keramikindustrie 567
Goldgewinnung 304
Granulate 346
Granulationsapparat 346
Granulierung 343
Graphitbedarf
  für die Elektromobilität 553
Großgeräte 457
Großvorhaben 135

H

Haushaltsgroßgeräte 449
Haushaltskleingeräte 453
Hochtechnologiemetalle 354
Hohlelektrodensysteme 310
Holme
  in Rotorblättern 397
Horizont2020 157
Hydrometallurgie 301

I

Indium 189
Industrie 4.0 65
  Ressourceneffizienz 67
Industriemotoren 262
Inertisieren 311

Infrarot
-Brandfrüherkennungssystem 618
-Detektion 618
-Panoramabild 619
Initiativen 166
im Rohstoff- und Recyclingbereich 7
Innovationsunion 159

K

Kationenaustauscher 208
Kayser-Recycling-System (KRS) 300
Keramikindustrie 581
KIC EIT RawMaterials 159
Kleingeräte 458
Knowledge and Innovation Communities (KIC) 159
Kobaltbedarf
für die Elektromobilität 552
Kombi-Ofen 312
Konzeptentwicklung 339
Korrosion 221
Kreislaufwirtschaft 49, 50
charakteristische Merkmale 218
ressoureneffiziente 175
Kritikalität von Rohstoffen
für Umwelttechnologien 95
Kritikalitätsanalyse 99
Kritikalitätsauswirkungen 102
Kühlgeräte 450
Kundenbedürfnis 84
Kunststoffabfälle
in den Meeren 433
Kunststoffe 182, 275
faserverstärkte duroplastische 395
glasfaserverstärkte 395
in Elektrokleingeräten 514
Kunststoffrecyclate 127, 274
Kunststoffrecycling 279
Kunststoff-Recyclingmaterialien 377
Kunststoffschäume 399
Kunststoffverpackungen
Substitutionsquote 369
Verwertungsquote 369
Kunststoffverwertung 41, 284
Kupfer 300, 524
Kupferkonzentrate 299
Kupfer-Zink-Legierungen 329
Kurzschluss 606
äußerer 473
innerer 473

L

Lampen 452, 457
Länderkonzentration
Lithium 580
Landfill Mining 189
Lanthan 203
laser-induced breakdown spectroscopy 538
Lautsprecher 261
LCD-Bildschirmgeräte 510
LCD-LED-Bildschirmgeräte 510
Lebenszyklusbetrachtung 115
Legierungselemente
Rückgewinnung 229
Leiterplatten
von Smartphones 521
LIBS
(laser-induced breakdown spectroscopy) 535
Lichtbogen 310
Lichtwellenleiter 317
Life Cycle Assessment (LCA) 115
Lithium 565
Bedarf für die Elektromobilität 550
globaler Bedarf für Fahrzeuge 551
Markt 573
Lithium-Ionen-Batterien 547, 574, 581
Abfallprognose 609
Brandschutz 603
in der Recyclingwirtschaft 608
Recycling 583
Schutzsysteme 610
Transportsystem 612
unkontrollierte Wärmefreisetzung 472
weltweites Recyclingsystem 562
Lithiumkarbonat 570, 573
Littering 80, 81
Löschen von Bränden
automatisches 615, 621

M

Magnetit 226
Magnetproduktion 254
Magnetscheidung
NdFeB-Magnete 267
Magnetzusammensetzung 255
Marktkonzentration 30
Marktsituation
Lithium 581
Marktzugang
in der Kreislaufwirtschaft 29
Massenrohstoffe 16
Materialbedarf
funktionaler 98
Materialflussanalyse (MFA) 115
Maut für Kraftfahrzeuge 19
Mautspreizung 19
Meere
als Kunststoffressource? 433
Verschmutzung durch Abfälle 433
Mehrwegsystem 79
Kreislauf 86
Unterwegsverpflegung 81
Messingschrotte
bleihaltige 319
Metalle
kritische 275
Metallpulver 242
Metall-Recycling 353
Mikroplastik 443
Mikrowellen 415
Mikrowellenkohle 429
Mikrowellenpyrolyse 420

Miniaturisierung
von Baugruppen 515
Mischkunststofffraktionen 515
Mittelstand 30
Mobilität 19
der Bevölkerung 84
Mobiltelefone 533
Metallgehalte 522
Recycling 527
Rohstoffe 520
Multi-Element-Analyse 539
Multi-Metall-Gewinnung 299

N

Nachhaltigkeitsstrategie 177
Nachtspeicherheizgeräte (NSH) 449
NdFeB-Abfälle 254
NdFeB-Abfallmengen 257
NdFeB-Magnete 253
hydrometallurgisches Recycling 269
Neodym 20
Netze 435
Netzwerke
im Rohstoff- und Recyclingbereich 7
Nickel 240
Bedarf für die Elektromobilität 553
Niedertemperaturkonvertierung 419
Null-Abfallgesellschaft 5

O

Öffentlichkeitsbeteiligung 135, 143
Ökobilanz 117
Online-Schlacken- und
Metalltemperaturmessungen
infrarotgestützte 315
Optical inspection 537
Ordnung
soziale 128
Oxidation
selektive 323

P

Panorama-Thermografie 620
PET-Getränkeflaschen
Substitutionsquote 370
Verwertungsquote 370
Pfannenofen 313
Photovoltaik-Module 456
Plasma-Bildschirmgeräte 510
Polyacrylsäure 212
Polyelektrolyte 205
Polyester-Harze 397
Post Consumer Recycling 377
precious metals 533
Primärbaustoffsteuer 21
Primärrohstoffersatz 33
Printed circuit boards (PCB) 533
Prozesse
hydrometallurgische 269, 301
mechanische 301
pyrometallurgische 301, 319
Pulverelektrolyse 242
PV-Module 456
Pyrolyse 385, 415
katalytische 419
von Fluorpolymeren 235
Pyrolyseverfahren 417
Pyrometallurgie 301

R

Radarsysteme 317
Raffination 300
Recycling ausgewählter Abfälle
volkswirtschaftliche Effekte 51
Recyclinghöfe 490
Recyclingprozesse
pyrometallurgische 301, 319
Recyclingquoten 372
Recyclingregion Harz 8, 147
Recyclingwirtschaft 27
Reduktionsmittel 301
Reinheit 131
Reinigung
kulturelle 129
Repair-Café 496
Ressource 68
Ressourceneffizienz 68
betriebliche 69
Ressourceneffizienzprogramm 178
Ressourcenproduktivität 49
Reverse Supply Chain 379
REWIMET 8
Richtlinie über Elektro- und Elektronik-
Altgeräte 2012/19/EU 505
Robot 535
Rohstoffbedarf
für die Elektromobilität 553
Rohstoffdialoge 161
Rohstoffe 98
Verfügbarkeit 523
wirtschaftsstrategische 183, 189
Rohstoffforschung 176
Rohstoffpartnerschaften 161
Rohstoffstrategie 177
Rohstoffwende 5
Rohstoffwende 2049 15
Rotorblätter 395
Rotorblattmaterialien 400
Rückgabeverhalten
Takeaways 89

S

Sammelgruppen
nach ElektroG 37, 448, 458, 508
Sammelquote 37
Sammlung, Reparatur und Recycling
Elektroaltgeräte 485

Sandwichbleche
faserverstärkte 381
Sauerstoffverzehrkathoden (SVK) 233
Schlacken 219
Schlacken- und Metalltemperaturmessung
infrarotgestützte 315
Schlämme
thixotrope 335
Schmelzprozess 293
Schneidladung 401
Schrottmarkt 35
Schwelbrand 477
Sekundäradditive 283
Sekundärrohstoffe 28, 49, 200
Qualität 28
Sekundärrohstoffwirtschaft 29
Sekundärroute 120
Selbstentzündung 608
selective dismantling 533
Seltene Erden 253
Silber-Nickel-Mischlegierung 243
Slag-cleaning 311
Smartphones
Metallgehalte 522
Rohstoffverbrauch 519
SMD (surface mounted device) 539
Solevorkommen
Lithium 568
Sperrmüllabfuhr
schonende 490
Spindelantriebe 317
Spodumen-Konzentrate 570
Stähle
legierte 229
Stahlveredler
Rückgewinnung aus Schlacken 230
Stilbruch-Kaufhäuser 490
Submerged Arc Furnace (SAF) 307
klassischer 308
Substitution 95
Substitutionsquote 363, 368
potentielle 365
reale 365

T

Tailings 194
Takeaways 79, 93
Takeaway-Verpackung 87
Tantal 333, 526, 538
Tantalproduktion 334
Tantalrecycling 333
Taue 435
Technologiebewertung 116
Terra Preta Nova Produkt 430
Textilrecycling 38
thermal runaway 472
Thyristoren 310
Titan 276
Titandioxid 273, 281
Trägermaterialien
textile 210
Traktionsbatterien 590

U

Umschmelzen 309
Umweltbewusstsein 7
Umwelttechnologien 97
Substitutionspotentialscreening 100
Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) 137
Unternehmen
kleine und mittlere 67
Untersammelgruppe
batteriebetriebene Altgeräte 453
Unterwegsverpflegung 79
Upcycling 130

V

Vakuumdestillation 323
Verbundaufschluss
über mechanische Beanspruchung 384
über thermische Beanspruchung 385
Verbundstrukturen
polymere 400
Verbundwerkstoffe 515
Verluste
bei Recyclingumläufen 222
Verpackungsgesetz 372
Verschleiß 221
Verwaltungsverfahren 136
Verwaltungsverfahrensgesetz 136
Verwertungsquoten 368
Verpackungsmaterialien 364
Verwertung von Kunststoffen 41, 284
Vollbrand 477

W

Walzzunder 219
Wärmeüberträger 456
WEEE Richtlinie 505
Wegwerfgeschirr 90
Weltforum für Rohstoffe 157
Wertstoffwende 5, 147
Widerstandserwärmung 308
Wiederverwendung 491
Windkraftanlagen 395

Z

Zeolith-Katalysatoren 204
Zerkleinerung
kryogene 237
Zinkdestillation 328