Karl J. Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann

Recycling und Rohstoffe

Band 3

TK

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Recycling und Rohstoffe – Band 3
Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.
– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
ISBN 978-3-935317-50-4

ISBN 978-3-935317-50-4 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 2010
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky und Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Erfassung und Layout: Petra Dittmann, Martina Ringgenberg, Andreas Schulz und Nicole Bäker
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 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

Primär- und Sekundärressourcen

Perspektiven des Recyclings
Daniel Goldmann 3

Rohstoffmärkte und Verfügbarkeit von Primär- und Sekundärrohstoffen
Peter Buchholz und Martin Schmitz 21

Europa auf dem Weg zur Ressourcenwirtschaft
Holger Alwast 33

6. Regierungskommission
– Arbeitskreis *Energie- und Ressourceneffizienz* –
Manfred Wendt 43

Recht

Von der Abfallwirtschaft zur Rohstoffwirtschaft
– Erwartungen an den Gesetzgeber aus Landessicht –
Gottfried Jung 49

Abgrenzung zwischen Abfall und Produkt
– Wie ist Rechtssicherheit möglich? –
Andrea Versteyl 61

Ende der Abfalleigenschaft bei Eisen- und Stahlschrott
Rainer Cosson 73

Strategien der Entsorgungswirtschaft

Recycling-Strategie eines kommunalen Unternehmens
Lothar Kramm 87

**Abfallverbrennung statt Recycling –
Droht uns eine Rückwärtsrolle in der Umweltpolitik?**
Eric Schweitzer 101

Größe allein ist kein Erfolgskriterium – Möglichkeiten mittelständischer regionaler Entsorger zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den wachsenden Entsorgungskonzernen –
Hartmut Winck 111

Aufbereitungstechnik

Von der Rohstoffaufbereitung zur Abfallaufbereitung
Volker Vogt und Eberhard Gock 121

Mechanische Aufbereitung von Abfällen
Karl J. Thomé-Kozmiensky und Brigitte Hoffmann 141

Neue Möglichkeiten für die Aufschlusszerkleinerung beim Recycling durch den Universal-Querstromzerspaner
Siegmar Schäfer und André Schäfer 287

Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der Elektroscheidung bei der Aufbereitung primärer und sekundärer Rohstoffe
Helmut Flachberger und Andreas Oberrauner 301

Einsatz von Luftherden für die Sortierung von Abfällen
Markus Riggenmann 317

**Automatische Sortierung
– Stand der Technik und Ausblick auf die Technologieentwicklung –**
Thomas Erdmann und Volker Rehrmann 327

**Anlagenbau in der Abfallaufbereitung
– Erfahrungen und Perspektiven –**
Arno Möller und Stefan Stehle 341

Kunststoffe

Perspektiven in Sekundärrohstoffmärkten
Michael Heyde 347

Die Zukunft der Sekundärrohstoffe – am Beispiel des Kunststoffrecyclings
Thomas Probst 355

Abfallwirtschaft und Ressourceneffizienz in Deutschland und Europa – Politische Ziele, Quotenvorgaben und Markt –
Hermann Krähling 365

Entwicklung des Recyclings von Kunststoffen aus holländischem Restabfall
Gerard Nijkamp 371

Kryogene Verbundstofftrennung von Thermoplasten und Elastomeren
Oliver Dietrich 375

Hochwertiges PET-Recycling
Peter Mayer 385

Organofolien – ein hochwertiges Recyclingprodukt aus textilen Kohlenstofffaserabfällen
Gerhard Ziegmann, Sonja Niemeyer und Henrik Dommes 393

Mineralische Rohstoffe und Sekundärbaustoffe

Die Regelungsasymmetrie bei der Entsorgung von mineralischen Abfällen
Heinz-Ulrich Bertram 401

Mineralische Sekundärbaustoffe im Straßenbau
Thomas Klein 431

Einsatzmöglichkeiten von recyceltem Altglas im Verkehrswegebau
Norbert Meyer und Ansgar Emersleben 441

Verwertung von Kraftwerksaschen bei Baumaßnahmen – Baustoffherstellung und Straßenbau –
Hermann Nordsieck, Alexis Zander und Wolfgang Rommel 451

Anforderungen der Zementindustrie an geeignete Ersatzroh- und -brennstoffe
Martin Oerter 461

Metalle

Hochtemperaturprozesse beim Recycling von Rohstoffen
Reinhard Scholz und Thomas Stürmer 469

Zukunftssichere Rohstoffnutzung bei der Gusseisen- und Stahlerzeugung
Hans-Bernd Pillkahn 497

Ein neues Verfahren zur sauren Entzinkung von Stahlschrotten
Eberhard Gock, Volker Vogt, Ingo Schönfelder, Otto Carlowitz, Torsten Zeller, Andreas Sauter und Hans-Bernd Pillkahn 507

Recycling aus der Sicht eines integrierten Aluminiumkonzerns – Rohstoffe, Technologie, Qualität
Georg Rombach 527

Beitrag des Recyclings zur Versorgungssicherheit bei Technologiemetallen
Christian Hagelüken 539

Recycling von seltenen Metallen und deren Verbindungen
Ulrich Kammer 551

Fahrzeuge

Vorschläge der Automobilindustrie für ein harmonisiertes Monitoring der Verwertung von Altfahrzeugen
Bruno Hartmuth 561

Recycling, Exportproblematik und Reimportchancen? – Werthaltige Komponenten am Beispiel des Katalysators
Matthias Buchert 575

Netzwerke der Demontagebetriebe – Fahrzeugrücknahmesystem und optimierter, IT-gestützter Ersatzteilhandel –
Wolfgang Kaerger 585

Rezyklateinsatz in Neufahrzeugen
Dieter Schmid 593

Elektro- und Elektronikaltgeräte

Schließen von Materialkreisläufen beim Elektronikrecycling aus Sicht eines Herstellers
Sven Grieger 609

Stand der Erstbehandlung für Elektro- und Elektronikaltgeräte in Deutschland und Auswirkung auf die Rückgewinnung von Edelmetallen
Til Bolland, Perrine Chancerel und Vera Susanne Rotter 625

Bilanzierung der Edelmetallverluste beim E-Schrottrecycling
Dirk Schöps, Stefan Salhofer, Markus Spitzbart, Christian Hagelüken, Christina E. M. Meskers, Martin Kriegl und Gunther Panowitz 641

Innovative Ansätze im Leiterplattenrecycling
Peter Kolbe 647

Batterien

Stand und Perspektiven der Batteriesammelsysteme – Gesetz, Struktur und Umsetzung –
Imke Schneider 657

Integriertes Batterierecycling
Gerhard Martin 661

Stoffliche Verwertung moderner Batteriesysteme
Reiner Weyhe 663

Photovoltaik-Module

Recycling in der Photovoltaikindustrie – Stand und Perspektiven –
Christian Reckziegel 677

Ökobilanz des Recyclings von CdTe-Dünnschichtmodulen
Michael Held und Robert Ilg 691

Dank 709

Autorenverzeichnis 713

Inserentenverzeichnis 731

Schlagwortverzeichnis 735

Primär- und Sekundärressourcen

Perspektiven des Recyclings

Daniel Goldmann

1. Stoffströme besonderer Relevanz 4

2. Nichteisenmetalle im Fokus 4

3. Systematische Ansätze zur Identifikation regionaler Sekundärrohstoffpotentiale und Strukturen für die Rückgewinnung von Ressourcen 7

4. Bislang ungenutzte oder unzureichend genutzte Ressourcen 9

5. Entwicklung und Verschiebung der globalen Rohstofflager 12

6. Verwertungstechnologien, -strukturen und Vernetzungen 13

7. Grenzen von Rückführungsstrukturen und alternative Optionen 15

8. Neue Produkte, neue Herausforderungen 17

9. Zusammenfassung 18

10. Quellen 19

Vor rund vierzig Jahren begann in Deutschland das Zeitalter der modernen Abfallwirtschaft. Mitte der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts folgte dann der Wandel von der Abfall- zur Kreislaufwirtschaft, der sich im Rechtssystem durch die Einführung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes im Jahre 1996 manifestierte. Seit Beginn des neuen Jahrtausends setzte eine weitere Entwicklungsstufe ein, die von der Kreislauf- zur Rohstoff- und Ressourcenwirtschaft führt.

Bedingt durch den Aufstieg der großen Schwellenländer China und Indien nimmt der weltweite Rohstoffverbrauch erheblich zu. Damit verbunden steigen die Preise für viele Rohstoffe. Wie sich mittlerweile zeigt, dürfte die Abkühlung der Rohstoffmärkte im Rahmen der weltweiten Wirtschaftskrise der letzten Jahre nur ein vorübergehendes Phänomen sein. Vor diesem Hintergrund verschiebt sich der Fokus beim Umgang mit Abfällen mehr und mehr von der klassischen

Entsorgungssicht zu einer Sichtweise, bei der Abfälle maßgeblich zur Ressourcensicherung beitragen können. Damit rücken Fragestellungen und Perspektiven des Recyclings auch für solche Stoffströme in den Fokus, für die es keine spezifischen rechtlichen Regelungen gibt.

Die im Jahre 2008 revidierte Europäische Abfall-Rahmenrichtlinie, die in 2010 in nationale Regelungen umzusetzen ist, trägt dem Rechnung. Die Diskussionen über die Weiterentwicklung der europäischen Ressourcen- sowie der Recyclingstrategie wurden intensiviert. Im Januar 2010 wurde ein Arbeitsentwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts in Deutschland erstellt, der das bisherige Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz den Anforderungen der revidierten Europäischen Richtlinie anpassen soll. Die vorgesehene Änderung der Bezeichnung in *Kreislaufwirtschaftsgesetz* ohne den Zusatz *Abfall* dürfte Ausfluss der sich ändernden Perspektive auch auf rechtlicher Seite sein. Die zunehmende Brisanz, die das Thema Rohstoffversorgung aus primären Quellen aber auch aus Abfallströmen hat, führte letztlich zur *Raw Materials Initiative* der Europäischen Union.

Welche Rohstoffe in welchen Produkten und Anlagen eingesetzt werden, wann und wo diese nach Nutzungsende anfallen und wie diese in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden können, wird zunehmend systematischer zu klären und technologieintensiver zu lösen sein.

1. Stoffströme besonderer Relevanz

Aus Ressourcen-Sicht sind insbesondere vier Kategorien von Inhaltsstoffen in Abfällen von besonderem Interesse:

- Stoffe, deren Vorkommen begrenzt und deren Gewinnung mit hohem Aufwand verbunden ist, insbesondere Sonder- und Edelmetalle,
- metallische Werkstoffe, deren Herstellung aus Primärrohstoffen wesentlich energieintensiver ist und/oder wesentlich mehr Flächen und natürliche Ressourcen verbraucht, als die durch Recycling gewonnenen Stoffe, wie Aluminium oder Kupfer,
- kunststoffbasierte Hochleistungswerkstoffe, bei denen eine werkstoffliche Verwertung große Energieeinsparungspotentiale ermöglichen würde wie carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK),
- mineralische Stoffströme aus Abfällen, deren Aufbereitung und Einsatz in Sekundärbaustoffen auf Grund der großen Mengen von erheblicher Bedeutung ist.

Ohne Zweifel fällt den Nichteisenmetallen dabei eine wichtige Rolle zu.

2. Nichteisenmetalle im Fokus

Steigende Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Produkten, erhöhte Energieeffizienz zur Erreichung von Klimaschutzzielen, neue Energieerzeugungs- und Speichertechnologien prägen die Produkt- und Anlagenentwicklungen der letzten aber auch der nächsten Jahre in verstärktem Maße.

Metalle wie Aluminium, Kupfer und Zink sind seit langem etwa in den Bereichen Leichtbau, Energietransfer oder Korrosionsschutz von Bedeutung. Gerade die wirtschaftliche Entwicklung der Schwellenländer wird selbst bei Absatzschwankungen in Wirtschaftskrisen auf absehbare Zeit zu einem stetig steigenden Verbrauch führen. Noch gravierender fallen die Steigerungsraten beim Verbrauch von Sonder- und Edelmetallen aus, da weltweit neue Produkte oder Produktgenerationen auf den Markt kommen, die nennenswerte Gehalte dieser Stoffe aufweisen. Beispielhaft hierfür stehen Fahrzeuge, Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik, Hochleistungs-Batteriesysteme, Solartechnik aber auch Magnetsysteme und Energiesparlampen.

Für die Versorgung der Wirtschaft mit Rohstoffen gewinnen Produktionsabfälle, ausgediente Anlagen und Altprodukte aus diesem Marktsegment als Ressource zunehmend an Bedeutung. Zudem lässt sich für viele dieser Metalle die Gewinnung aus Abfällen energieeffizienter und damit ökonomisch und ökologisch effektiver gestalten als aus primären Rohstoffen, vorausgesetzt die erforderlichen Technologien und Strukturen hierfür sind vorhanden. Viel ist bereits erreicht worden, gerade vor dem Hintergrund der stetig zunehmenden Komplexität der Produkte und damit auch der Abfälle bleibt aber auch noch viel zu tun.

Einige Herausforderungen sind etwa:

- Entwicklung von Strukturen und Prozessen die auch die Rückführung von zunehmend mehr Wertstoffen, die über komplexe Produkte diffus im Markt verteilt werden, ermöglicht,
- Optimierung von Verfahren und Schnittstellen zwischen Aufbereitung und Metallurgie um Rückgewinnungsquoten für bestimmte Wertstoffe zu optimieren,
- Entwicklung neuer Technologien zum Recycling neuartiger Produkte und der daraus künftig anfallenden Altprodukte.

Technisch, ökonomisch und ökologisch intelligente Lösungen können die Wirtschaft ein Stück weit unabhängiger von primären Ressourcen machen, natürlich nie ganz, aber Recycling kann maßgeblich zu einer Verbreiterung der Versorgungsbasis beitragen.

Neue Herausforderungen und Aufgaben für das Recycling erwachsen insbesondere dort, wo Rohstoffe überhaupt erst in den letzten Jahrzehnten in nennenswertem Umfang abgebaut und in Produkten verwendet wurden (Bild 1) [1].

Während Verfahren zum Recycling in produktionsnahen Bereichen (Post-Production-Abfälle) für eine Reihe von Stoffen entwickelt wurden, ist der Erfahrungshorizont für die Rückgewinnung einer großen Zahl an Sondermetallen aus Post-Consumer-Abfällen noch gering. Gerade hier wird das Recyclingpotential mittelfristig erheblich steigen.

Für welche Stoffe dies besonders stark zutrifft und in welchen Produkten diese Stoffe verstärkt eingesetzt werden, wurde in der Studie *Rohstoffe für Zukunftstechnologien* des Fraunhofer- Instituts für System- und Innovationsforschung ISI [2] dargelegt. Einige dieser Stoffe und die erwarteten Steigerungsraten für den Verbrauch in ausgewählten Anwendungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

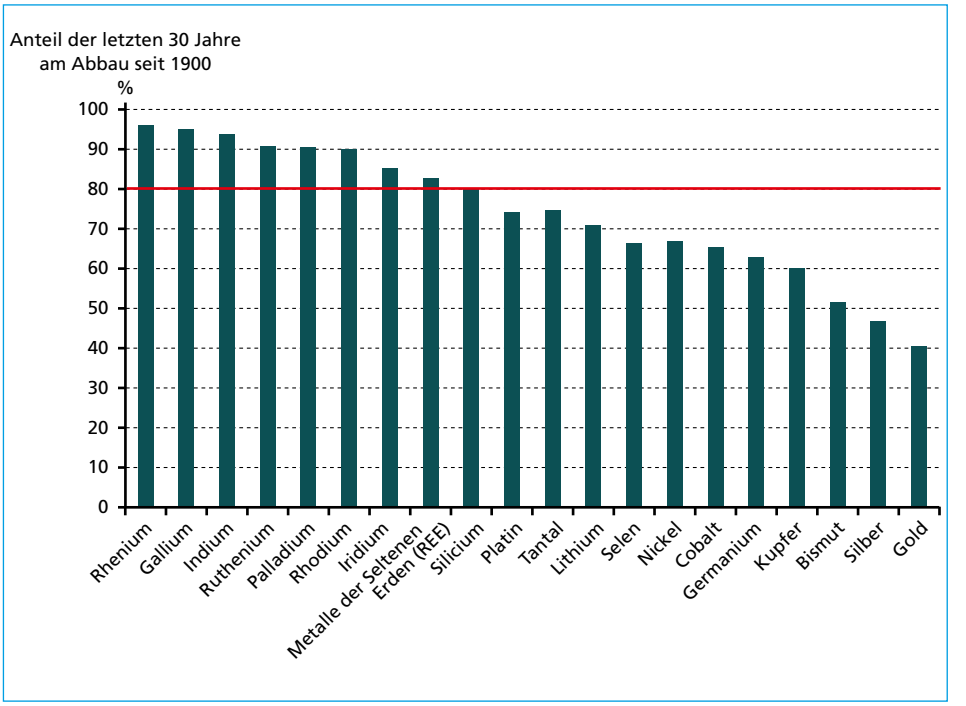


Bild 1: Entwicklung des Abbaus und Verbrauchs an Rohstoffen mit hohen Steigerungsraten in den letzten Jahrzehnten: Nachfrageboom Technologiemetalle

Quelle: Hagelüken, C.: Wenn anorganische Rohstoffe knapp werden. Präsentation beim VCI Kolloquium Rohstoffbasis im Wandel, Frankfurt, 11.01.2010

Tabelle 1: Globaler Rohstoffbedarf für ausgewählte Zukunftstechnologien und Rohstoffe im Jahr 2006 und 2030 im Verhältnis zur gesamten heutigen Weltproduktionsmenge des jeweiligen Rohstoffs

Rohstoff	2006	2030	Zukunftstechnologien (Auswahl)
Gallium	0,28	6,09	Dünnschicht-Photovoltaik, IC, WLED
Neodym	0,55	3,82	Permanentmagnete, Lasertechnik
Indium	0,40	3,29	Displays, Dünnschicht-Photovoltaik
Germanium	0,31	2,44	Glasfaserkabel, IR optische Technologien
Scandium	gering	2,28	SOFC Brennstoffzellen, Al-Legierungselement
Platin	gering	1,56	Brennstoffzellen, Katalyse
Tantal	0,39	1,01	Mikrokondensatoren, Medizintechnik

Quelle: Angerer, G. et al., Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI: Schlussbericht *Rohstoffe für Zukunftstechnologien,* im Auftrag des BMWi, 15.05.2009

Je nach Anwendung und Produktlebensdauer können diese Rohstoffe unterschiedlich schnell durch Recyclingprozesse rückgewonnen und wieder eingesetzt werden.

3. Systematische Ansätze zur Identifikation regionaler Sekundärrohstoffpotentiale und Strukturen für die Rückgewinnung von Ressourcen

Zur Identifikation regionaler Sekundärrohstoffpotentiale – im Sinne von Großregionen – ist ein differenzierter Blick auf die jeweiligen volkswirtschaftlichen Gegebenheiten erforderlich.

Hierbei sind folgende Fragen zu klären:

Was wird in einer Region produziert und welche Produktionsabfälle fallen an? (Post-Production-Abfälle)

- Welche Potentiale zur Weiterentwicklung produktionsintegrierter Recyclingprozesse gibt es?
- Welche Stoffströme lassen sich als Abfallstrom (oder Nebenprodukt) aus einem industriellen Prozess aus- und in einen anderen industriellen Prozess (als Rohstoff) wieder einschleusen? Lassen sich in regionalen Kooperationen Schnittstellen/Verknüpfungen zwischen verschiedenen Industrien und Prozessen leichter bewerkstelligen?

Welche Abfallströme fallen in Handels- und Dienstleistungsunternehmen/-strukturen an? (Post-Industrial-Abfälle)

- Wie lassen sich Logistik und Vernetzung optimieren?

Was wird an Produkten auf den Markt gebracht und welche Abfallströme fallen nach Nutzung/Konsum an? (Post-Consumer-Abfälle)

- Eine besonders große Herausforderung ergibt sich daraus, dass in immer kürzeren Zeitintervallen neue Produktgenerationen mit veränderten Konstruktionen und Inhaltsstoffen, z.B. im Bereich der Unterhaltungselektronik auf den Markt kommen. Lassen sich hierfür *mitwachsende* flexible Recyclingtechnologien entwickeln?
- Ebenfalls in immer kürzeren Zeitabständen kommen völlig neue Produkte auf den Markt, die neue Recyclingtechnologien benötigen, z.B. Lithium-Ionen-Traktionsbatterien für die Elektromobilität, neue Photovoltaik-Systeme oder LCD- und LED-Technologien. Gelingt es rechtzeitig, wirtschaftlich tragfähige Recyclingtechnologien hierfür zu entwickeln und sie so industriell umzusetzen, dass diese möglichst schnell einen Rohstoff-Rückführungsbeitrag für die Verbreitung der neuen Technologien leisten können?

Welche Rohstoffpotentiale sind in *aktiven anthropogenen Strukturen*, etwa im Gebäudebestand gebunden, wann und wie lassen diese sich künftig erneut nutzen? (urban mining)

Welche Rohstoffpotentiale sind in *passiven anthropogenen Strukturen*, etwa auf Deponien und Abraumhalden vorhanden und wie lassen sich diese erschließen? (landfill mining)

Viel hängt hierbei vom Entwicklungsstand einer Volkswirtschaft ab, der sich im Hinblick auf das Recycling wesentlich in folgenden Punkten widerspiegelt:

Welchen Entwicklungsstand und welche Wachstumsraten hat eine Volkswirtschaft?

- Beginnend auf niedrigem Entwicklungsstand, steigt mit dem Wohlstand in der Breite der Bevölkerung der Rohstoffverbrauch einer Volkswirtschaftlich zunächst sehr stark an, ohne dass dem Verbrauch adäquate Mengen an Abfällen gegenüber stehen. Im Bereich der Metalle steigt zunächst der Stahlverbrauch, gefolgt vom Verbrauch an Kupfer und von Aluminium für Infrastrukturmaßnahmen. Ein Rückfluss der eingesetzten Rohstoffe erfolgt im Mittel frühestens nach fünfzig Jahren. Wenn diese Primärmaßnahmen abgeschlossen sind, geht die Verbrauchsintensität bei weiter steigendem Wohlstand zurück, denn nun erfolgt der Einsatz kleinerer Rohstoffmengen in qualitativ komplexeren und teureren Produkten etwa Automobilen. Gleichzeitig steigt der Anteil des Einsatzes von Rohstoffen in kurzlebigeren Gütern, die entsprechend früher dem Recycling zur Verfügung stehen und so zur Rohstoffversorgung zeitnäher beitragen. Diese Entwicklung lässt sich gut anhand von Kuznet´s Kurve für den Stahlverbrauch von Volkswirtschaften in Abhängigkeit von ihrer wirtschaftlichen Entwicklungsstufe (Bild 2) darstellen [3]. Zeitversetzt ist mit ähnlichen Kurven für die anderen Rohstoffe zu rechnen, zunächst für Kupfer und Aluminium, später für Sonder- und Edelmetalle.

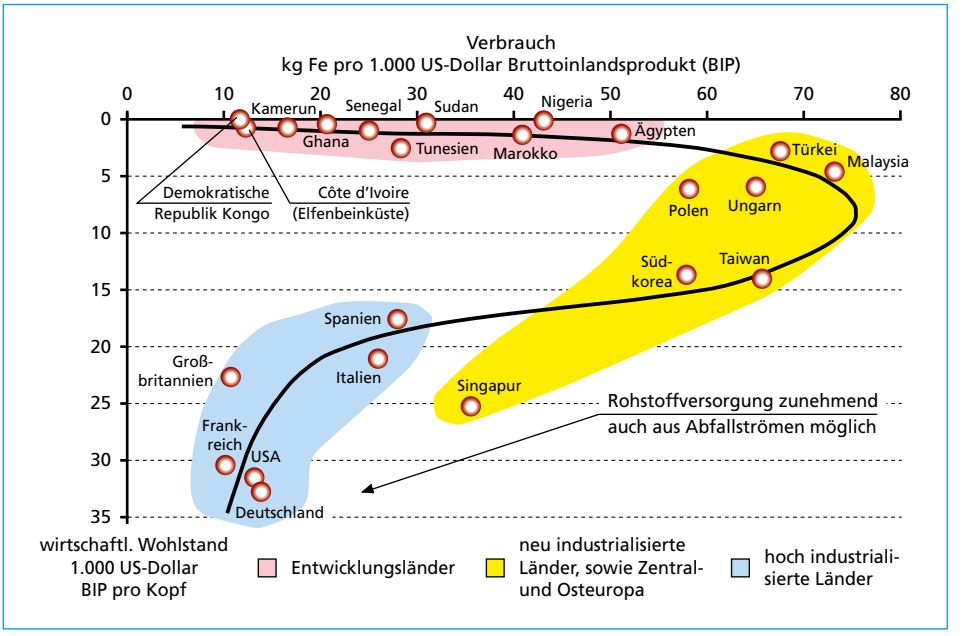


Bild 2: Stahlverbrauch von Volkswirtschaften in Abhängigkeit von ihrer wirtschaftlichen Entwicklungsstufe (Stand 2002)

Quelle: BGR Database: Bundesanstalt für Geowissenschaften, Hannover

Welchen Entwicklungsstand haben soziale Standards sowie Umwelt- und Arbeitssicherheitsstandards in der Produktion?

- Geringe Sozial-, Umwelt- und Arbeitssicherheitsstandards führen im Allgemeinen zu geringeren Kosten für die Recyclingprozesse. Relativ einfach gewinn- und nutzbare Inhaltsstoffe, wie Kupfer aus Kabeln lassen sich entsprechend billiger gewinnen. Dies führt zu Verzerrungen im internationalen Wettbewerb um solche Ressourcen insbesondere wenn die entsprechenden Rohstoffe in der entsprechenden Entwicklungsstufe einer Volkswirtschaft dort in großen Mengen gebraucht werden.

Welchen Entwicklungsstand haben Bildungsniveau und technologische Infrastruktur?

- Die Rückgewinnung metallischer Hauptkomponenten, etwa von Kupfer aus Kabeln, ist bereits bei sehr geringem Bildungsniveau und geringer technologischer Infrastruktur möglich. Auch die Handklaubung verschiedener Metalllegierungen aus Mischkonzentraten im grobkörnigen Bereich, wie sie zum Teil in China praktiziert wird, fällt in diese Rubrik. Je komplexer die Abfallströme und je geringer die Konzentrationen an begleitenden Wertstoffen wie etwa Sonder- und Edelmetalle in Elektronik- oder Katalysatorschrotten, desto geringer fallen die rückgewonnen Mengen dieser wichtigen Ressourcen in Ländern aus, in denen Recycling ein Tätigkeitsfeld mit niedrigem Bildungsniveau und auf niedrigem technischen Standard ist.

Welchen Entwicklungsstand haben Umweltbewusstsein und Entsorgungsinfrastruktur?

- Rücklaufquoten und effiziente Nutzung von Sekundärressourcen steigen mit dem Grad des Umweltbewusstseins insbesondere für solche Abfälle an, aus denen nicht mit einfachsten Mitteln interessante Erlöse zu generieren sind. Grund hierfür ist unter anderem, dass ausgelöst durch steigendes Umweltbewusstsein und damit verbunden häufig rechtlichen Reglementierungen erst Entsorgungsinfrastrukturen entstehen, die es technologisch und logistisch erlauben, bestimmte Wertstoffe zurückzuführen. So ist beispielsweise trotz hohem Wert der Inhaltsstoffe die Rücklaufquote der Platiniden aus Abgaskatalysatoren in China oder Afrika noch extrem gering.

4. Bislang ungenutzte oder unzureichend genutzte Ressourcen

Selbst in hochentwickelten Industrieregionen wie der EU weisen die heute erreichten Recyclingquoten noch auf ein erhebliches ungenutztes Potential hin. Die Gesamtmasse der wichtigsten achtzehn Abfallarten bzw. Komponenten belief sich in der EU 27 auf rund 2,5 von insgesamt 2,8 Milliarden Tonnen pro Jahr im Jahre 2004 (Tabelle 2). Die real erzielten Verwertungsquoten (in der Darstellung als Recycling-Rate***) lagen selbst bei den NE-Metallen nur bei 32 bis 76 Prozent [4].

Tabelle 2: Anfall und Verwertung der wichtigsten achtzehn Abfallarten und -komponenten in der EU 27 im Jahr 2004

Nr.	Abfallstoffstrom*	Abfall-erzeugung (Potential)	Beseiti-gung**	Recycling	energe-tische Verwer-tung	Reycling-rate***	Recycling/ energetische Verwertung + (ausgewählte) Verbrennung****	
		Mio. t	Mio. t	Mio. t	Mio. t	%	Mio. t	%
1	Glas	21,6	10,9	10,7	0,0	50	10,7	50
2	Papier	79,5	35,3	44,2	0,0	56	54,0	68
3	Kunststoffe	26,2	17,0	4,5	4,7	35	13,7	52
4	Eisen und Stahl	70,5	24,7	21,7	24,0	65	53,0	75
5	Aluminium	12,2	8,3	2,8	1,1	32	6,2	51
6	Kupfer	102,6	24,9	77,7	0,0	76	77,7	76
7	Zink	4,6	1,6	3,1	0,0	66	3,1	66
8	Blei	1,4	0,5	0,9	0,0	62	0,9	62
9	sonstige Metalle	1,2	0,5	0,7	0,0	58	0,7	58
10	Holz	1,0	0,4	0,6	0,0	63	0,6	63
11	Textilien	1,2	0,7	0,5	0,0	39	0,5	39
12	Gummi und Altreifen	87,9	55,1	28,8	4,0	37	46,5	53
13	Bioabfälle	1,6	0,6	0,4	0,6	61	1,5	90
14	Ersatzbrennstoffe	7,4	4,4	2,2	0,8	41	5,6	75
15	ölhaltige Abfälle	70,1	55,0	0,0	15,1	22	29,2	42
16	Lösemittel	131,4	48,4	82,9	0,0	63	82,9	63
17	Aschen und Schlacken	3,2	0,7	1,6	0,9	78	2,6	82
18	mineralische Abfälle	1.794,4	1.025,2	769,2	0,0	43	769,2	43
	Summe	**2.417,9**	**1.314,0**	**1.052,6**	**51,3**	**46**	**1.158,5**	**48**

* Metalle ohne Kreislaufmaterialien
** Beseitigung beinhaltet Deponierung, Verbrennung als Beseitigung (D 10) und sonstige Beseitigung
*** Recycling + energetische Verwertung im Vergleich zum Aufkommenspotential (ohne Verbrennung in Siedlungsabfall-verbrennungsanlagen und anderen Beseitigungsanlagen)
**** Verbrennung mit und ohne Energienutzung (D 10). Nur die folgenden Stoffströme mit einem Beitrag zur energetischen Verwertung sind berücksichtigt: Papier, Kunststoffe, Holz, Textilien, Bioabfälle, Lösemittel, ölhaltige Abfälle, feste Ersatzbrennstoffe, Gummi und Altreifen

Quelle: Alwast/Prognos nach Eurostat, Müllmagazin 02/2008

Steigenden Rückgewinnungsquoten von Wertstoffen aus Abfällen stehen steigende Einsatzquoten von Sekundärrohstoffen in der Metallproduktion zur Seite. In Deutschland hat die Einsatzmenge von Sekundärrohstoffen (Schrotten) seit der Jahrtausendwende die Einsatzmenge von Primärrohstoffen (Erzkonzentraten) überflügelt [5].

Den Entwicklungen immer besserer Sammel- und Sortiersysteme laufen jedoch Tendenzen zu Miniaturisierung und intensiverer *Dispergierung* von Produkten und Stoffen im Markt entgegen.

Ein weiteres unmittelbar zur Verfügung stehendes Potential bilden Deponien und Abraumhalden. Auch hier gibt es regional erhebliche Unterschiede. Die wichtigsten Parameter, die zur Ausbildung großer *anthropogener Lagerstätten* solcher Art führten, sind:

- große eigene Primärrohstoffvorkommen, verbunden mit relativ geringen Rohstoffpreisen,
- ein Verhältnis zwischen rohstoffintensiver industrieller Produktion und Konsum mit starkem Übergewicht auf Seiten des Konsums (Import rohstoffintensiver Produkte größer als Export),
- ausreichend Flächen zur Schaffung billigen Deponieraums.

Genau solche Bedingungen fanden sich über lange Zeiträume in den USA. Dementsprechend wird berichtet, dass allein dort etwa drei Jahresweltproduktionen an Kupfer auf Deponien liegen. Ein entgegengesetztes Bild ergibt sich in Japan. Dennoch oder vielleicht gerade deshalb wird hier besonders intensiv an Möglichkeiten des landfill minings geforscht.

Ein Blick auf die Deponien in Deutschland [6] zeigt, dass auch hier relevante Potentiale zu finden sind (Bild 3).

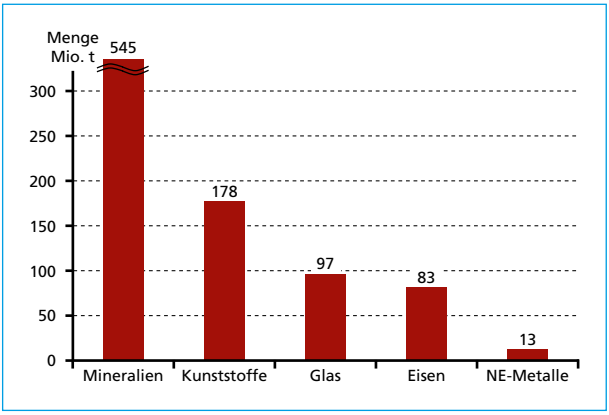


Bild 3:

Mengenabschätzung einzelner Stoffgruppen auf Abfalldeponien in Deutschland

Quelle: Mocker, M. et al.: Von der Abfallwirtschaft zur Ressourcenwirtschaft. Tagungsband 11. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, Münster 10.-11. Februar 2009, S. 27-33

Der im Februar 2010 auf Bali vorgestellte Unep-Report [7] lässt gerade im Hinblick auf die Senken und Quellen besonders relevanter Rohstoffe erheblichen globalen Handlungsbedarf erkennen. Für Elektronikschrott werden folgende Zahlen und Fakten genannt:

- **Jährlich** fallen zurzeit weltweit **vierzig Millionen Tonnen Elektroaltgeräte** an, bis zum Jahr **2020** wird mit einer **Verachtfachung** dieses Wertes gerechnet. Bereits heute werden z.B. fünfzehn Prozent der weltweiten Kobalt- und 13 Prozent der weltweiten Palladium-Produktion allein in Handys und Computern verbaut.
- In wenigen Ländern ist die Verwertungstechnologie und damit die Verwertungseffizienz so hoch wie in Deutschland entwickelt. Dennoch werden aus Deutschland jährlich rund **100.000 Tonnen Elektroschrotte exportiert**.
- Die **Verwertung in Entwicklungs- und Schwellenländern** erfolgt häufig unter **niedrigen Sozial- und Umweltstandards** und ist zudem häufig nur auf die Rückgewinnung der Hauptmetalle ausgerichtet. Große Mengen an **Sonder- und Edelmetallen** gehen dabei **verloren**.

Schlagwortverzeichnis

A

Aachener Verfahren 127
Abfallaufbereitung 121
  Anlagenbau 341
  Trends 369
  Ziele 150
Abfallaufkommen
  in Deutschland 123
  in der EU 27 10
Abfallbegriff 63
Abfallbehandlung
  mechanisch-biologische 341
Abfallbewirtschaftung
  Ressourceneffizienzpotentiale 367
Abfälle
  Abgrenzung zu Produkten 61
  mineralische 124, 401
    materielle Anforderungen
      an die Entsorgung 405
    Regelungsasymmetrie
      bei der Entsorgung 401
    Schadlosigkeit der Verwertung 408
  organische
    Erfassung 51
  zur Verwertung 103, 408
Abfalleigenschaft
  Ende 59, 62, 75
    bei Eisen- und Stahlschrott 73
Abfallentsorgung
  rechtliche Rahmenbedingungen 402
Abfallerfassung
  Trends 369
Abfallheizkraftwerke 56
  Verwerterstatus 56
Abfallhierarchie
  fünfstufige 102
Abfallmanagement 365
  integriertes
    in Deutschland 369
Abfallpolitik 102
Abfallrahmenrichtlinie 52, 62, 102, 365
  Beurteilung des Abfallendes 75
Abfallregime
  Befreiung
    positive Auswirkungen 79
  Konsequenz der Entlassung
    Pflichten aus der
      REACH-Verordnung 80
Abfallsammelfahrzeuge
  bioerdgasbetriebene 98
Abfallverbrennung 101
  Ausbau verhindern 104
  Markt 60, 105
  Überkapazitäten 105, 113, 350
Abfallverbrennungsschlacken
  Kupfergehalte 16
Abfallverbringung 63
Abfallverbringungsverordnung
  Überprüfung 58
Abfallvermeidung 91
Abfallwirtschaft
  kommunale 89
  Status in Deutschland 51
  Strategien zur Optimierung 52
  Umbau 355
  Wandel zur Rohstoffwirtschaft 49
Abgaskatalysatoren
  siehe Autoabgaskatalysatoren
Abgrenzung Abfall – Produkt 61
Abholkoordination
  für Elektroaltgeräte 629
Ablenksortierung 303
  Kombination mit Aushebesortierung 303
Absorptionsbanden 331
Abwasseraufbereitung 146
ACCUREC Recycling GmbH 671
Aeroklassierung 201
Aerosetzmaschine 215
Agglomeration 251
  thermische 251
Akkumulatoren 658, 661, 664
  Performance 664
  Recyclingverfahren 665
Altautos
  siehe Altfahrzeuge
Alterung
  von Rohschlacken 453
Altfahrzeuge
  siehe auch Fahrzeuge
  Demontage 585
  Export 545
    illegaler 578
  Menge an Ölen und Flüssigkeiten 568
  Metallanteil 567
  Produktverantwortung 58
  Recyclingquote 545
  Rücknahme-Netzwerke 585
    Aufbau und Betrieb 587
  Verwertung 312, 587
    Monitoring 561, 573
    Quoten
      europäischer Länder 563
    Quotenberechnung
      Vorschläge der Automobilindustrie
      zur Harmonisierung 565
Altfahrzeug
  -richtlinie
    Verwertungsquoten 562
  -verordnung 58, 586

Altglas
siehe Glas
Altholzaufbereitung 324
Altmetalle
siehe Metalle
Altpapier 62
-aufbereitung 131
-recycling in Deutschland 131
-sortierung 230, 331, 337
-tonne 55
Altreifenaufbereitung 317
Aluminium
Depoteigenschaften 529
Schmelztechnologien 536
Trennung von Schwermetallen 335
-industrie 527
-konzern, integrierter 527
-produktion
weltweite 28
Primär-/Recyclinganteil 535
-recycling 534
-recyclinganteil 531
-schrotte
Verunreinigungen 535
-Stoffflussdiagramm
globales 532
Anlagenbau
in der Abfallaufbereitung 341
Asche
-aufkommen
Anteile von Brennstoffen und Feuerungsarten 451
-austrag
trockener 457
-bestandteile
versinterte 455
Aschen und Schlacken
aus Kraftwerken 451
aus Wirbelschichtfeuerungen 453
Qualität
Einfluss der Brennbett-Temperatur 454
Schadstoffeinbindung 454
Verbesserung durch Abtrennung des Feinkorns 456
Asphalt
-deckschichten 441
-tragschichten 442
Aufbau
-agglomeration 251, 253
-granulierung 256
Aufbereitung
nassmechanische
zur Abtrennung der Feinfraktion aus MVA-Rostaschen 456
von Abfällen zu Sekundärrohstoffen 143
von Hausmüll und Gewerbeabfällen 127
Aufbereitungsanlage
Planung 342
Aufbereitungstiefe 13
Aufladung
triboelektrische 307
Aufladungsreihe
triboelektrische 226
Aufschlusszerkleinerung 175, 187, 287, 322
Ausbeute 643
Ausbrand 455
Aushebe
-magnete 223
-scheider 304
-sortierung 303
Autoabgaskatalysatoren 540
Beschädigung/Zerstörung 580
Edelmetallverluste während des Fahrzeugbetriebes 545
Entmantelungsanlagen 577
Exportproblematik 575
Materialwert 576
PGM-Konzentrationen 576
Recycling 575
Reimport 575, 581
Autogenmühlen 188

B

Ballistische Separatoren 218
(Ballistikseparatoren)
Bandgießen 491
Bandkühler 277
Bandscheider
elektrostatischer 309
Bandtrockner 278
Barrieren-Wirbelstromscheider 138
Batteriegesetz 657, 663
Batterien 657, 658, 663
aus Altfahrzeugen 569
für haushaltsübliche Anwendungen 664
industriell genutzte 663
wiederaufladbare 663
Recycling 657
integriertes 661
Mindestanforderungen 663
Vakuumtechnologie 665
Recyclingeffizienz 663
Rückgewinnung von Cadmium 666
Rücknahme 663, 657
Sammelsysteme 657
stoffliche Verwertung 663
Typen 658
Bauabfälle 59
auf Gipsbasis 434
mineralische 29, 432

Bauschutt 433
-aufbereitung 218
Baustellenabfälle 433
Baustoff-Recycling 29
Bau- und Abbruchabfälle 432
Behälterglas
-Inlandseinsatz 30
-Recycling 30
Berliner Stadtreinigung 87
Berzelius Metall GmbH 661
Betonzuschlagstoff 453
Bildröhren 617
Bildschirmgeräte 614
Bildschirmglas 615
chemische Zusammensetzung 616
Bioabfall 92
-aufbereitung 296
-behandlung 97
-entsorgung 96
-tonne 53, 96
-verordnung
Novellierung 59
Bio-Erdgas 98
Biogas
Aufbereitung auf Erdgasqualität 97
Biogasanlagen 97
Substrataufbereitung 296
Biomasse
-aufbereitung 296
-heizkraftwerke 98
Bio-Querstromzerspaner 297
Biotonne 53, 96
Bio- und Schlachthausabfälle
Aufbereitung 297
Blasstahl 500
Blei
-akkumulatoren 661
-batterien 664
-paste 661
-produktion
Nutzung von Sekundärrohstoffen 661
Blei-Säure-Batterien 663
Bottle to Bottle-Recycling 390
Brammenstranggießen 491
Branntkalk 244
Brauneisen 17
Braunkohle 24, 145
Braunkohleaschen 453
Brennbett-Temperatur
Einfluss auf die Aschequalität 454
Brennstoffvorwärmung 479
Brikettierpressen 261
Brikettierung 251, 258
Brom 621, 650
rohstoffliche Rückgewinnung
aus Leiterplatten 653
Bromgehalt
von TV-Gehäuseproben 622
BSR 87
Bypass-Vorentzinkung
saure 516

C

Cadmium
Rückgewinnung aus Batterien 666
Cadmiumtellurid 682, 692
Dünnschichtmodule
Ökobilanz des Recyclings 691
Recycling 695
Calcinator 461
Callcar Recycling Rücknahmenetz 589
Callparts System GmbH 585
Cascadenmühle 187
CdTe
siehe Cadmiumtellurid
CFK 4
CLP-Verordnung 84
CO_2-Emissionsfaktor
für Hausmüll 352
für verschiedene Brennstoffe 352
Compoundieranlage 662
Co-Verbrennung 350, 463
industrielle 466
CRT-Geräte 614
CRT-Glas
Aufkommen in Deutschland 617
Bergversatz 619
Bewertung von Anwendungs-
möglichkeiten 620
chemische Bestandteile 616
Verwertung in Primär- und
Sekundärhütten 619
cSi-Photovoltaik-Module 682
Recycling 684
Recyclingrate 685

D

Daseinsvorsorge 89
kommunale 103
Deinking 134
-Flotationszellen 133
-Papier 229

Demontage
manuelle 642
-Anlagen 631
-Betriebe 642
Entwicklung des Altfahrzeugzuflusses 589
Netzwerke 585
Deponiegas
energetische Verwertung 89
Deponieklassen 418
Deponien
Anforderungen
an die Errichtung 410
an den Betrieb 410
Multibarrierenkonzept 411
in Deutschland
Mengenabschätzung einzelner Stoffgruppen 11
Deponierung 418
Regelungsasymmetrie 413
Divert-from-Landfill 365, 370
Deutsche Gesellschaft für Kreislaufwirtschaft und Rohstoffe mbH 347
Dichtesortierung 213
trockene 323
Dielektrizitätskonstante 225
Divert-from-Landfill 365, 370
DKR 347
Downcycling 358
Drehherdofen 475
Drehrohrofen 461
in der Zementindustrie 463
Druckplastizität 259
Dual-Energy Röntgendetektion 335
Duale Systeme 57, 107
zur Verwertung von Verpackungen 49
Dünnbandgießen 493
Dünnschicht
-module 682
Recycling 685, 692
-technologien 691
Duroplaste 358

E

EAR 629
Echtfarbkamera 389
EcoCell Flotationsmaschine
zum Deinking 134
Edelmetalle 5, 539, 542, 576
Frachten in Elektro- und Elektronikgeräten 627
Konzentration in bestimmten Gerätearten 628
Rückgewinnung 625, 641
aus Erstbehandlungsprozessen 631, 637
aus Leiterplatten 653
Rückholbarkeit 632
Verluste 579
beim E-Schrottrecycling 641
EEG 678
EG-Abfallrahmenrichtlinie 52, 62, 102, 365
Einsammlung
von recyclingfähigen Abfällen
aus privaten Haushalten 55
Einspeisevergütung 678
Eisenerz 497
Eisen- und Stahlschrott
Ende der Abfalleigenschaft 73
Elastomere 358, 375
Elektrodenpolarität 306
Elektrofahrzeuge 18, 540
ElektroG 626
Recyclingvorgaben 135
Elektrokabel-Aufbereitung 317
Elektrolichtbogenöfen 489, 504
Elektromobilität 18, 540
Elektro- und Elektronikgeräte 57, 539, 641, 649
Abholkoordination 629
Aufkommen in Deutschland 629
Aufkommen weltweit 11
Behandlung in Deutschland 630
Erstbehandlung 626
Stand in Deutschland 625
Einfluss auf die Edelmetallausbeute 637
Export 58, 544
Großgeräte
stoffliche Zusammensetzung 627
Kleingeräte
stoffliche Zusammensetzung 627
mülltonnengängige 57
Produktverantwortung 58
Recycling 614
Schließen von Materialkreisläufen 609
-Managementsysteme 609
-Prozesse 613
Rücknahmesysteme 610
Sammlung 629
Zusammensetzung 627

Elektro- und Elektronikschrott 321, 544, 650
Abtrennung von Leiterplatten 335
Aufbereitung 135, 290
Metalldetektion 334
Potential zur Primärrohstoff-Substitution 13
Recycling 321
Sortierung von Kunststoffen mit Flammhemmern 335
Elektroscheidung 225, 301
derzeitige Grenzen 310
industrielle Anwendungen 305
Selektivität 310
Elektrostahl 500
-erzeugung
CO_2-freie 504
Elementspektroskopie 337
Elpro Elektronik-Produkt Recycling GmbH 641
Ende der Abfalleigenschaft 59, 62, 75
Energie
-austauschverhältnis 484
-effizienz 43, 56, 105
-substitution 483
-versorgung
kohlenstoffneutrale 679
Energien
erneuerbare 677
befristete Subventionierung 679
physikalisches Potenzial 677
Entladungslampen
stoffliche Zusammensetzung 627
Entschlacker 457
Entsorger
mittelständische regionale 111
Entsorgung
private und öffentliche Interessenwiderstreit 55
Entsorgungs
-branche 111
Konsolidierungsprozess 112
Mitarbeiter und Umsätze 113
Struktur und Kenngrößen 112
-infrastruktur 9
-sicherheit 89
-träger
öffentlich-rechtliche 55
Entzinkung von Stahlschrotten
basische 511
hydrometallurgische 511
produktionsintegrierte 508
pyrometallurgische 511
saure 507, 514
von Feinblechschrott 502
Vorentzinkung 510
Entzinnung
von Feinstblechschrott 503
EPIA 681
Epoxydharz
-Fraktion
kupferhaltige 648
-Glasfaser-Recyclat 648
Erneuerbare-Energien-Gesetz 678
Ersatzbaustoffe 59, 438, 458
Ersatzbaustoff-Verordnung 59, 113, 409
Ersatzbrennstoff 129, 342, 350
Einsatz in der Zementindustrie 462
-Kraftwerke 351
-Negativ-Sortierung 230
-Positivsortierung 230
Ersatzteilhandel für Fahrzeuge
optimierter, IT-gestützter 585
Erstarrung
gerichtete 557
Erstbehandlung von EAG 626, 630
Einfluss auf die Edelmetallausbeuten 637
Erze 497
Aufbereitung 124, 145
Ethylenvinylacetat (EVA) 684
Export 58
von Altfahrzeugen 58
von Elektroaltgeräten 58, 544
von Gebrauchtfahrzeugen 575, 589
Extrusionsfolie 393

F

Fabrikationsschrott 527
Fahrzeuge 540
Anteil metallischer Werkstoffe 597
Entwicklung
Anforderungen und Zielkonflikte 604
Ersatzteilhandel 585
Export 58, 575, 589
Katalysatoren
siehe Autoabgaskatalysatoren
Metallanteil 566
Rezyklatanteil 598
Rezyklateinsatz 593
Rücknahmesystem 585
Werkstoffeinsatz 595
Farbkamera 328, 332
Farbsortierung 231, 389
Farbzeilenkamera-Systeme 334
Faser 393
Imprägnierung 394
-abfälle 398
-recycling 393
-verbundwerkstoffe 398

Feed-In-Tarife 678
Fehlkorn 192
Felder
  elektrische 302
Feststoffmischer 234
FilterPave 442
First Solar 686
  CdTe-Recyclingprozess 696
FIT 678
Flachmatrizenpressen 263, 267, 273
Flachstahl
  Produktionsprozesse 492
Flakes 388
  -Sortierprozesse 389
Flammschutzmittel 335, 361, 621, 650
  rohstoffliche Rückgewinnung
    aus Leiterplatten 653
Flaschensortierung 386
Flotation 132
Flotations
  -Deinking 132
  -Zellen
    Typen 132
Fluff 265
Flugzeuge
  Rohstoffpotential für das Recycling 17
Flüsterasphalt 442
Freifallscheider 307
Fremdkunststoff-Flakessorter 389
Friktionswäscher 388
Frost-Tau-Wechselbeständigkeit 444

G

Gallium
  Gewinnung 555
  Recycling 554
Gasverbrauch
  Entwicklung 502
Gebrauchtfahrzeuge
  Export aus Europa 577, 589
Gebrauchtteilehandel
  Netzwerkkonzept 590
Gegenstrom
  -kühler 277
  -sichter 204, 207
Gelber Sack 330
Gelbe Tonne 106
Gelbe Tonne^{plus} 107
Gemeinsames Rücknahmesystem
    für Batterien 657, 663
Geringfügigkeitsschwellen 438
Germanium
  Produktion 553
  Recycling 552
Getränkeverbunde 330
Getrenntsammlung 49
Getrenntsammlungspflichten
  Konkretisierungen 54
Gewerbeabfall
  Verfahren zur Herstellung
    einer Brennstofffraktion 130
Gewerbeabfallverordnung 55
Gießereien 500
Gießmaschine 493
Gießverfahren
  von Stahl 491
Gipskartonplatten
  Sortierung 218
Glas 29, 229, 443
  -asphalt 447
  -aufbereitung 324
  -mehl 443
  -recycling 30, 443
    Einsatzmöglichkeiten im
      Verkehrswegebau 441
  -schaumplatten 443
  -schaumschotter 443
  -scherbenrecycling 698
  -sortierung 232
    Ausschleusung von Bleiglas und
      Glaskeramik 337
    mit Farbzeilenkamera-Systemen 335
Gleichfälligkeit 202, 204
Gleichstromsichter 207
Gold 641
  Rückgewinnung 634
  Rückgewinnungsrate
    bei manueller Zerlegung und
      mechanischer Aufbereitung 643
Granulator 181
Granulierung 251, 256
Green Business 109
Greenpellets 255, 265
Grenzreserven 34
Großbritannien
  Projekte in der Abfallwirtschaft 344
Großunternehmen 111
GRS Batterien 657, 663
Grundwasser
  Geringfügigkeitsschwellen 438
Grüne Technologie 540

Guss
duktiler 500
Gusseisenerzeugung 497
in Deutschland 500
Gutvorwärmung 489

H

Halbleiter 683, 696
Hammerbrecher 164
Hammermühlen 164
Handklauben 226
Hartpellets 265
Harzinfusionsverfahren 393
Hausmüll
Verwertungsquote 51
Zusammensetzung in Holland 372
-aufbereitung 128
-aufbereitungsanlagen 320
-sortierung 331
Heatrecovery-Verfahren 493
Heizwertkriterium 56
Herdsichter 319
Herstellerverantwortung
siehe auch Produktverantwortung
erweiterte 53, 610, 680, 686
individuelle 609, 611
Hochofen
Einblasen von Kunstoffgranulat
Einstufung als Recycling bzw. energetische Verwertung 572
Hochtechnologie-Anwendungen 540
Hochtemperaturprozesse
beim Recycling von Rohstoffen 469
Holland 371, 373
Aufkommen an Rest-Hausmüll und ähnlichen Siedlungsabfällen 373
Horizontalstromsichter 204, 208
Hüttengießereien 527
Hüttenreststoffe
oxidische
Entsorgung 505
Hüttensande 463
Hybridfahrzeuge 540
automobile 672
Hydrosetzmaschine 215

I

IMDS
Datenbank 596
Importabhängigkeit 542
Imprägnieren
der Fasern 397
Indium
Recycling 555
Individual Producer Responsiblity IPR 609
Industrial Rechargeable Batteries 663
Industriebatterien
Sammlung und Verwertung 658
Integrierte Produktpolitik (IPP) 692
International Material Data System 596

K

Kabelschrott 215, 226
Kalisalz 24
Kalklöschen 245
Kaltmahlen 376
Karbide 536
Katalysatoren
siehe Autoabgaskatalysatoren
KERP Research Elektronik und Umwelt 641
Kesselsand 453
Klärschlamm
Agglomeration 237
Eintrag in den Feuerraum einer MVA
durch Düsen 243
durch Fallrohre 243
mit einer Aufstreumaschine 242
Mischung mit Abfall im Bunker 242
Kalkstabilisierung 241
Klärschlammverordnung
Novellierung 59
Klassierung 191
sortierende 195, 205
Klauben 226
automatisches 227
von Hand 226
Klemmkorn 192
Klinkerbrennen 461
Auswirkungen eines Abfalleinsatzes auf die Schwermetallemissionen 464
Klinkerphasen 461
KMU 111
Knetlegierungen 534
Kohle
Aufbereitung 145
Kokereigas 145
Koks 145
Herstellung
durch Direktbefeuerung 493
Koller 263

Konsolidierung des Entsorgungsmarktes 111
Kontaktpolarisation 225, 303, 305
Korona
-Aufladung 303
-Feld 306
-Walzenscheider 313
Kraftwerksaschen
Anfall 451
Verwertungswege 452
Verwertung bei Baumaßnahmen 451
Kreislaufwirtschaft 101
internationale 583
Kreislaufwirtschaftsgesetz 52, 62, 102
Kreisschwingsieb 198
Kryogentechnik 377
Kugelmühlen 187
Kühlgeräte
Recycling 290
stoffliche Zusammensetzung 627
Kunststoffe 348
carbonfaserverstärkte 4
flammgeschützte 615, 621
galvanisierte 376
glasfaserverstärkte 398
Kunststoffarten für Verpackungen 350
Rezyklate 349
schwarze – Problem der Sortierung 337
thermoplastische 394
Verbrauch 348
viskoelastische 378
Kunststoffabfälle
Aufbereitung 359
Detektion von Zusätzen 336
Erkennung 331
im holländischen Rest-Hausmüll
Sortieranalyse 373
Management in Europa 367
Nutzungshierarchie in Deutschland 359
Recycling 51, 355, 371
aus holländischem Restabfall 371
Ressourcenpotential in Europa 368
Sortierung 301
schwarzer Kunststoffe 337
Trennung durch Elektrosortierung 226
von Kunststoff-Flakes 232, 336
Verpackungen
werkstoffliche Verwertung 371
Verwertung 349, 359
energetische 350, 365, 374
in Europa 367
Lösemittelverfahren 362
rohstoffliche 360
Status quo 358
stoffliche 365
werkstoffliche 349, 352, 358, 371
Zukunft 360
Kupfer
Entwicklung und Verschiebung
der globalen Rohstofflager 12
Förderung, Produktion und Verbrauch,
weltweit 27
Kupolofen 486
erdgasbefeuerter, koksloser 486

L

Lagerstätten
anthropogene 10, 542
Lagerung von Abfällen 63
Laminat 393
landfill mining 7
Laser Induced Breakdown Spectroscopy
(LIBS) 337
Laub
energetische Verwertung 98
LCD-Bildschirme 614
Lebenszyklus
-gedanke 692
-perspektive 366
Legierungsmetalle 498
Leichtbau
-schotter 444
-stoffe 442
Leichtmetalle
Trennung von Schwermetallen 322
Leiter/Nichtleiter-Trennung 301
Leiterplatten 542, 627, 642, 649
Abtrennung aus Elektronikschrott 335
Closed loop 651
Entbromierung und Verflüssigung
der Epoxydharze 650
Entnahme 645
Entstückung 651
metallurgische (Edel-)Metall-
rückgewinnung 645
Recycling 545
innovative Ansätze 647
Rückgewinnung von Brom 653
Verarbeitung
Bohr- und Fräsmehlrecycling 648
Liberalisierung der Abfallwirtschaft 103
LIBS-Systeme 338
Lichtbogenofen 489, 669
Life Cycle Assessment (LCA) 693
Life Cycle Thinking 366, 692
Lithium
Recycling 18, 670

Lithium-Ionen
-Akkus 664
-Batterien 542, 658
verkaufte Menge in Deutschland 670
Recyclingverfahren 18, 670
-Kathoden-Technologien 671
-Traktionsbatterien 18
Lösemittelverfahren 361
Luft
-herde 317
-setzmaschinen 216
-strahlmischer 235
-vorwärmung 479
relative Energieeinsparung 481

M

Magnet
-scheidung 221
-trommel 222
Mahl
-prozess 376
-technik
kryogene 376
MAS Fahrzeugrecycling GmbH 585
Materialidentifikation 387
Matrizenpressen 265
Melasse 249
Melassiergeräte 250
Melassierung 272
vor der Pelletierung 249
Meretec Prozess 513
Metalle
seltene
Recycling 551
Metall
-Erkennung 334
-Hütten
integrierte 542
-Kunststoff-Fraktionen 293
-Kunststoff-Trennung 301
-Recycling 26, 528, 530, 542, 551
Beitrag zum Klimaschutz 542
Effizienzpotenziale 26
Temperaturbereiche 472
-Reinigung 556
-Rohstoffe
-Preise
Entwicklung 23
Zyklen 22
-Rückgewinnungsraten 543
-Sortierung 327
nach Farbe 335
Metran Rohstoff- Aufbereitungs GmbH 641
Mindestheizwert 56
Mindestluftbedarf
des Brennstoffes 479
Mischer
pneumatischer 234
rotierender 235
Mittelstand
in der Recycling- und Entsorgungsbranche 112
Stärken und Schwächen 114
Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den wachsenden Entsorgungskonzernen 111
Mitverbrennung 350, 463
industrielle 466
Monitoring
der Verwertung von Altfahrzeugen 561
Monolith 575
MPM Environment Intelligence KG 647
MPS-Anlagen 89, 93
Müllheizkraftwerk Ruhleben 89, 93
Multi-Energy-Detektoren 337
Multilayerflaschen 389
Multispektralsensor 231, 390
MVA-Rostaschen 453
Aufbereitung 453
nassmechanische 456
Beeinflussung der Qualität 454
MVA Ruhleben 89, 93

N

Nachhaltigkeit
in der Produktion und im Verbrauch 692
Nahinfrarot
-Sensoren 328, 330
-Sortierung 230
-Spektroskopie 230, 330, 387
-Technologie 230, 327, 330
Nassentascher 457
Nassmagnetscheidung 222
Nebenprodukte 78
Negativsortierung 230
Nichteisenmetalle 4, 25
Produktveredelung 332
Nichteisenmetallscheider 224
Nichtleiter/Nichtleiter-Trennung 301
Nichtmetallrohstoffe
Recycling 29
Nickel-Cadmium-Batterien 663
Recyclingverfahren 665

Nickel-Metallhydrid
-Akkumulatoren 664
-Batterien
Recyclingverfahren 666
Niederlande 371
Niedersachsen 43

O

Oberbau 441
Ökobilanz 693
Ökoeffizienz 52
Ölverbrauch
Entwicklung 501
Orange Box 95
Orange Corners 95
Organik und Anorganik
Trennung 335
Organobleche 394
Organofolien
textile Kohlenstofffaserabfälle
Recycling 393

P

Packungsdichte
atomare 229
Paddelsichter 386
Palladium 576, 641
Rückgewinnungsrate
bei manueller Zerlegung und mechanischer Aufbereitung 643
Panasonic 609
Papierherstellung
konventionelle 131
moderne unter Einbeziehung der Flotation 133
PCs
Edelmetallträger 642
manuelle Demontage 642
mechanische Aufbereitung 643
Recycling 641
Pellet
-Durability-Index 272
-Festigkeit
Messung 272
-Kühlung 276
-Pressen 265
Pelletierbarkeit 263, 270
Pelletier
-konus 254
-teller 254
-trommel 254
Pelletierung 261
in der Abfalltechnik 263
mit Matrizenpressen 265
Pellets
grüne 255, 265
harte 265
Permafrostböden
Stabilisierung 446
PET 330
Aufbereitung 324
Bottle to Bottle-Recycling 391
Farb- und Materialsortierung 331
Flakes 231, 388
Dekontamination 389
Flaschen 229, 386
Flaschen-Aufbereitung 324
Recyclat
Einsatz in Lebensmitteln 385
Recycling
hochwertiges 385
PGM (Platingruppenmetalle) 575
aus Autoabgaskatalysatoren 575
Rückgewinnungsraten 577
-Refininganlagen 577
-Verluste 579
Phase-in-Stoffe 80
Photovoltaik 540
Dünnschichttechnologien 691
freiwilliges Rücknahme- und Recycling-Programm der Industrie 681
jährlicher Marktzuwachs 679
kumulierte installierte Leistung 678
Marktentwicklung und Ausblick 678
Module 691
Entsorgung 680
Ökobilanzen 693
Recyclingtechnologien 677, 682, 692
Rücknahmesysteme 680, 692
Rücklauf von gebrauchten Aggregaten 18
Pinzetten-Vibrationsverfahren 395
Planung
einer Abfallaufbereitungsanlage 344
Platin 576
Platinen 648
Platingruppenmetalle
siehe PGM
Plattenscheider 304
Polymere
Rückgewinnung 361
Polypropylen 661
Portable Rechargeable Batteries 664
Portland-Zemente 462
Positiv-Sortierung 230
Post-Consumer-Abfälle 7

Post-Consumer-Kunststoffe 353
in Holland 374
Post-Industrial-Abfälle 7
Post-Production-Abfälle 7
Prallbrecher 171
Prall-Hammermühle 173
Prallmühle 171, 323, 379
Pressagglomeration 251
in einer Flachmatrizenpresse 263
von Klärschlämmen 258
Primär
-batterien 658
-baustoffe 432
-bleihütte 661
-energieeinsatz 469
-rohstoffe
Rohstoffmärkte und Verfügbarkeit 21
Private Finance Initiative (PFI)-Verfahren 344
Privatisierung 103
Produktentwicklung
umweltgerechte 593
Produktionsabfälle 7
Produktionsprozesse
industrielle
Temperaturbereiche 473
Produktpolitik
integrierte
der Europäischen Kommission 692
Produktverantwortung 39, 54, 101
siehe auch Herstellerverantwortung
geteilte 57
Neuordnung des Rechts 57
Prozess
-analyse und -modellierung 473
-intensivierung 490
-kopplung 489
Pull-Drill-Verfahren 394
PVC-Recycling 379
PV Cycle 681

Q

QSL-Verfahren 662
Quecksilber 464
Querstromsichter 204, 208
Querstromzerspaner 186, 287, 645
Quotenmonitoring
bei der Altfahrzeugverwertung 561

R

REACH-Verordnung 69, 80
Real Decreto 678
Recyclat
Einsatz in Lebensmitteln 385
Recycling 101
Definition 75, 102
Entwicklung 26
Instrumente zur Förderung 53
metallurgisches 542
Perspektiven 3
-Baustoffe 29, 59, 436
-Betriebe in Bangalore/Indien
Umwelt- und Gesundheits-
auswirkungen 544
-Branche 111
Konsolidierungsprozess 112
-Effizienz 528
bei Batteriesystemen 663
Definitionen 530
globale 530
-Gesellschaft 52, 102
-Höfe 93
-Prozesse
Bilanzierung der Edelmetall-
frachten 641
-Quoten 105, 336, 530
-Stoffe
Registrierungspflicht 70
-Strategie
der BSR 90
-Wirtschaft 109
Entwicklung 99
Schlüsseltechnologie 547
zukünftige Potentiale 96
Refiner 534
Refiningprozesse
für Platingruppenmetalle 577
Regelbrennstoffe 462
Regelungsasymmetrie
bei der Entsorgung
von mineralischen Abfällen 401
Regelwerk Straßenbau 434
Regranulat 350
Reißmühlen 175
Rekuperator 479
Remelter 534
Reserven 34
RESOLVED 682

Ressourcen 34
-effizienz 43, 50, 101, 594
in Deutschland und Europa 365
-management
globales 42
-politik 366
-schonung 99
-verluste
durch Nichterfassung und Exporte 544
-wirtschaft 3, 33, 38, 546
Reuse Paradox 546
Rezyklate 349
Definition 594
nach DIN EN ISO 14021 595
Rezyklatanteile
Ermittlung 597
Grenzen und Fehler
bei der Bestimmung 602
Rezyklateinsatz
in Neufahrzeugen 593
Voraussetzungen 603
Rhodium 576
Ringmatrizenpressen 263, 267
Roheisenerzeugung 477
Entwicklung des spezifischen Verbrauchs
von Energieträgern 478
Rohstahlproduktion 25
Rohstoffe
Aufbereitung 121
Grundoperationen 124
Bedarf 49
für ausgewählte Zukunftstechnologien
(global) 6
Dispergierung 15
kritische 35
Vorkommen 34
metallische 497
mineralische
Importabhängigkeit Deutschlands 24
Verfügbarkeit in Deutschland 23
vulnerable 39
Rohstoff
-effizienz 99
-exploration
Fortschritt 21
-initiative
der EU-Kommission 594
-knappheit 50
-lager
globale
Entwicklung und Verschiebung 12
-märkte 21
Preisvolatilität 22
-politik
europäische 528
-preise
Einfluss der Finanzmarktkrise 21
-produktion
in Deutschland 123
-sicherung 26, 39
-tonne
separate 95
-versorgung 4
Sicherung 50
-vorkommen
Klassifikation nach Grad der
Wirtschaftlichkeit und Grad der
geologischen Gewissheit der
Verfügbarkeit 34
-wirtschaft 102, 545
Röntgen
-fluoreszenzanalyse 337
-sensor 328, 335
energiedispersiver 337
-sortierung 232
-transmissionssortierer 332, 335
Rostasche aus MVA 453
trockener Ascheaustrag 457
Verwertungswege 454
Rotationswindsichter 211
Rotorscheren 175
RTM-Verfahren 393
Rücknahmeverpflichtung 657
Rührkessel
idealer 484

S

Salzbadtrommelöfen 534
Sammlungen 115
gewerbliche 55, 104
Sauerstoffanreicherung 480
Einfluss auf die Brennstoffeinsparung 482
Schachtofen 486
direkt befeuerter 491
Schadlosigkeit
der Verwertung 66, 403
Schadstoffe
Erfassung 93
Schadstoffsenken 420
Scheibenmatrizen 267
Scheideanstalten 577
Scherschneiden 159
Schlacken
Aufbereitung 324
aus der Abfallverbrennung 16
Rückgewinnung von Metallen 57
-gefüge 17

Schlagschere
rotierende 181
Schlagzertrümmerungswert 436
Schmelzkammergranulat 453
Schnecken
-mischer 236
-mühlen 185
Schneidmühlen 175
Schrott
-aufbereitung 332
-sortierung 227
-verfügbarkeit 529
Schrumpfung
Einfluss der Temperatur 377
Schwachgase 487
Schwerkraftsichter 204
Schwermetall-Fraktion
Trennung von der
Leichtmetall-Fraktion 321
Schwimm-Sink-Sortierung 214, 388
Schwingsiebmaschine 200
Sekundärbatterien (Akkus) 658
Sekundärbaustoffe
mineralische
bautechnische Anforderungen 435
Einsatzbereiche
im Straßenbau 431, 435
umweltrelevante Anforderungen 437
Sekundärbleihütten 661
Sekundärrohstoffe
aus Verpackungsabfällen 349
Einstufung als Produkte 77
Rohstoffmärkte und Verfügbarkeit 21
Rolle für Europa 35
vermarktungsfähige 356
Zukunft 355
Sekundärrohstoff
-einsatz
in der Zementindustrie 463
-märkte
Perspektiven 347
-potentiale
regionale
systematische Ansätze zur
Identifikation 7
-wirtschaft 49
Sekundär-Schmelztechnik 500
Sekundär-Schmelzwerke 498
SENSE 682
Sensoren
elektromagnetische 328, 332
Sensortechnologien 327, 645
intelligente 328
Übersicht 329
Separator
ballistischer 218
Setzmaschine 215
Shredder 169
-abfälle
Recyclinganlagen 58
-anlage 332
-betrieb 332
-Leichtfraktion 58, 312
Aufbereitung 323
Trennung 313
Verwertung 564
-Prozess 170
-sand
Aufbereitung 323
-schrott 208
-Schwerfraktionen
Aufbereitung 323
Sichter 204
Sieb
-durchgang 192
-klassierung 192
-trommel 196
-überlauf 192
SIEF 81
Silber 641, 661
Rückgewinnungsrate
bei manueller Zerlegung und
mechanischer Aufbereitung 643
Silikonkartuschen 229
Siliziumzellen 684
Sintern 251
Smasher 632, 642
Solarmodule
Rücknahme- und Recycling-Programm 686
Solarzellen 552
Solvolyse 652
Sondermetalle 5, 539
Sonnenenergie 677
Sortier
-anlagen
Automatisierung 329
-technologie 49
-verfahren
optische 228
Sortierung 212
automatische 327
im Bereich des sichtbaren Lichts 231
klassierende 213
nach spezifischem Gewicht und Form 318
optische 228
sensorgestützte 129, 327, 386
Spalthammermühle 137
Spannwellensieb 200

Spektroskopie
visuelle 330
Sperrmüllaufbereitung 89, 93, 98
S+S Separation and Sorting Technology GmbH 388
Stabilisierung
mechanisch-physikalische 89, 92
Stahl
Erzeugung 497
Anteil der Verfahren in Deutschland 499
Gießverfahren 491
Korrosionsschutz 507
Stahlschrotte
Abfalleigenschaft 73
Einschmelzen 491
Entzinkung 503
saure 507, 516
Recycling 507
verzinkte
Entsorgungsstrategien 508
Stahlwerke 507
Stangensizer 195
Starterbatterien
Recycling 601
Steinkohle 145
-aschen 452, 453
-flugaschen 452
Stiftmühle
kryogene 380
Stiftung Elektro-Altgeräteregister (EAR) 629
Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (GRS Batterien) 657, 663
Stoffbehandlung
industrielle
Energiebedarf 472
Stoffstrommanagement 52, 60
Stoffstromwirtschaft 355
Ressourcen schonende 100
Stoffumwandlungsprozess 461
Stoßofen 475
Strangguss 491
Strangpressgranulation 266
Straßen
-aufbau 441
-aufbruch 433
-bauwirtschaft 431
-verkehrsflächen 441
Stromklassierung 201
Substance Information Exchange Forum 81
Sunicon AG 684
Suszeptibilität
magnetische 222
SYNCOM-Plus 456
Systeme
duale 51, 57, 107

T

Talkaufbereitung 311
Technologiemetalle
Anwendungsfelder 541
Bedeutung 539
Nachfrageboom 6
Recycling 539
Technosphäre 33
Tetrabrombisphenol A
rohstoffliche Rückgewinnung aus Leiterplatten 653
Thermoplaste 358, 375
Thermoplastschmelze 394
Tongrubenurteil 408
Tragschicht
mineralische 441
Traktionsbatterien 18
Transportleistungen 115
TR Boden 408
Trenn
-erfolg 192
-korngröße 192
-schärfe 192
-tisch 320
Triboaufladung 225, 303, 307
Trogmischer 234
Trommel
-mischer 234
-mühle 187
-sieb 196
Verstopfung 195
-trocknung 238
Turbowäscher 388
TV-Geräte 621
Recyclingfraktionen 615

U

Überbandmagnetscheider 223
Überkapazitäten (MVA) 105, 113, 350
Umicore Precious Metals Refining 641
Umluftsichter 204
Umschmelzwerke 534

Umwelt
-bewusstsein 9
-politik 101
-prämie 589
-technologie 109
Universal-Querstromzerspaner 287
Unterbau 441
Unverbranntes 455
Urban Mining 7, 39, 542
URRC-Verfahren 389

V

Vacuum-Thermal-Recycling-Konzept 665
Vakuumtechnologie 665
Vecoplan AG 341
Verbringung von Abfällen 63
Verbundstofftrennung
kryogene 375
Verbundwerkstoff 393
Verfahrenstechnik
mechanische 144
Vergärung 92
Vergasung 145
in Schachtreaktoren 265
Verkehrswegebau 441
Verkokungstechnik 495
Verordnung zur Vereinfachung
des Deponierechts 411
Verpackungen 348
Erfassungsquoten 51
Verpackungs
-abfälle 329, 348, 391
Sortierung 329
-entsorgung 57
-kunststoffe 348
-recycling 107
-sammlung
Ausweitung auf stoffgleiche
Nichtverpackungen und Elektro-
kleingeräte 108
-verordnung
Miterfassung stoffgleicher
Nichtverpackungen 54
Versorgungssicherheit
bei Technologiemetallen
Beitrag des Recyclings 539
Vertikalhammermühle 169
Verwertung
energetische 366
rohstoffliche 366
Schadlosigkeit 66, 403
stoffliche 65, 99, 104
werkstoffliche 366
Verwertungs
-abfälle 103
-anlage
energetische 105
-quote 427, 658
wesentlicher Stoffströme
für die EU 27 37
-technologien 13
Verwertung und Beseitigung
Regelungsasymmetrie 420
Verzinkung
Korrosionsschutzmaßnahme
in der Automobilindustrie 523
Vibrationssieb 198
Vibrationstechnologie
zur Ausrichtung von Fasern 394
VIS-Detektoren 331
Volkswagen 593
Produktentwicklung 603
Vollbildaufnahme 229
Vorentzinkung 510
hydrometallurgische 511
pyrometallurgische 511

W

Wafer 684
Walzenmühle 182
Walzenscheider 304
elektrostatischer 305
mit Kombination von elektrostatischen
und elektrodynamischen Feldern 306
Wälz
-oxide 508
-prozess 507
-siebe 196
-technologie 509
Wärmerückgewinnung
klassische Methoden 479
Wärmeübertragungsfläche
Einfluss auf den Wirkungsgrad 481
Washcoatverluste 580
Waste to energy 99
WEEE 680
Weichpellets 265
Weich-PVC-Recycling 379

Weißblechschrott
Entzinnen 504
Wertstoffsammlung 106
getrennte 92, 103
Wertstofftonne 54, 95
erweiterte 107
flächendeckende Einführung 106
trockene 107
Wettbewerb 104
Windkraftanlagen
Recyclingpotentiale 18
Windschutzscheiben
Aufbereitung 324
Windsichtung 201, 204
Aggregattypen 207
Trennergebnis 205
Windturbine 540
Wirbelschichtmischer 235
Wirbelschneckenkühler 377
Wirbelstromscheider 138, 224
Wurfsieb 198

X

XRF-Technologie 337

Z

Zeilenbildaufnahme 229
Zeilenkameras 334
Zementindustrie
Anforderungen an geeignete
Ersatzroh- und -brennstoffe 461
Auswirkungen des Sekundärstoffeinsatzes
auf das Emissionsverhalten 464
auf die Produktqualität 465
Einsatz an sekundären Rohstoffen 463
Einsatz an Ersatzbrennstoffen 462
Zementmahlung 462
Zentrifugalkraftsichter 204
Zerkleinerung 155, 287
Beanspruchungsarten 159
schneidende 159
selektive 162
Zick-Zack-Windsichter 207, 209
Zink 502
Rückgewinnung 508
Weltverbrauch 507
-Elektrolyse 507
-Recycling 503
Zinn
-Recycling 504
Zonenschmelzen 556
Zwangsmischer 234