Karl J. Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann

Recycling und Rohstoffe

Band 9

TK

Karl J. Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann

Recycling und Rohstoffe

Band 9

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

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.):
Recycling und Rohstoffe – Band 9

ISBN 978-3-944310-27-5 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 2016
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Erfassung und Layout: Ginette Teske, Sandra Peters, Janin Burbott-Seidel,
Claudia Naumann-Deppe, Anne Kuhlo, Carolin Bienert, Gabriele 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

Politik, Strategie und Wirtschaft

Recycling und Rohstoffe 2016
– Stand und Perspektiven –
Daniel Goldmann 3

Das EU Kreislaufwirtschaftspaket und die Circular Economy Coalition for Europe
Christoph Scharff 11

ProgRess II – Und wie es weitergeht
– Neues vom Deutschen Ressourceneffizienzprogramm –
Reinhard Kaiser 27

Stand und Perspektiven der Verwertung von ausgewählten Stoffströmen zur Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes
Christina Dornack und Christoph Wünsch 39

Was bringt die Wertstofftonne?
Alexander Gosten 55

Recycling ist gut, mehr Recycling ist besser – oder nicht?
Rainer Bunge 79

Rohstoffe für Zukunftstechnologien
– Highlights aus dem Aktualisierungsprojekt –
Sabine Langkau, Frank Marscheider-Weidemann, Torsten Hummen, Max Marwede, Stephan Benecke, Lorenz Erdmann und Gerhard Angerer 93

r³ Forschungs- und Entwicklungsergebnisse

Beiträge der BMBF-Forschungsförderung zu einer nachhaltigen Rohstoffversorgung
Lothar Mennicken 113

Recycling global – Best-of-two-Worlds Projekt und Recycling von Blei-Säure-Batterien in Afrika
Matthias Buchert und Andreas Manhart 123

Resultate aus dem Projekt UPgrade – Beispiel Gallium
Vera Susanne Rotter, Sarah Julie Otto, Maximilian Ueberschaar, Perrine Chancerel und Sabine Flamme 141

InAccess – Rückgewinnung von Indium durch effizientes Recycling von LCD-Bildschirmen
Guido Sellin, Hannes Fröhlich und Kai Rasenack 163

Germaniumgewinnung aus Biomasse – PhytoGerm
Hermann Heilmeier, Oliver Wiche, Silke Tesch, Ines A. Aubel, Norbert Schreiter und Martin Bertau 177

TönsLM – Rückgewinnung von Wertstoffen aus Siedlungsabfall- und Schlackendeponien
Anna Breitenstein, Karsten Kieckhäfer und Thomas S. Spengler 193

Deponierückbau als Beitrag zur Ressourcensicherung – verwertbare Stoffströme aus der Feinaufbereitung –
Sebastian Wanka, Kai Münnich und Klaus Fricke 209

Aufschluss von Betonen und anderen Verbundbaustoffen durch mikrowelleninduziertes Grenzflächenversagen
Adriana Weiß und Horst-Michael Ludwig 229

ESSENZ – Integrierte Methode zur ganzheitlichen Berechnung von Ressourceneffizienz
Vanessa Bach, Markus Berger und Matthias Finkbeiner 243

INTRA r³+ Integration und Transfer der r³-Fördermaßnahme – Ergebnisse der Begleitforschung –
Anke Dürkoop, Stefan Albrecht, Philipp Büttner, Christian Peter Brandstetter, Martin Erdmann, Gudrun Gräbe, Michael Höck, Kirstin Kleeberg, Björn Moller, Katrin Ostertag, Lars Rentsch, Katja Schneider, Luis Tercero, Hildegard Wilken, Matthias Pfaff und Michael Szurlies 253

Fahrzeuge

Aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen beim Recycling von Elektro- und Hybridfahrzeugen
Tobias Elwert, Daniel Goldmann, Felix Römer, Matthias Buchert und Doris Schüler 275

Fahrzeuge und Batterien – Recycling als Bestandteil des Life Cycle Assessment der Fahrzeugindustrie –
Holger Lieberwirth, Thomas Krampitz und Michael Stegelmann 295

Elektro- und Elektronikgeräte

Pfandsystem für Elektro- und Elektronikkleingeräte?
Jan Schlecht, Jan Henning Seelig und Torsten Zeller 311

Grenzüberschreitende Verbringung von Elektro- und Elektronikaltgeräten
Katharina Aiblinger-Madersbacher 327

WEEE komplex – Vielfältige Qualitätsanforderungen am Beispiel des Elektrokleingeräterecyclings
Gerhard Jokic und Denise Dortmann 345

Strategische Rohstoffe in Telekommunikations-Netztechnik – Kann die Recyclingquote gesteigert werden?
Siegfried Kreibe und Andreas Förster 361

Thermische Konditionierung (Pyrolyse) zur Verbesserung der Rückgewinnbarkeit kritischer Metalle aus Elektro- und Elektronik-Altgeräten
Fabian Diaz, Anna Trentmann, Damien Latacz und Bernd Friedrich 373

Mechanisch-hydrometallurgisches Antimonrecycling aus Rückständen der Leiterplattenaufbereitung
Fabian Himmel, Boris Breitenstein, Daniel Goldmann und Felix Kolbe 391

Metalle

Recycling 4.0 an zwei metallurgischen Beispielen
Jan Ehrig, Robert Wolf und Michael Stelter 411

Bedeutung energieintensiver metallurgischer Betriebe unter dem Aspekt des Recyclings von Eisen, Stahl und NE-Metallen
Rüdiger Deike 419

Eine Branche im Wandel – vom klassischen Schrotthandel zum dienstleistungsorientierten Recyclingunternehmen
Torben Kraffczyk und Christian Blackert 437

Aufbereitungstechnische Untersuchungen an verunreinigten Stahlschrotten zur Optimierung von Produktausbringen und -güten
Hubert A. Schwarz, Helmut Flachberger und Helmut Tröbinger 453

NoWaste Strategie im Stahlwerksbereich am Beispiel der Georgsmarienhütte
David Algermissen, Bernd Dettmer, Tim Rekersdrees, Henning Schliephake und Tobias Zehn 469

Prognose des Aluminiumschrottaufkommens mittels dynamischer Modellierung – Fallbeispiel Österreich
Hanno Buchner, David Laner, Helmut Rechberger und Johann Fellner 483

Recyclingmethoden für Reststoffe aus der Kupfermetallurgie
Stephan Steinacker, René Rumpold und Jürgen Antrekowitsch 497

Kunststoffe

Kunststoffrecycling aus der Perspektive einer modernen Ressourcenwirtschaft
Lucas Pfennig und Kerstin Kuchta 515

Entsorgung von biologisch abbaubaren Kunststoffen – Kompostieren oder verbrennen? –
Heinz-Ulrich Bertram 523

Papier

Chancen für das stoffliche Recycling durch Industrie 4.0 am Beispiel der Wertschöpfungskette Papier
Lydia Tempel 547

Entwicklung von Anforderungen an die Rezyklierbarkeit von Papierprodukten
Saskia Runte, Hans-Joachim Putz und Samuel Schabel 557

Alternative Nutzung von Reststoffen aus der Papiererzeugung vor dem Hintergrund steigender Preise in der energetischen Verwertung
Christina Dornack und Wolfram Dietz 573

Verfahrenstechnik

Zerkleinerung beim Recycling von Spuckstoffzöpfen
Siegmar Schäfer und André Schäfer 589

Separationsmethoden zur Aufarbeitung von metallhaltigen Verbundwerkstoffen
Jens Herdegen, Wladislaw Benner, Katrin Bokelmann, Thorsten Hartfeil und Carsten Gellermann 601

Möglichkeiten und Anwendungen neuester VIS/NIR-Sortierer in der Aufbereitung von Sekundärrohstoffen
Richard Dornauer, Jürgen Pramer und Reinhold Huber 611

Neue Methode zur Beprobung von Abfällen in Ballen
Martin Wellacher, Alexia Aldrian und Roland Pomberger 621

Dank 633

Autorenverzeichnis 637

Inserentenverzeichnis 665

Schlagwortverzeichnis 671

Recycling und Rohstoffe 2016
– Stand und Perspektiven –

Daniel Goldmann

1. Einführung 3

2. Entwicklung des Rohstoffbedarfs, Beitrag der Entsorgungswirtschaft zur Rohstoffversorgung und politischer Rahmen 5

3. Entwicklung von Netzwerken und Kooperationen als Innovationstreiber 5

4. Altprodukte als Rohstoffquelle 6

5. Recycling von Metallen, Kunststoffen und Papier – Erzeugung und Nutzung von Sekundärrohstoffen 7

6. Forschung und Entwicklung für die Zukunft des Recyclings 8

Vorbemerkung

In gleicher Weise wie bei dem im letzten Jahr erschienen Band 8 der Reihe *Recycling und Rohstoffe* spannt der vorliegende Beitrag den Bogen über die Themenbereiche und Ziele des Buchs und ist als Einführung konzipiert. Ziel ist es, einen Überblick über die aktuellen Rahmenbedingungen sowie den Stand der Praxis und der Forschung im Recycling nichtbiogener Abfallströme mit hohem Wertstoffpotential zu geben, dies an den künftigen Herausforderungen zu spiegeln und so Perspektiven für das weitere Handeln herauszuarbeiten. Auf eine ganze Reihe von Fragestellungen hierzu gehen die Beiträge dieses Fachbuchs ein. Zum Zeitpunkt der Erstellung war noch nicht klar, ob sämtliche geplanten Beiträge im vorliegenden Band abgedruckt werden können. Ein konkreter Verweis, auf welchen Seiten des Buches diese zu finden sind, war im Vorfeld daher nicht möglich.

1. Einführung

Die Turbulenzen und Unsicherheiten im Recycling- und Rohstoffsektor, die die letzten Jahre geprägt haben, sind leider auch aktuell nicht geringer geworden. Im Gegenteil, die Rohstoffmärkte haben einen massiven weiteren Preisverfall zu verzeichnen. Das gilt zumindest für den Zeitpunkt, an dem dieser Beitrag erstellt wurde, also am Ende des Jahres 2015. Es ist ziemlich schwierig, mittelfristige Prognosen aufzustellen, wie die weitere Entwicklung aussehen wird, da selbst viele Experten von den Ereignissen überrascht werden.

Die großen politischen Entwicklungen wie die Kriege im Nahen Osten, die Flüchtlingssituation aber auch die wirtschaftliche Entwicklung etwa der Volksrepublik China tragen nicht dazu bei, kurzfristig stabile äußere Rahmenbedingungen herzustellen. Im Windschatten dieser Entwicklungen sind zudem im Rohstoffbereich Situationen entstanden, die man getrost als Wirtschaftskriege bezeichnen kann. Die Niedrigpreispolitik Saudi-Arabiens im Erdölbereich richtet sich gezielt gegen Erdöl- und Erdgas-Förderungen in anderen Staaten. Der dramatische Verfall der Preise für Eisenerzkonzentrate ist Hebel der drei großen Produzenten, um ihre Wettbewerber in die Knie zu zwingen. In der SeltenErd-Produktion steuert China erneut auf ein Monopol zu.

Erfahrungsgemäß wird diese Form der *Marktbereinigung* ab einem bestimmten Zeitpunkt wieder zu ganz massiven Preisanstiegen führen. Da selbst im Lebensmittelbereich, also für Getreide, Fleisch u.a. die Preise massiv eingebrochen sind und das in einer Situation, die weit entfernt von einer global ausreichenden Versorgung ist, ist es eben nicht die sich selbst regulierende Marktwirtschaft, die hier zu Werke geht. An den globalen Langfristprognosen zu den Rohstoffverbräuchen hat sich allerdings nichts geändert. Daher wäre ein Nachlassen bei den Aktivitäten im Bereich Rohstoffsicherung und Ressourceneffizienz eine gravierende Fehlentscheidung. Die Frage ist nur, wie die Zukunft und die nächsten Schritte gezielt zu gestalten sind.

Rohstoffversorgung ist eine Langfristaufgabe, die nur gemeinsam von vielen Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft, öffentlicher Verwaltung und Politik gestemmt werden kann. Der Schulterschluss und die Kooperationen, die sich in den letzten Jahren entwickelt haben, müssen unbedingt ausgebaut werden. Hierbei stellt die Unterstützung durch die öffentliche Hand ein volkswirtschaftlich entscheidendes Momentum dar. Gleichzeitig muss das Rohstoffbewusstsein in der Bevölkerung weiter gestärkt werden, nicht nur, wenn es um allgemeinbekannte Metalle wie Gold geht sondern auch um Sondermetalle wie Indium oder Tantal, die die Bevölkerungsmehrheit kaum kennt, ohne die aber das moderne Leben nicht mehr funktionieren würde.

Dabei wirkt neben einer langfristig wettbewerbsfähigen Absicherung der Rohstoffversorgung der Umweltschutz als Treiber, dem auf Grund aktueller globaler Entwicklungen wieder verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt wird. Passend zum Klimagipfel von Paris meldete Peking die bislang stärkste Luftverschmutzung in der Hauptstadt, die zur Ausrufung der Alarmstufe Rot führte. Der Dammbruch der Bergeteiche einer Eisenerzaufbereitung in Brasilien rückte den sicheren und effizienten Umgang mit Primärrohstoffen schlaglichtartig in den Fokus. Neben effizienter und sicherer Primärrohstoffförderung, Materialeffizienz und Substitution stellt das Recycling eine wichtige Säule. Im Juni 2015 haben die G7-Staaten ein Bündnis zur Ressourceneffizienz ausgerufen, das in Folge mit Leben erfüllt werden soll.

All diese Fragestellungen und Herausforderungen bilden auch diesmal wieder den Rahmen für den vorliegenden Band 9 der Buchreihe *Recycling und Rohstoffe*.

2. Entwicklung des Rohstoffbedarfs, Beitrag der Entsorgungswirtschaft zur Rohstoffversorgung und politischer Rahmen

Was wird in Zukunft wirklich an Rohstoffen benötigt werden, welche Produkte werden in Hightech-Regionen wie Deutschland produziert und wo ist mit Versorgungsengpässen zu rechnen. Dieser Frage widmet sich der Beitrag *Rohstoffe für Zukunftstechnologien* des Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Die vielzitierte Studie aus dem Jahre 2009 wurde im Rahmen eines Aktualisierungsprojektes auf Basis neuester Erkenntnisse überarbeitet. Die Studie wird in Gänze erst einige Zeit später veröffentlicht werden, einige wichtige Highlights aus dem Aktualisierungsprojekt werden aber hier bereits vorgestellt.

Und was können Abfallwirtschaft und Recycling zur Absicherung der Rohstoffversorgung leisten? Die Beiträge der Nehlsen AG *Von der Entsorgung zur Rohstoffwirtschaft*, der BSR *Was bringt die Wertstofftonne* und der TU Dresden *Stand und Perspektiven der Verwertung von ausgewählten Stoffströmen zur Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes* geben Antworten auf einige Fragen.

Es sind aber auch die Grenzen des Machbaren und Sinnvollen immer wieder neu auszuloten. Das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie beleuchtet *Chancen und Grenzen einer Circular Economy*, die Hochschule für Technik Rapperswil aus der Schweiz wirft die Frage auf *Recycling ist gut, mehr Recycling ist besser – oder nicht?* Die *Circular Economy Coalition for Europe-CEC4Europe* gibt darauf eine eigene Antwort.

Europäische und nationale Politik reagiert mit der Setzung von Rahmenbedingungen, um den großen Herausforderungen zu begegnen. Die *Rohstoffpolitik des Europäischen Parlaments* wird ebenso vorgestellt wie die *Europäische Rohstoffpolitik aus Sicht eines Mitgliedsstaates*, eine kritische Auseinandersetzung hier aus Sicht der Bundesrepublik Österreich. Drei ganz wesentliche Initiativen in der Bundesrepublik Deutschland stellen die Weiterentwicklung des Ressourceneffizienzprogrammes ProgRess *ProgRess II – Und wie es weitergeht, Neues vom Deutschen Ressourceneffizienzprogramm*, die Entwicklung des Wertstoffgesetzes *Stand der Arbeiten zum Wertstoffgesetz*, unter Federführung des Bundesumweltministeriums und die Fördermaßnahmen des Bundeministeriums für Bildung und Forschung *Beiträge der BMBF-Forschungsförderung zu einer nachhaltigen Rohstoffversorgung* dar. Weitere erhebliche Unterstützung erfährt das Thema auch durch die Aktivitäten des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi.

3. Entwicklung von Netzwerken und Kooperationen als Innovationstreiber

In den Bänden der letzten Jahre wurden verschiedene deutsche und europäische Netzwerke und Kooperationen vorgestellt, die sich neu gegründet hatten. Viele von diesen haben sich etabliert und eine positive Weiterentwicklung erfahren. Im Rahmen des diesjährigen Bands wurde auf die Vorstellung einzelner Verbünde verzichtet.

Schlagwortverzeichnis

A

Abfallverbringungen
  grenzüberschreitende
    illegale 337
    Kontrollen in Niederbayern 336
Abfallverbringungsverordnung (EG) 331
Abfallvermeidung 524
Abfallwirtschaft
  wirtschaftlich-ökologische Optimierung 87
Abiotic Depletion Potential (ADP) 246
Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) 518
Afrika 129
Akkumulatoren
  lithiumhaltige 412
Altbeton
  Mikrowellensensibilität 235
Altfahrzeugrecycling 275
Altpapier 8, 44, 547, 557
  -Einsatzquote 558
  -Fraktion
    gemischte
      Sortierung 618
  -Recycling 548, 589
Altprodukte
  als Rohstoffquelle 6
Alttextilien 51
Aluminium 483
Aluminiumnutzlager 486
Aluminiumrecycling 86
Aluminiumschrottaufkommen
  Prognose mittels
    dynamischer Modellierung 483
Aluminiumversorgung
  Importabhängigkeit 485
Anthropogenic Stock Extended Abiotic
    Depletion Potential (AADP) 246
Antimon 391
  hydrometallurgische Primärerzeugung 397
  pyrometallurgische Primärerzeugung 395
  Recycling 391
    aus Leiterplattenschrotten 400
    mechanisch-hydrometallurgisches 391
  sekundäre Quellen 398
  Vorkommen und primäre Gewinnung 393
Aufarbeitung 499
Aufbereitung
  nassmechanische 210
Aufschlusszerkleinerung 593
Aushebeschwachfeldscheider 461
Ausmeltreaktor 509
Auto-ID-Systeme 315

B

Ballen 621
Ballenbeprobung
  direkte 628
Basel Abfalllisten 329
Basler Konvention 328
Batteriemanagementsystem 278
Batterien 295
  aus Hybrid- und Elektrofahrzeugen 276
Batteriezellen
  Recycling 284
Bauen
  nachhaltiges 34
Behälterglas
  Verwertung 49
Beprobung
  von Abfällen in Ballen 621
Beprobungsmethoden 624
Best-of-two-Worlds Projekt 123
Beton
  Aufschluss 229
Bindemittel
  hydraulisches 477
Bioabfall 43
Bioenergie 181
Biogas 184
Biokohle 473
Biokunststoffe 524
Biomasse
  stoffliche Nutzung 573
Biomasseaufschluss 179, 184
Biotonne
  Anschlussgrad 43
Bioverfügbarkeit 182
Blei 415
Blei-Säure-Batterien
  Recycling in Afrika 123
Bleisilikatglas 415
BMBF-Forschungsförderung 113
Bodenzusatzstoff 183

C

CalciTech SCC-Prozess 579
CENELEC-Standards 351
Chips 155
Circular Economy Coalition for Europe 11
CO_2
  stoffliche Nutzung 120
CRT-Glas 415

D

Deinkbarkeit
  Bewertung 563
Deinking 564
Deinkingschlämme 576
De-Materialisierung 36
Deponienachsorge 194
Deponie Pohlsche Heide 195
  durchschnittliche
    Stoffzusammensetzung 195
Deponierückbau 193, 209
Dicalciumsilikatzerfall 471
Druckerzeugnisse 560
Dysprosium 101

E

EG-Abfallverbringungsverordnung 331
Einwellen-Zerkleinerer 592
Eisen 419
Eisenschrott
  verunreinigter
    Zusammensetzung 456
Electronic Product Environmental
    Assessment Tool (EPEAT) 353
Elektroaltgerätemarkt
  Akteure 347
ElektroG 335, 346, 350
Elektrolyse 510
Elektromobilität 275
Elektromotoren 275
Elektro(nik)altgeräte 311
  grenzüberschreitende Verbringung 327
  Mengenschwund 355
  Rückgewinnung kritischer Metalle 373
  Rückgewinnung von Spurenmetallen 141
  Transport 337
Elektro(nik)kleingeräte 312, 345
Elektro(nik)schrott
  Aufbereitung
    in Afrika 339
  Aufkommen 327
  Recycling
    in China 80
    in Ghana 80
    in Schwellenländern 80
Elektroofenschlacke 474
  neue Märkte 476
Elektrostahlwerk 469
Elektro- und Elektronikgerätegesetz
    335, 346, 350
Elektro- und Hybridfahrzeuge 98
  Recycling 275
Energiepflanzen 190
Energierohstoffe 33
Enhanced Landfill Mining 193
  Wirtschaftlichkeit 197, 201
Entschichtung
  von galvanisierten Kunststoffen 605
Entstückung 363
EPEAT 353
Erstbehandlungsanlagen 347
  zertifizierte 347
ESSENZ-Methode 243
EU Kreislaufwirtschaftspaket 2014 12
EU Kreislaufwirtschaftspaket 2015 14, 29
European Innovation Partnership (EIP)
  Raw Materials 6
E-Waste 129
E-waste Africa Project 340
Extraktion 188

F

Fahrzeuge 295
  Recycling 275
Fahrzeugindustrie
  Bestandteil des Life Cycle Assessment 295
Fehlbefüllungsquote
  Wertstofftonne 68
Feinrejekte 576
Fest-Flüssig-Trennung 189
Feuerraffination 505, 510
Filterstaub
  Pyrolyse 386
Flotationsdeinking 561
Flüssig-Flüssig-Extraktion 189
FONA 116
Fördermaßnahme r³ 253
Forschungsförderung 113

G

Gallium 141
  Stoffflussanalyse 144
Gas- und Öldruckdämpfer
  Aufbereitung 444
Gebrauchtware
  Kriterienkataloge zur Einstufung
    als Abfall/Nicht-Abfall 339
Gelbe Tonne 59

Generatoren in Windkraftanlagen 102
Germanium 177
  Gewinnung
    aus Biomasse 177
    Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 189
  -abtrennung 187
  -dioxid 188
  -freisetzung 185
  -tetrachlorid 188
German Resource Research Institute (GERRI) 6
Gesamtrohstoffproduktivität 35
Getränkebehälter
  Sammelquoten 313
Getränkeverpackungen 312
Ghana 80, 339
Glas 48
Grenzflächenversagen
  mikrowelleninduziertes 229

H

Halbzeugherstellung 432
Haldenkataster 257
Hammer- und Prallbrecher 592
Haushaltskleingeräte 319, 346
HCl-Laugung 175
Hintergrundbeleuchtung
  quecksilberhaltige 173
Hochleistungspermanentmagnete 96
Hüttennebenerzeugnisse 476
Hüttenreststoffe 476
Hybridfahrzeuge 98
  Recycling 275

I

Importabhängigkeit 488
InAccess 163
Indium 415
  Rückgewinnung 163
Indium-Zinn-Oxid 415
Industrie
  metallurgische 429
Industrie 4.0 547, 550
Informations- und Telekommunikationsgeräte 311
INTRA r³ 254
Isasmelt-Reaktor 509
IT-Infrastruktur 369

K

Kesselasche 188
KIC EIT Raw Materials 6
Klassierung 458
Know-How-Transfer 126
Komplexbildner 188
Kompostierungsanlagen 533
Kompostqualität
  Verschlechterung durch Bruchstücke nicht abbaubarer Kunststoffe 532
Kompostwerke 533
Konditionierung
  thermische 373
Konstruktionssystematik
  Integration des Recyclings 298
Kontrolle und Überwachung
  grenzüberschreitender Abfallverbringung 336
Kontrollgebietsbehörde 336
Konvertieren 509
Krätzen 499
Kreislauf
  geschlossener 311
Kreislaufwirtschaftsgesetz
  Umsetzung 39
Kreislaufwirtschaftspaket
  der EU Kommission 11, 29
Kunststoffe 49
  Aufkommen 50
    in Österreich 22
  biologisch abbaubare 523
  galvanisierte
    Entschichtung 605
  Gemische 520
  Recycling 8, 515, 621
    Grenzen des Recyclings 516
  Recyclingquote
    bei der bestehenden LVP-Sammlung 68
  Sortierung 350, 615
  Verwertung 50
Kupfer 497
Kupferreststoffe
  Aufarbeitungsverfahren 497, 507
    konventionelles 506

L

LAGA M31 351
Lager
  anthropogenes 23
Landfill Mining 193, 209

Laptop-Recycling 90
Lävulinsäure 580
LCD-Bildschirmgeräte 415
  Aufbau und Funktion 164
  Aufkommen, Sammlung und Erfassung 165
  enthaltenes Quecksilber 172
  Materialzusammensetzung 165
  Recycling 163
  Zerlegung 168
Leichtbaustrukturen
  Berücksichtigung der Recyclingfähigkeit im Produktentwicklungsprozess 296
Leistungselektronik 275
Leiterplatten 361
  Aufbereitung 391
    zur Kupfer- und Edelmetallrückgewinnung 399
  aus Telekommunikations-Netztechnik 362
  Recycling 369, 399
  Verwertungspfade 362
Life Cycle Assessment 295
Linearschwingsieb 462
Lithium-Gewinnung 412
Lithium-Ionen-Akkumulatoren 277, 412
Logistikkosten 89

M

Magnetanwendungen
  Bedarf an Seltenen Erden 107
Magnetscheider
  ballistischer 459
Makrostickys 561
Materialaufwand
  kumulierter 263
Materialeffizienz 259
Materialverbund 603
  Keramik – Metall 605
  Kunststoff – Metall 601
Mehrdecksieb 458
Metalle 7
  kritische 256, 373
    Recyclingstrategie für die Rückgewinnung 378
  Preise 424
  Produktion 432
  Recycling 79, 517
  wirtschaftsstrategische 254
Mikrowellenbehandlung
  zur Entfestigung von Beton 234
Minenkapazität 247
Minerale
  wirtschaftsstrategische 254
Mischkunststofffraktion
  thermisch verwertbare 616
Mittelfrequenz-Induktionsofen 504
Mobiltelefone 381
  enthaltene Leiterplatten 383
Motortechnologien 100

N

Nachhaltigkeit 264
Nachwuchsforscher 121
Nahfeldinfrarot (NIR)-Sortieranlagen 518
Nahinfrarotsensoren 350
Nasssetzmaschine 213
NdFeB-Magneten 96
NE-Metalle 419
Neodym 101
Netzwerke und Kooperationen
  als Innovationstreiber 5
NiMH-Zellen 277

O

Ökobilanzierung 263
  Avoided-Burden-Approach 86
  im Fahrzeugbau 295
  Integration des Recyclings 300
  Methodik 245

P

Papier
  -industrie 574
  -kreislauf 549
  Herstellung
    Menge und Zusammensetzung der Reststoffe 575
    Verwertungswege für Reststoffe 573, 577
  Papierwirtschaft 4.0 552
  Recycling 548, 589
  Wertschöpfungskette 547
Pfand 312
Pfandhöhe 319
Pfandpflicht
  für Starterbatterien 313
Pfandsysteme
  Erfahrungen 312
  für Elektro- und Elektronikkleingeräte 311
  für Getränkeverpackungen 312
Phytomining 179, 190

Polymere
Recycling 8, 515, 621
Grenzen des Recyclings 516
Power-LED-Beleuchtung 613
Power-to-X-Technologien 120
Praseodym 101
Primäraluminium 484
Primärenergiebedarf 263
Probenahme
nach dem Stand der Technik 624
Produktausbringen und -güte
Optimierung 453
Produktlebenszyklus 551
nachhaltiger 305
Produktverantwortung 75, 347
ProgRess II 27
Pyrolyse 373
Grundlagen 379

Q

Qualitätsmanagement
Altpapier 552
Quecksilber
in LCD-Bildschirmgeräten 172
Querstromzerspaner 592

R

r³-Fördermaßnahme 8
gesamtwirtschaftliche Effekte 260
Integration und Transfer 253, 269
R2 Responsible Recycling 354
Raw Material Consumption (RMC) 35
Rebound-Effekte 36
Recycling 254
Grenzen 304, 516
marktgetriebenes 82
metallurgisches 377
Recycling 4.0 411
Recyclinggebühr
vorgezogene 90
Recyclingkunststoffe 621
Recyclingquoten
aktuelle 41
Recyclingsysteme
ökologische Optimierung 85
wirtschaftliche Optimierung 81
Recyclingwirtschaft
Chancen und Herausforderungen 551
Recyclingziele 19
Ressourcenanalytik 256
Ressourceneffizienz
integrierte Methode
zur ganzheitlichen Berechnung 243
Ressourceneffizienzpotenziale 262
Ressourceneffizienzprogramm
Deutsches 27
Ressourcensicherung 209
Ressourcenverbrauch
abiotischer 246
Ressourcenwirtschaft 515
Rezyklate 515
Rezyklierbarkeitsbewertung
von Druckerzeugnissen 562
Rhizosphäre 182
Richtlinie über Elektro- und Elektronik-
Altgeräte 334
Roboter 364
Rohstahlerzeugung 430
CO_2-Emissionen 431
Energieverbräuche 431
Rohstoffverbräuche 431
weltweite 425
Rohstoffbasis
Sicherung 118
Verbreiterung 120
Rohstoffbedarf 5
Rohstoffe
für Zukunftstechnologien 93
Rohstoffforschung 116
Rohstoffmärkte 3
volatile 355
Rohstoffproblematik 114
Rohstoffproduktivität 35
Steigerung 117
Rohstoffversorgung 4
nachhaltige 113
Röntgentechnik 350
Rotorscheren 592
Rücknahmestruktur 318

S

Schadstoffentfrachtung 349
Schlacken 499
sekundärmetallurgische 470
Schlackenbeet 476
Schlämme 499
Schrottfahrzeuge
mit Beiladungen 337
Schrotthandel 437

Schrottsorten
Preisentwicklung 440, 455
Schwachfeldscheider 461
Sekundäraluminium 484
Sekundärrohstoffe 254, 311
Nachfrage 24
versus Primärrohstoffe 450
Selbstversorgungsgrad 488
Seltene Erden 96
Bedarf 2035 100
Sensorfusion 612
VIS/NIR 614
Separation
von metallhaltigen
Verbundwerkstoffen 601
Setzbetttechnik 210
Siedlungsabfalldeponien
Rückbau 211
Sortierung
der Wertstofftonne 68
optische 611
sensorgestützte 350
Spektrometer-Scanner (VIS)
visuelle 350
Spuckstoffzöpfe
Charakterisierung 590
Recycling 589
Stahl 419
Stahlproduktion 438
Stahlschrotte
verunreinigte 453
Stahl- und Metallbranche
in Europa und Deutschland 439
Stahlwerk 469
Starterbatterien 313
Stäube 499
Staubrezyklierung 479
Stoffflussmodellierung
dynamische 486
Substitution 254
auf Materialebene 106
auf Technologieebene 107
SWOT-Analyse 267

T

Tantal 363
-kondensatoren 363
Technologiemetalle 254
Technology Readiness Level (TRL) 267
Telekommunikations-Netztechnik
strategische Recyclingrohstoffe 361
Terbium 101
Tonne
Gelbe 59
nasse 59
trockene 59
TönsLM 193
Top Blown Rotary Converter
(TBRC) 508
Traktionsbatterien 275
Zerlegung 283
Treibhausgasemissionen 263
Trockenwäsche 614

U

Urban Mining 254

V

Verbringung
grenzüberschreitende von Elektro- und
Elektronikaltgeräten 328
Verbundbaustoffe
Aufschluss 229
Verbundwerkstoffe 603
metallhaltige 601
Verfügbarkeit
physische 246
sozio-ökonomische 246
Vernetzung 256
Verpackungsprodukte 564
Rezyklierung 564
Versorgungssicherheit 258
Verwertungsquote
aktuelle 41
VIS/NIR-Sortierer 611
Vorbrecher 348
Vorsorgeforschung
für Nachhaltigkeit 115
Vorzerkleinerung 592

W

Wärmerückgewinnung 474
WEEE 126, 346
mechanische Aufbereitung 376
WEEE Label of Excellence 352
WEEELABEX-Standards 352
WEEE-Richtlinie 334
Werkstoffe
biologisch abbaubare 524

Werkzeuge
elektrische und elektronische 319
Wertschöpfungsnetz 551
Wertstoffe 56, 63
Rückgewinnung aus Siedlungsabfall- und Schlackendeponien 193
Wertstofferfassung
Entwicklung 42
Wertstoffgesetz 56
Lenkungswirkung 75
Wertstoffsammlung
Kosten 76
Wertstofftonne 55, 516
der örE
für die stoffgleichen Nichtverpackungen 59
Fehlbefüllungsquote 68
gemeinsame für Leichtverpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen 59
wirtschaftliche Aspekte 73
Windkraftanlagen
Generatortechnologien 102

Z

Zerkleinerung
elektrohydraulische 603
für Aufgabegut
mit zähem Stoffverhalten 591
Zick-Zack-Sichter 349
Zinnwaldit 412
Zukunftstechnologien 93, 419