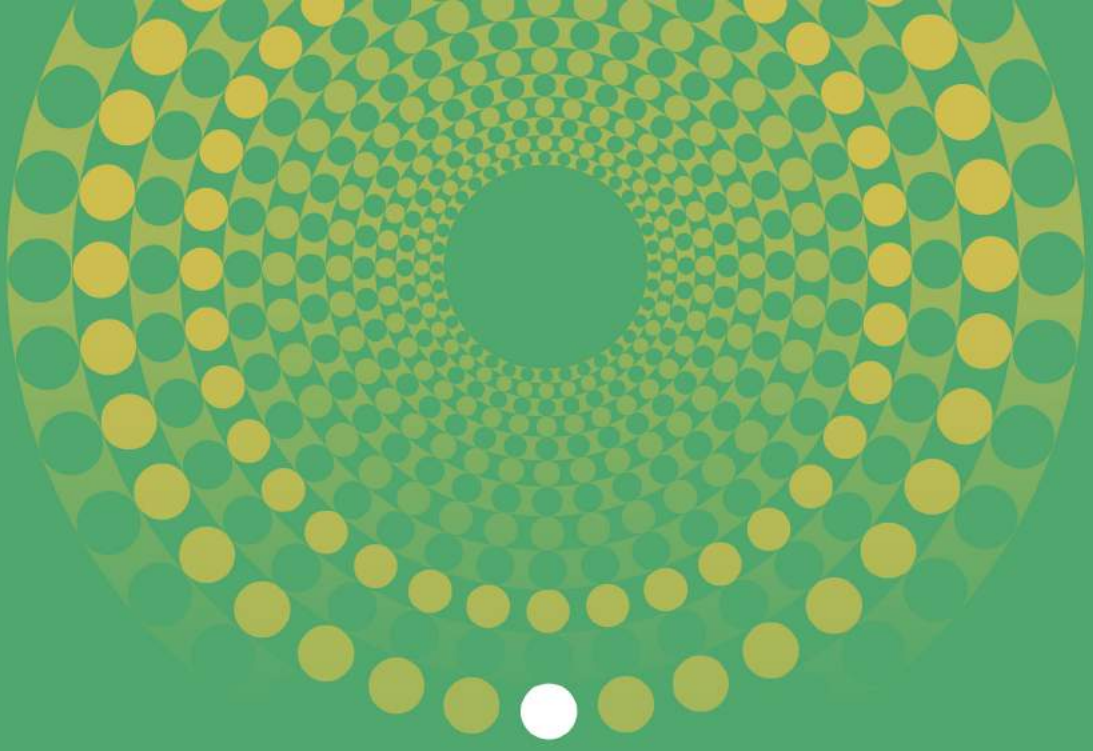


Stephanie Thiel • Olaf Holm • Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann • Bernd Friedrich

Recycling und Rohstoffe

Band 12

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 • Olaf Holm • Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann • Bernd Friedrich (Hrsg.):
Recycling und Rohstoffe – Band 12

ISBN 978-3-944310-46-6 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

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

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2019

Redaktion und Lektorat:	Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.
Erfassung und Layout:	Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Claudia Naumann-Deppe, Janin Burbott-Seidel, Ginette Teske, Sarah Pietsch, Roland Richter, Cordula Müller, Gabi Spiegel
Druck:	Beltz Grafische Betriebe GmbH, Bad Langensalza

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 – Recht

Recycling 4.0 – Auf dem Weg zur Digitalisierung der Kreislaufwirtschaft
Daniel Goldmann 3

Smart Waste – Wie Digitalisierung und IoT die Welt des Abfalls verändern –
Ralf Mittermayr und Sandra Klünsner 15

Parallelen zwischen Energie- und Rohstoffwende
– Zur Bedeutung von neuen Businessmodellen, Digitalisierung und Mittelstand –
Eveline Lemke 25

Die EU als Recyclingstrategin
Kathrin Glastra und Reinhard Bütikofer 33

Herausforderungen für den Sekundärrohstoffmarkt im Kunststoffbereich
zwischen chinesischen Handelsrestriktionen und der Kunststoffstrategie der EU
Ulrich Teich 47

Umsetzung des Verpackungsgesetzes
Hartmut Gaßner 67

Stand der Umsetzung der novellierten Gewerbeabfallverordnung aus Sicht der Wirtschaft
Peter Kurth und Jens Loschwitz 75

Recyclingquoten – Wo stehen Deutschland, Österreich und die Schweiz
mit dem neuen Rechenverfahren im Blick auf die EU-Ziele?
Thomas Obermeier und Sylvia Lehmann 85

Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft –
welche Beschäftigungseffekte bringt die optimierte Restabfallbehandlung?
Michael Altendorfer, Roland Pomberger und Ulrike Gelbmann 99

Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft
– Aktuelle Fördermaßnahmen des BMBF –
Helmut Löwe 119

r+Impuls – Ergebnisse aus den Forschungsvorhaben
zu Geschäftsmodellen und rechtlichen Rahmenbedingungen
Christian Sartorius, Michael Pittroff, Klaus Opwis, Nils Schirmer
und Christoph Fleischer-Trebes 131

Wiederverwendung / Nutzungsverlängerung von Produkten

Übersicht über den Gebrauchtmarkt für elektronische (IT) Geräte
Thomas Holberg 145

EU WEEE Richtlinie 2012:
Wie geht das Gesetz mit Gebrauchtgeräten um?
Hans-Jochen Lückefett 159

FairCup
ein Pfand-Mehrwegsystem – vielseitig einsetzbar
Sibylle Meyer 169

Kunststoffe

Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017
Christoph Lindner 179

Kunststoffe in der Umwelt

Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik
– Quellen, Mengen, Ausbreitung, Wirkungen und Lösungsansätze –
Jürgen Bertling, Ralf Bertling, Leandra Hamann, Torsten Weber und Markus Hiebel 193

Maßnahmen und Lösungen gegen die Verschmutzung der Meere mit Kunststoffen
Stefanie Werner 209

Harmonisierung von Untersuchungsverfahren für (Mikro-)Plastik in der Umwelt
Ulrike Braun und Claus G. Bannick 221

Recycling von Kunststoffen

Markt für Kunststoffrecycling in Deutschland bis 2025
Dirk Briese 233

Kunststoffrecycling lohnt sich nicht
Rainer Bunge 245

Kunststoffrecycling lohnt sich doch – eine Replik auf *KuRVe*
Thomas U. Probst und Thomas W. Fischer 259

Separationstechnologie für schwarze Kunststoffe
Andreas P. Wunsch 267

Hürden für das Recycling von Kunststoffen aus Elektro(nik)-Altgeräten durch die Begrenzung von POPs – Neufassung Stockholmer/Basler Konventionen und der EU POP VO –
Chris Slijkhuis 277

Auswirkungen neuer Anwendungsverbote für Flammschutzmittel in Kunststoffen auf das Recycling von Altfahrzeugen
Georg Mehlhart, Alexandra Möck und Daniel Goldmann 289

Elektro- und Elektronikgeräte

Rohstoffe im Kreislauf führen, Schadstoffe ausschleusen – zum Umgang mit Elektroaltgeräten –
Bettina Rechenberg, Christian Kitazume, Regina Kohlmeyer, Axel Strobelt und Sina Kummer 311

**WEEE Compliance Promotion Exercise –
aktuelle Herausforderungen und gute Beispiele
zur Bewirtschaftung von Elektroaltgeräten aus den EU-28**
Maximilian Kling und Ferdinand Zotz 331

**65+
Wie steigern wir die Erfassungsquote für Elektroaltgeräte
auf mindestens 65 % der in Verkehr gebrachten Neugerätemenge?**
Dirk Schöps 341

**Digitalisierung in der Kreislaufwirtschaft am Beispiel der automatisierten Demontage
für Cascade Use Anwendungen und Recycling**
Jan Henning Seelig, Sven Birkenfeld, Oliver Keich und Torsten Zeller 349

**Funktionierende Kreislaufwirtschaft am Beispiel der Altlampensammlung
– Möglichkeiten kollektiver Rücknahmesysteme –**
Sarah Tschachtli, Hermann Nordsieck, Christian Brehm und Wolfgang Rommel..... 363

**Aufbereitung von Kühlgeräten, differenziert nach dem Treibmittel FCKW oder Pentan
zur Reduktion der Betriebskosten und Optimierung der Entsorgung**
Stefan Schwellinger und Thomas Dietershagen 379

Elektromobilität

Materialkreisläufe der Energiewende: Potentiale, Technologien, Nachhaltigkeit
Liselotte Schebek, Oliver Gutfleisch, Jürgen Gassmann und Jörg Zimmermann 395

Rohstoffe für die Verkehrswende
Kristine Sperlich, Mechthild Baron und Vera Susanne Rotter..... 411

**Neueste Szenarien zum Rohstoffbedarf der Elektromobilität und Recyclingpotential
zur Bedarfsbefriedigung**
Peter Dolega 435

Metalle

**Innovatives Polymetallrecycling –
Herausforderungen und Lösungsansätze an Schnittstellen der Prozesskette**
Elinor Rombach und Bernd Friedrich 453

**Perspektiven des Stahlrecyclings
– Beitrag zur weltweiten CO_2-Reduktion wird noch signifikanter**
Daniela Entzian 475

**Rückgewinnung von Edel- und Sondermetallen:
Potenziale, Maßnahmenoptionen und ihre Bewertung**
Siegfried Kreibe, René Peche und Michael Krupp 489

**Superlegierungsschrotte auf Basis von Nickel und Cobalt
– Aufbereitung und Qualitätssicherung auf dem Weg zurück zum High Tech Metall –**
Joachim Lüning 505

**Systemkonzeptionierung in der Planung von Großschredderanlagen
unter dem Einfluss umweltrechtlicher Veränderungen**
Torben Kraffczyk und Daniel Goldmann 521

**Beitrag zur Entwicklung des Recyclings von Magnetwerkstoffen mit Legierungsanteilen
aus Elementen der Lanthanoidengruppe mittels Sortier- und Aufbereitungsverfahren
in der Prozessvorbereitung**
Thomas Rump, Ralf Holzhauer und Rüdiger Deike 531

Innovationen im Bereich der Wirbelstrom-Sortiertechnik
Georg Doninger, Christian Karl und Helmut Flachberger 543

**LIBS-basierte Sortierung
– Eine Lösung für Automobilschrott –**
Claudius Laska, Georg Rombach und Nils Bauerschlag 557

Sensorgestützte Sortierung von legierten Metallschrotten
Martin Geisler, Sven Connemann und Cord Fricke-Begemann 567

Verfahren zur Entölung von kühlschmierstoffbehafteten Metallspänen und -schlämmen
Carsten Reschke, Daniel Schubert, Holger Biedermann und Rüdiger Deike 581

Rückgewinnung von Zink aus Stahlwerksstäuben durch gemeinsame Behandlung mit chloridhaltigen Reststoffen
Christopher Hamann, Marina Spanka, Dirk Stolle, Christian Adam und Gerhard Auer 593

Dank 609

Autorenverzeichnis 613

Inserentenverzeichnis 619

Schlagwortverzeichnis 623

Wirtschaft – Strategie – Recht

Recycling 4.0 – Auf dem Weg zur Digitalisierung der Kreislaufwirtschaft

Daniel Goldmann

1. Potentiale und Systemgrenzen effizienter Recyclingtechnologien und intelligenter Kreislaufwirtschaftsstrukturen 4

2. Ausgangssituation und Herausforderungen 7

3. Fallbeispiel Automobil 8

4. Schritte zu einer koordinierten Closed-loop Supply Chain 9

5. Das Projekt Recycling 4.0 – Digitalisierung als Schlüssel für die *Advanced Circular Economy* am Beispiel innovativer Fahrzeugsysteme 11

6. Perspektiven 13

7. Quellen 13

Zunehmend komplexere Produkte und damit auch Abfallströme, eine steigende Bedeutung von Abfall als Rohstoffquelle und aufwändigere Prozessketten verlangen die Weiterentwicklung der bisherigen Kreislaufwirtschaft. Höhere Flexibilität bei der Verarbeitung von Abfallströmen und damit verbunden ein schneller und möglichst vollständiger Datensatz an Informationen, der den Fluss von Stoff- und Komponentenströmen begleitet, ist zur Steuerung von technischen sowie Geschäftsprozessen notwendig. Eine effiziente ganzheitliche Steuerung von Recycling- bzw. Verwertungssystemen existiert bis zum heutigen Tage jedoch noch nicht. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass erst jetzt einerseits Systemkomplexitäten, die eine entsprechende Steuerung zwingend erfordern und andererseits die Basis für die Schaffung geeigneter Instrumente zu deren Beherrschung gegeben sind.

Durch eine zunehmende Digitalisierung industrieller Prozesse können entlang von Supply Chains große Datenmengen gewonnen werden. Das Potenzial, die gewonnen Daten mit innovativen Auswertungs-, Prognose- und Planungsmethoden bzw. -werkzeugen zu verknüpfen, wird oft im Kontext des Begriffs *Industrie 4.0* genannt. Digitalisierung, eine effektive Informationsbereitstellung und die Verknüpfung der verschiedenen Akteure zu Closed-loop Supply Chains können helfen, die Probleme der Zukunft auch in der Kreislaufwirtschaft anzugehen.

Hierzu sind Potentiale und Systemgrenzen effizienter Recyclingtechnologien und intelligenter Kreislaufwirtschaftsstrukturen auszuloten, die in diesem Rahmen angemessenen Möglichkeiten durch eine Digitalisierung zu charakterisieren und Lösungsansätze zu entwickeln.

1. Potentiale und Systemgrenzen effizienter Recyclingtechnologien und intelligenter Kreislaufwirtschaftsstrukturen

Effiziente Recyclingtechnologien und intelligente Kreislaufwirtschaftsstrukturen haben das Potential, einen wesentlichen Beitrag zur Rohstoffsicherung zu leisten [7]. Deutschland und andere Industrienationen Europas verfügen über hervorragende Voraussetzungen, einen wachsenden Teil ihrer Ressourcensicherung über Maßnahmen des Recyclings zu bewerkstelligen, denn den Nachteilen aus teilweise höheren Lohn- und Sozialkosten sowie Umweltstandards stehen viele Vorteile gegenüber. Dies sind eine hervorragende Verkehrsinfrastruktur und das Vorhandensein kompletter Produktionsketten von der Grundstoffindustrie über Halbzeughersteller bis zum Produkthersteller. Daneben existieren bereits heute effiziente Abfallwirtschaftssysteme, intelligente Recyclingtechnologien und eine Vielzahl von Maschinen- und Anlagenbauern in diesem Bereich. Die erforderlichen Weiterentwicklungen können daher auf hohem Niveau aufsetzen. So ist die Sekundärrohstoffbranche und damit der Entsorgungs- und Recyclingsektor nach Angaben des Instituts der deutschen Wirtschaft in Köln der wachstumsstärkste Wirtschaftssektor in Deutschland. Im Zeitraum von 1995 bis 2009 konnte der Umsatz um 520 % gesteigert werden. Im Jahre 2010 lag der Produktionswert der Sekundärrohstoffe bei etwa 10 Milliarden EUR. Damit stellt die Branche einen Sektor von relevanter volkswirtschaftlicher Bedeutung dar.

Eine zunehmend schwer überschaubare Zahl von Faktoren beeinflusst aber die Recyclingmärkte und erfordert weitergehende Beobachtungs- und Steuerungsmechanismen um betriebs- aber auch volkswirtschaftlich tragfähige Lösungen zu erreichen. Den wachsenden Herausforderungen ist daher auch mit neuen Strategien und Strukturen zu begegnen. Es ist dabei unerlässlich, Annahmen über Rohstoffverbrauch und Rohstoffsicherungskonzepte, globale politische Entwicklungen im Umweltbereich und den Platz, den in diesem Spannungsfeld das Recycling einnimmt, zu treffen und daraus Schlüsse für das eigene Handeln zu ziehen. Methodische Ansätze wie jene der System Dynamics Methode können hier helfen [9, 10, 11].

Bild 1 gibt am Beispiel des Elements Kupfer einen Überblick über Einsatz in Neuprodukten, Bestand und Ausschleusung als End of Life Produkt für alle relevanten Anwendungen.

Mit Hilfe geeigneter System Dynamics Ansätze lassen sich Stock and Flow Systeme berechnen (Bild 2) auf deren Basis übergeordnete Zufluss- und Abflussparameter für ein Kreislaufwirtschaftssystem kalkuliert und als Steuerungsindikatoren eingesetzt werden können.

Schlagwortverzeichnis

3D-Scanner 359

A

Abfallbehandlungsanlagen
  Personalaufwand 103
Abfallbilanzen 344
Abfälle
  gewerbliche und industrielle 76
Abfallmanagement 77
Abfallstrategie
  chinesische 51
Abfalltonne
  intelligente 21
Abfalltrennung 15
Abfallverbrennung 247
Abfallwirtschaft
  Beschäftigte 99
Abfallwirtschaftspaket 86
Advanced Circular Economy 11
Altfahrzeuge 492
  Recycling 289
Altfahrzeugzerlegung
  Entnahme PBDE-haltiger Komponenten 295
Altkunststoffe
  gewerbliche 235
  private 236
  Import/Export 238
  Verwertungswege 235
Altlampen 364
Altlampensammlung 363
Aluminium 557
Aluminiumlegierungen 559
Aluminiumschrotte 557
Anfallstelle 78
Anlagentechnik 75, 83
Arbeitsplätze
  in der Abfallwirtschaft 100
Aufbereitung
  hydrometallurgische 135
Aufklärungskampagnen 367
Aufladeeinheit 271
Aufladung
  tribo-elektrische 268
Automobil
  Lebenszyklus 8
Automobilschrotte 560
Auto-Schredderanlagen 529

B

Barzahlungsverbot 335
Basle Convention 159
Batterien 315
Baubereich
  Kunststoffe 184
Baurestmassen 123
Beryllium
  Schadstoffentfrachtung 326
Beschaffungsstellen 83
Beschäftigungseffekte
  die optimierte Restabfallbehandlung? 99
Betreiber-Erklärung 81
BMBF-Förderinstrumente 125
BMBF-Forschungskonzept 121
Brominated Flame Retardant 279
Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) 139
Businessmodelle 25

C

Cascade Use Anwendungen 349
CENELEC-Normen 312
China
  13. Fünfjahresplan 59
  Kunststoffabfälle 50
Chlordonator 594
Chloride
  gasförmige 596
Circular Economy 146
Closed-loop Recycling 34
Closed-loop Supply Chain
  koordinierte 3
CO_2
  als Kohlenstoffquelle 127
CO_2-Bilanz 78
CO_2-Emissionen 478
Cobalt 505
Cradle to Cradle 26

D

Daheim App 21
Datenlöschung 151
Datenschutz 152
Dauermagnete 531
DecaBDE 289
  in Altfahrzeugen 290
Decabromdiphenylether (DecaBDE) 289
Dekarbonisierungskaskade 411
Demontage 491
  automatisierte 349
Demontagefabrik 353
Design for Recycling 455
Deutschland
  Recyclingquoten 88
Digitalisierung 15, 25, 349, 483
Digitalisierung der Kreislaufwirtschaft 3
Dissipation 457
Dokumentationspflichten 80
dynamische Materialflussanalyse 401

E

Edelmetalle 134, 489
Edelmetallrückgewinnung
  aus Elektroaltgeräten 320
Einwegartikel 38
Einwegbecher 172
Einwegkunststoffprodukte
  in der Meeresumwelt 210
Eisen-Magnet-Schrott 534
Eisen-Magnet-Trennung 538

Elektrifizierung 411
Elektro-/Elektronikbereich
  Kunststoffe 185
ElektroG 311, 341, 363
Elektrogeräte
  Schadstoffentfrachtung 313
Elektromobilität 412, 435
Elektro(nik)altgeräten 277, 311, 331, 341, 380
  Normung der Entsorgung 312
  Kunststoffrecycling 278
Elektronikindustrie 135
Elektronikschrott 146
Elektronikschrottrecycling 273
Elektroofenstaub 594
Elektrostahlroute 481
Elektro- und Elektronikgerätegesetz 311, 341, 363
emissionsrechtliche Forderungen 529
Emissionsspektrometer
  mobile 512
  stationäre 512
Energiewende 25, 395
Entmagnetisierung 534
Entölung 581
Erfassungsquote 341
Ersatzbrennstoffe 263
Erstbehandlungsanlagen 344
erweiterte Herstellerverantwortung 336
EU-Abfallpaket 60
EU Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie 218
EU-POP-Regulierung 289
EU WEEE Richtlinie 2012 159

F

Fahrzeugbereich
  Kunststoffe 184
Fahrzeuge 411
Fahrzeugsysteme
  innovative 11
Fahrzeugzerlegung
  Entnahme belasteter Komponenten 293
FairCup 169
FCKW 379
Festplattenschrott 535
Filterstäube 594
Fishing-for-Litter Initiativen 214
Flammschutzmittel
  bromierte 279, 316
  neue Anwendungsverbote 289
Fluorchlorkohlenwasserstoffe 381
Forschungs- und Innovationspolitik 120
FUESS 513
Fußabdruck
  ökologischer 132

G

Gasentladungslampen 363
Gebrauchtgeräte 159
Gebrauchtmarkt 145
Geisternetze 212
Gerätekategorien 341
Gesamtanlageneffektivität 524
Getrenntsammlungspflicht 78
Gewährleistung 162
Gewerbeabfallverordnung
  Stand der Umsetzung 75
Gichtgasschlamm 594
Global Automotive Declarable Substance List
    (GADSL) 293
Governanceinstrumente 346
Green Fence 53
Großschredderanlagen 521
Gusslegierungen 559

H

Halbleiterindustrie 133
Handelsrestriktionen
  chinesische 47
Handklaubung 571
Hartmetall 570
Haushaltsgroßgeräte 343
Hightech-Metalle 506
Hightech-Sensoren 20
Hightech-Strategie 2025 120
Hochleistungspermanentmagnetscheider 534
Hochofen-Route 481
Hochtemperaturfestigkeit 506
Hydrometallurgie 135, 469

I

Importrestriktionen
  chinesische 55
Importstopp China
  für Kunststoffabfälle 53
Indikatorschadstoffe 313
Industrie 4.0 3
Industrieroboter 359
Informationskampagnen 367
International Material Data System (IMDS) 293
IoT - Internet of Things 15
IT-Asset-Disposition 153
IT-Geräte 145

K

Kältemittel 380
Kaskadennutzung 349
Kehrichtverbrennungsanlagen 265
Kfz-Lichtmaschinen 357
Klärschlamm 203
KMU 78
Knetlegierungen 558
Kobalt 442
Kondensatoren 315
Kreislaufpass 428
Kreislaufwirtschaft 363
  Beschäftigungseffekte 111
  ressourceneffiziente 119

Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) 139
Kreislaufwirtschaftsstrategie 33
Kühlgeräte 379
Kühlgeräte-Recycling 380
Kühlschmierstoffe 581
kumulierter Energieaufwand 264
kumulierter Materialaufwand 264
Kunststoffabfälle 37, 48, 246
  Import und Export 237
  Recyclingmengen 181
Kunststoffabfälle und Verwertung 180
Kunststoffe
  aus Elektronikschrott 273
  bioabbaubare 214
  Hürden für das Recycling 277
  in der Umwelt 193
  Kreislaufführung 127
  mit bromierten Flammschutzmitteln 316
  mit Flammschutzmitteln 277
  schwarze 267
  Separation 267
  Stoffstrombild 179
  thermoplastische und duroplastische 221
  Verschmutzung der Meere 209
Kunststoffe aus Elektroaltgeräten
  werkstoffliche Verwertung 317
Kunststoffeinträge
  in die Gewässer 201
Kunststoffemissionen 195
  in der Siedlungswasserwirtschaft 202
  in Kläranlagen 203
Kunststoffproduktion
  Neuware und Rezyklat 179
Kunststoffrecycling 245, 259
  Ebenen 262
  Markt in Deutschland bis 2025 233
  Kosten 245
  Wertschöpfung 263
Kunststoffseparation
  elektrostatische 267
Kunststoffstrategie
  der EU 47
Kunststoffverarbeitung 48, 180
Kunststoffverbrauch 180, 186
Kunststoffvorkette 260
Kupfer 4

L

LAGA
  Mitteilung 34 76
Lanthanoide 531
Laserinduzierte Plasmaspektroskopie 511, 557, 570
LED-Lampen 363
Legierungen 506, 567
Leichtverpackungen 259
Leiterplatten 321
LIBS 511, 557, 570
LIBS-Technologie 570
Lichtbogenofen 518
Lithium 440
Lithiumbatterien 396
Lithium-Ionen-Zellen 439
Littering 222
Lizenzentgelte
  Ökologisierung 72

M

Magnete 531
  seltenerdhaltige 323
Magnetwerkstoffe 490, 532
Mahlgüter 262
Makroplastik 193
  Rückgewinnung von Infrastrukturflächen 200
  Aufkommen für Deutschland 196
Marine Litter 216
Material Recovery 355
Materialvorbehandlung 471
Materialwende 395
Meeresabfall 209
Meeresumweltschutz 216
Mensch-Maschine-Interaktion 358
Metalle
  strategische 131
Metallrecycling 453, 529
Metallrückgewinnung
  aus Verbrennungsschlacken 95
Metallschlämme 581
Metallschrott 567
Metallspäne 581
Metallurgie 462
metallurgische Recyclingprozesse 463
Mikrokunststoff 221
Mikroplastik 193, 213, 221
  Detektionsverfahren 225
  harmonisierte Untersuchungsverfahren 222
  Probenahme 222
  Probenaufbereitung 222
  Quellen für Deutschland 198
Mindesterfassungsquote 341
mineralische Stoffkreisläufe 123
Mittelstand 25
Mobilitätsstrategien
  Umweltwirkungen 425
Mobilitätsszenarien 436
Muldenbandstrahlanlagen 517
Müllstrudel 211
Multi-Metall-Ansätze 472
MVA 247

N

NdFeB-Magnete 492, 538
Nichtverpackungsabfälle
  stoffgleiche 67
Nickel 444, 505
Nickelbasis-Superlegierungen 570
Null-Abfall-Programm 36
Nutzen
  ökologischer 245
Nutzungsdauer
  Verlängerung 147

O

Ökobilanzen 264
Ökodesign 38
Ökoeffektivität 256
Ökoeffizienz 251
Ökoeffizienzindikator
  SEBI 251
Öl 583
optische Emissionsspektroskopie 511
Ordnungswidrigkeit 82
Österreich
  Recyclingquoten 89
Oxidationsbeständigkeit 506

P

Papierindustrie
  Transformation 29
Partikelklassen 222
Parts Recovery 355
PCB 315
Pentan 379
Perchlorethylen 517
Permanentmagnete 395
Petrolether 517
Pfand-Mehrwegsystem 169
Pflichtrestmülltonne 81
Photovoltaik-Module
  Behandlungsempfehlungen 323
Plastikabfälle 37
Plastik in der Umwelt 127
Plastikmüllabgabe 205
Plastikstrategie 37
Policy Fiches 334
polybromierter Diphenylether (PBDE) 289
Polymetallrecycling 453
Polypropylen 173
Polyurethan-Schaum 381
POP-Regulierung 290
POP-Verordnung 277
PPK-Mitentsorgung
  Integration in die Abstimmungsvereinbarung 70
Produktionscontrolling 523
Produktionsstandort Deutschland 77
Produktverantwortung 72
Prosuming 27
Prozessabwässer 134
Prozesswirtschaftlichkeit 524
Pyrometallurgie 136
pyrometallurgische Prozesse 459

R

r+Impuls 131
REACH-Verordnung 290
Recycling 4.0 3
Recyclingpolitik
  der EU 33
Recyclingquoten
  neue Rechenverfahren 85
Recyclingstrategie
  europäische 43
Recyclingverfahren
  pyrometallische 136
Refurbishing 151
Refurbishment 355
Regranulate 262
Reifenabrieb 222
Remanufacturing 355
Reparatur 159
RESOLVE-Prinzip 25
Ressourceneffizienz 35, 125, 131, 455
  industrielle 126
Ressourcenproduktivität 35
Ressourcenschonung 314
Ressourcenverbrauch
  globaler 33
Restmüll 15
Return-of-Invest 523
Reuse 103, 147, 355
Rezyklate 180, 262
Risikomanagement 522
Rohstoffbedarfe 435
Rohstoffe
  kritische 40, 132, 322
  strategische 39
Rohstoffmix 77
Rohstoffstrategie der Bundesregierung 77
Rohstoffszenarien 435
Rohstoffverfügbarkeit 422
Rohstoffwende 25
Röntgenfluoreszenz-Analysator
  mobiler 570
Röntgenfluoreszenzspektroskopie 511
Röntgentechnologie 559
Rückgewinnungsgrad
  ökologisch optimaler 493
Rücknahmesystem 368

S

Sammeln
  von Kunststoffabfällen 260
Sammelquote 343
Sammelziel 338
Sammlung
  sortenreine 78
Sammlung und Transporte 102
Satzungsrecht 82
Schadstoffe
  persistente organische (POP) 289
Schadstoffentfrachtung 313, 373
  Überwachung 314
Schleifschlämme 581
Schnellarbeitsstahl 570
Schredderbetriebe 521
Schreddernachbehandlung 298
Schredderprozess 297
Schredderrückstände
  Separierung und Verbleib von PBDE und DecaBDE 296
Schrottrecycling 529
Schrottzerkleinerung 516
Schweiz
  Recyclingquoten 90

Sekundärrohstoffe 132
  standortpolitische Bedeutung 77
selektive thermochemische Eliminierung 604
Seltene Erden 39, 531
Seltenerdmetalle 490
sensorgestützte Sortiersysteme 557
Separation
  elektrostatische 268
Separationseinheit 272
Separationstechnologie 267
Separator
  elektrostatische 271
Sichtprüfung 571
Sondermetalle 320, 489
Sortieranalysen 368
Sortieren
  von Kunststoffabfällen 261
Sortierprozesse
  sensorgestützte 567
Sortierung
  lasergestützte 571
Specific Eco Benefit Indicator
  SEBI 251
Spektrometer
  mobile 513
  portable 570
  stationäre 513
Stahlrecycling 475
Stahlschrott 476
Stahlwerksstäube 593
Stiftung Elektroaltgeräte Register 344
Stockholmer/Basler Konventionen
  Neufassung 277
Substitution 132
Substitutionseffekte 181
Superlegierungsschrotte 505
Sustainable Development Goals, SDGs 215
System Dynamics Ansätze 4

T

TA Luft 521
Technologiereifegrade 131
Titanlegierungen 570
Trajektorien 549
Traktionsbatteriezellen 440
Treibmittel 379
Trittbrettfahrer 71

U

überkritisches Kohlendioxid 517
Übernahme-Nachweis 81
Umschmelzen 558
Umweltbehörden 76
Umweltbewertung 223
Umweltnutzen 245
Unintentional Trace Contaminants (UTC) 282
UTC-Grenzwert 282

V

Vakuuminduktionsschmelze 518
Vakuumschmelze 508
Verkehr
  CO_2-Emissionen 411
  Rohstoffe 411
Verkehrssektor 439
Verkehrswende 411
Verpackungen
  Kunststoffe 184
Verpackungsabfälle 67
Verpackungsgesetz 259
  Umsetzung 67
Verschmutzungen
  von PPK-Fraktionen 78
Verwertung
  rohstoffliche 191
  werkstoffliche 191
Verwertungsquoten
  Steigerung 72
Vollzug 75
Vollzugsausfall 78
Vollzugsdefizit 76
Vollzugshinweise zur Gewerbeabfallverordnung 76

W

Wälzprozess 593
Wareneingangsprüfung 569
Wasserhaushaltsgesetz 140
Wasserstoff 480
WEEE
  Grenzübergang 162
  Managementpraktiken 332
WEEE-Kunststoffe 278
WEEE Richtlinie 2012 159, 332
  Annex VI 161
Wertschöpfungskette 137
Wertstoffe 15
Wertstoffentsorgung 67
Wertstoffscanner 19
Wertstofftonne 67
Wiederaufarbeitung 159
Wiederverwendung 147, 351
Wirbelströme 534
Wirbelstromscheider
  exzentrisch 547
  statisch 544
Wirbelstrom-Sortiertechnik 543
Wirbelstromtrennung 534
Wirkungsanalysen 223

Z

Zielquoten 332
Zink 593