Karl J. Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann

Recycling und Rohstoffe

Band 6

TK

Karl J. Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann

Recycling und Rohstoffe

Band 6

TK

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Recycling und Rohstoffe – Band 6
Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.
– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013
ISBN 978-3-935317-97-9

ISBN 978-3-935317-97-9 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 2013
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: Ina Böhme, Petra Dittmann, Sandra Peters,
Martina Ringgenberg, Ginette Teske, Ulrike Engelmann, LL. M.
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

Politik – Strategie – Wirtschaft

Recycling – Säule zur Rohstoffsicherung
Daniel Goldmann und Kai Rasenack 3

Recycling von Haushaltsabfällen – Wunsch und Wirklichkeit
Karl J. Thomé-Kozmiensky 19

Wirtschaftsstrategische Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland
– Forschungs- und Entwicklungsprogramm des BMBF für neue Rohstofftechnologien –
Lothar Mennicken 63

ProgRess – und wie geht es weiter?
Neues vom Deutschen Ressourceneffizienzprogramm
Reinhard Kaiser 73

Ressourceneffizienz im Spannungsfeld zwischen industrieller Wirklichkeit
und politischem Anspruch auf Messbarkeit
Jens Traupe 87

Umgang mit knappen Ressourcen
Monika Bokelmann und Siegfried Kreibe 91

Rohstoffpotenziale in anthropogenen Lagerstätten
– am Beispiel der Untersuchung des Rohstoffpotenzials von Deponien –
Stefan Gäth und Jörg Nispel 109

Möglichkeiten der Kommunen zur effizienteren Wertstoffverwertung
Vera Gäde-Butzlaff 117

Entwicklungen auf den Märkten für mineralische Rohstoffe
Martin Schmitz und Henrike Sievers 129

Verfügbarkeitsbewertung von Rohstoffverbräuchen in Ökobilanzen
Markus Berger, Laura Schneider, Vanessa Bach und Matthias Finkbeiner 141

Holz und Papier

Neue Wege der Sortierung und Wiederverwertung von Altholz
Peter Meinlschmidt, Dirk Berthold und Robert Briesemeister 153

Sammlung und Aufbereitung von Altpapier – ein Berliner Praxisbeitrag
Hanno Thielmann 177

Forderungen der Papierfabriken an die Qualität des Altpapiers für die Herstellung grafischer Papiere – Qualität des gesammelten Altpapiers und Aufbereitungsverfahren –
Ulrich Höke 191

Kunststoffe

Aus der Praxis des Recyclings von Kunststoff
Thilo Lehmann 213

Sortenreine Separation schwarzer Kunststoff-Gemische
Rainer Köhnlechner 225

Weiterentwicklung des Recyclings von faserverstärkten Verbunden
Jörg Woidasky 241

Einsatz von Biokunststoffverpackungen aus Sicht der Abfallwirtschaft
Gernot Kreindl 261

Nanopartikel in End-of-life-Produkten wie PET-Flaschen, Kunststoffen und Reifen – Herausforderungen für die Recyclingbranche –
Jutta Struwe und Eva Schindler 293

Verpackungen

Nutzen und Kosten der deutschen Verpackungsverordnung

Sven Schulze 317

Kommunale Wertstoffverwertung ohne Gelben Sack

Kornelia Hülter und Astrid Franssen 331

Wo liegt der Nutzen des dualen Systems?

Nicole Kösegi 343

Logistik und Verfahrenstechnik

Bedeutung der Datenverarbeitung bei Herstellung, Transport, Handel, Verwertung und Einsatz von Recyclingmaterial

Tristan Niewisch 359

Sensorgestützte Sortiertechnik

Ralph Uepping 371

Rohstoffe zurückgewinnen
– Recycling mittels Pyrolyseprozess –

Franz Hormes 385

Thermische Vorbehandlung von Verbundwerkstoffen

Joachim Beyer 395

Metallurgie mit nachwachsenden Rohstoffen

Jürgen Antrekowitsch und Gernot Rösler 405

Wirtschaftsstrategische Rohstoffe in und aus Abfallströmen

Globale Kreislaufführung strategischer Metalle: Best-of-two-Worlds Ansatz (Bo2W)
Matthias Buchert und Andreas Manhart 419

Einsatz minderwertiger Schrotte und Reststoffsituation beim Recycling von Aluminium
Helmut Antrekowitsch, Helmut Paulitsch und Armin Pirker 433

Potential des Metallrecyclings durch Abfallverbrennung
Alexander Gosten 455

Recycling von Gallium aus Prozessrückständen
Michael Stelter und Oliver Zeidler 471

Rückgewinnung von Spurenmetallen aus Elektroaltgeräten
Vera Susanne Rotter, Maximilian Ueberschaar und Perrine Chancerel 481

Sortierung von Gerätebatterien
Holger Sziegoleit 495

Recycling von Lithium-Ion-Batterien
Reiner Weyhe 505

Rückgewinnung von Seltenen Erden aus Elektronikschrotten am Beispiel von Festplatten
Stephanie Kruse, Daniel Voßenkaul und Bernd Friedrich 527

Recycling von Seltenen Erden aus Sekundärrohstoffen
Stefan Luidold, Alexander Poscher und Matthias Kaindl 533

Recycling von Photovoltaikmodulen
Sebastian Kernbaum und Tammo Hübner 545

Recycling komplexer Wertstoffe aus Altflugzeugen
– Grundlagen und mögliche Handlungsoptionen –
Sebastian Jeanvré und Christian Duwe 559

Ende der Abfalleigenschaft
– Aufwand und Nutzen einer Anerkennung am Beispiel von Fe-, Stahl- und Al-Schrotten und Ausblick auf Glas, Papier, Kupfer, Kunststoffe –
Steffen Wehrens 571

Stäube und Schlacken

Verwertung von deponierten eisenreichen Filterstäuben der Stahlindustrie durch Pelletierung
Eberhard Gock, Volker Vogt, Matthias Sittard, Kurt Lhotzky und Siegfried Bartsch 583

Rückführung von Hüttenreststoffen der Stahlindustrie, insbesondere eisenreichen Filterstäuben, in den Konverterprozess
Tomasz Kupka und Reinhard Scholz 607

Aufbereitung metallurgischer Schlacken
Hermann Wotruba und Lars Weitkämper 623

Verwertung von Elektroofenschlacke
Georg Geißler, Alexandra Ciocea und Anna Mooser 635

Inhaltsverzeichnis folgender Bücher beim TK Verlag 651
Recycling und Rohstoffe – Bände 1 bis 6
Produktverantwortung
Schlacken aus der Metallurgie – Band 1 und 2
Zwischenlagerung von Abfällen und Ersatzbrennstoffen

Dank 677

Autorenverzeichnis 681

Inserentenverzeichnis 699

Schlagwortverzeichnis 705

Recycling von Haushaltsabfällen – Wunsch und Wirklichkeit –

Karl J. Thomé-Kozmiensky

1. Abfallaufkommen und Entsorgungswege 20
2. Offizielle und tatsächliche Siedlungsabfall-Recyclingmengen 23
3. Notwendigkeit der Schadstoffsenke bei der Abfallentsorgung 25
4. Die verschiedenen Verwertungsbegriffe 27
5. Aufbereitung gemischter Abfälle aus Haushalten und Gewerbe 29
6. Mechanisch-biologische Abfallbehandlung 31
7. Verwertung von Verpackungsabfällen 33
8. Abfallverbrennung als Recyclingprozess 47
9. Fazit zur Behandlung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen 53
10. Klärschlammverwertung 53
11. Konsequenzen für Recyclingprozesse 59
12. Quellen 60

Gesetzlich geregelt ist die Abfallwirtschaft in Deutschland seit nunmehr gut vierzig Jahren. Bis dahin basierte die Entsorgung im Wesentlichen auf der örtlichen Situation, meist auf niedrigem Niveau und zwar als Ablagerung ohne Maßnahmen zum Schutz von Boden, Grundwasser, Oberflächengewässern und Atmosphäre. Mit der Industrialisierung und der Erkenntnis der vor allem in Ballungsräumen auftretenden Hygieneprobleme wurden erste Versuche zur technischen Abfallbehandlung unternommen.

Mit dem *Gesetz über die Beseitigung von Abfallstoffen* (AbfG) vom 7. Juni 1972 wurde das Entsorgungsgeschehen in Deutschland erstmalig rechtlich geregelt. Das Gesetz wurde in den folgenden Jahren mehrfach novelliert und vom Abfallbeseitigungsgesetz zum *Abfallwirtschaftsgesetz* (AbfG) vom 27.08.1986 entwickelt. Mit der Novellierung vom 27. September 1994 erhielt das Gesetz die Bezeichnung *Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz* (KrW-/AbfG), wodurch die Verantwortung der Hersteller und Inverkehrbringer von Produkten dokumentiert werden sollte.

Am 1. Juni 2012 – also fast genau vierzig Jahre nach Inkrafttreten des ersten Abfallgesetzes – wurde mit dem *Kreislaufwirtschaftsgesetz* (KrWG) für Deutschland die EU-Abfallrahmenrichtlinie vom 19. November 2008 in nationales Recht umgesetzt. Im Unterschied zur Abfallrahmenrichtlinie wurde der Abfallbegriff aus dem Namen des deutschen Gesetzes gestrichen. Damit soll offensichtlich der Eindruck vermittelt werden, dass der früher geltende Anspruch der umweltschonenden und hygienischen Entsorgung von Abfällen zu Gunsten der vollständigen Abfallvermeidung und -verwertung – Stichwort: *Null-Abfallgesellschaft* – in den Hintergrund getreten ist. Dieser Anspruch geht ebenso an der Realität vorbei wie die Annahme, dass der mit dem neuen Namen des Gesetzes formulierte Ansatz für die primäre Aufgabe der Abfallentsorgung zielführend sein könnte. Im Vordergrund der Abfallentsorgung muss die Daseinsvorsorge stehen, also der langfristige Umwelt- und der Gesundheitsschutz. Im 72 Paragraphen umfassenden Gesetzestext kommt das Wort *Kreislaufwirtschaft* nur in elf Paragraphen vor (1, 3, 7, 10, 11, 12, 17, 23, 25, 26 und 56). Die meisten Bestimmungen beziehen sich auf den Umgang mit Abfällen. Der Name des Gesetzes gibt also den Inhalt nur zum geringen Teil wieder; im weitaus größten Teil des Gesetzes werden abfallrechtliche Aspekte behandelt. Daher ist der Name des Gesetzes irreführend; er weist zudem den Mangel auf, dass eine politische Willensbekundung formuliert und nicht der Inhalt des Gesetzes veranschaulicht wird. Richtiger wäre die Bezeichnung *Abfallgesetz* oder *Abfallwirtschaftsgesetz*, wie auch durch die *EU-Abfallrahmenrichtlinie* vorgegeben. Der Zusatz *Kreislaufwirtschaft* könnte die angestrebte politische Richtung verdeutlichen. Es handelt sich jedoch beim Kreislaufwirtschaftsgesetz weiterhin um ein Abfallgesetz. Warum aber wird der Hauptzweck des Gesetzes hinter dem seinen Inhalt nur unzulänglich beschreibenden Begriff *Kreislaufwirtschaft* versteckt? Hier soll offensichtlich der tatsächliche Sachverhalt beschönigt werden; der Begriff *Kreislauf* verschleiert die Notwendigkeit des umweltverträglichen Umgangs mit Abfällen, die aus unterschiedlichen Gründen nicht oder noch nicht zur Verwertung geeignet sind.

Auch wegen der unabdingbaren Notwendigkeit der Behandlung und anschließenden Beseitigung der Abfälle, die für das Recycling oder die anderweitige Verwertung nicht geeignet sind, führt die Bezeichnung *Kreislaufwirtschaft* für die Konkretisierung des Entsorgungsgeschehens zumindest beim unbefangenen Bürger zur Fehleinschätzung der technischen, ökologischen und ökonomischen Möglichkeiten der Abfallentsorgung.

1. Abfallaufkommen und Entsorgungswege

In Deutschland betrug das Abfallaufkommen im Jahr 2010 etwa 333 Millionen Tonnen (blaue Kurve in Bild 1).

In Bild 2 wird die Herkunft der Abfälle in Deutschland dargestellt. Daraus geht hervor dass nur rund 15 Prozent der Abfälle Siedlungsabfälle sind; nur um diese Abfälle geht es bei diesem Beitrag.

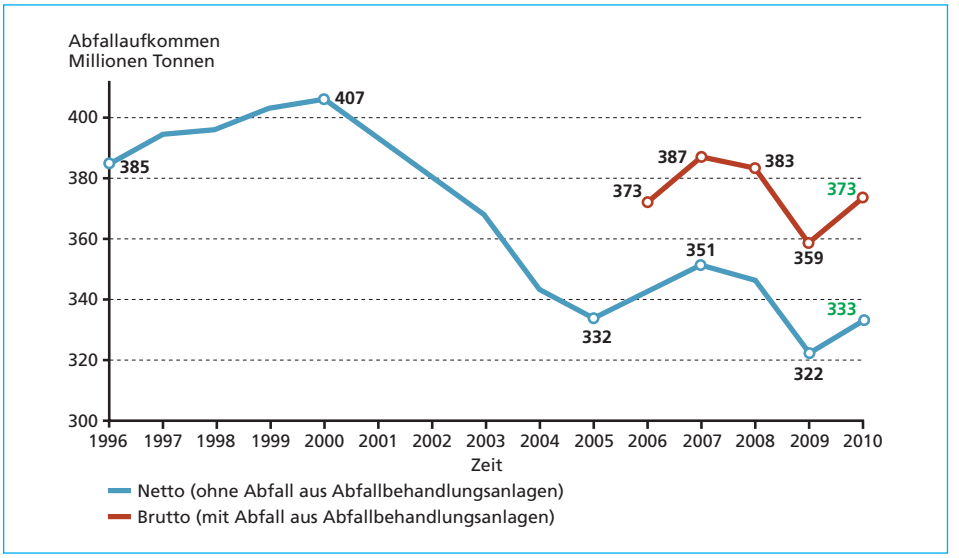


Bild 1: Gesamtes Abfallaufkommen in Deutschland, seit 2006 getrennt nach Bruttoaufkommen und Nettoaufkommen

Quelle: Statistisches Bundesamt, Juli 2012

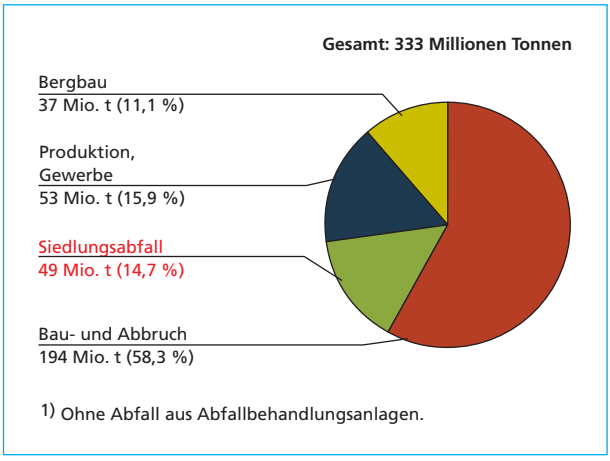


Bild 2:

Herkunft der Abfälle
in Deutschland im Jahr 2010

Quelle: Statistisches Bundesamt, Juli 2012

In Bild 1 wird zusätzlich mit der roten Kurve das Abfallaufkommen zuzüglich des Abfalls aus den Abfallbehandlungsanlagen dargestellt. Damit wird der Anschein erweckt, dass es sich um zusätzlichen Abfall handelt. Dieser Eindruck ist falsch. Konsequenterweise müsste dann noch der Abfall aufgeführt werden, der bei der Behandlung der Abfälle aus allen weiteren Stufen des Abfallbehandlungsprozesses entstehen. Diese Darstellung offenbart das lineare Denken der Autoren bei der Betrachtung des Entsorgungsgeschehens. Bei der Abfallbehandlung handelt es sich jedoch um mehrstufige Prozesse mit vielfältigen Zwischenprodukten; wozu auch stets neue Abfälle gehören, wodurch jedoch das Gesamtaufkommen nicht vergrößert wird.

Der größte Teil des Abfallaufkommens wird von der Wirtschaft in eigener Verantwortung, d.h. privatwirtschaftlich entsorgt, in erster Linie verwertet. Vom Gesamtaufkommen waren etwa 49 Millionen Tonnen Siedlungsabfälle; das sind ungefähr fünfzehn Prozent, wofür zum großen Teil in erster Linie die Kommunen – öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger – zuständig sind. Die Kommunen übernehmen diese Aufgabe selbst oder vergeben sie unter Beibehaltung ihrer Verantwortung nach öffentlicher Ausschreibung an private Unternehmen oder an Public-Privat-Partnership-Unternehmen.

Die Entsorgung der Siedlungsabfälle ist ein wesentlicher Teil der öffentlichen Daseinsvorsorge. Dank der Zuständigkeit der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger haben wir in Deutschland – auch im internationalen Vergleich (Bild 3) – eine Siedlungsabfallentsorgung auf hohem technischen und organisatorischen Niveau, das gleichermaßen hygienische und ökologische, aber auch soziale Aspekte berücksichtigt und dennoch für die Bürger bezahlbar bleibt.

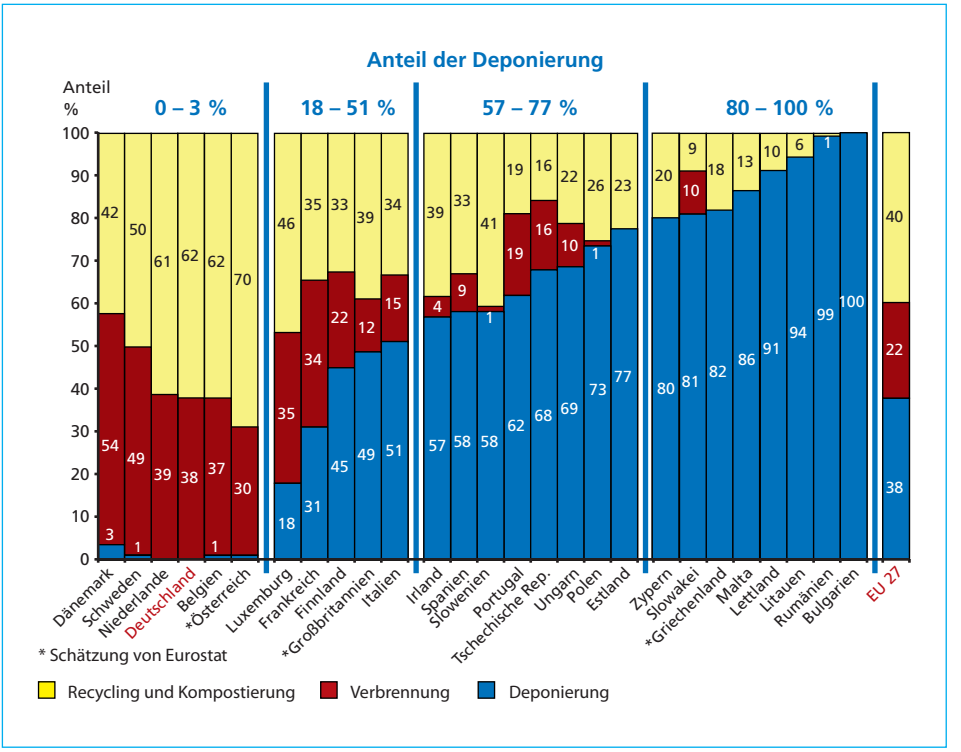


Bild 3: Siedlungsabfallbehandlung in der EU-27 – Stand 2010

Quelle: eurostat, März 2012

Einen Eindruck über das Niveau der Abfallentsorgung in Deutschland vermittelt die Aufstellung der Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (Tabelle 1).

Tabelle 1: Behandlungsanlagen für Siedlungsabfälle in Deutschland

Anzahl	Art der Abfallbehandlungsanlagen
~ 1.000	Sortieranlagen
277	Bioabfallkompostierungsanlagen
672	Grünabfallkompostierungsanlagen
800 bis 900	Vergärungsanlagen mit Genehmigung für Bioabfall
61	mechanisch(-biologisch)e Abfallbehandlungsanlagen
67	Abfallverbrennungsanlagen mit strengen Emissionsgrenzwerten
1	Pyrolyseanlage
35	Ersatzbrennstoffkraftwerke in Betrieb, eine weitere Anlage in Bau (Stand August 2012)
346	Deponien waren es vor dem 1. Juni 2005, dem Inkrafttreten der Abfallablagerungsverordnung
196	Deponien der Klasse II seit 2006, die nur noch für vorbehandelte Abfälle zugelassen waren
166	Deponien der Klasse II waren Ende 2010 in Betrieb (vorläufige Angabe)

2. Offizielle und tatsächliche Siedlungsabfall-Recyclingmengen

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts wurden in 2010 etwa 77 Prozent der Abfälle verwertet und etwa 23 Prozent beseitigt. Danach teilen sich die verwerteten Abfälle in 69 Prozent zur stofflichen Verwertung und acht Prozent zur energetischen Verwertung auf (Bild 4).

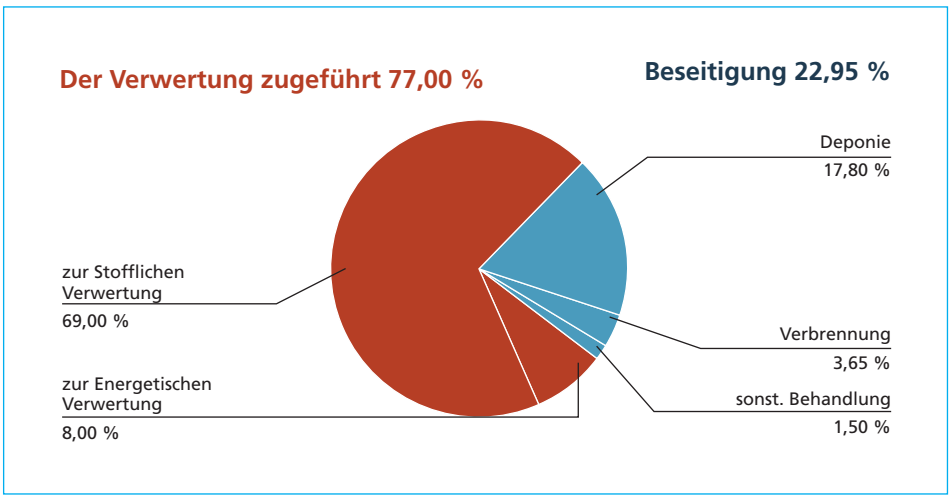


Bild 4: Verwertungs- und Beseitigungsquoten für Deutschland nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (Anteil 2010)

Quelle: Statistisches Bundesamt, Juli 2012

43,2 Millionen Tonnen Siedlungsabfälle aus Haushalten wurden getrennt gesammelt (Bild 5).

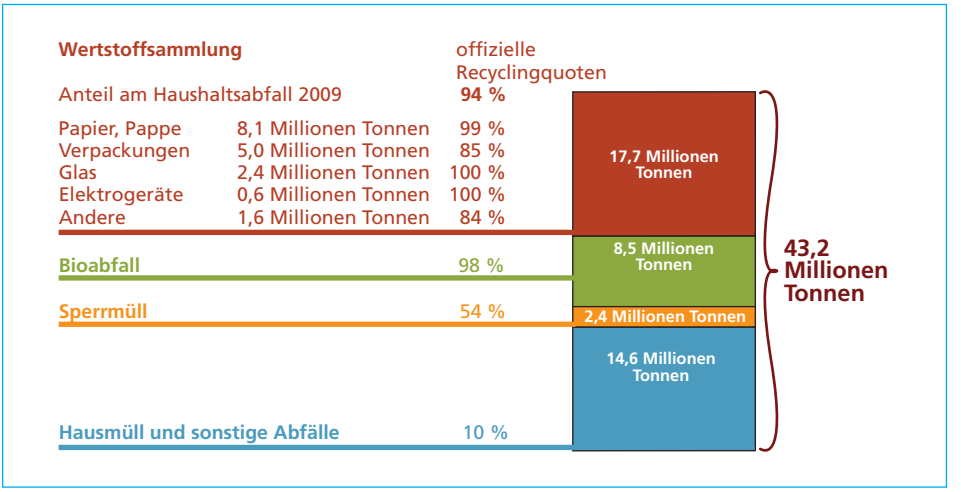


Bild 5: Wertstofftrennung in Deutschland

Quelle: Statistisches Bundesamt

zitiert in: Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ), 01.07.2011, S. 21

Diese offiziellen Angaben der Abfallstatistik zur Menge des recycelten Abfalls beziehen sich jedoch auf den Input in die ersten Stufen der Behandlung. Für das Recycling sind dies in der Regel Sortieranlagen, also Anlagen, in denen der Abfall für die Verwertung vorbehandelt, jedoch nicht verwertet wird. Wirklich recycelt, also stofflich verwertet, wird jedoch nur der Anteil des Abfalls, der nach Abtrennung der stofflich nicht verwertbaren Anteile tatsächlich in den Stoffkreislauf zurückgeführt wird, jedoch nicht der gesammelte Abfall, der – aus welchen Gründen auch immer – einer als *Recyclinganlage* bezeichneten Entsorgungsanlage zugeführt wird.

Das nicht stofflich verwertete Material wird entweder als Restabfall in Abfallverbrennungsanlagen oder als Ersatzbrennstoff in Ersatzbrennstoff- oder Kohlekraftwerken, auch in Zementwerken verwertet und – falls nicht brennbar – auf Deponien abgelagert.

Daher sind die Angaben über die recycelten Abfallanteile in der amtlichen Statistik irreführend; hier wird Brutto mit Netto verwechselt. Für die korrekte Angabe über das Recycling, also über die in den Stoffkreislauf rückgeführten Abfälle, muss das nicht stofflich verwertete Material, das zu Verbrennungsanlagen oder zu Deponien gebracht wird, von der offiziellen Angabe über das Recycling – die stoffliche Verwertung – abgezogen werden. In einer der objektiven Klarheit verpflichteten amtlichen Statistik dürfte nur das wirklich stofflich verwertete Material der Rubrik *Recycling* zugeordnet werden. Der die Sortieranlage verlassende energetisch verwertete und der zu Deponien verbrachte Abfall muss den entsprechenden Kategorien zugeordnet werden, also der *sonstigen Verwertung* oder *Beseitigung*.

3. Notwendigkeit der Schadstoffsenke bei der Abfallentsorgung

Die vollständige Kreislaufführung der Abfälle würde zur katastrophalen Anreicherung von Schadstoffen in der Umwelt führen. Sie ist daher weder wünschenswert noch technisch realisierbar.

Jeder Rohstoff wird schon bei seiner Gewinnung aus der Lagerstätte, während der Aufbereitung zu Werkstoffen, der Herstellung von Produkten aus unterschiedlichen Stoffen, des Konsums und des Entsorgungsgeschehens mit anderen Materialien und Stoffen mehr oder minder intensiv und vielfach ge- und vermischt. Fast alle zu Abfall gewordenen Produkte liegen nicht in weitgehend homogenen Formen vor. Vielmehr werden die aus unterschiedlichen Ausgangsstoffen hergestellten Produkte während ihres Lebenszyklus durch Zusätze und, nachdem sie zu Abfall geworden sind, während der Bereitstellung am Ort des Abfallanfalls, der Abfallsammlung, des Transports und der Lagerung im Bunker der Behandlungsanlage durch andere Abfälle kontaminiert. Störstoffe sowie gesundheits- und umweltgefährdende Stoffe müssen vor einer möglichen Rückführung in den Stoffkreislauf durch Behandlung abgetrennt werden. Dafür müssen in die Behandlungsprozesse Schadstoffsenken integriert werden.

Senken für organische Schadstoffe sind im günstigen Fall Abfallverbrennungsanlagen, in denen sie zerstört werden. Die meisten in Verbrennungsanlagen gelangenden anorganischen Schadstoffe werden durch die Abgasbehandlung der Abfallverbrennungsanlagen konzentriert und in übertägigen und untertägigen Deponien für gefährliche Abfälle abgeschlossen von der Biosphäre abgelagert.

Nicht für Recyclingprozesse geeignete und nicht brennbare Abfälle werden – in Abhängigkeit von ihrem Schadstoffgehalt nach einer Vorbehandlung – deponiert.

Deponien haben zwei für eine funktionsfähige Abfallwirtschaft unabdingbare Funktionen:

- **Ablagerung**

  Nicht gefährliche Abfälle, für die es keine Verwertungsmöglichkeiten gibt, werden auf vom Gefährdungspotential der Abfälle abhängig ausgestatteten Deponien unterschiedlicher Klassen abgelagert.

- **Schadstoffsenke**

  In gesonderten Deponien werden gefährliche Abfälle gelagert, deren Gefährdungspotential durch Behandlung nicht so weit reduziert werden kann, dass sie unbesorgt auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle abgelagert werden können.

Aus diesen Darlegungen lassen sich die notwendigen Randbedingungen für die Behandlung von Restabfällen (Tabelle 2) und daraus die Voraussetzungen für die Planung von Restabfallbehandlungsverfahren (Tabelle 3) herleiten. Unter Beachtung der geltenden Rechtsnormen werden Leitsätze für den Umgang mit Abfällen (Tabelle 4) entwickelt.

Tabelle 2: Randbedingungen für die Behandlung von Restabfällen

• Restabfälle sind **heterogen**
• Restabfälle sind **physikalisch und chemisch schwer zu beschreiben**
• industrielle Verfahren müssen für die Restabfallbehandlung modifiziert werden
• Industrie stellt **hohe Anforderungen** an die Produkte aus der Restabfallbehandlung * Qualität (Ersatzbrennstoffe, Prozessdampf, Fernwärme und -kälte) * Kontinuität der Lieferung
• Kosten für die Restabfallbehandlung sind höher als mögliche Erlöse aus dem Produktverkauf, daher müssen Gebühren für die Behandlung erhoben werden
• Erlöse für die Produkte aus der Abfallbehandlung sind konjunktur- und jahreszeitabhängig

Quelle: Thomé-Kozmiensky, K. J.: Abfallverbrennung – Ein energetisches und stoffliches Verwertungsverfahren. In: Präsentation auf der Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz, Berlin, 28.01.2013, S. 8

• **Kenntnisse des Verfahrens-Inputs (Menge und Qualität)**
• **Forderungen an Verfahren zur Restabfallbehandlung**
* Reduzierung des Volumens
* Reduzierung der Reaktionsfähigkeit der Sekundärabfälle zur Deponierung
* Zerstörung der organischen Schadstoffe
* Ausschleusung der anorganischen Schadstoffe
* Rechtskonformität bei Bau und Betrieb
* Einhaltung der gesetzlichen Emissionsstandards
* Einbindung in das Entsorgungssystem
* Technikfolgenabschätzung
* Einhaltung des Standards für die Verfahrensentwicklung
• **Wirtschaftlichkeit**
* Märkte für die gewonnenen Sekundärrohstoffe und Energieträger

Quelle: Thomé-Kozmiensky, K. J.: Abfallverbrennung – Ein energetisches und stoffliches Verwertungsverfahren. In: Präsentation auf der Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz, Berlin, 28.01.2013, S. 9

Tabelle 3:

Voraussetzungen für die Planung von Restabfallbehandlungsverfahren

Tabelle 4: Leitsätze für den Umgang mit Abfällen

Recycling hat einen hohen Stellenwert für die Rohstoffversorgung
* höchsten Wert generieren sortenreine Abfälle, z.B. aus Industrie und Gewerbe
* Haushaltsabfälle tragen nur in geringem Umfang zur Rohstoffversorgung bei
Weiterhin großer Entwicklungsbedarf bei Recycling-Technologien
Nur ein Teil des Abfalls, der in der Statistik als Recycling ausgewiesen ist, wird stofflich verwertet
* Hochwertigkeit des Recyclings ist zu beachten
* Brennbare Sortierreste gehen als Ersatzbrennstoffe in die energetische Verwertung oder in die thermische Abfallbehandlung
* Anorganische Sortierreste gehen in die Verfüllung oder Deponie
Recycling und energetische Verwertung stehen nicht in Konkurrenz – sie ergänzen sich
* Beide Technologien sind für eine ausgewogene ökologische und ökonomische Abfallwirtschaft unverzichtbar

Tabelle 4: Leitsätze für den Umgang mit Abfällen – Fortsetzung –

Forderungen an die Restabfallbehandlung
* Einbindung in das Entsorgungssystem
* Zerstörung der organischen Schadstoffe und Ausschleusung der anorganischen Schadstoffe
Restabfall kann mechanisch-biologisch vorbehandelt werden
* Dennoch gehen im Durchschnitt fast 60 Prozent in die Verbrennung
Verbrennung – das höchst entwickelte Restabfallbehandlungsverfahren
* umweltschonendes Kraftwerk – ideale Kombination von Ent- und Versorgung
Weiteres Optimierungspotential
Wir brauchen für die kommunale und die privat organisierte Abfallwirtschaft in Deutschland (Europa) die gleichen Spielregeln.
Wir müssen uns auf nationale (europäische) Standards für national (in Europa) tätige Unternehmen einigen.
Wir müssen Standards einführen, die von der Gesellschaft akzeptiert werden.
Es wird zu lange über Regeln diskutiert, die dann ihrer Zeit hinterherhinken.

Quelle: Thomé-Kozmiensky, K. J.: Abfallverbrennung – Ein energetisches und stoffliches Verwertungsverfahren. In: Präsentation auf der Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz, Berlin, 28.01.2013, S. 25-27

4. Die verschiedenen Verwertungsbegriffe

Anstelle der bis 31. Mai 2012 in Deutschland geltenden dreistufigen Abfallhierarchie wird im Einklang mit der EU-Abfallrahmenrichtlinie in § 6 Absatz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes die Rangfolge der Abfallbewirtschaftung festgelegt. Eine nun fünfstufige Hierarchie wird als Leitlinie für die Abfallwirtschaft eingeführt:

- Vermeidung,
- Vorbereitung zur Wiederverwendung,
- Recycling, das heißt stoffliche Verwertung,
- sonstige Verwertung, z.B. energetische Verwertung und Verfüllung von Abgrabungen,
- Beseitigung.

Neu ist die differenzierte Prioritätenfolge innerhalb des Verwertungsgeschehens. Mit eigenständigen Begriffen werden die *Vorbereitung zur Wiederverwendung*, das *Recycling*, also die stoffliche Verwertung und die *sonstige Verwertung*, also die energetische Verwertung und die Verfüllung von Abgrabungen definiert. Damit wird der energetischen Verwertung – d.h. hauptsächlich der Abfallverbrennung sowie der Herstellung und Verwertung von Ersatzbrennstoffen – ein geringerer Stellenwert als der stofflichen Verwertung zugewiesen. Durch die Hintertür – Heizwert 11.000 kJ/kg – kann die energetische Verwertung allerdings gleichrangig mit der stofflichen Verwertung werden.

Im Unterschied zur *Vorbereitung zur Wiederverwendung* werden unter *Recycling* intensive Verwertungsmaßnahmen verstanden, mit denen Abfälle nach Durchlaufen von Behandlungsverfahren dem ursprünglichen oder einem neuen Verwendungszweck zugeführt werden. Als *Recycling* wird nun ausschließlich die werk- und rohstoffliche Verwertung verstanden, also keine Verwertungsverfahren, mit denen Abfall zur Verwendung als Brennstoff – energetische Verwertung – oder für den Einsatz als Versatzmaterial – Verfüllung – aufbereitet wird. Auch die Anlagen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen fallen unter die vierte Hierarchiestufe. Dies führt bei der Einstufung von Sortieranlagen zu Problemen, wenn neben den Fraktionen zur stofflichen Verwertung auch Ersatzbrennstoffe hergestellt werden; noch problematischer ist die Situation, wenn *hauptsächlich* Materialien hergestellt werden, die für die Verwendung als Brennstoff bestimmt sind. Beispielsweise werden mit Anlagen zur Aufbereitung der Verpackungs-Leichtfraktionen etwa zwei Drittel des Inputs zu Ersatzbrennstoffen verarbeitet (Kapitel 7). Daher ist die Frage berechtigt, ob diese Aufbereitungsanlagen nicht rechtskonform als Anlagen zur sonstigen Verwertung – energetischen Verwertung – einzuordnen sind. Eine gesetzliche Quotenregel für die Zuordnung in der Abfallhierarchie würde die Rechtssicherheit verbessern und die Glaubwürdigkeit der amtlichen Statistik herstellen.

In der Praxis sind im begründeten Einzelfall Abweichungen von der Prioritätenfolge unter definierten technischen, ökologischen und ökonomischen Aspekten möglich. Es soll *diejenige Maßnahme Vorrang haben, die den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen unter Berücksichtigung des Vorsorge- und Nachhaltigkeitsprinzips am besten gewährleistet.*

Grenzen der Abfallverwertung werden in Tabelle 5 aufgelistet:

Tabelle 5: Grenzen der Verwertung von Abfällen

Ökologie	* Umweltbelastung und Nutzen des Recyclings müssen in vertretbarem Verhältnis stehen * Schadstoff-Anreicherungen im Stoffkreislauf müssen vermieden werden * Schadstoffsenken – Verbrennungsanlagen und Deponien – sind in das System einzubauen * Voraussetzung sind Kenntnisse über Langzeitwirkungen der Stoffe für Gesundheit und Umwelt * produktintegrierter Umweltschutz fördert die Recyclingqualität: Stoffauswahl und Schadstoffarmut schon bei der Produktion; recyclingfreundliche Konstruktion
Hygiene	* Belastungen durch Keime sind während des Verwertungsprozesses und in den Recyclingprodukten zu vermeiden
Ökonomie	* Aufwand und Nutzen müssen in vertretbarem Verhältnis stehen * keine Verwertung um jeden Preis, sondern wertangemessene Verwertung * Konkurrenz primäre/sekundäre Rohstoffe
Logistik	* zusätzliche Belastung der Umwelt und Wirtschaftlichkeit durch Verkehr sind zu vermeiden * komplexe Systeme sind weiterzuentwickeln
Technik	* differenzierte, stoffabhängige Verfahrensentwicklungen
Recht – zu beachten sind	* Richtlinien und Verordnungen der EU * Gesetze und Verordnungen der Bundesrepublik Deutschland * REACH → neuer Rechtsbereich für Produkte aus den Verwertungsprozessen
Normen	* z.B. für Baustoffe, Kraftwerksaschen
Richtlinien	* z.B. VDI-Richtlinien

Quelle: Thomé-Kozmiensky, K. J.: Abfallverbrennung – Ein energetisches und stoffliches Verwertungsverfahren. In: Präsentation auf der Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz, Berlin, 28.01.2013, S. 23-24

Als die Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD) den Begriff *thermisches Recycling* prägte, ging ein Sturm der Entrüstung durch den Blätterwald, vor allem angefacht von einigen Interessenvertretern der privaten Entsorgungswirtschaft. Auch wenn man berücksichtigt, dass diese Verbände in erster Linie die Anliegen von Unternehmen vertreten, die über keine Abfallverbrennungsanlagen verfügen und ihre Erregung wohl weniger dem Umweltschutz als viel mehr den wirtschaftlichen Interessen ihrer Mitglieder geschuldet ist, gibt ihre Reaktion Anlass für Überlegungen über den Stellenwert unterschiedlicher Verfahren in Recyclingprozessen.

Werden mit der Verbrennung wirklich – wie von einigen Verbänden behauptet – wertvolle Ressourcen vernichtet? Ist es nicht vielmehr so, dass thermische Verfahren – und dazu gehört auch die Abfallverbrennung – nicht nur zur Gewinnung von Wärme und elektrischem Strom dienen sowie unverzichtbare Schadstoffsenke darstellen, sondern auch – und zunehmend – notwendige Bausteine zahlreicher Recyclingprozesse sind?

Für die Eignung der verschiedenen Verfahrenstechniken für die Rückgewinnung von Rohstoffen aus Abfällen hilft ein Blick auf die primäre Rohstoffwirtschaft: Zum Beispiel werden aus Erzen mit einer Kombination von mechanischen, chemischen und thermischen Verfahren Metalle gewonnen. Im Prinzip vergleichbar sind Recyclingprozesse für unterschiedliche Abfälle, z.B. für Stahlschrott; z.B. werden mit dem Elektroofen Stahl und Schlacken gewonnen, die als Baustoffe verwertet werden.

Aus zahlreichen Rohstoffen werden nahezu unendlich viele Produkte hergestellt, die häufig bei der Güterproduktion mit anderen Stoffen verbunden werden. Wenn sie nach ihrem Gebrauch Abfall werden und in den Restabfall gelangen, werden sie mit andersartigen Abfällen ge- und vermischt.

Ziel von Recyclingprozessen ist die Gewinnung von möglichst reinen Rohstoffen und/oder von wiederverwendbaren oder verwertbaren Produkten. Für die hochwertige Verwertung der unterschiedlichen Abfälle müssen schon wegen ihrer vielfältigen Beschaffenheiten unterschiedliche Verfahren miteinander kombiniert, also zu Prozessketten zusammengestellt werden. Besonders komplex werden zwangsläufig Verfahrenskombinationen für die Rückgewinnung einzelner Sekundärrohstoffe aus Abfallgemischen, wie dies z.B. bei Restabfällen aus Haushalten und Gewerbe, bei getrennt erfassten Verpackungsabfällen – insbesondere bei der Leichtfraktion –, bei Klärschlämmen, bei zahlreichen Gewerbe- und Industrieabfällen, aber auch bei auf den ersten Blick scheinbar homogenen Abfällen der Fall ist. Letzteres trifft z.B. auf biogene Abfälle, Kunststoffabfälle und Metallschrotte zu. Einige dieser Abfälle und Abfallbestandteile eignen sich schon aus Qualitätsgründen nicht für die Verwertung mit dem Ziel, die Ausgangsstoffe in reiner Form zurückzugewinnen.

5. Aufbereitung gemischter Abfälle aus Haushalten und Gewerbe

Erinnert sei an die frühe Zeit des Hausmüllrecyclings zum Ende der siebziger und Beginn der achtziger Jahre. Damals wurde mit erheblichem aufbereitungstechnischen Aufwand versucht, die Bestandteile der aus Haushalten stammenden Abfälle rückzugewinnen, um daraus konkurrenzfähige Sekundärrohstoffe und Produkte herzustellen. Für dieses Vorhaben wurden in vielen Ländern, z.B. in England, Schweden, in

den Niederlanden, in Deutschland, in Japan und in den USA zahlreiche Anlagen in unterschiedlichen Maßstäben errichtet, die ausnahmslos gescheitert sind, wobei hohe Verluste erwirtschaftet wurden.

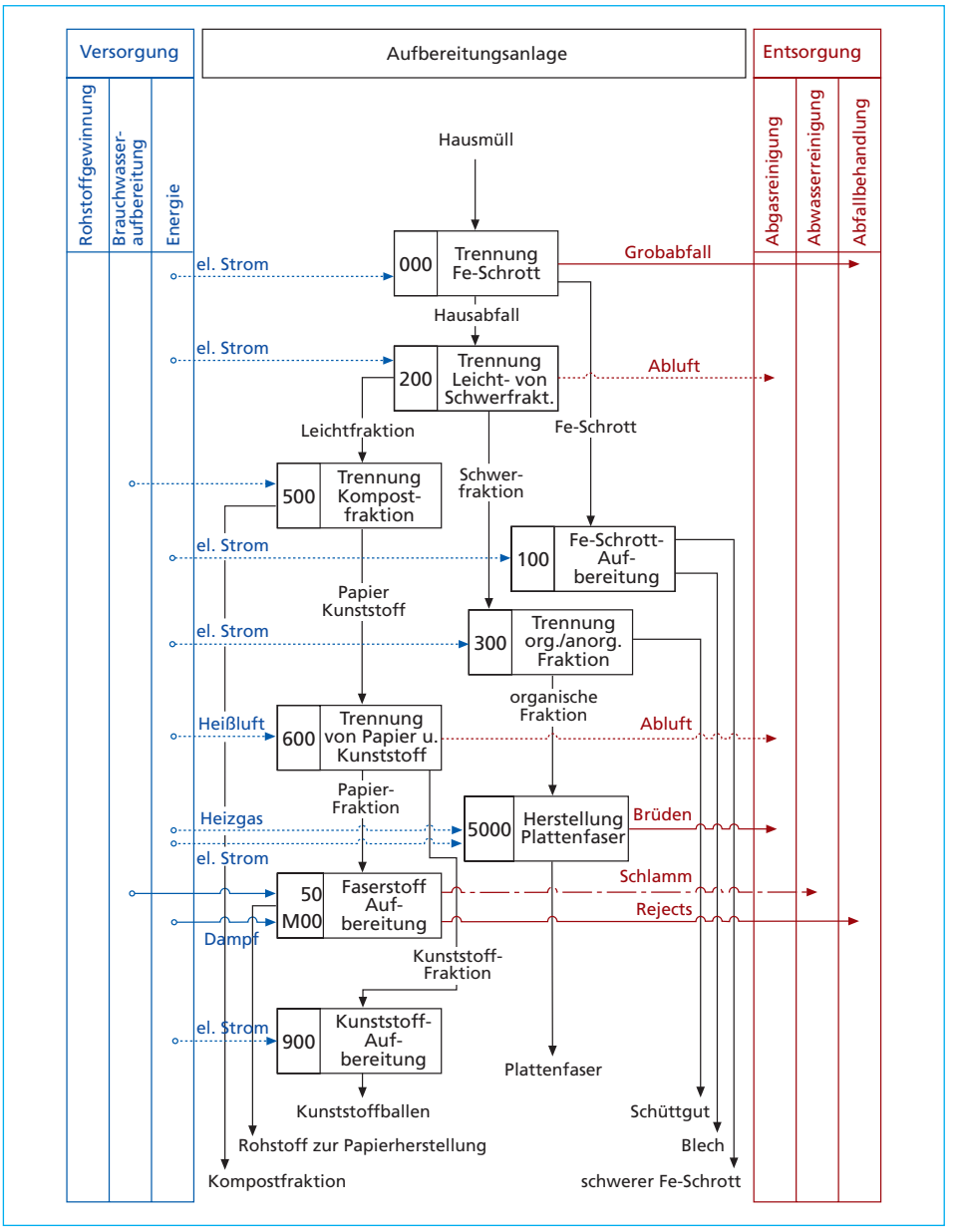


Bild 6: Erste Generation von Abfallaufbereitungsanlagen für Hausmüll, hier das Verfahren der Firma Rinter AG in Wien, Gliederung in Subsysteme

Quelle: Thomé-Kozmiensky, K. J.: Die Wiener Anlage zur Rohstoffrückgewinnung – Situationsanalyse und Konzeption zur Sanierung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Brennstoff aus Müll. Berlin: EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, 1984, S. 12

Schlagwortverzeichnis

A

Abfallaufkommen 3, 19
Abfallbehandlung
  mechanisch-biologische 19
Abfalleigenschaft
  Ende 571
Abfallmengen 3, 19
Abfallsortierung 214
Abfallverbrennung 455
  als Recyclingprozess 19
  Metallrecyclingpotential 461
Abfallwirtschaft
  Beitrag für den Klima- und Ressourcenschutz 117
  duale 350
Agglomeration 588
Aktivkohle-Reaktivierung 393
Alkali-Mangan-Batterien 499
Altfahrzeuge 419
Altflugzeuge
  Recycling 559
  Recyclingpotential 564
Altholz 335
  Aufkommen 154
  Kontamination 159
  Sortierung und Wiederverwertung 153
  stoffliche Nutzung 155
Altkabel 239
Altkleider 340
Altölrecycling 389
Altpapier 336
  alternative Erfassung 201
  Aufbereitung 177
  aus haushaltsnaher Erfassung 195
  Bringsysteme 182
  Einsatzquote 179, 193
  Getrenntsammlung 180
  Herkunft 181
  Sammlung 177
    gewerbliche 183
    in Berlin 185
  Sorten 195
  Sortierung 183
Aluminium 63, 132, 135
  Anteil in Flugzeugen 567
  Produktion (primär und sekundär) 435
  Recycling 433
    Einsatzmöglichkeiten von minderwertigen Schrotten 437
    Ofentechnologien 443
  Sekundärmetallurgie 446
  Verbindungen 562
Antimon 134
Arbeitsschutz 293
Asphaltschichten
  offenporige (OPA) 640
Aufbauagglomeration 589
Aufbereitung 68, 69
  von gemischten Abfällen aus Haushalten und Gewerbe 19
  von Elektroofenschlacke 636
Aufladung
  tribo-elektrische 229
Autoreifen 302

B

Batterien
  wiederaufladbare 507, 537
Batterierücknahme 495
Bauschutt 336
Benchmark
  zu Aktivitäten von Rohstoffsicherung und Recycling 3
Bergbau 68
Berliner Stadtreinigung 466
  Kooperationsvereinbarung mit dem Land Berlin 117
Beschaffung
  öffentliche 78
Best-of-two-Worlds Ansatz 419
Bildschirmgeräte 488
BilRess 77
Bioextrusion 223
Biokunststoffe 265
Biokunststoffverpackungen 261
Biomasse 405
  in der Metallurgie 408
Biopolymere 267
  Biobasiertheit 273
  Kompostierbarkeit 272
Biopolymerverpackungen
  Verwertungsoptionen 279
Bio- und Grünabfälle 334
Blei 65, 135
Boden 336
Brasilien 132
Buntmetalle 132
Bürokratiekosten
  der Verpackungsverordnung 326
Büropapiere 200

C

Carbonfaser-Herstellung 247
carbonfaserverstärkte Kunststoffe 242
CCD-Sensoren 376
CFK 242
China 130
Compocycle 241, 251

D

Dammschüttmaterial 639
Datenverarbeitung 359
Debonding on demand 251
Deinking 197, 202
Demontagetiefe 426
Deponien
  Bau 641
  Rohstoffpotenzial 109
  Rückbau 113
Deponiegutzusammensetzung 111
Design for Recycling 250, 491
Desintegration 220
Deutschland 137
Dialyse 480
Dichtesortierung 626
Direktlaugung 530
Doppelschneckenextruder 220
Drehrohre 388, 395
Drehrohrofen
  indirekt beheizter 388
Drehtrommelofen 400
Druckfarbenentfernung 202
Druckverfahren 207
duale Abfallwirtschaft 350
Dual-Energy Röntgendetektion 379
duale Systeme 183 , 343
  Nutzen 346
  operative Entsorgungskosten 347
  Umsatz 348
  Wettbewerb 347
Dünnschichtphotovoltaik 552

E

EcoBatRec-Verfahren 521
Edelstahlschlacke 629
Edel- und Spezialmetalle 419
Effizienz
  ökologische 348
Eisen 63
Eisenhüttenschlacken 89
Eisenlegierungen 562
Eisen-, Stahl- und Aluminium-Schrotte 572
Elektrodialyse 480
Elektronikmetalle 64, 130
Elektroofenschlacke 623, 635
Elektrostahl 136
Elektrostahlerzeugung 638
Elektro- und Elektronikaltgeräte 341, 419
  Rückgewinnung von Spurenmetallen 481
Elektro- und Elektronikschrott 138
  Trennung gemischter Kunststoffe 231
Ende der Abfalleigenschaft 571
end-of-life Produkte 70
Energie 117
Energierohstoffe 132
Energiewende 81
Entsorgungswirtschaft
  Paradigmenwechsel 117
Entwicklungsländer 419
Erdöl 65, 132
Erkundung 67
Ersatzbaustoff 639
Ersatzbaustoffverordnung 78
Ersatzbrennstoffe 579
Europäischer Altpapierrat (ERPC) 193
Europäische Altpapiersortenliste (EN643) 196
Europäisches Ressourcenforum (ERF) 76
Explorationsförderprogramm 66
Explorationsprojekte 129
Extraktion
  metallurgische 69
Extrusion 217

F

Farbzeilenkamera-Systeme 376
Faserverbunde 242
  Verwertungsverfahren 241
Feinpapiere 205
Fensterprofile 236
Festplatten 487, 527

Filterstäube
der Stahlindustrie 583
Flugzeuge
Recyclingpotential 559
Rückbau 560
FONA 66
Fragmentierung
elektrodynamische 255
Frostschutzschicht 639

G

Gallium 471
Gärrest-Polymer-Verbundwerkstoffe 223
Gärrückstände 578
gelbe Säcke 337
Gerätebatterien 518
Sortierung 495
Germanium 134
Getrenntsammlung
von Altpapier 180
GFK 242
Ghana 424
Glas 577
glasfaserverstärkte Kunststoffe 242
Glasindustrie
Verwertung von Rückständen 542
Granulierung 218
Grenzen der Umsetzbarkeit 3
Grundwasserwannen 644
Grüner Punkt 346
Gummi-Recycling 389

H

Handelsbeschränkungen 136
Hart-PVC 236
Haushaltsabfälle 214
Recycling 19
Heißbrikettierung 584
Hochofenschlacke 623
Hochtechnologieprodukte 64
Holz 153
Holzkohle
metallurgische 408
Holzschutzmittel 170
Holzversorgung 153
Hüttenreststoffe 607
Recycling im Konverterprozess 617
Hydrolyse 252

I

Indien 131, 136
Indium 484
in LCDs 488
Industrial Rechargeable Batteries 507
Industriebau 642
Industriemetalle 129, 132
INGEDE 207
Initiative Zukunft Papier Rohstoffe 201
IntRes 77
Intrusion 222
Ionen-Mobilitäts-Spektrometrie (IMS) 168

J

Japan 132

K

Karibik 131
Kaskadennutzung 153
Klärschlammverwertung 19
Klima- und Ressourcenschutz
durch die Entsorgungswirtschaft 117
Knopfzellen 499
Kommunen
Möglichkeiten zur effizienteren
Wertstoffverwertung 117
Kompost 578
Konverterfeinstäube
eisenreiche 586
Konverterprozess 607
Einsatz von Hüttenreststoffen 614
Kosteneffizienz 345
Krätze 449
Aufarbeitung 450
Kreislaufwirtschaftsgesetz 191
Kunststoffe
Abfälle 276, 578
aus Elektronikschrott 232
faserverstärkte 219
Recycling 213
schwarze 226
Trennung 229
Verpackungen 277
Kupfer 63, 65, 135, 578

L

Lagerstätten 67
Lasersortierung 381
LCD-Panel 488
Leichtverpackungen 337, 349
Lenkungswirkung
  ökologische 350
Leuchtstoffe
  Extraktion von Seltenen Erden 539
Lithium-Ion-Batterien 498
  Abfallstromprognose 515
  Marktanalyse 507
  Recycling 505
Lithium-Ion-Elektrodenmaterialen 513
Logistik 361
Luftsetzmaschine 627

M

Magazinpapiere 205
Magnete 527
Magnetschrott 541
Mantelverordnung 78
Marktanalyse 361
Märkte
  für mineralische Rohstoffe 129
Materialeinsatz 67
Messingspäne 392
Metalle 341
  strategische 419
Metallformsortierung 378
Metallgehalte
  im Siedlungsabfall 457
Metallpreise 129
Metall-Rückgewinnung
  durch Abfallverbrennung 455
  aus den Abgasreinigungsrückständen 464
  aus Schlacken 465
Metallurgie 68
  mit nachwachsenden Rohstoffen 405
Mikropelletierverfahren 585
Mineralwolle 643
Molecular Sorting 250

N

Nahinfrarot 198
Nahinfrarot-Spektroskopie 164, 372
Nanomaterialien 311
  inhalative Aufnahme 296
Nationale Nachhaltigkeitsstrategie 66
Nationales Ressourcenforum (NRF) 76
NdFeB-Magnete 484, 527
Neodym 527
Nickel 65
Nickel-Cadmium-Akkus 499
Nickel-Metallhydrid-Akkus 499, 537
NIR-Spektroskopie 164, 372

O

Ökobilanzen 141
  Bewertung von Rohstoffverbräuchen 142
Oxidation
  selektive 529
Oxygenstahlverfahren 135

P

Papierbedarfe 178
Papiere 578
  grafische 194
    Herstellung 191
Papierfabriken 179
Partikelrecycling 241, 254
Pelletbindung 593
Pelletierteller 592, 603
Pelletierung 583, 585, 592
PET-Flaschen 302
Phosphor 95
Photovoltaikmodule
  auf Basis von Cadmiumtellurid 548
  auf Basis von kristallinem Silizium 546
  Recycling 545
Plastifizierung 220
Platingruppenmetalle 63
PolRess 77
Portable Rechargeable Batteries 507
Prävention 293
Preisvolatilitäten 129
Preiszyklen 131
Pressagglomeration 590
Pressverfahren 219
Primärrohstoffe 67
Produktcharakterisierung
  recycling-orientierte 482

Produktionsrückstände 69
Produktlebenszyklus 64
Produktstatus 571
Produktverantwortung 318, 343
ProgRess 73
PVC-Fensterprofile 236
Pyrolyse 253
Pyrolyseprozess 385, 440

Q

Querstromzerspaner 255

R

Recycling
  im Kontext der Ressourceneffizienz 3
Recyclinggips 579
Recyclingprodukte 359
Recyclingqualität 345
Recyclingquote 332, 350
Recyclingstrukturen
  informelle 425
Reifen- und Gummi-Recycling 389
Reparaturfähigkeit 70
Ressourcen
  knappe 91
  stoffliche 117
Ressourceneffizienz 3, 64, 73, 87, 317
Ressourceneffizienzindikatoren 87
Ressourceneffizienzprogramm 66, 73
Ressourcennutzung 88
Ressourcenproduktivität 87
Ressourcenschonung 323
Rohstahlproduktion 135
Rohstoffe
  kritische 435
  mineralische 129
  nachwachsende 153
  wirtschaftsstrategische 63
Rohstoffagentur 132
Rohstoffknappheiten 94
Rohstoffmärkte 129
Rohstoffpotenziale
  in anthropogenen Lagerstätten 109
  von Deponien 111
Rohstoffpreise 129
Rohstoffproduktivität 81
Rohstoffreserven 92
Rohstoffsicherung 4, 65
Rohstoffstrategie 66
Rohstoffverbrauch 64
  Bewertung in Ökobilanzen 141
Rohstoffverfügbarkeit 63
Rohstoffverfügbarkeitsindikatoren 143
Rohstoffversorgung 129, 348
Rohstoffvorkommen 67
Rohstoffzyklen 131
Röntgendetektion 379
Röntgendurchleuchtung 503
Röntgenfluoreszens (XRF)-Sortierung 561
Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) 171, 380
Röntgentransmissionssensor 378
Röntgentransmissions (XRT)-Sortierung 561
Rücknahmesysteme 344
Russland 131

S

Sammelsysteme
  effiziente 3
Sammel- und Zerlegestrukturen
  optimierte 420
Schadstoffsenke
  Notwendigkeit
    bei der Abfallentsorgung 19
Schlacken
  aus der Eisen- und Stahlerzeugung 623
  metallurgische 623
  Umweltverträglichkeit 646
Schlackenaufbereitung 624, 636
Schmelzmetallurgie 444
Schmutzpunktfreiheit 206
Schottertragschicht 639
Schrott 572
  als Abfall 575
  als Produkt 576
Schrottsorten
  des MHKW Ruhleben 467
Schweiz 136
Schwellenländer 131, 419
Sekundärrohstoffe 67, 419
  Bedeutung 117
Sekundärrohstoffpotenziale 428
Sekundärrohstoffqualität 195

Seltene Erden 63, 130, 134, 484
aus Sekundärrohstoffen 533
globaler Bedarf 534
hydrometallurgische Gewinnung 530
Preisentwicklung 535
Rückgewinnung 480
aus Elektronikschrotten 527
Sensor
elektromagnetischer 375, 503
Separationsverfahren
elektrostatische 228
Siedlungsabfall
Metallgehalte 457
Recyclingmengen 19
Sinterverfahren 218
Softwareauswahl 365
Softwaremodularisierung 366
Sonderabfall-Verbrennungsanlagen 396
Sortieranlagen 340
für Altpapier 198
Sortiergüte 191
Sortiertechnik
sensorgestützte 371
Sortierung
automatische 503
Sortierverfahren für Kunststoffe 227
Spektrometer NIR und VIS 372
Spurenmetalle
Rückgewinnung
aus Elektroaltgeräten 481
Stahl 63, 132
Stahlindustrie 607
Stahlveredler 63
Stahlwerksschlacke 638
Stahlwerksstäube 391
Starkfeldmagnetscheidung 626
Stäube
nanomaterialhaltige 293
Staubeinblasen
in den E-Ofen 586
in den Schachtofen 585
über den Konverterboden 585
Steinkohle 132
Stoffströme 68
Strahlenschutz 644
Strahlmittel 643
Strangextrudierung 217
Straßenbau 639
Strukturen
international vernetzte 3
Südamerika 131
Synthesegas 443

T

Tantal 133
Technologieentwicklungen 3
Tetra Pack
Recycling 390
Toner-Kartuschen
Recycling 238
Türkei 131, 136

U

Ultrafeinstäube 306, 309, 311
Umweltministerkonferenz 76
Umweltverträglichkeit
von Schlacken 646
Untergrundstabilisierung 642

V

Verbunde
faserverstärkte 241
Verbundwerkstoffe
thermische Vorbehandlung 395
Verfügbarkeit
geologische 134
physische 145
sozioökonomische 146
Verfügbarkeitsbewertung
von Rohstoffverbräuchen 141
Verkaufsverpackungen 346
erfasste Mengen 320
Verpackungen
Entsorgung 347
erfasste Mengen 320
Sammlung und Verwertung 262
Verbrauch privater Endverbraucher 351
Verwertungsquoten 322
Verpackungsmaterialien
Verwertungsquoten 321
Verpackungsverordnung 346
Nutzen und Kosten 317
Problemfelder 327
Reformbedarf 19
Versorgungssicherheit 129
Verursacherprinzip 318

Verwertung 333
  wertstoffliche 213
Verwertungsbegriffe 19
Verwertungserlöse 117
Verwertungsquoten 350
VIS Spektroskopie 373

W

Waferproduktion 480
Wasser
  überkritisches 252
Wasserbau 645
Weich-PVC 236
Weißgrad 206
Weltbank 132
Wertschöpfungsketten 64
  überregionale bzw. internationale Vernetzung 420
Wertstofferfassung
  ganzheitliche 352
Wertstoffgesetz 353
Wertstoffsammelsysteme 334
Wertstofftonne 78
  in Berlin 117
Wertstoffverwertung
  effiziente 117
  kommunale 331
Wettbewerb zwischen dualen Systemen 347
Wiederverwendbarkeit 70
Windkraftanlagen 247
Wirbelschichtsortierer 628
Wirtschaftsministerkonferenz 76
wirtschaftsstrategische Rohstoffe 63
Wolfram 134

Z

Zeitungsdruckpapier 194
Zellstoff- und Papierfabriken 179
Zementwerk 251
Zersetzung
  thermische 386
Ziegelindustrie 643
Zink 65, 135
Zukunftstechnologien 64