

Ressourcenschonung durch Recycling – Ergebnisse einer Analyse für die Kreislaufwirtschaft

Markus Hiebel, Jochen Nühlen, Hartmut Pflaum und Willm Janssen

1.	Einführung.....	71
1.1.	Ressourcenkonsum	72
1.2.	Studienansatz.....	73
2.	Methodik.....	75
2.1.	Metallische Georessourcen	77
2.2.	Erdölbasierte Kunststoffe	78
3.	Ergebnisse	79
3.1.	Aluminium.....	79
3.2.	Polypropylen.....	81
3.3.	Elektroaltgeräte.....	82
4.	Fazit.....	83
5.	Quellen	84

1. Einführung

Eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT berechnet die spezifische Rohstoffeinsparung verschiedener Stoffströme eines Recyclingunternehmens, der ALBA Group. Dabei werden die einzelnen Recyclingprozesse von Metallen, Kunststoffen, Elektroaltgeräten, Holz, Papier, Pappe sowie Karton, Leichtverpackungen und Glas detailliert in einer Ökobilanzsoftware modelliert und parametrisiert. Unter Verwendung belastbarer generischer Daten sowie spezifischer Daten des Unternehmens wird damit eine hohe Genauigkeit und Praxisrelevanz erreicht. Die Gegenüberstellung von Primär- und Sekundärprozess erlaubt die Ausweisung der spezifischen Rohstoffeinsparung für jede betrachtete Materialgruppe. Der Primärprozess umfasst die Gewinnung von Materialien aus Primärressourcen inklusive aller dazu nötigen Prozessschritte. Der Sekundärprozess umfasst die Herstellung von vergleichbaren Produkten aus Sekundärmaterialien. Ziel dieses Ansatzes ist die Betrachtung absoluter Ressourcenverbräuche, um Effekte wie die Bewegung von Abraum während der Erzgewinnung im Bergbau einzubeziehen. Die Bilanzierung der Rohstoffeinsparungen adressiert den Ansatz eines ressourcenleichten

Lebensstils der Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (KRU) und trägt dazu bei, die Ziele des Deutschen Ressourceneffizienzprogrammes der Bundesregierung (ProgRes) zu erreichen, indem berechnet wird, welchen Beitrag ein Unternehmen zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft leisten kann [8, 22]. Die Problematik des global steigenden Konsums und des erforderlichen Schutzes natürlicher Ressourcen rückt in der Industrie, der Gesellschaft aber auch der Politik verstärkt in den Fokus.

1.1. Ressourcenkonsum

Temporäre Knappheiten von Georessourcen, die Volatilität von Rohstoffpreisen und die Instabilität der Finanzmärkte stellen die Gesellschaft vor Herausforderungen, deren Lösung eine nachhaltige Wirtschaftsweise erfordert. Georessourcen sind die Basis der wirtschaftlichen Entwicklung und bilden den Beginn der Wertschöpfungskette für viele wichtige Güter der heutigen Industriegesellschaften. Wir konsumieren rund um die Uhr direkt und indirekt unterschiedlichste Rohstoffe und nur die Wenigsten machen sich Gedanken über deren Herkunft, Gewinnung und Verarbeitung. Rund 15 bis 60 Tonnen pro Kopf und Jahr an Baumaterialien, fossilen Brennstoffen, Metallen und Biomasse werden im Schnitt für den Industriebürger im globalen Mittel benötigt [27]. Deutschland liegt mit rund 47¹ Tonnen pro Kopf und Jahr im Mittelfeld [25]. Ein Großteil der jährlich in Deutschland benötigten Rohstoffe, insbesondere nicht-metallische mineralische Rohstoffe wie Kiese, Sande oder auch Salz, werden aus heimischen Lagerstätten gewonnen. Dagegen ist die Deckung des Bedarfs der deutschen Volkswirtschaft im Bereich der Metallrohstoffe, ausgewählter Industrieminerale und der fossilen Energierohstoffe mit Ausnahme der Braunkohle stark von Importen abhängig. Deutschland importierte im Jahr 2013 Rohstoffe im Wert von 142,8 Milliarden EUR, was seit 2004 einer Verdopplung des Importwertes entspricht, während die Menge der importierten Rohstoffe in den letzten zehn Jahren nahezu konstant geblieben ist [6]. Dies zeigt klar die ökonomische Relevanz der Rohstoffversorgung, die im Bereich der Metalle besonders offensichtlich wird.

Deutschland führte im Jahr 2013 63,5 Millionen Tonnen primärer Metallrohstoffe ein, was einen Anstieg von 2,6 Prozent gegenüber dem Vorjahreszeitraum bedeutet. Der Wert der Metallimporte entspricht knapp 41,1 Milliarden EUR. Zwar sind damit die Kosten gegenüber 2012 um 6 Prozent gesunken, dennoch löst sich damit nicht die Problematik der Abhängigkeit Deutschlands von globalen Primärrohstoffmärkten. Bei Metall-erzen und -konzentraten beträgt die Importquote aufgrund mangelnder geologischer Verfügbarkeiten nahezu hundert Prozent. Die Konzentration auf wenige Exporteure macht den Handel dabei nochmals anfälliger. So stammt z.B. das in Deutschland eingesetzte Bauxiterz, das als Rohstoff zur Aluminiumherstellung benötigt wird, zu etwa 85 Prozent aus Guinea. Durch die Erschöpfung deutscher Erdöl- und Erdgasvorkommen sowie den auslaufenden Steinkohlebergbau ist auch zukünftig eine ansteigende

¹ Eigene Berechnung auf Grundlage der Umweltökonomischen Gesamtrechnung 2013, basierend auf dem Indikator Total Material Consumption

Importabhängigkeit Deutschlands bei den fossilen Energierohstoffen zu erwarten. Im Jahr 2013 stammten nur rund zwei Prozent der Primärenergierohstoffe aus heimischen Lagerstätten [6]. Wie sich die Rohstoffsituation in Zukunft entwickeln wird, ist aufgrund multipolarer Einflussfaktoren schwierig und nur ansatzweise vorauszusagen. Trotz steigender Recyclingraten und der Substitution einzelner Rohstoffe wird Deutschland weiterhin auf Rohstoffimporte, insbesondere von fossilen Primärenergieträgern und Metallrohstoffen, angewiesen sein. Ausgehend von der aktuellen Situation ist die Rückkehr zu einem Rohstoffmarkt mit niedrigen Preisen und ohne Handelsbarrieren mittel- bis langfristig nicht zu erwarten [15]. Geopolitik, Handelshemmnisse und die teils hohe Konzentration der Weltrohstoffproduktion auf wenige global agierende Bergbauunternehmen sowie zum Teil politisch instabile Förderländer, sind vor diesem Hintergrund eine große Herausforderung [6]. Das Recycling und die Nutzung von Sekundärrohstoffen werden daher immer wichtiger, um Primärrohstoffe und Ökosysteme zu schonen und gleichzeitig einen Beitrag zur sicheren Rohstoffversorgung einer Volkswirtschaft zu leisten.

1.2. Studienansatz

Umweltkommunikation ist unabdingbar um öffentliches Bewusstsein zu schaffen und Menschen zu ressourceneffizientem Handeln zu motivieren. Auch die Auswirkungen der Rohstoffnutzung auf Mensch und Natur sowie die Endlichkeit von Rohstoffen sind in der Gesellschaft weitgehend unbekannte Themen. Doch ohne das Wissen um Ressourcen wird sich ein Wandel hin zu einem ressourcenleichten, ökointelligenten und nachhaltigem Lebensstil nicht vollziehen lassen. Das Wissen über Konsum und Materialbedarf, Ökosystemdienstleistungen und Flächenschonung muss übermittelt werden. Insbesondere die Kreislaufwirtschaft kann dazu beitragen. Dass die Branche bereits einen Anteil zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesrepublik Deutschland leistet, zeigt etwa die Einsparung von 30 Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalenten pro Jahr allein durch die Vermeidung von Deponiegasemissionen durch die energetische und stoffliche Verwertung [19]. Im aktuellen Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung werden im Abfallbereich weitere Minderungsbeiträge in Höhe von rund 4 Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalenten adressiert. Diese sollen durch eine Stärkung der Abfallvermeidung, des Recyclings und der Wiederwendung (etwa 1,85 Millionen Tonnen CO_2 -Äq.), eine Stärkung der Ressourceneffizienz (Potenzial nicht quantifiziert) und weitere Emissionsrückgänge in der Abfalldeponierung (0,5 bis 2,5 Millionen Tonnen CO_2 -Äq.) erreicht werden [7].

In zahlreichen Studien werden die dafür notwendigen Energie- und Treibhausgasbilanzen für den Einsatz von Sekundärmaterialien gegenüber Primärmaterialien aufgestellt [20]. Diese Studien fokussieren sich jedoch meistens auf die Umweltsenken und quantifizieren in vielen Fällen nicht die Ressourceneinsparungen. Denn nicht nur Treibhausgasemissionen können durch ein intelligentes Stoffstrommanagement eingespart werden. Eine nachhaltige Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft auf Grundlage

des Einsatzes von Sekundärrohstoffen bedeutet die direkte Einsparung von Primärrohstoffen und die Schonung von endlichen Lagerstätten und Ökosystemen. Neben den Treibhausgaseinsparungen führt das Recycling auch zu direkten oder indirekten Ressourceneinsparungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, die aber häufig nicht quantifiziert werden. Damit wird die Betrachtung des Recyclings von den Umweltsenken (z.B. Atmosphäre) um die Betrachtung der Umweltquellen (z.B. Erzlagerstätte) erweitert. Das Gedankenmodell eines ganzheitlichen Ressourcenmanagements muss daher nicht nur die Umweltsenken, sondern auch die Umweltquellen, und damit beide Säulen der Ökosphäre, beachten. Das nachfolgende Bild zeigt das Schema des Ressourcenmanagements und verdeutlicht den Ansatz der Bilanzierungsmethodik gegenüber der klassischen Treibhausgasbilanzierung.

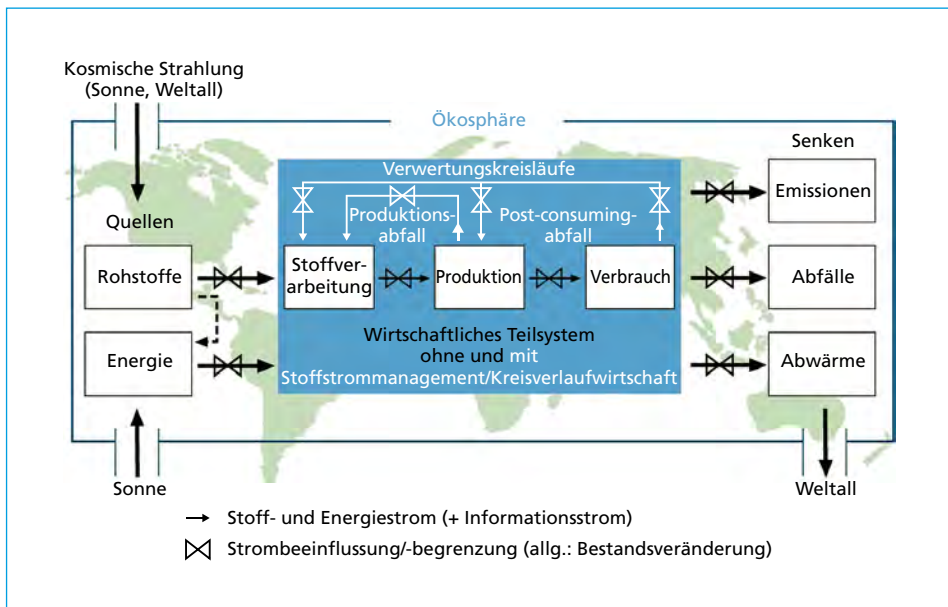


Bild 1: Gedankenmodell zum Ressourcenmanagement

Quelle: verändert nach Eyerer, P. (Hrsg.): Ganzheitliche Bilanzierung, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1996

Der Rohstoffaufwand setzt am Entnahmeort der Rohstoffe an. Das Verfahren der bergbaulichen Gewinnung und Veredelung von einer Ressource zu einem nutzbaren Rohstoff bestimmt maßgeblich die Bewirtschaftung des verfügbaren Naturkapitals. Recycling spielt hier eine tragende Rolle: indem Aufwand für die Abfallbeseitigung vermieden wird, Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf Primärrohstoffe ersetzen und nicht zuletzt die Ressourcen in der globalen Versorgungskette insgesamt geschont werden. Die nachfolgend dargestellte Methodik setzt daher vorrangig bei den Quellen der Ressourcen an und zeigt, wie die Umwelt durch deren Gewinnung belastet und welche Entlastung das Recycling folglich mit sich bringt. Die Studie erfasst anhand konkreter unternehmensspezifischer Vorgänge, wie viele Primärressourcen durch Recycling in der Erde belassen werden können.

2. Methodik

Der, zu häufig, ineffiziente Ressourcenverbrauch ist eine Hauptursache für die Gefährdung der langfristigen globalen Rohstoffversorgung. Um hier anzusetzen ist eine Veränderung des aktuell noch auf Umweltsenken konzentrierten Blickwinkels, deren Belastungen jedoch erst am Ende einer Verkettung von Ursache-Wirkungszusammenhängen angesiedelt ist, hin zu den Quellen und somit der Rohstoffgewinnung erforderlich. Der Fokus wird in diesem Ansatz deshalb auf Feststoffe, wie anfallenden Abraum oder eingesetzte Industriemineralien, gelegt, um eine alltagstaugliche und den Quellen zugewandte Veranschaulichung von Prozesslasten zu ermöglichen. Im konkreten Anwendungsfall stellt sich die Idee einer nahezu geschlossenen Kreislaufwirtschaft als probater Ansatz zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs dar. Die Nutzung von Sekundärrohstoffen hat bei gleich bleibender Nachfrage die Schonung von endlichen geogenen Lagerstätten, Ökosystemen und Flächen zur Folge. Damit zeigt sich die Sinnhaftigkeit eines erweiterten Untersuchungsrahmens von Umweltsenken hin zu Umweltquellen. Anhand konkreter unternehmensspezifischer Prozesse konnte in der Studie dargestellt werden, wie viele Primärressourcen durch Recycling in der Erde belassen werden können.

Zu den Primärressourcen werden in dieser Studie Erz, fossile Energieträger, bei deren Gewinnung direkte und indirekte Verbräuche entstehen, sowie Abraum gezählt. Da sich der für das Bezugsjahr 2013 ermittelte Rohstoffaufwand der Primär- und Sekundärprozesse aus abiotischen und biotischen Rohstoffen zusammensetzt, werden diese Begriffe im Folgenden kurz erläutert. Als abiotische Rohstoffe werden in diesem Zusammenhang Primärressourcen, die der Natur zur Rohstoffgewinnung unmittelbar entnommen werden, nicht nachwachsend sind und noch nicht bearbeitet wurden, verstanden. Biotische Rohstoffe umfassen hier unmittelbar aus der Biosphäre entnommene, nachwachsende Rohstoffe biogener Herkunft zur stofflichen und/oder energetischen Nutzung [13, 14, 23, 25, 28, 30, 31].

Die Anlagendaten und Mengenangaben des Unternehmens über Sammlung, Störstoffanteile, Aufbereitung, Transport zur Verwertung sowie die anschließenden Verwertungsprozesse sind Grundlage für die parametergestützte Modellierung in der Ökobilanzsoftware Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi).

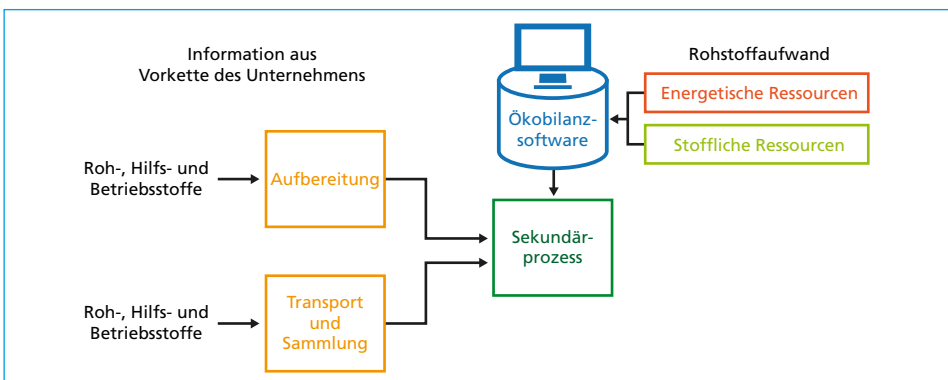


Bild 2: Modellierung des Sekundärprozesses und Datenherkunft

Ziel der Modellierung ist die Abbildung von Wertschöpfungsketten zur Berechnung der Menge an Georessourcen, die durch das Recycling geschont wurden und damit nicht der Umwelt entnommen werden mussten. In der Angabe des Ressourcenverbrauchs für die Herstellung von Produkten ähnelt dieser Ansatz dem ökologischen Rucksack. Doch der ökologische Rucksack lässt sich nicht ohne weiteres auf Recyclingprodukte anwenden. Dazu muss zuerst der Rohstoffaufwand des Verwertungsprozesses – wie hier gezeigt – ermittelt werden, um die Primär- und die Sekundärproduktion im konkreten Einzelfall miteinander vergleichen zu können.

Als Ergebnis wird die geschonte Primärrohstoffmenge, welche infolge des Recyclings in der Natur verbleiben kann, ausgewiesen. Dazu werden alle Ergebnisse auf eine Tonne gesammeltes Inputmaterial bezogen und der Rohstoffaufwand des Primär- mit dem des Sekundärprozesses verglichen. Die Differenz beider Werte ergibt sich aus der durch das Recycling geschonten Menge an Primärressourcen, die in der Umwelt nicht energie- und umweltintensiv abgebaut werden musste. Somit steht bei der Methodik nicht die monetäre Einsparung für ein einzelnes Unternehmen im Vordergrund sondern der volkswirtschaftliche und ökologische Profit durch die Schonung endlicher Primärressourcen.

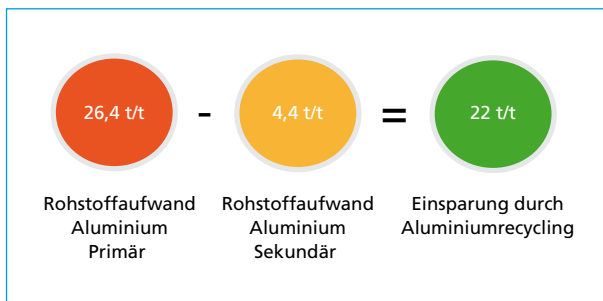


Bild 3:

Berechnung der geschonten Primärrohstoffmenge am Beispiel Aluminium

Die Berechnung des Sekundärprozesses aller Stoffströme berücksichtigt Sammlung, Aufbereitung, den Transport zur Verwertung und den anschließenden Verwertungsprozess. Bezugsgröße für alle Stoffströme ist eine Tonne gesammeltes Material. Der Störstoffanteil des Sekundärprozesses wird bei der Berechnung der Einsparung ebenso wie die Aufteilung des Verwertungsweges zwischen stofflicher und energetischer Verwertung einbezogen. Um einen konservativen Ansatz zu wählen und die Vergleichbarkeit aller Stoffströme miteinander zu gewährleisten, gilt die Prämisse eines einzigen Umlaufs im Recyclingkreislauf bei gleicher Qualität des Sekundärmaterials. Gemischte Stoffströme wie Elektroaltgeräte oder Leichtverpackungen werden grundsätzlich entsprechend der in ihnen vertretenen Anteile reiner Stoffströme bilanziert. Dies bedeutet, dass der Ressourcenverbrauch eines z.B. aus 50 Prozent Eisen- Metallen und 50 Prozent Kupfer bestehenden gemischten Stoffstroms zu jeweils 50 Prozent auf die Ergebnisse der Eisen- und Kupferprozesskette zurückgreift. Besondere Gegebenheiten, etwa in Form eines längeren Transportweges, werden berücksichtigt.

Die naturräumlichen und insbesondere geologischen Gegebenheiten eines Staates stehen indirekt in Zusammenhang mit dessen Ressourceninanspruchnahme. So weicht etwa im Fall Chinas der bilanzierte Ressourcenverbrauch durch die Erzeugung einer Kilowattstunde Strom von dem dazu benötigten Ressourcenverbrauch in Deutschland ab. Grund dafür sind die mit den eingesetzten Energieträgern zur Stromproduktion einhergehenden unterschiedlichen Abraumverhältnisse der genutzten fossilen Energieträger. Der in China erzeugte Strom hat einen höheren Steinkohleanteil als der in Deutschland produzierte, dessen Braunkohleanteil am Strommix derzeit wächst. Braunkohlegewinnung findet im Tagebau statt, die Gewinnung von Steinkohle hingegen hauptsächlich untertägig, was zu geringeren Abraummengen führt [21]. Diese unterschiedlichen Abraumverhältnisse wirken sich somit direkt auf den Ressourcenaufwand der Energieerzeugung aus. Nachfolgend werden die Prozessketten und Eigenschaften der Primärgewinnung der beiden Hauptrohstoffgruppen Metalle und Kunststoffe näher dargestellt.

2.1. Metallische Georessourcen

Im Erz gebundene Nicht-Eisen-(NE) und Eisen (Fe)-Metalle sind endliche metallische Georessourcen und eine unverzichtbare Grundlage für die Industriegesellschaft. Der Rohstoffbedarf der Welt führt den Bergbau in immer schwieriger zugängliche Regionen der Erde und lässt Lagerstätten mit sinkenden Wertstoffgehalten im Erz lukrativ werden [18]. Diese Entwicklung ist mit hohen ökologischen und ökonomischen Risiken und Belastungen verbunden, da immer mehr Abraum und nicht werthaltiges, teils umweltgefährdendes Nebengestein bewegt und prozessiert werden muss. Damit steigt der Anteil des Materials, welches nach der Aufbereitung aufgehaldet werden muss. Konsequenzen sind der erhöhte Flächenverbrauch, Staubemissionen sowie die Belastung von Oberflächen- und Grundwasser durch Austrag von Schwermetallen und sauren Bergbauwässern, denn das aufgehaldete Material ist in den überwiegenden Fällen nicht chemisch inert. Niederschlagsinduzierte Lösungsprozesse lassen belastete Haldensickerwässer mit hohen Metallkonzentrationen und kritischen pH-Werten für die direkte Umwelt entstehen. Als klassisches Beispiel für eine bergbaubedingte Spurenelementquelle kann die Verwitterung von Sulfidmineralen in Abraummaterial etwa bei der Gold, Nickel oder Kupfer Gewinnung genannt werden [1]. Auch Aufbereitungsrückstände wie der bei der Aluminiumgewinnung anfallende Rotschlamm, enthalten neben ihrer oftmals unmittelbar ätzenden Wirkung toxische Schwermetalle, die zu einer Verunreinigung von Umgebung und Grundwasser führen können [17, 19, 26, 29]. Durch den Abbau und die Aufbereitung von metallischen Georessourcen werden Böden und Landflächen vielfach stark beansprucht, Erdreich bewegt und oft tiefgreifend in bestehende Ökosysteme eingegriffen.

Der bergmännische Abbau von Erzen findet untertägig oder übertägig statt. Insbesondere der übertägige Abbau geht mit einem hohen Flächenverbrauch einher und hat große Auswirkungen auf die lokale Umwelt. Die abgebauten Metallerze bestehen aus den jeweiligen Erzmineralien sowie dem nicht verwertbaren *tauben* Nebengestein, der Gangart. Die Wertelemente liegen je nach Lagerstättentyp disseminiert im

Erz oder in Gängen konzentriert vor. Dem Abbau folgt die Erzaufbereitung, in der durch verschiedene physikalische und chemische Trennverfahren das Erzmineral von der Gangart getrennt wird, um die Metallfraktion anzureichern und ein nutzbares Konzentrat zu generieren. Dieser Schritt wird je nach Erz und Lagerstätte direkt am Gewinnungsort oder auch nach weiterem Transport in einer externen Erzaufbereitung durchgeführt. Die bei der Aufbereitung sowie dem Abbau anfallenden, nicht verwertbaren Nebengesteine und Aufbereitungsrückstände werden aufgehaldet und je nach Umweltbelastung unter- oder übertägig deponiert. Das aufkonzentrierte Vorprodukt wird dem Verhüttungsprozess zugeführt, in dem Rohmetalle für spätere Halbzeuge, Legierungen und Produkte eingeschmolzen werden. Die schematische Prozesskette der Metallgewinnung, die in der Bilanzierung für den Primärprozess genutzt wurden, ist im nachfolgenden Bild schematisch dargestellt.

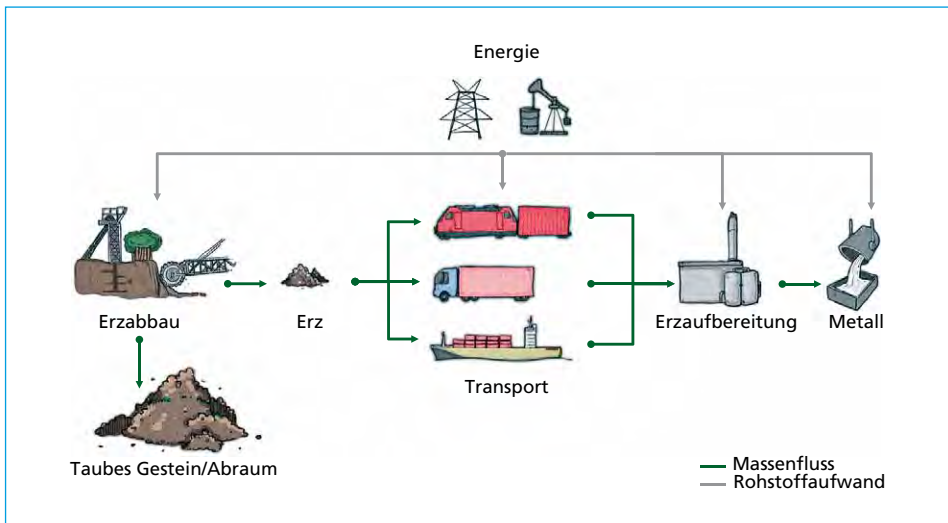


Bild 4: Schematische Prozesskette der Metallgewinnung aus Primärmaterial

Die verschiedenen Stufen über den Abbau sowie den Transport und die Aufbereitung sind, unter Berücksichtigung der jeweiligen Besonderheiten von Material- und Erz, prinzipiell auf die Produktion aller metallischen Primärrohstoffe übertragbar.

2.2. Erdölbasierte Kunststoffe

Rund 33 Prozent des globalen Primärenergieverbrauchs wird durch Erdöl gedeckt [6]. Damit ist Erdöl einer der wichtigsten fossilen Energierohstoffe der heutigen Industriegesellschaft. Volatile Preise, sinkende Verfügbarkeiten, geopolitische Konflikte und die begrenzten Reserven werden durch Erdöl in der Öffentlichkeit am stärksten wahrgenommen [2]. Ob der Höhepunkt der globalen Erdölförderung, der *Peak Oil*, bereits überschritten ist oder unmittelbar bevorsteht, ist immer wieder Gegenstand wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Diskussionen [3, 9, 16]. Auf der Suche nach neuen Lagerstätten wird weltweit verstärkt exploriert. Unkonventionelle Lagerstättentypen

wie Ölsande oder durch die umstrittene Fracking-Technologie erschlossene Tight Oil und Gas Lagerstätten, werden teils mit hohem Energie-, Ressourcen- und Landschaftsverbrauch erschlossen [10, 24]. Die Folgen sind teils unbekannt und die Diskussion in der Gesellschaft häufig emotional getrieben [4, 11]. Eine Entlastung der Primärgewinnung durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen ist somit mittelfristig von hoher Bedeutung, auch wenn der Rohölbedarf des Verkehrs- und Energiesektors deutlich größer ist, als der zur Kunststoffproduktion [5].

Konventionelle Kunststoffe sind überwiegend erdölbasiert und ihre stoffliche Verwertung hat, ebenso wie energetische Verwertung, eine hohe rohstoffwirtschaftliche Relevanz. Im nachfolgenden Bild ist die Prozesskette der Herstellung von Primärgranulat dargestellt, die sich so im Grundsatz auf die Produktion aller erdölbasierten Kunststoffe übertragen lässt und als Basis zur Bilanzierung des Primärprozesses dient.

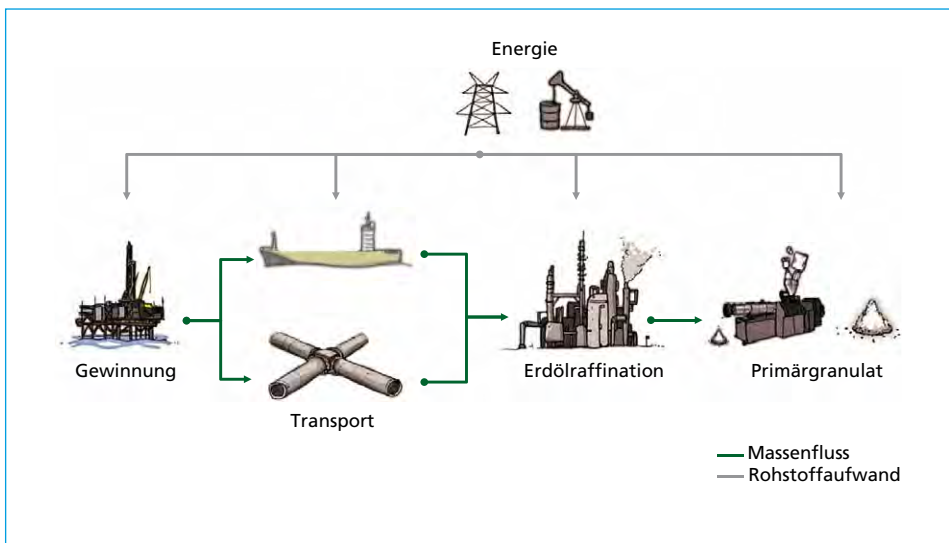


Bild 5: Schematische Prozesskette der Kunststoffgewinnung aus Primärmaterial

Bei der Herstellung von Kunststoff-Regranulat aus Sekundärrohstoffen entfallen die energie- und umweltintensiven Vorstufen der On- und Offshore-Gewinnung, die Raffination des Rohöls und die Polymerisation. Durch das Kunststoffrecycling werden damit die energie- und rohstoffintensiven Vorketten der Grundstoffproduktion ausgespart und letztlich eine endliche Georessource und die sie umgebende Umwelt geschont.

3. Ergebnisse

3.1. Aluminium

Die Bilanzierung der Prozesskette zur Herstellung von Primäraluminium ergibt einen Rohstoffaufwand von 26,4 Tonnen Primärressourcen pro Tonne Inputmaterial.

Das nachfolgende Fließschema zeigt exemplarisch, welche Inputgrößen in die Berechnung des Sekundärprozesses für Aluminium eingehen. Die kursiv dargestellten Zahlen stellen den jeweiligen Rohstoffaufwand dar, der etwa durch Energieinput in das System eingeht oder durch die Sammlung (z.B. in Form von Dieselmotorkraftstoff) aufgewendet werden muss. Die dunkelgrünen Pfeile symbolisieren den Massenfluss durch die Prozesskette.

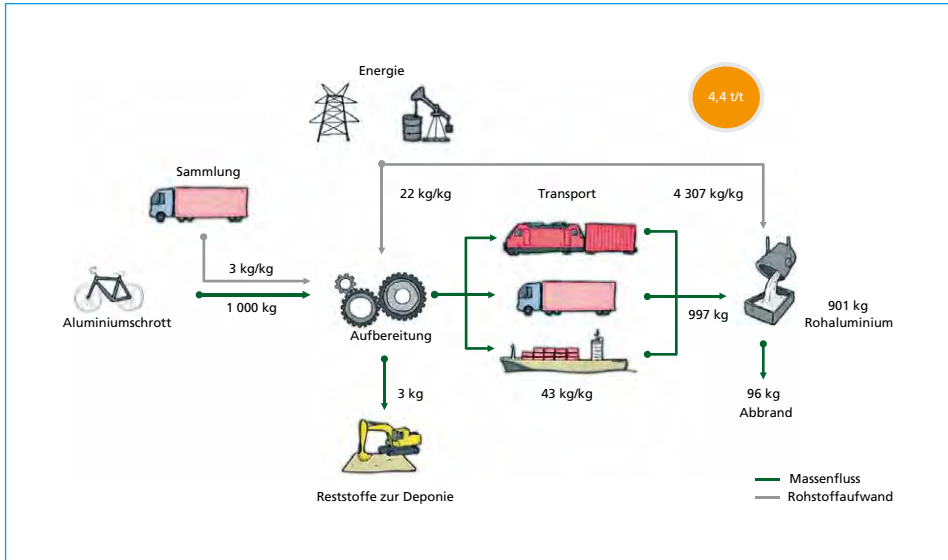


Bild 6: Fließschema des Sekundärprozesses Aluminium

Die Bezugsgröße des Modells ist eine Tonne Aluminiumschrott. Die Modellierung wurde anhand der deutschen Aluminiumprimärproduktion mit einem globalen Bauxitminenmix durchgeführt. Anhand der Massenflüsse wird deutlich, dass sich der Anteil des Rohaluminiums am eingesetzten Schrott durch die Aufbereitung um 0,3 Prozent und die daran anschließende Schmelze um 9,6 Prozent auf 90,1 Prozent reduziert. Der so verbleibende Massenstrom entspricht 901 kg Rohaluminium pro eingesetzter Tonne Schrott. Das folgende Bild zeigt, dass der größte Anteil des Ressourcenverbrauchs aufgrund des hohen Energiebedarfs auf die Aluminiumschmelze entfällt.

Die Einsparung umfasst somit den Ressourcenaufwand zur Herstellung von 901 kg Rohaluminium. Um 901 kg Primäraluminium aus einem Aluminiumerz zu gewinnen, muss eine Rohstoffmenge von rund 26,4 Tonnen aufgewendet werden. Der Rohstoffaufwand, um eine Tonne Sekundäraluminium zu verwerten, beträgt in der gesamten Prozesskette rund 4,4 Tonnen. Somit wird pro Tonne recycelten Aluminiums eine Rohstoffmenge von etwa 22 Tonnen geschont. Haupteinflussgröße im Sekundärprozess ist der Schmelzprozess.

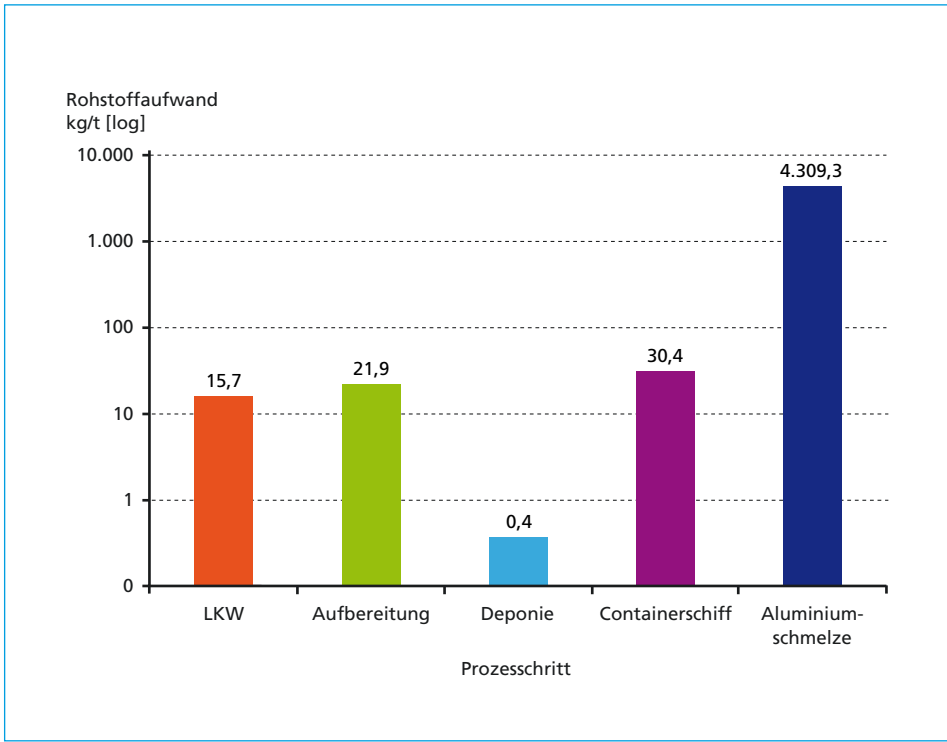


Bild 7: Einflussfaktoren der Ressourcenbilanz für Sekundäraluminium

3.2. Polypropylen

Die Gruppe der erdölbasierten Kunststoffe wird anhand des Beispiels Polypropylen besprochen. Die Bilanzierung der Prozesskette zur Herstellung von PP-Primärgranulat ergibt einen Rohstoffaufwand von 2,4 t Primärressourcen pro Tonne Inputmaterial. Darin enthalten sind die Erdölgewinnung, der Rohöltransport sowie Raffination und Polymerisation. Bei der Herstellung von Kunststoff-Regranulat aus Sekundärrohstoffen entfallen die energie- und umweltintensiven Vorketten der On- und Offshore-Gewinnung, die Raffination des Rohöls und die Polymerisation – dafür müssen die Kunststoffe aber gesammelt, gereinigt und extrudiert werden. In der Studie wurde ein Rohstoffaufwand von 0,6 t/Inpud für das Regranulat berechnet. Der Wert beinhaltet bereits Einsparungen durch die energetische und stoffliche Verwertung von Störstoffen. Nachfolgend ist das vereinfachte Fließschema für den Polypropylen-Sekundärprozess dargestellt. Die gezeigten Werte sind aggregiert und stellen die firmenspezifische Prozesskette dar.

Aus der Differenz zwischen dem Rohstoffaufwand des Primär- und Sekundärprozesses ergibt sich eine spezifische Einsparung von etwa 1,8 Tonnen Primärressourcen pro Tonne Inputmaterial und somit durch die Nutzung von PP-Regranulat.

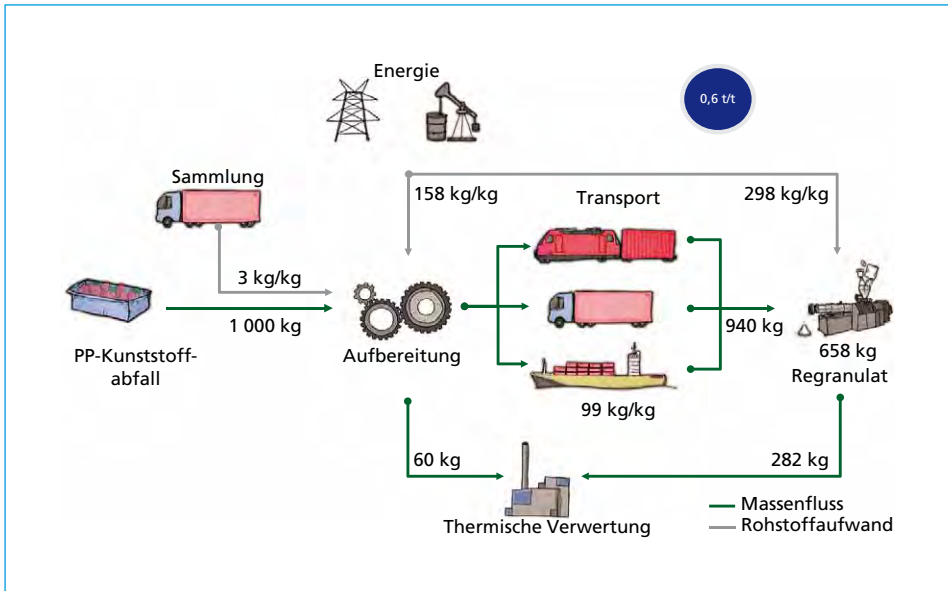


Bild 8: Fließschema des Sekundärprozesses Polypropylen

3.3. Elektroaltgeräte

Die Entsorgung von Elektroaltgeräten wird durch die von den Herstellern beauftragten Unternehmen übernommen. Der vorsortierte Elektroschrott liegt am Ende der Prozesskette bei dem vom Hersteller beauftragten Verwerter anhand der fünf Sammelgruppen Haushaltsgroßgeräte, Kühlgeräte, IT- und Unterhaltungselektronik, Gasentladungslampen sowie Haushaltskleingeräte getrennt vor. Zur Sammelgruppe der Haushaltskleingeräte gehören z.B. Toaster, Rasierapparate oder Staubsauger. Haushaltskleingeräte besitzen mit etwa 34 Prozent einen hohen Anteil an Kunststoffen. Aufgrund eines ebenfalls hohen Anteils von Nichteisenmetallen ist das Recycling dieser Sammelgruppe von wirtschaftlichem Interesse. Fe-Metalle sind in dieser Sammelgruppe mit 41 Prozent am stärksten vertreten.

Der größte Teil des Ressourcenverbrauchs im Sekundärprozess entfällt auf die Verwertung von Fe-Metallen und Kupfer. Die energetische Verwertung der Restfraktion reduziert den Ressourcenverbrauch durch die Einsparung von Energieträgern. Der gemischte Stoffstrom wurde entsprechend der in ihm vertretenen Anteile reiner Stofffraktionen wie Kunststoffe, Metalle und Nichteisenmetalle bilanziert. Insgesamt konnten durch die Sammlung und Verwertung von Haushaltskleingeräten in diesem unternehmensspezifischen Verfahren über 823.000 Tonnen Primärressourcen im Jahr 2013 eingespart werden.

4. Fazit

Ein Wechsel von einer senkenorientierten Betrachtung zu einer systemischen Perspektive, die sich von Ressourcenquellen über das anthropogene Wirtschaftssystem bis hin zu den Umweltsenken erstreckt, ist notwendig. Denn die quellenorientierte Betrachtung zeigt, dass der Rohstoffaufwand von Sekundärprozessen über die gesamte Wertschöpfungskette geringer ist, als der von Primärprozessen. Damit werden nicht nur die direkten, sondern auch die indirekten Ressourcenverbräuche gesenkt und Begleitproblematiken der Primärrohstoffgewinnung, etwa durch Abraummateriale oder Aufbereitungsrückstände vermieden. Deshalb setzt der Ansatz an der Quelle der Wirkungskette an, direkt an der Lagerstätte. Die Nutzung von Sekundärrohstoffen kann auf Grundlage der Ergebnisse als eine Variante des vorsorgenden Umweltschutzes verstanden werden. Folgeerscheinungen der Primärrohstoffgewinnung können durch Recycling vermieden werden bei gleichzeitiger Schonung endlicher Lagerstätten.

Die im Rahmen der Studie exemplarisch aufgestellten Bilanzierungen basieren auf unternehmensspezifischen Prozessen und Daten und lassen sich somit nicht deckungsgleich auf andere Unternehmen übertragen. So liegen etwa unternehmensspezifische Daten zu Aufbereitungs- oder Transportprozessen zu Grunde, deren Erhebung spezifisch erfolgen muss, solange es belastbaren, keine branchenweiten Durchschnittswerte gibt. Dennoch ist die Tendenz richtungsweisend und verdeutlicht, dass Recycling einen positiven Beitrag zur Ressourcenschonung leistet, z.B. Einsparung von 22 Tonnen Primärmaterial bei der Recycling einer Tonne Aluminiumschrott. Die auf die betrachteten Stoffströme des Umweltdienstleisters angewandte Methodik weist eine Gesamteinsparung von rund 51 Millionen Tonnen Primärressourcen für das Jahr 2013 aus.

Das Metallrecycling wird eine höhere Bedeutung erhalten, da die Wertstoffgehalte in Primärlagerstätten abnehmen und damit der Aufwand und gleichzeitig die Kosten der Gewinnung steigen. Die Deckung des Rohstoffbedarfs durch Sekundärmaterialien ermöglicht Unternehmen neben der Reduktion des Ressourcenverbrauchs eine Resilienzsteigerung gegenüber Preisschwankungen von Rohstoffen und Versorgungsengpässen. Damit ist die Steigerung der Recyclingquoten in Deutschland sowohl aus volkswirtschaftlichen als auch aus geopolitischen Erwägungen anzustreben. Gerade in Zeiten kurzer Innovationszyklen von Konsumprodukten sollten wiederverwendbare und technisch ohne großen Aufwand zu recycelnde Materialien genutzt werden. Hinzu kommt ein geringerer logistischer Aufwand durch die Nutzung der im EU-Raum befindlichen Stoffkreisläufe. Welche Strategien zur Senkung des Ressourcenverbrauchs können produzierende Unternehmen bei der Produktentwicklung und bei der Vereinfachung des Recyclings verfolgen:

Recyclingfähigkeit kann durch die Reduktion der eingesetzten Werkstoffvielfalt im Endprodukt etwa in Form eines Demontageplans, wie in der VDI-Richtlinie 2243 *Recyclingorientierte Produktentwicklung* beschrieben, erhöht werden.

Ressourceneffizienz bzw. die Reduktion der Einsatzmengen oder deren Substitution durch vorteilhaftere Rohstoffe.

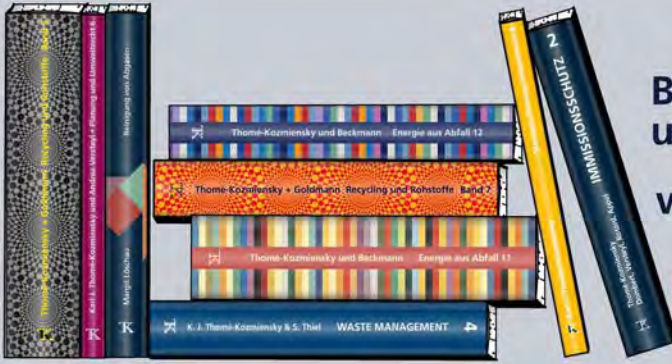
Umwelt- und Verbraucherinformation durch Verdeutlichung und Quantifizierung des Ressourcenverbrauchs als Entscheidungshilfe zum Konsumverhalten. Dieses Wissen kann dann in ihre Handlungen einfließen.

Die Vision einer vollständig geschlossenen Kreislaufwirtschaft ohne Abfall ist in der heutigen Industriegesellschaft naturwissenschaftlich und technisch nicht möglich. Doch an einer Annäherung arbeiten Industrie und Forschung, denn den einen Königsweg hin zu einer ressourceneffizienten Wirtschaft gibt es nicht. Insbesondere in Zeiten kurzer Innovationszyklen von Konsumprodukten sollten wiederverwendbare und leicht zu recycelnde Materialien genutzt werden. Die Abfallwirtschaft sollte zu einer Wertstoffwirtschaft ausgebaut werden. Dass der Rohstoffaufwand der Sekundärrohstoffproduktion geringer ausfällt als bei der Primärproduktion, konnte mit dieser Untersuchung dargelegt werden.

5. Quellen

- [1] Akcil, A.; Koldas, S.: Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. In: Journal of Cleaner Production, Volume 14, S. 1139-1145, 2006
- [2] Association for the Study of Peak Oil & Gas, ASPO International. Internetpräsenz. Online verfügbar unter <http://www.peakoil.net/>, letzter Zugriff 15. Dezember 2014
- [3] Bast, E.; Makhijani, S.; Pickard, S.; Whitley, S.: The fossil fuel bailout: G20 subsidies for oil, gas and coal exploration, Overseas Development Institute, 2014
- [4] Boudet, H.; Clarke, C.; Budgen, D.; Maibach, E.; Roser-Renouf, C.; Leiserowitz, A.: Fracking controversy and communication: Using national survey data to understand public perceptions of hydraulic fracturing. In: Energy Policy, Volume 65, S. 57-67, 2014
- [5] Bundesamt für Umwelt Schweiz (BAFU): Kunststoff – ein vielfältiger Werkstoff. Online verfügbar unter http://www.pet-info.ch/fileadmin/Dateien/Dokumente/BAFU_Juli_2010/BAFU-Broschuere-KST-Atlas-CH_2009-03-06.pdf, letzter Zugriff 15.12.2014
- [6] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.): Rohstoffsituation Deutschland 2013, 2014
- [7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Hrsg.): Aktionsprogramm Klimaschutz 2020, Dezember 2014
- [8] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Hrsg.): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes), Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen, Mai 2012
- [9] Carlson, W.B.: World Oil Production via Hubbert Linearization of Production and Normalizations of Production. In: Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, Volume 7, Issue 2, S. 162-168, 2012
- [10] De Klerk, A.; Gray, M.R.; Zerpa, N.: Chapter 5 – Unconventional Oil and Gas: Oilsands. In: Future Energy (Second Edition), Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet, S. 95-116, 2014
- [11] Evensen, D.; Jacquet, J.B.; Clarke, C.E.; Stedman, R.C.: What 's the fracking problem? One world can 't say it all. In: The Extractive Industries and Society, Volume 1, S. 130-136, 2014
- [12] Eyerer, P. (Hrsg.): Ganzheitliche Bilanzierung, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1996
- [13] Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): Nachwachsende Rohstoffe im Überblick, 2014

- [14] Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien Version 2009; Anlage II Begriffsbestimmungen nach § 27 Abs. 4 Nr. 2, 2009
- [15] Hartung, M.: Zur Lage der Rohstoffgewinnung in Deutschland. In: Glückauf – Die Fachzeitschrift für Rohstoff, Bergbau und Energie 144 (Nr. 11), S. 655–662, 2008
- [16] Hughes, D.: Drilling Deeper – A Reality Check on U.S. Government Forecasts for a Lasting Tight Oil & Shale Gas Boom, Post Carbon Institute, 2014
- [17] Kumari, S.; Udayabhanu, G.; Prasad, B.: Studies on environmental impact of acid mine drainage generation and its treatment: an appraisal. In: Indian Journal of Environmental Protection, 30 (11), S. 953-967, 2010
- [18] Mudd, G. M.; Zhehan W.; Jowitt M.: A Detailed Assessment of Global Cu Resource Trends and Endowments, Economic Geology, v. 108, S. 1163–1183, 2013
- [19] Öko-Institut e.V., Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale, 2005
- [20] Pflaum, H.; Hiebel, M.; Dresen, B.; Schweden, C.: Recycling für den Klimaschutz – Vergleich der CO₂-Emissionen beim Einsatz von Primär- und Sekundärrohstoffen. In: Thomé-Kozmiensky, K.J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 4, 2011
- [21] Pohl, W.; Petrascheck, W.: Mineralische und Energie-Rohstoffe. Eine Einführung zur Entstehung und nachhaltigen Nutzung von Lagerstätten. W. und W.E. Petrascheck's Lagerstättenlehre. 5. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart, S. 415, 2005
- [22] Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (Hrsg.): Ressourcenleicht leben und wirtschaften, Standortbestimmung der Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (KRU). Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/kru_standortbestimmung_0.pdf, letzter Zugriff: 15. Dezember 2014
- [23] Ritthoff, M., Rohn, H., Liedtke, C.: MIPS berechnen – Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen. Wuppertal Spezial Nr. 27, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, 2002
- [24] Sovacool, B.K.: Cornucopia or curse? Reviewing the costs and benefits of shale gas hydraulic fracturing (fracking). In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 37, S. 249-264, 2014
- [25] Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Umweltnutzung und Wirtschaft, Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen, 2013
- [26] Sushil, A.; Batra, V.S.: Catalytic applications of red mud, an aluminium industry waste: A review. In: Applied Catalysis B: Environmental, Volume 81, S. 64-77, 2008
- [27] Sustainable Europe Research Institute SERI (Hrsg.): Ohne Mass und Ziel? – Über unseren Umgang mit den natürlichen Ressourcen der Erde, GLOBAL 2000 Verlagsgesellschaft, Wien, 2009
- [28] Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): Glossar zum Ressourcenschutz, 2012
- [29] United States Environmental Protection Agency, Radiation Programs – Aluminum Production Wastes. Online verfügbar unter <http://www.epa.gov/radiation/tenorm/aluminum.html>, letzter Zugriff 15. Dezember 2014
- [30] VDI Richtlinie: VDI 6310 Blatt 1, Klassifikation und Gütekriterien von Bioraffinerien, Berlin, 2014
- [31] VDI Zentrum für Ressourceneffizienz, Glossar zur Ressourceneffizienz, 2014



Besuchen Sie uns unter

www.

vivis.de

Wir widmen uns aktuellen verfahrens- und anlagentechnischen sowie politischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Themen, soweit sie die Abfall- und Kreislaufwirtschaft, die Energie- und Rohstoffwirtschaft und den Immissionsschutz betreffen. Unsere Aufgabe sehen wir in der Kommunikation zwischen Politik, Verwaltung, Wirtschaft, Technik und Wissenschaft.

Zu wichtigen Themen veranstalten wir Konferenzen und Congresses – dazu geben wir Bücher heraus.

Stets sind wir auf der Suche nach interessanten Referenten, aktuellen Themen und spannenden Projekten um unser Angebot weiterzuentwickeln. Gern lassen wir uns von neuen Ideen inspirieren und diskutieren deren Realisierbarkeit.



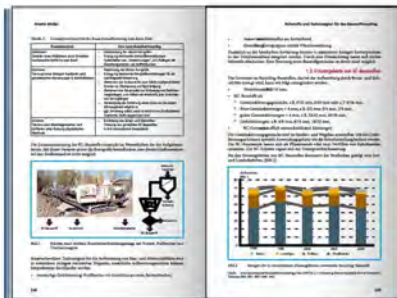
Der TK Verlag gibt seit dreißig Jahren Fachbücher zu zahlreichen Themen des technischen Umweltschutzes heraus:

- Thermische Abfallbehandlung und energetische Verwertung
- Mechanisch-biologische Abfallbehandlung und Ersatzbrennstoffe
- Biologische Abfallbehandlung
- Recycling und Rohstoffe
- Verpackungen, ...

Unsere Konferenzen im Überblick:

- Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz
- Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz
- Berliner Konferenz Mineralische Nebenprodukte und Abfälle
- IRRC – Waste-to-Energy
- Berliner Immissionsschutzkonferenz

Insgesamt sind bislang bei uns etwa zweitausend Fachbeiträge erschienen, die in ihrer Gesamtheit einen guten Überblick über technische, wirtschaftliche, rechtliche und politische Entwicklungen geben. Seit Kurzem stellen wir Ihnen die Fachbeiträge kostenlos auf unserer Internetseite zur Verfügung.



Dorfstraße 51
 D-16816 Nietwerder-Neuruppin
 Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
 E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

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 8

ISBN 978-3-944310-20-6 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 2015
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, Carolin Bienert, Janin Burbott,
Max Müller, Cordula Müller
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 Funk-sendung, 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.