

Kartierung des anthropogenen Materiallagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft

ORTLEPP, Regine¹, SCHILLER, Georg¹

Abstract

Deutschland hat ein enormes Vermögen in Form von Bauwerken, Infrastrukturen und sonstigen langlebigen Gütern angehäuft. Hierin befindet sich ein wertvolles Sekundärrohstoffreservoir – ein anthropogenes Materiallager, bestehend u.a. aus Gesteinen, Metallen, Holz und Kunststoffen. Es ist als Kapitalstock der Zukunft zu begreifen, den es im Sinne von Urban Mining systematisch zu bewirtschaften gilt. Wissen über Größe und Zusammensetzung dieses Materiallagers sowie über dessen Veränderungsdynamik zu generieren war Anliegen eines UBA-Vorhabens.

Im Ergebnis liegt nun ein differenziertes Bild über Materialbestände und Materialflüsse vor, die in langlebigen Gütern in Deutschland gebunden sind bzw. von diesen ausgelöst werden, sowie ein Konzept, das Grundlagen zum Aufbau eines langfristigen Monitorings des anthropogenen Lagers durch eine kontinuierliche Fortschreibung von Bestandsveränderungen liefert. Zum anthropogenen Materiallager werden alle Materialien gezählt, die in langlebigen Gütern, d.h. mit Verweildauern von mindestens einem Jahr, gebunden sind. Berücksichtigt wurden Bauwerke der technischen Infrastruktur, Gebäude inkl. Haustechnik, Kapitalgüter sowie langlebige Konsumgüter.

Die Analyse des Materiallagers und seiner Dynamik erfolgte aus zwei gegensätzlichen Perspektiven. Die Top-Down-Analyse verwendet ökonomieübergreifende volkswirtschaftliche Daten und ergab für das Jahr 2010 einen Inputmaterialfluss in das anthropogene Lager Deutschlands von 757 Mio. t und einen Output-Materialfluss von 228 Mio. t. Das Gesamtbild der Input- und Outputflüsse lässt sich aus der Kombination von Materialflussdaten mit abfallwirtschaftlichen Daten beschreiben. Die abfallwirtschaftliche Analysen ergaben innerhalb des Lagers zwei wesentliche Mengenflüsse: Ablagerungen auf Deponien sowie Materialkreisläufe im Lager durch stoffliche Verwertung. Ebenso mengenrelevant ist der Rückfluss in das Lager aus energetischer Verwertung und thermischer Beseitigung, bspw. in Form von REA-Gipsen.

Fragen der Kreislaufführung von Materialien erfordern eine ausreichende Differenzierung der Massen über die Hauptmaterialgruppen hinaus. Diese Möglichkeit bietet die Bottom-Up-Analyse – die zweite Perspektive. Darin wurden güterbezogene Materialkennziffern mit geeigneten Quantitäten der Güterlager und -flüsse verknüpft und bezogen auf das gesamte Bundesgebiet hochgerechnet. Das so berechnete Materiallager beträgt in 2010 über alle betrachteten Gruppen der langlebigen Güter insgesamt 28 Mrd. t. Es wird dominiert von den mineralischen Materialien vor allem im Bausektor. Bei den anderen Gütergruppen dominieren metallische Materialien. Die Inputflüsse, insbesondere im Baubereich, unterscheiden sich qualitativ teils erheblich von den Beständen. So fließen z.B. in den Tiefbau ca. doppelt so viele mineralische Materialien, wohingegen die Bestände beider Bereiche nahezu ausgeglichen sind.

Auf der Basis dieses neu generierten Wissens lassen sich Sekundärrohstoffpotenziale differenziert nach Güter- und Materialgruppen quantifizieren und somit zukünftig wertvolle natürliche Ressourcen schonen.

Keywords: Urban Mining, anthropogenes Materiallager, Materialfluss, gebaute Umwelt, Ressourceneffizienz, hybrider Top-down-Bottom-up-Ansatz

¹ Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Dresden

1. Einleitung

Die Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft stellt eine maßgebliche Strategie zu einer ressourcenschonenden Wirtschaftsweise dar. In der Fortschreibung des Deutschen Ressourceneffizienzprogrammes wird die Rolle der Kreislaufwirtschaft nicht nur als eine von vier Leitideen hervorgehoben, sondern im gesamten Programm deutlich verankert (BMUB [1]). Auch seitens der EU-Kommission wird eine neue Kreislaufwirtschaftsstrategie erarbeitet, deren erklärtes Ziel es ist, einen Paradigmenwechsel vom ressourcenintensiven, linearen, „take-make-consume and dispose“-Wirtschaftsmodell zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft zu vollziehen (EUROPEAN COMMISSION [2], [3]). Die Kreislaufwirtschaft erfordert ein Denken in Materialflüssen, welche die gesamte Wertschöpfungskette von der Rohstoffgewinnung bis hin zur Abfallbewirtschaftung berücksichtigt. Bislang ist jedoch ein wesentlicher Aspekt in der abfallwirtschaftlich geprägten Kreislaufwirtschaftspolitik nicht angemessen integriert: Die starke, zeitabhängige Bestandsdynamik, die sich vor allem durch die Verweilzeiten langlebiger Güter ergibt, denn Kreisläufe können mitunter erst nach einigen Jahrzehnten geschlossen werden.

Die Bundesrepublik Deutschland hat mittlerweile trotz der oft zitierten geologischen Rohstoffarmut ein enormes Vermögen in Form von Bauwerken, Infrastrukturen und sonstigen langlebigen Gütern angehäuft. Und dieses so genannte anthropogene Lager wächst stetig: Pro Einwohner und Jahr um ca. 10 Tonnen. Im anthropogenen Materiallager verbirgt sich ein wertvolles Sekundärrohstoffreservoir, das einen wichtigen Beitrag zur Sicherung der Lebensgrundlagen zukünftiger Generationen leisten und negative Einwirkungen auf die Umwelt reduzieren kann. Es ist als Kapitalstock der Zukunft zu begreifen, den es systematisch zu bewirtschaften gilt. Man spricht in diesem Sinne auch von *Urban Mining* (BRUNNER [4]).

In der überwiegend Input-dominierten Ressourceneffizienzdiskussion findet dieser Kapitalstock bislang nur wenig Beachtung. Eine Ursache hierfür ist unzureichendes Wissen über die Größe und Zusammensetzung dieses Materiallagers sowie über dessen Veränderungsdynamik. Um Urban Mining den Weg zu ebnen, wurde 2012 am Umweltbundesamt eine Forschungsserie: „Die Kartierung des anthropogenen Lagers“ (KartAL) initiiert. Diese verfolgt das Ziel, die Wissens- und Entscheidungsbasis für die Sekundärrohstoffwirtschaft systematisch zu verbessern, um ein effektiveres Urban Mining im anthropogenen Lager zu etablieren. Das Vorhaben „Kartierung des Anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft“ (KartAL) sollte als erstes Projekt in dieser Forschungsserie dazu beitragen, die Wissensbasis diesbezüglich deutlich zu erweitern. Es sollten Grundlagen für den Aufbau eines fortschreibbaren Datenbankmodells des anthropogenen Materiallagers geschaffen werden. Dazu erfolgten Einschätzungen zur Größe und Zusammensetzung des derzeitigen anthropogenen Materiallagers von Gebäuden, Infrastrukturen und ausgewählten langlebigen Gütern in Deutschland sowie Analysen von Datenquellen und Kenngrößen, anhand derer sich die Dynamik der Veränderung des anthropogenen Lagers beschreiben lässt. Der vorliegende Beitrag stellt die dabei verfolgte Methodik (Abschnitt 2) sowie ausgewählte Ergebnisse des ersten Projektes dieser Serie vor (Abschnitt 3).

2. Methodik und Datengrundlagen

2.1 Systemgrenzen

Zum anthropogenen Lager werden alle Materialien gezählt, die in langlebigen Gütern gebunden sind. Langlebig wird definiert mit Verweildauern von mindestens einem Jahr. Berücksichtigt werden:

- Bauwerke der technischen Infrastruktur,
- Gebäude incl. Haustechnik
- Kapitalgüter sowie
- langlebige Konsumgüter.

Die Systemgrenzen des anthropogenen Lagers werden in Anlehnung an das „ökonomische System“ nach dem Verständnis der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR) [5] festgelegt. Flüsse werden als lagerrelevant definiert, wenn sie zu Veränderungen des anthropogenen Lagers führen. Durchflussgrößen wie z. B. Lebensmittel oder Energieträger werden dagegen als nicht lagerrelevant betrachtet und nicht berücksichtigt.

2.2 Methodischer Ansatz

Die Analyse des Lagers und seiner Dynamik erfolgt mit einem hybriden Ansatz, welcher zwei gegensätzliche Perspektiven kombiniert (Bild 1). Mit einer Top-Down-Analyse wird untersucht, inwieweit materialfluss- und lagerbezogene Aussagen unter Verwendung ökonomieübergreifender volkswirtschaftlicher Daten getroffen werden können. Der Bottom-Up-Analysestrang setzt dagegen an Einzelobjekten an. Beide Analysestränge zeigen spezifische Stärken, die im Rahmen der Kombination der Ansätze zusammengeführt werden sollen. Sie weisen andererseits jeweils spezifische Schwächen auf, deren Abmilderung ein weiteres Ziel der Synthese der Ansätze ist.

Die güter- und materialgruppenbezogenen Analysen werden durch abfallwirtschaftliche Analysen ergänzt. Letztere setzen an Abfallfraktionen an und folgen damit einer abweichenden Gliederungslogik und Differenzierung.

2.3 Top-Down-Methode

Die Top-Down-Methode fokussiert auf Materialflüsse. Sie Analyse verwendet ökonomieübergreifende volkswirtschaftliche Daten der Umweltökonomischen Gesamtrechnung an (UGR) [5]. Hiermit lassen sich der undifferenzierte Nettobestandszuwachs (NAS) im Zeitverlauf sowie nach Materialhauptgruppen differenzierte Flüsse in das und aus dem Lager berechnen (vgl. Bild 2):

- inländische Extraktionen,
- Importe nach Deutschland (inkl. Abfall),
- Exporte ins Ausland (inkl. Abfall),
- inländische Abgaben an die Umwelt (z. B. Verfüllungen) sowie
- Sekundärmaterialrückfluss nicht lagerrelevanten Materialien (z. B. Flugaschen, REA-Gipse).

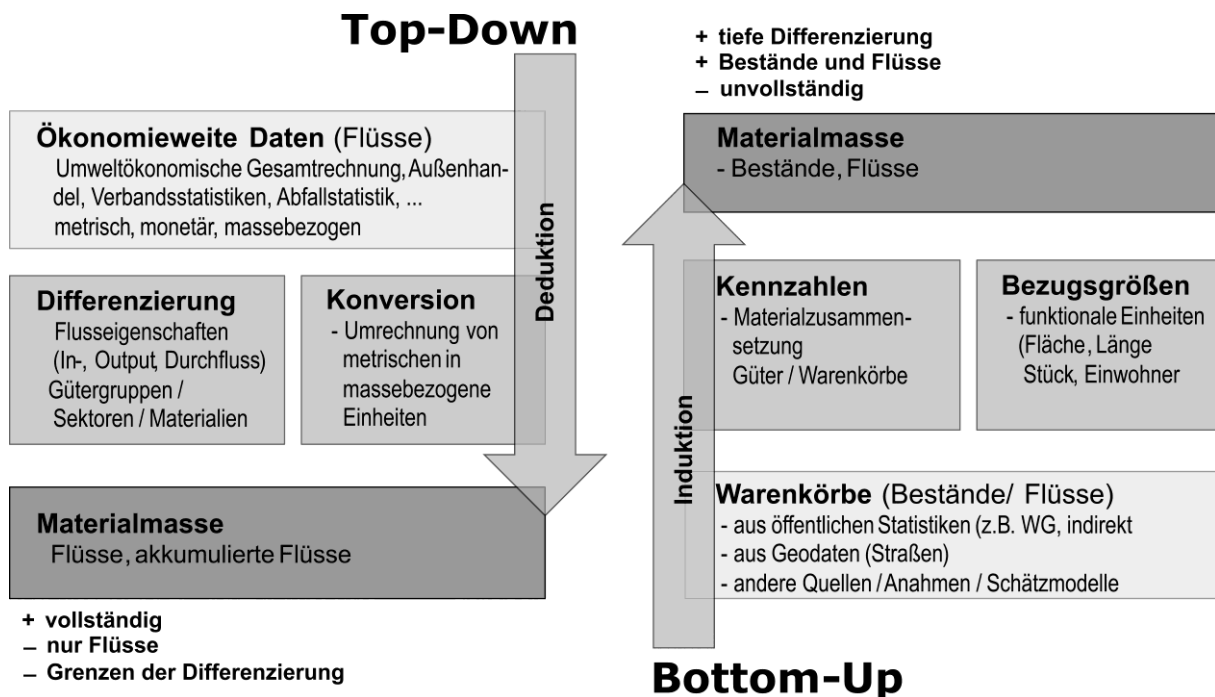


Bild 1: Top-Down- und Bottom-Up-Perspektive

Die Datengrundlage bilden:

- Ökonomieweite Daten der UGR [5],
- der Außenhandelsstatistik [6],
- der Food and Agriculture Organisation (FAOSTAT) [7],
- Daten der Anlaufstelle Basler Übereinkommen zur grenzüberschreitenden Verbringung von Abfällen am Umweltbundesamt [8] sowie
- Daten der Abfallwirtschaftsstatistik [9]

Ein erweiterter Top-Down-Ansatz unter Hinzuziehung von Angaben der Produktionsstatistik [10] sowie von Verbandsdaten erlaubt es, den Materialinput in Güter zu berechnen, d.h. auch Hauptgütergruppen, wie z. B. Baustoffe, Kapitalgüter und Konsumgüter, zu unterscheiden. Damit wird eine Beschreibung von Flüssen innerhalb des Lagers möglich.

2.4 Bottom-Up-Methode

Die Bottom-Up-Analysen eröffnen deutlich größere Freiheitsgrade. Mit dieser Methode lassen sich sowohl Flüsse als auch Lager beschreiben. Güterbezogene spezifische Materialkennziffern (MKZ) werden formuliert, welche sich auf definierte Bezugsgrößen, wie z. B. m² Wohnfläche, km Straßenlänge, MW Kraftwerksleistung oder Stück Waschmaschinen, beziehen. Die MKZ werden anschließend mit den Quantitäten der entsprechenden Bezugsgrößen, die aus entsprechenden Statistiken, Geobasisdaten (Straßen- und Wegenetz) und Annahmen ermittelt werden, multipliziert (Gl. 1).

$$\text{Materialkennziffer} \times \text{Menge Bezugsgröße} = \text{Materialmasse} \quad (1)$$

Damit werden Materiallager und -flüsse bezogen auf das gesamte Bundesgebiet hochgerechnet. Ausgangspunkte für die Bottom-Up-Analysen sind einzelne Güter bzw.

vergleichsweise homogene Gütergruppen. Diese decken jedoch nicht alle lagerrelevanten Güter vollständig ab, weshalb Bottom-Up-Berechnungen grundsätzlich unvollständig bleiben.

Es wurden folgende Gütergruppen betrachtet:

- Technische Infrastrukturen (Tiefbau)
 - Verkehrsinfrastruktur (Straße, Schiene, etc.)
 - Trinkwasser- und Abwasserinfrastruktur (Leitungen, Anlagen)
 - Energieinfrastruktur (Strom-, Gas-, Wärmenetze, Energieerzeugung)
 - IuK-Infrastruktur (TK-Leitungen etc. und Mobilfunk)
- Bauwerke des Hochbaus
 - Wohngebäude (Gebäude einschl. befestigter Flächen auf Grundstücken)
 - Nichtwohngebäude
- Haustechnik
 - in Wohngebäuden (Heizungsanlagen, Rohrleitungen, sanitäre Ausstattung)
 - in Nichtwohngebäuden (Rohrleitungen)
- Langlebige Güter
 - Langlebige Konsumgüter (ca. 30 Güter: Haushaltsgeräte, Heimelektronik, etc.)

Langlebige Kapitalgüter wurden aufgrund unzureichender Daten zur Ermittlung von MKZ mit einer abweichenden Methodik (Materialgehalt auf Basis einer monetären Input-Output-Tabelle) abgeschätzt.

2.5 Umgang mit Unsicherheiten

Um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse in den verschiedenen Ansätzen bewerten zu können, müssen Unsicherheiten in den zugrunde liegenden Daten berücksichtigt werden. In früheren Arbeiten nur selten beachtet, gewinnen Unsicherheitsbetrachtungen in Materialflussanalysen zunehmend an Bedeutung. Zumeist werden einfache Ansätze gewählt, in denen Vertrauensbereiche angegeben werden, z. B. unter Nutzung von Konfidenzintervallen oder Mittelwerte mit Variationsbereichen (z. B. BARLES [11], DAXBECK ET AL. [12]). Anspruchsvollere statistische Modelle wie bspw. wahrscheinlichkeitstheoretische Ansätze oder Fuzzy-Set-Theorie sind oft aufgrund der Datenlage nicht anwendbar. Dies trifft auch auf die Datenlage im Projekt KartAL zu, weshalb hier ein alternativer Ansatz besprochen wurde (SCHILLER, MÜLLER & ORTLEPP [13]). Neben einer dreistufigen Klassifizierung der Datenqualität und Repräsentativität wurden die Ergebnisse aus zwei methodologisch unabhängigen Ansätzen (Top-down und Bottom-up) miteinander kombiniert.

3. Ergebnisse

3.1 Top-Down-Berechnung

Der Nettobestandszuwachs (NAS) kann näherungsweise als Zuwachs des anthropogenen Lagers in langlebigen Gütern im betrachteten Zeitintervall interpretiert werden. Für das Jahr 2010 ergibt sich der NAS zu 820 Mio. t. Dies entspricht einem spezifischen NAS in Höhe von ca. 10 t pro Jahr und Einwohner.

3.2 Bottom-Up-Berechnungen

Das Bottom-Up berechnete Materiallager beträgt in 2010 über alle betrachteten Gruppen der langlebigen Güter insgesamt 28 Mrd. t (Bild 3). Es wird dominiert von den mineralischen Materialien vor allem im Bausektor. Bei den anderen Gütergruppen dominieren metallische Materialien.

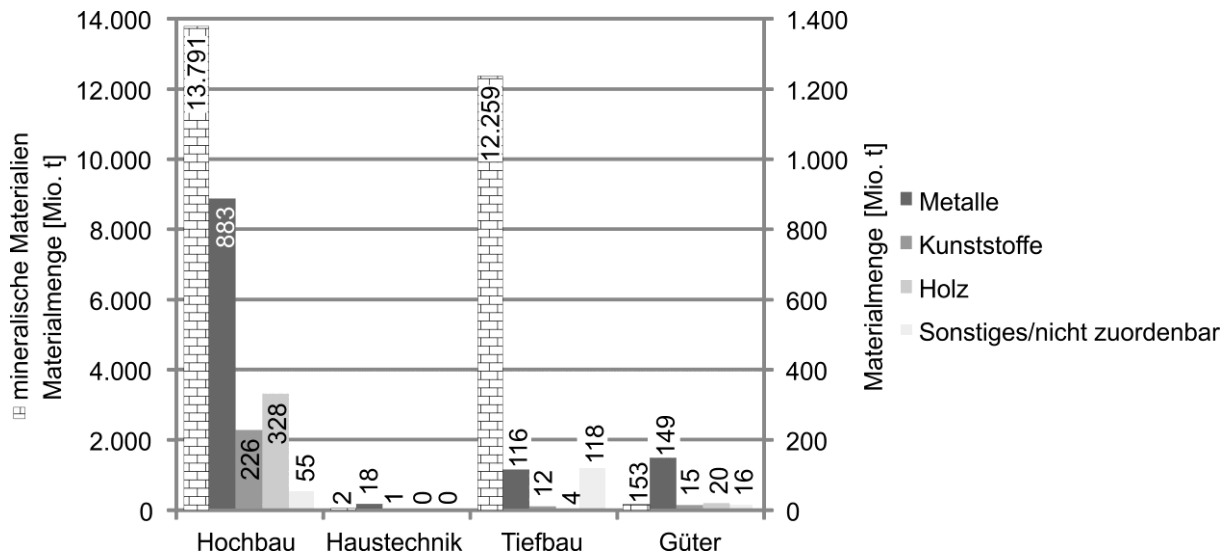


Bild 3: Bestände an Materialien nach Hauptmaterial- und Gütergruppen in 2010

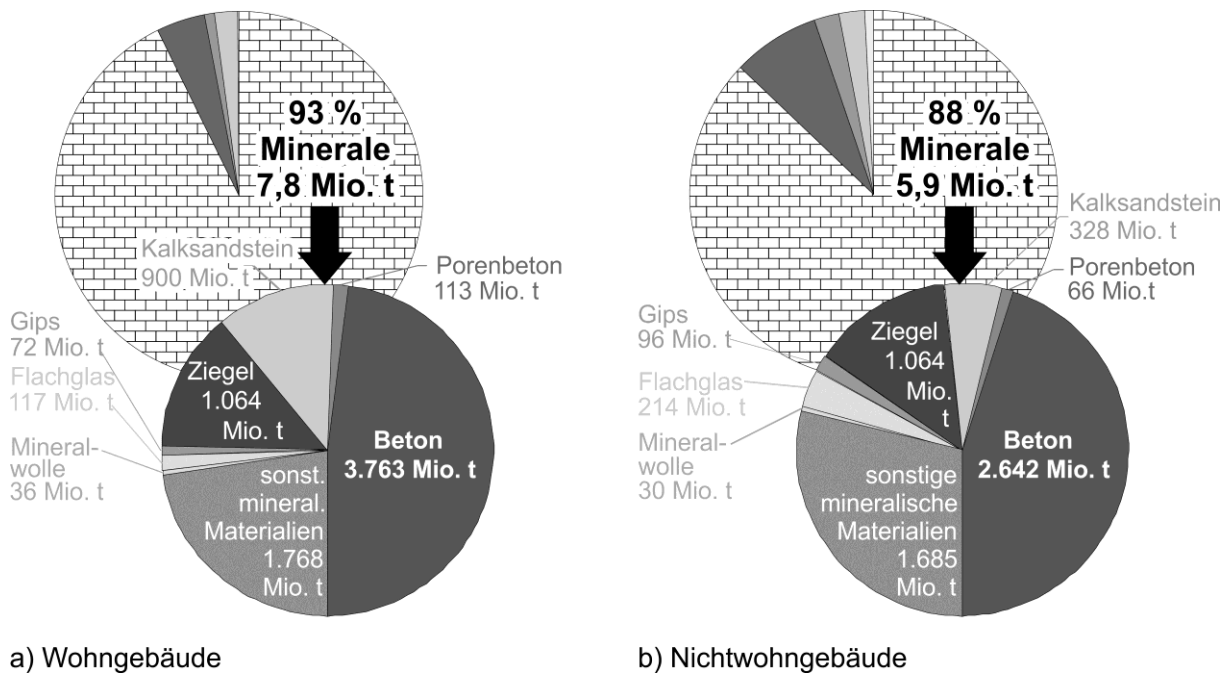


Bild 4: Materialbestände des Hochbaus (Wohn- und Nichtwohngebäude) mit weiterer Differenzierung der mineralischen Materialien

Fragen der Kreislaufführung von Materialien erfordern eine darüber hinausgehende ausreichende Differenzierung, eine Möglichkeit, die der Bottom-Up-Ansatz grundsätzlich bietet (siehe Beispiel mineralische Materialien im Lager des Hochbaus, Bild 4). Den mit Abstand größten Anteil an den mineralischen Baustoffen haben Beton und die sonstigen mineralischen Materialien, gefolgt von Ziegeln und Kalksandstein. Diese Materialien sind hauptsächlich in den tragenden Elementen der Baukonstruktion gebunden, wie z. B. Gründungsbauteile, Stahlbetondecken und Wandkonstruktionen. Dies ist ein signifikanter Unterschied zum Infrastruktursektor, in welchem das Gros der mineralischen Materialien wie beispielsweise Sand, Kies, Schotter ungebunden vorliegt.

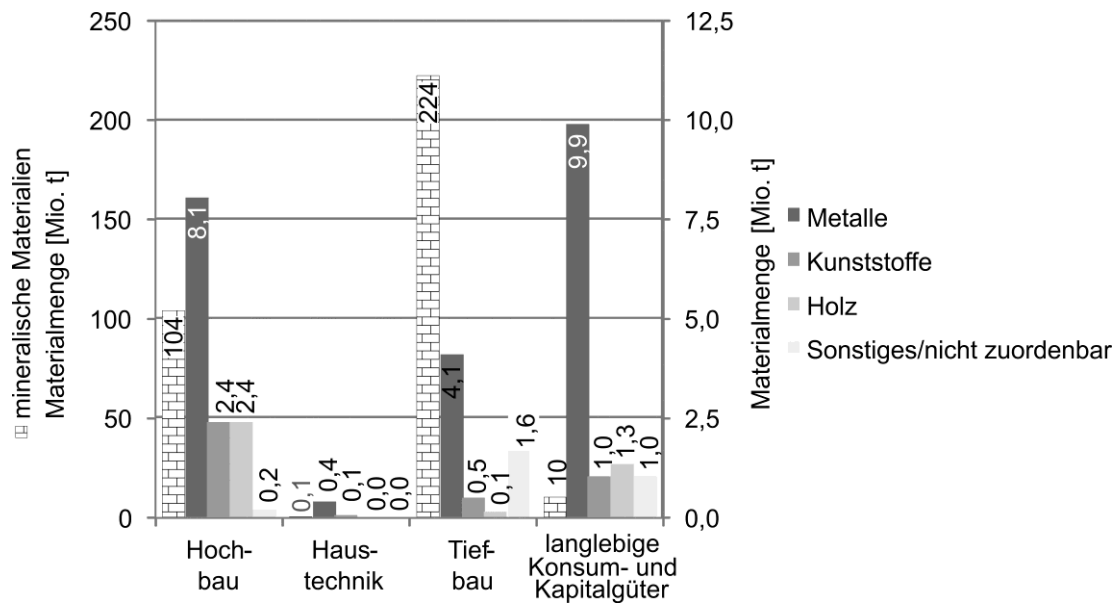


Bild 5: Inputflüsse an Materialien nach Hauptmaterial- und Gütergruppen in 2010

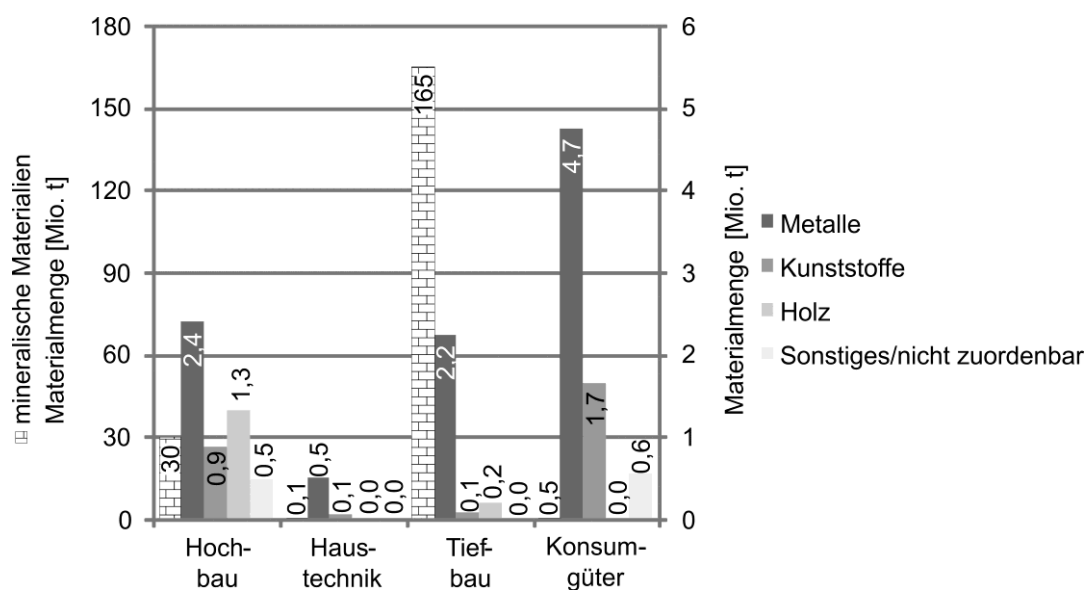


Bild 6: Outputflüsse an Materialien nach Hauptmaterial- und Gütergruppen in 2010 (ohne Kapitalgüter)

Die Berechnung der Flüsse im Bottom-Up-Verfahren folgt derselben Methodik wie für die Lagerbestandsermittlung. Vor allem im Baubereich dominieren die mineralischen Materialien, in den langlebigen Gütern die Metalle (Bild 5). Qualitativ unterscheiden sich die Inputflüsse insbesondere im Baubereich teils erheblich von den Beständen. Diese material- und gütergruppenspezifischen Unterschiede gegenüber den Bestandsdaten finden sich auch bei den Outputflüssen wieder (Bild 6), wenngleich der Output quantitativ deutlich unter dem Input liegt.

3.3 Kombination der Ansätze

Die Kombination der Ergebnisse aus Top-Down- und Bottom-Up-Berechnungen erfolgt anhand der ermittelten Materialflussdaten. Verglichen werden sowohl Input- und Outputflüsse der Top-Down-Ansätze mit jenen der Bottom-Up-Ansätze als auch die Flüsse innerhalb der jeweiligen Analyseansätze. Verglichen werden jeweils Güter- und Materialgruppen.

Mit dem Top-Down-Ansatz werden deutlich höhere Inputflüsse berechnet als unter Anwendung des Bottom-Up-Ansatzes. Der Bottom-Up ermittelte Gesamtinputfluss liegt bei 56 % des Top-Down ermittelten Wertes. Diese Diskrepanz zeigt sich in ähnlicher Ausprägung bei allen Materialgruppen und in allen Gütergruppen. Werden aber differenzierte Daten verglichen, zeigen sich abweichende Bilder – zum Teil sind die Abweichungen gegensätzlich. Top-Down-Werte können also nicht grundsätzlich als Obergrenze angenommen werden. Die Verwendung pauschaler Korrekturfaktoren scheidet somit aus.

Die Gegenüberstellung der Outputflüsse zeigt eine Überschätzung des Bottom-Up-Ansatzes gegenüber den Top-Down-Werten aus der abfallwirtschaftlichen Analyse. Bei der Betrachtung der Hauptmaterialgruppen sind zum Teil erhebliche Unterschiede zu erkennen, die gegenläufige Tendenzen aufweisen. Eine Erklärung liegt darin, dass abfallwirtschaftliche Daten nur Materialflüsse ausweisen, die Abfälle im Sinne der gesetzlichen Definition darstellen.

Die Gegenüberstellungen der Input- und Outputflüsse in den beiden Analyseansätzen zeigen plausible Bilder und weisen einen Zuwachs der Lager aus. Im Top-Down-Ansatz wird die Detailtiefe durch die abfallwirtschaftlich geprägten Outputdaten limitiert (Hauptmaterialgruppen, aber keine Gütergruppen). Beim Bottom-Up-Ansatz zeigen sich insbesondere materialspezifische qualitative Unterschiede. Bei der gütergruppendifferenzierten Betrachtung treten Input-Output-Differenzen in beide Richtungen auf.

4. Schlussfolgerungen

Mit den dargestellten Ergebnissen aus dem Projekt „Kartierung des Anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft“ (KartAL) liegt erstmals eine systematische und umfassende Einschätzung der Größe und Zusammensetzung des derzeitigen anthropogenen Materiallagers in Deutschland sowie damit verbundener jährlicher Flüsse vor². Diese Status quo-Ermittlung legt die Grundlage für weitere Projekte einer Forschungsserie. Damit soll Urban Mining als Strategie zur Fortentwicklung einer

² Eine umfassende Darstellung der Ergebnisse kann dem vorliegenden Abschlussbericht des Vorhabens entnommen werden (SCHILLER ET AL. [14]).

Kreislaufwirtschaft vorangebracht werden. In der Fortschreibung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms wird dem bereits Rechnung getragen und Urban Mining als strategischer Handlungsansatz konkretisiert.

Die verfügbaren Statistiken entsprechen nicht grundsätzlich in hinreichendem Maße den Anforderungen in Bezug auf Vollständigkeit und Differenzierungsgrad. Stattdessen müssen fehlende Daten durch eine Kombination aus verschiedenen Quellen, Schätzungen und Modellen generiert werden. Dies führt zu einer gewissen Unsicherheit in der Basisdaten. Deshalb sind geeignete Methoden erforderlich, die es ermöglichen, diese Unsicherheiten zu identifizieren und abzuschätzen, um die Verlässlichkeit der Daten zu erhöhen. Der Vergleich von Ergebnissen aus zwei methodisch unabhängigen Ansätzen in Kombination mit einer systematischen Modellierung fehlender Daten ist eine geeignete Methode, um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu erhöhen (vgl. SCHILLER, MÜLLER & ORTLEPP [13]).

5. Danksagung

Die Autoren danken den Projektpartnern Sören Steger, Helmut Schütz und José Acosta Fernández vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie, Jan Reichenbach, Jörg Wagner und Janett Baumann von der INTECUS GmbH, ihrem Kollegen Norbert Krauß vom Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung sowie dem fachlichen Betreuer Felix Müller am Umweltbundesamt (UBA) für die hochproduktive Zusammenarbeit im Forschungsprojekt „Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft (KartAL)“, welches vom Umweltbundesamt (UBA) gefördert wurde.

Literatur

- [1] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMUB): *Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) II. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen*. Fortschrittsbericht 2012 – 2015 und Fortschreibung 2016 – 2019. Berlin.
- [2] EUROPEAN COMMISSION: *Roadmap: Circular Economy Strategy*. DG Environment, 2015.
- [3] EUROPEAN COMMISSION: *Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social Committee and the Committee of the Regions*. Brüssel, 2014.
- [4] BRUNNER, P.: Urban Mining – A Contribution to Reindustrializing the City. *Journal of Industrial Ecology* 15 (2011) 3.
- [5] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Umweltnutzung und Wirtschaft – Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) 2012*. Wiesbaden.
- [6] EUROSTAT: *International Trade – ComExt DS-016890-EU27 Trade Since 1988 By CN8*, 2011.
- [7] FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS: *FAOSTAT*. – <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>.

- [8] UMWELTBUNDESAMT (UBA): *Grenzüberschreitende Abfallverbringung: Zeitreihe Export von nicht notifizierungspflichtigen Abfällen nach Warengruppen, 2013.*
- [9] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Fachserie 19, Reihe 1: Umwelt, Abfallentsorgung, 2010.*
- [10] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Fachserie 4, Reihe 3.1: Produzierendes Gewerbe, Produktion im Produzierenden Gewerbe, 2010.*
- [11] BARLES, S.: A Material Flow Analysis of Paris and its Region. In: *International Conference on Renewables in a changing Climate – Innovation in the Built Environment, Lausanne, Switzerland, Sept. 2007.* Ecole Polytechnique federale de Lausanne EPLF, 579-584. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00174820/document>.
- [12] DAXBECK H.; BUSCHMANN H.; BRANDT B.; NEUMAYER S.: Methodology for mapping of physical stocks. Villach : Resource Management Agency (RMA), 2009. http://forwast.brgm.fr/Documents/Deliverables/Forwast_D23.pdf.
- [13] SCHILLER, G.; MÜLLER, F.; ORTLEPP, R.: Mapping the anthropogenic stock in Germany: Metabolic evidence for a circular economy. *Resources Conservation & Recycling* (2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.007>.
- [14] SCHILLER, GEORG; ORTLEPP, REGINE; KRAUß, NORBERT; STEGER, SÖREN; SCHÜTZ, HELMUT; FERNÁNDEZ, JOSÉ ACOSTA; REICHENBACH, JAN; WAGNER, JÖRG; BAUMANN, JANETT: *Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft.* Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt, UBA-Texte 83/15, 2015. – <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-in-deutschland>.