TEXTE
83/2015

Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoff-wirtschaft

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

TEXTE 83/2015

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3712 93 316
UBA-FB 002211

Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft

von

Georg Schiller, Regine Ortlepp, Norbert Krauß
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Dresden

Sören Steger, Helmut Schütz, José Acosta Fernández
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal

Jan Reichenbach, Jörg Wagner, Janett Baumann
INTECUS GmbH – Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management, Dresden

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.
Weberplatz 1
01217 Dresden

Abschlussdatum:
Juli 2015

Redaktion:
Fachgebiet III 2.2 Ressourcenschonung, Stoffkreisläufe,
Mineral- und Metallindustrie
Felix Müller

Publikationen als pdf:
http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-in-deutschland

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Oktober 2015

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3712 93 316 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Deutschland hat ein enormes Vermögen in Form von Bauwerken, Infrastrukturen und sonstigen langlebigen Gütern angehäuft. Hierin befindet sich ein wertvolles Sekundärrohstoffreservoir – ein Anthropogenes Materiallager. Es ist als Kapitalstock der Zukunft zu begreifen, den es systematisch zu bewirtschaften gilt.

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. Das Vorhaben „Kartierung des Anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft“ (KartAL) sollte dazu beitragen, die Wissensbasis diesbezüglich deutlich zu erweitern. Es sollten Grundlagen für den Aufbau eines fortschreibbaren Datenbankmodells des Anthropogenen Rohstofflagers geschaffen wurden. Dazu erfolgten Einschätzungen zur Größe und Zusammensetzung des derzeitigen Anthropogenen Rohstofflagers 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.

Die Beleuchtung des Lagers erfolgt aus unterschiedlichen Perspektiven. Es wurden Top-Down-Analysen durchgeführt, die das Lager und die Flüsse ausgehend von gesamtwirtschaftlichen Daten beschreiben sowie Bottom-Up-Analysen, die sich unter Verwendung güterbezogener Materialkennziffern den Lagern und Flüssen über Hochrechnungen nähern. In beiden Analysesträngen werden Materialflussanalyen durchgeführt, welche an den Materialgehalten der Güter und Gütergruppen ansetzen. Diese werden ergänzt durch abfallwirtschaftliche Analysen, die an der Analyse von Abfallfraktionen ansetzen.

Mit den Ergebnissen des Projektes liegt nun ein differenziertes Bild über Materialflüsse und Materialbestände vor, die in langlebigen Gütern in Deutschland gebunden sind und von diesen ausgelöst werden. Neben umfangreichen Daten wurde ein Konzept vorgelegt, das Grundlagen zum Aufbau eines langfristigen Monitorings des Anthropogenen Lagers durch eine kontinuierliche Fortschreibung von Bestandsveränderungen liefert.

Abstract

Germany has accumulated an enormous wealth of buildings, infrastructures and other durable goods. This constitutes a valuable reservoir of secondary raw materials – an anthropogenic material stockpile, one could say. It should be understood as representing a capital reserve for the future, which must be systematically managed.

This capital reserve has so far been largely ignored in the basically input-dominated discussion on resource efficiency. This can be attributed in part to the insufficient body of knowledge on the size and composition of this material stockpile as well as how it changes over time. The project entitled "Mapping the Anthropogenic Material Stockpile in Germany in Order to Optimize the Use of Secondary Raw Materials" (KartAL) is intended to greatly expand the knowledge base in this regard. It will form the groundwork for a continually updated databank model of the anthropogenic stockpile of raw materials. To realise this aim it was necessary to estimate the size and composition of the current anthropogenic stockpile of raw materials in the form of buildings, infrastructures and selected durable goods in Germany, as well as to undertake analyses of data sources and parameters which enable us to describe dynamic trends in the anthropogenic stockpile.

The stockpile was examined from various perspectives. Top-down analyses were carried out to examine the material stockpile and flows using general economic data, as well as bottom-up analyses, which employ goods-based material indicators in order to extrapolate up to the material stockpile and flows. Material flows were analyzed using both of these approaches, focussing on the material composition of specified goods and groups of goods. This research was supplemented by an investigation of the waste sector, specifically the ratios of recycled waste materials used in the production of goods.

The project findings present a detailed picture of material flows and stockpiles connected with and originating in durable goods in Germany. In addition to the extensive data generated, a concept was developed for monitoring long-term trends in the anthropogenic material stockpile by the continuous updating of changes to this stockpile.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis VII
Abbildungsverzeichnis XI
Tabellenverzeichnis XVIII
Abkürzungsverzeichnis XXII
Zusammenfassung XXIV
Summary XL
1 Einführung 1
2 Ziele und Methodik 2
3 Mehrschichtiges Stoffstrommodell als Analyserahmen 4
3.1 Schicht 1: Definition der Systemgrenzen, umfassende Abbildung gesamtwirtschaftlicher Materialflüsse und des Nettobestandszuwachses 5
3.2 Schicht 2: Differenzierte Materialflussanalysen aus Top-Down-Sicht 7
3.3 Schicht 3: Gütergruppenbezogene Bottom-Up-Betrachtung 9
4 Top-Down-Analyse der Materialflüsse in das und aus dem Lager (Analyseschicht 1) 11
4.1 Nettobestandszuwachs des Anthropogenen Stofflagers 11
4.2 Materialflüsse langlebiger Güter im Basisjahr 2010 15
4.2.1 Materialflussanalysen 15
4.2.2 Abfallwirtschaftliche Daten zum Input und Output des Anthropogenen Lagers 15
4.2.3 Zusammenfassende Darstellung der Materialflüsse Top-Down (Schicht 1) 17
5 Top-Down-Analyse von Input-, Output- und lagerinternen Materialflüssen nach Güter- und Materialgruppen (Analyseschicht 2) 21
5.1 Materialflüsse der inländischen Produktion langlebiger Güter ermittelt auf Grundlage der Produktionsstatistik 21
5.1.1 Kapitalgüter und langlebige Konsumgüter 21
5.1.1.1 Kapitalgüter 22
5.1.1.2 Langlebige Konsumgüter 23
5.1.2 Baustoffe 24
5.1.3 Zusammenfassende Darstellung der Materialflüsse der inländischen Produktion langlebiger Güter für das Basisjahr 2010 - ermittelt auf Grundlage der Produktionsstatistik 26
5.2 Materialflussbetrachtungen von Importen und Exporten nach Material- und Gütergruppen auf Grundlage der Außenhandelsstatistik 27
5.2.1 Kapitalgüter 27
5.2.2 Langlebige Konsumgüter 28
5.2.3 Baustoffe 30

5.2.4 Zusammenfassende Darstellung der Materialflüsse der Importe und Exporte langlebiger Güter für das Basisjahr 2010 differenziert nach Material- und Gütergruppen - ermittelt auf Grundlage der Außenhandelsstatistik 32
5.3 Inputflüsse in den Güterbestand Deutschlands – differenzierte Abschätzung unter Nutzung verschiedener statistischer Quellen und Verbandsdaten (Top-Down) 33
5.3.1 Abschätzung der Inputflüsse in den Güterbestand Deutschlands im Jahre 2010 33
5.3.2 Plausibilitätsbetrachtungen 35
5.4 Abfallwirtschaftlich geprägte Input-, Output- und lagerinterne Materialflüsse 37
5.4.1 Materialflüsse der Abfallimporte und -exporte 37
5.4.2 Abfallwirtschaftlich geprägte lagerrelevante Materialflüsse innerhalb des Lagers 40
5.4.2.1 Grundsätzliche Anmerkungen zum abfallwirtschaftlichen Datengerüst 40
5.4.2.2 Mengenströme, die aus dem Bestand hervorgehen 45
5.4.2.3 Veränderungsdynamik und Gesamtbilanzierung abfallwirtschaftlicher Mengenflüsse 48
5.4.3 Plausibilitätsbetrachtungen 54
5.5 Zusammenfassende Darstellung der differenzierten Materialflüsse Top-Down (Schicht 2) 56
6 Bottom-Up Analyse 59
6.1 Hochrechnungen der Flüsse und Bestände für die betrachteten Gütergruppen 59
6.1.1 Material- und Gütergruppen 59
6.1.2 Technische Infrastrukturen (Tiefbau) 60
6.1.2.1 Methoden und Datengrundlagen 60
6.1.2.2 Materiallager 80
6.1.2.3 Materialflüsse 86
6.1.2.4 Kritische Punkte und Umgang damit 93
6.1.3 Bauwerke des Hochbaus (Wohn- und Nichtwohngebäude) 94
6.1.3.1 Methoden und Datengrundlagen 94
6.1.3.2 Materiallager 114
6.1.3.3 Materialflüsse 116
6.1.3.4 Kritische Punkte und Umgang damit 118
6.1.4 Haustechnik 120
6.1.4.1 Untersuchungsgegenstand innerhalb der Haustechnik 120
6.1.4.2 Methoden und Datengrundlagen zur Bestimmung des Materiallagers 123
6.1.4.3 Methoden und Datengrundlagen zur Bestimmung der Bestandsdynamik durch die Haustechnik 134
6.1.4.4 Das Materiallager in der Haustechnik 136

6.1.4.5 Materialflüsse 139
6.1.4.6 Kritische Punkte und Umgang damit 143
6.1.5 Langlebige Konsumgüter ... 149
6.1.5.1 Erfassung langlebiger Konsumgüter 149
6.1.5.2 Materialbestand langlebiger Konsumgüter 151
6.1.5.3 Jährliche Materialflüsse langlebiger Konsumgüter 154
6.1.5.4 Kritische Punkte und Umgang damit 160
6.1.6 Langlebige Kapitalgüter ... 161
6.1.6.1 Erfassung langlebiger Kapitalgüter 161
6.1.6.2 Jährliche Materialflüsse langlebiger Kapitalgüter 165
6.1.6.3 Materialbestand langlebiger Kapitalgüter 166
6.1.6.4 Kritische Punkte und Umgang damit 167
6.1.7 Gesamtes Materiallager über Bottom-Up-Ansatz ... 168
6.1.8 Gesamte Materialflüsse über Bottom-Up-Ansatz ... 172
6.2 Abfallwirtschaftliche Kennzahlen zur Abbildung von Recyclingaspekten bei spezifischen Input- und Outputströmen ... 174
6.2.1 Abschätzung über Kennzahlen ... 174
6.2.2 Recyclingbeitrag in den Flussgrößen ... 180
7 Synthese der Ansätze ... 183
7.1 Inputflüsse ... 183
7.1.1 Summarischer Vergleich ... 183
7.1.2 Differenzierter Vergleich nach Materialien und Gütergruppen ... 185
7.1.2.1 Mineralische Materialien 186
7.1.2.2 Metalle 188
7.1.2.3 Kunststoffe 189
7.1.2.4 Holz 191
7.1.3 Resümee ... 192
7.2 Outputflüsse ... 192
7.3 Differenzen zwischen Input- und Outputflüssen ... 194
7.3.1 Input-Output-Differenzen Top-Down ... 194
7.3.2 Input-Output-Differenzen Bottom-Up ... 198
7.3.3 Resümee ... 200
8 Erfassung, Fortschreibung und Dynamisierung ... 202
8.1 Datenqualifizierung ... 202
8.2 Bestandsdynamik im Anthropogenen Lager ... 202

8.3 Datenqualität, Fortschreibungsfähigkeit und Datenverfügbarkeit 203
8.4 Dokumentation und Erfassungskonzept 205
9 Quellenverzeichnis 208
10 Glossar 217
10.1 Zusammenfassung zentraler Begriffe 217
10.2 Definitionen zur Bruttoanlagevermögensschätzung (Nichtwohngebäude) 218
Anhang 1 Details zur Datenaufbereitung Top-Down 221
Anhang 1.1 Nettogesamtzuwachs des Anthropogenen Stofflagers berechnet auf Grundlage der UGR 221
Anhang 1.1.1 UGR Daten für Deutschland 1991 bis 2010 221
Anhang 1.1.2 Unterschiede auf der Inputseite 222
Anhang 1.1.3 Unterschiede auf der Outputseite 222
Anhang 1.2 Vorgehensweise zum Umgang mit den Daten 222
Anhang 1.3 Ansätze zur Top-Down-Schätzung des Anthropogenen Lagers 224
Anhang 1.4 Grenzen der Interpretierbarkeit der erhobenen Daten zu Materialflüssen für Baumaterialien, ermittelt auf Grundlage der Produktionsstatistik 226
Anhang 1.5 Abfallwirtschaftlich geprägte lagerrelevante Materialflüsse 228
Anhang 1.5.1 Problematiken der Darstellbarkeit abfallwirtschaftlicher Komponenten im MSM 228
Anhang 1.5.2 Problematiken bei der Einbindung der abfallwirtschaftlich geprägten lagerrelevanten Materialflüsse in das MSM 229
Anhang 1.5.3 Qualitätsbeurteilung der abfallwirtschaftlichen Datenquellen 230
Anhang 2 Details zur Datenaufbereitung Bottom-Up 231
Anhang 2.1 Zusatzinformationen zu Windenergieanlagen 231
Anhang 2.2 Zusatzinformationen zur VGR 231
Anhang 2.3 Auflistung der lagerrelevanten Produktgruppen für Kapitalgüter 234
Anhang 3 Wertetabellen zu den Diagrammen im Bericht 235
Anhang 3.1 Wertetabellen zu Abschnitt 4: Top-Down-Analyse der Materialflüsse in das und aus dem Lager (Analyseschicht 1) 235
Anhang 3.2 Wertetabellen zu Abschnitt 5: Top-Down-Analyse von Input-, Output- und lagerinternen Materialflüssen nach Güter- und Materialgruppen (Analyseschicht 2) 239
Anhang 3.3 Wertetabellen- zu Abschnitt 6: Bottom-Up Analyse 250
Anhang 3.4 Wertetabellen zu Abschnitt 7: Synthese der Ansätze 255
Anhang 4 Elektronische Tabellen zur Datendokumentation 261

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur des Vorhabens differenziert nach Arbeitspaketen (AP) 3

Abbildung 2: Schichten und angelagerte Analysemodule des mehrschichtigen Stoffstrommodells 4

Abbildung 3: Schematische Darstellung der ersten Schicht des MSM (Top-Down) 6

Abbildung 4: Schematische Darstellung der zweiten Schicht des MSM (Top-Down) 8

Abbildung 5: Schematische Darstellung der dritten Schicht des MSM (Bottom-Up) 10

Abbildung 6: Direkte Materialflüsse sowie Netto-Bestandszuwachs mit Abfall an Deponien in Deutschland 1960 bis 2010 [Mio. t] 12

Abbildung 7: Lagerrelevante inländische Rohstoffentnahmen in Deutschland 1960-2010 [Mio. t] 14

Abbildung 8: Gesamt-Input- und Output-Materialflüsse des Anthropogenen Lagers (2010) [Mio. t] (Analyseschicht 1) 19

Abbildung 9: Nach Hauptmaterialgruppen differenzierte Input- und Output-Materialflüsse des Anthropogenen Lagers (2010) [Mio. t] (Analyseschicht 1) 20

Abbildung 10: Produktion von Kapitalgütern in Deutschland 1995-2011 [Mio. t] 23

Abbildung 11: Produktion von langlebigen Konsumgütern in Deutschland 1995-2011 [Mio. t] 24

Abbildung 12: Produktion von Baumaterialien in Deutschland 2009-2011 nach Materialgruppen 25

Abbildung 13: Produktion von Baumaterialien in Deutschland 2010 nach einzelnen Materialien 25

Abbildung 14: Importe von Kapitalgütern nach Materialgruppen, Deutschland 1995-2011 [Mio. t] 27

Abbildung 15: Exporte von Kapitalgütern nach Materialgruppen, Deutschland 1995-2011 [Mio. t] 28

Abbildung 16: Importe von langlebigen Konsumgütern nach Materialgruppen (1995-2011) [Mio. t] 29

Abbildung 17: Exporte von langlebigen Konsumgütern nach Materialgruppen (1995-2011) [Mio. t] 30

Abbildung 18: Importe von Baumaterialien nach Materialgruppen, 1995-2011 [Mio. t] 31

Abbildung 19: Exporte von Baumaterialien nach Materialgruppen, 1995-2011 [Mio. t] 31

Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung des Verhältnisses von Abfallimporten und -exporten insgesamt (d.h. nicht lagerrelevante Materialanteile

inkludiert) und des Verbleibs importierter Mengen im Lager [Mio. t] 38

Abbildung 21: Zeitliche Entwicklung des Imports lagerrelevanter Abfälle in materialdifferenzierter Darstellung [Mio. t] 39

Abbildung 22: Zeitliche Entwicklung des Exports lagerrelevanter Abfälle in materialdifferenzierter Darstellung [Mio. t] 39

Abbildung 23: Vereinfachte Darstellung zur Bestimmung materialdifferenzierter Mengenflussgrößen in der abfallwirtschaftlichen Analyse für das MSM und der hierfür zu verknüpfenden Quellen (in Ausschnitten) 43

Abbildung 24: Ausprägung des von lagerrelevanten Materialflüssen des Gesamtabfallaufkommens und verwerteten Nebenprodukten gebildeten abfallwirtschaftlichen Materialflusskontos nach Materialkategorien (2006-2010) [Mio. t] 48

Abbildung 25: Veränderungsdynamik der deponieähnlichen Beseitigung (Deponierung und sonstige Beseitigung bis 1993 bzw. Deponierung und Verfüllung 2006-2010) [Mio. t] 49

Abbildung 26: Mengen deponierter lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorien (2006-2010) [Mio. t] 50

Abbildung 27: Abfallwirtschaftliche lagerrelevante Materialflüsse nach Materialkategorien zur stofflichen Nutzung (ohne Verfüllung) (2006-2010) [Mio. t] 51

Abbildung 28: Größenordnung abfallwirtschaftlich geprägter lagerrelevanter Materialflüsse [Mio. t] 52

Abbildung 29: Saldo der abfallwirtschaftlichen lagerrelevanten Materialflüsse nach Verbleibspfaden (1975 - 2010) [Mio. t] 53

Abbildung 30: Zu- und Abgänge abfallwirtschaftlicher Materialflüsse im Anthropogenen Lager [Mio. t] 53

Abbildung 31: Mengenentwicklung an inländischen Müllverbrennungsanlagen [1999-2007] 54

Abbildung 32: Materialflüsse im Anthropogenen Lager - Schicht 2 des MSM (2010) [Mio. t] 56

Abbildung 33: Materialflüsse im Anthropogenen Lager - Schicht 2 des MSM (2010), differenziert nach Hauptmaterialgruppen [Mio. t] 58

Abbildung 34: Materiallager der Verkehrsinfrastruktur [t] 81

Abbildung 35: Materialbestand der Wasser- und Abwasserinfrastruktur in Deutschland [t] 83

Abbildung 36: Materialbestand der Energieinfrastruktur [t] 85

Abbildung 37: Materialbestand in IuK-Infrastrukturen [t] 86

Abbildung 38: Jährliche Materialflüsse Verkehrsinfrastruktur für Aus- und Neubau sowie Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur [t] 88

Abbildung 39: Jährliche Materialflüsse für den Aus- und Neubau sowie die Instandhaltung der Wasser- und Abwasserinfrastruktur [t] 90

Abbildung 40: Jährliche Materialbedarfe für Neubau/Erweiterung und Instandhaltung der Energieinfrastruktur [t] 92

Abbildung 41: Methodik zur Ermittlung des Materialbestands der Wohngebäude in Deutschland 97

Abbildung 42: Verteilung des Bruttoanlagevermögens im Basisjahr 2010 nach Destatis 2012a 101

Abbildung 43: Methodik zur Bestandsschätzung der Nichtwohngebäude in Deutschland 102

Abbildung 44: Entwicklung des baugewerblichen Jahresumsatzes der verschiedenen Bauweisen 104

Abbildung 45: Entwicklung der Anteile der Bauweisen am baugewerblichen Jahresumsatz 105

Abbildung 46: Entwicklung der Anteile der Bauweisen am Gesamtvolumen anhand der Verteilung der rechnerischen jährlichen Umsätze 105

Abbildung 47: Nutzungsdauern in der VGR nach Schmalwasser & Weber (2012) 106

Abbildung 48: Entwicklung der Anteile der Bauweisen am Gesamtvolumen anhand der Verteilung der rechnerischen jährlichen Umsätze mit Berücksichtigung der Nutzungsdauern 107

Abbildung 49: Kettenindizes der Bauten aus der VGR mit Bezugsjahr 2005 = 100 108

Abbildung 50: Entwicklung der Anteile der Bauweisen am Gesamtvolumen anhand der Verteilung der rechnerischen jährlichen Umsätze mit Berücksichtigung der Nutzungsdauern und der Kettenindizes aus der VGR 109

Abbildung 51: Anteile des Tiefbaus und der Nichtwohngebäude an den Nichtwohnbauten 109

Abbildung 52: Tiefbauanteile an den staatlichen Bauten und nichtstaatlichen Nichtwohnbauten 110

Abbildung 53: Methodik zur Ermittlung des Materialbestands der Nichtwohngebäude in Deutschland 112

Abbildung 54: Baustoffverteilung im Wohngebäudebestand [Mio. t] 114

Abbildung 55: Ergebnis der Bestandsschätzung der Nichtwohngebäude in Deutschland mit Abgleich der aktuellen Zensusdaten zu Wohngebäuden 115

Abbildung 56: Baustoffverteilung im Nichtwohngebäudebestand 116

Abbildung 57: Baustoffflüsse für Wohngebäude nach Methodik 2 für das Basisjahr 2010 [Mio. t] 117

Abbildung 58: Baustoffflüsse für Nichtwohngebäude für das Basisjahr 2010 [Mio. t] 117

Abbildung 59: Grundschema zur Bestimmung des Materiallagers in Heizungsanlagen 127

Abbildung 60: Grundschema zur Bestimmung des Materiallagers in den Rohr- und Leitungsnetzen für Trinkwasser und Heizung. 128

Abbildung 61: Anteile der einzelnen Werkstoffe in den unterschiedlichen Anwendungsgebieten von Rohrleitungen 132

Abbildung 62: Grundschema zur Bestimmung des Materiallagers in den Heizkörpern im Wohngebäudebestand 133

Abbildung 63: Grundschema zur Bestimmung des Materiallagers im Sanitärbereich 134

Abbildung 64: Einsatz und Bedeutung der unterschiedlichen Werkstoffe bei der Rohrinstallation in der Haustechnik in 2009 135

Abbildung 65: Bedeutung der einzelnen Materialhauptgruppen in den jeweiligen Haustechnik-Kategorien A) und der prozentualen Verteilung der Materialhauptgruppen auf die jeweiligen Haustechnik-Kategorien B). 137

Abbildung 66: Hochrechnung des Materiallagers in der Haustechnik gegliedert nach Materialhauptgruppen im Wohngebäudebestand (A), Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen 137

Abbildung 67: Hochrechnung des Materiallagers in den Rohrleitungssystemen gegliedert nach Materialhauptgruppen im Bestand der Nichtwohngebäude (A). Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen 138

Abbildung 68: Hochrechnung der Material-Inputs durch Haustechnik gegliedert nach Materialhauptgruppen im Bestand der Wohngebäude (A). Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen 140

Abbildung 69: Hochrechnung der Material-Outputs durch Haustechnik, gegliedert nach Materialhauptgruppen im Bestand der Wohngebäude (A). Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen 141

Abbildung 70: Hochrechnung des Material-Inputs durch die Rohrleitungssysteme, gegliedert nach den Materialhauptgruppen für Neubau und Sanierung von Nichtwohngebäuden (A), Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen 142

Abbildung 71: Hochrechnung des Material-Outputs durch die Rohrleitungssysteme, gegliedert nach Materialhauptgruppen für Abriss und Sanierung der Nichtwohngebäude (A), Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen 143

Abbildung 72: Auswahl der untersuchten Haushaltsgüter 150

Abbildung 73: Materialbestand der langlebigen Konsumgüter im Basisjahr 2010 [t] 152
Abbildung 74: Materialbestand nach Haushaltgütergruppen im Basisjahr 2010 [t] 153
Abbildung 75: Materialbestand unterteilt nach Material- und Gütergruppen im Basisjahr 2010 [t] 154
Abbildung 76: Jährlicher Materialinput der langlebigen Konsumgüter im Basisjahr 2010 [t] 155
Abbildung 77: Material-Inputflüsse nach Haushaltgütergruppen im Basisjahr 2010 [t] 156
Abbildung 78: Material-Inputflüsse unterteilt nach Material- und Gütergruppen im Basisjahr 2010 [t] 157
Abbildung 79: Jährlicher Material-Output der langlebigen Konsumgüter im Basisjahr 2010 [t] 158
Abbildung 80: Material-Outputflüsse nach Haushaltgütergruppen im Basisjahr 2010 [t] 159
Abbildung 81: Material-Outputflüsse unterteilt nach Material- und Gütergruppen im Basisjahr 2010 [t] 159
Abbildung 82: Schematische Darstellung der Zurechnung des DMI über Input-Output-Analyse 163
Abbildung 83: Schematischer Aufbau der Zurechnung des DMI* auf die letzte Verwendung 165
Abbildung 84: Jährliche lagerrelevante Material-Inputflüsse für die letzte Verwendung „Ausrüstungen und sonstige Anlagen“ [t] 166
Abbildung 85: Abschätzung Materialbestand Kapitalgüter im Jahr 2005, [1.000 t] 167
Abbildung 86: Bestände an Materialien nach Hauptmaterialgruppen im Basisjahr 2010 (künstliche Gesteine in mineralischer Fraktion einschließlich gebundenen Wassers) 169
Abbildung 87: Bestände an Materialien im Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen ohne gebundenes Wasser 170
Abbildung 88: Materialbestände im Basisjahr 2010 mit Differenzbetrachtung des gebundenen Wassers 170
Abbildung 89: Bestände an Materialien im Basisjahr 2010 nach Materialgruppen 171
Abbildung 90: Bestände an Metallen im Basisjahr 2010 171
Abbildung 91: Bestände an Kunststoffen im Basisjahr 2010 172
Abbildung 92: Inputflüsse für das Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen 173
Abbildung 93: Outputflüsse für das Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen 174

Abbildung 94: Herkünfte der im Hochbau im Basisjahr 2010 eingesetzten Sekundärmaterialien entsprechend der abfallwirtschaftlichen Stoffflussebenen im MSM [t] 179

Abbildung 95: Für Fe-Metall/Stahl skizzierbarer Materialkreislauf in Deutschland 181

Abbildung 96: Ansatz einer Substitutionsrechnung zum Sachverhalt des Stahlrecyclings (2010) 182

Abbildung 97: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up über alle Güter 183

Abbildung 98: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up 184

Abbildung 99: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up über alle Güter, differenziert nach Materialien 185

Abbildung 100: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für mineralische Rohstoffe im Baubereich nach Gütergruppen 186

Abbildung 101: Lückenabschätzungen für mineralische Materialien im Baubereich 187

Abbildung 102: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für Metalle 188

Abbildung 103: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für Kunststoffe im Baubereich 189

Abbildung 104: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für Kunststoffe in Kapital- und Konsumgütern 190

Abbildung 105: Lückenabschätzungen für Kunststoffe in Kapital- und Konsumgütern 190

Abbildung 106: Lückenabschätzungen für Holz nach Gütergruppen 191

Abbildung 107: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up Outputflüsse nach Materialgruppen 193

Abbildung 108: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up Outputflüsse nach Gütergruppen 193

Abbildung 109: Betrachtungsgrenze für die Gegenüberstellung Input – Output (Schicht 1) 195

Abbildung 110: Gegenüberstellung Input – Output (Top-Down Schicht 1) 196

Abbildung 111: Betrachtungsgrenze für die Gegenüberstellung Input – Output (Schicht 2) 197

Abbildung 112: Gegenüberstellung Input in Güter – Output (Top-Down) 198

Abbildung 113: Gegenüberstellung Input – Output (Bottom-Up, Schicht 3) nach Materialgruppen 199

Abbildung 114: Gegenüberstellung Input – Output (Bottom-Up, Schicht 3) nach Gütergruppen 200

Abbildung 115: Saldi von Entnahmen und Abgaben sowie Abfall an Deponien nach Datensätzen aus UGR 2004 und UGR 2012 [Mio. t] 221

Abbildung 116: Vermögensgüter der VGR 231

Abbildung 117: Durchschnittliche Nutzungsdauern und Spanne der durchschnittlichen Nutzungsdauern innerhalb der Gütergruppen nach Vermögensarten für das Investitionsjahr 2010 [Jahren] 232

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Input- und Output-Materialflüsse des Anthropogenen Lagers (2010) [Mio. t] (Analyseschicht 1) 18

Tabelle 2: Materialflüsse der inländischen Produktion in Deutschland 2010 nach Güter- und Materialgruppen auf Grundlage von Daten aus der Produktionsstatistik [Mio. t] 26

Tabelle 3: Materialflüsse der Importe und Exporte in Deutschland 2010, differenziert nach Güter- und Materialgruppen auf Grundlage von Daten der Eurostat-Datenbank zum internationalen Handel (ComExt) [Mio. t] 32

Tabelle 4: Inputflüsse in Güter des Anthropogenen Lagers Deutschlands 2010 (Mineralisch) – Top-Down / Meso-Ebene [Mio. t] 34

Tabelle 5: Inputflüsse in Güter des Anthropogenen Lagers Deutschlands 2010 (Metalle, Kunststoffe, Holz und nicht zuordenbar) – Top-Down differenziert [Mio. t] 34

Tabelle 6: Top-Down-MFA-Daten im Überblick [Mio. t] 35

Tabelle 7: Plausibilitätsbetrachtungen zu „Inputflüssen in Güter“ 36

Tabelle 8: Beispiel für die Klassifizierungssystematik des EAV 42

Tabelle 9: Abfallwirtschaftlich geprägte Materialflüsse im Lager unter Einbeziehung von Importmengen (2010) [Mio. t] 47

Tabelle 10: Differenzbetrachtung Top-Down ermittelter abfallwirtschaftlicher Materialströme mit Vergleichsangaben aus Fachliteratur und Verbandsinformationen [Mio. t] 55

Tabelle 11: Übersicht der Infrastruktur(teil-)systeme 61

Tabelle 12: Nutzungsdauer Infrastruktursysteme 69

Tabelle 13: Übersicht Materialbedarf und Materialflüsse Verkehrsinfrastruktur [1.000 t] 88

Tabelle 14: Übersicht Materialbedarf und Materialflüsse der Wasser- und Abwasserinfrastruktur [1.000 t] 90

Tabelle 15: Übersicht Materialbedarf und Materialflüsse der Energieinfrastrukturen [1.000 t] 93

Tabelle 16: Übersicht zum Gebäude-Erfassungskonzept 95

Tabelle 17: Übersicht der bei der Ermittlung der Materialkennziffern erfassten Details 95

Tabelle 18: Spezifische Neubaukosten auf Basis der Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2011) für das Basisjahr 2010 111

Tabelle 19: Übersicht der bearbeiteten und nicht bearbeiteten Bestandteile der Haustechnik innerhalb der Untersuchung 122

Tabelle 20: Schätzung des Bestands an Wärmeerzeugern im deutschen Wohngebäudebestand. Eigene Berechnungen auf Basis von IWU 2010 und Destatis 2012a 126

Tabelle 21: Annahmen zur Aufteilung der Werkstoffe in Rohrleitungsnetzen für den Bereich Heizung im Wohnungsbau. 130

Tabelle 22: Annahmen zur Aufteilung der Werkstoffe in Rohrleitungsnetzen für den Bereich Trinkwasser im Wohnungsbau. 130

Tabelle 23: Gegenüberstellung der spezifischen Kennwerte für Heizungsrohrnetze von Wittmer 2006 und den eigenen Berechnungen 145

Tabelle 24: Gegenüberstellung der spezifischen Kennwerte für Trinkwassernetze von Wittmer 2006 und den eigenen Berechnungen. 145

Tabelle 25: Warenkorb und Nutzungsdauer der untersuchten langlebiger Konsumgüter in Jahren 151

Tabelle 26: Darstellung der bekannten sekundären Inputmaterialien in die Produktionsprozesse am Beispiel des Hochbaus im Basisjahr 2010 177

Tabelle 27: Sekundärrohstoffeinsatzmengen im Gebäudebau im Basisjahr 2010 178

Tabelle 28: Sekundärrohstoff-Einsatzmengen, Recyclinganteil und Abschöpfungsgrad an Sekundärrohstoff differenziert nach materialgruppen für die Gütergruppe „Hochbau“ (2010) 178

Tabelle 29: Bewertungsschema zur Datenqualität 204

Tabelle 30: Quellenbewertung für den abfallwirtschaftlichen Analyseteil 230

Tabelle 31: Bestand an Windenergieanlagen (WEA) 231

Tabelle 32: Bruttoanlagevermögen (BRV) zu Wiederbeschaffungspreisen (Bestand am Jahresende 2010) [Mrd. EUR] 233

Tabelle 33 lagerrelevante Produktgruppen für die Abschätzung der jährlichen Materialflüsse in Kapitalgüter 234

Tabelle 34: Wertetabelle zu Abbildung 6: Direkte Materialflüsse sowie Netto-Bestandszuwachs mit Abfall an Deponien in Deutschland 1960 bis 2010 [..... 235

Tabelle 35: Wertetabelle zu Abbildung 7: Lagerrelevante inländische Rohstoffentnahmen in Deutschland 1960-2010 [Mio. t] 237

Tabelle 36: Wertetabelle zu Abbildung 10: Produktion von Kapitalgütern in Deutschland 1995-2011 [Mio. t] 239

Tabelle 37: Wertetabelle zu Abbildung 14: Importe von Kapitalgütern nach Materialgruppen, Deutschland 1995-2011 [Mio. t] 240

Tabelle 38: Wertetabelle zu Abbildung 15: Exporte von Kapitalgütern nach Materialgruppen, Deutschland 1995-2011 [Mio. t] 241

Tabelle 39: Wertetabelle zu Abbildung 11: Produktion von langlebigen Konsumgütern in Deutschland 1995-2011 [Mio. t] 242

Tabelle 40: Wertetabelle zu Abbildung 16: Importe von langlebigen Konsumgütern nach Materialgruppen (1995-2011) [Mio. t] 243

Tabelle 41: Wertetabelle zu Abbildung 17: Exporte von langlebigen Konsumgütern nach Materialgruppen (1995-2011) [Mio. t] 244

Tabelle 42: Wertetabelle zu Abbildung 12a: : Produktion von Baumaterialien in Deutschland 2009-2011 - Entwicklung der Produktion nach Materialgruppen 244

Tabelle 43: Wertetabelle zu Abbildung 12b: : Produktion von Baumaterialien in Deutschland 2009-2011 - Differenzierung der Produktion im Basisjahr 2010 nach einzelnen Materialien 245

Tabelle 44: Wertetabelle zu Abbildung 18: Importe von Baumaterialien nach Materialgruppen, 1995-2011 [Mio. t] 246

Tabelle 45: Wertetabelle zu Abbildung 19: Exporte von Baumaterialien nach Materialgruppen, 1995-2011 [Mio. t] 247

Tabelle 46: Wertetabelle zu Abbildung 115: Saldi von Entnahmen und Abgaben sowie Abfall an Deponien nach Datensätzen aus UGR 2004 und UGR 2012 [Mio. t] 248

Tabelle 47: Wertetabelle zu Abbildung 33: Materialflüsse im Anthropogenen Lager - Schicht 2 des MSM (2010), differenziert nach Hauptmaterialgruppen [Mio. t] 249

Tabelle 48: Wertetabelle zu Abbildung 54: Baustoffverteilung im Wohngebäudebestand [Mio. t] 250

Tabelle 49: Wertetabelle zu Abbildung 56: Baustoffverteilung im Nichtwohngebäudebestand 250

Tabelle 50: Wertetabelle zu Abbildung 57: Baustoffflüsse für Wohngebäude nach Methodik 2 für das Basisjahr 2010 [Mio. t] 251

Tabelle 51: Wertetabelle zu Abbildung 58: Baustoffflüsse für Nichtwohngebäude für das Basisjahr 2010 [Mio. t] 251

Tabelle 52: Wertetabelle zu Abbildung 86: Bestände an Materialien nach Hauptmaterialgruppen im Basisjahr 2010 (künstliche Gesteine in mineralischer Fraktion einschließlich gebundenen Wassers) [Mio. t] 251

Tabelle 53: Wertetabelle zu Abbildung 87: Bestände an Materialien im Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen ohne gebundenes Wasser [Mio. t] 252

Tabelle 54: Wertetabelle zu Abbildung 88: Materialbestände im Basisjahr 2010 mit Differenzbetrachtung des gebundenen Wassers [Mio. t] 252

Tabelle 55: Wertetabelle zu Abbildung 89: Bestände an Materialien im Basisjahr 2010 nach Materialgruppen [Mio. t] 252

Tabelle 56: Wertetabelle zu Abbildung 90: Bestände an Metallen im Basisjahr 2010 253

Tabelle 57: Wertetabelle zu Abbildung 91: Bestände an Kunststoffen im Basisjahr 2010 253

Tabelle 58: Wertetabelle zu Abbildung 92: Inputflüsse für das Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen 254

Tabelle 59: Wertetabelle zu Abbildung 93: Outputflüsse für das Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen 254

Tabelle 60: Wertetabelle zu Abbildung 97: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up über alle Güter und Abbildung 98: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up [Mio. t] 255

Tabelle 61: Wertetabelle zu Abbildung 99: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up über alle Güter, differenziert nach Materialien [Mio. t] 255

Tabelle 62: Wertetabelle zu Abbildung 100: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für mineralische Rohstoffe im Baubereich nach Gütergruppen 256

Tabelle 63: Wertetabelle zu Abbildung 101: Lückenabschätzungen für mineralische Materialien im Baubereich [Mio. t] 256

Tabelle 64: Wertetabelle zu Abbildung 102: **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** [Mio. t] 257

Tabelle 65: Wertetabelle zu Abbildung 103: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für Kunststoffe im Baubereich [Mio. t] 257

Tabelle 66: Wertetabelle zu Abbildung 104: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für Kunststoffe in Kapital- und Konsumgütern und Abbildung 105: Lückenabschätzungen für Kunststoffe in Kapital- und Konsumgütern [Mio. t] 258

Tabelle 67: Wertetabelle zu Abbildung 106: Lückenabschätzungen für Holz nach Gütergruppen 258

Tabelle 68: Wertetabelle zu Abbildung 107: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up Outputflüsse nach Materialgruppen und Abbildung 108: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up Outputflüsse nach Gütergruppen [Mio. t] 258

Tabelle 69: Wertetabelle zu Abbildung 110: Gegenüberstellung Input – Output (Top-Down Schicht 1) [Mio. t] 259

Tabelle 70: Wertetabelle zu Abbildung 112: Gegenüberstellung Input in Güter – Output (Top-Down) [Mio. t] 259

Tabelle 71: Wertetabelle zu Abbildung 113: Gegenüberstellung Input – Output (Bottom-Up, Schicht 3) nach Materialgruppen [Mio. t] 259

Tabelle 72: Wertetabelle zu Abbildung 113: Gegenüberstellung Input – Output (Bottom-Up, Schicht 3) nach Materialgruppen [Mio. t] 260

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Ausbaustrecke
APL	Anschlusspunkt Linientechnik
BHKW	Blockheizkraftwerk
BKI	Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern
CN	Von EUROSTAT verwendete kombinierte Nomenklatur (Combined Nomenclature (CN)) von Erzeugnissen in einer hierarchischen Untergliederung
ComExt	Die ComExt-Datenbank ist die offizielle europäische Außenhandelsstatistik von Eurostat
DESTATIS	Das deutsche Statistische Bundesamt
EAV	Europäische Abfallverzeichnis
EG	Europäische Gemeinschaft
EUROSTAT	Statistische Amt der Europäischen Union
GIS	Geographische Informationssysteme
HD	Hochdruck
HGV	Hochgeschwindigkeitsverkehr
HS	Hochspannung
HVSt	Hauptvermittlungsstelle
IOT	Input-Output-Tabellen
KTWB	Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau
KVZ	Kabelverzweiger
MD	Mitteldruck
MFA	Materialflussanalyse
MIGS	Industrielle Hauptgruppen; Unterteilung der in der Europäischen Union gebräuchlichen Klassifikation von Unternehmen in Kategorien.
MIOT	Monetäre Input-Output-Tabelle
MKZ	Materialkennziffer
MS	Mittelspannung
MSM	Mehrschichtiges Stoffstrommodell
NACE	Die Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft
NAS	Nettobestandszuwachs (englisch: Net Addition to Stock)
ND	Niedrigdruck
NS	Niedrigspannung
PCB	Leiterplatte (englisch: Printed Circuit Board)
PIOT	Physische Input-Output-Tabelle
ProgRess	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm

PV	Photovoltaik
SKW	Speicherkraftwerk
UGR	Umweltökonomische Gesamtrechnungen
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen
VIA	Verwertete inländische Abgabe (Emissionen in Luft und Wasser; Dissipative Outputs: Produktverwendungen, Verluste)
VIE	Verwertete inländische Entnahme
WEA	Windenergieanlagen

Zusammenfassung

Der effiziente und schonende Umgang mit natürlichen Ressourcen ist eine der größten wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Herausforderungen unserer Zeit. Dies findet auf nationalen und internationalen politischen Agenden zunehmend Resonanz. Die europäischen Aktivitäten mündeten 2011 in einen Fahrplan zur Umsetzung der Leitinitiative „Ressourcenschonendes Europa“. Mit der Verabschiedung von „ProgRess“ hat die Bundesregierung ein eigenes Ressourceneffizienzprogramm aufgelegt, das sich diesen Herausforderungen stellt. Zentrales Ziel hierbei ist es, den Verbrauch an natürlichen Ressourcen und die damit verbundenen Umweltbelastungen zu reduzieren und somit Wohlstand und Entwicklungsmöglichkeiten zu sichern. Unter dem Primat der Ressourcenschonung gilt es u. a., die Möglichkeiten der Kreislaufführung von Stoffen zu verbessern.

Ziele des Vorhabens

Deutschland hat ein enormes Vermögen in Form von Bauwerken, Infrastrukturen und sonstigen langlebigen Gütern angehäuft. Hierin befindet sich ein wertvolles Sekundärrohstoffreservoir – ein Anthropogenes Materiallager. Es ist als Kapitalstock der Zukunft zu begreifen, den es systematisch zu bewirtschaften gilt.

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. Das Vorhaben „Kartierung des Anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft“ (KartAL) soll dazu beitragen, die Wissensbasis diesbezüglich deutlich zu erweitern. Der Begriff der Kartierung orientiert sich am Begriffsverständnis der Ökologie, wo Kartierung im weitesten Sinne eine Bestandsaufnahme von Objekten hinsichtlich bestimmter Merkmale (Inventarisierung) in einem definierten Gebiet darstellt. Das Betrachtungsgebiet im vorliegenden Vorhaben ist Deutschland.

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse des Vorhabens KartAL-I[1] zusammen. Das beschriebene übergeordnete Ziel der Erweiterung der Wissensbasis wurde verfolgt, indem Grundlagen für den Aufbau eines fortschreibbaren Datenbankmodells des Anthropogenen Rohstofflagers erarbeitet wurden, um damit Sekundärrohstoffpotenziale aus langlebigen Gütern und Bauwerken zu ermitteln. Dies umfasst insbesondere:

- die Einschätzung der Größe und Zusammensetzung des derzeitigen Anthropogenen Rohstofflagers von Gebäuden, Infrastrukturen und ausgewählten langlebigen Gütern in Deutschland sowie
- die Analyse von Datenquellen und Kenngrößen, anhand derer sich die Dynamik der Veränderung des Anthropogenen Lagers beschreiben lässt.

[1] Das Vorhaben ist eingebunden in eine längerfristig angelegte Forschungslinie „KartAL“, die dazu beitragen soll, das Anthropogene Stofflager als Kapitalstock der Zukunft zu begreifen, systematisch zu analysieren und zu bewirtschaften. Es handelt sich um das erste Projekt in dieser Forschungslinie.

Betrachtungsgegenstand und Analyseansatz

Betrachtet wurden lagerrelevante Materialflüsse und Materiallager langlebiger Güter der Bundesrepublik Deutschland:

- Bauwerke der technischen Infrastruktur,
- Bauwerke des Hochbaus (Wohnen und Nichtwohnen),
- Haustechnik,
- Kapitalgüter und
- langlebige Konsumgüter.

Dabei wurden unterschiedliche Analyseansätze verfolgt und kombiniert. Zum einen wurde ein Strang verfolgt, entlang dessen untersucht wurde, inwieweit materialfluss- und lagerbezogene Aussagen unter Verwendung ökonomieübergreifender volkswirtschaftlicher Daten getroffen werden können. Ansätze dieses Strangs werden unter dem Begriff der Top-Down-Analysen zusammengefasst. Ein zweiter Strang setzt auf der Einzelobjektebene an. Hier werden güterbezogene Materialkennziffern formuliert und mit Daten verknüpft, die Aussagen zum Gesamtbestand und dessen Veränderungen ermöglichen. Auf dieser Grundlage werden Hochrechnungen zu Lagerbeständen und Materialfüssen durchgeführt. Diese Ansätze werden als Bottom-Up-Ansätze bezeichnet. Beide Stränge werden innerhalb eines Mehrschichtigen Stoffstrommodells (MSM) zusammengeführt.

Mehrschichtiges Stoffstrommodell als Analysetool

Das mehrschichtige Stoffstrommodell (MSM) dient der Analyse und Darstellung von Materialflüssen in das und aus dem Anthropogenen Lager, Materialflüssen innerhalb des Lagers sowie der Beschreibung der Materialzusammensetzung des Lagers. Es ist als Analysemodell zur Strukturierung der Untersuchungen zu verstehen, wobei drei Analyseschichten unterschieden werden. Die Analyseschichten nutzen verschiedene Analysemethoden (Top-Down und Bottom-Up) und greifen auf unterschiedliche Datenquellen zurück. Innerhalb der Schichten werden jeweils materialflussbezogene Analysen (MFA-Analysen) und abfallwirtschaftliche Analysen durchgeführt und zusammengeführt. Materialflussanalysen betrachten güterbezogene Materialflüsse. Abfallwirtschaftliche Analysen setzen an Abfallfraktionen an, die einer grundsätzlich anderen Gliederungslogik folgen und keine unmittelbaren Material- und Güterbezüge aufweisen.

Die Analyseschicht 1 des MSM verfolgt einen Top-Down-Ansatz. Verwendet werden insbesondere Daten der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR). Hiermit lassen sich die wesentlichen Input- und Outputströme des Lagers beschreiben, abgrenzen und quantifizieren. Ergänzt wird dieses Bild mit der Abschätzung abfallwirtschaftlich bedingter Flüsse über die Lagergrenzen hinweg. Die Möglichkeiten zur Differenzierung der Flüsse mit den verwendeten Daten unterliegen deutlichen Grenzen. Sie beschränken sich auf die Unterscheidung grober Materialhauptgruppen und Kategorien des Inputs und Outputs des Lagers. Auf Analyseschicht 1 wird zudem reflektiert, inwiefern mit ökonomieweiten Daten neben den Flüssen auch das Lager selbst abgebildet werden kann. Dies erfolgt insbesondere durch die Betrachtung des Nettobestandszuwachses über einen Zeitraum von 50 Jahren.

Die Analyseschicht 2 des MSM setzt an den Hauptunzulänglichkeiten der Analyseschicht 1 an – den begrenzten Möglichkeiten der Differenzierung Materialflüsse nach Materialarten sowie nach Gütern. Grundsätzlich wird auch auf Schicht 2 ein Top-Down-Ansatz verfolgt. Neben der inhaltlichen Untersetzung der Input- und Outputflüsse des Lagers haben sowohl die MFA- als auch die abfallwirtschaftlichen Analysen auf Schicht 2 insbesondere die Beschreibung der Flüsse im Lager zum Ziel.

Die objektbezogenen Bottom-Up-Analysen der Analyseschicht 3 eröffnen die größten Freiheitsgrade sowohl für die Beschreibung von Flüssen als auch für die Beschreibung der Lager. Die verwendeten

Ansätze basieren auf Hochrechnungen, die unter Verwendung gütergruppenbezogener Materialkennzahlen vorgenommen werden. Ausgangspunkt ist das einzelne Gut bzw. vergleichsweise homogene Gütergruppen. Grundsätzlich werden Warenkörbe betrachtet. Dadurch entstehen methodisch bedingte Datenlücken.

Zur Qualifizierung und Validierung der Analysen in den verschiedenen Schichten werden diese im MSM zusammengeführt. Im Rahmen dieser Synthese werden Differenzen benannt und Erklärungsmuster reflektiert. Dies stellt eine wesentliche Grundlage zur Verbesserung der Interpretierbarkeit der Daten und letztendlich zur Formulierung eines Erfassungskonzeptes für das Anthropogene Stofflager dar.

Definitionen und Systemgrenzen

Die Abgrenzung des Anthropogenen Lagers Deutschlands erfolgt in Anlehnung an das „ökonomische System“ nach dem Verständnis der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR). Folgende Input- und Output-Ströme werden betrachtet:

- inländische Extraktionen,
- Importe nach Deutschland,
- Exporte ins Ausland sowie
- inländische Abgaben an die Umwelt.

Der Fokus liegt auf lagerrelevanten Flüssen und Beständen, die in langlebigen Gütern gebunden sind bzw. deren Input- und Outputflüsse darstellen. Durchflussgrößen, wie z. B. Lebensmittel oder Energieträger, sind hiervon zu unterscheiden. Eine Ausnahme bilden Reststoffe aus der Verbrennung, wie Aschen und Schlacken, die als weiterer Lagerinputstrom mitbetrachtet werden. Die Analysen beziehen sich im Wesentlichen auf das Basisjahr 2010.

Ergebnisse der Analyse von Materialflüssen in das und aus dem Lager (Analyseschicht 1)

Nettobestandszuwachs

Der Nettobestandszuwachs (NAS) kann näherungsweise als Zuwachs des Anthropogenen Lagers in langlebigen Gütern interpretiert werden. Durch Aufbereitung der Daten der UGR wurde der jährliche NAS des Anthropogenen Lagers im Zeitraum von 1960 bis 2010 berechnet.

Im gesamten Zeitraum von 1960 bis 2010 wurde ein NAS von insgesamt 42,3 Mrd. Tonnen (t) im Anthropogenen Lager Deutschlands berechnet. Im Mittel lag der Zuwachs bei 829 Mio. t pro Jahr. Für das Jahr 2010 wurde ein NAS in Höhe von 820 Mio. t berechnet. Dies entspricht einem spezifischen Nettobestandszuwachs in Höhe von ca. 10 t pro Jahr und Einwohner.

Unsicherheiten entstehen durch Datenlücken in den längeren Zeitreihen sowie durch methodische Unterschiede bei der Datengenerierung im Zeitverlauf, z. B. hinsichtlich der Methodik, die den Verbrennungsbilanzen zugrunde liegen. Dies schränkt die Interprätierbarkeit des NAS als langfristige Lagerakkumulation ein.

Quantitative Einschätzung der Input- und Outputflüsse für 2010

Ökonomieweite Daten der UGR, ergänzt mit Daten der Außenhandelsstatistik und Daten der Food and Agriculture Organisation (Entnahme von Holz) ermöglichen eine Quantifizierung von lagerrelevanten inländischen Extraktionen sowie von Material-Import- und -Export-Flüssen. Abfallimporte und-exporte werden in den genannten Datenquellen nicht geführt. Hierzu treffen Daten der Überwachungsstelle zur Abfallverbringung Aussagen. Abfallwirtschaftliche Analysen liefern zudem Angaben zu Abgaben an die Umwelt, worunter Abfallströme gezählt werden, die der Verfüllung zugeführt werden wie auch Abfälle, die thermisch behandelt werden. Aschen und Schlacken hieraus und aus anderen Verbrennungsprozessen bilden wieder einen Inputstrom.

Unter Nutzung dieser Daten wurden für 2010 ein Inputmaterialstrom in Höhe von 757,2 Mio. t und ein Output-Materialstrom von 227,8 Mio. t ermittelt. Hieraus ergibt sich für 2010 ein Lagerzuwachs in Höhe von 529,4 Mio. t. Dieser Wert liegt um nahezu 40 % unter dem für 2010 berechneten NAS-Wert (820 Mio. t). Mögliche „Fehlerquellen“, worauf diese Abweichungen zurückzuführen sind, werden insbesondere in der Methodik zur Ermittlung des NAS vermutet (Bilanzausgleichsposten).

Die inländischen Extraktionen stellen mit 523 Mio. t den größten lagerrelevanten Fluss dar. Importe und Exporte, die Rohstoffe und Halbwaren sowie Baustoffe, Kapitalgüter und langlebige Konsumgüter umfassen, liegen mit 185 Mio. t bzw. 174 Mio. t deutlich darunter. Abgaben an die Umwelt und Rückflüsse liegen in ähnlichen Größenordnungen. Sie tragen 4 % zum Input und 14 % zum Output bei.

Insgesamt erlauben die herangezogenen Daten einen groben Überblick über die Zu- und Abflüsse des Lagers. Die Ergänzung von Materialflussdaten mit abfallwirtschaftlichen Daten führt zu einer wesentlichen Erweiterung des Gesamtbildes. Die Grenzen der inhaltlichen Differenzierung der Materialströme sind mit der Quantifizierung der Haupt-Input- und -Output-Ströme nach Materialhauptgruppen erreicht. Umfassende Bezüge zu Gütergruppen können nicht hergestellt werden.

Ergebnisse der differenzierten Analyse von Materialflüssen in das und aus dem Lager sowie innerhalb des Lagers (Analyseschicht 2)

Die auf der Analyseschicht 1 erzielbaren Ergebnisse lassen keine differenzierten Aussagen nach Gütergruppen und keine Aussagen zur lagerinternen Dynamik zu. Dies war Ziel der Untersuchungen auf der Analyseschicht 2. Diese greift auf weitere, differenziertere Daten der Produktionsstatistik, der Außenhandelsstatistik sowie auf nichtamtliche Statistiken, z. B. von Verbänden, zurück. Die angelagerten abfallwirtschaftlichen Analysen nutzen amtliche Daten der Abfallstatistik, die unter Nutzung von Erkenntnissen vorliegender Studien und weiterer Quellen ergänzt und differenziert werden.

Materialflüsse der inländischen Produktion und des Außenhandels

Um die Daten der Produktions- und Außenhandelsstatistik in die Gliederungssystematik der gebildeten Gütergruppen zu überführen, wurden diese unter Verwendung vorliegender Strukturierungsschemata der Europäischen Statistik den Gruppen Kapitalgüter, Konsumgüter und Baustoffe zugeordnet. Die Transformation der Gütermengen in Materialkenngrößen erfolgte insbesondere unter Nutzung von Konversionsfaktoren des “economy-wide MFA Questionnaire“.

Bei der Zuordnung der Daten zu den gebildeten Gütergruppen und zu Materialkategorien zeigen sich datenbedingte Unschärfen. Dies begrenzt die Interpretierbarkeit der hieraus gewonnenen Ergebnisse. Dieses Problem zeigt sich insbesondere bei den Daten zur Produktionsstatistik. Es wurde deutlich, dass hieraus keine ausreichend qualifizierten Aussagen zum An-thropogenen Stofflager gewonnen werden können. Für Importflüsse und Exportflüsse trifft dies nicht zu. Hier konnte eine weitere Differenzierung nach Gütergruppen vorgenommen werden. Zuordnungsproblemen wurde u. a. dadurch

begegnet, dass neben den Gütergruppen Importe und Exporte von Rohstoffen und Halbwaren separat ausgewiesen wurden.

Inputflüsse in den Güterbestand Deutschlands

Um den genannten Einschränkungen der Interpretierbarkeit der Daten der Produktionsstatistik zu begegnen, erfolgte eine Erweiterung der Analysen durch Einbeziehung von Verbandsdaten. Gesucht wurde nach den „Inputflüssen in den Güterbestand Deutschlands", also den Flüssen, die im Betrachtungsjahr zusätzlich in den Güterbestand eingehen. Zur Plausibilisierung gewonnener Daten wurden diese geeigneten Vergleichsgrößen gegenübergestellt und Abweichungen diskutiert. Dabei wurden keine Unplausibilitäten festgestellt. Die ermittelten Inputflüsse werden deshalb als wesentliche Grundlage zur Abbildung der Flüsse im Lager auf der Analyseschicht 2 herangezogen. Unzulänglichkeiten sind insbesondere auf eine fehlende Berücksichtigung von Sekundärrohstoffflüssen zurückzuführen, was in den abfallwirtschaftlichen Analysen aufgegriffen wird.

Abfallwirtschaftlich geprägte Materialflüsse

Deutschland weist insgesamt einen Abfallexportüberschuss auf, der sich seit 2006 in der Größenordnung zwischen 3 und 5 Mio. t pro Jahr bewegt. Innerhalb der einzelnen Materialgruppen zeigen sich jedoch sehr unterschiedliche Bilder der „Abfallaußenhandelsbilanz".

Die wesentliche Datengrundlage für die Analysen abfallwirtschaftlich geprägter Materialströme im Lager bilden Daten der amtlichen Abfallwirtschaftsstatistik. Von hauptsächlichem Interesse sind dabei Mengenangaben zu den verschiedenen Abfallarten sowie Angaben über deren Zuführung zu Abfallentsorgungsanlagen unterschiedlicher Betriebsart und die daraus hervorgehenden Materialströme. Einschränkungen ergeben sich aufgrund uneinheitlicher Datenverfügbarkeit und Datenqualität im Zeitverlauf, aufgrund nicht auszuschließender Doppelerfassungen, hinsichtlich der Abgrenzung lagerrelevanter Abfallströme von nicht lagerrelevanten Strömen sowie aufgrund von bedingter Datenkonsistenz zwischen den Ebenen der Abfallhauptgruppen des EAV. Ausgehend hiervon folgen die abfallwirtschaftlichen Analysen einer prinzipiellen Abfolge von Analyseschritten zur Ermittlung lagerrelevanter Abfallströme.

Innerhalb des Lagers sind aus abfallwirtschaftlicher Sicht grundsätzlich zwei Mengenströme zu unterscheiden: Verwahrungsprozesse auf Deponien sowie Materialkreisläufe innerhalb des Lagers. Nach Expertenschätzungen wurden in Deutschland zwischen 1975 und 2005 ca. 2,5 Mrd. t Siedlungsabfälle auf Deponien abgelagert, 2010 waren es rund 16 Mio. t. Dem stehen 121 Mio. t abfallwirtschaftlich geprägter Kreisläufe im Lager gegenüber.

Neben der stofflichen Verwertung und der Beseitigung ist der Abfallstrom der thermischen Verwertung zu beachten, die z. B. in Müllverbrennungsanlagen oder Kraftwerksanlagen erfolgt. Abfälle, die diesen Verwertungsweg gehen, werden zunächst als Output-Strom betrachtet, die das Lager verlassen. Anteile davon werden als Aschen und Schlacken wieder zurückgeführt und bilden einen Inputstrom. Hierfür wurden Größenordnungen von 33 bzw. 32 Mio. t für 2010 ermittelt.

Die Bilanzierung des abfallwirtschaftlich bedingten Materialinputs, des abfallwirtschaftlich bedingten Materialverbleibs im Lager abzüglich der Output-Ströme zeigt, dass der Erhaltungsaspekt bei den abfallwirtschaftlich geprägten Strömen dominiert und zur Zuwachsdynamik des Anthropogenen Lagers beiträgt. Der Beitrag von längerfristig im Lager gehaltenen Materialien, der durch die Abfallwirtschaft erbracht wird, lag 2010 bei 114 Mio. t.

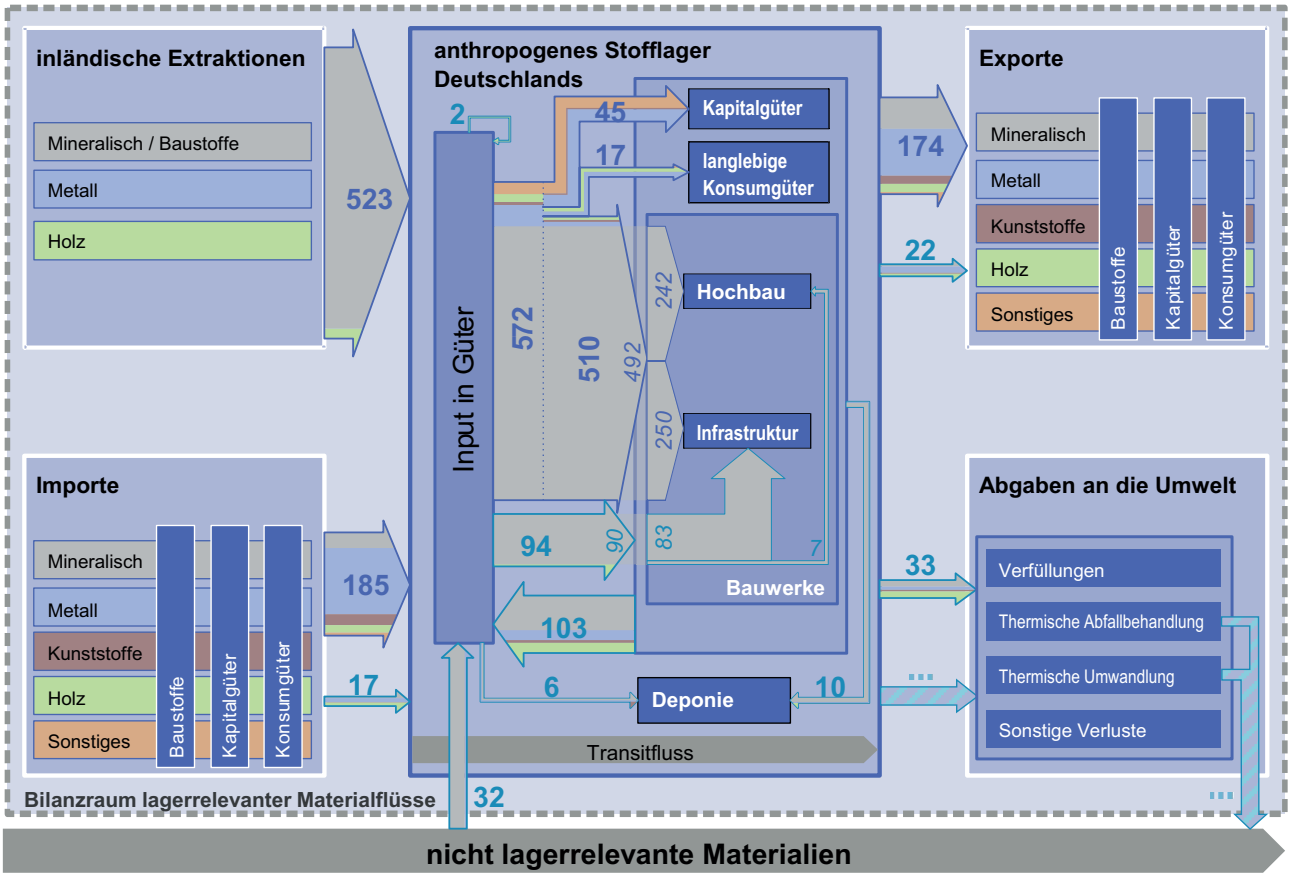
Top-Down ermittelte Materialflüsse

Der Produktions-Inputstrom in Güter wird gespeist aus den Inputströmen in das Lager (757 Mio. t) sowie aus lagerinternen Strömen (105 Mio. t). Diese betragen in der Summe 860 Mio. t. Dazwischen besteht eine positive Differenz von 188 Mio. t, welche als Transitfluss durch das Lager interpretiert

werden kann. Dieser direkte Transitfluss liegt unterhalb der Größenordnung der Outputströme (227,8 Mio. t + nicht quantifizierte Umweltabgaben).

Insgesamt weisen die Ergebnisse damit keine Unplausibilitäten auf. Deutlich wird aber auch, dass es Brüche zwischen der Analyseschicht 1 und der Analyseschicht 2 des Stoffstrommodells gibt. Eine Durchgängigkeit kann mit den verfügbaren Daten nicht hergestellt werden.

Abbildung 01: Materialflüsse im Anthropogenen Lager - Schicht 2 des MSM (2010), differenziert nach Hauptmaterialgruppen [Mio. t]



Stoffströme 2010 (alle Materialien / *nur mineralisch*) [Mio. t]: ⇨ MFA ⇨ Abfallwirtschaft

Quelle: eigene Darstellung

Hochrechnungen der Flüsse und Bestände (Bottom-Up)

Für die folgenden Hauptgüter- und Gütergruppen wurden Bottom-Up-Analysen zur Materialverteilung durchgeführt:

- Technische Infrastrukturen (Tiefbau)
- Verkehrsinfrastruktur (Straße, Schiene, Binnenschifffahrt, Luftverkehr einschl. Ingenieurbauwerke, Straßenausstattung)
- Trinkwasser- und Abwasserinfrastruktur (Leitungen, Anlagen)
- Energieinfrastruktur (Strom-, Gas-, Fern- und Nahwärmenetze, Energieerzeugungseinrichtungen)
- IuK-Infrastruktur (TK-Leitungen, Vermittlungsstellen, Rechenzentren und Mobilfunk)
- Bauwerke des Hochbaus
- Wohngebäude (Gebäude einschl. befestigte Flächen auf Grundstücken)
- Nichtwohngebäude
- Haustechnik
- in Wohngebäuden (Heizungsanlagen und Wärmeerzeuger, Heizungs- und Trinkwasserrohrnetz, Abwasser, Heizkörper, Sanitäre Ausstattung)
- in Nichtwohngebäuden (Rohrleitungen)
- Langlebige Güter
- Langlebige Konsumgüter (ca. 30 Güter: Haushaltsgroßgeräte, Küchenkleingeräte, Heimelektronik, Telekommunikationsgeräte, Computer, Fahrzeuge, Bekleidung, Schmuck)
- Langlebige Kapitalgüter (Abschätzung des Materialgehalts von Kapitalgütern mittels IO-Analyse)

Technische Infrastrukturen

Die Hochrechnungen zum Materiallager und zu den Materialflüssen der technischen Infrastrukturen in Deutschland basieren auf zahlreichen Teilanalysen. Für jeden Bestandteil der betrachteten Infrastrukturen wurden mit Hilfe von Literaturauswertungen und Experteneinschätzungen spezifische Materialkennziffern (MKZ) ermittelt. Es wurden geeignete Bezugsgrößen festgelegt, auf die die MKZ bezogen sind (z. B. m² Straßenfläche oder MW Kraftwerksleistung). Zur Hochrechnung von Beständen wurden Quantitäten der Bezugsgrößen, soweit möglich, aus Statistiken ermittelt und mit den MKZ multipliziert.

Grundsätzlich liegt dieses Vorgehen auch den Hochrechnungen von Flüssen zugrunde. Die Datenlage sowohl zu MKZ als auch zu Bestandsveränderungen ist hier jedoch lückenhafter, so dass hier den Expertenschätzungen und theoretischen Schätzmodellen eine größere Bedeutung zukommt. Für das Jahr 2010 werden die Materiallager und die Flüsse im Bereich der technischen Infrastrukturen wie folgt eingeschätzt:

Die bestehende Verkehrsinfrastruktur in Deutschlands umfasst ein Materiallager von rund 9,4 Mrd. t. Die nicht-mineralischen Rohstoffe sind mit einer absoluten Größe von rund 58 Mio. t absolut gesehen höher als bei anderen Infrastruktursystemen, bilden gleichzeitig aber nur 0,61 % des gesamten Rohstofflagers der Verkehrsinfrastruktur. Für Neubau, Erweiterung und Erneuerung wird ein jährlicher Materialbedarf in Höhe von 193 Mio. t geschätzt. Der Aufwand für Erneuerung und Instandsetzung liegt mit 165 Mio. t deutlich über dem Materialbedarf des Aus- und Neubaus (28 Mio. t).

Das Materiallager der betrachteten Wasser- und Abwasserinfrastrukturen wird auf 2,29 Mrd. t geschätzt – mit einem Anteil von 99 % an mineralischen Rohstoffen. Die berechneten jährlichen Materialflüsse liegen bei 18,4 Mio. t. Im Unterschied zur Verkehrsinfrastruktur werden die jährlichen Ma-

terialflüsse im Bereich der Wasser- und Abwasserinfrastruktur vor allem durch den Neubau dominiert (17,1 Mio. t). Dies erklärt sich vor allem aus dem Zuwachs der Kanalisation und dem damit verbundenen hohen Sandverbrauch zur Bettung der Rohre. Für die Instandhaltung wird dagegen die Annahme getroffen, dass die Sandbettung bei Auswechslung der Kanalisationsrohre wiederverwendet wird oder ein Relining erfolgt, ohne dass ein Austausch der Rohre stattfindet.

Die Energieverteilung- und Energieerzeugungsinfrastruktur stellt zusammen ein Materiallager in der Größenordnung von 830 Mio. t dar. Die mineralischen Rohstoffe summieren sich auf 771 Mio. t und entsprechen damit einem Anteil von 93 %. Die mineralischen Rohstoffe werden wiederum durch Sand/Kies mit 673 Mio. t und Beton mit 95 Mio. t dominiert, die vor allem für die Bettung der Rohre und Kabel eingesetzt werden. 74 % des Betons sind in Energieerzeugungseinrichtungen gespeichert, die restlichen 26 % in Verteilungsnetzen und darin vor allem in Masten und Fundamenten von Freileitungen. Signifikant ist hier auch das gespeicherte Lager metallischer Rohstoffe, das 45 Mio. t beträgt. Jährlich entsteht ein Materialbedarf durch Neubau und Instandhaltung in Höhe von 21 Mio. t. Auffallend sind vergleichsweise hohe Anteile, die auf nichtmineralische Stoffe (u. a. Kunststoffe und Metalle) entfallen (über 17 %).

Das Materiallager der IuK-Infrastruktur wird auf insgesamt 1,93 Mio. t geschätzt, dominiert von Metallen und Kunststoffen. Davon entfallen 1,69 Mio. t auf die Festnetzinfrastruktur und jeweils 120.000 t auf Rechenzentren und Mobilfunk. Aufgrund der unzureichenden Datensituation konnten hierfür keine jährlichen Materialflüsse abgeschätzt werden.

Bauwerke des Hochbaus

Der Gebäudebestand gliedert sich in Wohngebäude (WG) und Nichtwohngebäude (NWG). Diese Teilbestände unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich ihres Grades an Heterogenität sowie hinsichtlich verfügbarer Daten, so dass verschiedene Analysestränge und methodische Vorgehensweisen verfolgt wurden. Die angewendeten Verfahren der Hochrechnung von Materiallagern und Materialflüssen entsprechen im Grundsatz den dem Bereich Infrastruktur zugrundeliegenden: Ermittlung von MKZ und Multiplikation mit Bestandsdaten und Daten zur Veränderung des Bestandes.

Der Bestand an WG ist statistisch erfasst. Nach Angaben der Statistik summierte sich dieser 2010 auf 3,57 Mrd. m² Wohnfläche. Auch liegen für WG geeignete Gebäudetypologien sowie zugehörige Untersuchungen zu typischen Konstruktionsweisen vor, die für Hochrechnungen verwendet wurden.

Für NWG ist der Bestand dagegen statistisch nicht ausgewiesen. Er wurde mit Hilfe eines entwickelten Schätzverfahrens auf Basis des Bruttoanlagevermögens der Bauten aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) und weiteren Quellen berechnet. Für 2010 wird geschätzt, dass der deutsche Bestand an Nichtwohngebäuden rund 3 Mrd. m² Nutzfläche umfasst. Für die Hochrechnungen wurden vorliegende MKZ verwendet, die auf Basis von Auswertungen der BKI-Objektdatenbank berechnet sind.

Das Materiallager in WG liegt zwischen 8,4 Mrd. t und 9,3 Mrd. t, für NWG wurden 6,7 Mrd. t berechnet. Insgesamt dominieren mineralische Baustoffe. Bei NWG ist der Anteil weiterer Materialien (insbesondere Metalle, Kunststoffe, Holz) mit 13 % ca. doppelt so hoch wie bei WG (5 % bis 7 %).

Zur Ermittlung der Flüsse wurden die MKZ mit statistisch ausgewiesenen Zugangs- und Abgangszahlen verknüpft. Zudem wurden Annahmen zur Sanierungstätigkeit getroffen. Der für 2010 ermittelte Input aus Neubau und Sanierung beträgt für WG 53 Mio. t und für NWG 67 Mio. t. Der Output liegt für WG bei 20 Mio. t und für NWG bei 23 Mio. t. Beide Teilbestände erfahren derzeit demnach weiteren Zuwachs.

Hinzuweisen ist auf bestehende Datenlücken. So sind beispielsweise Kleinstgebäude in den hochgerechneten Massen nicht berücksichtigt. Gleiches gilt für Bodenaushub und weitere kleinere Bauwerke wie Grundstücksbegrenzungen etc.

Haustechnik

Haustechnik bezeichnet die technische Ausstattung von Bauwerken, insbesondere des Hochbaus. Dies umfasst die technische Gebäudeausrüstung von Wohngebäuden, Nichtwohngebäuden sowie von Infrastrukturgebäuden. Letzteres wird in der Systematik dieses Vorhabens dem Infrastrukturbereich zugeordnet. Produktionsanlagen sind ebenfalls nicht Bestandteil der Haustechnik, sondern zählen zu Kapitalgütern. Die hier betrachtete Gütergruppe „Haustechnik“ umfasst damit technische Ausstattungen von Wohn und Nichtwohngebäuden. Betrachtet wurden Heizungsanlagen, Versorgungsleitungen der Heizungssysteme, Heizkörper, Trinkwasser- und Abwasserleitungen sowie Teile der Sanitärausstattung. Dies gilt grundsätzlich für Wohngebäude. Aufgrund fehlender Daten und fehlender umsetzbarer methodischer Zugänge beschränken sich die Untersuchungen der Haustechnik in Nichtwohngebäuden auf Verteilungs- und Entsorgungsleitungen.

Die im Bereich der Haustechnik verwendeten MKZ basieren in erster Linie auf Auswertungen von Herstellerangaben. Die Hochrechnungsfaktoren entsprechen denen, die im Abschnitt Hochbau verwendet werden – m² Wohn- bzw. m² Nutzfläche. Darüber hinaus wurden mit Hilfe spezifischer Modellierungsansätze Ausstattungsmerkmale von Gebäuden ermittelt (z. B. m Heizungsleitung je m² Wohnfläche). Diese Ausstattungsmerkmale wurden unter Beachtung haustechnischer Entwurfsregeln erarbeitet. Maßgeblich hierfür waren insbesondere technische Bedarfszahlen (z. B. Wärmeleistung) oder übliche Ausstattungsnormen (Sanitärausstattung).

Im Wohngebäudebestand summiert sich das Materiallager der Haustechnik auf 16,5 Mio. t. Dies entspricht zwar nur einem Bruchteil der im Hochbau verbauten Massen, betrifft aber vor allem Metalle und Kunststoffe, die im Sinne der Recyclingwirtschaft von besonderer Bedeutung sind. Der ermittelte Inputstrom in 2010 liegt bei knapp über 0,5 Mio. t, der Output bei 0,65 Mio. t. Anders als bei den Baumaterialien für die Gebäudekonstruktion liegt der Materialinput damit unter den Outputflüssen. Gründe liegen u. a. im steigenden Einsatz von Kunstoffen, anstatt Metall, sowie in einem Anstieg der Materialeffizienz insgesamt.

Im Nichtwohngebäudebestand wurde ein Lager in Höhe von 4,5 Mio. t ermittelt (nur Rohrleitungen). Die Flüsse liegen bei 0,08 Mio. t (Input) bzw. 0,05 Mio. t (0utput). Der Inputüberschuss ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass der Substitutionseffekt von Metallen durch Kunststoffe bei den in Nichtwohngebäuden zum Einsatz kommenden Anlagen weniger stark zum Tragen kommt.

Die Problematik des unvollständigen Warenkorbes kommt auch im Bereich der Haustechnik zum Tragen. Es wird aber davon ausgegangen, dass mit der Auswahl der betrachteten Anlagen ein Großteil der Massen und Massenströme der Haustechnik erfasst ist. Die zum Teil sehr weitgehenden Annahmen, die bei den Schätzmodellen zu treffen waren, bergen entsprechende Unsicherheiten. Die angegebenen Werte können damit lediglich eine Orientierung über die anzusetzenden Größenordnungen geben.

Langlebige Konsumgüter

Für langlebige Konsumgüter erfolgen die Abschätzungen des jährlichen Verbrauchs an Rohstoffen auf der Basis von Sachbilanzdaten für rund 30 langlebige Haushaltsgüter. Für diese Güter werden die sachbilanziellen Inventardaten (z. B. die Bill of materials eines Kühlschranks) mit der Summe aus jährlich in Deutschland produzierter Menge und Nettoimporten der jeweiligen Haushaltsgüter multipliziert. Zumeist liegen nur Materialinventare für ein bestimmtes Produkt je Güterkategorie vor, das als Standard für die gesamte Produktgruppe gewertet werden muss.

Die Abschätzung des Materialbestandes erfolgt über zwei Wege: Für die statistisch erfassten Haushaltsgüter (Einkommens- und Verbrauchsstichprobe, EVS) kann unter Berücksichtigung der Zahl der Haushalte und des Ausstattungsgrades eine Abschätzung des Bestands vorgenommen werden. Dies betrifft vor allem Haushaltsgroßgeräte (weiße Ware), Heimelektronik, Mobilitätsgüter und Telekommunikationsgeräte. Für Haushaltsgüter, die nicht in der EVS abgefragt wurden, erfolgt die Hochrechnung des Bestandes über die angenommene Lebensdauer und Annahmen zum jährlichen Konsum dieser Produkte. Dies betrifft vor allem kleinere Haushaltsgüter, wie z. B. Toaster oder Kaffeemaschinen.

Der Materialbestand der ausgewählten langlebigen Haushaltsgüter beträgt 69 Mio. t. Fast 60 % des Materiallagers besteht aus metallischen Rohstoffen. Die Gruppe der Kunststoffe ist sehr breit gefächert, wird aber durch Polypropylen dominiert. Drüber hinaus kommt eine Vielzahl „sonstiger Materialien“ zum Einsatz.

Zur Ermittlung jährlicher Flüsse werden Schätzungen zum Absatz und zur Lebensdauer vorgenommen. Anhaltspunkte liefern ausgewählte Daten der Produktionsstatistik, der Außenhandelsstatistik sowie aktuell vorliegende Daten einer repräsentativen Umfrage zu Nutzungsdauern ausgewählter Güter, die im Auftrag des UBA durchgeführt wurde. Für den betrachteten Warenkorb wurden für 2010 Inputflüsse in Höhe von 4,6 Mio. t. ermittelt. Der Output lag bei 7,5 Mio. t. Dies würde bedeuten, dass das Materiallager der langlebigen Güter kleiner wird. Eine denkbare Erklärung könnte in stofflichen Veränderungen der Güter liegen (vom Röhrenmonitor zum Flachbildschirm). Aufgrund der vergleichsweise unsicheren Datenlage sowohl der Input- als auch der Outputschätzung bewegt man sich hier aber in einem äußerst hypothetischen Bereich.

Langlebige Kapitalgüter

Für den Bereich der langlebigen Kapitalgüter (Investitionsgüter) ist derzeit keine Datenbasis verfügbar, auf Grundlage derer eine Bottom-Up-Abschätzung der Bestände und Flüsse erfolgen könnte. Weder gibt es Daten über den physischen Bestand noch über die Typologie an Investitionsgütern. Deshalb wurde hier ein anderes Vorgehen gewählt. Betrachtet wurde der Teil der Investitionsgüter, der keine Gebäude und Infrastrukturen umfasst. Dies entspricht der Kategorie der letzten Verwendung „Investitionen in Ausrüstungen und sonstige Anlagen“ der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR). Angaben über die jährliche Veränderung des Volumens dieser Ausrüstungs-Investitionen können aus monetären Input-Output-Tabellen (IOT) und Investitionsstatistiken von Destatis entnommen werden. Diese Angaben stellen das monetäre Pendant der jährlichen Netto-Materialflüsse dar.

Die vorgenommene Abschätzung erfolgte auf Grundlage einer um den sektoralen Materialinput erweiterten IOT und eines auf IO-Prinzipen basierenden Zuschreibungsmodells, mit dem die Materialflüsse in einem iterativen Prozess zur letzten Verwendung zugerechnet wurden. In einem weiteren Schritt wurde der abgeschätzte Materialgehalt mit den entsprechenden monetären Flussgrößen kombiniert, um im Ergebnis physisch-monetäre Verhältnisse (Materialintensitäten) für jede Produktgruppe zu ermitteln. Diese bilden eine materialspezifische Intensität der betrachteten Investitionsgütergruppen ab und dienen als Referenzgröße für die Abschätzung des gesamten Materialbedarfs der jeweiligen Gruppe. Die Abschätzung selbst erfolgte, indem die Materialintensitäten aus den jährlichen IOT mit monetären Angaben über das gesamte Anlagevermögen an Ausrüstungen und sonstige Anlagen aus den VGR kombiniert wurden.

Unter Verwendung der aktuellsten verfügbaren rohstoffspezifischen Materialintensität (aus dem Jahr 2005) lässt sich der Materialbestand in lagerrelevanten Kapitalgütern mit 255 Mio. t beziffern. Diese Summe teilt sich auf in 133,19 Mio. t mineralische Rohstoffe, 94,33 Mio. t metallische Rohstoffe,

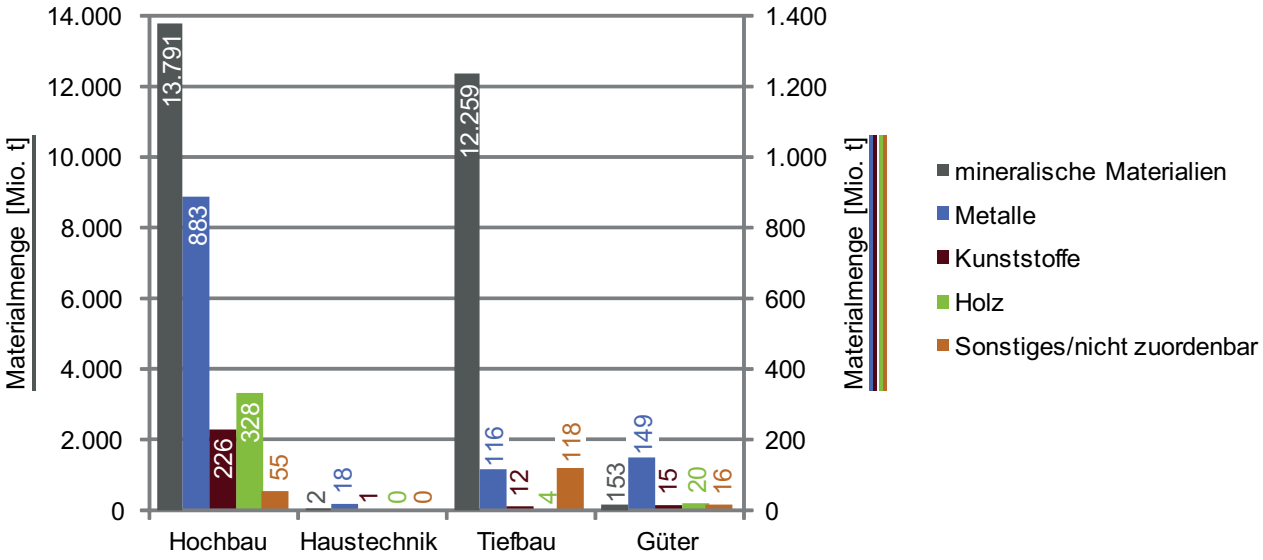
18,05 Mio. t Holz und 9,42 Mio. t sonstige Materialien. Für 2005 wurden Flüsse in der Größenordnung von insgesamt 19 Mio. t errechnet.

Ein interessanter Befund ist die deutliche Senkung der Materialintensität, die sich in den wenigen untersuchten Jahren (1995, 2000, 2005) abzeichnet. Die zugrundeliegende Datenbasis und Methode, die diesen Befund hervorbrachte, steht jedoch noch auf schwachen Füßen. Bislang sind die Berechnungsansätze fehleranfällig. Einschränkend wirkt zudem, dass von homogenen Produktgruppen ausgegangen wird, was eine stark vereinfachende Annahme darstellt.

Materiallager Bottom-Up

Insgesamt beträgt das berechnete Materiallager über alle betrachteten Gruppen langlebiger Güter 28 Mrd. t. Es besteht nach den hier angewendeten Berechnungsansätzen zu 93 % aus mineralischen Materialen, zu 4,1 % aus Metallen, zu 1,3 % aus Holz und zu 0,9 % aus Kunststoffen. 0,7 % der Massen konnten keiner Materialgruppe zugeordnet werden.

Abbildung 02: Bestände an Materialien nach Hauptmaterialgruppen im Basisjahr 2010



Quelle: eigene Darstellung

Der größte Teil entfällt auf den Bausektor mit insgesamt 27,8 Mrd. t. Das Lager, das in der Haustechnik sowie in den Konsum- und Kapitalgütern gebunden ist, ist mit 373 Mio. t um mehr als eine Dimension kleiner. Während das Lager in Bauwerken von mineralischen Materialien dominiert wird, dominieren bei den anderen Gütergruppen metallische Materialien. Dies betrifft neben den Eisenmetallen vor allem die Buntmetalle, wie z. B. Kupfer und Aluminium.

Abfallwirtschaftliche Kennzahlen zur Abbildung von Recyclingaspekten

Um Recyclingaspekte abzubilden, wurden verschiedene Kennzahlen gebildet:

- Sekundärrohstoff-Einsatzmengen: die geschätzten absoluten Mengen eingesetzter Sekundärrohstoffe [t];
- Abschöpfungsgrad an Sekundärrohstoff: Verhältnis zwischen eingesetzter Sekundärrohstoffmenge und verfügbarer Sekundärrohstoffmenge [%];
- Recyclinganteil: Verhältnis aus eingesetzter Sekundärrohstoffmenge und Gesamtinputmenge (Primär- und Sekundärrohstoffe) [%].

Die notwendigen Analysen zur Quantifizierung dieser Kennzahlen erfordern zahlreiche Einzeluntersuchungen. Oftmals ist es nicht möglich, Outputflüsse eindeutig auf Gütergruppen zu beziehen. Auf der Inputseite sind dagegen grundsätzlich eher Bezüge zwischen Sekundärmaterialströmen und Gütergruppen herstellbar. Äußerst lückenhaft sind Daten zu güterbezogenen Recyclinganteilen.

Am Beispiel der Gütergruppe Hochbau wurde eine detaillierte Quantifizierung der Kennzahlen für den Bereich des Hochbaus vorgenommen. Dabei wurden ca. 30 verschiedene sekundäre Inputstoffe in den Hochbau ermittelt, deren Ursprünge in den unterschiedlichen Ebenen der abfallwirtschaftlichen Materialflussbetrachtungen liegen.

Der Sekundärrohstoffstrom, der 2010 in den Hochbau floss, beträgt nach den vorgenommenen Berechnungen 12,3 Mio. t. Der (auf Schicht 1 und 2 ermittelte) insgesamt im Lager fließende Sekundärrohstoffstrom in Höhe von 153 Mio. t wird damit zu 8 % von der Gütergruppe Hochbau abgeschöpft. Der Recyclinganteil im Hochbau liegt bei 10 %.

Die Abfallwirtschaft verändert primär die Verweildauern von Materialien im Lager. In der Zeitpunktbetrachtung haben eingesetzte Recycling-Materialien einen positiven Effekt auf die Materialbilanz des Lagers. Sie führen zu einer Reduzierung sowohl der abgehenden Materialflüsse als auch der Zuflüsse an primären Materialien.

Der tatsächlich erzielte Minderungseffekt an Inputströmen, insbesondere Zuflüssen aus Extraktion, in das Anthropogene Lager durch die Nutzung der Sekundärmaterialien wird anhand des Kreislaufes nicht abschließend abgebildet. Die Einsatzmenge an Sekundärmaterial muss nicht identisch sein mit der Substitutionsmenge von Primärrohstoffen. Häufig ist die Substitutionsmenge deutlich höher, wenn z. B. auch Rohstoffe für die Verarbeitung von Primärrohstoffen eingespart werden. Derartige Betrachtungen sind Gegenstand von Substitutionsrechnungen, die nicht Gegenstand dieses Vorhabens waren.

Synthese der Ansätze

Im Rahmen der Synthese werden die Ergebnisse gegenübergestellt, die auf den einzelnen Analyseschichten erzielt wurden. Dies dient dazu, Abweichungen aufzuzeigen und zu diskutieren, um so die Ergebnisse weiter zu qualifizieren und Hilfestellungen für die Interpretation der Werte zu geben.

Verglichen wurden Input- und Outputströme der Top-Down-Ansätze mit den Strömen der Bottom-Up-Ansätze. Weiter wurden Input- und Output-Ströme innerhalb der Analyseschichten gegenübergestellt. Soweit möglich, wurden die Vergleiche für Güter- und Materialgruppen durchgeführt. Betrachtet wurden Flüsse, da hierfür auf allen Ebenen Aussagen generiert werden konnten.

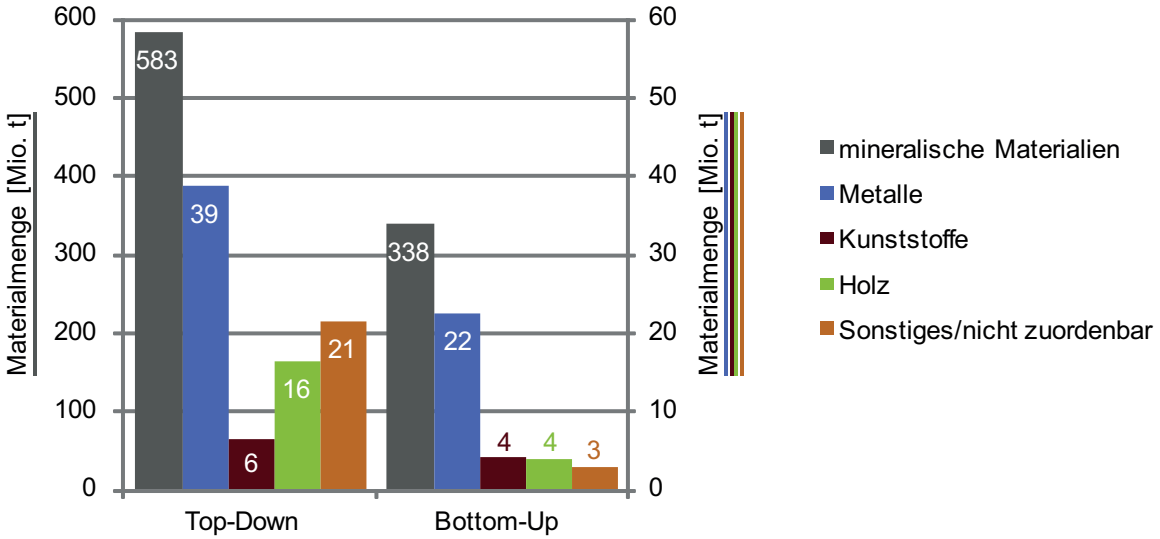
Vergleich der Inputströme

Der Vergleich summierter Inputströme der Analyseschichten 2 (Top-Down) und 3 (Bottom-Up) zeigt, dass mit dem Top-Down-Ansatz deutlich höhere Ströme berechnet wurden. Der Bottom-Up ermittelte Gesamtinputstrom liegt bei 56 % des Top-Down ermittelten Wertes. In der Tendenz zeigt sich diese Diskrepanz in allen Materialgruppen sowie in allen Gütergruppen.

In der differenzierten Betrachtung zeigen sich hiervon abweichende Bilder. Die Verwendung von Korrekturfaktoren nach einheitlichem Muster scheidet aus, weil die Vorzeichen der Abweichungen wechseln. Top-Down-Werte können somit nicht pauschal als Obergrenze interpretiert werden.

Die Erklärungsansätze für die Abweichungen sind unterschiedlich. Sie reichen von Unvollständigkeitshinweisen hinsichtlich des betrachteten Güterumfanges über unzureichende Berücksichtigung von Sekundärmaterialströmen bis hin zu abweichenden Zuordnungen einzelner Güter zu Gütergruppen in den herangezogenen Quellen.

Abbildung 03: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up – Inputströme der langlebigen Güter (außer Kapitalgüter) nach Hauptmaterialgruppen



Quelle: eigene Darstellung

Vergleich der Output-Ströme

Der Top-Down-/Bottom-Up-Vergleich der Output-Ströme kann in der Gegenüberstellung der Analyseergebnisse aus Schicht 2 und Schicht 3 erfolgen, da hierfür entsprechende Aussagen vorliegen. Bei der Gegenüberstellung von Hauptmaterialgruppen sind zum Teil erhebliche Unterschiede zu erkennen, die gegenläufige Tendenzen aufweisen. Die Ursachen decken sich zum Teil mit denen, die auch bei Inputdaten zu beobachten sind.

Zusätzlich kommt zum Tragen, dass abfallwirtschaftliche Daten nur Materialströme ausweisen, die Abfälle im Sinne der gesetzlichen Definition darstellen. Output-Ströme, die diese Eigenschaft nicht aufweisen, werden nicht erfasst und gehen damit nicht in entsprechende Top-Down-Bilanzierungen ein.

Gegenüberstellung von Input und Output

Die Gegenüberstellungen der Input- und Outputflüsse auf den einzelnen Ebenen zeigen plausible Bilder und weisen einen Zuwachs der Lager aus.

Der berechnete Output ist bei den mineralischen Materialien mit 60 % des Inputs und bei den Metallen mit 64 % deutlich geringer als der Input. Eine vorschnelle Interpretation dieser Daten sollte jedoch vor dem Hintergrund möglicher Untererfassungen auf Seiten des Outputs vor allem im mineralisch und metallisch dominierten Baubereich nicht erfolgen. Bei Kunststoffen und Holz sind die berechneten Werte für den Input und den Output nahezu ausgeglichen. Dies könnte auf eine geringe Dynamik des Lagers hindeuten.

Bei der nach Gütergruppen differenzierten Betrachtung treten Input-Output-Differenzen in beide Richtungen auf. Im Bausektor zeigen sich große positive Input-Output-Differenzen, wohingegen die Input-Output-Differenzen bei der Haustechnik und den Konsumgütern negativ sind. Diese schrumpfenden Teillager könnten u. a. auf eine Erhöhung der ressourceneffizienten Bereitstellung der Anlagen (ressourcenleichte Haustechnik) und Geräte (Flach-, statt Röhrenbildschirm) zurückzuführen sein. Weitere Überprüfungen scheinen hier angebracht, insbesondere im Hinblick auf die methodi-

schen Unsicherheiten, im Hinblick auf die Systemgrenzen der Warenkörbe als auch im Hinblick auf mögliche Verschiebungen zwischen den Gütergruppen.

Für Kapitalgüter ist aufgrund der Datenlage keine Differenzbetrachtung möglich.

Erfassung, Fortschreibung und Dynamisierung

Ein langfristiges Monitoring des Anthropogenen Lagers ist durch eine kontinuierliche Fortschreibung von Bestandsveränderungen denkbar. Dies kann durch standardisierte Erhebungsschemata unterstützt werden. Folgende konzeptionellen Grundlagen wurden hierfür erarbeitet:

Datenqualifizierung

Die materialgruppen- und gütergruppenspezifische Gegenüberstellung der Ergebnisse der beiden Analysemethoden Top-Down und Bottom-Up hat gezeigt, dass Abweichungen in beide Richtungen möglich sind. Entgegen der ursprünglichen Vermutung kann somit der Top-Down-Wert nicht per se als Obergrenze angesehen werden.

In den Fällen, wo dies möglich ist (z. B. mineralische Materialien) sollten ergänzende Quantifizierungen des Bottom-Up-Ansatzes erfolgen bzw. sind z. T. bereits erfolgt. Darüber hinaus ist die Verwendung pauschaler Zuschlagsfaktoren zu diskutieren, zu deren Begründung die Erkenntnisse aus der Synthese der Ansätze herangezogen werden können.

In Fällen, in denen der Top-Down-Wert unter den Bottom-Up ermittelten Ergebnissen liegt (z. B. Stahl im Bau), ist eine solche Herangehensweise generell nicht möglich. In diesen Fällen sollte auf verbleibende Lücken hingewiesen werden.

Mit großen Unsicherheiten behaftet ist der Fall, wo der Top-Down-Wert höher als der Bottom-Up-Wert liegt, aber nicht quantifizierbare Doppelzählungen enthält. In diesem Fall wäre es falsch, die Bottom-Up ermittelten Werte pauschal an diesen zu hohen Top-Down-Wert anzugleichen. Die tatsächliche Größe der Lücke ist unbekannt. Auch in diesem Fall ist die Verwendung der Bottom-Up ermittelten Werte einschließlich zusätzlicher Überschlagsrechnungen als unterem Grenzwert die sicherere Alternative. Weitere Möglichkeiten der Datenqualifizierung (bspw. die Angabe eines Streubereichs) bleiben zu diskutieren.

Bestandsdynamik im Anthropogenen Lager

Eine übliche Vorgehensweise zur Beschreibung der Bestandsdynamik ist die Verwendung von Verweildauern der Güter im Lager. Hierzu gibt es bei den betrachteten Gütergruppen unterschiedliche Herangehensweisen. Bei den Wohn- und Nichtwohngebäuden werden Zugangs- und Abgangsraten verwendet, die der Statistik entnommen werden können. Angenommene Nutzungsdauern bilden zudem die Basis für die Festlegung von Sanierungsraten von Gebäuden und der Haustechnik.

Ersatz- und Instandhaltungszyklen technischer Infrastrukturen werden durch Ansatz technischer Lebensdauern bestimmt. Diese können von realen Ersatz- und Instandhaltungszyklen deutlich abweichen. Zu beachten ist der Aspekt der Altersstruktur insbesondere bei jungen Infrastrukturbereichen mit vergleichsweise hohem jährlichem Zuwachs. Dort ist die Berechnungsweise der Erneuerungsrate allein aufgrund der jährlichen Abschreibung nicht zutreffend, da der Erneuerungsbedarf für den Zuwachs erst mit dem Ende dessen technischer Lebensdauer einsetzt. Mit Blick auf das Erfassungskonzept sollte deshalb im Bereich der erneuerbaren Energien perspektivisch eine realistische Altersverteilung angesetzt werden.

Für langlebige Konsumgüter, die in der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) erfasst sind, kann die Verweildauer aus den statistisch erfassten Lagerveränderungen ermittelt werden. Bei klei-

neren Haushaltsgütern, wie Toaster oder Kaffeemaschinen, mit einer relativ kurzen Lebensdauer von z. B. 3 Jahren, wird diese als Verweildauer der Güter im Lager angesetzt.

Nach dem Ende der Verweildauer stehen die Güter für Recyclingprozesse im Lager zur Verfügung. Teile davon verlassen auch als Output das Lager. Zur Quantifizierung der jeweiligen Materialflüsse kann auf die abfallwirtschaftlichen Analysemethoden zurückgegriffen werden.

Datenqualität, Fortschreibungsfähigkeit und Datenverfügbarkeit

Das Konzept zur Beurteilung der Datenqualität umfasst vier Beurteilungskriterien, entlang derer mit Hilfe eines qualitativ beschriebenen einfachen Ampelsystems eine Bewertung vorgenommen werden kann, an der sich weitere Bearbeitungs-, Fortschreibungs- und Interpretationsschritte orientieren können. Die im Vorhaben erhobenen Daten wurden entlang dieses Schemas bewertet. Betrachtet werden:

- Vertrauenswürdigkeit der Daten (Art der Quelle/Datenbasis)
- Zeitliche Repräsentativität (Abweichung zum Referenzjahr)
- Geographische Repräsentativität (Geographischer Bezug der Daten in Relation zum Betrachtungsgebiet (Deutschland)
- Technologische Repräsentativität (Ausgewertete Daten, auf Grundlage derer relevante (Material-)Kennziffern gebildet werden)

Dokumentation und Erfassungskonzept

Im Rahmen des Erfassungskonzepts wurden die für das Bezugsjahr 2010 ermittelten Daten elektronisch in Tabellenform aufbereitet. Im Hinblick auf eine mögliche Überführung der gewonnenen Kenntnisse und Zusammenhänge in ein softwaregestütztes Analysetool wurde für die Tabellen der Bottom-Up-Analysen eine Strukturierung festgelegt, die als Grundlage für eine entsprechende programmiertechnische Umsetzung dient. Die Aufbereitung erfolgte für Top-Down- und Bottom-Up-Daten, bei letzterem getrennt für die Hauptgütergruppen Gebäude, Haustechnik, Infrastruktur und langlebige Konsumgüter.

Pro Hauptgütergruppe gibt es:

- Eine Basistabelle mit güterspezifischen Definitionen der zugrundeliegenden Bezugsgrößen (z. B. m^2 Wohnfläche, 1.000 km Straßenlänge). Sie enthält die absoluten Mengenkenngrößen für den Bestand, Input und Output im Basisjahr 2010 einschließlich einer Qualitätsbeurteilung.
- Eine Tabelle mit nach Gütern und Materialgruppen differenzierten Materialkennziffern als relative Größen einschließlich Qualitätsbeurteilung.
- Drei Ergebnistabellen für die nach Gütern und Materialgruppen differenzierten absoluten Massen des Bestandes, der Inputflüsse und der Outputflüsse für das Basisjahr 2010, die sich aus der Verknüpfung von Materialkennziffern und Mengenkenngrößen ergeben.

Der erfasste Bestand an Gütern für das Basisjahr 2010 bildet als „Status Quo“ die Grundlage für die Fortschreibung des Bestandmodells. Die Bestandsakkumulation kann allgemein mithilfe von jährlich oder in größeren Zeitabständen zu generierenden Flussdaten für die einzelnen Gütergruppen erfolgen. In Abhängigkeit von der Gütergruppe sind dafür die entwickelten Analysemethoden anzuwenden.

Hinsichtlich der Erfassungshäufigkeit und der erreichbaren Datenqualität ist generell zwischen den Bezugsgrößen (Mengenkenngrößen) und Materialkennziffern zu unterscheiden. Die Mengenkenngrößen bilden die Basis für die Quantifizierung der Materialflüsse. Die Materialkennziffern spiegeln

die technologische Dynamik wieder. Sowohl die Datenverfügbarkeit als auch die Datenqualität ist bei den Mengenkenngrößen grundsätzlich besser als bei den Materialkennziffern.

Für die Erfassung der Mengenkenngrößen stehen zum Teil amtliche Statistiken zur Verfügung. Dies betrifft die Gebäude (Hochbau), die Haustechnik, Teile der Infrastruktur sowie die Konsumgüter. Für Wohngebäude erlaubt die Wohngebäudebestandsstatistik eine jährliche Aktualisierung des Bestandes. Konsumgüter sind in der Einkommens- und Verbraucherstichprobe erfasst sind, mit Hilfe derer alle 5 Jahre eine Kalibrierung der Bestandsmenge erfolgen kann. Darüber hinaus muss auf nichtamtliche Statistiken zurückgegriffen werden.

Die Materialkennziffern basieren im Regelfall auf mehr oder weniger komplexen Datenanalysen sowie auf Berechnungsmodellen für die einzelnen Teilsysteme. Die Gültigkeit der Materialkennziffern, insbesondere für den Input, ist abhängig von der Innovationsdynamik im jeweiligen Güterbereich. Vor jeder Fortschreibungsschleife ist deshalb der aktuelle Stand der Innovationsentwicklung zu erheben und zu prüfen, ob dieser in den Materialkennziffern bzw. den zugrunde gelegten Warenkörben anzupassen ist.

Summary

Mapping the anthropogenic material stock in Germany in order to optimize the use of secondary raw materials

One of the greatest economic, social and ecological challenges of our time is to ensure an efficient consumption of natural resources in order to preserve the natural environment. This aim is increasingly gaining prominence on the national and international political agendas. Efforts in Europe have led to the drawing up in 2011 of a Road Map for a "Resource Efficient Europe". The German government has also made progress in meeting these challenges by setting up its own resource efficiency programme, "ProgRess". Here the main aim is to reduce the consumption of natural resources, thereby protecting against environmental damage and pollution while maintaining living standards and potentials for further development. One important aspect of resource efficiency is to expand the opportunities for the recycling of materials.

Project aims

Germany has accumulated an enormous wealth of buildings, infrastructures and other durable goods. This constitutes a valuable reservoir of secondary raw materials – an anthropogenic material stockpile. It should be understood as representing a capital reserve for the future, which must be systematically managed.

This capital reserve has so far been largely ignored in the basically input-dominated discussion on resource efficiency. This can be attributed in part to the insufficient body of knowledge on the size and composition of this material stockpile as well as how it changes over time. The project entitled "Mapping the Anthropogenic Material Stockpile in Germany in Order to Optimize the use of Secondary Raw Materials" (KartAL) is intended to greatly expand the knowledge base in this regard. Here "mapping" is used in the rather loose ecological sense to describe the capturing of objects by means of specific features (creating inventories) within a defined area. The area of observation in the current project is Germany.

The current report summarizes the results of the KartAL-I[2] project. The primary aim, as described, of expanding the knowledge base, was realized by creating the groundwork for a continuously updated data bank model of the anthropogenic material stockpile, allowing us to determine the potential for secondary raw materials contained in durable goods and buildings. The research encompassed:

- estimating the size and composition of the current anthropogenic stockpile of raw materials in Germany in the form of buildings, infrastructures and selected durable goods as well as
- analyzing data sources and indicators in order to describe trends in the size and composition of the anthropogenic stock

[2] The project is part of a long-term research endeavour "KartAL", which aims to understand, systematically analyze and manage the anthropogenic material stockpile as the capital reserve of the future. KartAL-I is the first project in this endeavour.

Objects of investigation and analytical approach

The project looked at material flows and material stocks of durable goods in the Federal Republic of Germany, specifically:

- structures that are part of the technical infrastructure,
- buildings (residential and non-residential),
- building services,
- capital goods and
- durable consumer goods.

Diverse analytical approaches were applied and combined. On the one hand, it was investigated whether general economic data could provide sufficiently precise base data for the calculation of material flows and the material stockpile of durable goods. Such investigations can be described as following a top-down approach. A second approach was to undertake analysis at the level of individual objects. Here goods-based material indicators were developed to describe durable goods, and these applied to data on durable goods to permit an estimation of the total stock of each good and changes to this stock. This created the foundation for estimations of anthropogenic material stockpiles as well as material flows. Such methods can be described as following a bottom-up approach. Both approaches were then combined to create a Multi-level Material Flow Model (MMFM).

Multi-level material flow model as an analytical tool

The multi-level material flow model (MMFM) can be used to analyse and illustrate material inflows to and outflows from the anthropogenic material stockpile as well as flows within the stockpile itself and indeed its material composition. The MMFM should be understood as an analytical model to help structure the research, whereby three levels of analysis must be distinguished. These levels apply different analytical methods (top-down and bottom-up) to diverse data sources. Analyses of material flows (MFA) and of waste material are carried out and combined for each of these layers. Material flow analyses model the material flow of goods. Waste analyses look at the various ratios of waste materials, thus pursuing an entirely different form of classification, which therefore cannot be directly compared to stockpiles of materials and goods.

Analysis Level 1 of the MMFM follows a top-down approach, using in particular data from the *Umweltökonomische Gesamtrechnung* (UGR) (System of Integrated Environmental and Economic Accounting). This method can be used to describe, distinguish and quantify the main input and output flows of the stockpile. The picture is supplemented by an estimate of waste material flows that occur outside the anthropogenic stockpile. There are some obvious limits to the detail specification of material flows using the employed data. Thus only the main material groups and categories of stockpile inputs and outputs can be determined. At Analysis Level 1 we also consider the degree to which basic economic data can be used to define not only material flows but also the actual material stockpile. This is achieved through observation of the growth in the net stockpile over a period of 50 years.

Analysis Level 2 of the MMFM attempts to remedy the deficiencies of Analysis Level 1, i.e. the limited ability to distinguish material flows according to material type as well as goods. A top-down approach is followed in Level 2. In addition to the analysis of input and output flows of the stockpile according to material type, MFA and waste analysis at Level 2 focus on the determination of flows in the anthropogenic material stockpile.

The object-based bottom-up analyses of Analysis Level 3 provide a higher degree of freedom regarding the description of flows as well as the description of material stockpiles. The approach here is to make quantitative estimations using material codes for specific groups of goods. The basic unit is the

individual good or homogenous group of goods. Goods baskets are considered, which inevitable leads to data gaps.

The various analyses in the three levels are combined in the MMFM in order to qualify and validate results. Disparities can be discerned and patterns of explanation considered in the framework of this synthesis. This constitutes a useful foundation to improve the interpretation of data and to formulate a concept to capture the anthropogenic material stockpile.

Definitions and system boundaries

Germany's anthropogenic material stockpile is defined according to the economic system proposed by the *Umweltökonomische Gesamtrechnung* (UGR). The following input and output flows are considered:

- domestic extraction,
- imports to Germany,
- exports to foreign countries as well as
- domestic disposal of material into the natural environment.

The focus is on flows and stockpiles that are linked to durable goods, or which illustrate their input and output flows. These are to be distinguished from nondurable goods such as foodstuffs or fossil fuels. An exception is made for residual materials from combustive processes, such as ash and slag, which can be considered as additional input material flows. The analysis is based on data for the reference year 2010.

Results of analysis of material flows into and out of the stockpile (Analysis Level 1)

Net Additions to Stock

The parameter Net Additions to Stock (NAS) of the UGR can be reasonable interpreted as the growth in the anthropogenic stockpile of durable goods. Using data from the UGR it was possible to calculate the annual NAS of anthropogenic stock in the period 1960 to 2010.

In this period a total NAS of 42.3 b(illion) tonnes was determined for Germany's anthropogenic stockpile. This implies average growth of 829 m(illion) tonnes per year. For the year 2010 NAS was calculated at 820 m tonnes, which corresponds to a specific Net Additions to Stock for that year of 10 tonnes per resident.

Gaps in the base data in the long period of analysis are the origin of potential inaccuracies in estimations, as are differences in the way data is generated, e.g. the methods used in the calculation of goods combusted and the production of ash and slag. This limits the usefulness of NAS as an indicator of stock growth over the long term.

Quantitative estimates of input and output flows for 2010

Basic economic data of the UGR, supplemented by data on exports and data supplied by the Food and Agriculture Organisation (on the extraction of timber) allows us to quantify stockpile-relevant domestic extraction processes as well as flows of material imports and exports. As the import and export of waste materials are not captured in the named data sources, data from the monitoring agency for waste management (export, import and transit) is used instead. Analysis of waste management provides details on disposals into the natural environment, which include waste burned to generate electricity, waste used as backfill as well as waste that is thermally treated. The resulting ash and slag from these and other combustion processes create an additional input flow.

Using this data it is was possible to estimate an input material flow for 2010 at 757.2 m tonnes and an output flow at 227.8 m tonnes. This gives a growth in the material stockpile for 2010 of 529.4 m tonnes. This figure is around 40 % lower than the calculated NAS for that year (820 m tonnes). Likely sources of error behind this disparity are, in particular, the method of determining the NAS (adjustment items).

Domestic extraction constitutes the largest flow of material at 523 m tonnes. Imports and exports of raw materials, half-finished goods as well as building materials, capital goods and durable consumer goods, are much lower, at 185 m tonnes and 174 m tonnes respectively. Disposals into the natural environment and return flows (e.g. ash and slag) are of approximately the same size, contributing 4 % of input and 14 % of output.

Using the base data it is possible to draw a rough picture of the inflows and outflows of the anthropogenic stockpile. This picture can be rendered more precise by introducing waste management data to the material flows. Quantification of the main input and output flows according to the basic material groups is the most that we can achieve using this method. It is not possible using this method to make any further classification according to groups of goods.

Results of the differentiated analysis of material flows into and out of the stockpile as well as within the stockpile (Analysis Level 2)

The findings of Analysis Level 1 cannot be broken down according to groups of goods and also do not give any details on the internal dynamics of the material stockpile. This was the aim of the investigations at Analysis Level 2, which makes use of additional, more finely differentiated statistical data on manufacturing and exports as well as non-governmental data, e.g. from trade associations. The accompanying analysis of waste materials makes use of official statistics, supplemented and refined with the results of existing studies and other data sources.

Material flows of domestic production and exported goods

In order to transfer statistical data on production and export into the classification system of groups of goods, the data was classified into the following groups: capital goods, consumer goods and building materials (following the pattern adopted by European Statistics). The transformation of stocks of goods into material indicators was achieved in particular through use of the conversion factors of the "economy-wide MFA Questionnaire".

In some cases it proved difficult to classify data to the groups of goods and categories of materials. This undermined the validity of the resulting findings. The problem is particularly noticeable in relation to production data, so that here no clear picture of the details of the anthropogenic material stockpile can be drawn. This deficiency is not true for import and export flows, for which it was possible to differentiate between groups of goods. Classification problems were obviated by the fact that in addition to groups of goods, the import and export of raw materials and half-finished goods are handled separately.

Input flows to Germany's stock of goods

In order to mitigate the inherent limitations of the production statistics, the analysis was expanded to include data from trade associations. Data was sought in the form of "input flows to Germany's stock of goods", namely those flows which also increased the stock in the observation year. The validity of the gathered data was determined by comparison with other independent parameters and any disparities found were discussed. In fact, the validation process confirmed the usefulness of the data. The determined input flows therefore form the foundation for the modelling of flows into the stock-

pile of goods in Analysis Layer 2. Any errors can be attributed to the ignoring of secondary raw material flows, which however are captured by the analysis of waste.

Waste-related material flows

In total Germany exports more waste than it imports. In 2006 this export surplus was something in the region of 3 to 5 m tonnes per year. However, the picture is highly differentiated at the level of individual material groups.

The base data for the analysis of waste-related material flows in the material stockpile is borrowed from official statistics. The main aim is to gather details of the amounts of different kinds of waste as well as information on their processing at various waste disposal facilities and the material flows that result from the waste treatment. Some deficiencies in this data are: the sporadic availability and quality over the period of interest, the possibility that waste is double-counted, the specification of stock-relevant waste flows and non-relevant waste flows, as well as a lack of data consistency between the levels of the main waste groups of the European Waste Catalogue. Therefore, waste-related analysis is realized as a succession of analytic steps in order to determine stock-relevant flows of waste material.

Two separate flows must be distinguished within the stockpile of waste materials: storage processes at waste depots as well as the circulation of materials within the stock. Experts estimate that between 1975 and 2005 around 2.5 b tonnes of household waste was deposited in dumps throughout Germany; for 2010 the figure is about 16 m tonnes. This contrasts with the figure of 121 m tonnes of waste-related flows in the anthropogenic material stockpile.

Waste material flows into waste treatment and waste processing facilities. Their task is to identify and reprocess forms of waste that can be sensibly reused and for which there is a viable market, as well as to neutralize materials that could have a harmful impact on society and the environment.

In addition to waste treatment and reprocessing, it is also necessary to consider the waste flow into thermal treatment processes, such as waste incinerators and some power stations. Waste treated in such fashion is initially viewed as an output flow, i.e. material leaving the stockpile. Yet a share of this will be returned in the form of ash and slag, thereby creating an input flow. An estimate of the size of this output and input flow for 2010 is around 33 and 32 m tonnes, respectively.

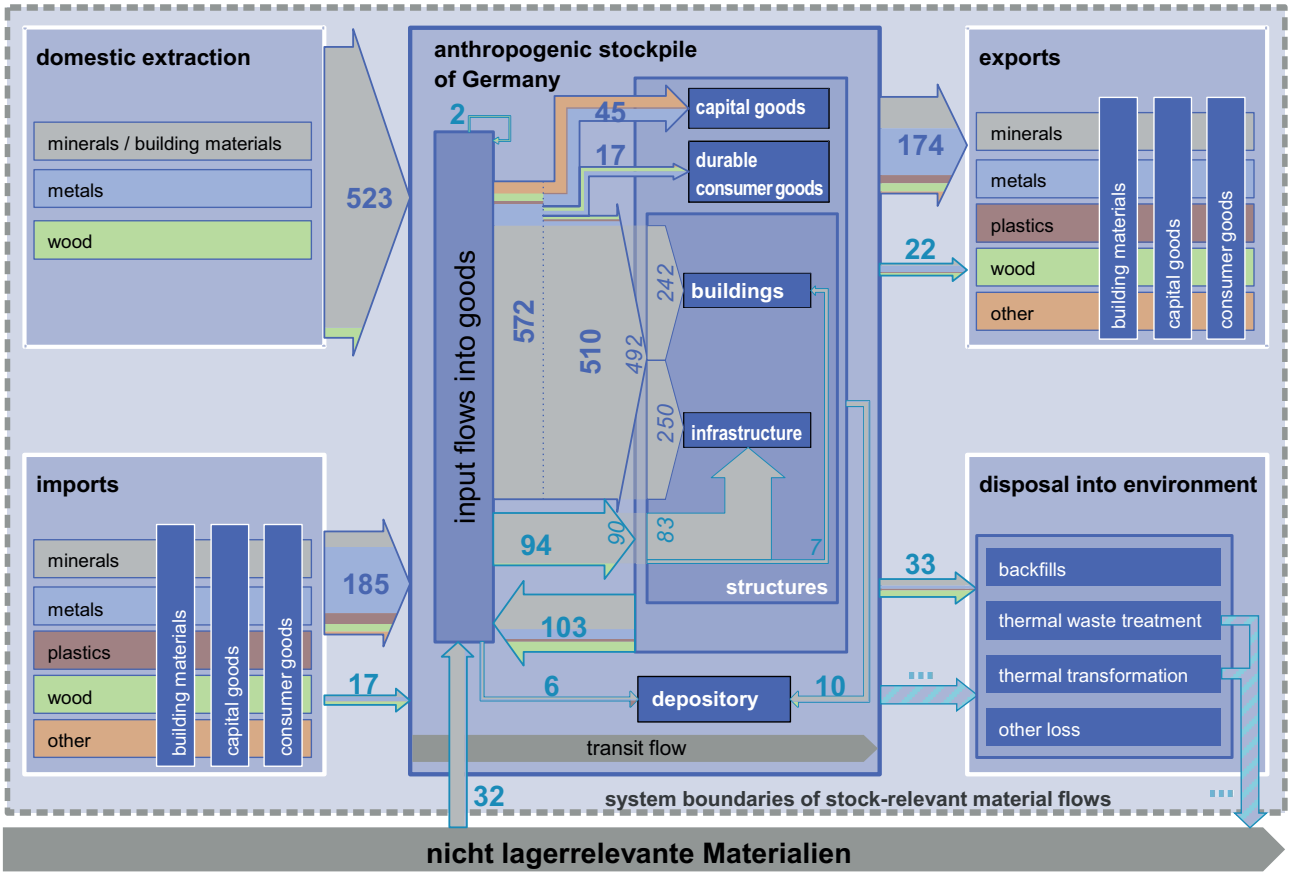
If we balance the waste-related material input and the storage of waste in dumps against the output streams, then more waste is retained that is destroyed, thereby contributing to growth in the anthropogenic material stockpile. In 2010 the figure for the amount of new waste held over the long-term in the stockpile was around 114 m tonnes.

Top-down analysis of material flows

The production-related input flow to the stock of goods is made up of the input flow into the stockpile (757 m tonnes) as well as the flows within the stock (105 m tonnes). The total input flow is therefore 860 m tonnes. This leaves a positive difference of 188 m tonnes, which can be interpreted as transit flow through the stock. This direct transit flow lies below the figure for the output flow (227.8 m tonnes + unquantified disposals to the natural environment).

In summary, the results show no obvious inconsistencies. However, there clearly exist disparities between Analysis Level 1 and Analysis Level 2 of the material flow model. It is impossible to increase the consistency of findings using the available base data.

Figure 1: Material flows in the anthropogenic stockpile - Layer 2 of the MMFM (2010), differentiated according to the main material groups [million tonnes]



Source: own illustration

Calculation of flows and stockpiles (bottom-up)

Bottom-up analyses were carried out to determine the distribution of materials in the following main goods and groups of goods

- Technical infrastructures
- Transport infrastructure (roads, track, domestic shipping, inland water transport, air transport including civil engineering structures and road features such as traffic lights, barriers, etc)
- Drinking water and wastewater infrastructure (pipes, facilities)
- Energy infrastructure (electricity and gas networks, district and local heating grids, power generation facilities)
- ICT infrastructure (data lines, switching centres, data centres and mobile phone facilities)
- Buildings
- Residential buildings (including sealed plot surfaces)
- Non-residential buildings
- Building services
- in residential buildings (heating systems and heat generators, heating and water supply pipe networks, wastewater pipes, radiators, sanitary fittings)
- in non-residential buildings (pipe networks)

- Durable goods
- Durable consumer goods (approx. 30 types: large household appliances, small kitchen devices, consumer electronics, telecommunication devices, computers, vehicles, clothing, jewellery)
- Durable capital goods (estimation of the material content of capital goods using IO analysis)

Technical infrastructure

Estimates of the material stockpiles and material flows within Germany's technical infrastructure are based on numerous sub-analyses. Specific material indicators (MI) were developed using literature evaluations and expert assessments for each type of material contained in the observed infrastructures. Suitable units were selected for each of these codes (e.g. m^2 road surface or MW power generation). In order to determine the mass of each material, the quantifiers of each infrastructural element were estimated and multiplied by the material indicators.

The same basic approach was adopted for estimates of material flows. However, in this case the data on MIs as well as on changes in the material stock is much more patchy; for this reason it was necessary to turn more frequently to expert estimates and values derived from theoretical models. For 2010 the material stockpiles and flows in the area of technical infrastructure were determined as follows:

Germany's existing transport infrastructure encompasses a material stockpile of around 9.4 b tonnes. While the absolute figure for non-mineral raw materials is higher than for other infrastructures systems at around 58 m tonnes, this is still merely 0.61 % of the total stockpile of raw materials contained within transport infrastructure. The estimate for annual consumption of material for new construction, expansion and renovation is 193 m tonnes. Of this figure, the amount of material for renewal and maintenance is estimated at 165 m tonnes, much greater than that for new construction or expansion (28 m tonnes).

The material stockpile within water and wastewater infrastructures is estimated at 2.29 b tonnes, of which 99 % is mineral-based raw materials. The annual material flows are calculated at 18.4 m tonnes. In contrast to transport infrastructure, the annual material flows within water and wastewater infrastructure are dominated by new construction (17.1 m tonnes). This is due to the expansion of the sewer and drainage network, and the high demand for sand as pipeline bedding. Regarding maintenance, it is assumed that sand for bedding can be reused when pipelines are replaced, and the pipes can be relined rather than replaced.

The material stockpile within infrastructure for energy distribution or generation is estimated at 830 m tonnes. Of this figure, mineral-based raw materials make 771 m tonnes, which is 93 % of the total. Mineral-based raw materials are primarily sand/gravel at 673 m tonnes and concrete at 95 m tonnes, all of which are primarily used for the bedding of pipes and cables. 74 % of concrete is stored in power generation facilities, with the remaining 26 % in distribution networks, mostly in the masts and foundations of overhead lines. There is also a significant stockpile of metallic raw materials, estimated at 45 m tonnes. Annual demand for new material for construction and maintenance is 21 m tonnes. Particularly striking is the high ratio of non-mineral materials, largely plastics and metals, at over 17 %.

The material stock of ICT infrastructure is estimated at a total of 1.93 m tonnes, largely metals and plastics. Of this figure, landline infrastructure contributes 1.69 m tonnes while data centres and mobile phone facilities make up 120,000 tonnes respectively. No annual material flows could be estimated due to the lack of base data.

Building stock

The building stock can be divided into residential buildings (RB) and non-residential buildings (NRB). These two sub-groups differ in terms of the degree of heterogeneity and the availability of data, so that diverse analytical methods and procedures were adopted for each case. The method to estimate material stocks and flows is basically the same as that for infrastructure: Determination of MIs and multiplication with data on stock and data on changes to the stock.

Official data is available on the stock of RBs. Based on data from 2010, the total floor area was estimated at 3.57 billion m^2. The determination of material stocks and flows for RBs was assisted by the availability of suitable building typologies as well as studies on typical forms of construction.

There exists no statistical data on the stock of NRBs. Data was generated by a newly developed model using as base data the gross fixed assets of structures as indicated in the national accounts system (VGR) and other sources. For 2010 the estimate of the total floor space of non-residential buildings in Germany was approximately 3 billion m^2. This estimation made use of existing MIs determined on the basis of assessments of the BKI *(Building Costs Information Centre*) object data bank.

The material stockpile in RBs is calculated at between 8.4 and 9.3 b tonnes; for NRBs the figure is 6.7 b tonnes. This mass is primarily mineral-based building materials. The share of other materials (especially metals, plastics and wood) is 13 % for NRBs, roughly double that of RBs (5 % to 7 %).

In order to investigate material flows the MIs were linked to statistically determined inflow and outflow values. Estimates were also made regarding renovation work. A material input for new construction and renovation in 2010 was estimated at 53 m tonnes for RBs and 67 m tonnes for NRBs. The output for RBs is 20 m tonnes and for NRBs 23 m tonnes. Both building subgroups are currently undergoing a period of additional growth.

It is necessary to point out current gaps in the base data. For example, small outbuildings are not included in the calculated material masses. The same is true of excavated soil and small structures such as walls or railings that indicate plot boundaries.

Building services

Building services encompass all technical apparatus of residential buildings, non-residential buildings as well as infrastructural buildings. In this project the latter objects are classified to infrastructure. Similarly, production facilities are not classified as belonging to technical apparatus but rather to capital goods. The group of goods specified as “building services” is here restricted to the services of residential and non-residential buildings. This encompasses heating systems, supply pipes for heating systems, radiators, drinking water and wastewater pipes as well as some sanitary fittings. These are, however, only considered for residential buildings. Due to gaps in the base data and a lack of usable models, the estimation of material mass in building services in non-residential buildings is restricted to the supply and waste disposal pipe networks.

The MIs employed to determine material mass within building services are primarily based on evaluations of manufacturers’ specifications. The computational factors used in calculations basically correspond to those for buildings, namely m^2 living space or m^2 usable floor area. In addition, characteristic values for building services were determined with the help of specific modelling approaches (e.g. m heating pipes per m^2 living space). These characteristic values were developed using design guidelines for technical services, especially technical specifications (e.g. heat output) or norms for building services (sanitary equipment).

The material mass of building services within the residential building stock is estimated at 16.5 m tonnes. This corresponds to a small fraction of the total mass contained within buildings. However, as building services are primarily made of metals and plastics, this mass has particular importance

for material recycling. The input flow for 2010 was determined at slightly over 0.5 m tonnes, while the output was 0.65 m tonnes. In contrast to the materials used for building construction, here material input is below the output flow. The reason for this is the increasing use of plastics instead of metals, as well as improvements in material efficiency.

In non-residential buildings a material mass of 4.5 m tonnes was determined (only pipe networks). Material flows are 0.08 m tonnes (input) and 0.05 m tonnes (output). The input surplus can be explained by the fact that the substitution of plastic for metal is less pronounced in the building services of non-residential buildings.

The problem of the incomplete goods basket also impacts the area of building services. However, it can be assumed that the majority of material masses and flows in building services is captured by means of the selected base data. The rather sweeping assumptions made in connection with the data model introduce, of course, a degree of modelling uncertainty. Therefore the calculated values serve more as a basic orientation of the size of masses and flows.

Durable consumer goods

Estimation of the annual consumption of raw materials for durable consumer goods is made on the basis of life cycle data for around 30 durable household goods. Life cycle data inventories (e.g. the bill of materials for a refrigerator) are multiplied by the annual total of domestically produced and net imported goods in Germany. In general, only one bill of materials is available for a specific product of one category of goods, which serves as a standard for the entire product group.

The estimate of the material mass is realized by two methods: For statistically captured household goods (Income and Consumption Survey, ICS), an estimate of the material mass can be realized by considering the number of households and the provision of household goods. These are particularly household appliances (white goods), consumer electronics, transport items as well as telecommunication devices. For household goods that are not captured in the ICS, estimates of material mass were based on the products' useful life and assumptions of the annual total sales. Such methods were adopted to capture in particular the material mass of small domestic appliances such as toasters or coffee machines.

The total material mass of the selected durable household goods was estimated at 69 m tonnes. Almost 60 % of this consisted of metallic raw materials. The mass of plastic materials, while highly diverse, is dominated by polypropylene. In addition there are a number of "other materials".

In order to calculate annual flows, estimates were made of the sales and useful lifetime of products. Source data here were production statistics, export statistics as well as currently available data from a representative survey on the useful lifetime of selected goods, carried out on behalf of the Federal Environmental Agency. For 2010 input flows of 4.6 m tonnes were determined for the selected goods basket. The output flow was 7.5 m tonnes. This implies that the material mass of durable goods is decreasing. A feasible explanation for this could be changes in the material composition of goods (from CRT displays to flat screens). It should, however, be pointed out that the figures presented here are rather tentative in view of the comparatively sketchy base data and the rough estimates of input and output flows.

Durable capital goods

Currently there is no available base data on durable capital goods (investment goods) upon which to carry out a bottom-up analysis of material masses and flows. We possess neither data on the physical stock of goods nor a typology of investment goods. Therefore an alternative approach was adopted here, in which a subgroup of investment goods was defined that excludes buildings and infrastructures. This corresponds to the category of final usage for "Investments in equipment and other facili-

ties" as defined by the "Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung" (VGR) *(German national accounts*). Data on annual changes in the volume of investments in capital goods can be taken from financial input-output tables (IOT) and investment statistics of the Federal Statistical Office "Destatis". This dataset constitutes the financial counterpart to the annual net material flow.

The mass estimates were realized on the basis of an IOT (expanded to take account of the sectoral material input) and an attribution model based on IO principles. This enabled calculation of the material flows in an iterative process up to the final usage. In a further step the estimated material mass was combined with the corresponding financial flow values in order to determine a physical-financial ratio (the material intensity) for every product group. These represent the material-specific intensities of the observed groups of investment goods, serving as reference values for the calculation of the total material demand for the respective group. This estimate is realized by combining the material intensities from the annual IOTs with financial data regarding the total capital value of equipment and facilities from the VGR.

By making use of the most recent available data on intensities of specific raw materials (from the year 2005), the material mass in stockpile-relevant capital goods can be estimated at 255 m tonnes. This figure can be subdivided into 133.19 m tonnes of mineral-based material, 94.33 m tonnes of metallic material, 18.05 m tonnes of wood and 9.42 m tonnes of other materials. Total material flows of 19 m tonnes could be determined for 2005.

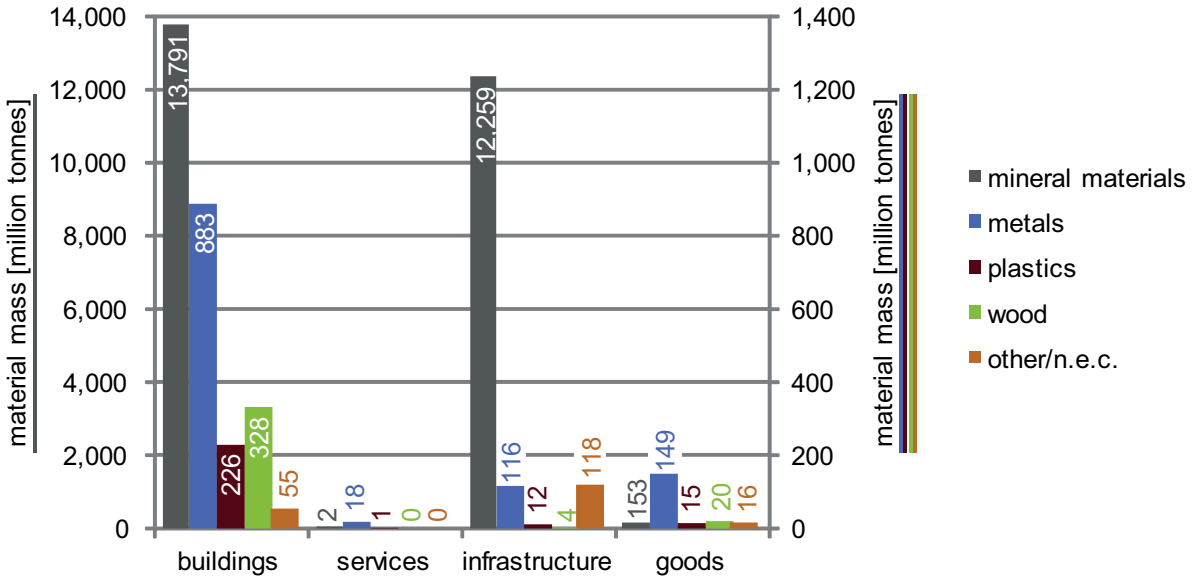
One interesting finding is the obvious drop in material intensity over the years investigated (1995, 2000, 2005). However, it should be pointed out that the underlying base data and the methods used to achieve this finding have not been fully validated. The methods used for calculation are prone to error. Furthermore, the assumption that product groups are homogenous is an over-simplification.

Material stockpile bottom-up

The total material stockpile for all investigated groups of durable goods is estimated at 28 b tonnes. According to the modelling methods adopted here, this can be broken down into 93 % mineral-based materials, 4.1 % metals, 1.3 % wood and 0.9 % plastics. 0.7 % of the total mass could not be assigned to any material group.

The largest part can be attributed to the building sector, which accounts for 27.8 b tonnes. Material mass from building services as well as consumer and capital goods totals 373 m tonnes, which is less than 2 % of the former figure. While mineral-based materials dominate in buildings, metals form the largest material mass in other groups of goods. These are, alongside ferrous metals, non-ferrous metals such as copper and aluminium.

Figure 2: Material stockpiles classified by main material groups for the year 2010



Source: own illustration

Waste management parameters to model aspects of recycling

Various parameters were defined in order to model recycling processes:

- Consumed mass of secondary raw materials: the estimated absolute mass of secondary raw materials consumed in a year [t];
- Level of consumption of secondary raw materials: Ratio between the mass of consumed secondary raw materials and the available mass of secondary raw materials [%];
- Recycling ratio: Ratio of consumed mass of secondary raw material and total input mass (primary and secondary raw materials) [%].

In order to quantify these parameters it is necessary to carry out numerous separate investigations. Often it is impossible to determine output flows for specific groups of goods. On the input side, however, it is possible to make good estimates of secondary material flows for specific groups. Data on the ratio of recycled materials used in producing goods is extremely patchy.

Exemplary calculations were undertaken to determine the above named parameters in relation to the building sector. Around 30 different secondary input materials were noted, which have their origin in diverse levels of material flow in the waste industry.

The mass of secondary raw materials flowing into the building sector in 2010 was estimated at 12.3 m tonnes. Thus 8 % of the total flow of secondary raw materials (determined by Level 1 and 2 at 153 m tonnes) is consumed by the building sector. The recycling ratio for buildings is 10 %.

The recycling industry primarily alters the length of time that materials remain in the anthropogenic material stockpile. In the time period under consideration, recycling materials had a positive effect on the material balance of the stockpile. They help to reduce the outflow of materials as well as the inflows of primary materials.

The actual reduction effects on input flows (particularly flows from extraction) into the anthropogenic stock by the employment of secondary materials cannot be conclusively determined from data on recycled materials. The mass of consumed secondary materials is not necessarily identical to the

mass of substituted primary materials. It is frequently the case that the mass of substituted materials is much higher, when, for example, raw materials for the processing of primary raw materials are substituted. However, such considerations belong to a wholly separate field of research and are not the object of this current study.

Synthesis of approaches

To realize a synthesis of methods, results were compared from the individual analysis levels. This served to reveal and examine disparities, thereby qualifying results and providing an orientation for the interpretation of values.

Input and output flows from the top-down approach were compared with flows from the bottom-up approach were also opposed. Further, input and output flows within the analysis levels. Groups of goods and materials were compared as far as possible. The focus was on flows for which findings could be generated at all levels.

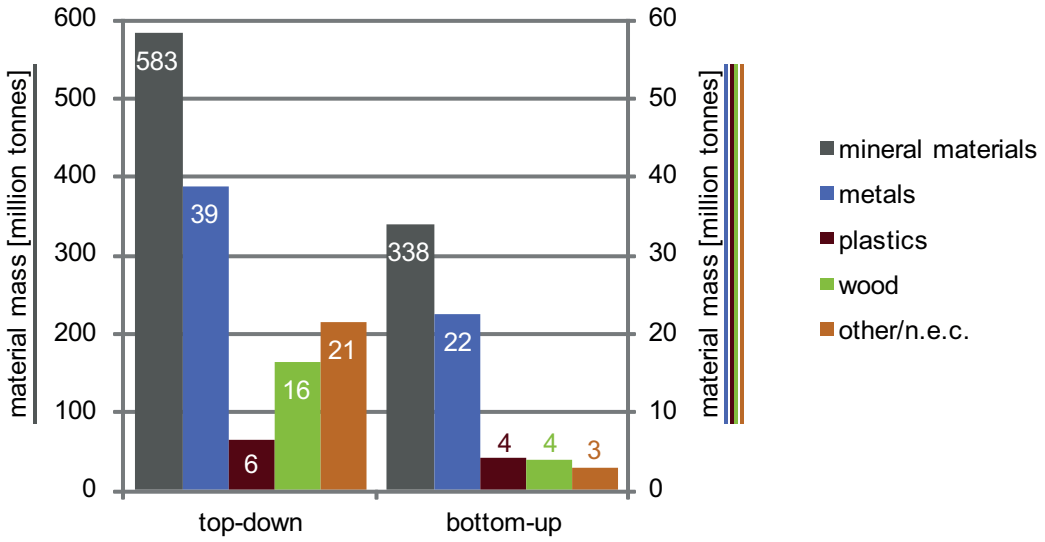
Comparison of input flows

A comparison of summed input flows from Analysis Level 2 (top-down) and Level 3 (bottom-up) shows that much higher flows were estimated using the first approach. The total input flow determined using the bottom-up approach was only 56 % of that determined using top-down analysis. This tendency was apparent in all material groups as well as groups of goods.

A more complicated picture was revealed when examining material flows individually. Standard correction factors cannot be applied, because disparities can be both positive and negative. It cannot therefore always be assumed that top-down values form the upper boundary of results.

These disparities can be explained in various ways: gaps in the observed mass of goods, insufficient consideration of secondary material flows as well as discrepancies in the assignment of individual goods to groups of goods within the various data sources.

Figure 3: Comparison of top-down and bottom-up input flows for durable goods (excluding capital goods) according to main material groups



Source: own illustration

Comparison of output flows

The comparison of top-down/bottom-up output flows can be achieved by considering the results of Analysis Levels 2 and 3, as here corresponding findings are available. Looking at the main material groups we discover considerable disparities. The causes of these opposing tendencies are partly the same as those observed for the input data. A further effect is that waste-related statistics only recognize material flows that accord with the legal definition of waste material. Output flows that do not conform to this definition are therefore not captured, and are excluded from the corresponding top-down analysis.

Comparison of inputs and outputs

The input and output flows at the individual levels offer a plausible picture of growth in the material stock.

For mineral-based materials the calculated output is only 60 % of the input, while for metals the figure is 64 %. These results should, however, not be too hastily interpreted in view of a potential underestimation of output, particularly in the mineral- and metal-dominated building sector. In the case of plastics and wood, the estimated values for input and output were practically identical. This could be an indication of the low dynamic within these stocks.

At the level of groups of goods, input-output disparities are determined in both directions. In the building sector there are large positive input-output disparities, whereas in the material groups encompassing building services and consumer goods the input-output differences are negative. These decreasing material stocks can be attributed at least in part to an increase in resource efficiency in the production of facilities (material-saving building services) and appliances (flat screens instead of CRT displays). Here it seems worth undertaking further research, particularly in view of the methodological uncertainties regarding the systemic limits of the goods baskets and likely discrepancies in the definition of groups of goods.

No closer analysis is possible for capital goods due to the deficient underlying data.

Data gathering and updating to capture dynamic processes

Long-term monitoring of the anthropogenic stock can be realized by continuously updating data to reflect changes in material masses. This process can be supported by standardized methods of data gathering and processing. The following conceptual aspects are proposed for such methods:

Qualifying data

The comparison of results of the top-down and bottom-up analytic methods for groups of materials and goods has indicated the existence of discrepancies in both directions. Thus, it is not always true that the top-down values form an upper boundary.

In those cases where possible (e.g. mineral-based materials), an additional quantification of the bottom-up approach should be carried out (in some cases this has already been performed). Furthermore, the application of standard factors has to be discussed under consideration of the knowledge gained by synthesizing the two approaches.

Such an approach is generally impossible in those cases where the top-down value is lower than the value determined by the bottom-up method (e.g. steel in the building sector). In these cases the remaining gaps should be pointed out.

A particularly difficult situation is where the top-down value is higher than the bottom-up value, but the former contains unquantifiable double counting. In this case it would be wrong to simply align

the bottom-up value with the higher top-down value. The actual size of the gap is unknown. Here the safe alternative is to use the bottom-up value along with an additional rough estimate of the lower boundary value. Other forms of data qualification (e.g. determination of a spread of values) remain to be discussed.

The material dynamic in the anthropogenic stock

A standard method to describe the stock dynamic is the retention time, i.e. the period in which the goods remain in the stockpile. There exist a range of approaches for the observed groups of goods. Statistical inflow and outflow rates are used for residential and non-residential buildings. The presumed useful working life is taken as the basis for the determination of the rates of renovation of buildings and building services.

Upgrading and maintenance cycles of technical infrastructures are determined by the useful lifetimes of appliances. These can differ substantially from the real upgrading and maintenance cycles. It is important to consider the age structure, especially in the case of young infrastructure sectors with a comparatively high annual growth. Here the estimation of the renewal rate cannot be merely based on the annual write-off of goods, as the demand for renewal for growth in goods only occurs at the end of their useful lifetimes. In regard to the data gathering concept, it is important that a realistic classification according to age is attempted in the field of renewable energies.

For durable consumer goods that are recorded by the Income and Consumption Survey (IVS), retention time can be determined from the data on changes to the stock. For small household devices with a relatively short useful lifetime of, say, 3 years in the case of toasters or coffee machines, this is taken to be retention time.

At the end of the retention time the goods are available for recycling. Some fraction of goods leaves the stock as output. Waste economy analytical methods can be used to quantify the respective material flows.

Data quality, updating and availability

The concept for evaluating data quality encompasses four assessment criteria, complemented by a simple traffic-light rating system. Together these provide a basis for designing the various steps of data processing, updating and interpretation. The data gathered as part of this study was evaluated in this way. The following aspects of data quality were considered:

- reliability (type of source/data basis)
- time representativeness (relation to reference year)
- geographical representativeness (geographic relation of the data to the area of observation, here Germany)
- technological representativeness (evaluated datasets, on the basis of which relevant material indicators can be developed)

Documentation and data gathering concept

As part of the data gathering concept, the data for the reference year 2010 was electronically processed in tabular form. In order to permit the potential transfer of study findings into a software-supported analytical tool, a systematic structuring was determined for the tables resulting from the bottom-up analyses, so as to create the basis for implementation in a software tool. The processing was carried out on top-down and bottom-up data. In the latter case, the main groups (buildings, building services, infrastructure and durable consumer goods) were processed separately.

For each main group of goods there is:

- A basic table with specific definitions of the underlying reference indicators for goods (e.g. m^2 living space, 1,000 km road length). These definitions contain the absolute set values for stock, input and output in the reference year 2010, along with an assessment of data quality.
- A table with the material indicators taken as reference units (subdivided according to goods and material groups) as well as an assessment of data quality.
- Three results tables for the absolute masses of the stocks, the input flows and output flows for the reference year, classified according to type of good and material group. These absolute masses are determined from the material indicators and the values for material mass.

The determined stock of goods for the reference year 2010 is designated as the *status quo*, i.e. the base data for future updating of the stock model. The stock fluctuation can be captured for the individual groups of goods using the flow datasets generated every year or at longer intervals. The analytical methods developed here can be applied to the relevant group of goods.

Regarding the frequency of model updating and the achievable level of data quality, it is important to distinguish between the reference indicators (set indicators) and the material indicators. The reference indicators form the basis upon which material flows are quantified. The material indicators reflect technological developments. Data availability and data quality is invariably higher in the case of set indicators than material indicators.

Some official statistical data is available to determine set indicators. This is true for buildings, building services, some forms of infrastructure as well as consumer goods. Data on residential buildings can be updated on an annual basis using official data sets. Consumer goods are captured by the Income and Consumption Survey, with which the set of stock can be calibrated every 5 years. In other cases non-governmental data must be used.

Generally the material indictors are more or less derived from complex data analysis as well as computation models of the individual subsystems. The validity of the material indicators, particularly in the case of input mass, depends on the innovation dynamic in the respective sector of goods. Before every updating cycle it is therefore necessary to detect and assess the current state of innovation development, so as to determine whether the material indicators or the underlying goods basket have to be adapted.

1 Einführung

Der effiziente und schonende Umgang mit natürlichen Ressourcen ist eine der größten wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Herausforderungen unserer Zeit und findet auf nationalen und internationalen politischen Agenden zunehmend Resonanz. Die europäischen Aktivitäten mündeten 2011 in einen Fahrplan zur Umsetzung der Leitinitiative „Ressourcenschonendes Europa“, und die Bundesregierung hat mit der Verabschiedung von „ProgRess“ ein eigenes Ressourceneffizienzprogramm aufgelegt. Zentrales Ziel hierbei ist es, den Verbrauch an natürlichen Ressourcen und die damit verbundenen Umweltbelastungen zu reduzieren und somit Wohlstand und Entwicklungsmöglichkeiten zu sichern. Unter dem Primat der Ressourcenschonung gilt es, auch die Möglichkeiten der Kreislaufführung von Stoffen zu verbessern.

Die Bundesrepublik Deutschland ist bis auf wenige Ausnahmen, wie Steine und Erden-Rohstoffen, in vielen Bereichen zur Deckung seines Wirtschaftsbedarfes von Rohstoffimporten abhängig, hat aber 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. Im Anthropogenen Materiallager verbirgt sich ein wertvolles Sekundärrohstoffreservoir, das einen wichtigen Beitrag zur Sicherung der Lebensgrundlagen zukünftiger Generationen leisten und weitere Umweltauswirkungen reduzieren kann. Es ist als Kapitalstock der Zukunft zu begreifen, den es systematisch zu bewirtschaften gilt.

In der überwiegend Input-dominierten Ressourceneffizienzdiskussion findet dieser Kapitalstock bislang nur wenig Beachtung. Eine Ursache hierfür ist das unzureichende Wissen hinsichtlich des bestehenden Anthropogenen Materiallagers und dessen Veränderungsdynamik. Zwar liegen zahlreiche Einzelstudien vor, die stoffgruppenbezogene, produktbezogene oder sektoral eingegrenzte Aussagen zu Lagerbeständen und deren Entwicklung treffen, eine systematische Zusammenführung dieses Wissens wurde bislang jedoch nicht vorgenommen. Dies stellt eine wichtige Voraussetzung einer systematischen Bewirtschaftung des Anthropogenen Rohstofflagers dar.

Das vom Umweltbundesamt initiierte und geförderte Vorhaben „Kartierung des Anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft“ knüpft hier an. Es soll dazu beitragen, die Wissensbasis zur Beschaffenheit und Dynamik des Lagers deutlich zu erweitern. Der vorliegende Abschlussbericht fasst das methodische Vorgehen, die zugrunde gelegten Quellen sowie die gewonnenen Ergebnisse aus diesem Vorhaben zusammen.

2 Ziele und Methodik

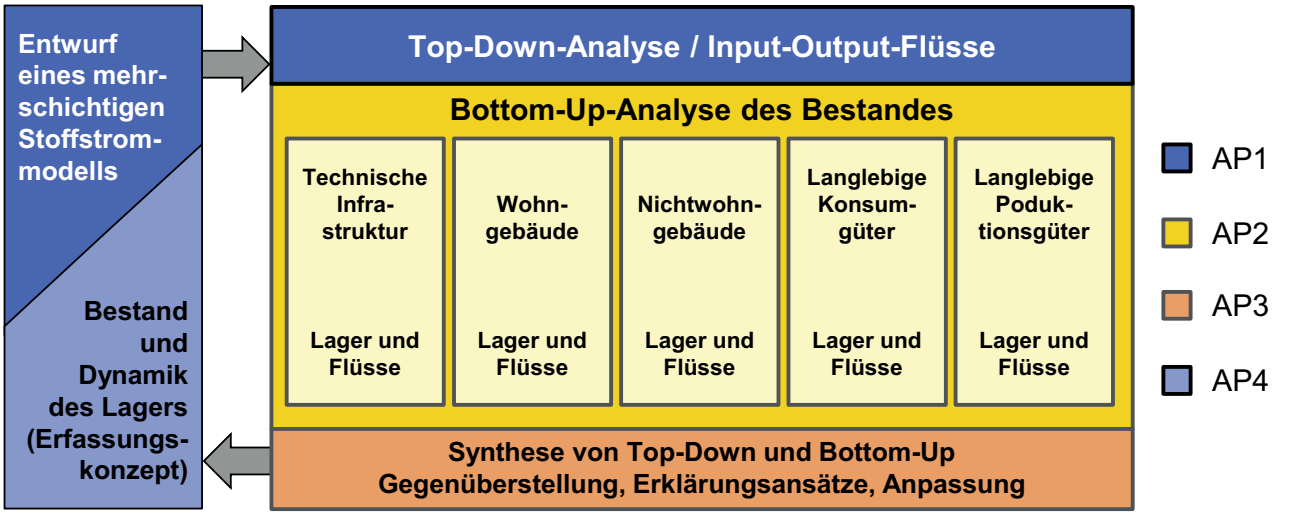
Ziel des Vorhabens ist es, Grundlagen für den Aufbau eines fortschreibbaren Datenbankmodells des Anthropogenen Rohstofflagers zu erarbeiten, um damit Sekundärrohstoffpotenziale aus langlebigen Gütern und Bauwerken zu ermitteln. Dies umfasst insbesondere:

- die Einschätzung der Größe und Zusammensetzung des derzeitigen Anthropogenen Rohstofflagers von Gebäuden, Infrastrukturen und ausgewählten langlebigen Gütern in Deutschland sowie
- die Analyse von Datenquellen und Kenngrößen, anhand derer sich die Dynamik der Veränderung des Anthropogenen Lagers beschreiben lässt.
- Betrachtet werden lagerrelevante Materialflüsse und Materiallager langlebiger Güter der Bundesrepublik Deutschland:
- Bauwerke Hochbau (Wohnen und Nichtwohnen),
- Bauwerke technische Infrastrukturen,
- Kapitalgüter,
- langlebige Konsumgüter.
- Dabei werden zwei methodische Ansätze verfolgt und kombiniert:
- Top-Down-Analyse unter Nutzung von gesamtökonomischen Daten der Umweltökonomischen Gesamtrechnung sowie Daten der Produktionsstatistik und anderen Quellen;
- Bottom-Up-Analyse, die, ausgehend von definierten Gütergruppen, mit Hilfe von Materialkoeffizienten Hochrechnungen vornimmt.
- Sie werden jeweils um Analysen zu Sekundärmaterialströmen ergänzt.

Beide Ansätze zeigen Stärken und Schwächen. So sind Top-Down-Daten umfassend, beschränken sich aber auf Flüsse, machen keine direkten Aussagen zu Lagerbeständen und zeigen Grenzen in der inhaltlichen Auflösung. Bottom-Up-Daten bieten hier mehr Freiheitsgrade, erlauben fluss- und lagerbezogene Aussagen, beschränken sich aber jeweils auf den betrachteten Ausschnitt und sind somit unvollständig. Mit der Zusammenführung wird versucht, die jeweiligen Stärken der Ansätze für den Erkenntnisgewinn zu nutzen und die Sicherheit der Aussagen zum Anthropogenen Lager zu verbessern. Im Rahmen einer integrierten Analyse erfolgt eine materialgruppen- und gütergruppenspezifische Gegenüberstellung der Ergebnisse beider Analysemethoden. Dabei werden Abweichungen verdeutlicht und Erklärungsmuster für auftretende Differenzen entwickelt, um beide Ansätze weiter zu qualifizieren.

Die beiden methodischen Ansätze und deren Zusammenführung spiegeln sich in der Struktur des Projektes, welches sich in vier Arbeitspakete (AP) gliedert, sowie in der Struktur des vorliegenden Berichtes wider (Abbildung 1).

Abbildung 1: Struktur des Vorhabens differenziert nach Arbeitspaketen (AP)



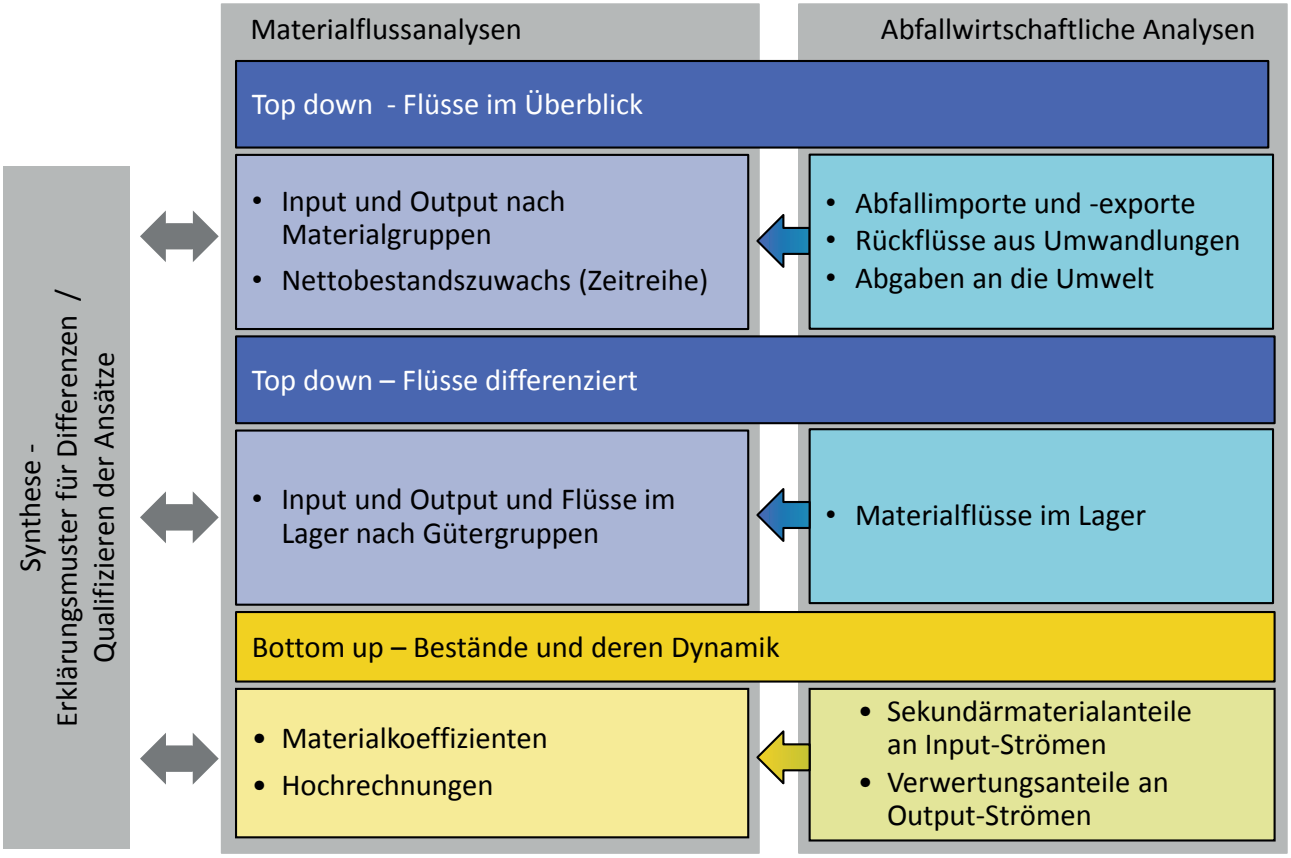
Quelle: eigene Darstellung

3 Mehrschichtiges Stoffstrommodell als Analyserahmen

Der Rahmen für die Analysen wird durch ein mehrschichtiges Stoffflussmodell gebildet (MSM). Es dient der systematischen Analyse und Darstellung der Materialflüsse in und aus dem Anthropogenen Lager sowie des Verbleibs der Materialien im Lager. Als Basisjahr wurde das Jahr 2010 festgelegt. Hierfür lagen statistische Daten in ausreichender Qualität und Quantität vor, und es war zugleich noch eine hinreichende Zeitnähe zum Zeitraum der Durchführung der Erhebungen und Analysen (2013) gegeben.

Der Aufbau des Modells erfolgt in drei Analyseschichten (Abbildung 2). In den drei Analyseschichten wird auf unterschiedliche Daten und Methoden zurückgriffen. Damit lassen sich jeweils spezifische Aussagen generieren, welche herangezogen werden, um Fluss- und Lagergrößen des Anthropogenen Stofflagers in der Zusammenführung möglichst umfassen beschreiben.

Abbildung 2: Schichten und angelagerte Analysemodule des mehrschichtigen Stoffstrommodells



Quelle: eigene Darstellung

Ausgehend von umfassenden, zeitlich weit zurückreichenden, aber inhaltlich wenig differenzierten Daten zu gesamtwirtschaftlichen und Massenströmen in und aus dem Anthropogenen Lager spannt sich der Bogen über differenziertere Top-Down-Analysen unter Einbeziehung von Produktions- und Verbandsdaten bis hin zu produktbezogenen Hochrechnungen.

Im Einzelnen bieten die Analysen in den gebildeten Analyseschichten grundsätzlich folgende Möglichkeiten der Beschreibung des Anthropogenen Stofflagers und dessen Dynamik:

- Schicht 1 des MSM gibt einen Überblick über die relevanten Flüsse in und aus dem Anthropogenen Lager. Die Systemgrenzen des Anthropogenen Stofflagers werden definiert sowie die

relevanten Flussgrößen beschrieben, die zur Veränderung des Lagers beitragen. Die in dieser Analyseschicht durchgeführten Analysen gehen von ökonomieweiten Materialflussdaten aus. Unter Verwendung volkswirtschaftlicher Daten der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) sowie der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) werden kumulierte Materialströme abgebildet, die eine erste Eingrenzung der Quantitäten von Materialströmen erlauben und als Obergrenzen für die jeweiligen Ströme gewertet werden können. Damit bieten sie Anhaltspunkte für die Validierung der in den Schichten 2 und 3 ermittelten Größen. Darüber hinaus können unter Beachtung weit zurückreichender Zeitreihen der herangezogenen gesamtwirtschaftlichen Input- und Output- Materialflussdaten auch Aussagen zum Nettobestandszuwachs und damit indirekt lagerbestandsbezogene Aussagen getroffen werden.

- Schicht 2 des MSM bietet die Möglichkeit, Inputflüsse sowie Outputflüsse des Lagers differenziert nach Material- und Gütergruppen abzubilden und mit den angelagerten abfallwirtschaftlichen Analysen auch Materialflüsse im Lager mit in die Betrachtung zu integrieren. Entsprechend der Schicht 1 folgt auch diese zweite Analyseschicht einer Top-Down-Systematik. Es wurden aber volkswirtschaftliche Daten sowie Verbandsdaten verwendet, die weit über UGR/VGR hinausgehen. Maßgabe der angestrebten Differenzierung dieser Analyseschicht war, eine Gegenüberstellung und Zusammenführung der Analysen der Schichten 2 und 3 zu ermöglichen.

- Schicht 3 des MSM folgt einer Bottom-Up-Logik. Innerhalb der unterschiedenen Gütergruppen werden u. a. Materialkoeffizienten erarbeitet, die mit Güterbestandsdaten verknüpft werden, um so über Hochrechnungen zu Aussagen zum Materiallager zu gelangen. Nach demselben Vorgehen werden Materialflüsse berechnet.

In den Analyseschichten werden jeweils Materialflussanalysen und abfallwirtschaftliche Analysen durchgeführt und kombiniert.

Durch Bereitstellen von geeigneten Andockstellen wurde die Anschlussfähigkeit der Analysen auf den unterschiedenen Analyseschichten angestrebt. Dadurch wird es möglich, in der Synthese der kombinierten Ansätze diese jeweils weiter zu qualifizieren und zugleich Grenzen der Abbildbarkeit und Lücken aufzuzeigen.

In den nachfolgenden Abschnitten folgen weitere Erläuterungen zum Umfang sowie zur grundsätzlichen Ausrichtung der Analysen auf den gebildeten Analyseschichten.

3.1 Schicht 1: Definition der Systemgrenzen, umfassende Abbildung gesamtwirtschaftlicher Materialflüsse und des Nettobestandszuwachses

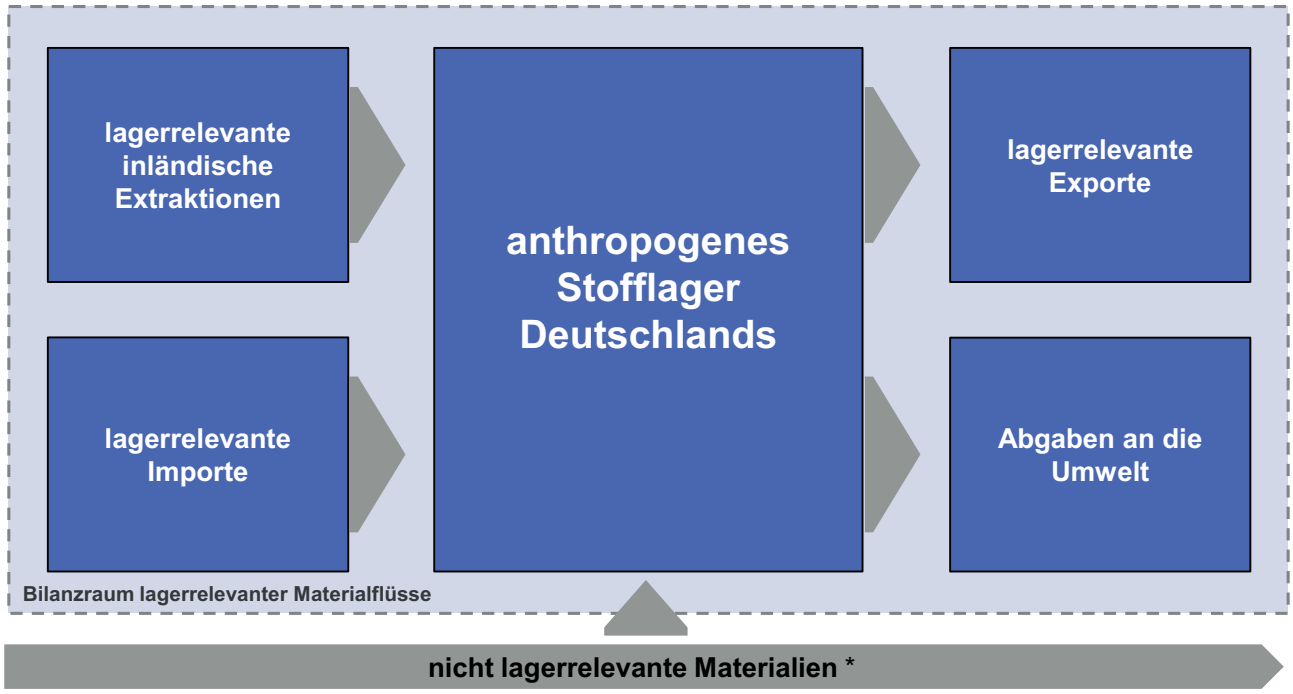
Die definitorische Abgrenzung des Anthropogenen Lagers erfolgt in enger Anlehnung an das „ökonomische System“ nach dem Verständnis der ökonomieübergreifenden Betrachtungen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) bzw. der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR).

Als Bezugsraum wird das Hoheitsgebiet Deutschlands zugrunde gelegt. Analysegegenstand ist damit das Anthropogene Stofflager Deutschlands.

Vier Hauptströme an Materialien und Güter[3] beeinflussen die Höhe und Zusammensetzung dieses Lagers:

- inländische Extraktionen,
- Importe nach Deutschland,
- Exporte ins Ausland sowie
- inländische Abgaben an die Umwelt (Abbildung 3).

Abbildung 3: Schematische Darstellung der ersten Schicht des MSM (Top-Down)



* Abraum, Bodenaushub, nicht stofflich verwendete Energieträger, Nahrungsmittel, Exporte inländischer Extraktionen, direkte Transitflüsse

Quelle: eigene Darstellung

Abweichend zum Verständnis von UGR und VGR werden innerhalb dieser Ströme nur solche Materialien und Güter als Input- und Outputströme des Anthropogenen Lagers betrachtet, die im Rahmen wirtschaftlicher Aktivitäten zu Veränderungen der Größe und Zusammensetzung des Anthropogenen Lagers führen. Diese werden als „lagerrelevant" bezeichnet. Nicht lagerrelevant sind sog. Durchflussgrößen.

Ein wichtiges Kriterium für die Bestimmung der Lagerrelevanz von Gütern ist deren Lebensdauer, bzw. die Verweildauer der Materialien in Gütern. Langlebige Güter werden als lagerrelevant angesehen, kurzlebige Güter mit Lebensdauern unter einem Jahr dagegen als Durchflussgrößen, die nicht ins Lager eingehen.

Demnach werden nachfolgend genannte Hauptmaterialströme unterschieden, die Höhe und Zusammensetzung des Anthropogenen Stofflagers beeinflussen (s. auch Abbildung 3): Auf der Inputseite sind dies:

[3] Für die Definition zentraler Begriffe, die nach Abstimmung aller beteiligten Projektpartner als einheitliches Vokabular im Rahmen des Projektes verwendet werden, wird auf Abschnitt 10 „Glossar" verwiesen.

- lagerrelevante inländische Extraktionen (z. B. aus Kiesgruben in Deutschland entnommene Kiese als Betonzuschläge) sowie
- lagerrelevante Importe aus dem Ausland, welche Eingang in das Anthropogene Stofflager Deutschlands finden (z. B. hochwertige Eisenerze aus dem Ausland für die deutsche Stahlindustrie).

Auf der Output-Seite des Anthropogenen Stofflagers stehen lagerrelevante Exporte in das Ausland, also Materialien und Güter, die planmäßig das Lager Deutschlands verlassen, sowie Abgaben an die Umwelt. Diese umfassen u. a. "verwertete inländische Abgaben" gemäß UGR, worunter Luftemissionen, Emissionen im Abwasser, dissipativer Gebrauch von Produkten, dissipative Verluste und Abgaben von sonstigen Gasen zählen. Darüber hinaus werden hierzu im MSM weitere Materialien gezählt, die innerhalb Deutschlands z. B. aufgrund der Verteilungsproblematik als wiedernutzbare Ressource ausscheiden. Dies betrifft beispielsweise die quantitativ nicht unbedeutenden Verfüllungen von Baumaterialien auf ehemals tagebaulich genutzten Flächen.

Durchflussgrößen, von denen Höhe und Zusammensetzung des Anthropogenen Stofflagers unberührt bleiben, werden unter dem Begriff der „nichtlagerrelevanten Materialien“ zusammengefasst. Hierunter fallen insbesondere der große Teil der Energieträger, der energetisch verwertet wird (nicht der Teil, der stofflich verwertet wird), Abraum, Bodenaushub sowie Nahrungsmittel, Exporte inländischer Extraktionen und direkte Transitflüsse.

Demgegenüber werden Abfallprodukte aus der Energiewandlung, die Eingang in das Anthropogene Lager finden, im MSM berücksichtigt. Dies betrifft z. B. Aschen, die in Zementwerken weiterverarbeitet werden, oder den sogenannten REA-Gips aus der Rauchgasentschwefelung sowie weitere als industrielle Nebenprodukte bezeichnete Stoffe.

Die in Schicht 1 verwendeten Daten basieren auf den Datenbanken der Umweltökonomischen und Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (UGR/VGR) der Bundesrepublik Deutschland unter Ergänzung durch die Datenbank Eurostat der Europäischen Union sowie der Abfallstatistik von Destatis. Wichtige Ergänzungen zu den Positionen der UGR betreffen insbesondere den Input an Sekundärrohstoffen, Abfallimporte, Reststoffe aus Umwandlungsprozessen sowie den Output aus Abfallexporten sowie Abgaben an die Umwelt, wie z. B. die Verwertung mineralischer Bauabfälle durch Verfüllung von Tagebauen.

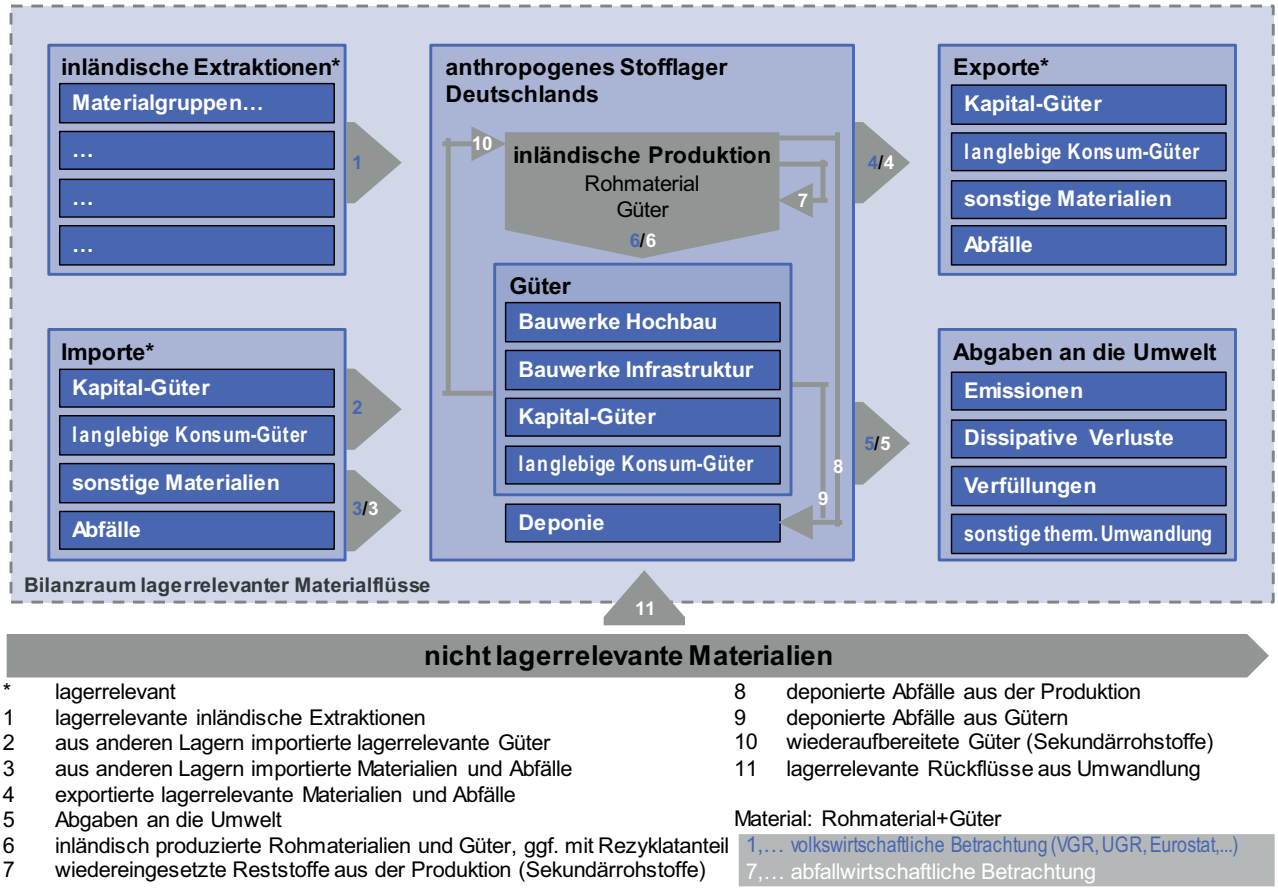
Die genannten Daten bilden Materialflüsse in und aus dem Anthropogenen Lager ab. Dies ermöglicht Aussagen bezüglich der Veränderungen des Anthropogenen Lagers. Unmittelbare Aussagen zur Höhe und Zusammensetzung des Lagers lassen diese Daten jedoch nicht zu. Sie können aber für lange Zeitreihen erhoben werden, die bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts zurückgehen. Dies ermöglicht einen Zugang zu lagerbestandsbezogenen Aussagen, die in Grenzen, basierend auf Bestandsakkumulation im betrachteten Zeitraum, getroffen werden können.

3.2 Schicht 2: Differenzierte Materialflussanalysen aus Top-Down-Sicht

In der zweiten Schicht des MSM werden die Materialflüsse in und aus dem Anthropogenen Lager sowie innerhalb des Lagers aus Top-Down-Sicht differenziert analysiert (Abbildung 4).

Auf der Inputseite erfolgt im Bereich der inländischen Extraktionen eine Differenzierung zwischen verschiedenen Materialgruppen, wie sie aus den Statistiken abgreifbar sind. Bei den Importen werden Kapital- und langlebige Güter getrennt von sonstigen Materialien ausgewiesen sowie durch importierte Abfälle ergänzt, welche auf deutschen Deponien gelagert werden.

Abbildung 4: Schematische Darstellung der zweiten Schicht des MSM (Top-Down)



* lagerrelevant
1 lagerrelevante inländische Extraktionen
2 aus anderen Lagern importierte lagerrelevante Güter
3 aus anderen Lagern importierte Materialien und Abfälle
4 exportierte lagerrelevante Materialien und Abfälle
5 Abgaben an die Umwelt
6 inländisch produzierte Rohmaterialien und Güter, ggf. mit Rezyklatanteil
7 wiedereingesetzte Reststoffe aus der Produktion (Sekundärrohstoffe)
8 deponierte Abfälle aus der Produktion
9 deponierte Abfälle aus Gütern
10 wiederaufbereitete Güter (Sekundärrohstoffe)
11 lagerrelevante Rückflüsse aus Umwandlung

Material: Rohmaterial+Güter
1,… volkswirtschaftliche Betrachtung (VGR, UGR, Eurostat,...)
7,… abfallwirtschaftliche Betrachtung

Quelle: eigene Darstellung

Selbige Differenzierung zwischen den Kapital- und langlebigen Gütern sowie den sonstigen Materialien findet sich auf der Outputseite unter den Exporten wieder, was die Darstellung der Flüsse in einem Sankey-Diagramm ermöglicht. Die Differenzierung der Abgaben an die Umwelt orientiert sich an den Kategorien, die im vorangegangenen Abschnitt unter diesem Stichwort aufgeführt sind.

In der zweiten Schicht des MSM werden darüber hinaus Flüsse innerhalb des Anthropogenen Stofflagers mit betrachtet. Die im Lager vorhandenen Güter werden nach ihrer Zuordnung zu Hochbau- und Infrastrukturbauwerken sowie zu Kapital- und langlebigen Gütern untergliedert. Daneben werden Deponien als Bestandteil des Anthropogenen Lagers separat dargestellt.

Neben den fertig produzierten Gütern bzw. vorhandenen Bauwerken und Materialaufhaldungen auf Deponien werden vorgelagerte Produktionszustände dieser „Endprodukte“ bei der Beschreibung des Anthropogenen Lagers berücksichtigt. Es handelt sich hierbei um Produktvorstadien innerhalb inländischer Produktionsprozesse, welche einerseits die ausdifferenzierte Verortung der eingehenden Material- und Güterflüsse mitbestimmen und andererseits wichtige Prozessgrößen für abfallwirtschaftliche Analysen darstellen. Innerhalb des MSM werden (Roh-)Materialien und Güter, die sich innerhalb inländischer Produktionsprozesse befinden, als Flussgrößen innerhalb des Lagers interpretiert, die die Ausdifferenzierung des Lagers mit beeinflussen.

Die Abfall- bzw. Kreislaufwirtschaft bildet eine Art Weichenstellmechanismus für Materialbewegungen am Ende der Nutzungsphase von Produkten und Gütern. Sie beeinflusst damit sowohl den Ort des Materialverbleibes als auch die Materialflussdynamik innerhalb des Lagers wesentlich mit. Ausgangs- und Verlaufswege abfallwirtschaftlicher Materialflüsse und damit die Verortung von in Ab-

fallströmen gebundenen Materialien innerhalb des Anthropogenen Lagers bilden im der Schicht 2 angelagerten abfallwirtschaftlichen Analysemodul den Betrachtungsmittelpunkt. Ausgehend von den bestehenden Abfallspezifikationen und deren Zuordenbarkeit zu Produktion, Gewerbe (u. a. Bauabfälle) und Haushaltungen, werden entlang einer Materialdifferenzierung der jeweiligen Entsorgungsfraktionen Anknüpfungspunkte zum MSM herausgearbeitet. Reflektiert wird der Verbleib der Abfälle, insbesondere in der Unterscheidung zwischen stofflicher Weiternutzung, Umwandlung (Abgabe an thermische Behandlung) und Ablagerung auf Deponien. Weiterhin erfolgen Quantifizierungen nach den Kriterien „im Lager verbleibend“ und „das Lager verlassend“ und es werden Bezüge zu Prozessen hergestellt, die Sekundärmaterialien wieder in Güter des Lagers zurückführen (Recyclingschleifen). Zusammenfassend zielen die Analysen damit darauf ab, die Gesamtheit an Rohstoffflüssen in die inländische Produktion von Gütern abzubilden und das Bestehen von Interaktionen zwischen sekundär generiertem Rohstoffaufkommen und das Lager betreffenden Rohstoffzu- und -abflüssen zu veranschaulichen. Hierfür sind im MSM zusätzliche Flussgrößen (in Abbildung 4 als graue Pfeile mit weißer Beschriftung dargestellt) berücksichtigt.

Die für die zweite Schicht des MSM verwendeten Daten gehen weit über die Daten aus der UGR und VGR hinaus. Zeitreihen können für die differenzierten Daten nur wenige Jahre zurückgehend dargestellt werden, welche für sich allein genommen begrenzte Aussagekraft, bezogen auf Bestandszahlen, besitzen. Der Schwerpunkt der Top-Down-Analysen der Schicht 2 liegt damit auf der Ermittlung der Stoffflüsse.

3.3 Schicht 3: Gütergruppenbezogene Bottom-Up-Betrachtung

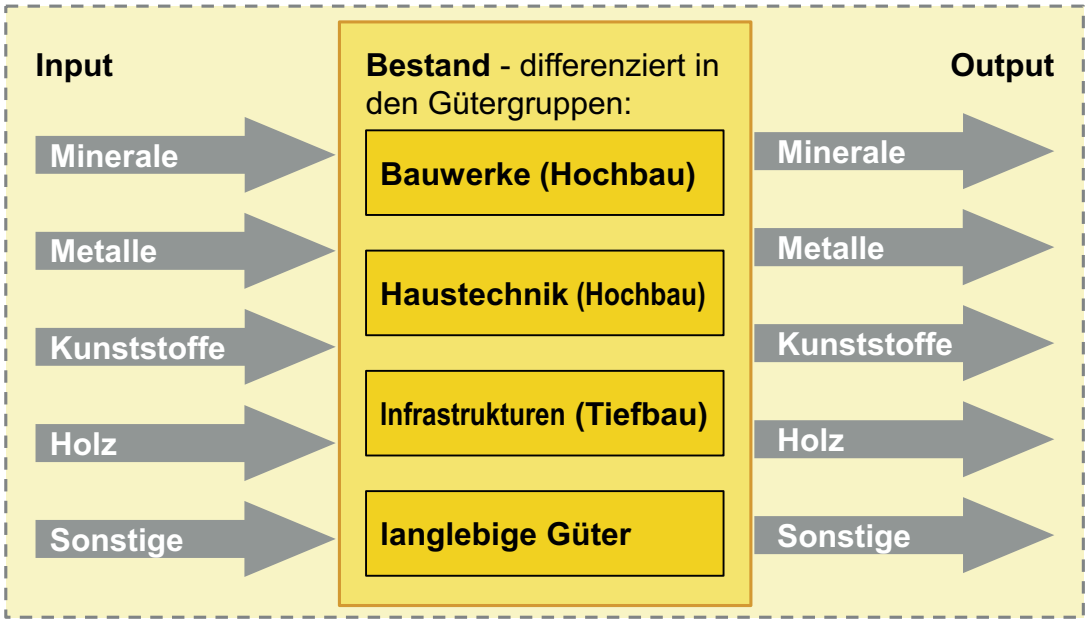
Die dritte Schicht des MSM beschreibt das Anthropogene Stofflager mit seinen lagerrelevanten Input- und Output-Größen aus Bottom-Up-Perspektive (Abbildung 5). Im Bereich der Güter werden im Rahmen der Bottom-Up-Betrachtungen separate Analysen für folgende Gütergruppen durchgeführt:

- Bauwerke, die dem Bereich Hochbau zuzuordnen sind, differenziert nach
  - „Wohngebäude“ und
  - „Nichtwohngebäude“,
- die Haustechnik in den Hochbauwerken,
- Bauwerke, die unter dem Begriff „technische Infrastrukturen“[4] gefasst werden können,
- langlebige Kapital- und Konsumgüter.

Für diese Gütergruppen werden sowohl Bestandsschätzungen vorgenommen als auch die Flussgrößen auf der In- und Output-Seite quantifiziert. In dem dieser Schicht angelagerten abfallwirtschaftlichen Analysemodul werden güterbezogene Kenngrößen zur Abbildung abfallwirtschaftlich gesteuerter Stoffkreisläufe herausgearbeitet, um damit die Herleitung von Größenordnungen für substituierte Rohstoffflüsse zu unterstützen.

[4] Auch als „Tiefbau“ bezeichnet

Abbildung 5: Schematische Darstellung der dritten Schicht des MSM (Bottom-Up)



Quelle: eigene Darstellung

Die in der Schicht 3 verwendeten Daten unterscheiden sich grundlegend von den in den Schichten 1 und 2 verwendeten Datenquellen. Hier wird auf Statistiken zurückgegriffen, die Aussagen zu den Beständen der definierten Gütergruppen erlauben, die dann mit Materialkennziffern verknüpft werden. Dies erlaubt eine verlässlichere Bestandsschätzung für die betrachteten Ausschnitte, die Grenzen sind aber durch die verfügbaren Bestandsdaten vorliegender Statistiken sowie den erheblichen Modellierungsaufwand, der hiermit verbunden ist, vorgegeben.

Dies hat zur Konsequenz, dass lediglich Ausschnitte des Lagers quantifiziert werden können (z. B. Eingrenzung auf Warenkörbe) sowie im Falle vorliegender Datenlücken auf geeignete Schätzverfahren zurückgegriffen werden muss (z. B. fehlende Daten zum Nichtwohngebäudebestand).

4 Top-Down-Analyse der Materialflüsse in das und aus dem Lager (Analyseschicht 1)

Dieses Kapitel gliedert sich in zwei Hauptteile. Zunächst erfolgen in Abschnitt 4.1 Analysen zum Nettobestandszuwachs des Anthropogenen Lagers unter Beachtung längerer Zeitreihen. Die in Abschnitt 4.2 dokumentierten Analysen widmen sich der Untersuchung und Abbildung von Flüssen im Jahre 2010. In den einzelnen Unterabschnitten werden Aussagen der unterschiedlichen herangezogenen Datenquellen diskutiert, welche im abschließenden Unterabschnitt von 4.2 zu einer Übersicht über die abbildbaren Flüsse in und aus dem Lager zusammengeführt werden.

4.1 Nettobestandszuwachs des Anthropogenen Stofflagers

Unter Heranziehung von Daten der Umweltökonomischen Gesamtrechnung ist es möglich, den jährlichen Nettobestandszuwachs des Anthropogenen Lagers zu berechnen.

Die UGR differenziert die Materialflussdaten nach den Themen Energie, Luftemissionen, Rohstoffe, Wassereinsatz, Abwasser, Abfall, Flächennutzung, Umweltschutzmaßnahmen, Verkehr und Umwelt, Landwirtschaft und Umwelt und Waldgesamtrechnung. Der Abschnitt Rohstoffe macht Angaben zu Materialflüssen verwerteter inländischer Entnahmen sowie der Einfuhr und der Ausfuhr von Rohstoffen und Gütern. Diese Daten sind weiter differenziert nach Materialien. Hieraus lassen sich Daten gewinnen, aus denen sich der jährliche Nettobestandszuwachs (NAS) zum Anthropogenen Lager berechnen lässt. Dieser ergibt sich aus

- der Gesamtsumme der Inputgrößen (verwertete inländische Entnahme (VIE), Einfuhr von Gütern und Rohstoffen und Entnahme von Gasen[5]) abzüglich
- der Gesamtsumme der Outputgrößen (verwertete inländischen Abgabe (VIA) in Form von Luftemissionen, Emissionen im Abwasser, dissipativem Gebrauch von Produkten, dissipativer Verluste und der Abgabe von sonstigen Gasen[6] sowie der Ausfuhr von Gütern und Rohstoffen).

Der Nettobestandszuwachs kann näherungsweise als Zuwachs des Anthropogenen Lagers in langlebigen Gütern interpretiert werden[7]. Dieser wird nach UGR als „Saldo Entnahmen/Abgaben“ ausgewiesen, darunter gesondert ausgewiesen der „Abfall an Deponie“. Kurzlebige Güter wie Nahrungsmittel und Energieträger stellen Durchflussgrößen dar, die im Rahmen der Bilanzierung verrechnet

[5] Die Entnahme von Gasen dient als Bilanzausgleichsposten auf der Inputseite des Materialkontos und umfasst Sauerstoffentnahme für Verbrennungsprozesse, Sauerstoffentnahme für Atmung, Stickstoffentnahme für Verbrennungsprozesse und Luft für andere Industrieprozesse.

[6] Die Angabe von sonstigen Gasen dient als Bilanzausgleichsposten auf der Outputseite des Materialkontos und umfasst Wasser aus Verbrennungsprozessen, Atmungsemissionen (CO_2) und Atmungsemissionen (H_2O).

[7] Diese methodische Herangehensweise zur Schätzung von NAS entspricht voll und ganz den methodischen Richtlinien von Eurostat (siehe z. B. Eurostat 2009: „*Net Additions to Stock - NAS (see Table H of the EW-MFA questionnaire): NAS measures the 'physical growth of the economy', i.e. the quantity (weight) of new construction materials used in buildings and other infrastructure and of materials incorporated into new durable goods such as cars, industrial machinery, and household appliances. Materials are added to the economy's stock each year (gross additions) and old materials are removed from stock as buildings are demolished and durable goods disposed of (removals). These decommissioned materials, if not recycled, are accounted for in DPO. Net additions to stock are therefore not calculated by balancing additions to stock and stock depletion but as statistical balance between inputs and outputs.*“

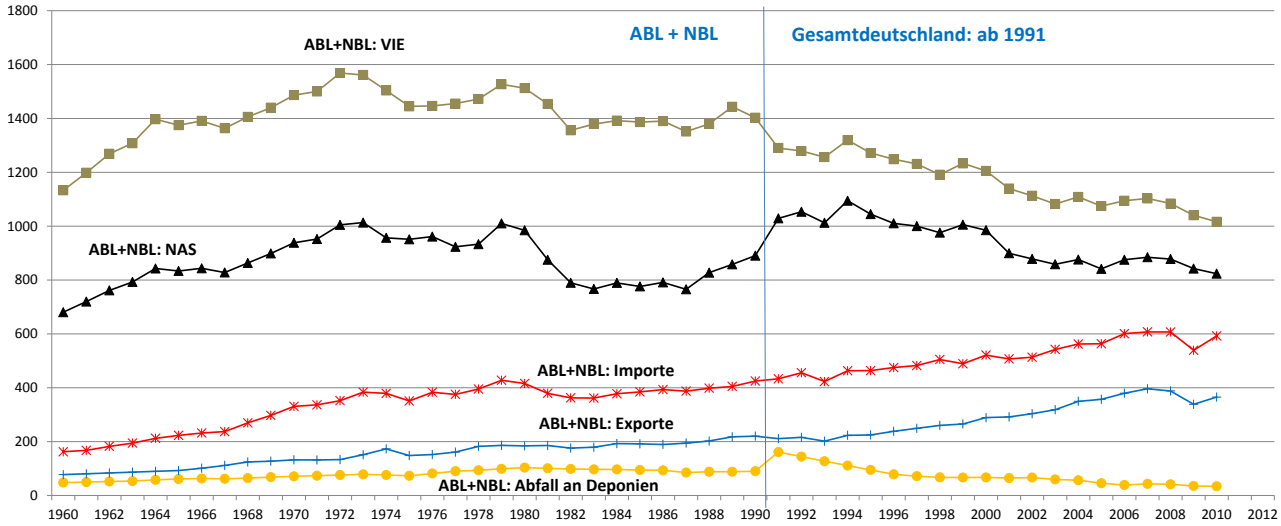
werden[8]. Selbiges gilt für nicht verwertete inländische Entnahmen (auch „Rucksackflüsse“ genannt), die sowohl als Entnahmen als auch als Abgaben gezählt werden.

Abfallwirtschaftliche Ströme sind Bestandteil der Inputseite des UGR-Materialkontos unter „importierter Abfall zur letzten Verwendung“ (z. B. 2,6733 Mio. t in 2010)[9]. Abfälle an Deponie werden wie zuvor beschrieben berichtet.

Die zur Berechnung des Nettobestandzuwachses verwendeten Input- und Outputgrößen werden in der UGR nach Materialien und Stoffen differenziert. Diese Differenzierung ist in den verwendeten Positionen unterschiedlich. Dies erlaubt keine Bilanzierung des Nettobestandszuwachses für Materialgruppen.

Angaben zum Nettobestandszuwachs lassen sich nach entsprechender Datenaufbereitung und -bereinigung (siehe Anhang 1.1) in langen Zeitreihen darstellen (Abbildung 6).

Abbildung 6: Direkte Materialflüsse[10] sowie Netto-Bestandszuwachs mit Abfall an Deponien in Deutschland 1960 bis 2010 [Mio. t]



Abkürzungen: ABL=alte Bundesländer; NBL=Neue Bundesländer; VIE=Verwertete inländische Entnahme; NAS=Net Addition to Stock (Netto-Bestandszunahme; Saldo von Entnahmen und Abgaben)
Quelle: eigene Darstellung

Während Importe und Exporte Deutschlands über den gesamten Zeitraum von 1960 bis 2010 im Wesentlichen anstiegen (mit deutlichem Einbruch im Krisenjahr 2009 und Erholung in 2010), zeigte die Verwertete Inländische Entnahme (VIE) einen deutlich anderen Verlauf. Die inländischen Rohstoff-

[8] So werden alle energetisch genutzten Energieträger durch Verbrennungsbilanzen massenbilanziert (Input = Output), d. h., die Inputseite umfasst die Energieträger plus die Entnahme von Gasen zur Verbrennung, während die Outputseite die resultierenden Luftemissionen sowie die Abgabe von Wasserdampf aus der Verbrennung, jeweils in kg, umfasst. In ähnlicher Weise werden Nahrungs- und Futtermittel durch Atmungsbilanzen für Mensch und Nutztiere massenbilanziert.

[9] In den Tabellen zur ökonomieweiten Materialflussrechnung von Eurostat (Datensatz „enc_ac_mfa“) wird für Deutschland in 2010 berichtet: „Importe: Abfallstoffe zur Endbehandlung und Endlagerung: 2,792 Mio. t; und „Exporte: Abfallstoffe zur Endbehandlung und Endlagerung: 0,568 Mio. t“. Die Angabe zu Importen stimmt in etwa mit dem UGR Wert von 2,6733 Mio. t überein, der Wert für Exporte fehlt hingegen in den UGR Tabellen.

[10] Von direkten Materialflüssen sind indirekte Materialflüsse zu unterscheiden. Dies sind zum einen die nicht verwertete Extraktion im Inland, wie z. B. Abraum bei der Braunkohleförderung, und zum anderen die indirekten, vorgelagerten Materialflüsse zu den importierten Gütern, die physisch nicht importiert werden, wie z. B. Energieträgerverbräuche für die Herstellung von Exportwaren im Ausland.

entnahmen stiegen von 1960 bis 1964 zunächst deutlich an (bedingt v. a. durch die Entwicklung in den alten Bundesländern) und lagen bis 1990 zwischen 1,4 und 1,6 Mrd. t (der Anteil der neuen Bundesländer lag über den gesamten Zeitraum 1960 bis 1990 zwischen 27 % und 37 %). Nach der Wiedervereinigung gingen die inländischen Rohstoffentnahmen fast kontinuierlich bis auf 1 Mrd. t in 2010 zurück, in erster Linie bedingt durch verminderte Fördermengen von Energieträgern (Stein- und Braunkohle) sowie von mineralischen Rohstoffen.

Der Netto-Bestandszuwachs stieg von 1960 bis 1972 von 680 auf ca. 1 Mrd. t an, fluktuierte auf diesem Niveau bis 1980, sank dann bis auf unter 800 Mio. t über den Zeitraum 1982 bis 1987 ab und stieg bis 1990 wieder an bis auf 890 Mio. t. Im wiedervereinigten Deutschland 1991 stieg der NAS zunächst stark an auf ca. 1,1 Mrd. t in 1991 und 1992, um danach nahezu kontinuierlich bis auf ca. 820 Mio. t in 2010 zu sinken.

- Ohne Abfalldeposition[11] wurden im gesamten Zeitraum 1960 bis 2010 insgesamt netto ca. 42,3 Mrd. t Material im Anthropogenen Lager Deutschlands akkumuliert (im Mittel 829 Mio. t pro Jahr), davon ca. 17,9 Mrd. t (ca. 42 %) im Zeitraum 1991 bis 2010 (im Mittel 893 Mio. t pro Jahr).
- Für das Jahr 2010 resultiert ein Nettobestandszuwachs in Höhe von 820 Mio. t. Dies entspricht einem Anstieg des Anthropogenen Lagers um ca. 10 t pro Jahr und Einwohner.

Die starke Zunahme des NAS in den frühen 1990er Jahren ging einher mit einer Zunahme der lagerrelevanten inländischen Rohstoffentnahme (Abbildung 7; i. e. Baumineralien und Holz), die in der Folgezeit bis 2010 ebenfalls wieder deutlich abnahm. Das Maximum der inländischen, lagerrelevanten Rohstoffentnahme lag jedoch in 1972/73 und wurde maßgeblich von der Entwicklung in den alten Bundesländern bestimmt (der Anteil der neuen Bundesländer lag im Zeitraum 1960 bis 1990 zwischen 11 % und 19 %).

Lagerrelevante Extraktionen in Deutschland bestanden über den gesamten Zeitraum 1960 bis 2010 zum überwiegenden Teil (zu ca. 95 - 99 %) aus Baumineralien (v. a. Sand und Kies, Natursteine, Kalksteine, Tone). Ausnahmen waren die Jahre 1990 und 2007, in denen schwere Sturmschäden den Holzanteil auf ca. 5 % ansteigen ließen (in anderen Jahren zwischen 1,4 und 3,6 %.

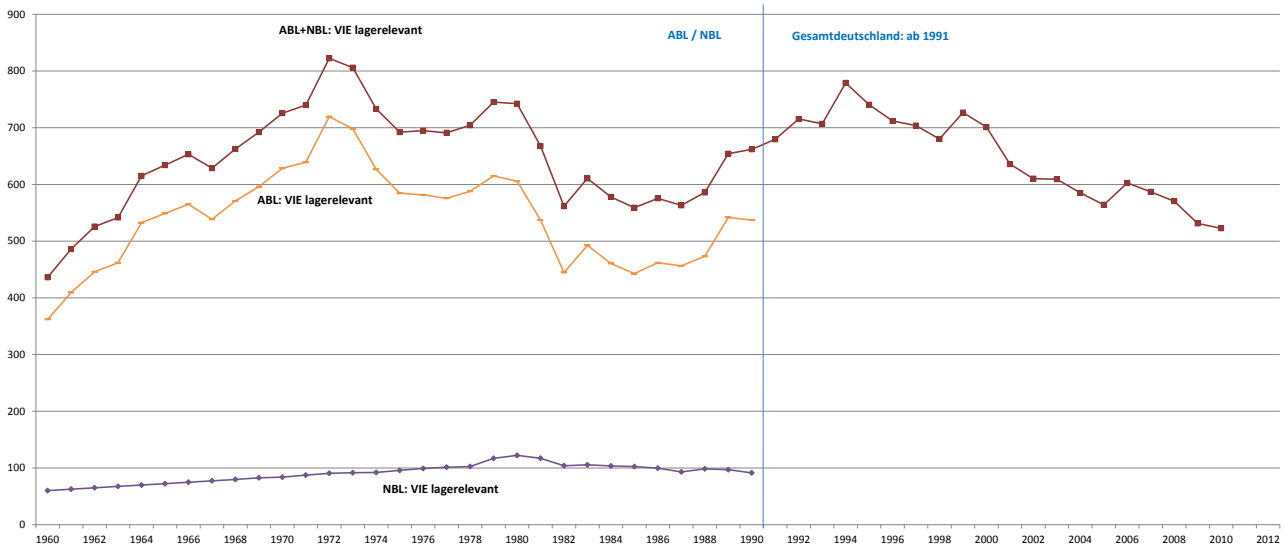
Lagerrelevante Extraktionen in Deutschland stiegen im Zeitraum ab 1960 zunächst stark an, von 436 Mio. t bis auf ein Allzeitmaximum von 822 Mio. t in 1972 (Abbildung 7). Bis Mitte der 1980er Jahre gingen die lagerrelevanten Extraktionen auf ein Niveau von ca. 560 Mio. t zurück, um danach bis zur Wiedervereinigung wieder anzusteigen bis auf ca. 660 Mio. t. Der Verlauf bis 1990 wurde maßgeblich von der Entwicklung in den ABL bestimmt (der Anteil der NBL lag im Zeitraum 1960 bis 1990 zwischen 11 % und 19 %).

In den frühen 1990er Jahren erfolgte zunächst eine starke Zunahme der lagerrelevanten inländischen Rohstoffentnahme bis auf 779 Mio. t in 1994, gefolgt von einer fast kontinuierlichen Abnahme bis 2010 auf 523 Mio. t.

Lagerrelevante Extraktionen zeigen somit einen ähnlichen Verlauf wie die Netto-Bestandszunahme, sie entsprechen auch im physischen Ausmaß dem Großteil von NAS und wurden daher auch zur Top-Down-Schätzung der Bestandsgröße herangezogen.

[11] Die Abfalldeposition auf Deponien stieg im Zeitraum 1960 bis 1980 von 48 auf 104 Mio. t an und nahm bis 1990 leicht auf 90 Mio. t ab. Im wiedervereinigten Deutschland lag die Abfalldeposition in 1991 bei 161 Mio. t und sank bis 2010 sehr deutlich auf 34 Mio. t. Hier ist jedoch anzumerken, dass die Daten für die Abfallablagerungen auf Deponien für die frühen Jahre ab 1960, und insbesondere für die NBL, auf Schätzungen beruhen und daher weniger belastbar erscheinen als Abfalldaten aus offizieller Statistik.

Abbildung 7: Lagerrelevante inländische Rohstoffentnahmen in Deutschland 1960-2010 [Mio. t]



VIE lagerrelevant: Verwertete inländische Entnahme lagerrelevanter Rohstoffe
Quellen: Daten des Statistischen Bundesamtes (UGR) sowie des Wuppertal Instituts

Die Datenlage für die frühe Periode der langen Zeitreihen ab 1960 ist aufgrund vorliegender Datenlücken kritisch anzusehen. Hier wäre es von Vorteil, wenn die amtliche Statistik (Destatis – UGR) in sich konsistente historische Zeitreihen erstellen würde, welche mit den methodischen Vorgaben nach Eurostat kompatibel wären.

Auch bestehen Unsicherheiten hinsichtlich des Vergleichs der den Datenreihen zugrundeliegenden Verbrennungsbilanzen (vgl. Anhang 1.1.3). Ursächlich hierfür ist eine fehlende Umsetzung einer verbindlichen Methodik zur Ermittlung der Bilanzausgleichsposten im Zuge einer ökonomieweiten Materialflussanalyse. Hier wäre die Entwicklung und Umsetzung einer auf europäischer Ebene harmonisierten Methode wünschenswert, die in einen erweiterten „compilation guide“ zur Erstellung ökonomieweiter Materialflussdaten integriert werden könnte, welcher dann auch die Outputseite sowie Bilanzausgleichsposten abdeckt und damit die Herleitung von NAS ermöglichen würde[12].

Weitere Unsicherheiten bestehen bei der Position „Abfall auf Deponie“ bezüglich des Einschlusses nicht verwerteter inländischer Entnahme in der Bestandsrechnung. Hier sollte eine Klärung durch Expertenaustausch herbeigeführt werden und ggf. eine Anpassung der Berechnungsgrundlagen erfolgen.

Im Rahmen eines Exkurses wurde weiter untersucht, inwieweit ausgehend von ökonomieweiten Daten Einschätzungen zum Bestand des Anthropogenen Stofflagers getroffen werden können, die über die Aussagen hinausgehen, die mit der Aufsummierung des Nettobestandszuwachses im dargestellten Zeitraum möglich sind (vgl. Anhang 1.3). Zusammenfassend ist festzustellen, dass Schätzungen der Bestandsgrößen aus Top-Down-Perspektive bzw. aus einer Kombination von Top-Down- und Bottom-Up-Perspektive grundsätzlich möglich sind. Die damit verbundenen Unsicherheiten sind jedoch erheblich. Die Schätzungen können bestenfalls als sehr grobe Orientierungswerte dienen. Die

[12] Zwar liegen mit dem Leitfaden „Economy Wide Material Flow Accounts: Compilation Guidelines for reporting“ geeignete Vorschläge vor, diese wurden bislang aber auf gesamteuropäischer Ebene (im Rahmen der MFA task force) nicht harmonisiert. Darüber hinaus gilt die vorgeschlagene Methode als äußerst komplex, was eine länderübergreifend einheitliche Implementierung erschwert, so dass diese bislang nicht von Eurostat in die offizielle Berichterstattung aufgenommen werden konnte.

Möglichkeiten gegenüberstellender Plausibilitätsprüfungen von Bottom-Up und Top-Down Bestands-Berechnungen sind auf der Datengrundlage, wie sie in diesen einfachen Verfahren generierbar sind, begrenzt. So wird das Lager zumeist als Summengröße über alle Materialfraktionen oder zumindest wenig differenziert angegeben. Dies eröffnet kaum Anknüpfungspunkte für Plausibilitätsabgleiche. Für sich genommen zeichnet dies nur ein überschlägiges Bild über das Anthropogene Stofflager, das den mit dem Modell gesteckten Anforderungen nicht gerecht wird.

4.2 Materialflüsse langlebiger Güter im Basisjahr 2010

4.2.1 Materialflussanalysen

Eine Unterscheidung der Materialflüsse auf Analyseschicht 1 nach kurzlebigen und langlebigen Gütern kann unter Verwendung der Daten der UGR für die in Abbildung 3 dargestellten Flussgrößen grundsätzlich nicht vorgenommen werden. Die Ausnahme bildet die Position der lagerrelevanten inländischen Extraktionen. Hier ist aus den Daten zu entnehmen, dass dies in Deutschland im Wesentlichen Baumaterial und Biomasse betrifft. Eine Abgrenzung langlebiger Güter ist somit für die Gruppe der mineralischen Baumaterialien möglich. Die lagerrelevante inländische Extraktion von Baumineralien lag im Jahre 2010 bei 505 Mio. t.

Inländische Extraktionen von Rohstoffen, die zur Metallerzeugung und Kunststoffherstellung verwendet werden, werden in der UGR nicht explizit ausgewiesen bzw. sind im Falle der Metalle vernachlässigbar[13].

Aussagen zu lagerrelevanten Extraktionen von Holz, das im Wesentlichen die Biomasse in langlebigen Gütern ausmacht, können aus der UGR nicht entnommen werden.

Die in Abschnitt 3.1 bereits angesprochene Position der Abgaben an die Umwelt, die in die Saldierung des NAS mit eingehen, beziehen sich in erster Linie auf kurzlebige Produkte (z. B. Luftemissionen durch Verbrennungsprozesse, Einbringen von Düngern und Pflanzenschutzmitteln, Emissionen im Abwasser). Aussagen zum dissipativen Gebrauch langlebiger Güter lassen sich aus der UGR nicht entnehmen.

Daten der Außenhandelsstatistik (Eurostat ComExt) machen Angaben zu Importen und Exporten, unterschieden nach Gütergruppen (vgl. Abschnitt 5.2). Unter Zuhilfenahme von Korrespondenztabellen von Eurostat ermöglicht dies eine Ausweisung von importierten und exportierten Materialflüssen langlebiger Güter nach Materialgruppen. Die Daten berücksichtigen keine Abfall-Im- und Exporte. Dagegen beinhalten sie unbekannte Mengen an Sekundärmaterialien in den importierten und exportierten Gütern.

4.2.2 Abfallwirtschaftliche Daten zum Input und Output des Anthropogenen Lagers

In den der Analyseschicht 1 angelagerten abfallwirtschaftlichen Analyse wurden folgende abfallwirtschaftlich geprägten Inputströme und Outputströme betrachtet:

- Abfallwirtschaftlich geprägte Inputströme:
- Abfallimporte und
- feste Reststoffe, die aus Umwandlungsprozessen[14] in das Lager zurückgeführt werden,
- Abfallwirtschaftlich geprägte Outputströme:

[13] Die inländische Extraktion von Metallrohstoffen (Erzen) in Deutschland 2010 ist mit 0,4 Mio. t vernachlässigbar. Die Entnahme von Energieträgern zur stofflichen Weiterverarbeitung ist aus den UGR-Tabellen nicht ersichtlich.

[14] z. B. aus thermischer Behandlung sowie in Form sogenannter industrieller Nebenprodukte

- Abfallexporte sowie
- Abfallstoffe, die unter Aufgabe realistischer Rückführungsmöglichkeiten an die Umwelt abgegeben werden.

Die durchgeführten Datenanalysen basieren im Wesentlichen auf Angaben der amtlichen Abfallstatistik von Destatis (Fachserie 19, Reihe 1)[15]. Eine Ergänzung dieser Daten muss für die Importe und Exporte an Abfällen erfolgen. Für diese Art von Materialbewegungen sind aufgrund internationaler Übereinkommen (Basler Übereinkommen) und Regelungen der Europäischen Gemeinschaft (Abfallverbringungsverordnung) staatliche Überwachungsmechanismen vorgegeben, so dass entsprechende Nachweisführungen separat existieren. Die abfallwirtschaftliche Statistik von Destatis enthält dazu nur teilweise Angaben. Die Überwachungsstelle zur Abfallverbringung von und nach Deutschland ist am Umweltbundesamt angesiedelt. Hier sind entsprechende Angaben in Form von Zeitreihen abrufbar. Jedoch wird darin im Unterschied zu den Klassifizierungen der Statistik nach EAV anhand von Zoll-Codes bzw. Abfallkategorien nach EG-Abfallstatistikverordnung gruppiert. Damit entfällt die Möglichkeit zur unmittelbaren Anwendung von Annahmen über die materialspezifische Zusammensetzung dieser Abfallfraktionen laut EAV.

Darüber hinaus gehen Daten zu industriellen Nebenprodukten in den abfallwirtschaftlichen Analyseteil ein. Weil nicht der Abfalldefinition unterworfen, sind auch diese nicht in den abfallwirtschaftlichen Statistiken enthalten, sondern aus Verbandsinformation und -studien zu ermitteln. Einen konsolidierten Datenzugang für das Basisjahr 2010 liefert an dieser Stelle insbesondere die von der SST Ingenieurgesellschaft und dem Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung Berlin im Auftrag des Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. erarbeitete Studie „Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2030 in Deutschland“.

Ein weiterer hier betrachteter, aus dem Anthropogenen Lager abgehender Strom sind Materialien, die einer thermischen Umwandlung unterliegen, bspw. in Abfallverbrennungsprozessen in Müllverbrennungsanlagen, in Kraftwerksanlagen sowie durch Verwendung als Ersatzbrennstoffe. Mit Umwandlung als generalisierendem Begriff wird versucht, mehreren modelltechnischen Besonderheiten Rechnung zu tragen. Dazu gehört, dass die festen Reststoffe der Verbrennung (insbesondere Schlacken, Aschen, Stäube) Materialströme bilden, die dem Lager als stofflich verwertbare Materialien erneut zur weiteren Nutzung zufließen. Auf Deponien im Lager verbleibende Abfallmengen enthalten ebenso Anteile dieser Reststoffe. Der Begriff Umwandlung indiziert einen dabei eintretenden Verlust an Masse durch thermochemische Umsetzung in gasförmige Reaktionsprodukte und neue stoffliche Verbindungen, die nicht mehr dem Ausgangsmaterial entsprechen. Über die Abfallstatistik lassen sich 19 Mio. t an lagerrelevanten Materialien bestimmen, die in 2010 eine solche Umwandlung erfahren haben. Diese stellen im Sinne des MSM zunächst einen Outputstrom dar, der das Lager verlässt (Abgaben an die Umwelt). Zum Teil werden diese wieder rückgeführt. Dieser Strom kann jedoch im Modell mit den vorliegenden Daten nicht eindeutig nachgeführt werden, denn die Menge an Reststoffen aus thermischer Umwandlung, welche wiederum in verschiedenen Teilströmen des MSM aufgeht (wiederverwertete Aschen, Schlacken etc.) begründet sich bei Weitem nicht nur aus der Umwandlung lagerrelevanter, thermisch behandelter Abfälle, sondern zu einem großen Anteil z. B. auch durch zunächst als nichtlagerrelevant eingestufte Materialströme der energetisch genutzten Energieträger. Hinsichtlich der abfallwirtschaftlichen Verwertung und Beseitigung zeigen sich somit Brüche in der Systematik von Lagerrelevanz und Datenaggregation. Durchgängige Materialflüsse sind damit nicht darstellbar. Die bestehenden Zusammenhänge werden dagegen mit unterschiedlichen Flussgrößen

[15] Ausführungen zu spezifischen Problemen, die bei der Analyse abfallwirtschaftlicher Daten auftreten und dem Umgang damit finden sich in Abschnitt 4.3.5 dieses Berichtes.

abgebildet (Abgaben an die Umwelt durch Umwandlung als Output; Rückflüsse aus Umwandlung als Input in das Lager), ohne diese arithmetisch unmittelbar zu verknüpfen. Der Mengenstrom stofflich nutzbarer Nebenprodukte sowie Reststoffe aus der Umwandlung kann für das Jahr 2010 mit 31,5 Mio. t beziffert werden (s. Abbildung 8).

Neben Daten zur Umwandlung werden im abfallwirtschaftlichen Analyseteil Daten zu Verfüllungen mineralischer Bauabfälle als Abgaben an die Umwelt mit in die Betrachtungen einbezogen. Begründet wird dies insbesondere mit dem Argument, dass Verfüllmaterial mit der Verfüllung einer weiteren stofflichen Nutzung irreversibel entzogen wird.

Die anhand der skizzierten Quellen ermittelten Größenordnungen zu den abfallwirtschaftlich bedingten Input- und Outputströmen für das Basisjahr 2010 sind in den Spalten 3, 4, 6, 7 der Tabelle 1 bzw. in Abbildung 8 (nachfolgender Abschnitt) dargestellt. Auf Hintergründe der Datenerhebung, längerfristige Entwicklungen der Materialströme sowie Abfallströme innerhalb des Lagers wird im Abschnitt 5.4 eingegangen.

4.2.3 Zusammenfassende Darstellung der Materialflüsse Top-Down (Schicht 1)

Nachfolgende Tabelle 1 sowie die Abbildung 8 und Abbildung 9 stellen die Input- und Output-Materialflüsse des Anthropogenen Lagers für das Basisjahr 2010 als Übersicht dar.

Die Daten für lagerrelevante Rohstoffe aus inländischer Extraktion umfassen Bauminerale[16] sowie Aussagen zur inländischen Entnahme von Holz. Die Daten für Bauminerale sind der UGR entnommen. Die Angaben zur inländischen Entnahme von Holz stellen eine Schätzung dar, die unter Nutzung von Daten der Food and Agriculture Organisation (FAOSTAT) sowie Umrechnungskoeffizienten aus dem (Eurostat 2012) ermittelt wurden. FAOSTAT macht Angaben zur „production quantity“ verschiedener Holzkategorien, aus denen Rückschlüsse auf die Quantität an inländischer Entnahme möglich sind. Berücksichtigt wurden die Kategorien „Säge- und Furnierholz“ sowie „Anderes Industrieholz“. Die Originalwerte nach FAOSTAT in Kubikmeter wurden mit Koeffizienten aus dem Eurostat MFA compilation guide in t Feuchtgewicht (15 % Feuchtegehalt) konvertiert. Auf die Datengrundlagen der weiteren aufgeführten Größen wird in den Erläuterungen verwiesen, die am Ende der Tabelle 1 mit aufgeführt sind.

Die inländischen Extraktionen von insgesamt 523 Mio. t stellen den größten Anteil der lagerrelevanten Flüsse (Abbildung 8). Importe und Exporte umfassen in dieser Darstellung Rohstoffe und Halbwaren sowie Baustoffe, Kapitalgüter und langlebige Konsumgüter. Sie liegen mit 185 Mio. t bzw. 174 Mio. t deutlich unter den inländischen Rohstoffentnahmen und zeigen einen leichten Netto-Import lagerrelevanter Güter an.

[16] Berücksichtigt sind Bausande und andere natürliche Sande, Feldsteine, Kiese, gebrochene Natursteine sowie sonstige Baumaterialien (hierzu zählen: nicht gebrochene Natursteine, Kalk, Gipsstein, Anhydrit, Kreide, Dolomit, Schiefer sowie Tone).

Tabelle 1: Input- und Output-Materialflüsse des Anthropogenen Lagers (2010) [Mio. t] (Analyseschicht 1)

Hauptmaterialgruppen	Inputgrößen				Outputgrößen		
	Inländische Extraktion	Importe		Rückflüsse aus Umwandlung	Exporte		Abgaben an die Umwelt (Verfüllung/ Umwandlung)
	MFA	MFA	Abfallw.	Abfallw.	MFA	Abfallw.	Abfallw.
	1	2	3	4	5	6	7
Gesamt	**523,1**	**185,4**	**17,2**	**31,5**	**173,6**	**21,7**	**13,5/19,0**
Mineralisch	505,2	27,7	2,6	28,1	56,3	3,7	12,0/0,0
Metalle	0,4	118,8	7,8	3,4	84,3	11,3	3,5/1,6
Kunststoffe	0,0	19,5	0,7	0,0	15,0	1,6	0,0/ 2,8
Holz	17,5	13,6	6,1	0,0	14,5	5,0	0,0/12,6
nicht zugeordnet[17]	0,0	5,8			3,5		

Spalte 1: inländische Extraktion; Quellen: UGR und Berechnungen Wuppertal Institut auf Grundlage von FAOSTAT
Spalten 3, 4, 6, 7: Abfallwirtschaftlich geprägte lagerrelevante Input- und Outputströme; Quelle: Berechnungen INTECUS
Spalten 2, 5: Lagerrelevante Materialflüsse durch Importe und Exporte von Rohstoffen und Halbwaren sowie langlebiger Güter, Importe und Exporte von Kunststoffen beinhalten auch die Importe von Rohstoffen (Energieträger), aus denen dann im Inland Kunststoffe für langlebige Güter produziert werden; Quelle: Berechnungen von Wuppertal Institut auf Grundlage von Daten der Außenhandelsstatistik und anderen Quellen

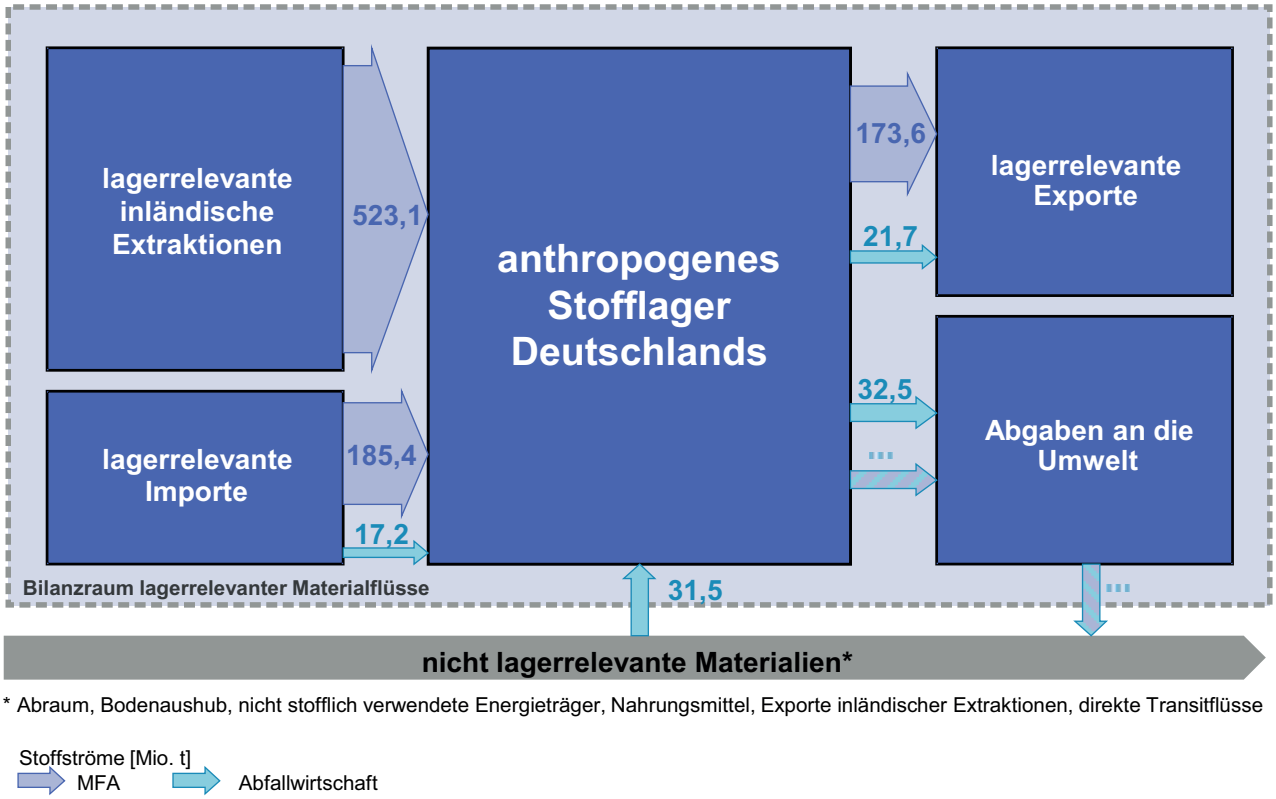
Aus der Differenz der Summen der bezifferten Inputströme (757,2 Mio. t) und Outputströme (227,8 Mio. t) kann für das Jahr 2010 ein Lagerzuwachs in Höhe von 529,4 Mio. t berechnet werden. Nicht berücksichtigt bleibt der in den Abbildungen zwar angedeutete, aber nicht bezifferte Anteil der Abgaben an die Umwelt. Dieser Lagerzuwachs liegt nahezu 40 % unter dem auf Grundlage der UGR ermittelten NAS-Wert (820 Mio. t).

Ein wesentlicher Grund dieser Abweichung wird in der Methodik von Bilanzausgleichsgrößen im Rahmen der NAS-Berechnungssystematik vermutet. Bei der oben dargelegten Berechnung des NAS als Bilanzrestposten erfolgt keine Einschränkung auf langlebige Güter. Stattdessen wird mit Bilanzausgleichgrößen gearbeitet, um Durchflussströme in der Materialverbleibsrechnung zu berücksichtigen. Hier kommt es zu Unschärfen in der Abgrenzung zu kurzlebigen Gütern[18].

[17] „Nicht zugeordnet“ bezeichnet Güter, welche bei Eurostat als „other products“ bezeichnet werden, weil sie nicht ganz oder überwiegend einer Materialkategorie zugeordnet werden können.

[18] Eurostat (2001) empfiehlt daher, eine direkte Methode zur Ermittlung von NAS in Ergänzung anzuwenden: „NAS may be calculated indirectly as the balancing item between the annual flow of materials that enter the economy (DMI), minus exports, minus DPO, taking into account the appropriate memorandum items for balancing. This method is not necessarily very reliable (for details see section 5.4). NAS may also be calculated directly as gross additions to material stocks, minus removals (such as construction and demolition wastes and disposed durable goods, but excluding materials recycled).” Die

Abbildung 8: Gesamt-Input- und Output-Materialflüsse des Anthropogenen Lagers (2010) [Mio. t] (Analyseschicht 1)



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 9 stellt die maximale Differenzierung der Material-Input- und Outputströme des Anthropogenen Lagers nach Materialhauptgruppen dar, die mit den herangezogenen Daten der Analyseschicht erreichbar ist. Dabei wird deutlich, dass sich der Lagerzuwachs größtenteils aus mineralischen Materialien speist. Einen weiteren deutlichen Anteil daran haben die Metalle, bei denen der Input im untersuchten Basisjahr 2010 den Output um ca. 30 % übersteigt.

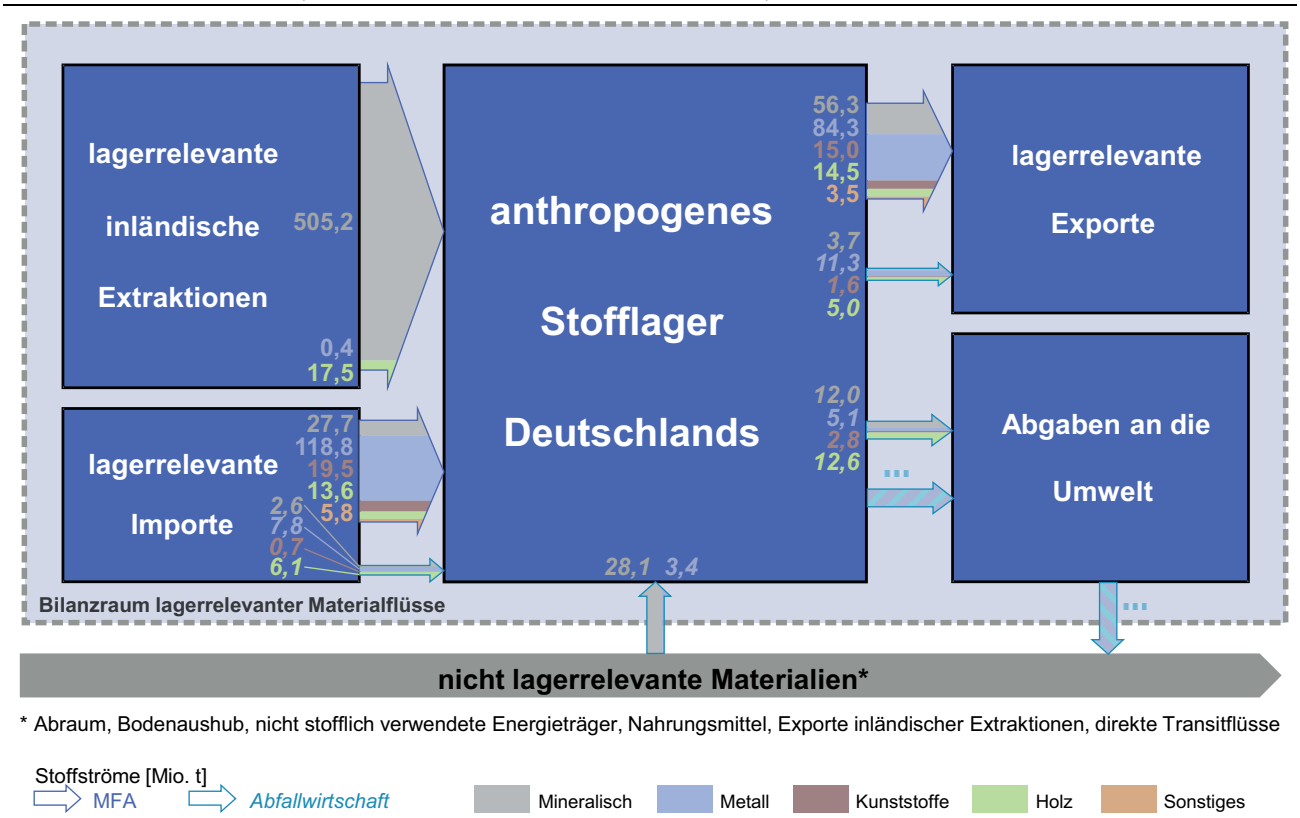
Beim Außenhandel nehmen metallische Güter einen großen Anteil ein. Bei den Importen liegen sie deutlich höher als mineralisch basierte Gütereinfuhren. Bei den Exporten ist es ähnlich. Minerale und Metalle zusammen machen 79 % der lagerrelevanten Importe und 81 % der lagerrelevanten Exporte aus.

Insgesamt stellen die herangezogenen Daten eine übersichtliche Wiedergabe der Gesamtflussgröße dar. Die Ergänzung von Materialflussdaten insbesondere der UGR mit abfallwirtschaftlichen Daten stellt eine wesentliche Erweiterung im Bestreben, ein möglichst umfassendes Bild darzustellen. Neben den Importen und Exporten betrifft dies insbesondere die Position der Abgaben an die Umwelt.

direkte Methode hat sich jedoch als schwierig in der Anwendung für Statistische Ämter erwiesen und wurde nicht weiter verfolgt.

Letztere stellen insbesondere[19] Massenströme abfallwirtschaftlicher Prägung dar, was vor allem auch dem Umstand geschuldet ist, dass außerhalb dessen, was durch die Abfallwirtschaft ermittelbar ist, keine belastbaren Datengrundlagen zur Quantifizierung weiterer Ströme verfügbar sind.

Abbildung 9: Nach Hauptmaterialgruppen differenzierte Input- und Output-Materialflüsse des Anthropogenen Lagers (2010) [Mio. t] (Analyseschicht 1)



Quelle: eigene Darstellung

Die Möglichkeiten der inhaltlichen Differenzierung der Materialströme mit den auf Analyseschicht 1 herangezogenen Daten werden hier deutlich. Sie unterliegen engen Grenzen. Die Quantifizierung ist nur nach groben Materialgruppen möglich. Bezüge zu Gütergruppen können nicht hergestellt werden. Die Anschlussfähigkeit an abfallwirtschaftliche Analysen zur Abbildung von Strömen innerhalb des Lagers sowie an gütergruppenbezogene Bestandschätzungen im Zuge von Hochrechnungen ist damit begrenzt.

[19] jedoch nicht ausschließlich

5 Top-Down-Analyse von Input-, Output- und lagerinternen Materialflüssen nach Güter- und Materialgruppen (Analyseschicht 2)

Die im vorangegangenen Kapitel dargestellten Ergebnisse, die mit den Daten der Analyseschicht 1 erzielbar sind, lassen keine differenzierten Aussagen nach Gütergruppen und keine Aussagen zur lagerinternen Dynamik zu. Dies ist Ziel der Untersuchungen auf der Analyseschicht 2, die gleich der Schicht 1 einen Top-Down-Ansatz verfolgt. Der Strang der MFA greift auf weitere, differenziertere Daten der Produktionsstatistik, der Außenhandelsstatistik sowie auf nichtamtliche Statistiken, insbesondere von Verbänden, zurück. Die angelagerten abfallwirtschaftlichen Analysen nutzen amtliche Daten der Abfallstatistik, die unter Nutzung von Erkenntnissen vorliegender Studien und weiterer Quellen ergänzt und differenziert werden.

Die Analysen umfassen einerseits Zeitreihenbetrachtungen und treffen andererseits Aussagen für das Basisjahr 2010. Zunächst werden unter Nutzung von Angaben der Produktionsstatistik Materialflüsse beschrieben, die durch die inländische Produktion ausgelöst werden (Abschnitt 5.1). Unter Verwendung von Daten der Außenhandelsstatistik werden Importe und Exporte differenziert betrachtet (Abschnitt 5.2). Die Transformation der Daten der genannten Statistiken in Materialflussdaten erfolgt unter Hinzuziehung von Konversionsfaktoren, die u. a. dem “economy-wide MFA Questionnaire“ entnommen sind. In einem weiteren Analyseschritt wurde eine Schätzung der „Inputflüsse in den Güterbestand Deutschlands“ vorgenommen (Abschnitt 5.3). Hierbei wurde der Top-Down-Ansatz, der in seiner reinen Form auf ökonomieweite Daten zurückgreift, ausgeweitet und mit Verbandsdaten kombiniert. In Abschnitt 5.4 werden abfallwirtschaftlich geprägte Input-, Output- und lagerinterne Materialflüsse analysiert. Die in den genannten Abschnitten diskutierten Erkenntnisse werden in Abschnitt 5.5 zu einem Gesamtbild des Anthropogenen Lagers aus Top-Down Perspektive zusammengeführt

5.1 Materialflüsse der inländischen Produktion langlebiger Güter ermittelt auf Grundlage der Produktionsstatistik

Unter Nutzung von Daten der Produktionsstatistik wurden Materialflüsse der inländischen Produktion von Baumaterialien, Kapitalgütern und langlebigen Konsumgütern analysiert. Grundlage sind Daten zur inländischen Produktion von Rohmaterialien und Gütern[20] aus nachfolgend benannten Quellen.

5.1.1 Kapitalgüter und langlebige Konsumgüter

Für die Gütergruppe der Kapital- und Konsumgüter wurden Daten für inländische Produktion, Einfuhr sowie Ausfuhr von Gütern unter Beachtung der Systematik der Statistik zur Unterscheidung von Wirtschaftszweigen in der Europäischen Gemeinschaft verwendet (NACE)[21]. Die dort verwendeten Gruppierungen wurden den industriellen Hauptgruppen (MIGs = Main Industrial Groupings) der

- „Investitionsgüterproduzenten“ (capital goods) sowie der

[20] Rohmaterialien und Güter gilt für Baustoffe; Kapitalgüter und langlebige Konsumgüter sind per se Fertigwaren und gehen direkt in die letzte Verwendung

[21] NACE (Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne) „ist eine vierstellige Systematik und bildet den Rahmen für die Sammlung und Darstellung einer breiten Palette statistischer, nach Wirtschaftszweigen untergliederter Daten aus dem Bereich Wirtschaft (z. B. Produktion, Beschäftigung, VGR) und aus anderen Bereichen innerhalb des Europäischen Statistischen Systems (ESS)“ (Quelle: http://epp. eurostat.ec. europa.eu/ statistics_explained/index.php/Glossary:NACE/de.

- „Gebrauchsgüterproduzenten“ (consumer goods) zugeordnet[23].

Um Übereinstimmung mit den Daten aus dem Bottom-Up Ansatz zu erzielen, wurden Privat-PKW und andere Fahrzeuge (z. B. Wohnwagen) aus den Kapitalgütern herausgerechnet und den langlebigen Konsumgütern zugeschlagen. Daten für diese Güter wurden aufbereitet und z. T. von anderen metrischen Einheiten in Gewichtseinheiten umgerechnet. Dabei wurden Konversionsfaktoren aus Eurostat (2012)[22] verwendet.

Auch die Zuordnung der Güter zu Materialkategorien erfolgte nach dem Schlüssel von Euro-stat. Bei den in den Daten abgebildeten Kapital- und Konsumgütern handelt es sich um Fertigwaren, deren Materialbezug nach Eurostat die Kategorie „Güter vorwiegend aus Metallen“ ist. Nur in wenigen Einzelfällen konnte eine genauere Zuordnung zur Kategorie „Eisen/Stahl“ aus der Güterbezeichnung abgeleitet werden. Andere Produkte entsprechen nach Eurostat der Kategorie „other products“, die weder erkennbar noch intuitiv einer bestimmten Materialkategorie zugeordnet werden können. Hieraus ergeben sich Unschärfen.

5.1.1.1 Kapitalgüter

Abbildung 10 zeigt die inländische Produktion von Kapitalgütern nach Materialgruppen. Die Produktionsmenge stieg von 1995 bis 2011 deutlich von ca. 36 Mio. t auf ca. 54 Mio. t an, mit einem zwischenzeitlichen Einbruch auf ca. 48 Mio. t im Krisenjahr 2009. Kapitalgüter bestanden zwischen 1995 und 2011 mit abnehmender Tendenz zu ca. 77 % bis 52 % aus metallischen Materialien. Nicht eindeutig einer Materialkategorie zuordenbare „andere“ Produkte nahmen im selben Zeitraum einen zunehmend größeren Anteil ein – von ca. 17 % bis ca. 40 %. Der Anteil von Kunststoffen lag um 5 bis 8 %, der Anteil der Güter, die eindeutig der Kategorie von Eisen/Stahl zugeordnet werden können, nur bei ca. 1 %.

Aufgrund der Schwierigkeiten der eindeutigen Zuordnung der Güter zu Materialkategorien bleibt die Interpretierbarkeit der in Abbildung 10 dargestellten Größen begrenzt (dies gilt gleichermaßen für die nachfolgende Abbildung 14). So ist z. B. nicht auszuschließen, dass weitere Produkte aus Eisen/Stahl unter den Kategorien „Güter vorwiegend aus Metallen“ oder unter „Andere Produkte“ aufsummiert sind. Weitere Unschärfen ergeben sich nach dem Zuordnungskriterium „überwiegend“. Es werden jeweils nur die Materialien in Rechnung gestellt, die das jeweilige Produkt vermeintlich do-

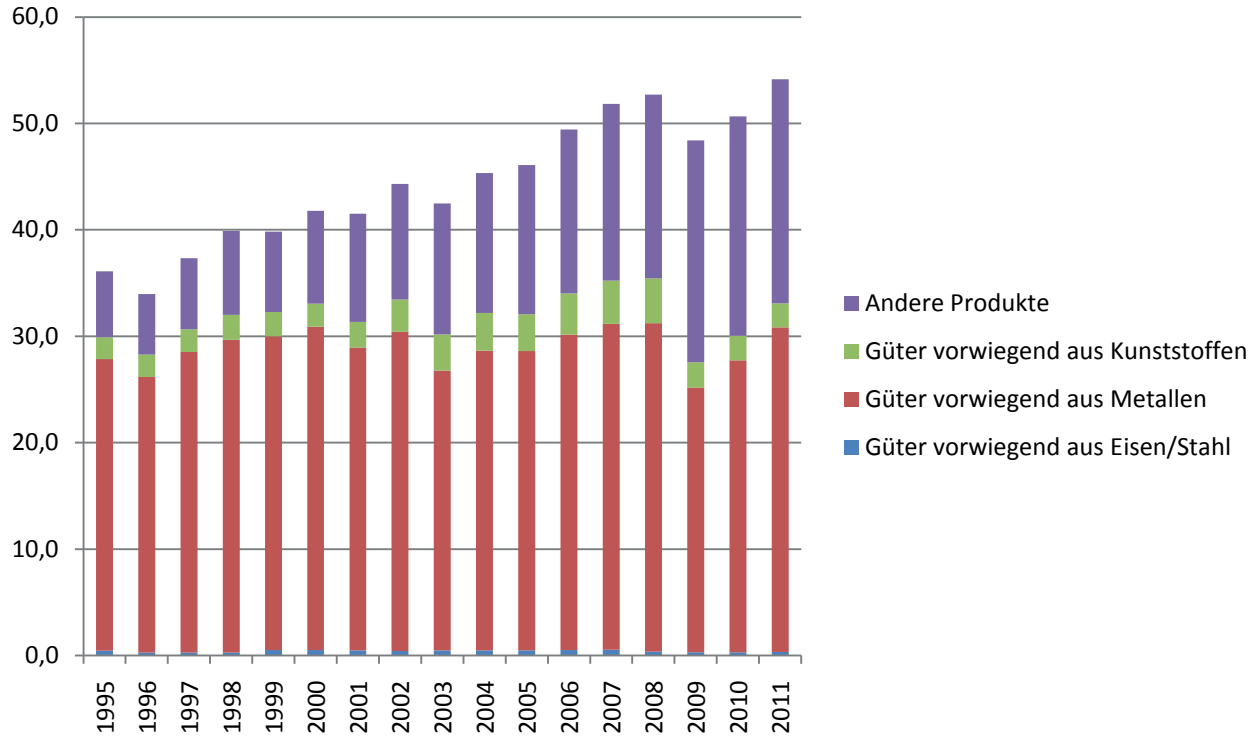
[22] Eurostat (2012): Economy-wide Material Flow Accounts (EW--MFA) – Compilation Guide 2012.

[23] Die Vorgehensweise zur Ermittlung von Kapitalgütern und langlebigen Konsumgüter basiert auf fachlichem Austausch mit Eurostat und VERORDNUNG (EG) Nr. 586/2001 DER KOMMISSION vom 26. März 2001 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1165/98 des Rates über Konjunkturstatistiken: Definition der industriellen Hauptgruppen (MIGS). In den MIGS werden die NACE Rev. 1.1 Gruppen auf 2- und 3-steller Ebene u. a. den Aggregaten „Investitionsgüterproduzenten“ (Capital goods) und „Gebrauchsgüterproduzenten“ (Consumer durables) zugeordnet.

Die entsprechenden (Roh-)Daten für inländische Produktion, Einfuhr sowie Ausfuhr stehen online bei Eurostat zur Verfügung (sogenannte „Europroms“). Die Klassifikation ist NACE Rev. 1.1 und umfasst auf 8-steller Ebene 1743 Positionen „capital goods“ und 461 Positionen „consumer durables“. Die Daten werden in gemischten Einheiten berichtet (z. B. kg, Stückzahl). Von diesen insgesamt 2201 Gütern müssen 1607 von anderen physischen Einheiten in metrische Tonnen umgerechnet werden. Hierzu wird die Korrespondenz der NACE Rev.1.1 Klassifikation mit der CN 8-steller Klassifikation (nach Eurostat Ramon correspondence table) ermittelt, um so die Anknüpfung an die Konversionsfaktoren von Eurostat zur Umrechnung sogenannter „supplementary units“ in Masse (kg) zu erreichen. Diese Konversionsfaktoren sind Teil des „economy-wide MFA Questionnaire 2012“ von Eurostat. Dabei wird im Einzelfall die Korrespondenz anhand der Kategorienbezeichnung sichergestellt, so dass in beiden Datensätzen dieselben Güter adressiert werden. Offen blieben einige Positionen, für die es bei Euro-stat keine Konversionsfaktoren gibt und für die eigene Faktoren ermittelt werden mussten. Die (Roh-)Daten für inländische Produktion, Einfuhr sowie Ausfuhr umfassen generell den Zeitraum 1995 bis 2011, und nur diesen Zeitraum. Die Datenabdeckung für die Gütergruppen über diesen Zeitraum war zu beurteilen und eigene Schätzungen anhand von Inter- und Extrapolation oder Trendanalyse wurden zum Füllen der gravierendsten Datenlücken verwendet.

minieren. De facto bestehen Produkte oftmals aber aus einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien aus den dargestellten Hauptgruppen. Konkretere Informationen können aus den vorhandenen Kategorien nach der Eurostat Prodcom Statistik jedoch nicht gezogen werden. Hier könnte eine Datenbank für Materialkoeffizienten für Güter (z. B. Anteile Eisen in Maschinen) Abhilfe schaffen.

Abbildung 10: Produktion von Kapitalgütern in Deutschland 1995-2011 [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

5.1.1.2 Langlebige Konsumgüter

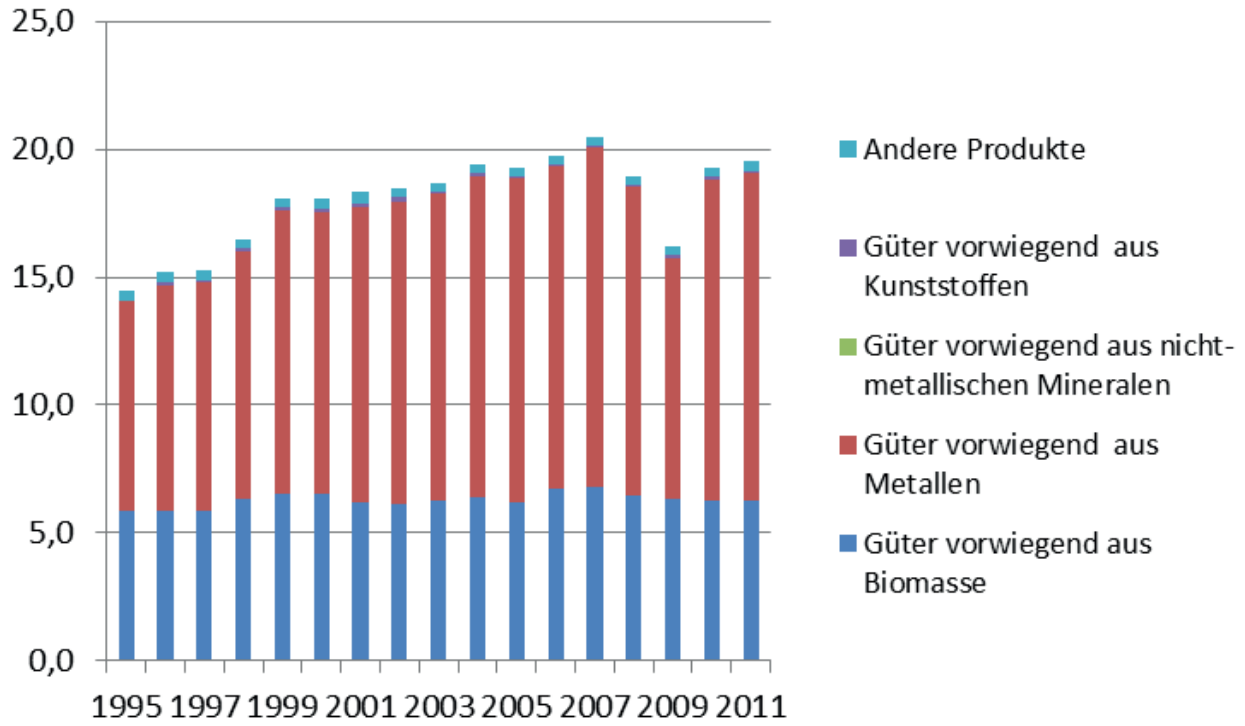
Die vorgenommene Zuordnung von Gütern zur Kategorie langlebiger Konsumgüter ist von der Definition nach MIG[24] abhängig und basiert auf der Europäischen Systematik von Wirtschaftsbereichen. Sie ist daher nicht notwendigerweise vergleichbar mit anderen methodischen Herangehensweisen bei ähnlicher Fragestellung. So sind bei der hier gewählten Methode z. B. Privat-PKW nicht enthalten (sondern unter „Kapitalgütern"), während z. B. Fahrräder enthalten sind. Das ist letztlich eine Frage der Interpretierbarkeit der Ergebnisse und mögliche Vergleichbarkeit mit anderen Studien. Um Vergleichbarkeit mit den Bottom-Up-Analysen herzustellen, wurden in der vorliegenden Studie PKW von Kapitalgütern zu Konsumgütern umgruppiert.

Im Zeitraum 1995 bis 2007 stieg die inländische Produktion langlebiger Konsumgüter von 14,5 auf 20,5 Mio. t an (Abbildung 11). Sie fiel danach bis 2009 auf 16,2 Mio. t deutlich ab und erholte sich anschließend wieder mit einem Anstieg bis auf 19,5 Mio. t in 2011. Güter aus überwiegend aus Biomasse (Möbel aus Holz) machten rückläufige Anteile von 40 % auf 32 % aus. Überwiegend metallische Güter machten den größten und ansteigenden Anteil von 57 - 66 % aus. Auffallend ist der ge-

[24] Kommission der EU (2001): VERORDNUNG (EG) Nr. 586/2001 DER KOMMISSION vom 26. März 2001 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1165/98 des Rates über Konjunkturstatistiken: Definition der industriellen Hauptgruppen (MIGS). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 86/11.

ringe Anteil der Güter, die der Sammelkategorie „nicht eindeutig zuordenbaren Materialien“ zugewiesen sind. Dieser liegt lediglich bei 2 - 3 %. Sehr niedrig sind fallen auch die Massen aus, die für „Güter vorwiegend aus Kunststoffen“ ausgewiesen sind. Diese liegen in der Größenordnung von lediglich einem Prozent.

Abbildung 11: Produktion von langlebigen Konsumgütern in Deutschland 1995-2011 [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

5.1.2 Baustoffe

Für die Gütergruppe der Baustoffe lassen sich mit dem für die Kapital- und Konsumgüter gewählten Vorgehen aufgrund von Zuordnungsproblemen keine zufriedenstellenden Aussagen generieren[25]. Deshalb wurde für diese Gruppe ein abweichendes Vorgehen gewählt. Auf Basis der Güterproduktionsstatistik des Statistischen Bundesamtes wurde deren Produktion auf Güterproduktionsstatistik 9steller Ebene (GP 9) ermittelt. Im Hinblick auf Anschlussfähigkeit zur Bottom-Up Analyse wurden die angegebenen Baumaterialien nach abgestimmten Materialkategorien[26] gruppiert und anschließend den Hauptmaterialgruppen Mineralisch, Metalle, Kunststoffe, Holz zugeordnet.

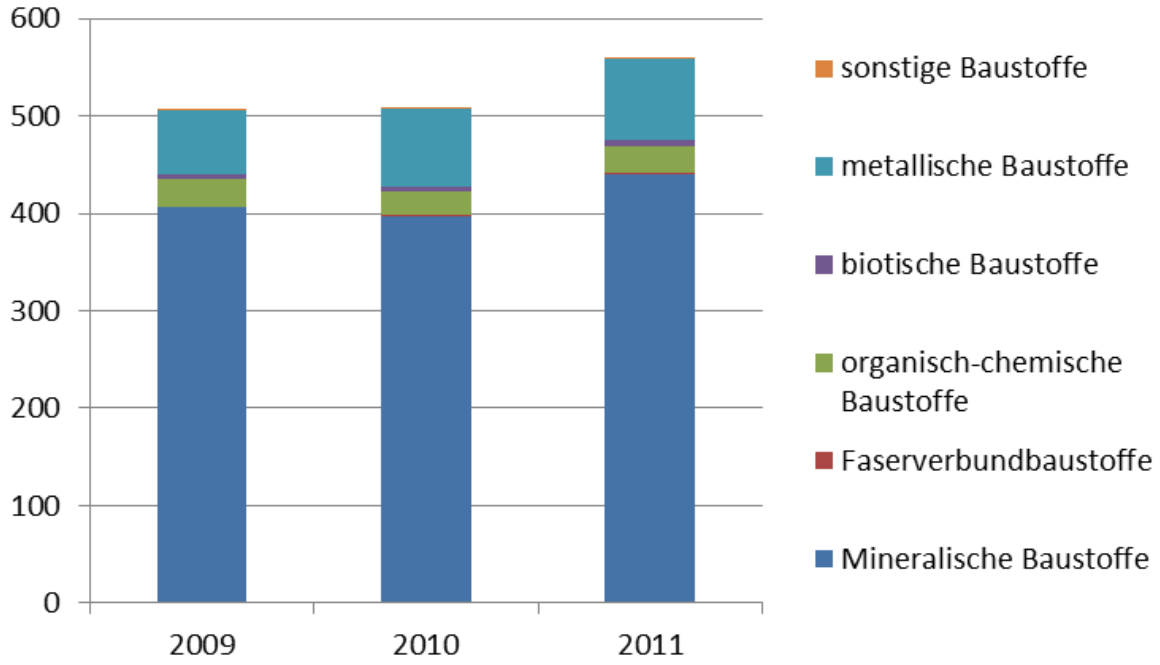
Den Hauptanteil der inländisch produzierten Baustoffe machen die mineralischen Baustoffe aus (siehe auch inländische Extraktion lagerrelevanter Materialien, Abschnitt 4.1), vor allem Sande und Kiese, Zement und Kalk (Abbildung 12 und Abbildung 13). Darüber hinaus treten auch Baumaterialien aus Bitumen und Eisen/Stahl in Erscheinung. Insgesamt machen mineralische Baustoffe nach Darstellung in der GP 9 im Zeitraum 2009 bis 2011 zwischen 400 und 440 Mio. t aus, metallische Bau-

[25] Baumaterialien wurden eindeutig von Kapitalgütern abgegrenzt. Es gibt keine Überlappungen.

[26] mineralische Baustoffe (Naturstein, Kiese/Sande/Splitt/Gesteinsmehle/Aschen, Zement, Kalk, Gips, Ton/Keramik/Ziegel, Glas, Dämmstoffe, Fasern); Faserverbundbaustoffe (mineralische Matrix, Kunststoffmatrix); organische Baustoffe (Kunststoffe, Holz, Bitumen); metallische Baustoffe (Stahl, Aluminium, Kupfer/Zink).

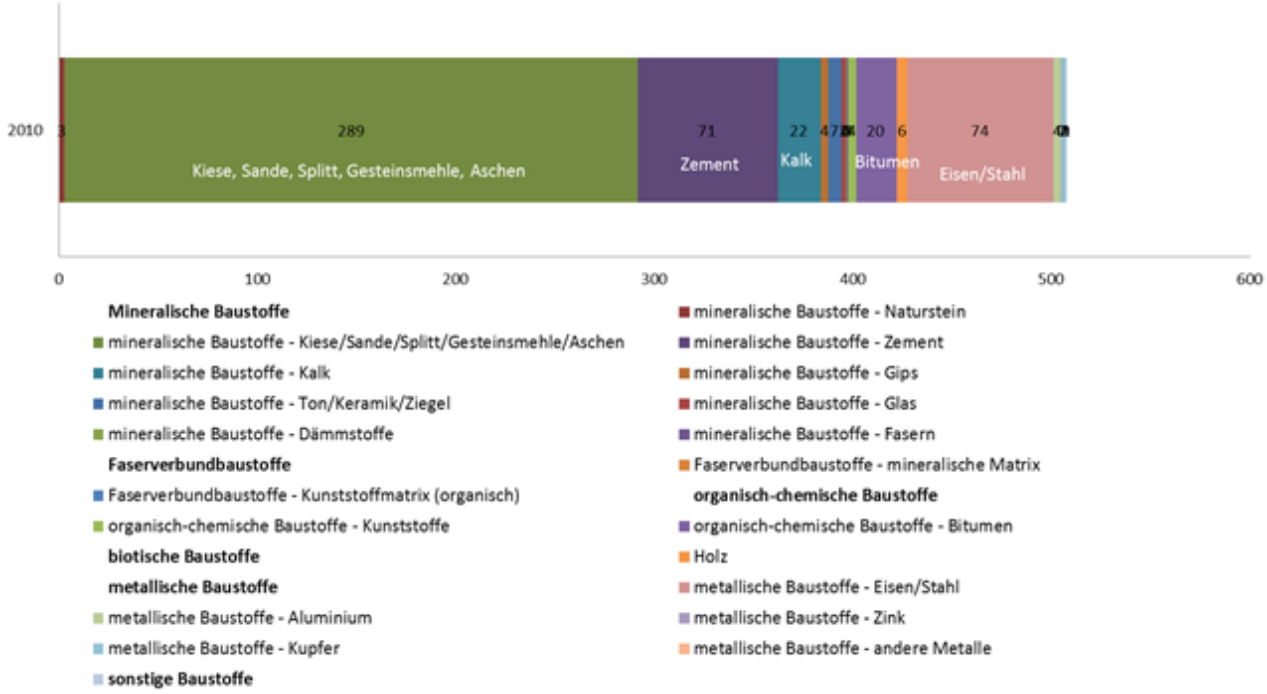
stoffe 65 - 83 Mio. t, organisch-chemische Baustoffe 24 - 28 Mio. t, biotische Baustoffe 5 - 6 Mio. t und Faserverbundbaustoffe ca. 0,2 Mio. t.

Abbildung 12: Produktion von Baumaterialien in Deutschland 2009-2011 nach Materialgruppen



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 13: Produktion von Baumaterialien in Deutschland 2010 nach einzelnen Materialien



Quelle: eigene Darstellung

Auch für Baumaterialien unterliegt die Interpretierbarkeit der dargestellten Ergebnisse der Top-Down Analysen, die unter Verwendung von Daten der Basis der Produktionsstatistik ermittelt wurden,

deutlichen Grenzen. Festzustellen ist eine enorme Bandbreite an Detaillierungsgraden, die sich zwischen einzelnen Gütern und Materialgruppen sehr stark unterscheiden. So werden beispielsweise Güter aus überwiegend metallischen Materialien bis hin zu einzelnen Schließzylindern in Türen differenziert. Güter überwiegend aus Holz werden dagegen in einer Sammelkategorie „Holz in Form von Plättchen oder Schnitzeln aus Nadelholz“ zusammengefasst. Als weiterer Punkt sind bestehende Abschneidekriterien bezüglich der Betriebsgrößen zu nennen, die die Produktionsstatistik bei der Datenerfassung anwendet und die zum Teil zu erheblichen Verfälschungen bzw. Fehlerfassungen führen. Drittens treten Doppelzählungen, die darauf zurückzuführen sind, dass sowohl Zwischenprodukte wie auch Endprodukte geführt werden. Insgesamt grenzt dies die Interpretierbarkeit der Daten erheblich ein (weitere Ausführungen s. Anhang 1.4).

5.1.3 Zusammenfassende Darstellung der Materialflüsse der inländischen Produktion langlebiger Güter für das Basisjahr 2010 - ermittelt auf Grundlage der Produktionsstatistik

Tabelle 2 fasst die Ergebnisse der Analysen auf Basis der Produktionsstatistik zusammen. Wie oben an mehreren Stellen bereits ausgeführt, bleibt abschließend festzuhalten, dass die Aussagekraft der Produktionsstatistik hinsichtlich der Materialströme nach Produktgruppen deutlichen Grenzen unterliegt. Sollen damit differenzierte Aussagen zum Anthropogenen Lager bzw. dessen Veränderung getroffen werden, müssten seitens der amtlichen Statistik Datenlücken geschlossen und einheitliche Koeffizienten zur Konversion von Nicht-Masse-Einheiten in Masse angestrebt werden.

Dem Anspruch, der auf Analyseebene 2 verfolgt wird, genügen die vorliegenden Daten nicht, die auf Grundlage der Produktionsstatistik berechnet wurden. Aus diesem Grunde erfolgte eine Erweiterung der Analysen durch Einbeziehung von Verbandsdaten. Methodisch entfernen sich die Analysen vom reinen Top-Down-Ansatz und betreten eine Meso-Ebene, die zwischen gesamtwirtschaftlichen Betrachtungen und objektbezogenen Hochrechnungsansätzen anzusiedeln sind. Ergebnisse diese Analysen sind in Abschnitt 5.3 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2: Materialflüsse der inländischen Produktion in Deutschland 2010 nach Güter- und Materialgruppen auf Grundlage von Daten aus der Produktionsstatistik [Mio. t]

	Gesamt	Baustoffe	Kapitalgüter	Konsumgüter
Gesamt	**577,9**	**507,9**	**50,7**	**19,3**
Mineralisch	397,5	397,5	0,0	0,0
Metalle	119,9	79,7	27,7	12,5
Kunststoffe	26,7	24,3	2,3	0,1
Holz	11,9	5,6	0,0	6,3
Nicht zugeordnet	21,9	0,9	20,6	0,4

Quelle: Baustoffe nach Destatis Datenbank Genesis; Kapital- und Konsumgüter nach Eurostat Prodcom

5.2 Materialflussbetrachtungen von Importen und Exporten nach Material- und Gütergruppen auf Grundlage der Außenhandelsstatistik

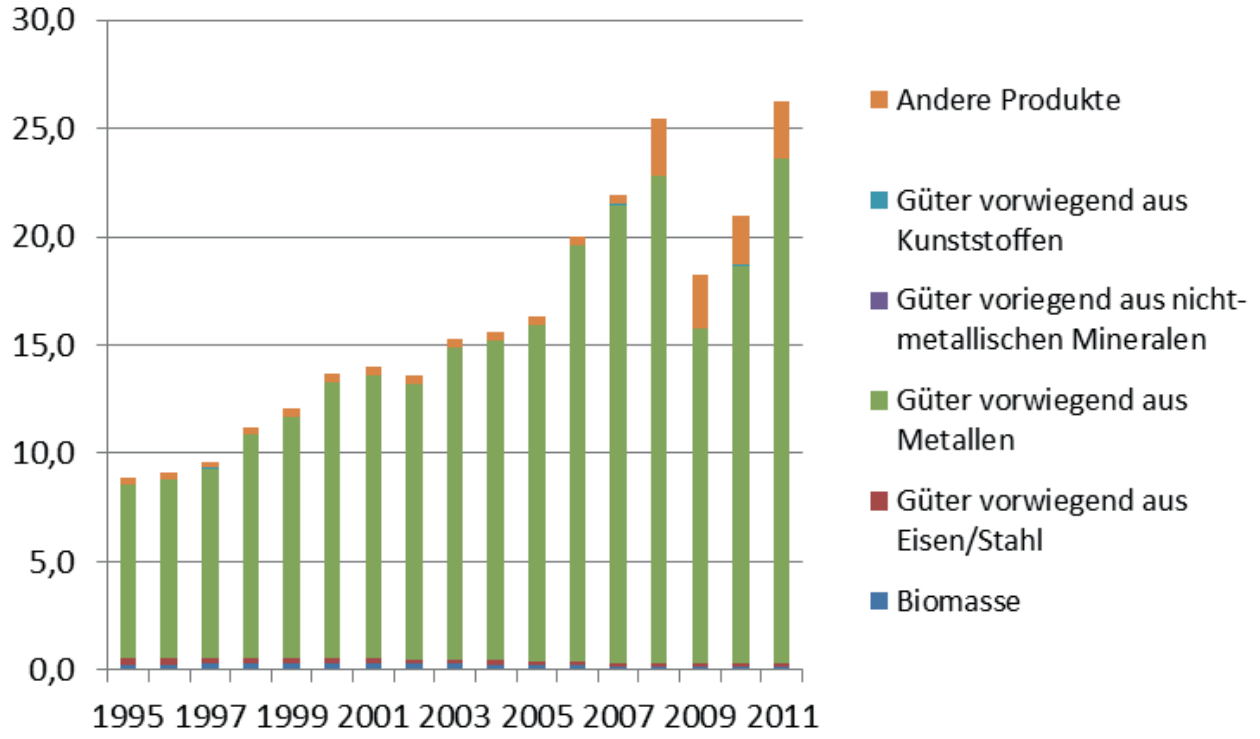
Während auf Analyseschicht 1 lediglich eine Differenzierung nach (Haupt-)Materialgruppen erfolgte, wird in den hier dokumentierten Analysen angestrebt, eine Differenzierung nach Gütergruppen vorzunehmen.

Die Import-Export-Daten wurden aus der Eurostat Datenbank zum internationalen Handel (ComExt) einheitlich in physischen Einheiten (kg) entnommen (auf CN 8-steller Ebene), nach dem Eurostat Leitfaden für den ew-MFA Questionnaire den Gütergruppen zugeordnet und den Eurostat Materialkategorien zugeordnet (s. auch Ausführungen in Abschnitt 0).

5.2.1 Kapitalgüter

Abbildung 14 zeigt die Importe Deutschlands von Kapitalgütern im Zeitraum 1995 bis 2011. Sie enthält Angaben zu den vier in Abbildung 10 aufgeführten Kategorien, und geht noch darüber hinaus („vorwiegend nichtmetallische Mineralien“, „vorwiegend Biomasse“). Diese stärkere Differenzierung ist dem Umstand geschuldet, dass sich unter den Daten der verwendeten Außenhandelsstatistik zum Teil Güter finden, die sich diesen beiden zusätzlichen Kategorien eindeutig zuordnen lassen. Hinsichtlich der Interpretierbarkeit dieser zusätzlichen Differenzierung gelten dieselben Einschränkungen, die bereits in Bezug auf Abbildung 10 oben ausgeführt wurden.

Abbildung 14: Importe von Kapitalgütern nach Materialgruppen, Deutschland 1995-2011 [Mio. t]



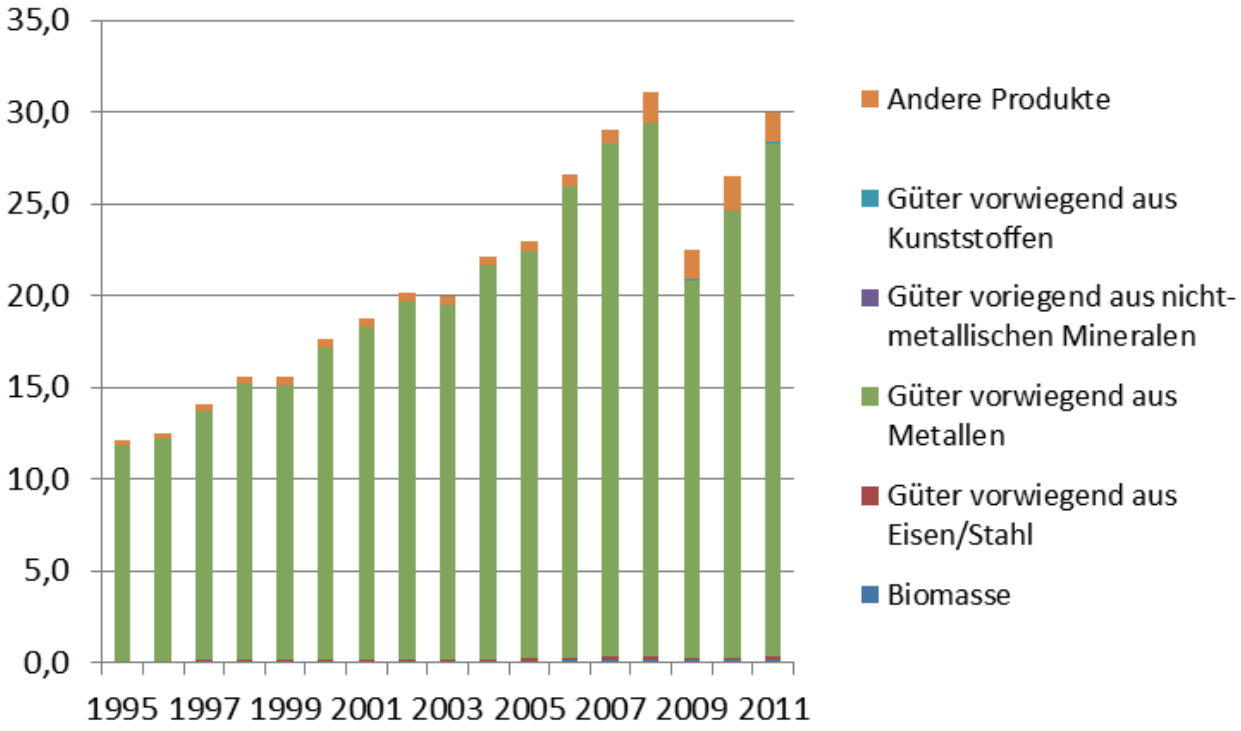
Quelle: eigene Darstellung

Die in Abbildung 14 abgebildeten Importe von Kapitalgütern zeigen einen deutlichen Anstieg davon betroffener Materialflüsse im dargestellten Zeitraum. Ausgehend von 9 Mio. t im Jahr 1995 ist ein Anstieg auf ca. 26 Mio. t im Jahr 2011 zu verzeichnen. 2011 liegen die dargestellten Materialimporte damit nahezu in der Größenordnung der Hälfte des inländischen Produktionsvolumens (nach einem Anteil von etwa einem Viertel im Jahr 1995). Importierte Kapitalgüter bestehen zum überwiegenden

Teil aus metallischen Materialien. Außer Metallen fallen lediglich die komplexen, nicht weiter klassifizierbaren „anderen“ Produkte ins Gewicht, mit größeren Anteilen um 10 % ab 2008.

Die Dynamik der Materialströme der Exporte sowie deren Differenzierung nach materialgruppen zeigen sehr ähnliche Ausprägungen, wie sie auch bei den Importen zu beobachten sind (Abbildung 15). Im dargestellten Zeitraum stiegen die Materialflüsse der exportierten Kapitalgüter von ca. 12 Mio. t im Jahr 1995 auf annähernd 30 Mio. t im Jahr 2011 an. Sie erreichten damit mehr als die Hälfte des inländischen Produktionsvolumens (nach einem Anteil von etwa einem Viertel im Jahr 1995). Exportierte Kapitalgüter bestehen ebenfalls zum überwiegenden Teil aus metallischen Materialien. Außer Metallen fallen auch hier lediglich die nicht weiter klassifizierbaren „anderen“ Produkte ins Gewicht, mit zunehmendem Anteil um 6 % ab 2008.

Abbildung 15: Exporte von Kapitalgütern nach Materialgruppen, Deutschland 1995-2011 [Mio. t]



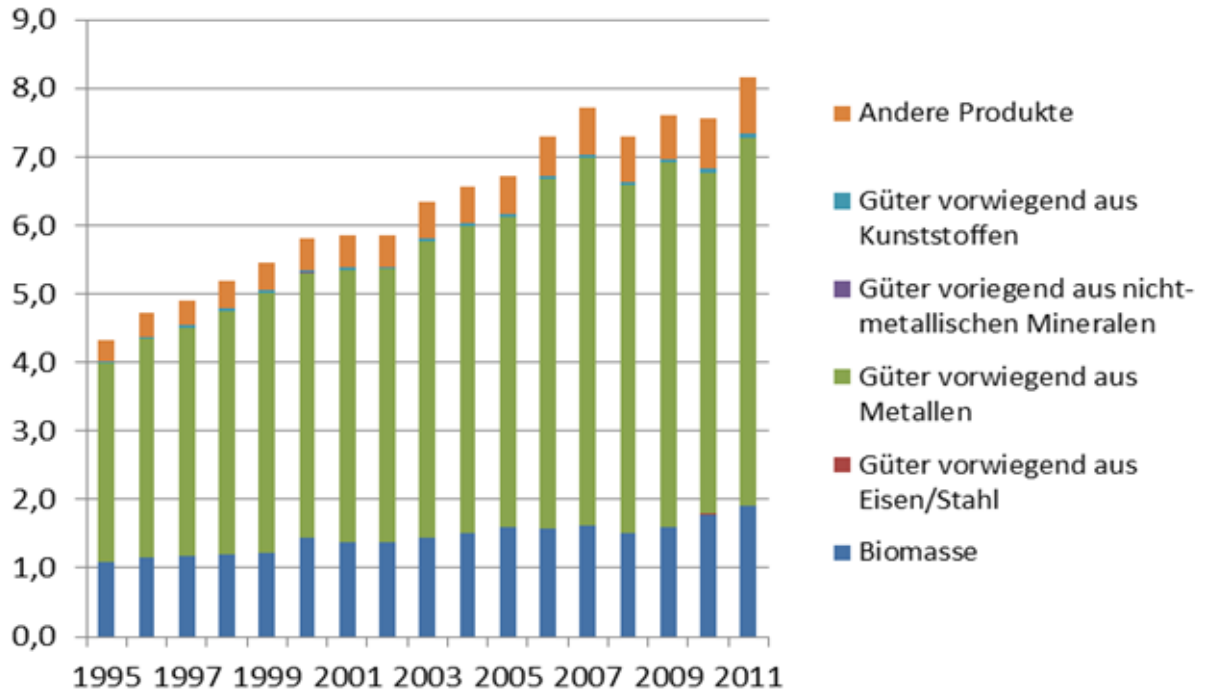
Quelle: eigene Darstellung

Sowohl die Importe als auch die Exporte Deutschlands stiegen seit Mitte der 90er Jahre deutlich an, wobei über den gesamten Zeitraum ein physischer Netto-Export stattfand.

5.2.2 Langlebige Konsumgüter

Die Importe an Materialien, die in Konsumgüter gebunden sind, stiegen im Zeitraum 1995 bis 2011 von ca. 4,3 Mio. t im Jahr 1995 auf ca. 8,1 Mio. t im Jahr 2011 an (Abbildung 16). Das Importvolumen 2011 lag damit bei 42 % des inländischen Produktionsvolumens (nach einem Anteil von 30 % im Jahr 1995). Importierte langlebige Konsumgüter bestehen zum größeren Teil überwiegend aus metallischen Materialien, deren Anteil von 66 % bis 70 % variierte. Aber wie bei der inländischen Produktion nehmen auch Güter überwiegend aus Biomasse einen hohen Anteil von 21 % bis 25 % ein – mit leicht rückläufiger Tendenz. Die Anteile der weiter klassifizierbaren „anderen“ Produkte fallen mit 7 % bis 10 % etwas stärker ins Gewicht, als dies bei der inländischen Produktion der Fall ist.

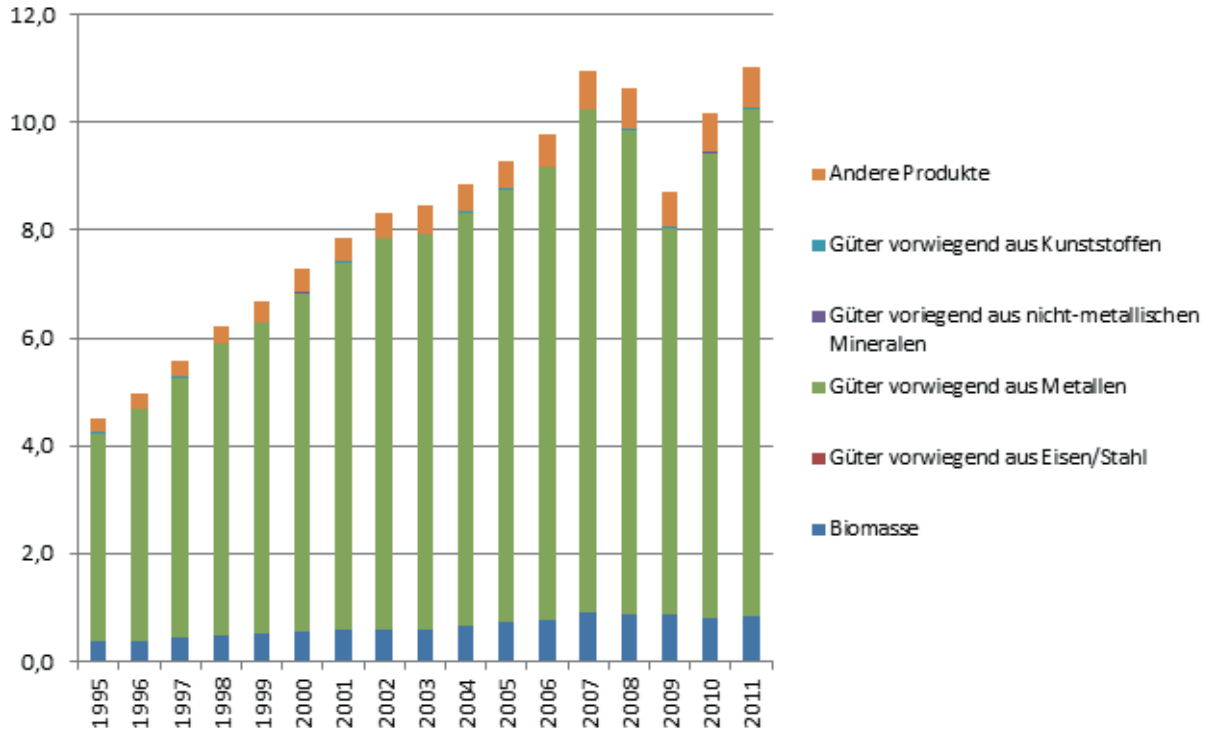
Abbildung 16: Importe von langlebigen Konsumgütern nach Materialgruppen (1995-2011) [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

Die Exporte an Materialien in langlebigen Konsumgütern stiegen von ca. 4,5 Mio. t im Jahr 1995 auf ca. 11 Mio. t im Jahr 2011 an (Abbildung 17). Das Exportvolumen 2011 lag damit bei knapp 57 % des inländischen Produktionsvolumens (nach einem Anteil von 31 % in 1995). Exportierte langlebige Konsumgüter bestehen etwa zu 83 - 88 % aus metallischen Materialien. Wie bei der inländischen Produktion nehmen auch Materialien aus Biomasse einen signifikanten Anteil von 7 - 10 % ein. Außerdem fallen lediglich die komplexen, nicht weiter klassifizierbaren „anderen“ Produkte ins Gewicht, mit zunehmendem Anteil von ca. 5 % auf ca. 7 % im Jahr 2011.

Abbildung 17: Exporte von langlebigen Konsumgütern nach Materialgruppen (1995-2011) [Mio. t]

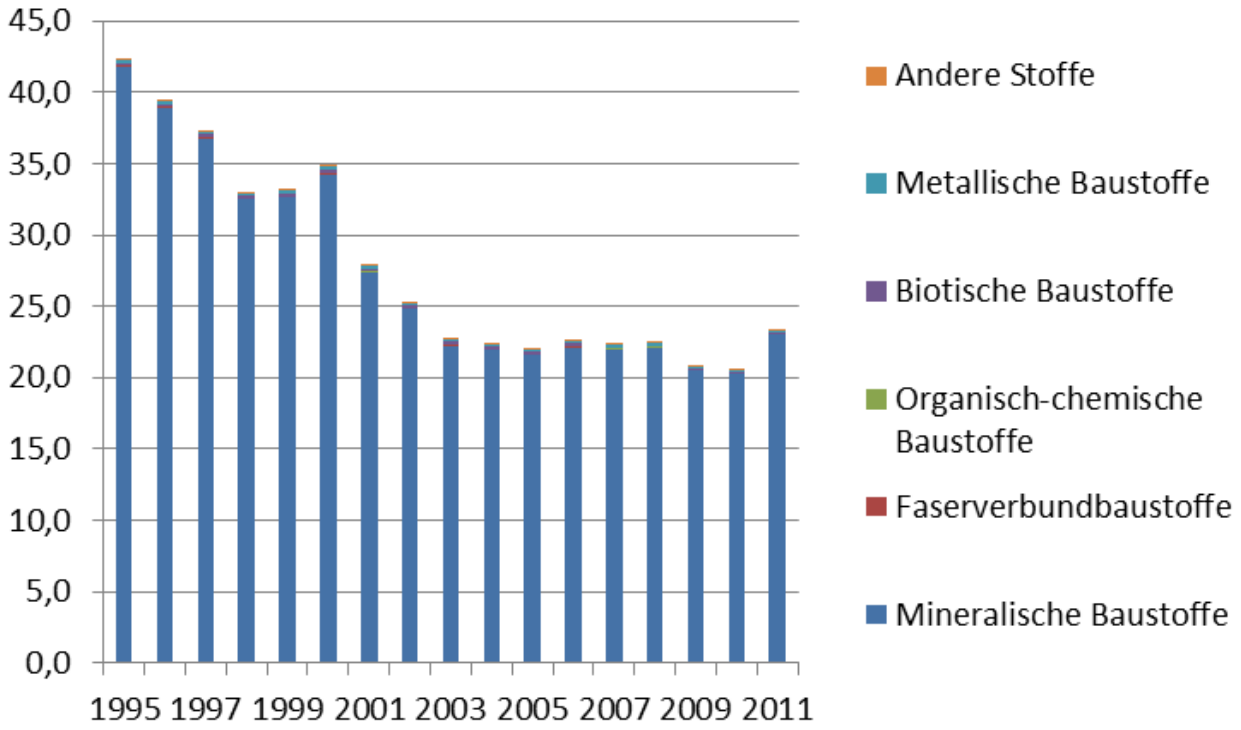


Quelle: eigene Darstellung

5.2.3 Baustoffe

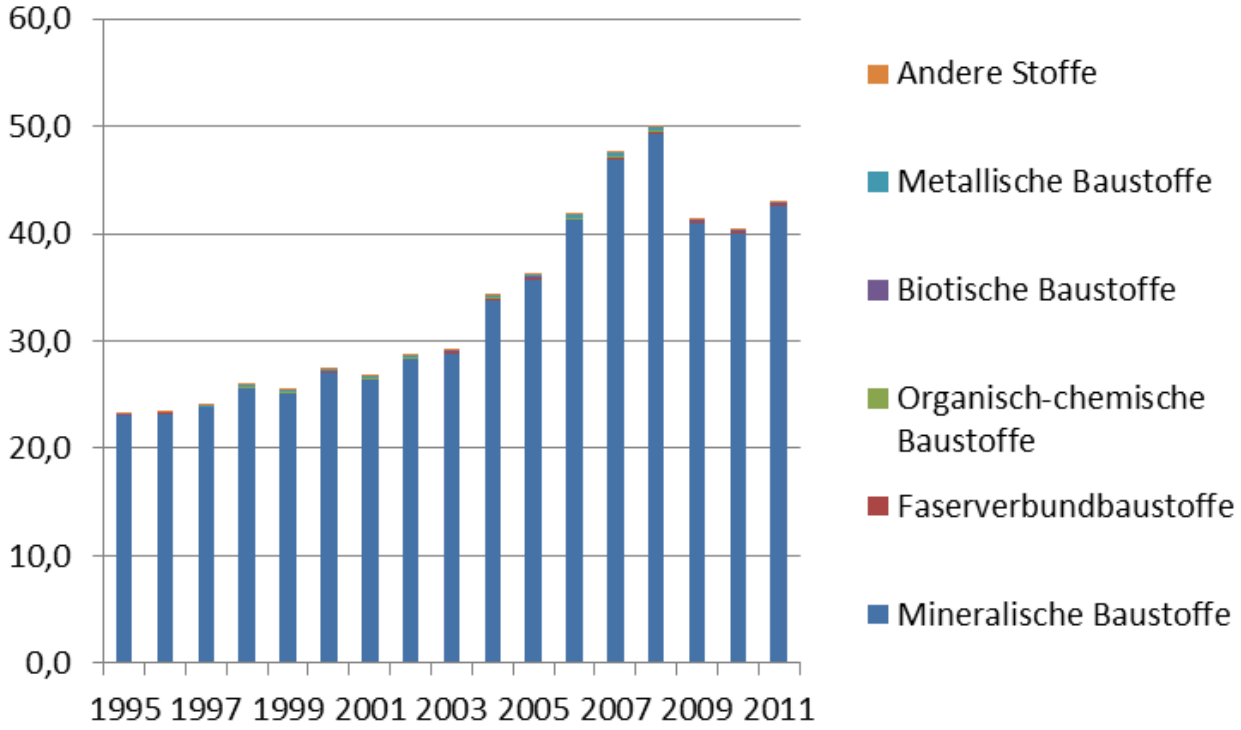
Importierte (Abbildung 18) wie exportierte (Abbildung 19) Baumaterialien Deutschlands bestehen ganz überwiegend aus mineralischen Stoffen; die anderen Gruppen (wie für die inländische Produktion) sind zwar präsent, quantitativ aber unbedeutend. Der zeitliche Verlauf ist für Einfuhr und Ausfuhr sehr verschieden. Während die Importe von einem relativ hohen Niveau im Jahr 1995 von ca. 40 Mio. t bis auf ein Niveau um ca. 20 Mio. t in der letzten Dekade absinken, stiegen die Exporte von ca. 20 Mio. t im Jahr 1995 auf bis zu 50 Mio. t im Jahr 2008 an und lagen in den letzten Jahren bei ca. 40 Mio. t. Deutschland wurde somit im Zeitraum 1995 bis 2011 vom Netto-Importeur zum Netto-Exporteur von Baumaterialien (ab 2002). Im Vergleich zur inländischen Extraktion und Produktion nimmt der Außenhandel mit Baumaterialien ein relativ geringes Ausmaß an.

Abbildung 18: Importe von Baumaterialien nach Materialgruppen, 1995-2011 [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 19: Exporte von Baumaterialien nach Materialgruppen, 1995-2011 [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

5.2.4 Zusammenfassende Darstellung der Materialflüsse der Importe und Exporte langlebiger Güter für das Basisjahr 2010 differenziert nach Material- und Gütergruppen - ermittelt auf Grundlage der Außenhandelsstatistik

Import-Export-Daten wurden aus der Eurostat Datenbank zum internationalen Handel (ComExt) entnommen und in Orientierung an den Eurostat Leitfaden für den ew-MFA Questionnaire den Gütergruppen zugeordnet (s. o.). Neben den unterschiedenen Gütergruppen wurden Rohstoffe und Halbwaren betrachtet. Die Zuordnungen diesen beiden „Gütergruppen“ basierten ebenfalls auf Eurostat, wobei die Lagerrelevanz durch eigene Einschätzung erhalten wurde. Eine Einschätzung der lagerrelevanten Verwendung von Rohöl erfolgte nach Angaben von C.A.R.M.E.N e.V., wonach Deutschland im Jahre 2010 eine Menge an Mineralöl von ca. 106 Mio. t verbrauchte. „Davon werden hierzulande jährlich nur ca. 15 % des Mineralöls (weltweit nur ca. 10 % des gesamten Erdölverbrauchs) von der chemischen Industrie stofflich genutzt. Das bedeutet, in Deutschland bestünde derzeit ein Potenzial von 16 Mio. t Erdöl, die für die stoffliche Nutzung in der chemischen Industrie gebraucht und theoretisch durch nachwachsende Rohstoffe ersetzt werden müssten.“ Zu ermitteln war darüber hinaus der Anteil lagerrelevanter Kunststoffe aus Erdöl. Nach der Consultic-Studie (2011) entfielen 2010 in Deutschland ca. 70 % des Kunststoffverbrauchs auf lagerrelevante Anteile (Bau, Autobau, Elektronik/Elektrik, Möbel etc.). Hieraus ergaben sich für 2010 ca. 5 Mio. t Kunststoffe für den inländischen lagerrelevanten Verbrauch. Dies entspricht in etwa der Menge von 6,3 Mio. t, die als Inputfluss ermittelt wurde, und der Menge von ca. 6,8 Mio. t Kunststoffverbrauch in 2011 ohne Verpackungen nach der Consultic-Studie.

Tabelle 3: Materialflüsse der Importe und Exporte in Deutschland 2010, differenziert nach Güter- und Materialgruppen auf Grundlage von Daten der Eurostat-Datenbank zum internationalen Handel (ComExt) [Mio. t]

	Baustoffe		Kapitalgüter		Konsumgüter		Rohstoffe und Halbwaren	
	Import	Export	Import	Export	Import	Export	Import	Export
Gesamt	**20,5**	**40,4**	**20,9**	**26,5**	**7,6**	**10,2**	**136,4**	**96,6**
Mineralisch	20,2	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	16,3
Metalle	0,1	0,1	18,5	24,5	5,0	8,6	95,2	51,1
Kunststoffe	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	19,4	14,9
Holz	0,1	0,1	0,1	0,2	1,8	0,8	11,6	13,5
Nicht zugeordnet	0,1	0,2	2,3	1,8	0,7	0,7	2,7	0,8

5.3 Inputflüsse in den Güterbestand Deutschlands – differenzierte Abschätzung unter Nutzung verschiedener statistischer Quellen und Verbandsdaten (Top-Down)

In Abschnitt 5.1.3 wurde zusammenfasend auf die begrenzte Interpretierbarkeit der Daten hingewiesen, die unter Nutzung der Produktionsstatistik gewonnen werden können. Auch wurde auf erweiterte Analysen hingewiesen, die robustere Aussagen zu den Inputflüssen in das Anthropogene Lager zum Ziel haben, dabei methodisch den reinen Top-Down-Ansatz ausweiten und gesamtwirtschaftliche Daten mit Verbandsdaten kombinieren – methodisch damit auf einer Meso-Ebene zwischen gesamtwirtschaftlichen Betrachtungen und objektbezogenen Hochrechnungsansätzen angesiedelt sind. Die Ergebnisse hieraus werden in diesem Abschnitt dargestellt (Abschnitt 5.3.1) und diskutiert (Abschnitt 5.3.2).

5.3.1 Abschätzung der Inputflüsse in den Güterbestand Deutschlands im Jahre 2010

Neben den Daten der UGR sowie der Außenhandelsstatistik werden insbesondere folgende Quellen herangezogen[27]:

- Importe/Exporte: Außenhandelsstatistik ComExt (Eurostat 2011)
- Inländische Produktion: Produktionsstatistik (Destatis 2012h)
- Mineralische Materialien: BBS (2013) + DERA (2011)
- Stahl: WV Stahl/BFS (Konstruktionsstahl) + ISB (Bewehrungsstahl, Daten für 2007)
- Kupfer: Deutsches Kupferinstitut e.V.
- Zink: Initiative Zink
- Metalle: Metallstatistik (WVM 2010)
- Prozessbedingte Emissionen (Produktion mineralischer und metallischer Produkte): National Inventory Report (UBA 2013).

Gesucht wurde nach den „Inputflüssen in den Güterbestand Deutschlands“, also die Flüsse, die im Betrachtungsjahr zusätzlich in den Güterbestand eingehen. Die Betrachtungen fokussieren auf den Materialinput in Form von Primärstoffen. Sekundärrohstoffkreisläufe innerhalb Deutschlands sind hier nicht mitberücksichtigt. Sekundärstoffe, die bereits in Gütern gebunden sind, die in das Lager z. B. durch Güterimporte eingebracht werden, werden nicht explizit ausgewiesen.

Die hieraus resultierenden ermittelten Materialflüsse für das Jahr 2010 zeigen nachfolgende Tabellen. Für die Materialgruppe „Mineralisch“ (Baustoffe) lassen die Daten eine Differenzierung nach den Hauptgütergruppen (Bauwerke, Kapitalgüte, Konsumgüter) zu. Weiter können die mineralischen Materialflüsse innerhalb der Bauwerke mit vorliegenden Daten nach Hochbau und Tiefbau unterschieden werden (Tabelle 4). Für die weiteren Materialgruppen beschränkt sich die Differenzierung auf die Hauptgütergruppen (Tabelle 5).

[27] Siehe auch zugehörige elektronische Datendokumentation: „Datendokumentation Top-Down.xlsx“ in Verbindung mit „Datendokumentation - Quellen.xlsx“

Tabelle 4: Inputflüsse in Güter des Anthropogenen Lagers Deutschlands 2010 (Mineralisch) – Top-Down / Meso-Ebene [Mio. t]

	Gesamt	Bauwerke			Kapitalgüter	Konsumgüter
		Gesamt	Hochbau	Tiefbau		
Mineralisch gesamt	**492,4**	**492,4**	**242,4**	**250,0**	- [28]	- [28]
Kiese und Sande	220,7	220,7	98,5	122,2		
Gebrochene Natursteine	217,4	217,4	111,4	106,1		
Kalk und Mergel	46,8	46,8	25,1	21,7		
Lehm und Ton für Ziegelindustrie	7,5	7,5	7,5	0,0		

Tabelle 5: Inputflüsse[29] in Güter des Anthropogenen Lagers Deutschlands 2010 (Metalle, Kunststoffe, Holz und nicht zuordenbar) – Top-Down differenziert [Mio. t]

	Gesamt	Bauwerke	Kapitalgüter	Konsumgüter
Metalle gesamt	**38,6**	**7,9**	**21,8**	**8,9**
Stahl	6,4	6,0	0,3	0,0
Kupfer	1,0	1,0		
Aluminium	0,5	0,5		
Zink	0,4	0,4		
Nicht zugeordnet	30,3		21,4	8,9
Kunststoffe gesamt	**6,3**	**3,9**	**2,3**	**0,1**
Styropor/Styrodur	0,2	0,2		
PVC	0,2	0,2		
PE	0,3	0,3		
Acryl				
Faserverbundkunststoff	0,1	0,1		
Nicht zugeordnet	5,5	3,1	2,3	0,1
Holz gesamt	**12,9**	**5,6**	**0,0**	**7,3**
Nicht zuordenbar	**21,4**	**-0,1**	**21,0**	**0,4**

[28] unbedeutend, im gegebenen Zahlenformat nicht darstellbar

[29] Inputflüsse für Metalle, Kunststoffe und sonstige Materialien enthalten unbestimmte Anteile an Sekundärmaterialien, bei Holz wurde nur der Primärrohstoff durch Holzeinschlag gezählt.

5.3.2 Plausibilitätsbetrachtungen

Bei der in diesem Abschnitt geführten Diskussion werden die ermittelten Inputflüsse in das Lager (Abschnitt 5.3.1) verschiedenen Kontrollgrößen gegenübergestellt, die basierend auf den MFA-Analysen der vorangegangenen Abschnitte gebildet werden, mit dem Ziel, Aussagen zur Plausibilität der ermittelten Inputströme in das Lager treffen zu können. Bei der Gegenüberstellung dienen „Inputflüsse in Güter“ als Referenzpunkt. Dieses Vorgehen wird gewählt, da davon ausgegangen wird, dass bei der Ermittlung dieser Größe durch Kombination der verwendeten Datenquellen Unsicherheiten minimiert werden. Beispielsweise werden die Unzulänglichkeiten der UGR, die sich aus der Anwendung von Abschneidekriterien ergeben, durch ergänzende Schätzungen aus vorliegenden Verbandsdaten ergänzt. Vorliegenden Mehrfachzählungen wird versucht zu begegnen, indem Verbandsdaten mit herangezogen werden, die sich stärker an den Endprodukten orientieren. Tabelle 6 stellt die gegenübergestellten Größen als Übersicht dar.

Die „Kontrollgröße Input“ berechnet sich vereinfacht wie folgt:

\+ Inländische Extraktion

\+ Import

\- Export

Folgende Überlegungen sind hierbei implizit enthalten:

\+ inländische Extraktion, die in die Produktion von Gütern fließt

\+ Anteil am Import von Gütern, die in Deutschland verbleiben

\+ Anteil am Import von Materialien zur Produktion inländisch verbleibender Güter

\- Anteil am Import von Gütern, die nicht in Deutschland verbleiben (= Export)

\- Anteil am Import von Materialien, die nicht in Deutschland verbleiben (= Export)

Tabelle 6: Top-Down-MFA-Daten im Überblick [Mio. t]

	Inländische Extraktion	Importe	Exporte	Inländische Produktion	Inputflüsse in Güter	Kontroll-größe Input
	1	2	3	4	5	6
Gesamt	**523,1**	**185,4**	**173,6**	**577,9**	**571,6**	**534,9**
Minerale	505,2	27,7	56,3	397,5	492,4	476,6
Metalle	0,4	118,8	84,3	119,9	38,6	34,9
Kunststoffe	0,0	19,5	15,0	26,7	6,3	4,5
Holz	17,5	13,6	14,5	11,9	12,9	16,6
Nicht zugeordnet	0,0	5,8	3,5	21,9	21,4	2,2

Spalte 1: entspricht der Tabelle 1 (Abschnitt 4.2.3), Spalte 1
Spalten 2 und 3 entsprechen Tabelle 1 (Abschnitt 4.2.3), Spalten 2 und 5
Spalte 4 entspricht Summenspalte der Tabelle 2 (Abschnitt 0)
Spalte 5 entspricht Summenwerten aus Tabelle 4 und Tabelle 5, Abschnitt 5.3.1
Spalte 6: [Wert Sp. 1]+[Wert Sp. 2]-[Wert Sp. 3]; entspricht dem DMC Indikator nach ew-MFA (Domestic Material Consumption)

Tabelle 7 fasst die Plausibilitätsüberlegungen zusammen. Das Fazit des Plausibilitätsvergleichs kann wie folgt gezogen werden:

Tabelle 7: Plausibilitätsbetrachtungen zu „Inputflüssen in Güter“

Materialstrom	Vergleich der „Input-flüsse in Güter“ mit…	Abweichung von „Inputflüsse in Güter“ mit …[Vergleichswert]; Interpretation
Minerale	inländischer Extraktion	Leicht negative Abweichung (-2,5 %);
		Interpretation: plausibel; da die Inputflüsse hier von inländischer Extraktion dominiert sind
	Inländischer Produktion von Gütern	Abweichung + 24 %;
		Interpretation: Produktionsstatistik berücksichtigt keine Kleinbetriebe, v.a. bei Sand und Kies
	Kontrollgröße	Leicht positive Abweichung (+3 %);
		Interpretation: Differenz müsste tendenziell größer sein, da in Kontrollgröße Sekundärrohstoffkreislauf nicht berücksichtigt ist
Metalle	Inländische Produktion	Abweichung um -310 %;
		Interpretation: Doppelzählungen Produktionsstatistik
	Kontrollgröße Input	Abweichung + 11 %;
		Interpretation: Einfluss des Sekundärrohstoffkreislauf
Kunststoffe	Inländische Produktion	Abweichung um -420 %;
		Interpretation: Doppelzählungen der Produktionsstatistik
	Kontrollgröße Input	Abweichung + 39 %;
		Interpretation: Sekundärrohstoffkreislauf
Holz	Inländischer Produktion	Ähnliche Größenordnung
		Interpretation: nicht erforderlich
	Kontrollgröße Input	Abweichung um – 22 %
		Interpretation: Inländische Extraktion ist Rohholz, daher Verluste bei der Güterherstellung
Nicht zugeordnet	nicht interpretierbar	

Für alle Abweichungen der herangezogenen Vergleichsgrößen gegenüber der Referenzgröße „Input-flüsse in das Lager“ liefern die Interpretationen Erklärungen. Diese sind zum Teil auf Besonderheiten und Unzulänglichkeiten der Vergleichsgrößen in Bezug auf die Abbildungsaufgabe zurückzuführen, zum Teil auch auf die „Unzulänglichkeit“ der Referenzgröße „Inputflüsse in das Lager“, die aus der Nichtbeachtung von Sekundärmaterialströmen im Lager herrühren. Unplausibilitäten der Ausprägungen der Referenzgröße konnten nicht festgestellt werden. In Verbindung der erweiterten Mög-

lichkeiten der Differenzierung der Inputflüsse gegenüber den Vergleichsgrößen wurde entschieden, diese als Ausgangspunkt zur Beschreibung der lagerinternen Flüsse auf Analyseebene 2 weiter zu betrachten und durch abfallwirtschaftlich begründete Flüsse von Sekundärrohstoffen innerhalb des Lagers zu ergänzen.

5.4 Abfallwirtschaftlich geprägte Input-, Output- und lagerinterne Materialflüsse

Abschnitt 4.2.2 enthält Ausführungen zu abfallwirtschaftlich geprägten Input- und Outputströmen des Anthropogenen Lagers (Analyseschicht 1). U. a. werden dort Angaben zu Abfallimporten und Abfallexporten gemacht. Hinsichtlich der inhaltlichen Untersetzung der dort getroffenen Angaben wird auf die nachfolgenden Ausführungen dieses Kapitels verwiesen. Dies betrifft insbesondere die Ausführungen in Abschnitt 5.4.1., die zur Datenerhebung und Interpretation der Materialflüsse von Abfallimporten und Abfallexporten weitergehende Informationen bereithalten und ergänzend zu Abschnitt 4.2.2 zeitliche Entwicklungen von Abfallimporten und Abfallexporten mit betrachten. Abschnitt 5.4.2 widmet sich den lagerinternen abfallwirtschaftlichen Materialströmen, die Hauptgegenstand der abfallwirtschaftlichen Untersuchung der Analyseschicht 2 sind.

5.4.1 Materialflüsse der Abfallimporte und -exporte

Die durch Abfallimporte- und -exporte entstehenden Materialströme bedürfen einer separaten Betrachtung, da die Daten der UGR unter der Rubrik Abfälle hierzu nur einen Teilausschnitt abbilden. Auch die Abfallstatistik von Destatis ist diesbezüglich unvollständig.

Einen Zugang zu abfallwirtschaftlichen Mengenströmen ergibt sich aus den in der Abfallverbringungsverordnung geregelten Zustimmungspflichten, die entsprechende Datendokumentationen zu notifizierungs- und nicht notifizierungspflichtigen Abfällen nach sich ziehen. Auf dieser Grundlage ist eine Gesamtmengenermittlung möglich. Das Umweltbundesamt als Deutschlands Überwachungsstelle für die Abfallverbringung führt für beide Kategorien entsprechende statistische Nachweise.

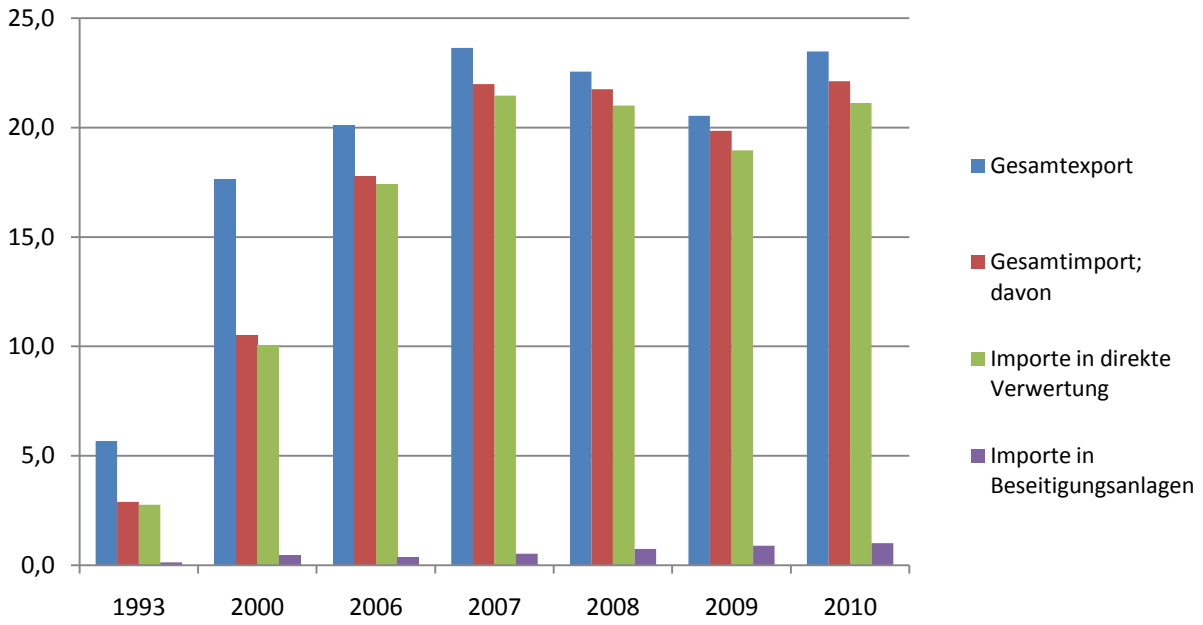
Die Daten werden anhand von Zoll-Codes bzw. Abfallkategorien nach EG-Abfallstatistikverordnung gruppiert. Diese Gruppierung unterscheidet sich von den in der Abfallstatistik verwendeten Gruppierungen nach EAV. Dies erschwert die Koppelung der Daten mit weiteren Quellen, wie z. B. der ABANDA-Datenbank, welche der Systematik des EAV folgen und der Angaben zur Zusammensetzung der Abfallfraktionen entnommen werden können. Dies hat zur Folge, dass bei der Beschreibung der Materialzusammensetzung der Abfallmengen des Im- und Exports (im Vergleich zu den Abfallgruppierungen nach EAV) deutlich pauschalere Zuweisungen zu verschiedenen Materialkategorien vorgenommen werden mussten.

Ergebnisse dieser Analysen für das Basisjahr 2010 sind in Abschnitt 4.2.2, Tabelle 1, aufgeführt, da sie inhaltliche Ergänzungen zur Analyseschicht 1 darstellen. Ergänzend hierzu reflektieren die nachfolgenden Absätze und Abbildungen die Entwicklung dieser grenzüberschreitenden Abfallwirtschaftsströme der zurückliegenden Jahre.

Die Bedeutung von Abfallim- und -exporten hat in den zurückliegenden 25 Jahren zugenommen. Bis in die 90-er Jahre hinein waren die Anteile der Abfallim- und -exporten am lagerrelevanten abfallwirtschaftlichen Gesamtstrom gering. 1993 lagen die Anteile der Abfallimporte bei 2,4 %, die Abfallexporte bei 4,8 %. Bis 2006 stieg der Anteil des Imports auf 7 %, der des Exports auf über 9 % an. Im Folgejahr wurden rund 8 % Anteil der Abfallimporte und rund 10 % Anteil der Abfallexporte erreicht, dieses Niveau wird seither in etwa gehalten.

Bei den Importen ist die Steigerungen vor allem auf eine Zunahme importierter zustimmungspflichtiger Abfälle zurückzuführen, während sich Importe nicht zustimmungspflichtiger, also ungefährlicher und meist recycelbarer Abfälle über die letzte Jahre jeweils etwa auf konstanter Höhe bewegten. Dies ist ein Hinweis auf die in Deutschland vorgehaltenen Kapazitäten zum umweltsicheren Umgang mit Abfällen, die in anderen Ländern noch fehlen oder dort erst im Aufbau begriffen sind. Unter den unterschiedlichen Entsorgungswegen schlug der Anstieg der Abfallimporte prozentual vor allem bei der Entsorgung auf Deponien zu Buche. Quantitativ ist dieser Entsorgungsweg gegenüber anderen aber von untergeordneter Bedeutung (Abbildung 20).

Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung des Verhältnisses von Abfallimporten und -exporten insgesamt (d.h. nicht lagerrelevante Materialanteile inkludiert) und des Verbleibs importierter Mengen im Lager [Mio. t]



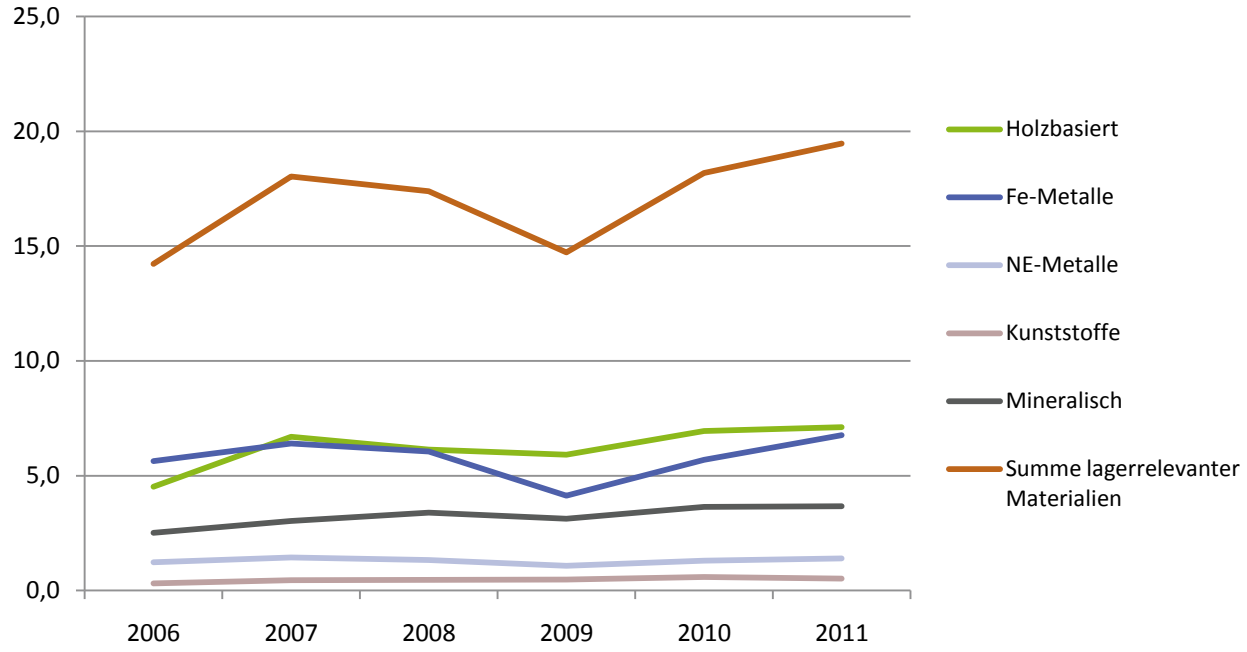
Quelle: eigene Darstellung

Die Mengen zustimmungspflichtiger Abfallexporte gingen leicht zurück. D. h., mehr dieser Materialien werden im Inland behandelt und genutzt, möglicherweise aus Gründen des Näheprinzips und der Kapazitätsauslastung entsprechender Anlagen (z. B. Verbrennungsanlagen). Die Exporte nicht zustimmungspflichtiger, also für eine Verwertung vorgesehener Abfallmaterialien, haben sich dagegen vergrößert. Damit werden wachsende Mengen an Material, die stofflichen Kreisläufen im Inland dienen könnten, an das Ausland abgegeben. Als Ursache werden niedrigere Verwertungskosten im Ausland und die hohe Regelungsdichte in Deutschland vermutet.

Insgesamt weist Deutschland im gesamten Zeitraum, für den Daten verfügbar sind, einen Abfallexportüberschuss auf. Dieser liegt seit 2006 in der Größenordnung zwischen 3 und 5 Mio. t pro Jahr, bei zuletzt leicht absinkender Tendenz. Der größte Exportüberhang besteht im Bereich der Metalle, die neben den holzbasierten Materialien zugleich aber auch einen wesentlichen Anteil an den Abfallimporten einnehmen. Bei der Materialkategorie Holzbasiert hat sich die Situation Deutschlands von der eines Nettoexporteurs in die eines Nettoimporteurs verkehrt. Wesentlich dafür waren die Entwicklungen im Sektor des Altpapiers.

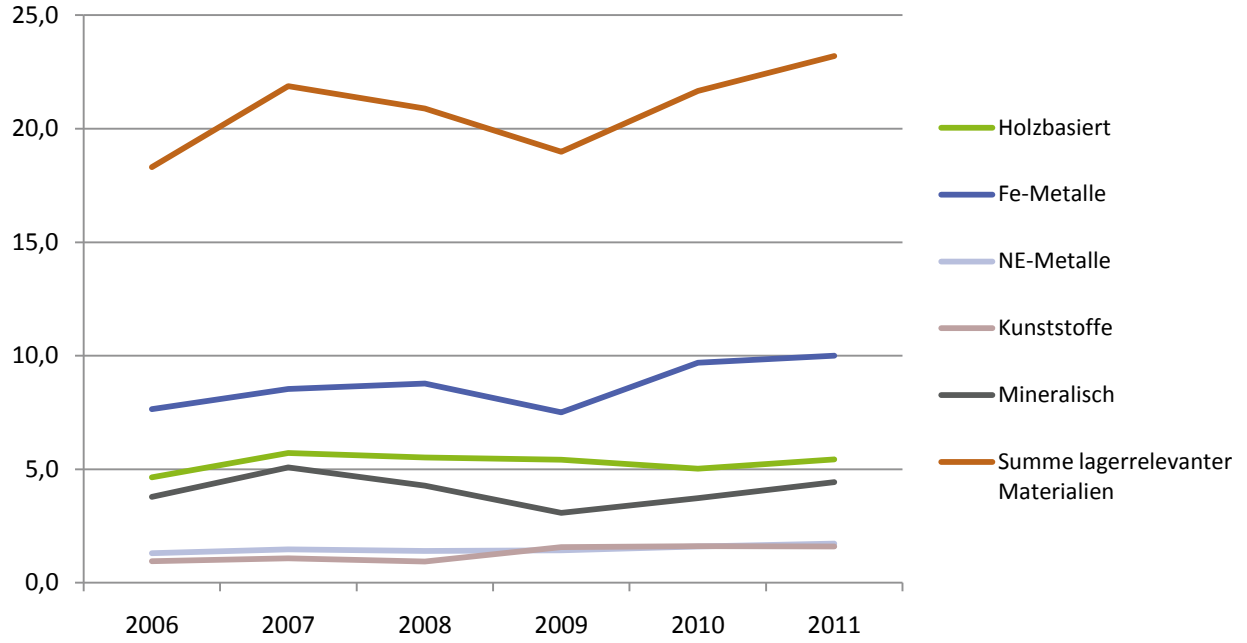
Die nachfolgende Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen die Entwicklung der Import- und Exportmengen lagerrelevanter Abfälle für den Zeitraum 2006 bis 2011.

Abbildung 21: Zeitliche Entwicklung des Imports lagerrelevanter Abfälle in materialdifferenzierter Darstellung [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 22: Zeitliche Entwicklung des Exports lagerrelevanter Abfälle in materialdifferenzierter Darstellung [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 20 stellt für den Zeitraum 1993 bis 2000 die eingeführten Mengen an Abfällen den ausgeführten Mengen gegenüber. Bei den Importen wird weiter nach Art der Entsorgung unterschieden (direkte Verwertung und Entsorgung in Beseitigungsanlagen). Hier werden die Ströme insgesamt dargestellt, also sowohl lagerrelevante Abfälle wie auch nicht lagerrelevante Abfälle.

5.4.2 Abfallwirtschaftlich geprägte lagerrelevante Materialflüsse innerhalb des Lagers

5.4.2.1 Grundsätzliche Anmerkungen zum abfallwirtschaftlichen Datengerüst

Als wesentliche Datengrundlage für die abfallwirtschaftlichen Mengenflussanalysen steht die Destatis Fachserie 19, Reihe 1 zur Verfügung. Von hauptsächlichem Interesse sind dabei Mengenangaben zu den verschiedenen Abfallarten sowie über deren Zuführung zu Abfallentsorgungsanlagen unterschiedlicher Betriebsart und den daraus hervorgehenden Materialströmen.

Datenverfügbarkeit- und Qualität im Zeitverlauf

Die Bildung vergleichbarer Zeitreihen wird durch Veränderungen der bundesdeutschen Abfallstatistik sowie der darin verwendeten Abfallschlüssel im Verlauf der zurückliegenden Jahrzehnte erschwert. Retrospektiv lässt sich eine zentralisierte statistische Erfassung von abfallwirtschaftlichen Daten für das Bundesgebiet bis zum Jahr 1975 feststellen. Bis zur Mitte der 1980er Jahre weisen diese Daten hinsichtlich Qualität und Ausdifferenzierung ein Niveau auf, das sich für den angestrebten Aussagerahmen als relativ ungeeignet erweist. Während sich hier in den Folgejahren Verbesserungen zeigen, tritt dann das Problem häufiger Umschlüsselung und Neuzuordnung der Abfälle zutage. Innerhalb der Periode von 1980 bis 1996, also eines Zeitraumes von 16 Jahren, wurde die statistische Erhebung und Wiedergabe von Daten zur Abfallwirtschaft allein sechs Mal nach einem veränderten Schlüssel (z. B. nach LAGA 1980 und LAGA 1990) vollzogen. Daraus resultieren rein methodisch bedingte Verschiebungen, Verluste oder auch Zuwächse bei Masseangaben, die spätestens in einer materialdifferenzierten Betrachtungsebene nicht mehr nachvollziehbar sind. In Folge der Wiedervereinigung wurden ab 1993 Daten der westdeutschen und der ostdeutschen Bundesländer zusammengeführt. Vor 1993 sind entsprechende Daten nur für Westdeutschland verfügbar. Diese erschwert die Bildung langer Zeitreihen über die 1990er Jahre zurückreichend bzw. machen sie für das gesamte Bundesgebiet nahezu unmöglich.

Ab dem Jahr 1998 wurde der Abfallstatistik die Aufschlüsselung nach damaligem Europäischem Abfallartenkatalog (EAK) zu Grunde gelegt. Erst seit dem Jahr 2002 erfolgt die bis heute gültige Aufschlüsselung der Abfälle nach EAV. Jede Neuordnung führte zu Verschiebungen der dokumentierten Abfallmengen, speziell bezogen auf bestimmte Teilpositionen und Untergruppen. Sogenannte Umschlüsselungshilfen bieten nur begrenzt die Möglichkeit, Passfähigkeit zwischen den unterschiedlich strukturierten Erhebungen herbeizuführen. Vor allem davon betroffen sind die für den Ansatz des MSM besonders betrachtungsrelevanten Kategorien der Siedlungsabfälle, Abfälle aus Produktion und Gewerbe sowie Bau- und Abbruchabfälle. Die mit Einführung des EAV im Jahr 2002 statistisch verursachte Mengenveränderung wird seitens Destatis beispielsweise allein für den Bereich der Abfälle aus Haushalten auf ca. 4,2 Mio. t beziffert.

Seit dem Jahr 2004 findet auch auf die Mengen der Abfälle aus Produktion und Gewerbe eine anlagenbezogene Erfassung statt. Bis dahin wurde aus den Erhebungsdaten nur der Mengenanteil bilanziert, der zur Entsorgung in den Anlagenarten Deponie, Feuerung und Abfallverbrennung anstand. Die anlagenbezogene Erhebung legt allerdings erst die Basis, durch welche auch die stoffliche Materialverwertung detaillierter ermittelbar ist.

Bezogen auf Bau- und Abbruchabfälle bildet 2006 ein zusätzliches Schlüsseljahr. Ab diesem Erfassungsjahr sind die Erhebungen auch für die Untergruppen dieser Abfallkategorie dokumentiert. Dies ermöglicht seitdem auch für diesen Bereich eine genauere Unterscheidbarkeit nach Materialanteilen und lässt damit beispielsweise die Herausnahme von Bodenaushub aus den lagerrelevanten mineralischen Massesträmen zu.

Ab dem Jahr 2009 beinhaltet die Gesamtübersicht der behandelten Abfälle der Fachserie 19 Reihe 1 alle für die Verwertung genutzten Anlagentypen, darunter den Deponiebau sowie Bauschuttaufbereitungs- und Asphaltmischanlagen.

Auftreten von Doppelerfassungen

Die zunehmend anlagendifferenziertere Datenerfassung und -wiedergabe hat eine neue Problemlage befördert. Materialströme, die durch Behandlung aus Abfällen entstehen, sind vielfach noch immer Abfälle, die bei der Weiterbehandlung statistisch erneut erfasst werden können. Infolgedessen sind Doppelerfassungen von Materialströmen nicht auszuschließen. Destatis stellt daher seit 2006 mittels eines Korrekturrechnungsverfahrens zusätzlich eine entsprechend bereinigte Statistik als Abfallbilanz zur Verfügung und versucht dem so zu begegnen. Diese Bilanz lässt jedoch die Materialdifferenzierung und Einordnung des Materialverbleibs nicht in ausreichendem Maße zu.

Besonderer Aufmerksamkeit bedürfen im vorgenannten Zusammenhang die Abfälle der Abfallschlüsselnummer 19 – Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen. Dieser Teil der Abfallstatistik birgt in besonderem Maße die Gefahr einer Doppelzählung von Abfallmengen aufgrund von Behandlungskaskaden. Dem muss in der Auswertung durch Ausschluss bestimmter Mengen Rechnung getragen werden.

Problematik der strikten Abgrenzung „lagerrelevanter" Materialflüsse – speziell im Hinblick auf Reststoffe von Verbrennungsprozessen

Reststoffe aus den Mengenflüssen in die thermische Umwandlung sind unter den Abfallschlüsselnummern 19 01 11 und 19 01 12 (Aschen und Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen) quantifiziert. Diese stellen Rückflüsse in das Anthropogene Lager dar und sind in die Analysen mit einzubeziehen, obgleich sie zum Teil aus nichtlagerrelevanten Materialströmen entstehen. Die Relevanz dieses Stoffstroms als Rohstoffquelle des Anthropogenen Lagers könnte sich zukünftig durch ein nachgeschaltetes Recycling zum Abschöpfen seltener Erden noch weiter erhöhen.

Bedingte Datenkonsistenz zwischen den Ebenen der Abfall-Hauptgruppen nach EAV

Ein weiteres Problem des von Destatis erhältlichen Datenpools sind Konsistenzprobleme bzw. Vollständigkeitslücken innerhalb von Abfallhauptgruppen nach EAV. Diese sind nach Hauptgruppen unterschieden (2-Steller-Ebene) und nach Untergruppen auf mehreren Ebenen weiter differenziert (4-, 6-, 8-Stellerebene). Die Summe der Einzelpositionen einer untergeordneten Ebene entspricht nicht zwingend der Angabe der nächsthöheren Ebene. Die Summe der Einzelwerte kann den angegebenen Gesamtwert der Gruppe unterschreiten, aber auch überschreiten. Eindeutige Tendenzen sind nicht erkennbar. Eine tiefergehende Auseinandersetzung mit diesen Phänomenen inkl. entsprechender Gespräche mit den Ansprechpartnern im statistischen Bundesamt führte zu keiner abschließenden Bewertung der Ursachen. Zum Teil bedingen sich die Unterschiede durch die Nichtveröffentlichung von Mengenangaben aus Gründen von Geheimhaltungspflichten. Da die bei Destatis zusammengeführten Daten zur Abfallwirtschaft zum Großteil auf Meldedaten über die Ein- und Ausgänge an unternehmerisch betriebenen Abfallbehandlungsanlagen fußen, sind wettbewerbsrechtliche Belange zu berücksichtigen. So kann nur dann eine offizielle statistische Wiedergabe erfolgen, wenn für eine Position Datensätze von mehreren unterschiedlichen meldepflichtigen Betriebseinheiten vorliegen. Infolgedessen verbleiben zwischen den Abfallmassen in den verschiedenen Aufschlüsselungsebenen nach EAV teils erhebliche Differenzbeträge. Diese können die Mengenaufrechnung der Abfallströme einer bestimmten Materialart stark beeinflussen. Methodisch wurden die damit verbundenen Unsicherheiten durch die Bildung von Wertebereichen aufgefangen (s. auch Ausführungen unten unter „Grenzen der differenzierten Darstellung abfallwirtschaftlich relevanter Materialströme"). Tabelle 8

zeigt an Beispiel der Hauptgruppe 16 des EAV („Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind“) einen Auszug, der Positionen auf unterschiedlichen Gliederungsebenen darstellt.

Tabelle 8: Beispiel für die Klassifizierungssystematik des EAV

Hauptgruppenebene 2-stellig	
16	Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind
Untergruppenebene 6-stellig	
160103	Altreifen
160106	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten
160117	Eisenmetalle
160118	Nichteisenmetalle
160119	Kunststoffe
160120	Glas
Untergruppenebene 8-stellig	
16012200	Bauteile nicht differenzierbar
16012201	metallische Bauteile
16012202	nicht metallische Bauteile

Prinzipielles Vorgehen bei der Ermittlung von abfallwirtschaftlich legerelevanten Materialströmen

Neben den aus der Statistik herrührenden systematischen Schwachstellen ergeben sich weitere Problematiken durch den auf Projektfragestellung und Modellfestlegungen speziell abzustimmenden abfallwirtschaftlichen Analyseansatz. Um das für den abfallwirtschaftlichen Analyseteil in den Schichten 1 und 2 notwendige Datengerüst generieren zu können, sind folgende grundsätzlichen Schritte erforderlich:

1. Beurteilung der Abfallfraktionen lt. EAV hinsichtlich ihrer Lagerrelevanz (u. a. durch Berücksichtigung von Kriterien wie Abfallherkunft, wesentliche Zusammensetzung, hauptsächliche Entsorgungswege)
2. Erstellung eines materialgruppendifferenzierten Zuordnungsschlüssels, basierend auf Informationen über die Zusammensetzungen der jeweiligen Abfallarten/-gemische
3. Feststellung der Entsorgungsmengen über die einzelnen Behandlungswege/-einrichtungen aus abfallwirtschaftlicher Statistik - Destatis Fachserie 19, Reihe 1
4. Ergänzungen durch analog aufbereitete Daten zu Abfallimporten und -exporten und weiteren verwertungsrelevanten Materialströmen (industrielle Nebenprodukte)
5. Berechnung des Anteilswertes der einzelnen Materialkategorien an den jeweiligen Entsorgungswegen
6. Zuordnung und Zusammenführung der ermittelten Einzelanteile anhand der Darstellung der abfallwirtschaftlichen Mengenflüsse zum MSM

Abbildung 23 gibt das hieraus resultierende bilanzierungstechnische Vorgehen in bildlicher Darstellung wieder:

Abbildung 23: Vereinfachte Darstellung zur Bestimmung materialdifferenzierter Mengenflussgrößen in der abfallwirtschaftlichen Analyse für das MSM und der hierfür zu verknüpfenden Quellen (in Ausschnitten)

EAV		x	z.B. ABANDA					x	Destatis FS 19			=	MSM		
EAV-Code	Abfallbezeichnung		"Holz"	Fe-Metall	NE-Metalle	Kunststoffe	Mineralisch		Deponie-Input (Inland)	MVA-Input (Inland)	Shredderanlagen-Input (Inland)		Deponie-strom	Umwandlung	SERO-Strom
020101-020199	Abfälle aus Landwirtschaft, Gartenbau, Teichwirtschaft, Forstwirtschaft, Jagd und Fischerei														
020101	Schlämme von Wasch- und Reinigungsvorgängen														
020102	Abfälle aus tierischem Gewebe														
020103	Abfälle aus pflanzlichem Gewebe														
020104	Kunststoffabfälle (ohne Verpackungen)	x			0,01%	99,99%		x		0,6		=		Ku 0,6 M 0,...	
020106	tierische Ausscheidungen, Gülle/Jauche und Stallmist (einschließlich verdorbenes Stroh), Abwässer, getrennt gesammelt und extern behandelt														
020107	Abfälle aus der Forstwirtschaft	x	100%					x			10,2	=			H 10,2
020108*	Abfälle von Chemikalien für die Landwirtschaft, die gefährliche Stoffe enthalten														
020109	Abfälle von Chemikalien für die Landwirtschaft mit Ausnahme derjenigen, die unter 02 01 08 fallen														
020110	Metallabfälle	x		90%	10%			x				=			0
020199	Abfälle a. n. g	x	30%	9,94%	0,06%	30%	30%	x				=			0
030101-030199	Abfälle aus der Holzbearbeitung und der Herstellung von Platten und Möbeln	x	99,99%		0,01%			x	5,1	162,9	202,4	=	H 5,1	H162,9 M 0,01	H202,3 M 0,02
040209-040299	Abfälle aus der Textilindustrie														
040209	Abfälle aus Verbundmaterialien (imprägnierte Textilien, Elastomer, Plastomer)	x		0,05%	0,13%	99,82%		x		0,6	1,6	=		M 0,... Ku0,6	M 0,... Ku1,6
040210	organische Stoffe aus Naturstoffen (z.B. Fette, Wachse)														
040222	Abfälle aus verarbeiteten Textilfasern	x	33%		0,05%	66%		x		1,1		=		H 0,36 Ku0,7	
040299	Abfälle a. n. g.	x	33%	5%	5%	50%	5%	x		0,2		=		H, M, Ku, Mi	
.....	.....														

Abbildungserläuterungen:
grüne Feldfarbe im Bereich EAV = als lagerrelevant berücksichtigte Abfallfraktion
rote Feldfarbe im Bereich EAV = als nicht lagerrelevant ausgeschlossene Abfallfraktion
schwarze Schriftfarbe im Bereich ABANDA = datenbankbasierte Setzung (in Analogie zu UFOPLAN Projekt 3709 33 316)
rosa Schriftfarbe im Bereich ABANDA = durch Einzelanalysen untersetzte Schätzwerte
rote Schriftfarbe im Bereich ABANDA = durch neuere Erkenntnisse zur bestehenden Datenbasis hinzugekommene Anteilswerte

Fokus auf Abfallströme mit Bezug zu langlebigen Gütergruppen – Herausforderung und Umgang damit

Einen kritischen Sachverhalt bildet der modellbedingte Fokus auf langlebige Gütergruppen. Bei Quantifizierung der abfallwirtschaftlich bedingten Mengenströme sind aufgrund dessen die in der Statistik ausgewiesenen Abfallmengen um jene Anteile zu reduzieren, die nicht-lagerrelevanten Materialien und Gütern zuzuordnen sind. Bei einzelnen Abfallschlüsseln ist diese Feststellung relativ einfach zu vollziehen (z. B. Abfälle der EAV Hauptgruppe 05: Abfälle, die beim Aufsuchen, Ausbeuten und Gewinnen sowie bei der physikalischen und chemischen Behandlung von Bodenschätzen

entstehen). Dazwischen gibt es aber auch eine Reihe nur anhand der nachgeordneten Klassifikationen zu entscheidender Fälle sowie nicht eindeutige Nennungen (z. B. Abfälle mit dem Bezeichnungszusatz a. n. g. bzw. anderweitig nicht genannt). Zum Teil generieren sich die abfallwirtschaftlich ermittelten Mengenströme damit aus einer Berücksichtigung der Einträge für komplette EAV-Hauptgruppen (2-Steller Ebene), aber auch nur einzelner Abfallschlüsselnummern auf 6- bzw. 8-stelliger Ebene (siehe auch Tabelle 8).

Der Modellansatz führt auch zur Frage nach der Integration von bestimmten Abfallarten mit einer indifferenten Stellung in Bezug auf Langlebigkeit und Relevanz ihrer Ausgangsprodukte für das Anthropogene Lager. Im abfallwirtschaftlichen Analyseansatz wird auch dem Kriterium Recyclingfähigkeit zusätzliche Aufmerksamkeit zuteil. Dergestalt ist bspw. das Einbeziehen von Altpapier in den Ansatz der abfallwirtschaftlichen Analysen hervorzuheben. Als ursprünglich vorliegende Holzfaser geschieht dies über die Materialkategorie Holzbasiert. In der abfallwirtschaftlichen Betrachtungsebene verfügt dieser Materialstrom über hohe Relevanz und erweist sich fast durchgängig als nachvollziehbar. Hinsichtlich beider Punkte bestehen zudem klare Analogien zu Glas oder Schrott. Altpapier, einschließlich beachtlicher Nettoimportmengen, ist massemäßig einer der bedeutendsten Sekundärmaterialströme in Deutschland mit hohem Substitutionspotenzial des Primärrohstoffes Holz. Hinzu kommt, dass Altpapierfasern längst nicht mehr nur in die Produktion eher kurzlebiger Papierprodukte zurückgelangen, sondern mittlerweile in relevanten und stetig steigenden Mengen in dauerhaftere Produkte abfließen. Dazu zählen Automobil- und Möbelbauwerkstoffe genauso wie Bauprodukte (z. B. Zellulosedämmstoffe, Bauplatten, Isoliersteine). Auch im Segment der Papierprodukte sind inzwischen wiederholte Nutzungskreisläufe (teilweise 6- bis 7-fach) gegeben, woraus teils mehrjährige Verweildauern resultieren können. Lagerrelevanz ist aus abfallwirtschaftlicher Perspektive also schwer eindeutig abgrenzbar, so dass die hierüber im abfallwirtschaftlichen Analyseteil getroffene Entscheidung für oder gegen die Einbeziehung eines Abfallteilstroms in die Massebilanz des MSM auch Konflikte innerhalb des damit vermittelten Gesamtmengenbildes bewirken kann. So ist am Beispiel Altpapier feststellbar, dass in den Ebenen der Materialflüsse der UGR wie auch in den Produkt- und Gütergruppenbetrachtungen (Bottom-Up) gewisse Anknüpfungspunkte fehlen.

Grenzen der differenzierten Darstellung abfallwirtschaftlich relevanter Materialströme

Nach Identifizierung aller relevanten Abfallschlüsselnummern sind für diese die in Abfallbehandlungsanlagen behandelten Mengen differenziert nach der Abfallherkunft festzustellen. Rückschlüsse auf die Abfallherkunft lassen sich nur zum Teil über die Bezeichnungen der Abfallhauptgruppen bzw. einzelnen Abfallarten herstellen. Darüber hinaus stellt lediglich die Differenzierung zwischen innerbetrieblich erzeugten Abfällen (Zuordnung zum pre-consumer- Bereich) sowie den aus dem Inland (Zuordnung zum post-consumer-Bereich) und dem Ausland angelieferten Abfällen eine Hilfestellung dar. Durch Aufsummierung und Abgleich zu den unterschiedlichen Aufschlüsselungsebenen (Hauptgruppe zu 6-stelligen Unterschlüsselnummern), wird sichtbar, ob es nicht aufgeschlüsselte Differenzmengen gibt.

Die Schwankungsbreite, die sich durch diese Differenzmengen ergibt, lässt sich in Minimal- und Maximalintervallen darstellen. Die Minimalvariante berücksichtigt nur die statistisch tatsächlich aufschlüsselbaren Abfallmengen, die Maximalvariante hingegen auch die nicht aufschlüsselbaren Abfallmengen. Der Unterschied beider Varianten beträgt ca. 4 Mio. t. Da nicht aufschlüsselbare Abfallmengen auch hinsichtlich ihrer Materialanteile nicht spezifiziert werden können, entspricht die für das MSM genutzte Darstellungsebene der Minimalvariante.

Die Ermittlung der materialgruppenspezifischen Anteile an den jeweiligen Abfallmengenströmen bildet ebenfalls eine besondere Problematik. Dort, wo die Abfallbezeichnung diesen Rückschluss nicht eindeutig zulässt und daher eine Materialmischung meint oder angenommen werden muss, ist

das jeweilige Mengengerüst mit Daten zu Abfallinhaltsstoffen bzw. -zusammensetzungen zu koppeln. Die Datenlage hierfür ist allerdings nicht sehr umfassend, zumal zeitlich und örtlich stark veränderlich. Ein einheitlicher und zeitlich konsistent anwendbarer Materialschlüssel steht damit nicht zur Verfügung. Hilfsmittel, die im Abschnitt 4.2.2 bereits erwähnt wurden, sind häufig zusätzlich mit Annahmen zu ergänzen. Auch mit diesem Vorgehen ist es letztlich jedoch unmöglich, die abfallwirtschaftlichen Betrachtungseinheiten absolut vollständig und materialscharf aufzuschlüsseln. Differenzen zur jeweils bestimmten Gesamtmaterialmenge entstehen u. a. durch Materialunreinheiten, insbesondere in Form nicht betrachtbarer chemischer Zusätze, Flüssigkeitsgehalte und nicht eindeutig zuordenbarer Materialien (z. B. Ruß). Der allein auf diese Weise zustande kommende Unterschied in der Betrachtung entlang der Hauptmaterialkategorien im Vergleich zur Abfallausgangsmasse beträgt ca. 8 Mio. t. Eine weiterführende Interpretation von Abfalldaten in Richtung der Materialflüsse, die ursprünglich in das zum Abfall gewordene Produkt eingegangen sind und über die UGR zur Abbildung gelangen, kann den Diskrepanzbereich wesentlich vergrößern. Abfallwirtschaftliches Datengerüst, Flussdaten der UGR und produkt- bzw. gütergruppenbezogene Analysen haben an diesem Punkt eine Schnittstelle, an der eine Verzahnung für erhebliche Schwierigkeiten und Unsicherheiten sorgt.

Die im Zusammenhang mit Abbildung 23 erläuterte und dafür nochmals extra illustrierte Mehrstufigkeit sowie Komplexität des abfallwirtschaftlichen Analyseansatz veranlassen darauf hinzuweisen, dass größerer Aufwand erforderlich ist, um diesen bei neuer Datenlage zu replizieren. Neben den jährlich veröffentlichten Daten zur Abfallstatistik sind stets auch weitere Komponenten der Methodik, wie bspw. der Bereich Abfallartencharakterisierung anzupassen, um eine hinreichend gute Aussagequalität abzusichern.

5.4.2.2 Mengenströme, die aus dem Bestand hervorgehen

Innerhalb des Lagers sind aus abfallwirtschaftlicher Sicht zwei Mengenströme grundsätzlich zu unterscheiden:

- Verwahrungsprozesse auf Deponien sowie
- Materialkreisläufe innerhalb des Lagers.

Verwahrungsprozesse auf Deponien

Aufgrund ihrer zunehmend ins gesellschaftliche Bewusstsein vordringenden und mittlerweile im Zukunftskonzept des ‘Landfill Mining‘ aufgegriffenen Funktion werden Deponien als Verwahrungsorte von Materialien dem Betrachtungsrahmen des Anthropogenen Lagers zugeordnet. Die verwahrten Materialmengen stellen ein ruhendes Potenzial für zukünftige Stoffkreisläufe dar, die abhängig von wirtschaftlichen und technologischen Grenzen zum Teil rückgewonnen werden können.

Über mögliche Größenordnungen der Gewinnung und des Wiedereinsatzes von deponiertem Material liegen Untersuchungen vor[30]. Nach Expertenschätzungen wurden in Deutschland zwischen 1975 und 2005 ca. 2,5 Mrd. t Siedlungsabfälle auf Deponien abgelagert.

[30] siehe z. B. Fricke, K.; Rettenberger, G. et al. (2012): Landfill Mining – ein Beitrag der Abfallwirtschaft zur Ressourcensicherung in Tagungsband DepoTech 2012, Leoben 2012

Materialkreisläufe innerhalb des Lagers

Materialkreisläufe sind das Ergebnis von Recyclingaktivitäten. An unterschiedlichen Stellen der Wertschöpfungs- und Konsumptionskette fallen Restmaterialien und Abfälle an, die wieder in die Erzeugungsprozesse neuer Produkte und Güter zurückgeführt werden.

Abfälle im Sinne des Abfallrechts werden umfassend durch die Abfallstatistik erfasst. Für das Basisjahr 2010 lässt sich aus der Abfallstatistik ein lagerrelevanter Materialstrom in Höhe von 103 Mio. t beziffern, der als Abfall infolge des Konsums von Gütern anfiel. Zusammen mit den Abfallmengen, die zur Weiternutzung nach Deutschland eingeführt wurden (s. auch Tabelle 9), summiert sich der direkte Sekundärrohstoffstrom (SERO-Strom) im Jahre 2010 auf knapp 120 Mio. t.

Abfallströme werden Abfallbehandlungs- und Aufbereitungsanlagen zugeführt. Aufgabe derer ist, die Anteile, die technisch und wirtschaftlich wiederverwertet werden können, unter Nutzung der technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten zu separieren und zu konditionieren, sowie Stoffe, von denen negative Auswirkungen auf Gesellschaft und Umwelt ausgehen, unschädlich zu machen. Letzteres geschieht durch thermische Umwandlung und Verwahrung. Anlagen der thermischen Umwandlung sind Müllverbrennungsanlagen, mitverbrennende Kraftwerksanlagen sowie Ersatzbrennstoff- und Biomasseheizkraftwerke. Abfallströme, die der Umwandlung in thermischen Prozessen zugeführt werden, werden im Modell zunächst als Outputströme betrachtet, die das Lager verlassen. Anteile davon werden als Aschen und Schlacken wieder zurückgeführt (zusammenmit weiteren Reststoffen aus Energieträgern). Die Abbildung dieser Ströme wurde bereits auf Schicht 1 des MSM diskutiert (Abschnitt 4.2.2).

Um die Anknüpfbarkeit im Modell zu gewährleisten, wurde versucht, abfallwirtschaftliche Materialkreisläufe grundsätzlich zwischen solchen zu unterscheiden, die im Produktionsprozess entstehen, und solchen, die dadurch entstehen, dass Güter das Ende der Nutzungsdauer erreicht haben und deren Materialien als Abfälle anfallen. Problematisch dabei ist, dass die Abfallstatistik diese Unterscheidung nicht eindeutig zulässt. Grundsätzlich bildet sie nur Materialströme ab, die abfallrechtlich relevant sind. Materialkreisläufe, die das Abfallrecht nicht tangieren, sind nicht Gegenstand der Abfallstatistik. Beispiele hierfür sind betriebsinterne Kreisläufe von Restmaterialien, die wieder im Produktionsprozess eingesetzt werden.

Ausnahmen für abfallwirtschaftlich erfasste betriebsinterne Kreisläufe sind solche, die innerhalb von Betrieben stattfinden, die den Status von Abfallbehandlungsanlagen haben. Dort anfallende und wieder eingesetzte Abfallströme (beispielsweise in MBA-Anlagen) werden als „Abfälle im eigenen Betrieb verwertet“ in der Abfallstatistik geführt. Auch Abfälle, die innerhalb abfallwirtschaftlicher Betriebe anfallen und in (betriebseigenen) Deponien beseitigt werden, werden abfallwirtschaftlich erfasst. Diese Größen werden im MSM herangezogen, um Abfälle aus dem Produktionsbereich abzubilden. Produktionskreisläufe können damit auf 1,7 Mio. t beziffert werden[31], der rein produktionsbedingte (pre-consumer) Deponiestrom auf rund 5,6 Mio. t in 2010 (Tabelle 9).

Als bedeutend werden insbesondere bei den Metallen die Mengen eingeschätzt, die als verbrauchte Güter anfallen, jedoch abfallwirtschaftlich unbeachtet bleiben und (ohne Eingang in die Abfallstatistik zu nehmen) der Eisen- und Stahlindustrie wieder zugeführt werden. Beziffern lässt sich diese Größenordnung durch statistische Verbandsangaben der metallerzeugenden Industrie zum verwirklichten Schrotteinsatz. Danach kommen zu den abfallwirtschaftlich registrierten Verwertungsmengen aktuell jährlich im Eisenmetallbereich über 10 Mio. t und bei den gängigen Nichteisenmetallen im-

[31] Es ist davon auszugehen, dass dies nur ein Bruchteil der Materialströme abbildet, die insgesamt betriebsintern recycelt werden.

merhin noch knapp eine halbe Mio. t hinzu. Außer der Erwähnung an dieser Stelle wird dieser „Fehl-“Betrag in den Berechnungswerten sowie tabellarischen und grafischen Mengenflussübersichten auf Analyseschicht 2 nicht mit berücksichtigt, jedoch bei der Synthese der Ansätze mit reflektiert (Kapitel 7). Vergleichbare Informationen anderer Wirtschaftszweige (bspw. Bau-, Kunststoff- und Papierindustrie) zum Sekundärrohstoffeinsatz lassen demgegenüber keine größeren Lücken zur Abfallstatistik erkennen.

Tabelle 9 fasst die lagerinternen, abfallwirtschaftlich relevanten Materialströme zusammen. Mitberücksichtigt sind die aus Importen stammenden Mengen, die zu Flüssen innerhalb des Lagers werden.

Tabelle 9: Abfallwirtschaftlich geprägte Materialflüsse im Lager unter Einbeziehung von Importmengen (2010) [Mio. t]

	Kreisläufe innerhalb einer Prozessebene (*vereinfacht:* Produktionskreisläufe)	SERO-Strom		Deponiestrom		
		aus Material des Bestands	aus Importen	Pre-consumer	Post-consumer	aus Importen
Gesamt	1,71	103,05[32]	16,67	5,55	9,52	0,48
Mineralisch	0,46	62,33	2,22	3,29	7,61	0,4
Metalle	0,25	17,54	7,69	2,22[33]	1,69	0,06
Kunststoffe	0,11	5,02	0,72	0,03	0,12	0,02
Holz	0,90	18,16[34]	6,05[34]	-[35]	0,1	-[35]
Nicht zugeordnet	7,5[36]					

Quelle: Berechnungen INTECUS

Zusammen mit den Größenordnung an stofflich nutzbaren Nebenprodukten sowie Reststoffen aus der Umwandlung (s. Ausführungen in diesem Abschnitt sowie in Abschnitt 4.2.2) liefert dieses Zahlenwerk eine umfassende Einschätzung der abfallwirtschaftlich begründeten Materialverfügbarkeiten im Anthropogenen Lager für das Jahr 2010.

[32] den stofflichen Kreisläufen fließen außerdem zusätzliche 31,5 Mio. t an industriellen Nebenprodukten zu

[33] größtenteils in nicht erfassbarem Zustand

[34] durch Mitbetrachtung von Altpapier in Form von Holzfasern dominiert

[35] vernachlässigbar, im benutzten Zahlenformat nicht darstellbar

[36] Die nicht zugeordneten Materialmengen sind ein Differenzbetrag aus der als lagerrelevant eingestuften Gesamtmenge an Abfällen (ohne Außenhandelsbezug) und den materialdifferenzierten Mengen anhand von Abfallzusammensetzungen. Aus der Verwendung der verfügbaren Zusammensetzungsschlüssel für die jeweiligen Abfallarten resultiert keine vollständige Aufteilung auf die vier betrachteten Materialkategorien, vielmehr verbleibt oft eine nicht qualifizierbare Restmenge. Diese kann hinsichtlich ihres weiteren Verbleibs nicht mehr verfolgt werden.

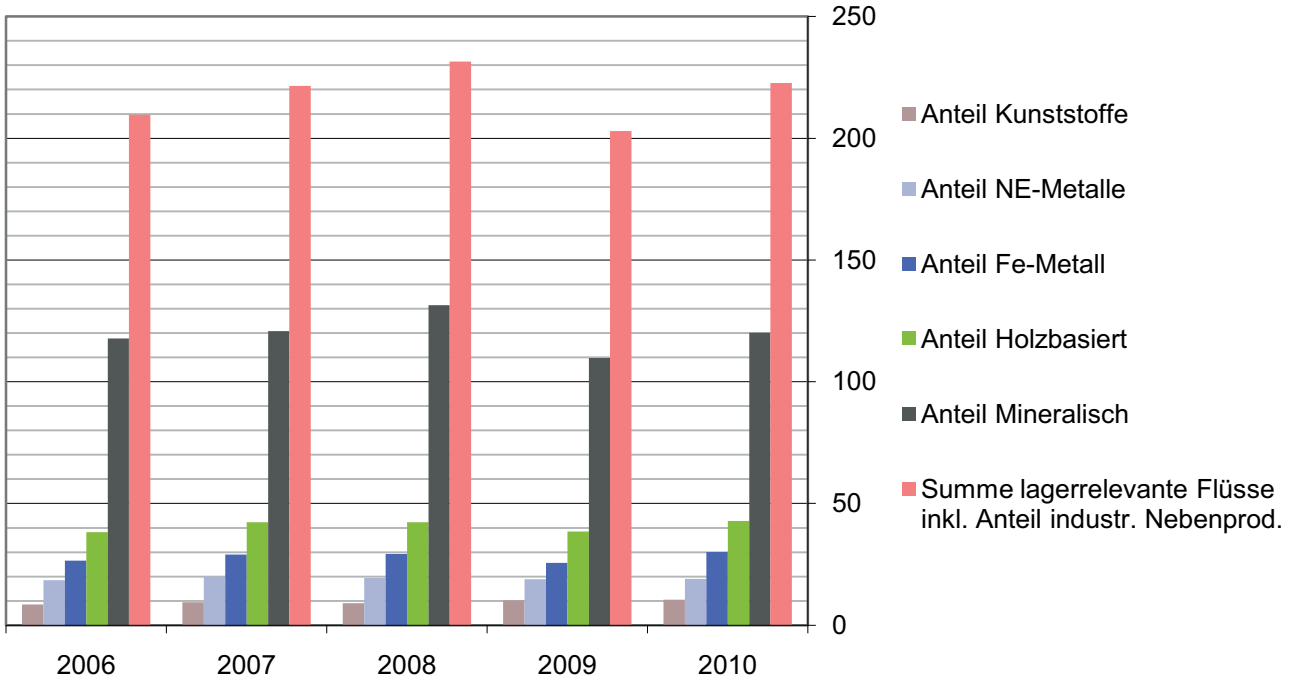
5.4.2.3 Veränderungsdynamik und Gesamtbilanzierung abfallwirtschaftlicher Mengenflüsse

Entwicklung abfallwirtschaftlicher Flüsse

Für die Betrachtungsebene der abfallwirtschaftlichen Flüsse und ihres Gesamtzusammenhanges zum Anthropogenen Lager lassen sich anhand der vorgenommenen Auswertungen für die Jahre 1975, 1984, 1993 und die Zeitspanne von 2006 bis 2010 nachfolgende Entwicklungen zusammenfassen. Wo Aussagen und Diagrammdarstellungen den dadurch abgesteckten Gesamtzeithorizont betreffen, ist hinsichtlich der Bezugsjahre vor 1993 nochmals auf das Fehlen der Mengeninformationen für das Gebiet der neuen Bundesländer hinzuweisen.

Der Gesamtmassestrom aller abfallwirtschaftlichen Flüsse an lagerrelevanten Abfällen wächst in der Tendenz an (Abbildung 24 und Abbildung 29). Im datentechnisch einheitlich auswertbaren Zeitraum der Jahre 2006 bis 2010 kommt es analog zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung im Jahr 2009 zu einem Bruch dieses Trends. 2007 markiert darin das Jahr, in dem die Marke von in Summe 200 Mio. t abfallwirtschaftlich lagerrelevanten Materialflüssen erstmals übertroffen wurde. Unberücksichtigt sind dabei die an die thermische Umwandlung abgegebenen lagerrelevanten Abfälle. Letztere liegen seit 2006 auf einem nahezu konstanten Niveau oberhalb von 18 Mio. t. Demgegenüber waren es 1975 noch weniger als 8 Mio. t und 1984 erst knapp über 9 Mio. t.

Abbildung 24: Ausprägung des von lagerrelevanten Materialflüssen des Gesamtabfallaufkommens und verwerteten Nebenprodukten gebildeten abfallwirtschaftlichen Materialfluss-kontos nach Materialkategorien (2006-2010) [Mio. t]

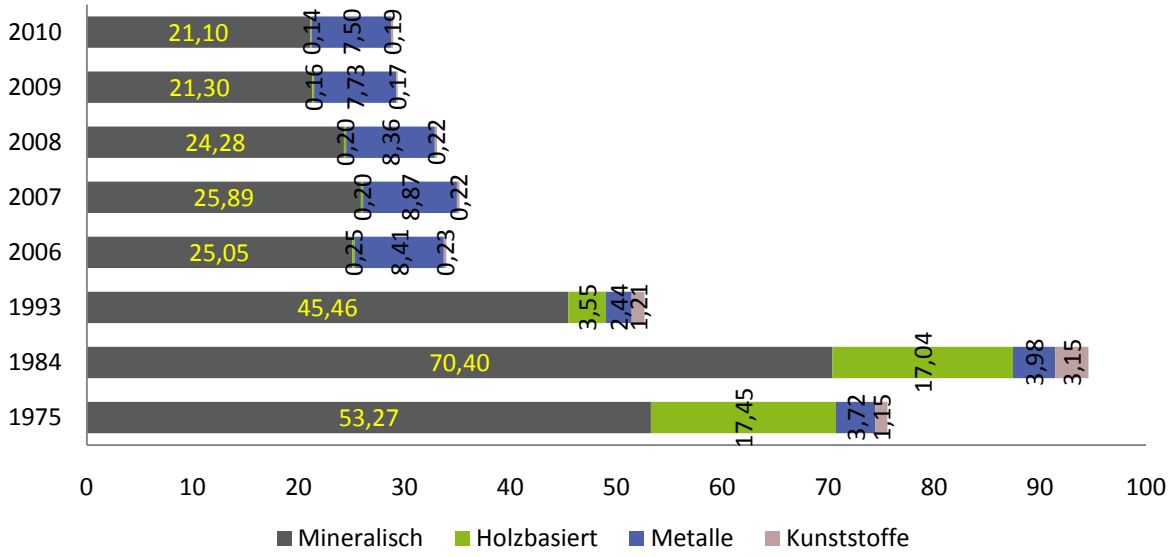


Quelle: eigene Darstellung

Eine annähernd vergleichbare Aussage zu den Deponiemengen an lagerrelevanten Abfällen erlaubt die Datenbasis von Destatis nur für den Zeithorizont 2006 - 2010 (Abbildung 26). Bei den davorliegend analysierten Jahren ist die Trennung zwischen Deponierung und anderen genutzten Ablagerungswegen bzw. Beseitigungseinrichtungen nicht klar nachvollziehbar. Der zeitliche Vergleich ist nur möglich durch Anwendung einer vereinfachenden Betrachtungsperspektive, bei der deponierte

und aus sonstige Weise beseitigte Abfälle (außer verbrannten Anteilen) zusammengefasst und der Summe an Deponie- sowie Verfüllmengen der späteren Jahre gegenübergestellt werden (Abbildung 25). In den Diagrammen zur Gesamtbilanzierung (Abbildung 28 und Abbildung 29) findet dieser Sachverhalt bei den Jahresangaben für 1975, 1984 und 1993 allerdings tatsächlich innerhalb des Parameters Deponierung seine Zusammenführung. Dieser verfügt damit, verglichen zur gleichlautenden Darstellung für die Jahre 2006 - 2010, über eine deutliche Unschärfe.

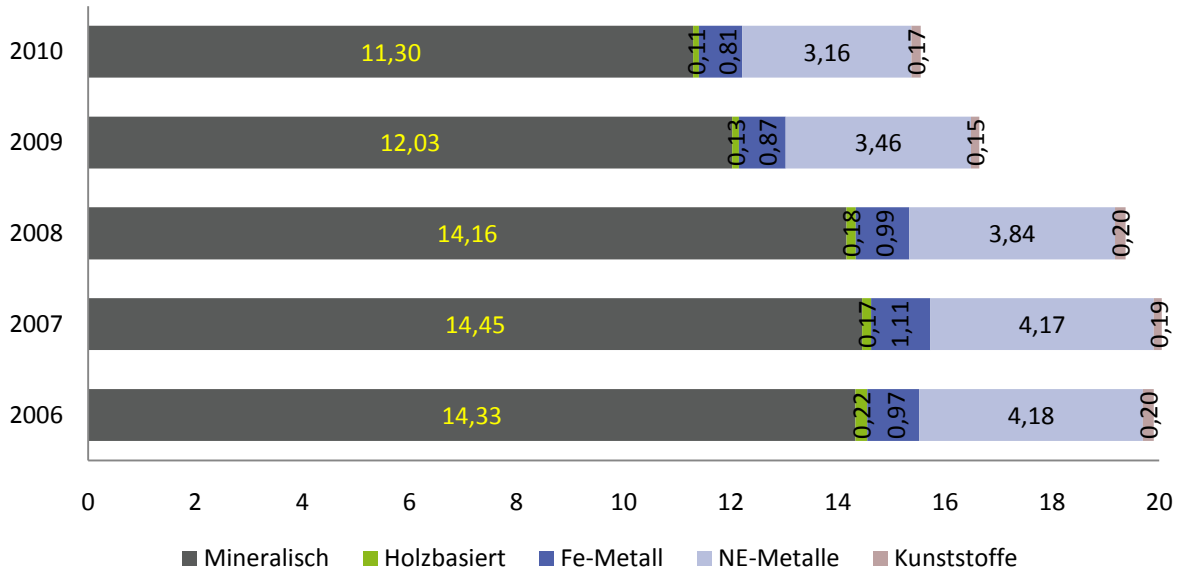
Abbildung 25: Veränderungsdynamik der deponieähnlichen Beseitigung (Deponierung und sonstige Beseitigung bis 1993 bzw. Deponierung und Verfüllung 2006-2010) [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

Zu Beginn der statistischen Erfassung im Jahr 1975 lag die deponieähnliche Beseitigung im Bereich der alten Bundesländer in einer Größenordnung von rd. 75 Mio. t, 1984 erreichte sie knapp 95 Mio. t. Für 1993 lässt sich trotz der nun für Gesamtdeutschland vorliegenden Mengenangaben schon eine Reduzierung der Deponiemengen auf ein Niveau im Bereich von 60 Mio. t feststellen. In den 1990-er Jahren vorgenommene neue Weichenstellungen in der Abfallwirtschaft können dafür mit als ursächlich angesehen werden. Besonders als Folge des Deponierungsverbotes für unbehandelte Abfälle zur Mitte des Jahres 2005 fällt die deponieähnlich beseitigte Menge zum Jahr 2006 auf unter 40 Mio. t, tatsächlich über abfallwirtschaftliche Deponien entsorgt werden nur noch rund 20 Mio. t. Der rückläufige Trend hält in den Folgejahren weiter an und trifft gleichermaßen auf den pre-consumer- wie auch den post-consumer-Bereich zu (Abbildung 26). Auf jeweils annähernd gleichbleibendem Niveau bewegen sich indes seit 2006 Abgaben an die Umwelt in Form von Verfüllmengen (etwa 14 Mio. t).

Abbildung 26: Mengen deponierter lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorien (2006-2010) [Mio. t]

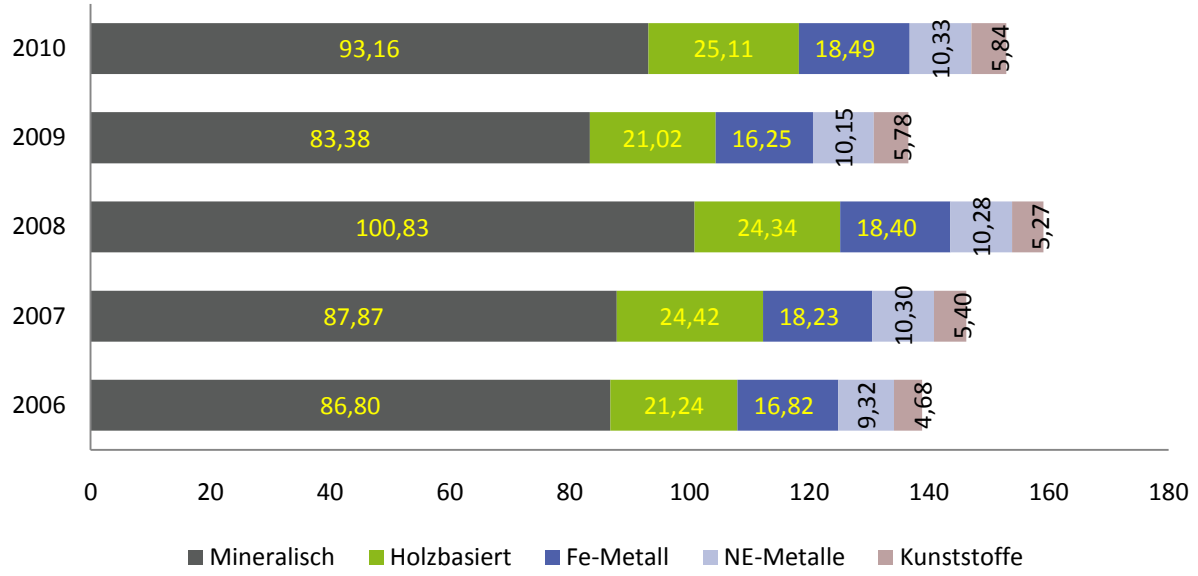


Quelle: eigene Darstellung

Die auf den direkten (im Lager gehaltenen) SERO-Strom entfallenden Mengen weisen annähernd analoge Entwicklungsverläufe wie das gesamte abfallwirtschaftliche Materialflusskonto auf. Sich an anderer Stelle (wie im Bereich Deponierung) verringernde abfallwirtschaftlich relevante Materialströme werden demnach insbesondere durch Zuwachs im Bereich sekundärer Kreisläufe kompensiert. Vor der Wirtschaftskrise in 2009 wuchs die Menge der direkt aus dem Lager einer stofflichen Weiternutzung zufließenden Materialien zwischen 2006 und 2008 kontinuierlich von rund 100 auf 105 Mio. t. Mit stofflich verwertbaren Abfallimporten von Reststoffen aus Umwandlung und Nebenproduktströmen bildete in 2010 eine Menge von 153 Mio. t das Materialpotenzial für Stoffkreisläufe, 2008 waren es sogar fast 160 Mio. t (Abbildung 27). Materialströme in Kreislaufprozessen decken auch ohne Importe in die Verwertung fast zwei Drittel des Volumens der lagerrelevanten Abfallbewegungen ab. Die Aufkommenshöchstmenge des Jahres 2008 wurde in 2010 bereits fast wieder erreicht. Bei den analysierten Jahren, die vor 2006 liegen, fehlt es an ausreichend differenzierten Angaben für vergleichbare Feststellungen.

Mineralische Materialströme stellen über die Zeitspanne 2006 bis 2010 gemittelt mit gut 55 % über die Hälfte der insgesamt relevanten Mengenbewegungen dar. Absolut liegt die Menge mineralischer Materialien (ohne Boden und Abraum), die im Jahr 2010 als Abfall bewegt wurden, bei etwa 95 Mio. t. Mit den dazukommenden Nebenproduktmengen machen mineralische Gesamtflüsse in der abfallwirtschaftlichen Betrachtungsebene durchschnittlich 120 Mio. t aus (Abbildung 24). Der davon auf Deponien gelangende Mengenstrom belief sich im Mittel seit 2006 auf 13 Mio. t (Abbildung 26). Mit durchschnittlich 10 Mio. t lag die in Verfüllungen abgegebene Menge etwas niedriger. Während die Deponiemengen kontinuierlich sanken, blieben die Verfüllmengen nahezu konstant.

Abbildung 27: Abfallwirtschaftliche lagerrelevante Materialflüsse nach Materialkategorien zur stofflichen Nutzung (ohne Verfüllung) (2006-2010) [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

Metalle haben ca. 22 % Anteil an den betrachtungsrelevanten Flüssen in der abfallwirtschaftlichen Ebene. Dieser Anteil ist zuletzt relativ konstant geblieben. Dies trifft vor allem für die Nichteisenmetalle mit ca. 9 % Anteil und absoluten 19 Mio. t zu. Bei den Eisenmetallen zeichnete sich ein leichter Anstieg des Anteils auf 13,5 % ab. Das waren in 2010 abfallwirtschaftlich registrierte Mengenflüsse in Höhe von 30 Mio. t gegenüber 26,5 Mio. t in 2006 (Abbildung 24). Bei den Metallen ist zu beachten, dass weitere metallische Sekundärrohstoffmengen in der Größenordnung von über 10 Mio. t auftreten, die jedoch keiner abfallwirtschaftlichen Registrierung unterzogen sind (siehe Abschnitt 5.4.2.2).

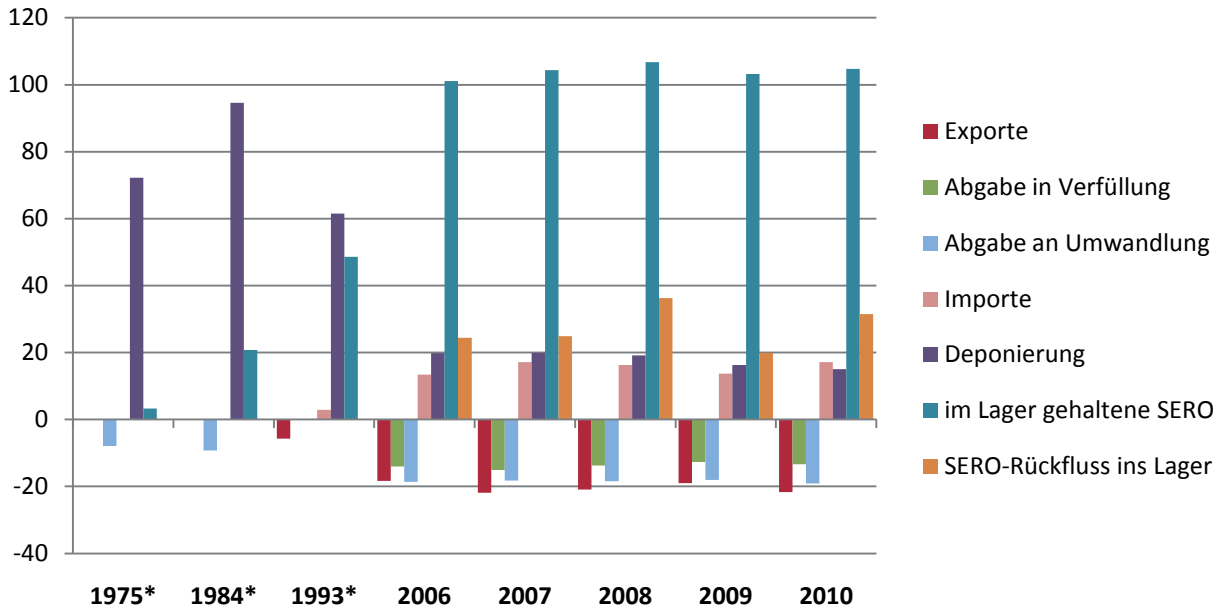
Mit tendenziell leicht ansteigendem Anteil an den Gesamtflüssen folgt im abfallwirtschaftlichen Bereich den Metallen das holzbasierte Material. Der Anteil hat sich seit 2006 von 18,3 % auf 19,3 % in 2010 erhöht, dies entspricht einem Mengenanstieg von 38 auf fast 43 Mio. t. Eine stetige Zunahme des Anteils an den abfallwirtschaftlichen Mengenflüssen verzeichnet auch die Materialkategorie Kunststoffe. Das Anteilsverhältnis von Kunststoffen wuchs zwischen 2006 und 2009 von 4 % auf 5 % an, absolut war das ein Sprung von 8,5 Mio. auf über 10 Mio. t. Auch 2010 lag der Gesamtmaterialfluss der Kunststoffe in der abfallwirtschaftlichen Betrachtungsebene bei dieser Höhe. Holz und Kunststoffe sind dabei jene Materialkategorien, die nach dem Verbot der Ablagerung unbehandelter Abfälle kaum noch zu den Deponiemengen gehören (Abbildung 26). Hingegen liefern beide Kategorien die höchsten Beiträge zu den Mengenströmen in die thermische Umwandlung.

Zusammenfassende Betrachtung und Bilanzierung von abfallwirtschaftlich relevanten Flüssen und deren Veränderungen

Im Folgenden werden die abfallwirtschaftlich geprägten Materialflüsse hinsichtlich ihrer Gesamtbeziehung zum Anthropogenen Lager zunächst in der vorliegenden Form zusammengefasst und bilanziert. Dies erfolgt unter Bezugnahme auf die analysierten Zeitreihen für verschiedene Jahre (1975, 1984, 1993 und Zeitabschnitt 2006 - 2010) wobei es die erwähnten Einschränkungen an Vergleichbarkeit zu berücksichtigen gilt (betrifft die in den Abbildung mit * gekennzeichneten Jahre).

Abbildung 28 gibt die für Schicht 2 des MSM ermittelten abfallwirtschaftlich geprägten lagerrelevanten Materialflüsse im Einzelnen nach ihrer Größenordnung wieder. Flüsse, die zum Wachstum bzw. Erhalt des Materialbestandes im Anthropogenen Lager beitragen, sind oberhalb der Abszissenachse (Nulllinie) abgetragen. Der negative Wertebereich umfasst die Flüsse, die einen Abgang aus dem Lager darstellen.

Abbildung 28: Größenordnung abfallwirtschaftlich geprägter lagerrelevanter Materialflüsse [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

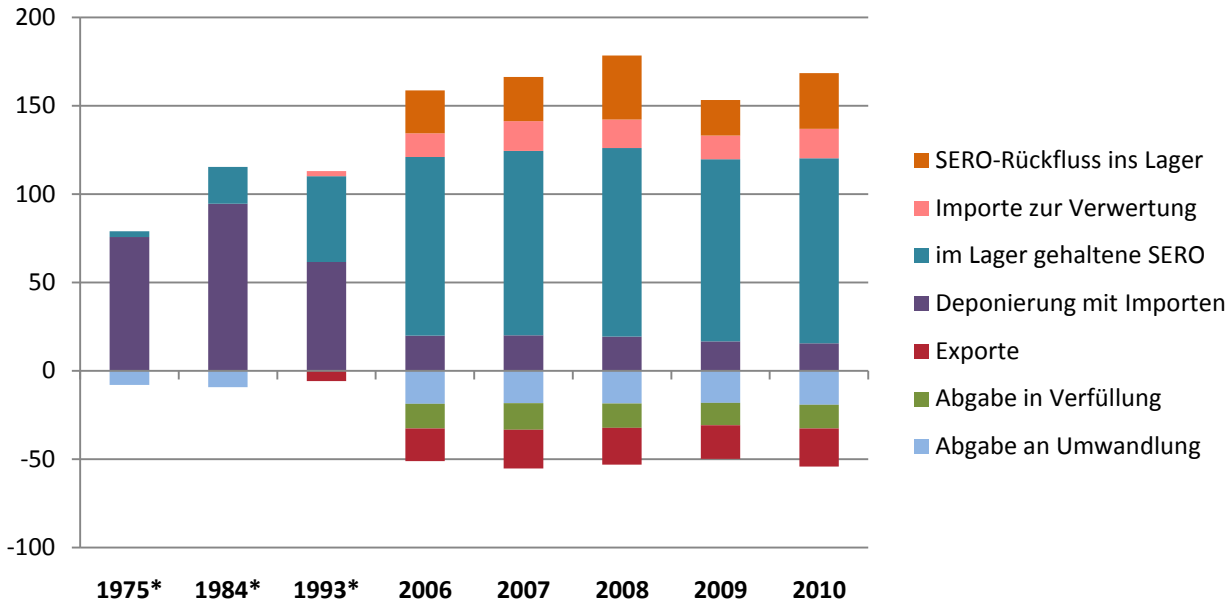
Die demgemäß bilanzierte Darstellung des Summenparameters für lagererhaltende Flüsse im Vergleich zu den abfallwirtschaftlich abgehenden Materialmassen der einzelnen Betrachtungsjahre liefert Abbildung 29.

Hieran angelehnt kann unterschieden werden zwischen

- jährlichem Erhaltungssaldo (Summe der in Tabelle 9 aufgeführten abfallwirtschaftlichen Mengenströme + SERO-Rückfluss ins Lager) und
- jährlichem Abgangssaldo (Summe der in Tabelle 1 aufgeführten abfallwirtschaftlichen Outputgrößen aus dem Lager = Abfallexporte und Abgaben an die Umwelt).

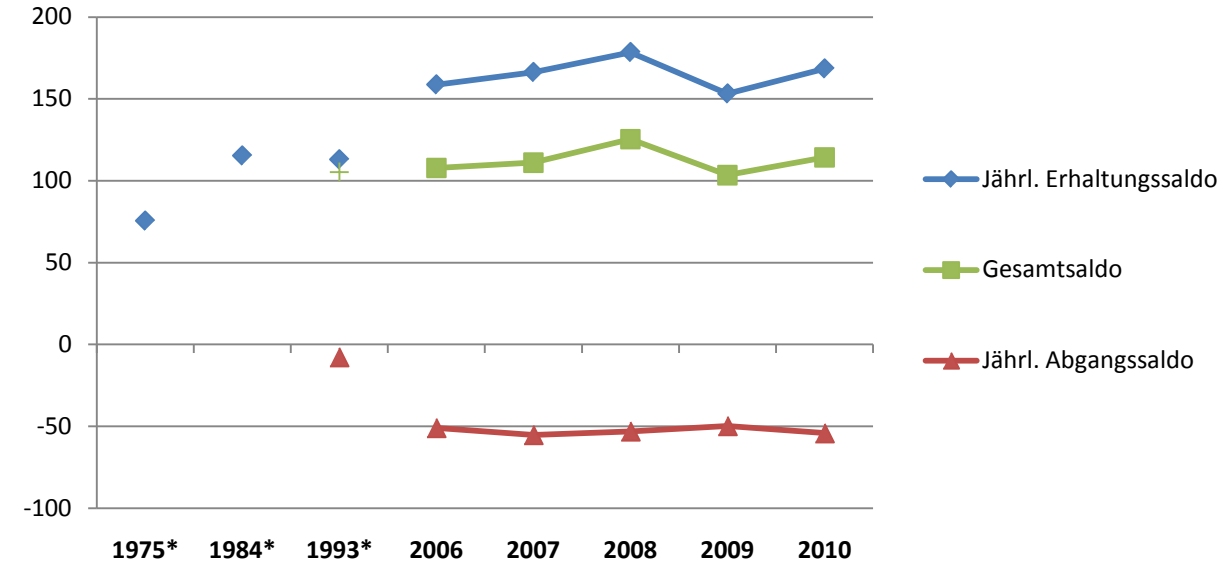
Aus der Bilanzierung des abfallwirtschaftlich bedingten Materialinputs und -verbleibs im Lager abzüglich der Outputströme ergibt sich der resultierende Gesamtsaldo (Abbildung 30). Dieser verdeutlicht, dass der Erhaltungsaspekt bei den abfallwirtschaftlich geprägten Strömen dominiert und somit die Zuwachsdynamik des Anthropogenen Lagers mit unterstützt. Durch Einbeziehung der Deponie als potenzielle Rohstoffquelle der Zukunft (und damit in lagererhaltender Funktion) gilt diese Aussage auch schon für die Jahre bis 1993. Für das betrachtete Zeitfenster ab 2006 wäre auch ohne Deponiemengen dieser Aspekt erfüllt. Der Beitrag von längerfristig im Lager gehaltenen lagerrelevanten Materialien, der durch die Abfallwirtschaft erbracht wird, lag spätestens ab den 1990-er Jahren bei ca. 100 Mio. t und bewegt sich mindestens seit 2006 beständig oberhalb dieser Marke. Nach 2008 mit dem bisher höchsten Wert von 125,5 Mio. t wurde 2010 mit 114,3 Mio. t der zweithöchste Beitrag innerhalb der betrachteten Jahre ermittelt.

Abbildung 29: Saldo der abfallwirtschaftlichen lagerrelevanten Materialflüsse nach Verbleibspfaden (1975 - 2010) [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 30: Zu- und Abgänge abfallwirtschaftlicher Materialflüsse im Anthropogenen Lager [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

Wie aus Abbildung 28 und Abbildung 29 ersichtlich, fehlen für die Jahre 1975 und 1984 belastbare Daten zu Abfallverbringungsvorgängen wie auch zur Verfüllung von Abfallmassen. Hierdurch kann eine sachgerechte Bilanzierung des Saldos an abfallwirtschaftlich im Lager gehaltenen Materialmengen wie in den späteren Jahren nicht erfolgen. Den verfügbaren Angaben dieser Jahre fehlt zudem der erst nach 1990 hinzugekommene Anteil an Abfallmaterialien aus dem heutigen Bereich der Neuen

Bundesländer. Zum Jahr 1993 sind diese Mengen wie auch Daten zu Importen und Exporten von Abfällen berücksichtigt, stattdessen liefert die Abfallstatistik noch kein eindeutiges Bild zu Deponie-, Verbrennungs- und Verwertungsmengen. Dies schränkt die Bilanzierung an dieser Stelle ein.

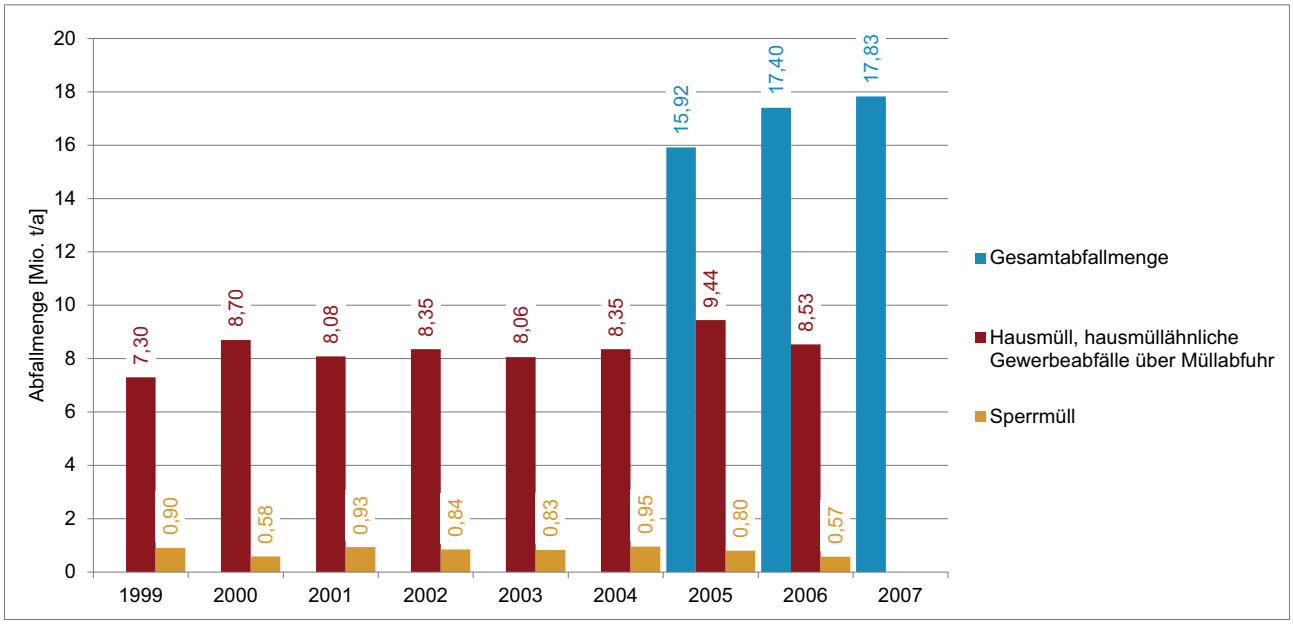
5.4.3 Plausibilitätsbetrachtungen

Analog zu den Plausibilitätsbetrachtungen, die in Abschnitt hinsichtlich der Inputflüsse in den Güterbestand Deutschlands angestellt wurden, werden in diesem Abschnitt die ermittelten abfallwirtschaftlich geprägten Materialflüsse innerhalb des Lagers einer Plausibilitätsbetrachtung unterzogen. Dabei werden die ermittelten Materialströme Werten gegenübergestellt, die vorliegenden Studien und Verbandsangaben entnommen sind, die Teilausschnitte der hier betrachteten Materialströme betrachten bzw. Bezüge dazu aufweisen.

Da derartige Studien bisher nicht durchgängig in der Aktualität des gewählten Basisjahres 2010 vorliegen, wurde bei diesem Abgleich mit 2007 auf ein früheres Jahr abgestellt. Tabelle 10 fasst die einzelnen Punkte der Plausibilitätsbetrachtung zusammen.

Eine näherungsweise Übereinstimmung beim Quantifizierungsergebnis der Abgaben an die Umwelt zeigt sich auch für die in die thermische Umwandlung gelangenden Abfallmaterialien. Den für 2007 nach dem MSM-Ansatz berechneten 18,26 Mio. t stehen 17,83 Mio. t Mengenanlieferungen an deutsche Müllverbrennungsanlagen gegenüber (Abbildung 31). Wesentlich für die Abweichung dürfte sein, dass die Abfallstatistik auch andere Feuerungsanlagen als MVA einbezieht und damit prinzipiell höhere Mengen abgebildet werden. Demgegenüber fehlen im Mengenansatz nach MSM Anteile aus nicht lagerrelevantem Aufkommen.

Abbildung 31: Mengenentwicklung an inländischen Müllverbrennungsanlagen [1999-2007]



Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten aus Arge IAA/INTECUS 2009

Tabelle 10: Differenzbetrachtung Top-Down ermittelter abfallwirtschaftlicher Materialströme mit Vergleichsangaben aus Fachliteratur und Verbandsinformationen [Mio. t]

Material-strom	Top-Down Analyse	Ver-gleichs-wert	Quelle	Differenz [Mio. t]	Interpretation
Inländisches Sekundärrohstoffaufkommen 2007					
Minerale	63,13	63,29	Verwertungsmenge RC-Baustoff ohne Steine/Erden-Fraktion 2006; KWTB 2011	+0,16 (+0,25 %)	Abweichung unerheblich
Metalle	17,32	29,88	Aufkommen, Verbleib und Ressourcenrelevanz von Gewerbeabfällen, Tab. 10-3; u.e.c., UBA-Texte 19/2011	+12,57 (+72,5 %)	Entspricht Größenordnung nicht in Abfallstatistik erfasster zusätzlicher Einsatzmengen Schrott lt. WV Stahl
Kunststoffe	4,84	2,27	Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland; Consultic GmbH, 2009	-2,57 (-53,1 %)	Überschätzung der Kunststoffgehalte in einzelnen Abfallfraktionen u. Mitberücksichtigung von Gummi
Holz	18,74	2,07	Stoffstromanalyse Holz; Mantau/Bilitewski 2010	-16,67 (-88,9 %)	Anteile anderer Biomasse u. Mitberücksichtigung von Altpapier (15,57)
Exportmengen an Sekundärrohstoffen 2007					
Metalle	10,00	9,21	Aufkommen, Verbleib und Ressourcenrelevanz von Gewerbeabfällen, Tab. 10-5; u.e.c., UBA-Texte 19/2011	-0,79 (-7,9 %)	Überschätzungen der jeweiligen Materialgehalte in den einzelnen Fraktionen exportierter Abfälle bzw. Abfallgüter
Kunststoffe	1,07	0,98		-0,09 (-8,4 %)	
Holz	5,72	5,03		-0,69 (-12,1 %)	
Abgaben an die Umwelt 2010 (hier Anteil Verfüllungen)					
Minerale	9,8	10,13	Menge sonstige Verwertung (Verfüllung) von Bauabfällen ohne Steine/Erden-Fraktion; KWTB 2013	0,33 (+3,36 %)	Abweichung unerheblich

Quelle: eigene Berechnungen und recherchierte Werte

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass auftretende Abweichungen der erhobenen Werte zu Angaben aus vorliegenden Studien begründet werden können. Unplausibilitäten treten nicht auf.

5.5 Zusammenfassende Darstellung der differenzierten Materialflüsse Top-Down (Schicht 2)

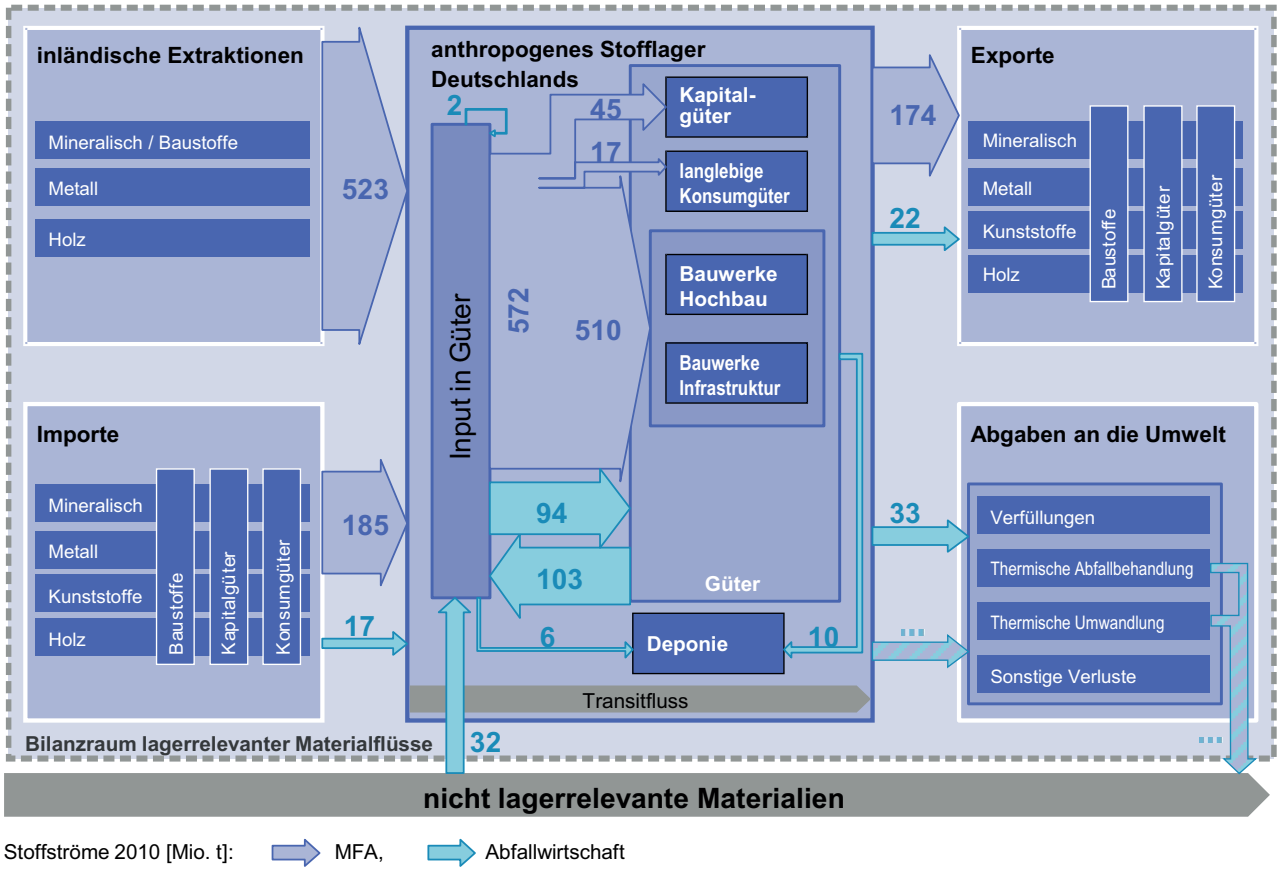
Die auf Schicht 2 spezifizierten Flüsse:

- „Inputflüsse in Güter“, differenziert nach Gütergruppen (Tabelle 4 und Tabelle 5, Absatz 5.3) und
- Abfallwirtschaftlich geprägte Flüsse im Lager (Tabelle 9, Abschnitt 5.4.2.2)

sind in Verbindung mit den in Schicht 1 des MSM ermittelten Input- und Outputströmen (vgl. Abbildung 8, Abschnitt 4.2.3) in nachfolgender Abbildung 32 dargestellt.

Die Position des „Input in Güter“ entspricht den in Abschnitt 5.3.1 dargestellten „Inputflüssen in das Anthropogene Lager“ aus der Herstellung/Produktion von Gütern, zuzüglich der in den Top-Down-Betrachtungen nicht enthaltenen Anteile mineralischer Materialien und Holz aus dem SERO-Kreislauf und dem Rückfluss aus Umwandlung sowie des dort ebenfalls nicht berücksichtigten Deponiestroms „pre-consumer“, der in der Produktion anfällt. Sie beträgt in der Summe 674 Mio. t. Der hier adressierte „Input in Güter“ (Produktion) kann prinzipiell sowohl innerhalb als auch außerhalb Deutschlands stattfinden.

Abbildung 32: Materialflüsse im Anthropogenen Lager - Schicht 2 des MSM (2010) [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

Der Produktions-Inputstrom in Güter wird gespeist aus den Inputströmen in das Lager (757 Mio. t) sowie aus lagerinternen Strömen (105 Mio. t). Diese betragen in der Summe 860 Mio. t. Dazwischen besteht eine positive Differenz von 188 Mio. t, welche als Transitfluss durch das Lager interpretiert

werden kann. Dieser direkte Transitfluss liegt unterhalb der Größenordnung der Outputströme (227,8 Mio. t + nicht quantifizierte Umweltabgaben).

Insgesamt weisen die Ergebnisse damit keine Unplausibilitäten auf. Deutlich wird aber auch, dass es Brüche zwischen Schicht 1 und Schicht 2 des Modells gibt. Eine Durchgängigkeit kann mit den verfügbaren Daten nicht hergestellt werden.

Abbildung 33 spezifiziert die Flüsse zusätzlich nach Hauptmaterialgruppen. Die Bedeutung der Hauptmaterialgruppen ergibt sich schematisch aus der dargestellten Strichstärkte des entsprechend farblich untersetzten Stoffflusspfeiles. Zusätzlich sind in der Grafik die Summenströme über alle Materialien beziffert.

Der Input in Güter ist mineralisch dominiert, wobei die mineralischen Materialien fast ausschließlich in die Bauwerke fließen. Die zweitgrößte Fraktion bilden die Metalle, welche zum Großteil in Kapitalgüter fließen. Die zweite Hälfte der Materialien in Kapitalgütern ist in der MFA nicht weiter spezifiziert (Sonstiges). Die Kategorie Sonstiges enthält unbekannte Mengen an Kunststoffen, Holz usw., weshalb an dieser Stelle keine weitere Interpretation dieser Materialströme vorgenommen wird.

Für die mineralischen Materialien konnte innerhalb des Lagers eine weitere Differenzierung zwischen Hochbau und Infrastruktur (Tiefbau) vorgenommen werden (Zahlendarstellung kursiv). Der Vergleich zwischen den Daten der MFA, die hier nur Primärmaterial umfassen und den Daten der Abfallwirtschaft zeigt, dass 85 % der mineralischen Baustoffe, welche im Basisjahr 2010 in die Errichtung und Sanierung von Bauwerken flossen, aus Primärrohstoffen bestanden. Beim Input von Primärmaterial (MFA) zeigt sich ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Hoch- und Tiefbau, wohingegen das aus dem SERO-Kreislauf (Abfallwirtschaft) gewonnene mineralische Sekundärmaterial zu rund 90 % in die Infrastrukturen fließt.

Auf der Schicht 2 des MSM lassen sich ferner die Abgaben an die Umwelt weiter differenzieren in Verfüllungen und thermische Abfallbehandlung, deren Summe mithilfe der abfallwirtschaftlichen Analysen quantifizierbar ist, sowie Abgaben in Form von thermischer Umwandlung und sonstigen Verlusten. Bei der thermischen Umwandlung bilden vor allem Altholz und Sägenebenprodukte[37] und aus Abfall gewonnene Ersatzbrennstoffe (EBS)[38] den relevanten Anteil. Stofflich betrachtet sind dies im Wesentlichen die Materialgruppen Kunststoffe und Holz. Eine Quantifizierung dieses Stromes ist anhand der vorliegenden Daten jedoch nicht möglich.

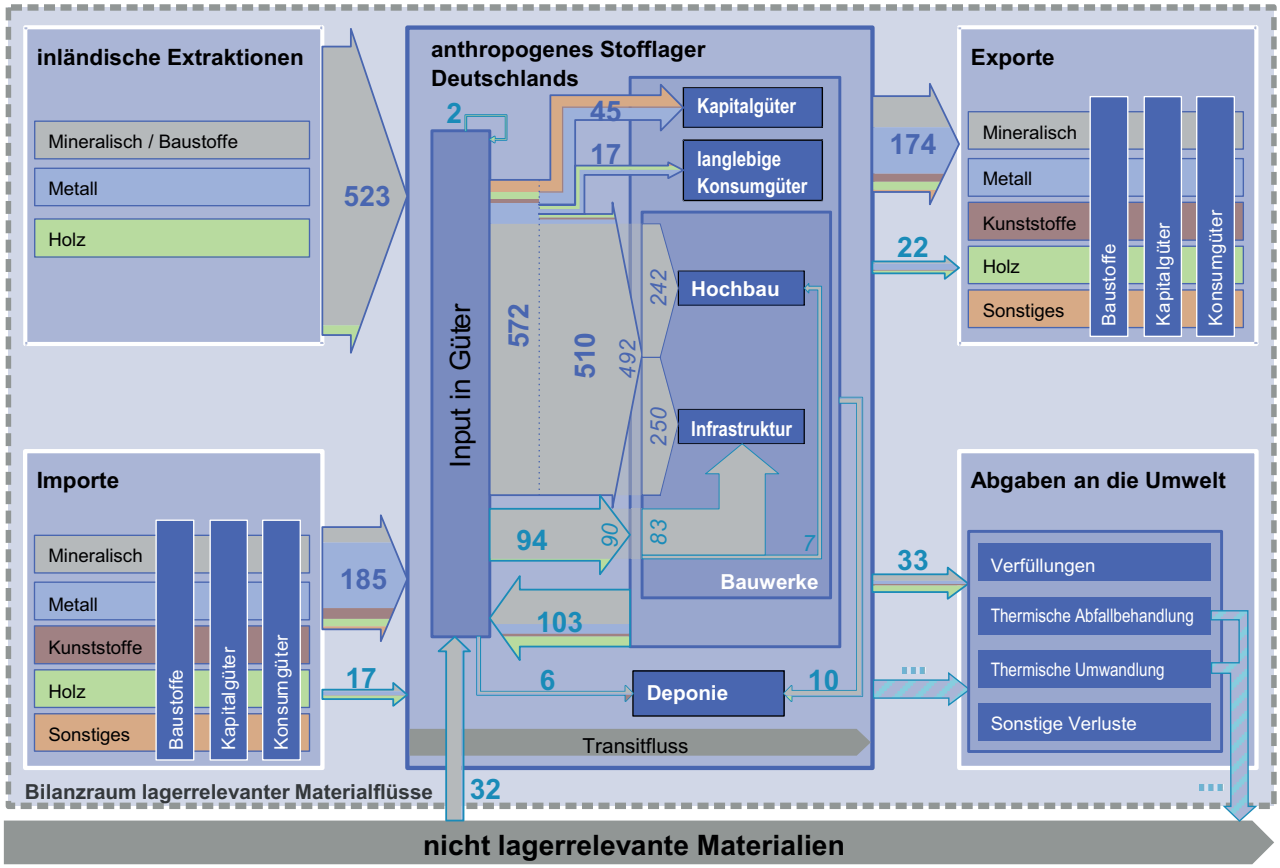
Aus den thermischen Prozessen (Abfallbehandlung und Umwandlung) entstehen Materialien[39], die nicht vom Betrachtungsrahmen des Modells erfasst sind und damit zum Strom nicht lagerrelevanter Materialien zu zählen sind. Dabei wird insbesondere auf bei der Verbrennung entstehende Aschen, Stäube und Schlacken abgestellt. Von der nicht quantifizierbaren Gesamtmasse an Aschen, Stäuben, Schlacken bzw. deren Inhaltsstoffen gelangen gewisse Anteile durch Vorgänge der stofflichen Anschlussnutzung wieder in das Lager zurück (Rückfluss). Der Rückfluss ins Lager (32 Mio. t) bildet neben vorgenannten Aschen und Schlacken weitere Nebenprodukte industrieller Prozesse ab, die wieder Eingang in Güter finden. Dies sind z. B. REA-Gips, Flusssäure-Anhydrit und Gießereialtsande. Er ist damit überwiegend mineralischer Natur; bedeutend geringer sind Metallanteile.

[37] z. B. in Biomassekraftwerken

[38] z. B. in Zement- und Ersatzbrennstoffkraftwerken sowie konventionellen Kraftwerksanlagen

[39] z. B. gasförmige Verbrennungsprodukte

Abbildung 33: Materialflüsse im Anthropogenen Lager - Schicht 2 des MSM (2010), differenziert nach Hauptmaterialgruppen [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

6 Bottom-Up Analyse

6.1 Hochrechnungen der Flüsse und Bestände für die betrachteten Gütergruppen

6.1.1 Material- und Gütergruppen

Für die Bottom-Up-Analysen werden dieselben Hauptmaterialgruppen wie bei den Top-Down-Analysen verwendet (vgl. Abschnitt 4.2.3, Abbildung 9):

- Mineralische Materialien,
- Metalle,
- Kunststoffe,
- Holz,
- Sonstige/nicht differenziert.

Bei den einzelnen Gütern erfolgt eine unterschiedlich ausgeprägte weitere Differenzierung der Materialien innerhalb der Hauptmaterialgruppen entsprechend der Datenverfügbarkeit.

Für die folgenden Hauptgüter- und Gütergruppen wurden Bottom-Up-Analysen zur Materialverteilung durchgeführt. Diese münden in Materialkennziffern, welche anhand von Mengengerüsten zu Beständen und Flüssen hochgerechnet werden:

- Technische Infrastrukturen (Tiefbau)
- Verkehrsinfrastruktur
  (Straße, Schiene, Binnenschifffahrt, Luftverkehr einschl. Ingenieurbauwerke, Straßenausstattung); nicht berücksichtigt: Fußwege, Hauptwirtschaftswege, Parkanlagen, Seehäfen
- Trinkwasser- und Abwasserinfrastruktur
  (Leitungen, Anlagen)
- Energieinfrastruktur
  (Strom-, Gas-, Fern- und Nahwärmenetze, Energieerzeugungseinrichtungen)
- IuK-Infrastruktur
  (TK-Leitungen, Vermittlungsstellen, Rechenzentren und Mobilfunk)
- Bauwerke des Hochbaus
- Wohngebäude
  (Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser einschl. befestigte Flächen auf Grundstücken)
- Nichtwohngebäude
  (alle Nichtwohngebäudearten lt. Statistik ≥ 350 m3 BRI)
  nicht berücksichtigt: befestigte Flächen auf Grundstücken
- Haustechnik
- Wohngebäude
  (Heizungsanlagen und Wärmeerzeuger, Heizungs- und Trinkwasserrohrnetz, Abwasser, Wärmeabgabe [Heizkörper], Sanitäre Ausstattung [nur keramische Werkstoffe])
- Nichtwohngebäude (Rohrleitungen)
- Langlebige Güter
- Langlebige Konsumgüter
  (ca. 30 Güter: weiße Ware [Haushaltsgroßgeräte], Küchenkleingeräte, Heimelektronik, Telekommunikationsgeräte, Computer, Fahrzeuge, Bekleidung, Schmuck)
- Langlebige Kapitalgüter
  (Abschätzung des Materialgehalts von Kapitalgütern mittels IO-Analyse)

6.1.2 Technische Infrastrukturen (Tiefbau)

Die technischen Infrastrukturen (oder auch netzgebundene Infrastrukturen) gliedern sich in die vier Teilbereiche Verkehrs-, Wasser- und Abwasser-, Energie- und Telekommunikations-infrastrukturen. Diese vier Infrastruktursysteme untergliedern sich wiederum in verschiedene Teilsysteme wie z. B. Straßen-, Schienen-, Flughafen- und Binnenschifffahrt und Ingenieurbauwerke im Bereich der Verkehrsinfrastrukturen. Und diese sind weiter zu unterteilen in einzelne Systembestandteile, z. B. in Straßenfläche, Lärmschutzwände und Straßenausstattung im Bereich Straßeninfrastruktur.

Um die Materiallager und -flüsse der technischen Infrastrukturen in Deutschland abschätzen zu können, sind somit eine hohe Anzahl an Teilanalysen notwendig, die hinsichtlich ihrer Konstruktionsweise und Datenverfügbarkeit eine hohe Heterogenität aufweisen. Dementsprechend unterschiedlich sind die spezifischen Materialkennziffern und Bezugsgrößen ermittelt worden. Daher sollen im nächsten Kapitel zunächst einige generelle Erläuterungen zur Methodik, den Systemgrenzen und Datengrundlage erfolgen, um nachfolgend für die einzelnen Teilsysteme jeweils detailliert die konkrete Datensituation und Methodik darzulegen.

Ziel dieses Projektes war es, die vorhandenen Datenbestände zu den Materiallagern und -flüssen der verschiedenen Infrastruktursysteme zu bündeln, zu aktualisieren und bisher fehlende Teilsysteme möglichst zu ergänzen.

6.1.2.1 Methoden und Datengrundlagen

Für die einzelnen Systembestandteile liegen Daten in unterschiedlicher Detailtiefe und Aktualität vor. In Folge dessen sind z. B. für einige Systembestandteile detaillierte Daten über den Bestand und den jährlichen Verbrauch unterschiedlicher Kunststoffsorten vorhanden (z. B. PV-Anlagen), während für andere Systembestandteile nur Daten für Kunststoffe insgesamt vorliegen (z. B. Abwasserkanalisation) und für weitere Teilbereiche lediglich die Abschätzungen für eine Auswahl an Rohstoffen vorhanden ist, z. B. lediglich die gebundenen Menge an Beton und Stahl, obwohl auch hier Kunststoffe und andere Rohstoffe in diesen Infrastrukturbestandteilen enthalten sind (z. B. Wasserkraftanlagen). Zur Abschätzung der Materialbestände und jährlichen Flüsse wurden die vorliegenden Daten in der jeweils höchsten Detailtiefe verwendet.

Für einzelne Teilaspekte einiger Infrastruktursysteme ist die vorhandene Datenlage jedoch nicht ausreichend, um den Materialbestandes und/oder die jährlichen Materialflüsse abschätzen zu können (z. B. Brunnenanlagen der Trinkwasserinfrastruktur). Zudem sind einige Teilsysteme derzeit nur von untergeordneter Bedeutung (z. B. Geothermie im deutschen Energiemix), so dass eine Nichtberücksichtigung dieser Teilsysteme bei der Ermittlung der materiellen Lager und Flüsse im Bereich der technischen Infrastrukturen gerechtfertigt erscheint. Tabelle 11 liefert einen Überblick welche Teilsysteme der verschiedenen Infrastruktursysteme identifiziert wurden und welche in die Bottom-Up-Abschätzung des Anthropogenen Lagers innerhalb dieses Projektes berücksichtigt werden konnten. Zudem wird angegeben, ob eine jährliche Fortschreibung anhand der genannten Quellen möglich ist.

Tabelle 11: Übersicht der Infrastruktur(teil-)systeme

System	Teilsystem	Bestandteile	Bestandsschätzung	Flussschätzung	Hauptquellen Bestand	Hauptquellen jährliche Fortschreibung	Hauptquellen Materialkennziffern	Kommentar
Verkehrsinfrastruktur	Straßeninfrastruktur	Straßenfläche öffentliches Straßennetz	☐	☐	BMVBS 2013	BMVBS 2010	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen	Details sind den Studien Steger et al. (2011) bzw. Mottschall/ Bergmann (2013) zu entnehmen)
		Straßenfläche Betriebswege	☐	☐				in AP3 grob geschätzt
		Fuß-, Radwege und Plätze	☐	☐				
		Ingenieurbauwerke	☐	☐	Mottschall/ Bergmann 2013	Mottschall/ Bergmann 2013	Mottschall/ Bergmann 2013	Daten über Bestand und Zubau beruhen auf Statistiken des BMVBS (jetzt BMVI) (verschiedene Jg.)
		Lärmschutzwände	☐	☐	BMVBS (2011), jetzt BMVI	BMVBS (2011), jetzt BMVI	verschiedene Herstellerangaben	
		Straßenausstattung	☐	☐	Mottschall/ Bergmann 2013	Mottschall/ Bergmann 2013	Mottschall/ Bergmann 2013	Zuwachs teilweise an Neubau Straßen gekoppelt
	Schieneninfrastruktur	weitestgehend komplett	☐	☐	Mottschall/ Bergmann 2013	Mottschall/ Bergmann 2013	Schmied/ Mottschall 2010	Längenangaben des Netzes können aus Destatis (verschiedene Jahrgänge) entnommen werden

System	Teilsystem	Bestandteile	Bestands-schätzung	Fluss-schätzung	Hauptquellen Bestand	Hauptquellen jährliche Fort-schreibung	Hauptquellen Material-kennziffern	Kommentar
	Flughafen-infrastruk-tur	weitestgehend komplett	☐	☐	Mottschall/ Bergmann 2013		Mottschall/ Bergmann 2013	Nur Instandhaltungs-flüsse
	Binnenschiff-fahrt u. Hafen-anlagen	weitestgehend komplett	☐	☐	Mottschall/ Bergmann 2013		Steger et al. 2011; Mottschall/ Bergmann 2013	Nur Instandhaltungs-flüsse
Wasser- und Abwasserinfrastruktur	Trinkwasser	Talsperren	☐	☐	Steger et al. 2011	Steger et al. 2011	Steger et al. 2012	verschiedene Literatur-quellen, Details in Steger et al. (2011), nur Neubau
		Brunnen	☐	☐				
		Quellwasser-erfassung	☐	☐				
		Wasserwerke	☐	☐	Destatis (2013d)	Destatis (2013d)	Althaus et al. (2007)	Beispielanlage, die in Steger et al.(2011) auf Fördermenge in kg/m³ normiert wurde
		Versorgungs-netz	☐	☐	Schätzwert BDEW		Steger et al. (2011)	Übernahme der Daten aus Steger et al.
		Trinkwasser-speicher	☐	☐	LfU Bayern (2009)		Steger et al. (2011)	Bestand hochgerechnet auf Grundlage bayrischer Daten
		Pumpwerke	☐	☐				
	Abwasser	Kanalisation	☐	☐	Destatis	Destatis	Steger et al.	verschiedene Literatur-

System	Teilsystem		Bestandteile	Bestands-schätzung	Fluss-schätzung	Hauptquellen Bestand	Hauptquellen jährliche Fortschreibung	Hauptquellen Materialkennziffern	Kommentar
						(2013d)	(2013d)	(2011)	quellen, Details in Steger et al. (2011)
			Schächte	☐	☐	Steger et al. (2011)		Steger et al. (2011)	verschiedene Literaturquellen, Details in Steger et al. (2011)
			Pumpwerke	☐	☐				
			Regenentlastungsbauwerke	☐	☐	Destatis (2013d)	Destatis (2013d)	Reckerzügl (1997)	nur Neubau
			Kläranlagen	☐	☐	Destatis (2013d)	Destatis (2013d)		verschiedene Literaturquellen, Details in Steger et al. (2011), nur Neubau
Energie	Energieerzeugung	Konventionelle Kraftwerke	Braunkohlekraftwerke	☐	☐	BDEW (ohne Jg.)		Bauer (2008)	Übernahme der Daten aus Steger et al.
			Steinkohlekraftwerke	☐	☐	BDEW (ohne Jg.)		Bauer (2008)	Übernahme der Daten aus Steger et al.
			Gaskraftwerke	☐	☐	BDEW (ohne Jg.)		Salzer (2008)	Übernahme der Daten aus Steger et al.
			Atomkraftwerke	☐	☐	BDEW (ohne Jg.)		Dones (2007), FfE (1996)	Übernahme der Daten aus Steger et al.
		Erneuerbare Energie	(Lauf-) Wasserkraftwerke	☐	☐	BMU (2008), BDEW (ohne Jg.)		Steger et a. (2011)	verschiedene Literaturquellen, Details in Steger et al. (2011)
			(Pump-) Wasserkraftwerke	☐	☐				

System	Teilsystem		Bestandteile	Bestands-schätzung	Fluss-schätzung	Hauptquellen Bestand	Hauptquellen jährliche Fortschreibung	Hauptquellen Materialkennziffern	Kommentar
			Windenergieanlage onshore	☐	☐	ISEW, Bundesverband WindEnergie (ohne Jg.)	ISEW, Bundesverband WindEnergie (ohne Jg.)	Steger et a. (2011)	verschiedene Literaturquellen, Details in Steger et al. (2011)
			Windenergieanlagen offshore	☐	☐				
			Biogasanlagen	☐	☐	Forum New Power, (verschiedene Jg.)	Forum New Power, (verschiedene Jg.)	Steger et al. (2011)	verschiedene Literaturquellen, Details in Steger et al. (2011)
			BHKW	☐	☐	Gores (2010)	Steger et al. (2011)	Heck et al. (2007)	Beispielanlage in Heck (2007) wurden in Steger et al. (2011) hochskaliert
			Photovoltaik	☐	☐	BSW , Meldedaten BNA, (ohne Jg.)	BSW , Meldedaten BNA, (ohne Jg.)	Jungbluth et al. (2012), Wild-Scholten (2012), Fthenalis et al. (2011)	eigene Zusammenstellung basierend auf angegebener Literatur
			Geothermie	☐	☐				
	Energieverteilung	Stromnetze		☐	☐	BDEW, BNA (ohne Jg.)	BDEW, BNA (ohne Jg.)	Steger et al. (2011)	verschiedene Literaturquellen, Details in Steger et al. (2011)

System	Teilsystem		Bestandteile	Bestands-schätzung	Fluss-schätzung	Hauptquellen Bestand	Hauptquellen jährliche Fort-schreibung	Hauptquellen Material-kennziffern	Kommentar
		Gasnetze	(Fernleitungs-) Hochdruck	☐	☐	BDEW, BNA (ohne Jg.)	BDEW, BNA (ohne Jg.)	Steger et al. (2011)	verschiedene Literatur-quellen, Details in Steger et al. (2011)
			Mitteldruck	☐	☐	BDEW, BNA (ohne Jg.)	BDEW, BNA (ohne Jg.)	Steger et al. (2011)	verschiedene Literatur-quellen, Details in Steger et al. (2011)
			Niederdruck	☐	☐	BDEW, BNA (ohne Jg.)	BDEW, BNA (ohne Jg.)	Steger et al. (2011)	verschiedene Literatur-quellen, Details in Steger et al. (2011)
			Gasspeicher	☐	☐				
			Gasförder-anlagen	☐	☐				
		Wärmenetze	Fernwärme	☐	☐	AGFW (2007)		Steger et al. (2011)	verschiedene Literatur-quellen, Details in Steger et al. (2011)
			Nah-wärme	☐	☐	AGFW (2007)		Steger et al. (2011)	verschiedene Literatur-quellen, Details in Steger et al. (2011)
IuK	Festnetz	Hauptvermittlungsstelle	Server: Stand alone	☐	☐	eigene Hoch-rechnung		Hintemann et al. (2010)	Hochrechnung auf Grund-lage der Anzahl der HVSt.
			Server: Blade	☐	☐				
			Server: Rack	☐	☐				

System	Teilsystem		Bestandteile	Bestands-schätzung	Fluss-schätzung	Hauptquellen Bestand	Hauptquellen jährliche Fort-schreibung	Hauptquellen Material-kennziffern	Kommentar
			Unix	☐	☐				
			Netzwerk	☐	☐				
		Stromversorgung	PCB	☐	☐				
		Stromversorgung	sonstige Tech-nik	☐	☐				
		Stromversorgung	Batterie	☐	☐				
		Stromversorgung	Verkabelung	☐	☐				
		Stromversorgung	Transformator/ Generator	☐	☐				
		Racks		☐	☐				
		Einhausung		☐	☐				

System	Teilsystem		Bestandteile	Bestands-schätzung	Fluss-schätzung	Hauptquellen Bestand	Hauptquellen jährliche Fort-schreibung	Hauptquellen Material-kennziffern	Kommentar
			Kühlung	☐	☐				
		Hauptverteiler[40]	Gestell	☐	☐	eigene Hoch-rechnung		Hersteller-angaben	Hochrechnung auf Grund-lage der Anzahl der HVSt. plus Internetrecherchen
			Anschlusselement System	☐	☐				
			Verkabelung in-house	☐	☐			Hintemann et al. (2010)	
		Hauptkabel		☐	☐			Hersteller-angaben	
		KVZ		☐	☐				
		Verzweigungskabel		☐	☐				
	Rechenzentren plus Stand–alone-Server			☐	☐	Hintemann et al. (2010)		Hintemann et al. (2010)	
	Mobilfunk			☐	☐	Scharp (2011)		Scharp (2011)	

☑ erfasst
☒ nicht erfasst
Quelle: eigene Zusammenstellung.

[40] Hauptverteiler sind die Schnittstelle zwischen der Vermittlungstechnik und den Hauptkabeln, die die erste Netzebene des Festnetzes darstellt.

Grundsätzlich wurden für jeden Bestandteil der einzelnen Infrastruktursysteme über Literaturauswertungen oder über eigene und Experten-Einschätzungen spezifische Materialkennziffern (MKZ) ermittelt. Diese sind teilweise aus technischen Regelwerken direkt ableitbar (Straßenflächen), aus unterschiedlichen Literaturquellen direkt übernommen (Teilsysteme der Verkehrsinfrastruktur, fossile Kraftwerke) oder wurden mittels eigener Abschätzungen auf Grundlage von Herstellerangaben und Expertenbefragungen (z. B. Lärmschutzwände oder Stromnetze) selbst entwickelt. Die Bezugsgrößen unterscheiden sich je nach Infrastruktursystemen (z. B. m² Straßenfläche, pro MW Kraftwerksleistung, pro Windkraftanlage). Diese spezifischen Materialkoeffizienten werden mit einem Mengengerüst der jeweiligen Infrastruktursysteme (z. B. Länge der Abwasserkanalisation) multipliziert und so der Materialbestand ermittelt. Dabei kann zum Teil auf jährlich publizierte Daten der öffentlichen Statistik zurückgegriffen werden (Anzahl Kläranlagen, Länge der Kanalisation, Länge des Schienennetzes) oder regelmäßigen Statistiken von Verbänden und wissenschaftlichen Einrichtungen (Anzahl Windenergieanlagen oder Photovoltaikanlagen). Häufig liegen aber auch für die Bezugsgrößen, die mit den MKZ in Verbindung gebracht werden müssen, nur vereinzelte Literaturabschätzungen mit unterschiedlichen Zeitbezügen vor, oder es müssen eigene Annahmen getroffen werden.

Für die Abschätzung der jährlichen Materialflüsse für den Neubau bzw. Ausbau von technischen Infrastruktursystemen wurde ebenfalls auf verschiedene Methodiken und Datengrundlagen zurückgegriffen. Insofern die jährlichen Veränderungen der Bezugsgrößen erfasst werden, sei es durch offizielle Statistiken oder Branchendaten, können die Differenzen zwischen $Jahr_0$ und $Jahr_1$ mit den entsprechenden Materialkennwerten verbunden werden. Je nach konkreter Konstruktionsweise liegen für einzelne Teilsysteme unterschiedliche MKZ vor. So unterscheiden sich die MKZ einer getriebelosen Windkraftanlage von denen mit Getriebe oder Fernwärmerohre in Kunststoffmantelausführung von denen mit Stahlmantelrohren. Diese Detailinformationen können jedoch in der Regel nicht aus den jährlich veröffentlichten Daten zur Bestandsveränderung entnommen werden. Daher müssen entweder Annahmen über die konkrete Konstruktionsweise getroffen werden, oder es wird mit der prozentualen Verteilung der verschiedenen Merkmalsausprägung des Bestandes gearbeitet. Teilweise war es jedoch nicht möglich, jährliche Materialflüsse für den Zubau zu ermitteln (z. B. Telefonfestnetz).

Der konkrete Materialaufwand der Instandhaltung ist schwierig abzuschätzen. In der Regel liegen hierfür keine Daten vor, sodass analog zu Ökobilanzierungen mit einer jährlichen Erneuerungsrate, abhängig von der technischen Lebensdauer, ein Instandhaltungsaufwand geschätzt wird. In zwei Bereichen wurde im Vorgängerprojekt „MaRess“ von diesem Vorgehen abgewichen: zum einen wurde im Bereich der Abwasser- und Trinkwasserleitungen eine aus Literatur- und Firmenangaben abgeleitete Erneuerungsrate von rund 1 % des Gesamtnetzes angenommen, und zum anderen wurde die Erneuerungsrate im Bereich der Stromnetze über die monetären Investitionszahlen und der Materialintensität von Neubau und Instandhaltung abgeschätzt. Für die Infrastrukturbereiche, deren Bestandsschätzung schon mit großen Unsicherheiten verbunden ist, wurde auf eine Abschätzung des Instandhaltungsbedarfes aufgrund der hohen Fehleranfälligkeit verzichtet (z. B. Wärmenetze, Wasserwerke). Für Erneuerbare Energietechnologien wurde eine Abschätzung der Instandhaltung über die technische Lebensdauer verzichtet[41]. Durch Repowering-Maßnahmen von Windenergieanlagen werden ebenfalls alten Anlagen durch neue ersetzt. Diese müssen aber nicht zwingend instandhaltungsbedingt erfolgen, sondern sind zunehmenden räumlichen Einschränkungen für die Errichtung

[41] So sind die Mehrzahl der Windenergie- und Photovoltaik-Anlagen erst in den letzten Jahren erstellt worden, so dass hier der Erneuerungsbedarf noch gering sein dürfte. Zudem kann im Nachfolgeprojekt im Rahmen einer dynamischen Modellierung beider Energieerzeugungstechnologien, aufgrund der sehr guten statistischen Grundlagen, mit einem konkreten Anfangsjahr gearbeitet werden, die perspektivisch eine realistischere Darstellung der Instandhaltungsaufwendungen und Abflüsse am Ende der Lebensdauer ermöglichen.

von Windkraftanlagen geschuldet. Stoffliche Mengenangaben zu Repowering von Windkraftanlagen für das Jahr 2008 finden sich in Steger et al. (2011)

Die Outputströme ergeben sich aus der jährlichen linearen Abschreibung der Nutzungsdauern. Diese liegen im Bereich der Straßen- und Schieneninfrastruktur sehr differenziert für einzelne Straßenschicht bzw. verschiedenen Bestandteile der Infrastruktur vor. Für die restlichen Infrastrukturbestandteile wird keine Unterteilung der einzelnen Lebensdauern vorgenommen. Aus Tabelle 12 wird ersichtlich, welche Nutzungs- bzw. technischen Lebensdauern für die Abschätzung der Outputflüsse aufgrund Instandhaltung verwendet wurden. Für die Wasser- und Abwasserinfrastrukturen wurden die Outputflüsse über prozentuale Erneuerungsraten der Bestandslängen abgeschätzt, wohingegen für die IuK-Infrastruktur keine Daten über die Lebensdauer oder Erneuerungszyklen vorliegen und keine Instandhaltungsaufwendungen und damit verbundenen Outputflüsse geschätzt wurden.

Für die Ermittlung des Materialbestandes und die Abschätzung der jährlichen Materialflüsse, die für Neubau, Erweiterung und Instandhaltung der verschiedenen Infrastruktursysteme, insbesondere Verkehrsinfrastrukturen, notwendig sind, kann auf verschiedene umfangreiche Vorarbeiten zurückgegriffen werden. Dies sind vor allem:

- UBA-Teilprojekte MaRess AP2.3. „Materialbestand und Materialflüsse in Infrastrukturen“ (Steger et al. 2011)
- UBA - Ufoplan-Projekt „Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland“ (Schmied/Mottschall 2013) und
- UBA - Ufoplan-Projekt „Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland“ (Mottschall/Bergmann 2013).

Tabelle 12: Nutzungsdauer Infrastruktursysteme

Nutzungsdauer bzw. technischen Lebensdauer für Infrastruktursysteme				Jahre
Straßeninfrastruktur	Straßenfläche	Bundesautobahn	Deckschicht	20
			Bindeschicht	40
			Trageschicht	55
			Frostschutzschicht	55
		Bundesstraßen	Deckschicht	17
			Bindeschicht	40
			Trageschicht	55
			Frostschutzschicht	55
		Landstraßen	Deckschicht	30
			Bindeschicht	60
			Trageschichten	90
			Frostschutzschicht	90
		Kreisstraßen	Deckschicht	30
			Bindeschicht	60

Nutzungsdauer bzw. technischen Lebensdauer für Infrastruktursysteme				Jahre
			Trageschicht	90
			Frostschutz-schicht	90
		Gemeindestraßen	Deckschicht	30
			1. Tragschicht	60
			2. Tragschicht	90
			Frostschutz-schicht	90
	Straßenausstattung	Lärmschutz, Leitplanken etc.		20
		Ampeln		20
		Beleuchtung		50
		Tankstellen		60
	Ingenieurbauwerke	Brücken		60
Schienen-infrastruktur	Unterbau	Planum		60
	Oberbau	Schienen		30
		Schwellen	Beton	35
			Buchenholz	30
			Bewehrungsstahl	35
			Stahl	30
			Teeröl	30
		Feste Fahrbahn		60
		Schienenbefestigung		35
		Schotter		15
	Ingenieurbauwerke	Brücken		60
		Tunnel		60
	Oberleitung		HGV	7
			ABS	10
			sonstige Strecken	20
	Oberleitungsmasten			60
	Unterwerk			60
	Signaltechnik	Signalmasten		25
		Signalkabel		30
		Kabelkanal		25
		Linienzugbeeinflussung		30
		Stellwerk		60
	Immobilien			60

Nutzungsdauer bzw. technischen Lebensdauer für Infrastruktursysteme				Jahre
Flughafen-infrastruktur	Gebäude			60
Wasser-straßen-infrastruktur				60
Energie-infrastruktur	Konventionelle Kraftwerke			40
	Wasserkraftwerke			80
	Windenergieanla-gen			20
	Biogas			15
	BHKW			10
	Strom Freileitung			80
	Strom Kabel			40
	Gasleitungen			40

HGV = Hochgeschwindigkeitstrecke, ABS = Ausbaustrecke (bis 160km/h)
Quelle: eigene Zusammenstellung

Verkehrsinfrastruktur

Methodisch werden die Materiallager der einzelnen Verkehrsinfrastrukturbereiche über spezifische MKZ auf die Gesamtheit der jeweiligen Infrastruktursysteme hochgerechnet. Für die Straßeninfrastruktur werden z. B. aus den verschiedenen Regelwerken und Normen die jeweiligen Materialzusammensetzungen, Schichtdicken und Straßenbreiten, differenziert nach Straßentypen, abgeleitet und somit das Einbaugewicht pro km Straßenlänge bzw. pro m² Straßenfläche ermittelt. Für andere Verkehrsinfrastrukturbereiche müssen die Materialzusammensetzungen aus Herstellerangaben und anderen Literaturquellen entnommen werden, z. B. das Gewicht von bestimmten Schienentypen in kg/m oder der Bronze- und Kupfergehalt pro km Oberleitung.

Für die Hochrechnung des Materialbestandes der Verkehrsinfrastruktur wurden die MKZ der drei genannten UBA-Projekte zusammengetragen bzw. miteinander verglichen. Steger et al. (2011) berücksichtigt dabei nur die reinen Straßenflächen, die Brücken und Tunnel an Bundesfernstraßen, die Schieneninfrastruktur und unvollständige Daten für die Binnenschifffahrt. Dabei wurden in Steger et al. (2011) die MKZ der **Schieneninfrastruktur** unverändert aus Schmied/Mottschall (2013) übernommen.

Seit Herbst 2013 liegen mit den Ergebnissen aus Mottschall/Bergmann (2013) zusätzliche Daten für den Bereich der Luftverkehrsinfrastruktur vor. Zudem wurden zusätzliche Materialbestände einzelner Systembestandteile in verschiedenen Teilsystemen der Verkehrsinfrastruktur ermittelt. Gleichzeitig zeigen die Hochrechnung des Materialbestand der **Straßeninfrastruktur** in den beiden Studien Steger et al. (2011) und Mottschall/Bergmann (2013) erhebliche Unterschiede. Dies liegt zum einen an den unterschiedlichen Annahmen über die Straßenbreite der Kategorien Bundesautobahn bis Kreisstraßen[42]. Einen größeren Einfluss haben jedoch unterschiedliche Einbaugewichte in kg/m², die sich vor allem aus unterschiedlichen Annahmen hinsichtlich der Stärke der Frostschutzschicht ergibt. Während Steger et al. (2011) aus den technischen Regelwerten die maximal empfohlene Schichtstärke verwendete, verrechnet Mottschall/Bergmann (2013) diese Schichtdicken an Hand der Angaben über die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaues. Die MKZ beider Studien können daher als Ober- (Steger et al. 2011) bzw. Untergrenze (Mottschall/Bergmann 2013) der in Deutschland verwendeten Schichtdicken der Frostschutzschicht interpretiert werden. Bei der Aktualisierung der Materiallager der Straßeninfrastruktur wurde auf die MKZ der MaRess-Studie zurückgegriffen. Dies führt zu deutlich höheren Bestandsdaten gegenüber der Verwendung der MKZ der Studie von Mottschall/Bergmann (2013). Da Fußwege und andere Bestandteile der Verkehrsinfrastruktur noch nicht Teil der Analysen sind, sollten die höheren Abschätzungen nach Steger et al. (2011) dem Lager an mineralischen Rohstoffen im Bereich Verkehrsinfrastruktur in einem höheren Maße entsprechen als bei der Verwendung der MKZ aus Mottschall/Bergmann (2013).

Die Daten für die Materiallager, die in den eigentlichen Straßenflächen gebunden sind, werden durch Abschätzungen für die **Straßenausstattung** (Schutzplanken, Lichtzeichenanlagen, Beschilderung oder Raststätten) und Lärmschutzbauten an Bundesfernstraßen ergänzt. Die Daten für die Straßenausstattung entstammen der Studie Mottschall/Bergmann (2013). Für die Abschätzung des Materialbestandes an **Lärmschutzbauten** wurde die Längenstatistik der Lärmschutzwände (BMVBS 2011) mit Herstellerangaben über das Gesamtgewicht verschiedener Bauweisen von Lärmschutzwänden pro m² sowie der Materialmengen pro Stützpfeiler inklusive Bohrpfahl-Fundamenten kombiniert. Die Verteilung der unterschiedlichen Bauformen (Holz, Transparent, Aluminium, Beton) wurde dem Artikel „Lärmschutz und mehr“ (Treiber 2006) entnommen.

[42] Steger et al. (2011) verwendet leicht breitere Straßenbreiten, etwa eine durchschnittliche Straßenbreite von 23 m für Bundesautobahnen, während Mottschall/Bergmann (2013) von 21,5 m Straßenbreite ausgehen.

Für die Länge des deutschen Straßennetzes kann auf verschiedene, regelmäßig publizierte Statistiken wie das Datenkompendium „Der Elsner – Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen“ (verschiedene Jahrgänge) oder Verkehr in Zahlen (BMVI, früher BMVBS, 2013) zurückgegriffen werden. Da in BMVBS (2013) nur gerundete Längenangaben enthalten sind, wurden für diese Studie die Daten der Zusammenstellung „Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs des Jahres 2010“ verwendet, die nach Bundesländern getrennt jährlich erhoben werden und vom UBA zur Verfügung gestellt wurden (BMVBS 2010). Da seit etlichen Jahren keine Statistiken über die Länge der Gemeindestraßen veröffentlicht werden, sind die Längenangaben für diese Straßenkategorie Schätzwerte.

Gerade für das größte Materiallager der technischen Infrastrukturen, der Straßeninfrastruktur, ist die Abschätzung der jährlichen Materialflüsse für Neubau über die jährliche Veränderung der Bestandsdaten mit großen Problemen verbunden. Die einfache Längenstatistik der verschiedenen Straßenkategorien unterscheidet nicht nach echtem Neubau und Umwidmungen, so dass ein Zuwachs an Autobahnkilometern in der Statistik nicht mit echten Zuwächsen korrespondieren muss oder statistische Rückgänge an Landstraßen nicht mit tatsächlichen Rückbauten verbunden sein müssen. Zusätzlich werden Erweiterungen von Fahrbahnstreifen durch einfache Längenstatistik nicht abgebildet. Auch für die Bestandsveränderung des Schienennetzes gibt es nur bedingt hinreichende Statistiken. Zwar wird in den jährlichen Statistiken von Destatis (Destatis 2012f) die Länge des Streckennetzes bzw. die Gleislänge nach bestimmten Kriterien (eingleisig/mehrgleisig; elektrifiziert/nicht elektrifiziert) erfasst, die MKZ unterscheiden allerdings noch in weitere Kriterien. Für die Aktualisierung der Daten und die Erweiterung des Streckennetzes wurden daher die prozentuale Verteilung von Hochgeschwindigkeits-, Ausbau- sowie normaler Strecke aus der Bestandsschätzung übernommen.

Für **Ingenieurbauwerke** (Tunnel und Brücken) wurden die Daten von Mottschall/Bergmann (2013) verwendet, da deren Datenbasis gegenüber den Datenquellen in Steger et al. (2011) umfassender war. Zudem wurde in Mottschall/Bergmann (2013) eine grobe Abschätzung für das Materiallager der rund 80.000 Brücken an Land- bis Gemeindestraßen vorgenommen. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund fehlender Daten und der großen Heterogenität der Bauweise und verwendeten Materialien hier – wie in anderen Bereichen auch – Vereinfachungen vorgenommen werden mussten. Alle bestehenden Brückenbauwerke an Land- bis Gemeindestraßen wurden als 40 %-Durchschnittswert der verschiedenen Konstruktionsarten von Bundesfernstraßen gewertet. Das bedeutet, dass für alle Brücken ein Materiallager an Stahl und Beton geschätzt wurde, unabhängig von ihrer Altersstruktur und ihrer eigentlichen Konstruktionsweise.

Für den Materialbestand der **Flughafeninfrastruktur** wurden die Daten von Mottschall/Bergmann (2013) übernommen. Als einzige Veränderung wurde eine Neuberechnung der Materialbestände für „sonstige Flächen“ durchgeführt. Die sonstigen Flächen der Flughafeninfrastruktur[43] wurden in Mottschall/Bergmann (2013) mit Hilfe der Materialkoeffizienten für Kreisstraßen abgeschätzt. Um nicht mit unterschiedlichen Materialkoeffizienten für identische Straßentypen zu arbeiten, wurden die sonstigen Flächen der Flughafeninfrastruktur mit den höheren Materialkoeffizienten aus Steger et al. (2011) neu geschätzt.

Für die **Binnenschifffahrt** wurden ebenfalls die Daten von Mottschall/Bergmann (2011) verwendet. Die Studie verwendet wiederum geringfügig geringere Materialkennziffern als Steger et al. (2011). Dafür enthält sie aber zusätzliche Schätzwerte für die Materiallager von Kanalbrücken und Hafenflächen.

[43] Dies sind vor allem Parkplätze und Verbindungsstraßen.

Trinkwasser- und Abwasserinfrastruktur

Im Bereich der Trinkwasser- und Abwasserinfrastruktur gibt es keine Datensätze über den vollständigen Materialbedarf und Materiallager dieser Infrastruktursysteme. Vielmehr befassen sich die vorliegenden Untersuchungen mit der Integration der technischen Infrastruktur in Ökobilanzen (Buchert et al. 2004; Zimmermann et al. 1996; Siedentop et al. 2006) oder der Materialintensität einzelner Anlagentypen (Boermans-Schwarz 1998; Bringezu 1998; Bringezu 2000; Markus et al. 1996; Reckerzügl 1997; Venkatesh et al. 2009). Einen weiteren Schwerpunkt bilden Lebenszyklusanalysen und Öko-Bilanzierungen von Teilbereichen der Wasserinfrastrukturen (Tillmann et al. 1998; Dennison et al. 1999; Jekel et al. 2006; Doka 2007; Althaus et al. 2007; Lassaux et al. 2007; Hillenbrand 2009). Auch in Steger et al. (2011) war es aufgrund der Datensituation nicht möglich, vollständige Datensätze für alle Bestandteile der Wasser- und Abwasserinfrastruktur zu generieren. Für einzelne Teilbereiche konnten in Steger et al. (2011) zwar spezifische MKZ abgeschätzt werden (z. B. Brunnen), aber nicht mit einem geeigneten Mengengerüst verknüpft werden. Für andere Systemkomponenten wie Pumpwerke fehlen selbst die MKZ. Eine erneute Sichtung der Literatur und Internetrecherchen ergab keine verbesserte Datensituation seit der Bearbeitung des MaRess-Projektes. Welche Teilbereiche der Trinkwasser- und Abwasserinfrastruktur in die Abschätzung des Materiallagers und der Flüsse in und aus dem Anthropogenen Lager einflossen, kann Tabelle 11 entnommen werden.

Entsprechend ist eine Aktualisierung und Normierung auf ein Basisjahr 2010 nur bei einigen wenigen Teilbereichen, wie Kläranlagen oder Kanalisation möglich. Destatis (2013d) veröffentlicht mit der Fachserie 19, Reihe 2.1.2 und 2.1.3 Daten für die Länge der Kanalisation in Deutschland sowie Daten über die Anzahl der Kläranlagen und Regenentlastungsanlagen für das Jahr 2010. Diese Statistiken werden nur aller drei Jahre aktualisiert. Dementsprechend liegen für keinen Teilbereich der Wasser- und Abwasserinfrastruktur jährliche Zeitreihen vor und können im Fall der dreijährlichen Statistiken der Abwasserkanalisation, Regenentlastungsanlagen und Kläranlagen nur über lineare Lückenfüllung hergestellt werden.

Für die restlichen Bestandteile der Wasser- und Abwasserinfrastruktur, für die in Steger et al. (2011) zwar Materialbestände abgeschätzt werden konnten, aber keine Fortschreibung bzw. Aktualisierung aus veröffentlichten Statistiken möglich sind, wurden die Bestandsdaten bzw. Annahmen über jährliche Veränderungen aus Steger et al. (2011) übernommen.

Methodisch werden auch im Bereich der Wasser- und Abwasserinfrastrukturen MKZ für einzelne Bestandteile des Infrastruktursystems gebildet. Diese MKZ haben unterschiedliche Bezugsrahmen, wie z. B. t/m³ Talsperrenvolumen oder t/km Versorgungsleitung, differenziert nach Materialzusammensetzung (PE-Rohre, Grauguss etc.) und Nenndurchmesser. In Kombination mit den Angaben über die Verteilung der entsprechenden Merkmalsausprägung (z. B. der Anteil von PE-Rohren mit einem durchschnittlichen Nenndurchmesser von 150 mm) an der Gesamtheit der jeweiligen Infrastrukturbestandteile (Versorgungsnetz Wasserinfrastruktur) lassen sich so die jeweiligen Materialbestandsdaten ermitteln.

Energieinfrastruktur

Die Energieinfrastruktur unterteilt sich in die beiden Bereiche **Energienetze** (Strom, Gas, Wärme) und **Energieerzeugung** (konventionelle Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen, erneuerbare Energien wie Windkraft, PV oder Biogas). Wie bei den anderen Infrastruktursystemen bestehen auch diese einzelnen Energieinfrastruktursysteme wiederum aus einer Vielzahl verschiedener Bestandteile für die jeweils individuelle Materialkennziffern gebildet wurden, die sich auf unterschiedliche Bezugsgrößen beziehen.

Im Bereich der Energieerzeugung kann auf umfangreiche Literatur und Sachbilanzen für verschiedene Energieerzeugungstechnologien zurückgegriffen werden (verschiedene EcoInvent-Berichte, Bauer 2008, Edelmann et al. 2001, Hirschberger 2005, FfE 1996, Ramesohl et al, 2005, Briem et al. 2004, Hennings et al, 2006, Mayer-Spohn et al. 2007, Marheinecke 2001, Manstein 1995, Salzer 2008, Nitsch et al. 2004). Für konventionelle Kraftwerke werden in diesen Studien die Sachbilanzdaten in der Regel für typische Kraftwerksblockgrößen ausgewiesen[44]. Um diese Daten für den Gesamtbestand an konventionellen Kraftwerken mit sehr unterschiedlichen Leistungskategorien nutzbar machen zu können, wurde die Sachbilanzdaten in t/MW umgerechnet und diese MKZ in t/MW wiederum auf die Bestandsdaten des deutschen Kraftwerksparkes mit ihren entsprechenden Leistungsangaben hochgerechnet. Dazu wurden nach einem Vergleich der Spannbreiten der Sachbilanzdaten in den einzelnen Studien, für Kohlekraftwerke die Angaben aus Bauer (2008) übernommen, da diese zum einen am detailliertesten und zum anderen zusammen mit den Daten von Salzer (2008) die aktuellsten Daten für Kohlekraftwerke darstellen. Für Erdgaskraftwerke wurden die detaillierteren Sachbilanzdaten aus FfE (1996) verwendet, während im Bereich der Kernkraftwerke Sachbilanzdaten für Siedewasserreaktoren aus Dones et al. (2007) und für Druckwasserreaktoren aus FfE (1996) verwendet wurden.

Zur Ermittlung des Bestandes an konventionellen Stein- und Braunkohlekraftwerke, Kernenergie, Erdgaskraftwerke und Heizkraftwerke kann zum einen auf die UBA-Kraftwerksdatenbank zurückgegriffen werden. Diese enthält allerdings nur Kraftwerke mit einer Leistung von > 100 MW. Daher wurde in Steger et al. (2011) auf interne Anlagen-Daten des Bundesverbandes der Deutschen Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) mit dem Stichtag 31.12.2009 zurückgegriffen, da diese auch Klein-Kraftwerke mit einer Leistung von < 100 MW enthält. Im Rahmen dieses Projektes konnten die BDEW-Daten jedoch nicht aktualisiert werden. Eine telefonische Nachfrage ergab, dass der BDEW diese Datenbank nicht weiter pflegt. Vielmehr wurde auf die Kraftwerksdatenbank der Bundesnetzagentur verwiesen. Diese war allerdings nur auf einem aktuellen Stand, d. h. dem Kraftwerksbestand zum Stichtag 01.01.2013, erhältlich. Es wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber entschieden, keine rechnerische Lückenfüllung zwischen den Daten der BDEW-Kraftwerksdatenbank (Ende 2009) und den Daten der Bundesnetzagentur (Ende 2012) vorzunehmen und so einen möglichen Anlagebestand für Ende 2010 abzuschätzen. Der Informationsgewinn einer Aktualisierung der Daten um ein Jahr wird als geringer eingeschätzt als die Gefahr von möglicherweise unplausiblen Daten durch die gleichzeitige Verwendung von unterschiedlichen Erfassungssystemen. Vielmehr wurden die Daten für konventionelle Kraftwerke unverändert aus Steger et al. (2011) übernommen. Ebenso wurden die jährlichen Materialflüsse, die sich aus Neubau und Instandsetzung fossiler Kraftwerke ergeben, aus Steger et al. (2011) übernommen. Diese Daten resultieren zum einen aus einer Abschätzung der durchschnittlichen jährlichen Zubaurate an konventionellen Kraftwerken, die sich ebenfalls aus Angaben des BDEW ergaben, und zum anderen aus der technischen Lebensdauer der unterschiedlichen Kraftwerkstypen.

[44] Also z. B. für ein Braunkohlekraftwerk mit einer Leistung von 970 MW_{elek}.

In Steger et al. (2011) wurde der Materialbestand für rund 7700 **Laufwasserkraftwerke** (LWK) abgeschätzt. Dieser Anlagenbestand ist eine Kombination aus der Schätzung des BMU (2008) für kleine LWK (rund 7300) und detaillierteren Angaben für größerer LWK mit einer Leistung > 1 MW aus der BDEW-Datenbank. Eine kontinuierliche Erfassung des Anlagenbestandes für Laufwasserkraftwerke findet derzeit nur für größere Anlagen statt, nicht jedoch für die Mehrheit an kleineren Anlagen. Zur Hochrechnung der Materialbestände wurde der Anlagenbestand in kleine (7300 Anlagen mit einer Leistung < 1 MW), mittlere (279 Anlagen mit einer Leistung von < 10 MW) und große Laufwasserkraftwerk (75 Anlagen mit einer Leistung > 10 MW) unterteilt und mit typischen Sachbilanzdaten pro Kategorie hochgerechnet. Die Materialdaten wurden aus Baumgartner/Boka (1998) (kleine LWK), Marheinecke (2001) (mittlere LWK) und Bauer et al. (2007) (große LWK) entnommen. Eine Abschätzung der jährlichen Materialflüsse für den Zubau und die Instandsetzung von Laufwasserkraftwerken wurde auf Grund der schlechten Datengrundlage nicht durchgeführt.

Der Materialbestand der (Pump-)Speicherkraftwerke (SKW) wurde in Steger et al. (2011) nicht abgeschätzt. Neben der unzureichenden Datenlage über den Bestand an SKW und deren individuelle Kraftwerksleistung gibt es nur wenige ausführliche Sachbilanzen für SKW. Die wenigen vorhandenen Sachbilanzen mit detaillierten Daten für SKW sind wiederum meist Kraftwerke mit einer hohen Leistung, die für den Großteil des Bestandes an SKW in Deutschland nicht verwendet werden können. Die Daten in Bauer et al. (2007) beziehen sich z. B. auf die Schweizer Wasserkraftanlagen. Die Topographie der Schweiz erlaubt es, große und sehr leistungsstarke Speicherkraftwerke zu betreiben, die zudem häufig in Form von Beton-Talsperrenmauern erbaut sind. In Deutschland sind dagegen sehr häufig Speicherseen mittels Erd- oder Steinschüttdämmen errichtet. Die Mengen an gespeichertem Stahl und Beton sind somit nicht mit den Daten der Schweizer Talsperren vergleichbar. Verschiedene Projekte am Wuppertal Institut haben zudem gezeigt, dass eine Zurechnung des Materialbedarfs von Speicherkraftwerken über die Leistung in MW eigentlich nicht zulässig ist. Denn die Leistung bestimmt sich im hohen Maße über die erreichbare Fallhöhe, die wiederum nicht unmittelbar mit dem Bauaufwand verbunden sein muss.

Für den Bestand an **Windenergieanlagen** (WEA) stellte im Rahmen des MaRess-Projektes das Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET), jetzt Fraunhofer IWES, detaillierte Daten für den jährlichen Zubau, unterteilt nach fünf Leistungsklassen, für den Zeitraum 1989 bis 2008 zur Verfügung. In Steger et al. (2011) wurde die drei höheren Leistungsklassen noch einmal in WEA mit und ohne Getriebe unterteilt, um so dem in Deutschland besonders hohen Marktanteil an getriebelosen WEA gerecht zu werden. Das Update des Anlagenbestandes auf das Jahr 2010 erfolgte über eine geschätzte Aufteilung des Zuwachses des Gesamtanlagenbestandes zwischen 2008 und 2010 (+ 1439 WEA) auf die drei höchsten Leistungsklassen, unter Annahme eines unverändert hohen Marktanteils getriebeloser WEA von rund 50 %.

Aus Ökobilanzstudien (Burger/Bauer (2007), Geuder (2004) und Herstellerangaben von Nordex oder Vestas) stehen umfangreiche Sachbilanzdaten für einzelne Modelle zur Verfügung, von denen jeweils eine Anlage als prototypischer Vertreter der einzelnen Leistungsklassen verwendet wurde. Datenlücken zwischen den einzelnen Literaturangaben wurden jeweils mittels linearer Skalierung geschlossen, so dass für jeden Anlagentyp eine einheitliche (Mindest-)Auswahl an Rohstoffen zur Verfügung stand. Off-Shore-Windanlagen waren im Stichjahr 2010 für den Bestand an Windenergieanlagen in Deutschland noch von sehr geringer Bedeutung und wurden daher für die Abschätzung des Materiallagers der Energieinfrastruktur nicht beachtet. Mittlerweile existieren eine Reihe ökobilanzieller Untersuchungen von off-shore WEA bzw. Windparks (Wagner et al. 2010, Verstas 2006, Birkeland 2011), die eine spätere Einbindung von off-shore-Windenergieanlagen in die Abschätzung des Anthropogenen Lagers in Deutschland ermöglicht.

In Ergänzung der vorliegenden Daten des MaRess-Projektes wurde in diesem Projekt der Materialbestand der installierten **Photovoltaik-Anlagen** in Deutschland des Jahres 2010 hochgerechnet. Aus offiziellen Verbandsstatistiken liegen jeweils nur die absoluten Zahlen der installierten Anlagen und deren Gesamtleistung vor. Der Bundesverband Solarwirtschaft e.V. veröffentlicht in seinen Statistischen Zahlen der Solarwirtschaft (BSW 2011) einen Bestand an 860.000 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 17.300 MWp für das Jahresende 2010. Im Durchschnitt entspricht dies einer Kapazität von rund 20 kWp pro Anlage. Um jedoch nähere Informationen über die Größenverteilung zu erfahren, wurden alle verfügbaren Anlagestammdaten zum Stichtag 01.02.2011 ausgewertet, die die vier großen Netzbetreiber der überregionalen Stromnetze aufgrund der Abnahmeverpflichtung und der EEG-Einspeisevergütung sammeln und publizieren müssen. Eine automatisierte Auslese der verschiedenen csv-Dateien ergab in der Summe einen Anlagebestand von genau 785.499 Anlagen mit einer Kapazität von 14.273.211 kWp. Der ermittelte Anlagebestand wurde in drei Größenklassen (0-10 kWp, 10-100 kWp und >100 kWp) eingeteilt, die wiederum auf Grundlage von Daten aus dem parallel laufenden Projekt KRESSE, nach Konstruktionsart (Schrägdach, Flachdach, Fassade, Freifläche) und Modulart (monokristallin, multikristallin, verschiedene Dünnschichttechnologien) weiter differenziert wurden. Für jede der so entwickelten 20 verschiedenen Unterkategorien waren somit Angaben über die Anzahl der Anlagen sowie die Gesamtleistung in kWp bekannt. Mittels der technologiespezifischen Effizienz der verschiedenen Modularten konnte aus der Leistung die installierte Fläche pro Unterkategorie abgeschätzt werden. Der Materialbedarf der Module wurde anschließend über die MKZ, die in der Form kg/m^2 vorliegen, für den Gesamtbestand nach 20 Untergruppen differenziert und hochgerechnet. Für die Ableitung der notwendigen MKZ wurde die Sachbilanzdaten von EcoInvent (Jungbluth et al. 2012), Wild-Scholten (2012) sowie Fthenalis et al. (2011) ausgewertet. Letztlich beruhen alle drei Sachbilanzen auf einem ursprünglichen Datenset von EcoInvent, die von den drei Autoren(-teams) jeweils aktualisiert worden sind. Die aktuellsten Daten stammen von Wild-Scholten und werden auch in KRESSE verwendet. Gründe für die vor allem bei der Kapazität der PV-Anlagen recht deutlichen Unterschiede zwischen den Daten des Bundesverbandes der Solarwirtschaft und den Anlagestammdaten der Netzbetreiber können derzeit nicht erklärt werden.

Für die Abschätzung des Materialbestands der rund 5.900 **Biogasanlagen** im Jahr 2010 (Forum New Power 4/2010) wird zum einen auf Materialkoeffizienten von Jungbluth (2007) zurückgegriffen und zum anderen auf Edelmann et al. (2001). Beide Studien behandeln Schweizer Biogasanlagen, die allerdings deutlich kleiner ausgelegt sind als in Deutschland üblicherweise betriebene Biogasanlagen. In beiden Studien wird der Materialbedarf für eine Biogasanlage mit einem Fermenter-Volumen von lediglich 300 m^3 abgeschätzt. Zudem ist in beiden Studien keine explizite Nachgäreinrichtung vorgesehen. Allerdings schätzt Edelmann et al. (2001) die Materialmenge einer Gärreststoffeinrichtung (Güllerestank) mit ab. Wie in Soukop (2008) wurde in Steger et al. (2011) eine degressiver Skalierungsfaktor von p = 0,67 verwendet[45], um die Angaben über den Materialverbrauch für die Errichtung von Biogasanlagen aus Edelmann et al. (2001) und Jungbluth (2007) auf die in Deutschland übliche durchschnittlichen Anlagegrößen (1500 m^3 Fermentervolumen) hochzurechnen. Weiterhin wurde aus Edelmann et al. (2001) die Annahme übernommen, dass 90 % der Biogasanlangen mit einem Beton-Fermenter gebaut sind und nur 10 % der Biogasanlagen mit einem Stahl-Fermenter. Die unterstellten Größenordnungen wurden im Rahmen des MaRess-Projektes telefonisch mit Experten des Deutschen Biomasseforschungszentrum (DBFZ) diskutiert und abgestimmt. Seitens des DBFZ wurden die Annahmen von 1,5 Fermentern pro Biogasanlage mit einem durchschnittlichen Volumen von 1.500 m^3 für plausibel angesehen.

[45] Dies bedeutet ein schwächeres Wachstum des Materialbedarfs um 0,67 mit dem Anstieg der Leistung der Biogasanlage um 1 MW.

Längenangaben zum **Stromnetz**, differenziert nach Spannungsebene, sind über Verbandsangaben (BDEW 2014) bzw. die Bundesnetzagentur verfügbar. Laut Bundesnetzagentur hatte das Stromnetz in Deutschland im Jahr 2010 eine Gesamtlänge von 1,79 Mio. km. Die Zuwächse in den Stromnetzebenen Mittel- (MS) und Niederspannung (NS) erfolgte vor allem in Kabelbauweise. Daher wurden für die Aktualisierung auf die Netzlänge im Jahr 2010 die Verhältnisse von Kabel- vs. Freileitung entsprechend angepasst, so dass in der aktualisierten Abschätzung von einem höheren Anteil der Kabelleitungen im NS-Netz von 90 % und im MS-Netz von 75 % ausgegangen wurde. Auch im Hochspannungsnetz (HS) wird vermutet, dass ein Teil des Zubaus als Kabelleitung durchgeführt wurde.

Die Materialkennziffern die notwendig sind, um die Netzlängen in ein Mengengerüst zu übersetzen, kann teilweise aus Frischknecht et al. (2007) entnommen werden. Allerdings gehen Frischknecht et al. davon aus, dass alle Kabelleitungen zu 100 % aus Kupferleitern bestehen. Es liegen keine genauen Zahlen über den Anteil von Aluminiumkabeln im NS- und MS-Netz vor. Nach Konsultation von Experten verschiedener Netzbetreiber wird in Steger et al. (2011) im NS-Netz mit einem Anteil von 65 % Aluminium-Leitern und 35 % Kupfer-Leitern, sowie im Kabelnetz des MS-Netzes mit einem Anteil von 20 % Aluminiumleiter und 80 % Kupferleiter gerechnet. Hochspannungskabel sind dagegen zu 100 % aus Kupfer-Leitern gefertigt. Weiterhin wurde der Kupferbedarf pro km NS-Netz von 1,5 auf 2,2 t/km erhöht. Da NS-Kabel häufig 4-adrig geführt werden, ist der Kupferanteil pro km laut Herstellerangaben (z. B. Helukabel) mit 1.350 bis 5.760 kg/km je nach Leiterdurchmesser deutlich höher als bei Frischknecht et al. (2007) angegeben. Für MS- und HS-Kabel ist zu beachten, dass jede Phase als eigenes Kabel verlegt wird, sodass pro Stromkreis drei Kabel notwendig sind. Entsprechende Annahmen und MKZ aus Steger et al. (2011) wurden unverändert in diesem Projekt übernommen.

Für Freileitungen wird zu großen Teilen ebenfalls der spezifische Materialbedarf aus Frischknecht et al. (2007) genutzt. Allerdings geht Steger et al. (2011) davon aus, dass ein Teil der Freileitungen nicht mehr blank geführt werden, sondern häufig als Kabelleitungen am Mast angebracht sind. Es wird daher für 30 % der Freileitungen im NS- und MS-Netz MKZ für PE-Mantelkabel verwendet. Zusätzlich wird angenommen, dass auch im NS-Freileitungsnetz der Aluminiumanteil höher ist als bei Frischknecht et al. (2007). Analog zum MS-Netz wird für das NS-Netz der Materialbedarf mit einer 50/50-Verteilung zwischen Kupfer- und Aluminiumleiter hochgerechnet. MKZ für Freileitungsmaste und die Verteilung der verschiedenen Bauformen je Netzebene wurden anhand von Herstellerangaben und Expertenbefragungen bei Netzbetreibern innerhalb des MaRess-Projektes selbst entwickelt.

Für **Gasnetze** muss zwischen überregionalen Ferngasleitungen und regionalen Versorgungsnetzen unterschieden werden. Mit der Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) wurden 19 Marktgebiete geschaffen, in denen überregionale Netzbetreiber als Marktverantwortliche fungieren und denen die 768 Netzbetreiber mit ihren 1.007 Gasnetzen und Teilnetzen zugeordnet sind (Drenckhan et al. 2006). Die überregionalen Netzbetreiber sind zudem verpflichtet, wichtige Strukturdaten ihrer Netze zu veröffentlichen. Anhand dieser Daten kann das Netz an Hochdruckgasleitungen (HD) differenziert nach Durchmesserkategorien unterschieden werden. Die EcoInvent-Daten (Faist-Emmenegger et al. 2007) zum Materialbedarf von Ferngasleitungen beziehen sich nur auf einen Nenndurchmesser, der nach den hier verwendeten Daten den Materialbedarf deutlich überschätzt, da große Teile des Ferngasnetzes aus Rohren mit geringerem Nenndurchmesser bestehen. Für jede Leitungsklasse des Ferngasleitungsnetzes wird ein typischer Nenndurchmesser mit den entsprechenden Wanddicken verwendet und über Herstellerangaben von Druck-Stahlrohren das konkrete Gewicht pro Meter ermittelt. Das Gewicht der PE- bzw. Bitumenhülle wird anhand der Daten in Faist-Emmenegger et al. (2007) an die unterschiedlichen Nenndurchmesser angepasst.

Die Gesamtlänge des deutschen Gasnetzes betrug im Jahr 2010 rund 472.000 km (BDEW 2014). Über die Verteilung nach Materialkategorien liegen beim BDEW nur Daten bis 1998 vor. In Steger et al. (2011) wurde geschätzt, dass der Zuwachs seit 1998 im Niederdrucknetz (ND) vollständig mit PE-

Rohren erfolgt. Im Mitteldrucknetz (MD) wurde ein Anteil von 75 % der Erweiterung in PE-Rohren und 25 % in Stahlrohr-Bauweise angenommen. Für den Hochdruckbereich wurde unterstellt, dass der Neubau zu 75 % in Form von Stahlrohren und zu 25 % mittels PE-Rohren erfolgte. Guss- und PVC-Rohre werden entweder kaum oder überhaupt nicht mehr im Neubau verwendet und sind nur noch im Bestand zu finden. Für die Aktualisierung der Daten wurden die geschätzten Anteile der einzelnen Konstruktionsweisen aus Steger et al. (2011) mit dem Bezugsjahr 2007 auf die jeweiligen Längen der einzelnen Gasnetzebenen angewandt. Über Daten die verschiedene Netzbetreiber zur Verfügung gestellt hatten, kann eine Abschätzung über die verwendeten Nenndurchmesser vorgenommen werden und zudem die Abschätzung der Verteilung nach Rohrmaterialen anhand der BDEW-Daten von 1998 überprüft werden. Die MKZ, die sich auf einen km Netzlänge, differenziert nach Konstruktionsweise und Nenndurchmesser der Rohre, beziehen, enthalten prozentuale Zuschläge, die den Materialbedarf für verschiedene notwendige Einrichtungen entlang der Gasnetze (Schieber, Molchschleusen, Druckregulierungsanlagen) abdecken sollen. Diese prozentualen Zuschläge wurden aus Faist-Emmenegger et al. (2007) übernommen.

Für **Wärmenetze** existieren lediglich grobe Schätzungen über die Länge des Fern- und Nahwärmenetzes. Die Datensituation ist als schlecht einzuschätzen. In diesem Projekt wurden daher für die Abschätzung des Materiallagers des Anthropogenen Lagers in Deutschland die Daten aus Steger et al. (2011) unverändert übernommen.

IuK-Infrastruktur

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine erste Abschätzung des Materiallagers eines wesentlichen Bestandteils der IuK-Infrastruktur vorgenommen. Konkret wurde versucht, den Materialbedarf der Festnetz-Infrastruktur zu ermitteln. Zusätzlich liegen Daten für das Mobilfunknetz (Scharp 2011) und die deutschen Rechenzentren (Hintemann et al. 2010) vor. Weiterhin keine Daten sind für das Netz an Glasfaserkabel zwischen den einzelnen Rechenzentren bzw. Hauptvermittlungsstellen, den sogenannte Backbones, vorhanden. Insgesamt soll das deutsche Glasfasernetz ein Länge von 340.000 km haben (Quelle: Wikipedia). Auch über die Länge des herkömmlichen Telefonnetzes, das noch immer zu großen Teilen aus Kupferkabeln besteht, existieren nur wenige Daten. In Scharp (2011) werden Telekom-Daten für das Jahr 2005 wiedergegeben, die ein Kupfernetz von 1,48 Mio. km und ein Glasfasernetz von 206.300 km angeben. Bei Wikipedia sind wiederum Netzlängen von 720.000 km Verzweigungskabeln dokumentiert. Verzweigungskabel verbinden die Kabelverzweiger (KVZ) mit den Übergabepunkten an private Haushalten, den sogenannten Anschlusspunkt Linientechnik (APL). Die KVZ sind wiederum mittels Hauptkabel an den Hauptvermittlungsstellen (HVSt) angeschlossen.

Über technisch bedingte durchschnittliche Entfernungen zwischen dem Hauptverteiler (HVt) einer Hauptvermittlungsstelle und KVZ einerseits und KVZ mit APL andererseits, kann in Verbindung mit der Angabe über die Anzahl an KVZ, HVSt und durchschnittlicher Anzahl an APL pro KVZ ebenfalls die Netzlänge des Telekom-Festnetzes grob abgeschätzt werden. Nach dieser Schätzmethode umfasst das Netz der Verzweigungskabel der Deutschen Telekom eine Länge von 1,17 Mio. km. Zusätzlich sind nach dieser Abschätzung noch 235.200 km Hauptkabel verlegt, die rund 300.000 KVZ mit den 7.926 HVSt verbinden. Diese 1,42 Mio. km liegen nahe den zitierten Zahlen in Scharp (2011). Angaben über parallel verlaufende Netze von Wettbewerbern der Deutschen Telekom liegen nicht vor. Die Firma „Kabel Deutschland“ verfügt laut eigenen Angaben zumindest über ein eigenes Kabelnetz mit einer Länge von 262.000 km. Es wäre also durchaus plausibel, wenn die Konkurrenzunternehmen der Deutschen Telekom zusammen über ein Netz in der Größenordnung von 1 Mio. km verfügen würden. Innerhalb dieses Projektes wurden jedoch nur die Materialmengen, die mit dem Telekom-Netz verbunden sind, abgeschätzt. Dabei werden die eigenen Längenangaben (235.200 km Hauptkabel und 1,17 Mio. Verzweigungskabel) als Grundlage genommen. Es existieren keine Angaben darüber welcher Anteil des Netzes von Kupfer auf Glasfaserkabel umgestellt wurde. Laut Internetan-

gaben der Deutschen Telekom summiert sich das Glasfasernetz, das für VDSL-Dienste zwischen HVt und KVZ verlegt wurde, auf 25.000 km.

Hauptvermittlungsstellen können sehr unterschiedliche Größenordnungen aufweisen. In ländlichen Regionen können in HVSt nur wenige hundert Teilnehmer angeschlossen sein, in Großstädten aber auch 30.000 Anschlüsse und mehr. Entsprechend unterschiedlich ist die technische Ausstattung der HVSt, die seit dem Einzug der Digitalisierung und dem schrittweisen Ersetzen der früher üblichen elektro-mechanischen Wähltechnik heute eher mit einem Rechenzentrum vergleichbar ist. Daher wurden die Materialdaten aus Hintemann et al. (2010) in diesem Projekt auf die HVSt angewandt. Für die Größenverteilung wurde vereinfachend angenommen, dass 50 % der HVSt der Konfiguration eines mittleren Rechenzentrums entspricht, während die anderen 50 % der eines kleinen Rechenzentrums nach Hintemann et al. (2010) entspräche. Zusätzlich wurde noch für jede Hauptvermittlungsstelle die MKZ für einen Hauptverteiler abgeschätzt. Dabei wurden über Internetrecherche zum einen die Größe der Hauptverteiler (Anzahl der Gestellrahmen) recherchiert und mit Gewichtsangaben der einzelnen Bauteile und ihrer stofflichen Zusammensetzung grobe MKZ gebildet. Die Gewichtsangaben und Materialkategorien wurden den Daten von Hersteller-Katalogen entnommen. In gleicher Weise wurde der Materialbestand der 300.000 KVZ abgeschätzt.

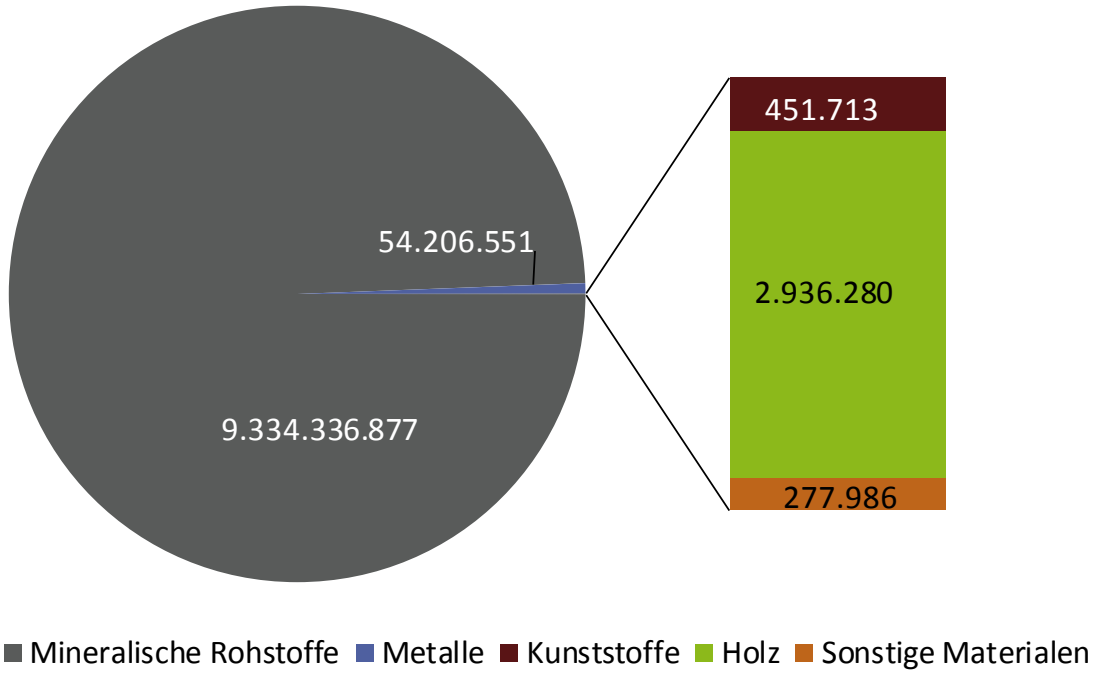
Über den jährlichen Zuwachs an Festnetzleitungen oder die jährliche Erneuerung lagen keine Daten vor. Daher wurde keine Abschätzung von jährlichen Materialbedarfen im Bereich der IuK-Infrastruktur vorgenommen. Die Materialdaten für den Bereich des Mobilfunks wurden unverändert aus Scharp (2011) übernommen. Es fand keine Aktualisierung auf eine Datenbasis des Jahres 2010 statt. Nimmt man die Referenzwerte aus Scharp (2011), würde aber selbst ein kräftiger Ausbau der Mobiltelefon-Infrastruktur zwischen 2008 und 2010 keine großen Materialflüsse nach sich ziehen.

6.1.2.2 Materiallager

Verkehrsinfrastruktur

Die bestehende Verkehrsinfrastruktur in Deutschlands umfasst ein Materiallager von rund 9,4 Mrd. t. Die nicht-mineralischen Rohstoffe sind mit einer absoluten Größe von rund 54 Mio. t höher als bei anderen Infrastruktursystemen, bilden gleichzeitig aber nur 0,61 % des gesamten Rohstofflagers der Verkehrsinfrastruktur (Abbildung 34).

Abbildung 34: Materiallager der Verkehrsinfrastruktur [t]



Quelle: eigene Zusammenstellung, zum Teil basierend auf Steger et al. 2011, Schmied/Mottschall 2013 und Mottschall/Bergmann (2013)

Den größten Anteil mit knapp 80 % des Materialbestandes der Verkehrsinfrastruktur steuert die reine Straßeninfrastruktur bei. Bei einer sachlich korrekten Zusammenfassung der Daten der Straßeninfrastruktur mit den Daten zu Straßenausstattung, Lärmschutzwänden und Ingenieurbauwerken erhöht sich der Anteil sogar auf 84 % (7,56 Mrd. t). Die Schienenin-frastruktur folgt mit 1,1 Mrd. t (12,3 % des Materiallagers Verkehrsinfrastruktur). Von überraschend geringer Bedeutung für das Anthropogene Lager erweist sich die Flughafeninfrastruktur mit nur rund 90 Mio. t (basierend auf den Daten von Mottschall/Bergmann). Dies entspricht gerade einmal 1 % der gespeicherten Materialmengen in den verschiedenen Verkehrsinfrastruktursystemen. Der Anteil der Binnenschifffahrt und Hafenanlagen am Materiallager der Verkehrsinfrastrukturen betrugen 2010 zusammen rund 8,1 % oder 763 Mio. t.

Den größten Anteil an den gespeicherten mineralischen Rohstoffen in der Verkehrsinfrastruktur hielten Sand und Kies mit zusammen rund 5,4 Mrd. t. Weitere relevante Rohstoffgruppen waren Edelsplitt (1,3 Mrd. t), Schotter (1,2 Mrd. t) und Beton (723 Mio. t).

Neben 2,9 Mio. t Holz, vor allem für Schienenschwellen, sind noch 54,2 Mio. t metallische Rohstoffe in den Verkehrsinfrastrukturen gebunden. Kunststoffe (0,45 Mio. t) und sonstige Materialien (0,28 Mio. t) spielen dagegen keine nennenswerte Rolle für das Materiallager von Verkehrsinfrastrukturen. Die Gruppe der metallischen Rohstoffe besteht zu 99 % aus Stahl und Eisen (53,6 Mio. t), die sich jeweils mit rund 21 Mio. t in der Straßen- und Schieneninfrastruktur und mit 11 Mio. t der in Binnenschifffahrt und Hafenanlagen aufteilen lassen. Die 0,14 Mio. t Aluminium sind vor allem in der Straßenausstattung wie Ampelanlagen und Lärmschutzwände der Bundesfernstraßen verbaut. Dagegen ergeben sich die Lagerbestände für Kupfer (0,42 Mio. t) und Bronze (0,05 Mio. t) nahezu ausschließlich aus der Schieneninfrastruktur.

Trinkwasser- und Abwasserinfrastruktur

Im Bereich der Abwasserinfrastruktur wurden die Teilbereiche Kanalnetz, Regenentlastung und Kläranlagen auf Grundlage der aktuellen Abwasserstatistik von Destatis (Destatis 2013) von 2007 auf 2010 aktualisiert. Gegenüber den Werten des Jahres 2007 (siehe Steger et al. 2011) hat sich der Materialbestand der Abwasserinfrastruktur um 51 Mio. t reduziert, obwohl das Kanalisationsnetz um 21.000 km angewachsen ist. Gleichzeitig ist der Bestand an Kläranlagen von 9.933 auf 9.636 zurückgegangen und die Anzahl der Regenentlastungsanlagen leicht gestiegen. Der Materialbedarf hat sich rechnerisch jedoch vor allem deshalb reduziert, da bei der Aktualisierung der Daten von Steger et al. (2011) ein Fehler in der Verteilung des Kanalisationsnetzes auf verschiedene Nenndurchmesser festgestellt wurde, der im Zuge der Aktualisierung behoben wurde. In den Daten für 2010 wurden die Gesamtlänge der Kanalisation diesmal korrekt anhand der Anteile in Steger et al. 2011, Tab. 74 auf die verschiedenen Größenkategorien aufgeteilt. Im Ergebnis ist der Bestand an Kanalisationsrohren mit großen Nenndurchmesser deutlich geringer als noch in Steger et al. (2011), so dass trotz gestiegener Netzlängen der Materialbestand der Kanalisation in 2010 um 45 Mio. t geringer ausfällt. Die Materiallager der Regenentlastungsanlagen und Klärwerke blieben dagegen nahezu unverändert, trotz leichtem Anstieg der Anlagenzahlen.

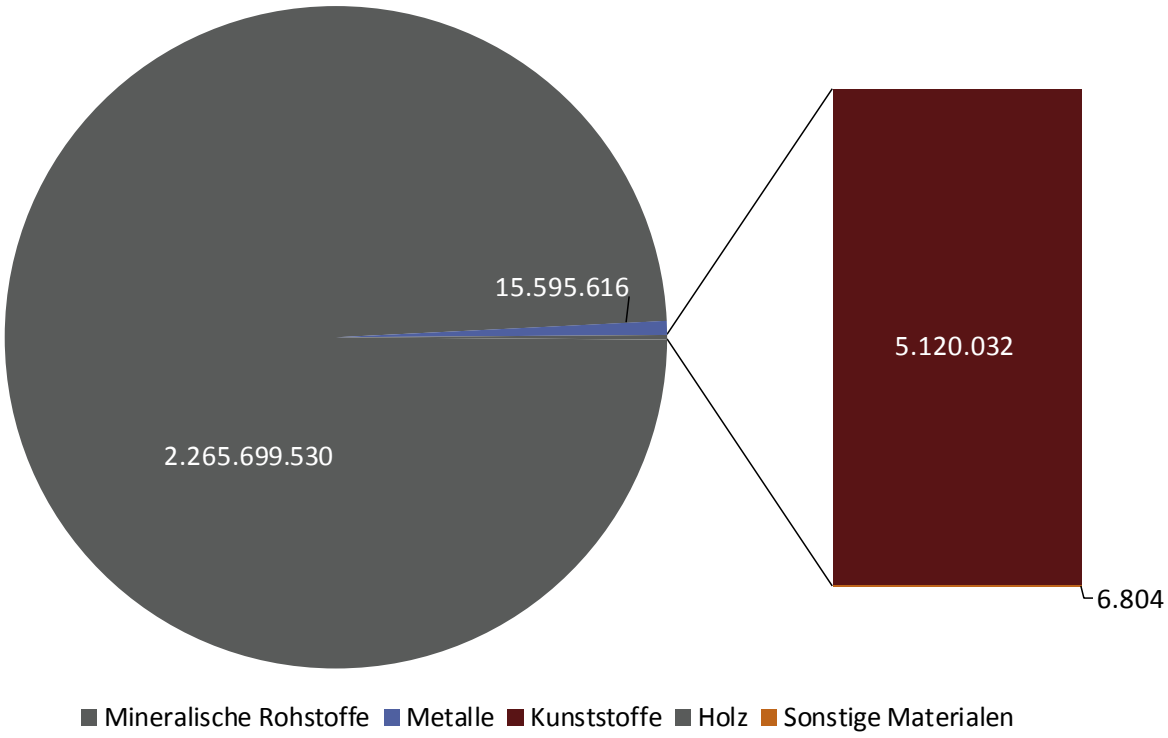
Insgesamt sind in der Abwasserinfrastruktur Deutschlands rund 1,07 Mrd. t Rohstoffe gespeichert. Auch hier dominieren die mineralischen Rohstoffe mit 99 % des gesamten Materiallagers der Abwasserinfrastruktur. Die großen Mengen Sand/Kies (716 Mio. t) werden dabei vor allem für die Bettung der Rohre des Kanalisationsnetzes benötigt. Weitere 308 Mio. t sind als Beton in der Kanalisation, in Kläranlagen, aber auch in Betonschächten verbaut.

Metallische Rohstoffe sind in einem Umfang von 6,3 Mio. t in der Abwasserinfrastruktur gespeichert. Den größten Anteil (6,2 Mio. t) umfasst wiederum Eisen und Stahl. Das restliche Metalllager der Abwasserinfrastruktur umfassen vor allem 18.400 t Aluminium und 80.900 t Kupfer.

Im Bereich der Trinkwasserinfrastruktur liefern öffentliche Statistiken lediglich Angaben über die Anzahl an Wasserversorgungsunternehmen, die Fördermenge und die Quelle ihrer Wasserentnahme. Über die Wasserinfrastruktur selbst und seine Bestandteile sind dagegen nur punktuelle Abschätzungen wie z. B. über die Netzlängen der Trinkwasserinfrastruktur vorhanden. Aus diesem Grund werden für die Abschätzung des Materiallagers der Trinkwasserinfrastruktur die Zahlen aus Steger et al. (2011) übernommen. Insgesamt sind in der Trinkwasserinfrastruktur mit 1,21 Mrd. t in etwa die gleiche Menge an Rohstoffen gespeichert wie in der Abwasserinfrastruktur. Auch die prozentualen Anteile der einzelne Rohstoffkategorien mineralische Rohstoffe (1,20 Mrd. t), metallische Rohstoffe (9,2 Mio. t), Kunststoffe/Sonstiges (1,2 Mio. t) unterscheiden sich nur geringfügig von der Verteilung der Abwasser- oder Verkehrsinfrastruktur: es ist eine absolute Dominanz der mineralischen Rohstoffe festzuhalten, bestimmt durch Sandbettung der Netzleitungen (775 Mio. t), Schütt- und Wasserbausteinen für Trinkwassertalsperren (293 Mio. t) und Beton (138 Mio. t). Die gespeicherten metallischen Rohstoffe bestehen nahezu vollständig aus Eisen und Stahl und sind überwiegend im Leitungsnetz verbaut. Wie in der Abwasserinfrastruktur ist der größte Anteil an Kunststoffen nur als unspezifische Kunststoffe zu identifizieren.

Insgesamt umfassen die Bestandteile der Wasser- und Abwasserinfrastruktur, für die eine Abschätzung vorgenommen werden konnte, ein Materiallager von 2,28 Mrd. t, mit einem Anteil von 99 % mineralischer Rohstoffe, vor allem in Form von Sand/Kies (1,49 Mrd. t), Schütt- und Wasserbausteinen (293 Mio. t) und Beton (446 Mio. t) (Abbildung 35). Die 15,6 Mio. t metallische Rohstoffe bestehen zu 99 % aus Eisen und Stahl, während für 4,6 Mio. t der 5,1 Mio. t Kunststoffe nur Angaben als Kunststoffe allgemein vorlagen.

Abbildung 35: Materialbestand der Wasser- und Abwasserinfrastruktur in Deutschland [t]



Quelle: eigene Zusammenstellung, zu große Teilen basierend auf Steger et al. 2011

Energieinfrastruktur

Auf Grund der Erweiterung der Datenbasis um die in Deutschland installierten Photovoltaik-Anlagen und der Aktualisierung der Biogas- und Windkraftanlagen erhöht sich der Materialbestand der Energieinfrastruktur gegenüber den Daten in Steger et al. (2011). Die restlichen Bestandsdaten und MKZ wurden unverändert aus Steger et al. (2011) übernommen. Der Materialbestand der Energieerzeugungsinfrastruktur erhöhte sich gegenüber den MaRess-Ergebnissen von 93,6 Mio. t (Steger et al. 2011) auf nun 99 Mio. t. Der Anstieg um 5,4 Mio. t verteilt sich dabei über alle drei Aktualisierungen bzw. Ergänzungen der Datengrundlage: Windenergie: + 2,1 Mio. t, Biogasanlagen: + 1 Mio. t, PV-Anlagen: + 2,3 Mio. t. Interessanterweise ist damit der Anstieg an Materialbestand der Windenergieanlagen zwischen 2008 und 2010 (+ 1.439 Anlagen) ähnlich materialintensiv wie der komplette Materialbestand von annähernd 800.000 Photovoltaik-Anlagen.

Von den 99 Mio. t in Energieerzeugungseinrichtungen gespeicherten Materialmengen können etwas mehr als die Hälfte (55 %) den konventionellen Kraftwerken (Stein- und Braunkohle, Erdgas und Kernkraft) zugerechnet werden, während 45 % der Rohstoffmengen in erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen (Wasserkraft, Windenergie, Biogas und Photovoltaik) gebunden sind.

Der Materialbestand der Energieerzeugungseinrichtungen ist zwar durch mineralische Rohstoffe geprägt, vor allem Beton (z. B. für Fundamente von Windenergie und Biogasanlagen), aber nicht so dominant wie in anderen Infrastrukturbereichen. Den 76,3 Mio. t mineralischer Rohstoffe stehen knapp 14,9 Mio. t Metalle (vor allem Eisen/Stahl und Aluminium), 0,97 Mio. t Kunststoffe und 6,6 Mio. t sonstige Rohstoffe gegenüber.

Für die Bestandsschätzung des deutschen Stromnetzes wird von einer Netzlänge von 1,79 Mio. km ausgegangen. Das entspricht einem Zuwachs von 66.500 km gegenüber den Netzlängen im Jahr 2008. Die Länge des Gasnetzes wurde ebenfalls aktualisiert und beträgt als Grundlage für die Be-

standsschätzung eine Länge von 472.000 km (BDEW 2014) gegenüber einer Netzlänge von 420.000 km im Jahr 2007. Für die aktualisierten Längen der Stromnetz-infrastruktur wurde im Vergleich zur MaRess-Studie mit erhöhten Anteilen an Kabelbauweise gegenüber Freileitungen im Niederspannungs- und Mittelspannungsnetz gerechnet. Für die Gasnetzinfrastruktur wurden allerdings die Zuwächse des Gasnetzes anhand der in Steger et al. (2011) verwendeten Verteilung auf die verschiedenen Nenndurchmesser und Materialarten aufgeteilt. Für Nah- und Fernwärmenetze liegen keine neueren Daten vor bzw. beruhen im Fall der Nahwärmenetze nur auf gröberen Schätzungen bezüglich der Gesamtlänge für Deutschland.

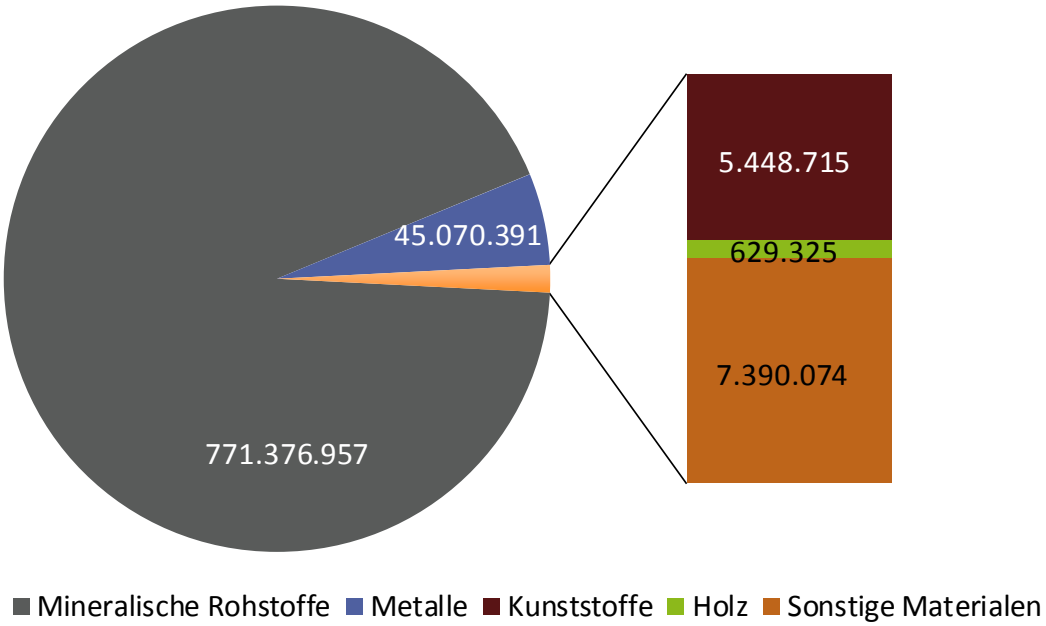
Der Materialbestand der Energienetzinfrastruktur summiert sich auf 731 Mio. t und damit auf deutlich mehr als nach den Zahlen des Jahres 2008 in Steger et al. (2011) mit 650 Mio. t. Den größten Anteil am Materiallager bildet Sand für die Bettung der Gas- und Wärmerohre sowie Erdkabel: der Anteil beträgt 91,4 % oder 668 Mio. t. Somit ist auch bei der Energieverteilungsinfrastruktur der Anteil der mineralischen Rohstoffe am Materiallager dominant. Er beträgt 95,1 % oder 695 Mio. t. Mit 24,6 Mio. t ist Beton die zweite wichtige Kategorie der mineralischen Rohstoffe. Gleichzeitig sind in den Energienetzen 30,1 Mio. t metallische Rohstoffe gespeichert, vor allem Eisen und Stahl (23,4 Mio. t), aber auch 3,6 Mio. t Kupfer, 1,9 Mio. t Aluminium sowie 1,3 Mio. t Blei.

Das Gasnetz ist dabei mit rund 374 Mio. t der größte Materialspeicher innerhalb der Energienetze, gefolgt von der Stromnetzinfrastruktur mit rund 318 Mio. t. Die Wärmenetze spielen für das Materiallager der Energieverteilungsinfrastruktur mit 21,2 Mio. t dagegen nur eine untergeordnete Rolle.

Die Energieverteilung- und Energieerzeugungsinfrastruktur stellt zusammen ein Materiallager in der Größenordnung von 830 Mio. t dar (Abbildung 36). Die mineralischen Rohstoffe summieren sich auf 771 Mio. t und entsprechen damit einem Anteil von 93 %. Die mineralischen Rohstoffe werden wiederum durch Sand/Kies mit 673 Mio. t vor allem für die Bettung der Rohre und Kabel und Beton mit 95 Mio. t dominiert. 74 % des Betons sind in Energieerzeugungseinrichtungen gespeichert, die restlichen 26 % in Verteilungsnetzen und da vor allem für Masten und Fundamente in Freileitungen.

Die metallischen Rohstoffe von 45 Mio. t setzen sich fast vollständig aus 37,1 Mio. t (83 %) Eisen und Stahl, 3,8 Mio. t (9 %) Kupfer und 2,7 Mio. t (6 %) Aluminium zusammen. Die 5,44 Mio. t Kunststoffe, die in Energieinfrastrukturen gespeichert sind, werden zu großen Teilen aus den Fraktionen Polyethylen (PE) (2,8 Mio. t) und Polyvinylchlorid (PVC) (1,7 Mio. t) bestimmt. Zusätzlich bilden Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK), die vor allem für Rotorblätter von WEA eingesetzt werden, mit knapp 0,43 Mio. t eine wichtige Kunststofffraktion im Materiallager der Energieinfrastruktur. Der hohe Anteil der sonstigen Materialien (7,4 Mio. t) lässt sich nur sehr unvollständig weiter differenzieren: 5,4 Mio. t sonstige Rohstoffe ergeben sich aus nicht weiter differenzierten Rohstoffen der kleinen Laufwasserkraftwerke, rund 1 Mio. t sind Solarglas der PV-Anlagen. Hinzu kommen größeren Mengen an Transformatorenöl (0,65 Mio. t) und Flachglas (0,12 Mio. t).

Abbildung 36: Materialbestand der Energieinfrastruktur [t]

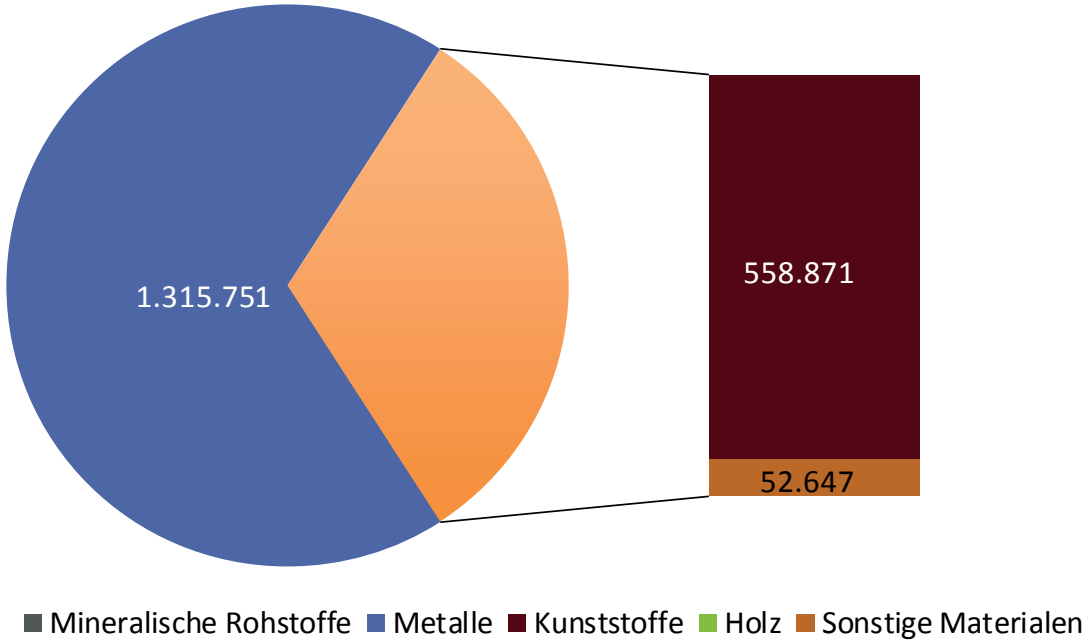


Quelle: eigene Zusammenstellung

IuK-Infrastruktur

Das Materiallager der IuK-Infrastruktur wird auf insgesamt 1,93 Mio. t geschätzt (Abbildung 37). Davon entfallen 1,69 Mio. t auf die Festnetzinfrastruktur und jeweils 120.000 t auf Rechenzentren und Mobilfunk. Die Daten für Mobilfunk und Rechenzentren wurden unverändert von Hintemann et al. (2010) bzw. Scharp (2011) übernommen. Die Abschätzung des Materiallagers für IuK umfasst keine mineralischen Rohstoffe. Es wurden also im Gegensatz zu anderen Infrastruktursystemen (Bahnhöfe, Kraftwerke) keine Gebäude abgeschätzt, da hierfür keine Daten vorlagen. Ebenso wurde keine eigene Sandbettung für Telefonkabel unterstellt, sondern vielmehr die Annahme getroffen, dass diese üblicherweise zusammen mit anderen Infrastruktursystemen verlegt sind. Für Betonfundamente, z. B. für KVZ, waren ebenfalls keine Daten vorhanden. Ebenso wenig zum Anteil an oberirdische Freileitungen von Telefonleitungen am Gesamtnetz. Die Zahlen sind daher als Mindestabschätzung zu interpretieren. 68,2 %, oder 1,32 Mio. t des Materiallagers sind metallische Rohstoffe und davon wiederum 1 Mio. t Kupfer, 232.000 t Eisen/Stahl und 25.000 t Aluminium. Die Gruppe der Kunststoffe (559.000 t) besteht zu großen Teilen aus PE (480.000 t), sowohl als Kabelummantelung wie auch als Bestandteil diverser Bauteile in KVZ und HVt. Die 53.000 t Sonstiges bestehen vor allem aus 12.200 t elektronischer Bauteile, 21.200 t nicht zu spezifizierender Bauteile bzw. Materialien, Glas (5.000 t) für Serverschränke, Glasfaserkabel (6.000 t), Keramik (5.300 t) und Schwefelsäure (2.000 t) für Batterien der Notstromversorgung.

Abbildung 37: Materialbestand in IuK-Infrastrukturen [t]



Quelle: eigene Zusammenstellung

6.1.2.3 Materialflüsse

Verkehrsinfrastruktur

Für die Straßeninfrastruktur- wie auch für die Schieneninfrastruktur ist eine Ableitung des Neubaus aus den Differenzen der Veränderung eines Basisjahres zum Folgejahr – wie weiter oben beschrieben – nicht ohne weiteres möglich. Zudem stellt sich die grundsätzliche Frage, ob ein statistischer Rückgang der Netzlängen gleich bedeutend ist mit einem echten Rückbau dieser Infrastrukturen. So sanken z. B. die Netzlängen der Schieneninfrastruktur von geschätzten 73.000 km im MaRess-Projekt (2007) auf 70.547 km in 2010. Es ist aber einerseits fraglich, ob es tatsächlich keinerlei Neubau zwischen 2008 und 2010 gab, und andererseits, ob wirklich 250 km Bahnstrecken abgebaut worden sind. Vermutlich handelt es sich lediglich um Stilllegungen. Die Länge des Straßennetzes hat sich zwischen 2007 und 2010 statistisch ebenfalls geringfügig reduziert. Auch hier ist es fraglich, ob es einen tatsächlichen Rückbau gegeben hat. Da zudem für die Gemeindestraßen keinerlei Streckenlängen bekannt sind, die über reine Schätzungen hinausgehen, sind Abschätzungen des Neubaus mit einer hohen Unsicherheit verbunden.[46]

Um dennoch eine Abschätzung für den Neubau der materialintensiven Straßen- und Schieneninfrastruktur liefern zu können, wird auf die geschätzten Zuwachsraten des MaRess-Projektes zurückgegriffen. Die Materialbedarfe für die Straßenausstattung sind bis auf Tankstellen und Rasthöfe an den Zuwachs der Straßen gekoppelt. Für Lärmschutzbauten an Bundesstraßen liegen jährliche Zuwächse zwischen 1992 und 2010 vor. Für Ingenieurbauwerke und Schieneninfrastruktur wurden im MaRess-Projekt Annahmen über Wachstumsraten getroffen, die in diesem Projekt auf die Bestandsdaten des Jahres 2010 angewendet werden. Aufgrund fehlender Daten wurde für die Flughafeninfrastruktur und Binnenschifffahrt kein jährlicher Materialverbrauch für den Neubau abgeschätzt.

[46] Das derzeit laufende UBA-Projekt „Substitution von Primärrohstoffen im Straßen- und Wegebau“ kann hierfür vermutlich eine bessere Datenbasis erarbeiten.

Die Instandhaltungsaufwendungen wurden jeweils über die Abschreibungen der technischen Lebensdauern geschätzt. Diese können je nach Straßenschicht oder Funktion innerhalb des jeweiligen Verkehrssystems unterschiedlich gestaffelt sein (siehe z.B. die verschiedenen Lebensdauer der einzelnen Straßenschichten), oder es werden näherungsweise einheitliche Lebensdauern für das gesamte Teilsystem der Verkehrsinfrastruktur verwendet, wie z. B. eine Lebensdauer von 40 Jahren für Lärmschutzwände. [47]

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Schwierigkeiten, die realen Veränderung der verschiedenen Infrastrukturbestandteile abzuschätzen, wird für die Abschätzung der jährlichen Materialflüsse von der Annahme ausgegangen, dass die Länge des deutschen Straßennetzes um knapp 1.800 km pro Jahr wächst, wobei 1.500 km als Gemeindestraßen gebaut werden. Damit einher geht ein Zuwachs an 12 km Tunnel an Bundesfernstraßen und 1,2 Mio. m² Brückenfläche; was in etwa einem jährlichen Zuwachs von 1,5 % des Bestandes entspricht. Für die Schieneninfrastruktur wird ebenfalls ein moderater Anstieg der Streckenlänge von 400 km Gleislänge, 3,3 km Brücken und 2,5 km Tunnel ausgegangen.

Im Ergebnis wird ein jährlicher Materialbedarf für Neubau, Erweiterung und Erneuerung der deutschen Verkehrsinfrastruktursysteme von insgesamt 193 Mio. t geschätzt (Abbildung 38). Dabei übersteigt der materielle Aufwand für Erneuerung und Instandsetzung mit 165 Mio. t den Materialbedarf für den Aus- und Neubau (28 Mio. t) der Infrastruktursysteme deutlich. Wie auch im Bestand werden die Materialflüsse im Bereich der Verkehrsinfrastrukturen vor allem durch die Straßeninfrastrukturbedarfe bestimmt, die 70 % der 188 Mio. t umfassen. Mit 22 % (oder 41,8 Mio. t) ist die Schieneninfrastruktur der zweite große Treiber für den jährlichen Materialbedarf zur Erweiterung und Instandhaltung der deutschen Verkehrsinfrastruktur.

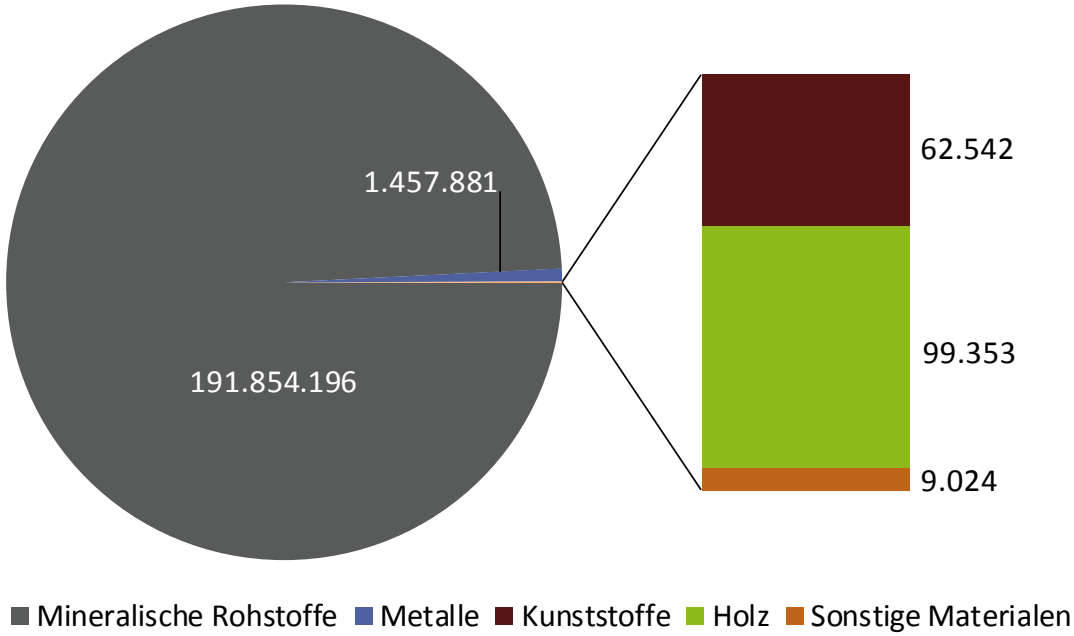
Wie im Materialbestand induzieren die Verkehrsinfrastrukturen fast ausschließlich mineralische Rohstoffflüsse. Fast 99 % der 193 Mio. t an jährlichen Materialbedarfen sind mineralische Rohstoffe und dabei auch hier wieder vor allem Sand und Kies (zusammen knapp 92 Mio. t), gefolgt von Edelsplitt (34 Mio. t), Schotter (33 Mio. t) und Beton (15 Mio. t).

Die jährlichen Metallflüsse lassen sich ebenfalls nach denselben Charakteristika der Bestandsdaten zusammenfassen: Zu 98 % bestand der jährliche Metallfluss von 1,46 Mio. t aus Eisen und Stahl, der in Größenordnungen von 0,4 Mio. t bzw. 0,8 Mio. t in die Instandhaltung und den Neubau der Straßen- bzw. Schieneninfrastruktur floss. Zusätzlich wurden 0,2 Mio. t Eisen und Stahl durch die Instandhaltungsmaßnahmen in der Binnenschifffahrt induziert.

Tabelle 13 zeigt als Zusammenfassung die unterschiedlichen Materialkategorien unterteilt nach Bestand, jährlichen Materialfluss für Neubau und Erweiterung sowie für die Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur. Danach liegen die jährlichen Materialflüsse für Neubau/Erweiterung und Instandhaltung in einer Größenordnung von 2,1 % des Bestandes.

[47] Es wurde beim Instandhaltungsaufwand mit einer linearen Materialabschreibung gerechnet, so dass bspw. bei einer Lebensdauer von 20 Jahren für Bundesstraßen jährlich 5 % des Materialbestandes mit Primärmaterial ersetzt wird. Es wurde kein in-situ-Recycling oder der Einsatz von Sekundärrohstoffen in der Berechnung berücksichtigt.

Abbildung 38: Jährliche Materialflüsse Verkehrsinfrastruktur für Aus- und Neubau sowie Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur [t]



Quelle: eigene Zusammenstellung, zum Teil basierend auf Steger et al. 2011, Schmied/Mottschall 2013 und Mottschall/Bergmann (2013)

Tabelle 13: Übersicht Materialbedarf und Materialflüsse Verkehrsinfrastruktur [1.000 t]

	Bestand	Instandhaltung	Neubau/Erweiterung
Mineralische Rohstoffe	9.334.337	163.753	28.101
Metalle	54.207	1.255	203
Kunststoffe	452	15	48
Holz	2.936	98	1,7
Sonstiges	278	9	0
Summe	**9.392.209**	**165.128**	**28.354**

Quelle: eigene Zusammenstellung

Trinkwasser- und Abwasserinfrastruktur

Die Menge an Rohstoffen, die jährlich für den Neubau und Erweiterung sowie die Instandhaltung der Abwasser- und Trinkwasserinfrastruktur aufgewendet werden müssen, wird auf Grund der schlechten Datensituation unterschätzt. Da bis auf die Netzlänge der Kanalisation und die Anzahl der Kläranlagen und Regenentlastungseinrichtungen keinerlei öffentliche Veränderungsdaten vorliegen, müssen auf die verschiedenen Annahmen in Steger et al. (2011) zurückgegriffen werden. Danach wird geschätzt, dass das Trinkwassernetz jährlich um 2.500 km (oder 0,5 % des Bestandes) wächst. Weiterhin wird angenommen, dass jährlich ein Erd- bzw. Schüttdamm für Talsperren gebaut wird. Mit dem Wachstum des Wassernetzes geht ein jährlicher Anstieg der Anzahl der Wasserspeicher um 51 Anlagen einher. Die Zahlen in Destatis (2013d) zeigen ein Wachstum der Kanalisation um 21.000 km zwischen 2007 und 2010, so dass in dieser Studie von einem jährlichen Zuwachs von 7.000 km

Abwasserleitungen ausgegangen wird. Daran gekoppelt ist ein jährlicher Zuwachs von 126.000 Schächten, zumeist in Betonausfertigung. Die Anzahl an Kläranlagen sank dagegen zwischen 2007 und 2010 um 300 Anlagen, so dass hier kein Neubau unterstellt wurde. Gleichzeitig sind laut Steger et al. (2011) die Instandhaltungsaufwendungen einer Kläranlage als gering einzuschätzen, sodass hier ebenso keine Instandhaltungsflüsse geschätzt wurden. Für den Instandhaltungsaufwand des Trink- und Abwassernetz wurde in Steger et al. (2011) angenommen, dass jährlich 1 % (Abwasser) bzw. 0,9 % (Trinkwasser) des Netzes saniert werden. Diese Daten wurden hier übernommen.

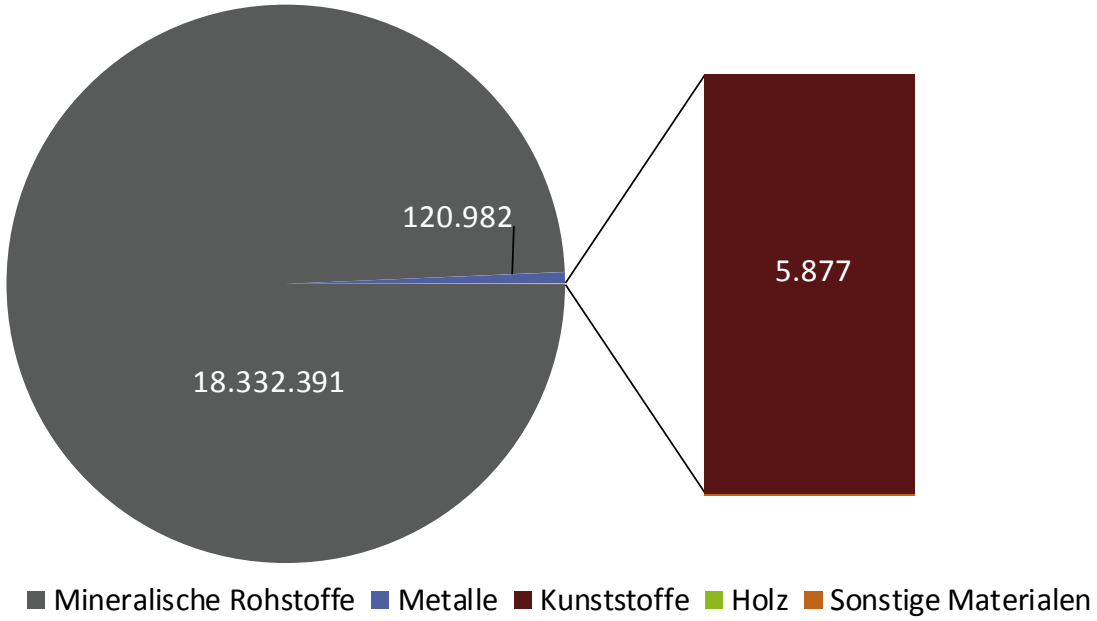
Aus diesen statistisch ablesbaren Zuwächsen und den Annahmen über die jährlichen Materialflüsse für Instandhaltung und den Ausbau der Abwasser- und Wasserinfrastruktur ergeben sich jährliche Materialflüsse in Höhe von 18,4 Mio. t. Dabei werden 13,4 Mio. t, oder 73 %, für die Abwasserinfrastruktur verwendet und 5 Mio. t für Instandhaltung und Neubau der Trinkwasserinfrastruktur. Im Unterschied zur Verkehrsinfrastruktur werden die jährlichen Materialflüsse im Bereich der Wasser- und Abwasserinfrastruktur vor allem durch den Neubau erklärt (17,1 Mio. t). Dies erklärt sich vor allem aus dem Zuwachs der Kanalisation und dem damit verbundenen hohen Sandverbrauch zur Bettung der Rohre. Für die Instandhaltung wird dagegen, wie in Steger et al. (2011), die Annahmen getroffen, dass die Sandbettung bei Auswechslung der Kanalisationsrohre wiederverwendet wird, bzw. Instandhaltungsmaßnahmen zunehmend in Form von Relining-Maßnahmen[48] ohne Auswechslung der Rohre stattfindet.

Entsprechend der hohen Bedeutung der Sandbettung bestehen die jährliche Materialflüsse für Instandhaltung und Neubau der Wasser- und Abwasserinfrastruktur zu 99,3 % aus mineralischen Rohstoffen (18,3 Mio. t) und dabei wiederum zu großen Teilen aus Sand (13 Mio. t), gefolgt von 3,5 Mio. t Beton (vor allem für den Neubau und die Instandhaltung von Abwasserkanälen) und 1,4 Mio. t Schüttbausteilen für Talsperren. Wie in der Abbildung 39 ersichtlich, spielen die anderen Rohstoffkategorien für die jährlichen Materialflüsse nur eine sehr untergeordnete Rolle: 0,12 Mio. t Metalle und knapp 6.000 t Kunststoffe.

Die jährlichen Materialflüsse der Wasser- und Abwasserinfrastruktur belaufen sich auf 0,81 % der Mengen an Rohstoffen, die im Bestand der Wasser- und Abwasserinfrastruktur gespeichert sind (siehe Tabelle 14). Der Anteil fällt damit in diesem Infrastruktursystem deutlich niedriger aus als im Bereich der Verkehrs- und Energieinfrastruktur (2,06 % bzw. 2,58 %). Das kann zum einen daran liegen, dass weniger Teilbereiche der Wasser- und Abwasserinfrastruktur gerade im Bereich der Instandhaltung erfasst werden konnten. Ein anderer Grund könnte aber sein, dass die auf Expertenmeinung beruhenden jährlichen Erneuerungsraten niedriger ausfallen, als wenn der Instandhaltungsaufwand über die technische Lebensdauer abgeschätzt worden wäre.

[48] Beim Relining-Verfahren wird in das bestehende Rohr über unterschiedliche Verfahren ein neues, im Durchmesser kleineres Profil, zumeist aus Kunststoff, eingezogen.

Abbildung 39: Jährliche Materialflüsse für den Aus- und Neubau sowie die Instandhaltung der Wasser- und Abwasserinfrastruktur [t]



Quelle: eigene Zusammenstellung

Tabelle 14: Übersicht Materialbedarf und Materialflüsse der Wasser- und Abwasserinfrastruktur [1.000 t]

	Bestand	Instandhaltung	Neubau/Erweiterung
Mineralische Rohstoffe	2.265.700	1.261	17.071
Metalle	15.596	77	44
Kunststoffe	5.120	0,8	5,0
Holz	0	0	0
Sonstiges	6,8	0	0
Summe	**2.286.422**	**1.339**	**17.120**

Quelle: eigene Zusammenstellung

Energieinfrastruktur

Der Materialbedarf des Neubaus der Energieerzeugungsinfrastruktur wurde zum Teil aus dem MaRess-Bericht übernommen. Dabei handelt es sich um geschätzte oder durchschnittliche Zuwächse bei fossilen Kraftwerken oder BHKW und keine jahresgenauen Zugänge. Für andere Energieerzeugungsanlagen wurden die Materialflüsse für Neubau dagegen aus veröffentlichten Zuwachsraten des Jahres 2010 hochgerechnet (960 Biogasanlagen mit einer Leistung von 470 kW, 754 neue Windenergieanlagen mit einer Leistung von 1.551 MW sowie 80 Anlagen [183 MW Leistung], die im Rahmen von Repowering-Maßnahmen neu erstellt wurden). Für PV-Anlagen wird der Materialzuwachs für 250.000 neu installierte Anlagen (wodurch sich der Bestand um mehr als 25 % erhöhte) mit einer Leistung von insgesamt 7.408 MWp und 54 Mio. m² Modulfläche abgeschätzt.

Insgesamt wird ein jährlicher Materialbedarf für den Neubau und die Erweiterung der Energieerzeugungsinfrastruktur in Höhe von 9,46 Mio. t ermittelt. Auffallend hoch sind die Materialanteile der

Erneuerbaren Energien mit jeweils 2,0 Mio. t bzw. 1,5 Mio. t für Windenergie- und Biogasanlagen sowie 1,88 Mio. t für Photovoltaikanlagen. Dies spiegelt die hohe Dynamik im Bereich der Erneuerbaren Energien wider, wobei heutige Zuwachsraten hinter denen der Boomjahre um das Erfassungsjahr 2010 herum liegen dürfte.

Wie schon in MaRess-Projekt beschrieben, stellt sich die Frage, ob eine jährliche Abschreibung über die Lebensdauer bei der noch jungen Altersstruktur der Erneuerbaren Energien realistische Daten liefern kann. Gerade mit Blick auf den jährlichen Zuwachs von über 25 % für PV-Anlagen im Jahr 2010 und einer Lebensdauer von 20 Jahren scheint es nicht zielführend, diesem Bestand schon einen linearen Erneuerungsbedarf zu unterstellen. Mit Blick auf das Nachfolgeprojekt KartAL II sollte im Bereich der Erneuerbaren Energien der Versuch unternommen werden, eine realistische Altersverteilung zu verwenden, die wiederum deutlich korrektere Instandhaltungsaufwendungen abbilden könnte. Für Windenergie-, Biogas- und PV-Anlagen ist mit Blick auf die sehr gute Datenbasis eine lückenlose Darstellung des jährlichen Zuwachses, beginnend mit einem Basisjahr Null, möglich.

Über die Abschreibungsmethode der technischen Lebensdauer wird der jährliche materielle Erneuerungsbedarf der Energieerzeugungsinfrastruktur auf 2,94 Mio. t geschätzt. Dabei wird von unterschiedlichen Lebensdauern für die einzelnen Energieerzeugungstechnologien ausgegangen und bewegt sich in der Spannbreite von 80 Jahren für Wasserkraftwerke bis 10 Jahren für BHKW.

Die Bundesnetzagentur dokumentiert in ihren jährlichen Monitoring-Berichten die Investitionssummen der deutschen Netzbetreiber in den Ausbau, aber auch in die Instandhaltung ihrer Energienetze, unterteilt nach Netzebenen. In Steger et al. (2007) wurden daher die Materialflüsse für die Instandhaltung der Strom- und Gasnetze auf Grundlage dieser veröffentlichten Investitionszahlen der Netzbetreiber abgeschätzt. Dabei wurde die Annahme getroffen, dass die Verhältnisse der monetären Investitionszahlen für den Neubau und für die Instandsetzung der Netze in entsprechende Netzlängen übertragen werden können. Mit anderen Worten wird davon ausgegangen, dass die Investitionssumme für einen km Neubau vergleichbar ist mit dem monetären Aufwand für einen km Instandsetzung. Unter dieser Annahme kann aus den vorliegenden Zahlen für die jährlichen Investitionen für Neubau und Instandsetzung und dem Wissen über den Zuwachs der Netzlängen die Länge der instandgesetzten Strom- oder Gastrassen abgeschätzt werden. Bei Erneuerungen von erdverlegten Netzteilen wurde zudem davon ausgegangen, dass die Sandbettung weiterverwendet wird und kein Austausch stattfindet. Dementsprechend wurde der Sandbedarf des Neubaus und des Bestandes bei der Abschätzung der Materialflüsse für Erneuerung nicht mit beachtet.

Für die Wärmenetze liegen keine nutzbaren Daten für den jährliche Zubau bzw. den Anteil der Instandhaltung vor. Fernwärmenetze wachsen jährlich nur um wenige km, für Nahwärmenetze liegen selbst für den Bestand nur grobe Abschätzungen vor. Daher wurde in Steger et al. (2011) für die Wärmenetzinfrastruktur kein jährlicher Materialbedarf abgeschätzt.

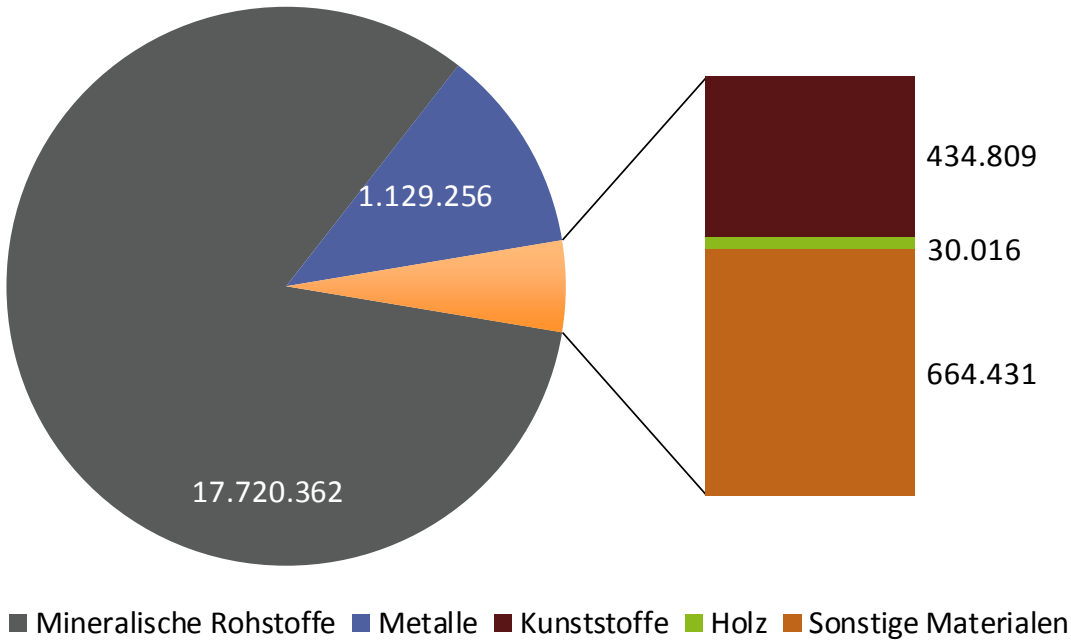
Nach der Investitionssummen-Methodik geschätzt, betrug der Materialbedarf für die Instandsetzung und den Neubau von Energieverteilungsinfrastrukturen 11,92 Mio. t, davon 1,97 Mio. t für die Instandsetzung und 9,87 Mio. t für den Neubau von Strom- und Gasnetzen. 11,31 Mio. t der jährlichen Materialflüsse sind mineralische Rohstoffe, und da vor allem Sand (11,01 Mio. t) für die Bettung neu verlegter Erdkabel und Gasrohre. Weiterhin werden jährlich 0,2 Mio. t Beton für den Neubau und die Instandhaltung verbaut. Weiterhin fließen nach dieser Schätzung jedes Jahr rund 0,51 Mio. t metallische Rohstoffe in die Energieverteilungsinfrastruktur. Zumeist als Eisen und Stahl (0,41 Mio. t) gefolgt von Kupfer (54.000 t) und Aluminium (48.000 t). Erdkabelummantelung und die Verwendung von PE-Rohren im Niederdruck- und Mitteldruck-Gasnetz sind verantwortlich dafür, dass 92.000 t Kunststoff jährlich für den Neubau und die Instandsetzung der Strom- und Gasnetze verbraucht werden.

Die Abschätzungen nach Investitionsausgaben sind mit der Annahme ähnlicher Kostenstrukturen zwischen Neubau und Instandhaltung mit großen Unsicherheiten verbunden. Daher wurde in dieser Aktualisierung neben der Übernahme des jährlichen Materialbedarfs für Neubau und Instandhaltung aus Steger et al. (2011) alternativ eine Abschätzung der Materialflüsse für die Instandhaltung über die Methode der Abschreibung über die technische Lebensdauer vorgenommen. Dafür wurde für Freileitungstrassen eine Lebensdauer von 80 Jahren unterstellt, für alle erdverlegten Strom- und Gasleitungen, aber auch Wärmeleitungen, eine technische Lebensdauer von 40 Jahren. Auch hier wurde der Materialbedarf für die Sandbettung herausgerechnet und eine Wiederverwendung der bestehenden Menge an Sand unterstellt.

In diesem Fall würden die jährlichen Materialbedarfe für den Neubau und die Instandhaltung der Energieverteilungsinfrastruktur 10,94 Mio. t betragen. Dementsprechend würde der Materialbedarf für die Instandhaltung nach der Abschreibungsmethode 1,0 Mio. t umfassen, statt 1,97 Mio. t abgeschätzt anhand der Investitionsausgaben.

Die Energie-Teilinfrastruktursysteme (Verteilung und Erzeugung) induzieren einen jährlichen Materialverbrauch für den Neubau und die Instandhaltung bestehender Infrastrukturen von insgesamt 21,38 Mio. t (Abbildung 40, Tabelle 15), davon 9,46 Mio. t für die Energieerzeugung und 11,92 Mio. t für die Energieverteilung. Der Anteil der mineralischen Rohstoffe bei den jährlichen Stoffflüssen für Neubau/Erweiterung und Instandhaltung der Energieinfrastruktur ist geringer als bei den Verkehrs- bzw. Wasser/Abwasserinfrastruktursystemen (Abbildung 40 versus Abbildung 38 und Abbildung 39). Der hohe Anteil der sonstigen Materialien erklärt sich über die hohen Zuwächse der PV-Anlagen und deren Bedarf an Solarglas (0,6 Mio. t). Die metallischen Rohstoffe von 2,46 Mio. t bestehen zu großen Teilen aus Massemetallen wie Eisen und Stahl (1,79 Mio. t), gefolgt von Aluminium mit (0,52 Mio. t) und Kupfer (149.000 t). Neu errichtete PV-Anlagen sind für den jährlichen Verbrauch von 64.000 t Silizium und Siliziumverbindungen verantwortlich. Alle restlichen Metalle summieren sich auf eine Menge von 4.803 t.

Abbildung 40: Jährliche Materialbedarfe für Neubau/Erweiterung und Instandhaltung der Energieinfrastruktur [t]



Quelle: eigene Zusammenstellung

Tabelle 15: Übersicht Materialbedarf und Materialflüsse der Energieinfrastrukturen [1.000 t]

	Bestand	Instandhaltung	Neubau/Erweiterung
Mineralische Rohstoffe	771.376	4.155	13.565
Metalle	45.070	619	1.909
Kunststoffe	5.448	77	358
Holz	629	3,2	27
Sonstiges	7.390	60	605
Summe	**829.915**	**4.914**	**16.463**

Quelle: eigene Zusammenstellung

IuK-Infrastruktur

Während der jährliche Zubau an Rechenzentren mit Annahmen aus einzelnen Studien (BITKOM 2013) und Marktbeobachtungen grob abgeschätzt werden könnte, konnten die Veränderungen der Netzinfrastruktur im Rahmen diesen Projektes nicht bestimmt werden. Die Anzahl der Hauptvermittlungsstellen soll in Zukunft nach Angaben der Deutschen Telekom deutlich sinken. Welche Veränderung dies für die Netzinfrastruktur nach sich zieht, ist unklar. Zudem erscheint durchaus plausibel, dass die Telekommunikationsinfrastruktur in der Fläche nicht weiter wächst, sondern punktuell durch Glasfaserkabel ersetzt wird.

Aufgrund der unzureichenden Datensituation wurden keine jährlichen Materialflüsse abgeschätzt, sondern nur die Materialbestände.

6.1.2.4 Kritische Punkte und Umgang damit

Dem Bottom-Up-Ansatz ist grundsätzlich eigen, dass erstens nur Ausschnitte der relevanten Bauwerke/Infrastrukturbestandteile abgebildet werden, und dass zweitens bei den betrachteten Ausschnitten unterschiedliche Datenquellen in unterschiedlicher Qualität Verwendung finden. Dies schränkt die Vergleichbarkeit der Daten zwischen den einzelnen Bereichen ein und ist bei der Interpretation zu berücksichtigen. Zudem wird häufig mit groben Annahmen gerechnet.

Während die Basisdaten für die Abschätzung der Materialbestände häufig erfasst werden können, existieren immer noch etliche Datenlücken für die jährlichen Materialflüsse. Diese ließen sich im vorliegenden Vorhaben nicht schließen. Die Annahmen zu Erneuerungszyklen sind sehr unsicher. Insbesondere mit Blick auf die Diskussion über einen vorliegenden Sanierungsstau ist es nicht auszuschließen, dass die tatsächlichen Erneuerungsraten z. T. deutlich unter den hier angenommenen liegen.

Aber nicht nur die Abschätzung der jährlichen Flüsse für die Instandhaltung der Infrastruktursysteme ist mit Unsicherheiten verbunden, auch für die Bestandsschätzung können keine einheitlichen Daten für das Basisjahr 2010 verwendet werden. Für etliche Bestandteile der verschiedenen Infrastruktursysteme liegen diese Daten schlicht nicht vor, so dass auf ältere Daten oder Schätzungen ohne konkrete Jahresangaben zurückgegriffen werden muss. Das gleiche Problem existiert auch für jährliche Zuwächse. Daher müssen die jährlichen Materialbedarfe für den Neubau/Erweiterung aus einem Mix aus öffentlichen statistischen Daten (Destatis oder Branchendaten), durchschnittlichen Werten über mehrere Jahre oder auch anteiligen Werten und reinen Annahmen berechnet werden.

Die Ergebnisse hängen stark von den Annahmen und den unterlegten Materialkennziffern ab. Besonders sensitiv ist dies für den Bereich der Straßeninfrastruktur, da dieser einen Großteil der Materi-

alflüsse induziert und das Materiallager der verschiedenen Infrastruktursysteme dominiert. Dieser Aspekte wird deutlich, wenn man die MaRess-Ergebnisse (Steger et al. 2011) mit den Daten aus Mottschall/Bergmann (2013) vergleicht. Obwohl nur geringfügig unterschiedliche Straßenbreiten und identische Schichtdicken verwendet wurden, kommen beide Studien zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen der Materialbestände, die bei knapp 3 Mrd. t Unterschied liegen und damit höher als der gesamte Materialbestand der Wasser-/ Abwasser- und Energieinfrastruktur zusammen.

6.1.3 Bauwerke des Hochbaus (Wohn- und Nichtwohngebäude)

Der Gebäudebestand gliedert sich in Wohngebäude und Nichtwohngebäude. Diese Teilbestände unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich ihres Grades an Heterogenität sowie hinsichtlich verfügbarer Daten, so dass verschiedene Analysestränge und methodische Vorgehensweisen verfolgt werden.

Ziel ist die Abschätzung von Lagern und Flüssen im deutschen Gebäudebestand. Beachtung finden sowohl die Baumaterialien der Gebäude selbst als auch die Anlagen des technischen Ausbaus der Gebäude (vgl. Abschnitt 6.1.4).

Die empirische Ausgangslage zum Bestand sowie zur Abbildung der Bestandsentwicklung bei Nichtwohngebäuden unterscheidet sich deutlich von der im Wohnungsbestand. Während der Bestand an Wohngebäuden statistisch erfasst ist (Destatis 2012e+f, 2013c), liegen für Nichtwohngebäude keinerlei Bestandsstatistiken vor. Für Wohngebäude existieren des Weiteren bereits geeignete Gebäudetypologien sowie zugehörige Untersuchungen zu typischen Konstruktionsweisen (siehe z. B. Gruhler/Böhm 2011a). Bei Nichtwohngebäuden ist das Spektrum verschiedener Konstruktionsarten infolge der unterschiedlichen Nutzungsanforderungen deutlich größer. Neben der Vielfalt an unterschiedlichen Konstruktionsarten der Tragkonstruktionen herrscht dort zudem eine große Variabilität in der Ausführung der nichttragenden Konstruktionen hinsichtlich der verwendeten Materialkombinationen vor.

6.1.3.1 Methoden und Datengrundlagen

Im Bereich der Wohngebäude (WG) werden für die Hochrechnungen gebäudetypenspezifische Materialkennziffern mit Daten der Wohnungsstatistik (Destatis 2010b) und der Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2010a) verknüpft. Für Nichtwohngebäude (NWG) erfolgte zunächst eine Schätzung des NWG-Bestandes auf Basis des Bruttoanlagevermögens der Bauten aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) (Destatis 2012b) und weiteren Quellen (Destatis 2011, 2012c-e, 2013c, Schmalwasser/Weber 2012). Die geschätzte Gesamtnutzfläche von rd. 3 Mrd. m^2 bildet die Basis für die Bestandshochrechnung der nach Gebäudearten ausdifferenzierten Materialkenngrößen[49]. Eine Übersicht zum Erfassungskonzept und den erfassten Teilbeständen bei Gebäuden enthält Tabelle 16 in Verbindung mit Tabelle 17.

[49] Ermittelt unter Nutzung vorliegender Auswertungen aus dem IÖR-Projekt P393 „Nichtwohnbaustrukturen“ (Basis: BKI-Objektdatenbank (BKI 2012)).

Tabelle 16: Übersicht zum Gebäude-Erfassungskonzept

Mengen		Materialkennziffern		
Hauptquellen Bestand	Hauptquellen Jährliche Fort-schreibung	Grundlage	Hauptquellen	Differenzierung[50]
Wohngebäude				
Destatis FS 5, R 3 (Bestand an Wohnun-gen), basiert auf Zensus 2011	Destatis FS 5, R 1 (Bautätig-keit)			
		Methodik 1		
		Bestandsgebäude-typen (real existie-rende Gebäudere-präsentanten)	Schiller et al. (2010), Buchert et al. (1999+2004)	Gebäudegröße, Epoche (Baualter), aggregierte Baustoffkennwerte (ge-bäudetypologisch)
		Methodik 2		
		synthetische Ge-bäudetypen aus real existierenden Gebäuderepräsen-tanten	Gruhler/Böhm (2011), Gruhler et al. (2002)	Baualtersklassen, Bau-stoffkennwerte (bauteil-typologisch), Rohbau + Ausbau
Nichtwohngebäude				
Eigene Schät-zung (Basis: Bruttoanla-gevermögen aus VGR)	Destatis FS 5, R 1 (Bautätig-keit)	ausgewertete Da-tenbankobjekte	BKI-Objektdaten-bank, IÖR-Projekt „Nichtwohnbau-strukturen“	Baustoffkennwerte (bauteiltypologisch), Rohbau + teilw. Ausbau

Quelle: eigene Zusammenstellung.

Tabelle 17: Übersicht der bei der Ermittlung der Materialkennziffern erfassten Details

Differenzierung	Wohngebäude Methodik 1	Wohngebäude Methodik 2	Nichtwohngebäude
Baualtersklassen	☐	☐	☐
Gebäudetypen	☐	☐	☐
Bauteiltypen	☐	☐	(☑)
Gründung		☐	☐
Außenwände		☐	☐
Innenwände		☐	☐
Decken		☐	☐
Dach		☐	☐
Dachrinnen/Fallrohre		☐	☒[51]

[50] Detaillierte Übersicht siehe Tabelle 19

Differenzierung	Wohngebäude Methodik 1	Wohngebäude Methodik 2	Nichtwohngebäude
Treppenläufe		☐	☒[51]
Geländer		☐	☒[51]
weitere Anbauten[52]		☐	☒[51]
Streifen- und Einzelfundamente		☐	☒[51]
Bodenbeläge		(☑)[53]	(☑)[53]
Erschließung[54]	☐	☐	☒[55]
Baugrubenaushub und -verfüllung	☒[55]	☒[55]	☒[55]
Kleinstgebäude[56]	☒[55]	☒[55]	☒[55]

☑ erfasst
☒ nicht erfasst
Quelle: eigene Zusammenstellung.

Wohngebäude

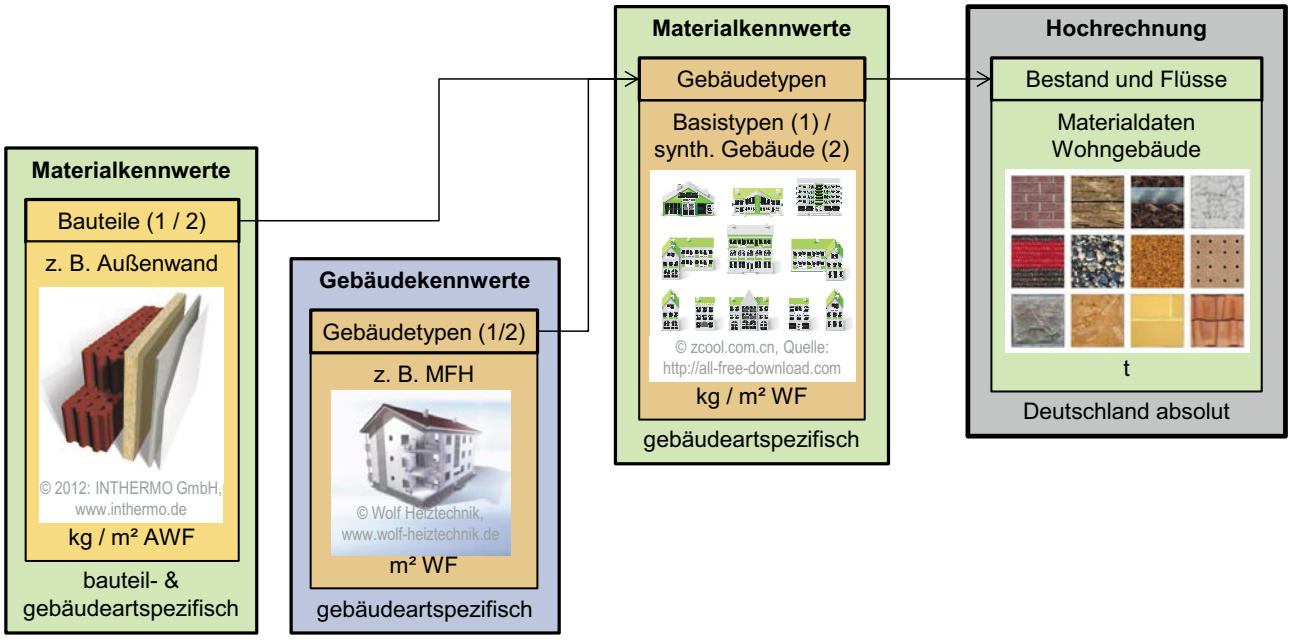
Für die Hochrechnung des Materiallagers wurden zwei methodische Ansätze herangezogen, die im Kern jeweils Gebäudetypenvertreter (Basistypen bzw. synthetische Gebäude), welche jeweils mit Material- und Gebäudekennwerten untersetzt sind, verwenden (Abbildung 41). Die Gebäudetypenvertreter werden dabei in der Regel so gewählt, dass eine Verknüpfung mit amtlichen Statistiken zu Gebäude- und Wohnungsanzahl, -Größe und Baualter erfolgen kann. Beide methodischen Ansätze werden im Folgenden ausführlicher beschrieben. Kurz zusammengefasst sind die wesentlichen Merkmale:

- Methodik 1 (Basistypen):
  Bestandsgebäudetypen, differenziert nach Gebäudegröße, Baualter, Lage (Ost/West),
  aggregierte, gebäudetypologische Baustoffkennwerte auf Basis vorhandener empirischer Arbeiten,
  Berücksichtigung von Baustoffen des Rohbaus einschließlich Gebäudeerschließung
- Methodik 2 (synthetische Gebäude):
  altersklassenbezogene Gebäudetypen, anteilig zusammengesetzt aus real existierenden Gebäuderepräsentanten,

[51] nur quantitative Abschätzung mittels Zuschlag
[52] z. B. Balkone oder Schornsteine
[53] nur für Stoffflüsse, keine Bestände
[54] z. B. befestigte Flächen auf Grundstücken, wie z. B. Zufahrten oder Terrassen
[55] im Nachgang quantitative Lückenabschätzung bei der Synthese der Ansätze (siehe Kapitel 7)
[56] z. B. Garagen, Schuppen, kleinere Hallen, Trafohäuschen usw.

typspezifische Baustoffzusammensetzungen der Wohngebäuderepräsentanten, Berücksichtigung von Rohbau und Ausbau

Abbildung 41: Methodik zur Ermittlung des Materialbestands der Wohngebäude in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung unter Nutzung von Bildquellen der INTHERMO GmbH, Wolf Heiztechnik und http://all-free-Download.com

Beide methodischen Ansätze verwenden für die Hochrechnung die Daten der amtlichen Statistik zum Wohngebäudebestand für das Jahr 2010, welche dem Mikrozensus 2010 (Destatis 2012a) entnommen wurden. Zur Ermittlung von Stoffflüssen für das Basisjahr 2010 wird an die Bautätigkeitsstatistik 2010 (Destatis 2010a) angeknüpft. Eine Unterscheidung zwischen Input (neu errichtete Gebäude) und Output (Abriss ganzer Gebäude einschl. Baualtersklasse) ist möglich.

Zur Bearbeitung wurden folgende Quellen herangezogen:

- Destatis (2010a) und
- Destatis (2012a).

Methodik 1:

- Schiller, G. et al. (2010),
- Buchert, M. et al. (1999),
- Buchert, M. et al. (2004),
- Görg, H. (1997) und
- IWU (1994).

Methodik 2:

- Gruhler/Böhm (2011) und
- Gruhler et al. (2002).

Im Folgenden werden die beiden verwendeten methodischen Ansätze näher vorgestellt:

6.1.3.1.1.1 Methodik 1

Methodisch beruhen die Berechnungen darauf, Gebäudevertreter bestimmter Teilbestände hinsichtlich deren stofflicher Zusammensetzungen zu beschreiben und basierend darauf Hochrechnungen vorzunehmen. Die formulierten gebäudetypologischen Baustoffkennwerte beruhen weitestgehend auf vorhandenen empirischen Arbeiten. Grundlage für die Berechnungen der Methodik 1 nach Schiller et al. (2010) sind die Arbeiten und Untersuchungen aus Buchert et al. (1999) und Buchert et al. (2004) „Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der Nachhaltigen Entwicklung".

Buchert et al. (1999 und 2004) beschreiben mit ihren Gebäudetypen synthetische Gebäude, die den Anspruch erheben, durchschnittliche Eigenschaften von Teilbeständen des Gebäudebestandes Deutschlands abzubilden. Grundlagen hierfür sind baustoffliche Untersuchungen von Gebäudetypen, die durch Görg (1997) und IWU (1994) vorgenommen wurden. Des Weiteren wurden auch Datenrecherchen zum damaligen Baugeschehen sowie Annahmen zur Entwicklung zukünftiger Bauweisen durchgeführt. Die Arbeiten beziehen sich dabei ausdrücklich auf das gesamte Bundesgebiet und reflektieren neben baustofflichen Kompositionen im Gebäudebestand auch zukünftige Entwicklungen im Baugeschehen.

Die Stoffkennwerte werden dabei in die fünf Hauptbaustoffgruppen Mineralische Baustoffe, Holz, Metalle, Kunststoffe und Sonstige Baustoffe, innerhalb derer eine weitere Differenzierung nach Einzelbaustoffen erfolgt, unterschieden. Aus stofflicher Sicht liegt das Interesse auf den im Rohbau verbauten Baustoffen. Weiterhin berücksichtigen Buchert et al. (1999 und 2004) bei ihren Untersuchungen energetische Fragestellungen und Fragen des spezifischen Erschließungsaufwandes sowie der Flächeninanspruchnahme typischer Gebäudevertreter. Hierzu unterscheiden sie 36 Bestandsgebäudetypen nach den Kriterien Gebäudegröße und Epoche (Baualter). Hinsichtlich der Gebäudegröße werden Einfamilienhäuser von in Größenklassen eingeteilten Mehrfamilienhäusern unterschieden. Die Einteilung nach Baualtersklassen orientiert sich in erster Linie an der Entwicklung energetischer Standards im Gebäudebestand. Mit der Unterscheidung zwischen Ost und West wird versucht, konstruktive Besonderheiten mit Einfluss auf die genannten Zielkategorien zu berücksichtigen.

Aufgrund der stofflichen Auswertung im Rahmen dieser Studie wird auf die in Schiller et al. (2010) aggregierten stofflichen Gebäudekennwerte, deren Grundlage die zuvor beschriebene Systematik von Buchert et al. (1999 und 2004) ist, zurückgegriffen. Diese unterscheidet zwischen Ein- und Zwei-Familienhäusern und Mehrfamilienhäusern. Die Stoffkennwerte beziehen sich dabei auf Wohneinheiten (t Baustoffe/WE). Zur Anschlussfähigkeit an die Daten des Mikrozensus 2010 (Destatis 2012a) und für die anschließende Hochrechnung wurden die Baualtersepochen angepasst und aktualisiert.

6.1.3.1.1.2 Methodik 2 (nach Gruhler/Böhm 2011a)

Vergleichbar der Methodik 1 beruhen die Hochrechnungen der Methodik 2 auch auf einer Gebäudetypologie, die jedoch synthetische altersklassenbezogene Typen verwendet (Gruhler/Böhm 2011a). Die synthetischen Typen spiegeln dabei eine bestimmte Gebäudeart und eine Bauepoche sowie die darin vorherrschenden Bauweisen, Baukonstruktionen, Bauelemente und verwendeten Baustoffe wider. Diese sind untersetzt mit typspezifischen Baustoffzusammensetzungen welche einer Gebäudedatenbank des IÖR (u. a. durch Gruhler et al. (2002) erarbeitet) entnommen wurden. In ihr sind für eine Vielzahl von konkreten Ein- und Zwei- sowie Mehrfamilienhäusern (Wohngebäuderepräsentanten) unterschiedlichen Baualters, Daten zur Belegung (Wohnungen pro Gebäude), zu Flächen und Volumen, zur Beschreibung der baulichen Physis (Stoff- und Energiedaten) sowie zur Beschreibung von Umweltwirkungen hinterlegt.

Zur Bildung eines synthetischen baualtersklassenbezogenen Gebäudetyps werden an Hand der Gebäudeart und des Baualters geeignete Gebäuderepräsentanten ausgewählt und eingeschätzt, zu welchen Anteilen diese bei der Bildung des synthetischen Gebäudetyps zu berücksichtigen sind. Nach

Festlegung der beschriebenen Schätzanteile werden die Daten der berücksichtigten Gebäuderepräsentanten zur Bildung des synthetischen Gebäudetyps herangezogen.

Wie auch bei der Methodik 1 wurde die Methodik 2 mit den Daten des Mikrozensus 2010 der amtlichen Statistik (Destatis2012a) verknüpft. Da die bisherigen Berechnungen auf eigenen Berechnungen zum Wohnungsbestand (Banse/Effenberger 2006) beruhten, war es notwendig, diese an die amtliche Statistik anzupassen. Damit einher ging die Vermutung, dass die zugrundeliegenden synthetischen Gebäudetypen im Schnitt kleiner sind als der Bestand an Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäusern in Deutschland. Eine Ankopplung weiterhin an die Anzahl an Wohneinheiten würde deshalb nach Schätzung der Autoren zu einer Unterschätzung führen. Daher wurden über einen Zwischenschritt über den Bruttorauminhalt die den synthetischen Gebäudetypen zugrundeliegenden Stoffkennwerte hochgerechnet und im Anschluss an die Wohnfläche gekoppelt. Lagen zuvor spezifische Stoffkennwerte, bezogen auf eine Wohneinheit bzw. auf ein Gebäude, vor (t Baustoffe/WE), so lagen nun Stoffkennwerte bezogen auf die Wohnfläche (t Baustoffe/m2 WF) vor.

Daran anschließend erfolgte die Hochrechnung des Materiallagers anhand der Wohngebäudebestandsdaten für 2010 aus dem Mikrozensus (Destatis 2012a).

6.1.3.1.1.3 Materialflüsse

Die Ermittlung von Input- und Outputflüssen erfolgte unter Verwendung der Methodik 2 (nach Gruhler/Böhm 2011a). Dabei wurden neben der Neubautätigkeit (Input) und dem Abriss ganzer Gebäude (Output) auch In- und Outputströme infolge von Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt. Ausgangspunkt für die Schätzung von Sanierungs-Input und -Output ist der Gebäudebestand in Deutschland im Basisjahr 2010. Um zu geeigneten Schätzungen zu kommen, mussten Festlegungen getroffen werden, welcher Anteil des Bestandes jährlich saniert wird. Des Weiteren mussten geeignete Annahmen für die bei der Sanierung aus dem Gebäude entfernten und im Anschluss wieder eingebrachten Materialmengen getroffen werden.

Analysen an Bestandsgebäuden von Gruhler/Böhm 2011a haben ergeben, dass der Sanierungs-Input regelmäßig geringfügig über dem Sanierungs-Output liegt. Für die Berechnungen wurden folgende Annahmen[57] zugrunde gelegt:

- *Sanierungsrate:*
  grundhafte Sanierung alle 30 Jahre, dies entspricht einer jährlichen Sanierungsrate von ca. 3 % des Wohngebäudebestandes
- *Sanierungsanteil:*
  - Input: Materialanteil 5,5 %
  - Output: Materialanteil 5,0 %

In die Ermittlung der Materialflüsse wurden zusätzlich die Bodenbeläge (einschließlich Verschnitt) mit einbezogen[58].

Nichtwohngebäude

6.1.3.1.1.4 Schätzung des Bestandes

Die Schätzung des Gesamtbestandes an Nichtwohngebäuden bildet die Basis, um die separat mittels Bottom-Up-Analysen vorgenommene Ausdifferenzierung der Materialkompositionen der Nichtwohngebäude in ihrer Gesamtheit mit Zahlen zu hinterlegen.

[57] Die Ansätze wurden in einer internen Expertenrunde eruiert.

[58] Für Bodenbeläge sind keine Bestandsdaten vorhanden.

Die Schätzungen zum Nichtwohngebäudebestand werden auf Basis des Bruttoanlagevermögens der Bauten aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) vorgenommen. Es wurden folgende wesentliche Quellen herangezogen:

- VGR (Destatis 2012b),
- Umsatzstatistiken des Baugewerbes[59] in Deutschland:
  - Destatis (2012c),
  - Destatis (2012d),
  - Destatis (2012e),
- Nutzungsdaueransätze der VGR (Schmalwasser/Weber (2012)),
- Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2011) und
- Zensus 2011 (Destatis 2013c).

Bezüglich der verwendeten Definitionen wird auf Abschnitt 10.2 (Glossar) verwiesen, für weitere Informationen zur VGR auf Anhang 2.2.

Die jährlich durch das Statistische Bundesamt herausgegebenen Statistischen Jahrbücher (z. B. Destatis 2010c) widmen jeweils ein Kapitel den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR). Innerhalb der VGR werden u. a. auch Bauten mit ihrem Anlagevermögen berücksichtigt, sodass mithilfe dieser Angaben eine Top-Down-Schätzung auf den mengenmäßigen Bestand der Nichtwohngebäude möglich ist.

Die preisbereinigten Ergebnisse der VGR werden entsprechend internationaler Konventionen und verbindlicher europäischer Rechtsvorschriften stets in Preisen des jeweiligen Vorjahres ausgedrückt (also z. B. Ergebnisse für das Jahr 2005 in Preisen von 2004). Absolutwerte in Zeitreihen für die einzelnen Merkmale sind, da durch Verkettung entstanden, nicht mehr additiv; dazu werden die verketteten Indizes angegeben (Kettenindizes, in Deutschland bezogen auf das Referenzjahr 2005).

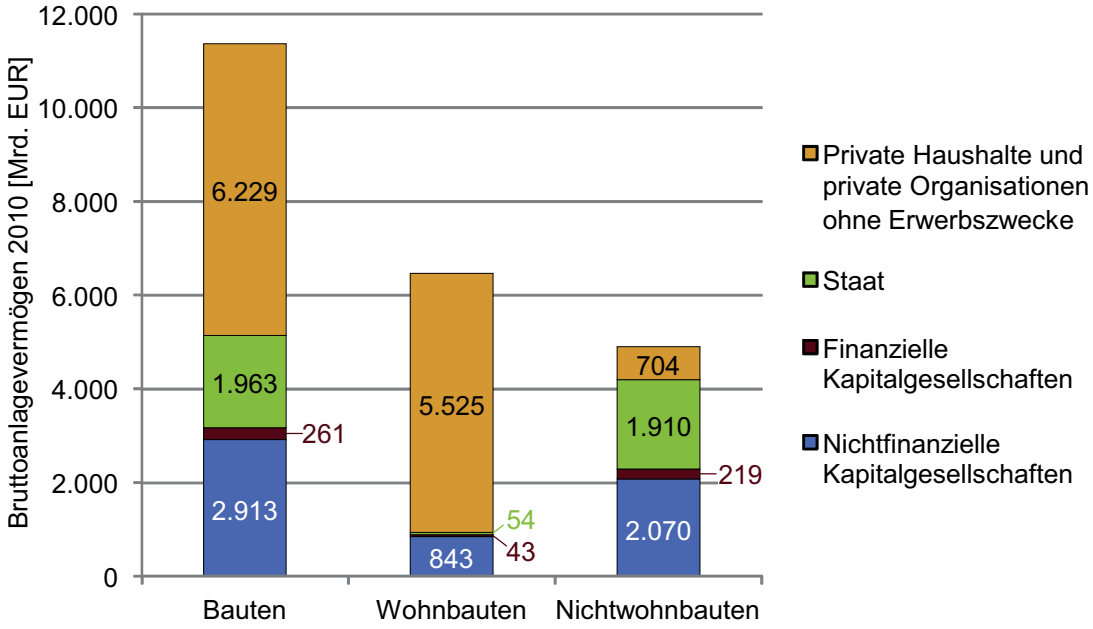
Die aktuellen Ergebnisse der VGR werden zu jedem Veröffentlichungstermin überprüft. Im August jedes Jahres erfolgt eine Revision für die zurückliegenden vier Jahre. Alle fünf bis zehn Jahre findet zudem eine große Revision statt, bei der neue Methoden, neue Basisstatistiken etc. in die VGR eingearbeitet werden. Dabei werden auch die rückgerechneten Ergebnisse (aktuell bis 1970) überarbeitet und geändert. Dies war zuletzt im Jahr 2011 der Fall (Schmalwasser & Weber 2012). Bei dieser letzten großen Revision wurden alle Daten der Anlagevermögensrechnung bis ins Jahr 1991 zurück korrigiert. Dabei wurden u. a. die durchschnittlichen Nutzungsdauern, welche als Grundlage in die Anlagevermögensrechnung einfließen, korrigiert.

Der in der VGR berichtete Gesamtbestand an Bauten belief sich im Basisjahr 2010 auf einen Wiederbeschaffungswert von 11.366 Mrd. Euro (Destatis 2012a). Dieser Gesamtbestand wird in Wohnbauten und Nichtwohnbauten unterteilt (Abbildung 43, gelber Ast). Die Wohn- und Nichtwohnbauten werden darin jeweils unterschieden nach ihren Eigentumsverhältnissen in Bauten:

- von nichtfinanziellen Kapitalgesellschaften,
- von finanziellen Kapitalgesellschaften,
- des Staates und
- von privaten Haushalten und Organisationen ohne Erwerbszweck (Abbildung 42).

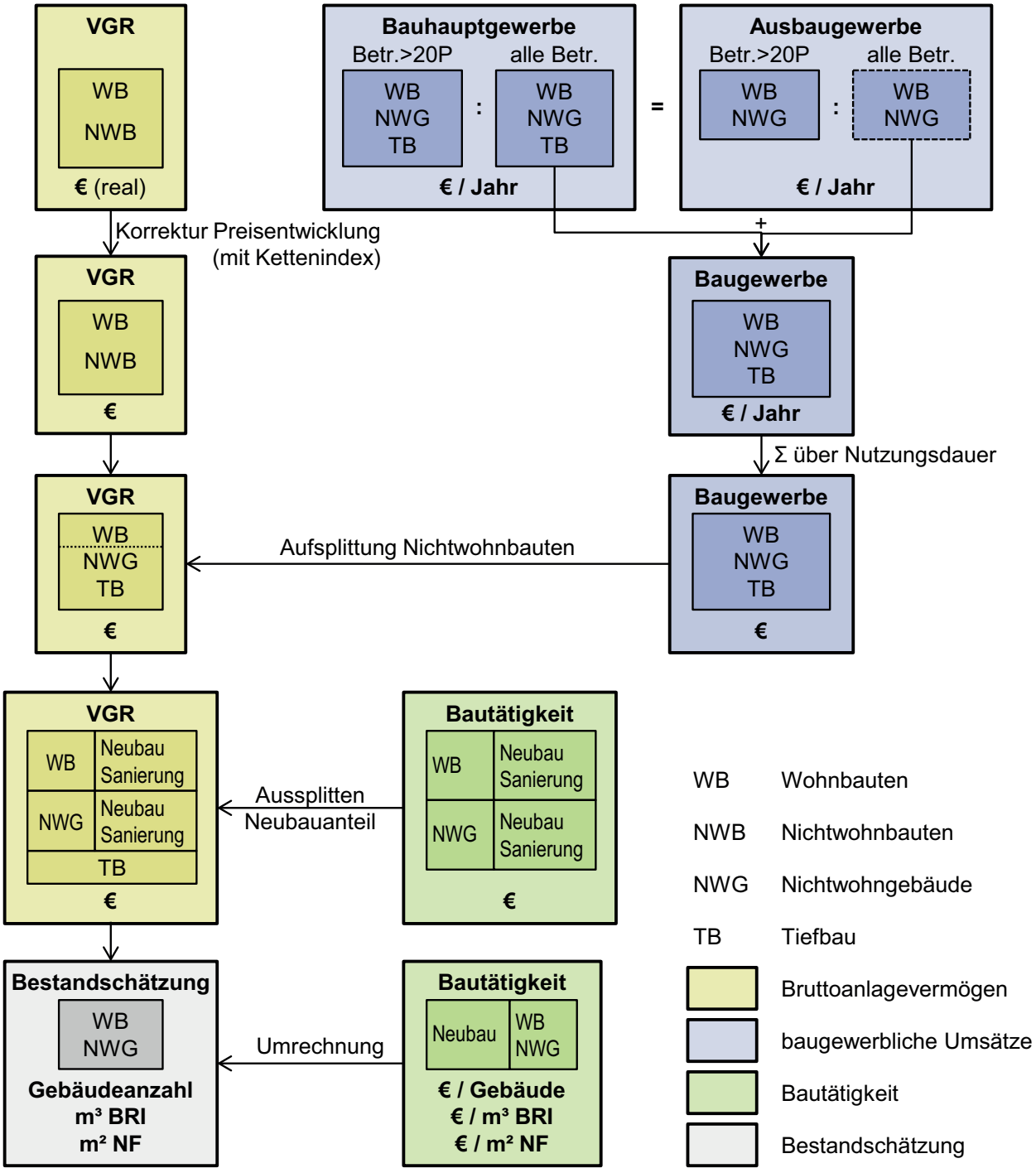
[59] Die veröffentlichten Tabellen der Fachserie 4 verwenden teils unterschiedliche Berechnungszeiträume für die jährlichen Umsätze, sodass die Zahlen untereinander nicht kompatibel sind. Nach Rücksprache mit dem Statistischen Bundesamt wurden von dort separate Tabellen angefordert (Destatis 2012c-e), um eine gleiche Basis zu erhalten.

Abbildung 42: Verteilung des Bruttoanlagevermögens im Basisjahr 2010 nach Destatis 2012a



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 43: Methodik zur Bestandsschätzung der Nichtwohngebäude in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung

Für die Nichtwohngebäude existiert in der VGR jedoch keine separate Ausweisung. Sie sind dort lediglich unter dem Begriff Nichtwohnbauten als Summe mit dem Tiefbau angegeben. Eine Unterscheidung der Anlagevermögensanteile innerhalb der Sparte Nichtwohnbauten zwischen Nichtwohngebäuden und Tiefbau findet sich nur für die Bauten des Staates, welche mit 39 % aber nur einen Teil der der gesamten Nichtwohnbauten ausmachen. Die staatlichen Tiefbauten werden mit 1.134,16 Mrd. Euro Wiederbeschaffungswert im Jahr 2010 angegeben (Destatis 2012a). Dies entspricht einem Tiefbauanteil von 59 % an den staatlichen Nichtwohnbauten. Die verbleibenden 41 % staatlicher Nichtwohngebäude besitzen einen Wiederbeschaffungswert von 775,34 Mrd. Euro.

Für den größeren Anteil der nichtstaatlichen Nichtwohnbauten muss eine Schätzung für die Differenzierung zwischen Nichtwohngebäuden und Tiefbau vorgenommen werden, da die VGR hierüber keine Angaben macht. Eine Möglichkeit ist die Schätzung auf Basis der Investitionen, welche u. a. der Anlagevermögensberechnung zu Grunde liegen. Hierzu wurde von Gruhler/Böhm (2011) nach Rücksprache mit dem Statistischen Bundesamt ein Anteil des nichtstaatlichen Tiefbaus von 20 - 25 % an den nichtstaatlichen Bauten als Schätzwert angegeben.

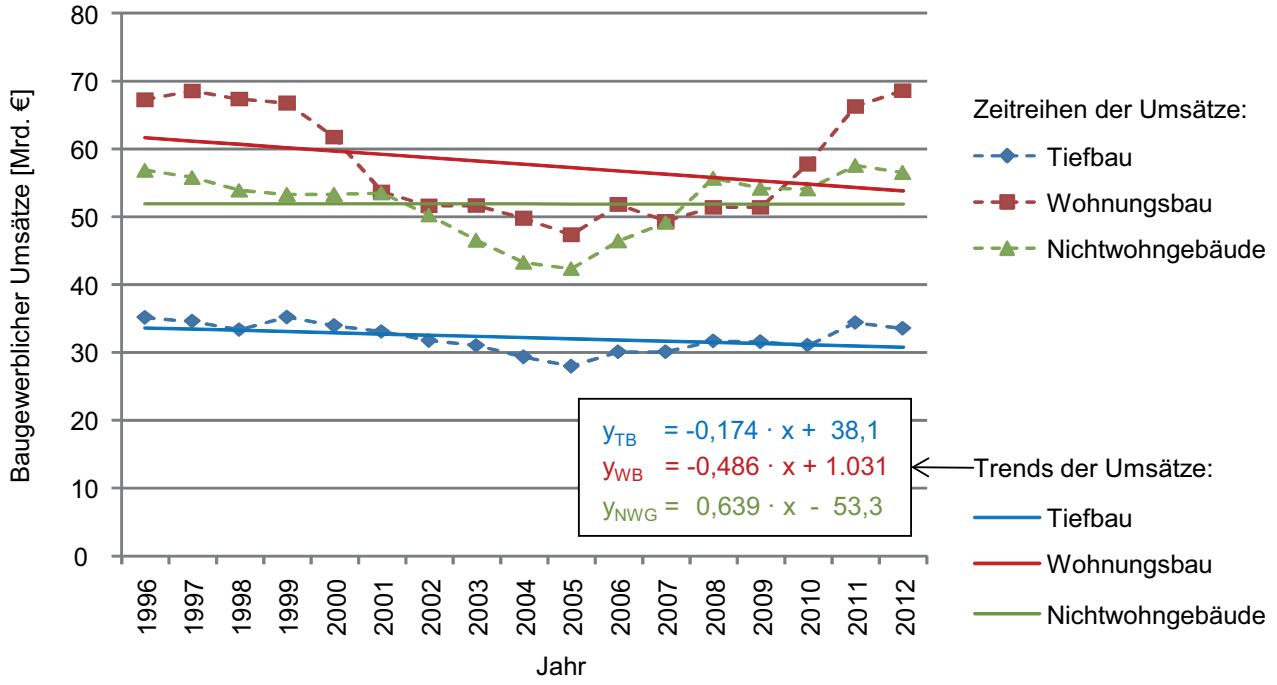
Eine andere Möglichkeit, eine Differenzierung zwischen Nichtwohngebäuden und Tiefbau innerhalb der Sparte Nichtwohnbauten zu erreichen, ist die Analyse der statistisch ausgewiesenen baugewerblichen Umsätze. Diese Vorgehensweise wird im Folgenden als Umsatz-Ansatz bezeichnet (Abbildung 43, blauer Ast). Dabei wird direkt auf Quellen aus der amtliche Statistik Bezug genommen, sodass der hier verfolgte Ansatz gegenüber der vorgenannten einfachen Schätzung an Objektivität gewinnt.

Die Umsätze fließen in die Herstellungskosten der Bauwerke ein, die letztendlich wiederum Eingang in das Anlagevermögen finden. Das Statistische Bundesamt hält hierzu Daten zum Bauhaupt- und Ausbaugewerbe vor. Im Bauhauptgewerbe (Destatis 2012c,d) findet sich eine Unterscheidung zwischen gewerblichem Hoch- und Tiefbau. Zusätzlich werden die baugewerblichen Umsätze im Wohnungsbau angegeben, welche im Rahmen der Analyse als Plausibilitätskontrolle Verwendung finden. Beim Ausbaugewerbe (Destatis 2012e) findet sich keine Unterscheidung. Hier wird davon ausgegangen, dass das Ausbaugewerbe nur im Hochbau von Relevanz ist. Die Gewichtung zwischen Wohnungsbau und Nichtwohngebäuden wird als paritätisch zum Bauhauptgewerbe angenommen.

Für das Bauhauptgewerbe liegen die statistischen Erhebungen sowohl für Betriebe mit 20 tätigen Personen und mehr (Destatis 2012c) als auch für alle Betriebe (Destatis 2012d) vor, wohingegen beim Ausbaugewerbe (Destatis 2012e) nur Betriebe mit 20 tätigen Personen und mehr erfasst sind. Die Zahlen für alle Betriebe des Ausbaugewerbes werden anhand des Verhältnisses beim Bauhauptgewerbe hochgerechnet (Abbildung 43, oben rechts) und anschließend mit den Umsätzen des Bauhauptgewerbes für alle Betriebe zum Gesamtumsatz des Baugewerbes zusammengeführt[59].

Im Rahmen des Projekts erfolgt die Schätzung für das Basisjahr 2010. Da jedoch in der Statistik Schwankungen und Datenlücken auftreten können, wird hierbei zunächst die gesamte Zeitreihe betrachtet (Abbildung 44), um auszuschließen, dass sich eine solche Lücke gerade im betrachteten Jahr befindet. Die baugewerblichen Umsätze unterliegen teils großen Schwankungen, die zunächst eine lineare Regressionsrechnung über die vergleichsweise kurze vorliegende Zeitreihe in Frage stellen. Die Daten wurden deshalb mit dem Baupreisindex abgeglichen, der in einer längeren Zeitreihe vorliegt. Der Abgleich ergab, dass der bei den Umsätzen betrachtete Zeitausschnitt ziemlich genau einer Periode der kontinuierlichen Schwankungen des Baupreisindex entspricht. Damit konnte sichergestellt werden, dass die Ergebnisse der Regressionsrechnung aus der kurzen Zeitreihe der baugewerblichen Umsätze (siehe Abbildung 44) verwendet werden können.

Abbildung 44: Entwicklung des baugewerblichen Jahresumsatzes der verschiedenen Bauweisen

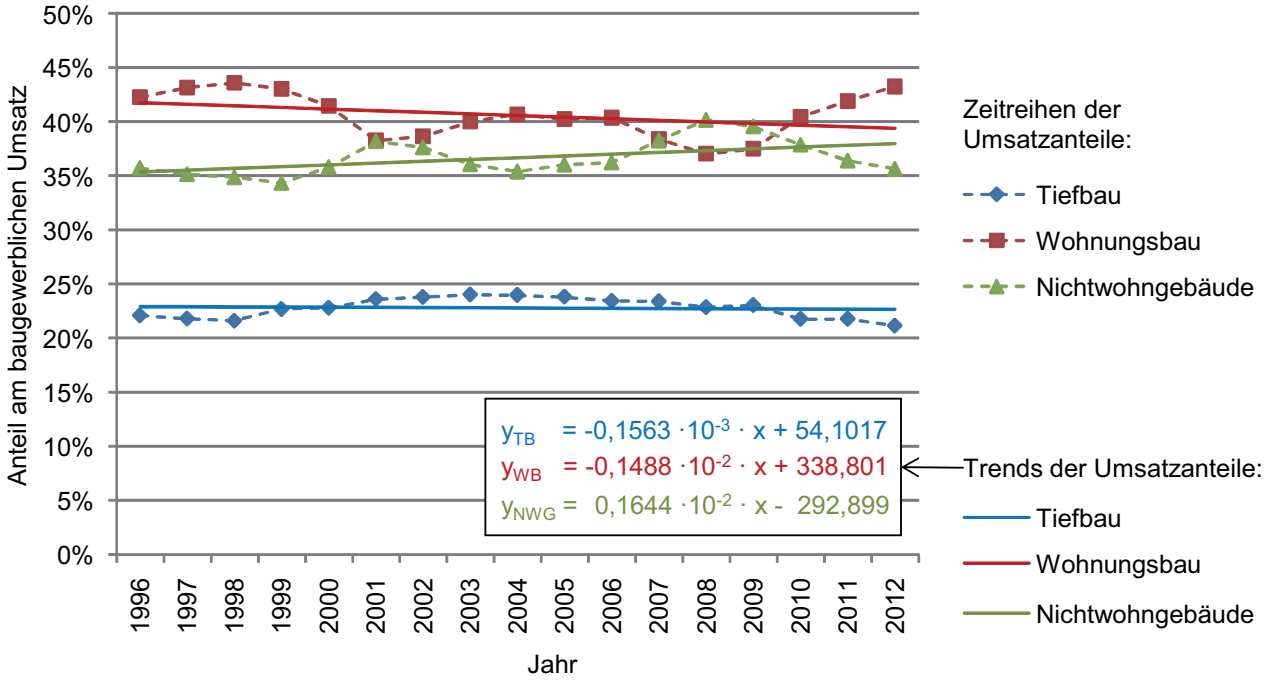


Quelle: eigene Darstellung

Die so gewonnenen linearen Trends (Abbildung 45) bilden die Basis für eine Schätzung der Verteilung der Vermögenswerte der VGR zwischen Nichtwohngebäuden und Tiefbau. Aus den in der VGR angegebenen Wiederbeschaffungswerten des Bruttoanlagevermögens der Bauten insgesamt wurden nun Anteile für Wohnungsbau, Nichtwohngebäude und Tiefbau errechnet, indem die aus der Umsatzschätzung gewonnene prozentuale Verteilung zu Grunde gelegt wurde (Abbildung 46). Als Kontrollwert zum Vergleich mit den Zahlen aus der VGR zu den Nichtwohnbauten wurde für die Schätzwerte die Summe aus Nichtwohngebäuden und Tiefbau gebildet. Als Vergleichswerte wurden die beiden Anteile der Wiederbeschaffungswerte für Wohnbauten und Nichtwohnbauten aus der VGR gegenübergestellt.

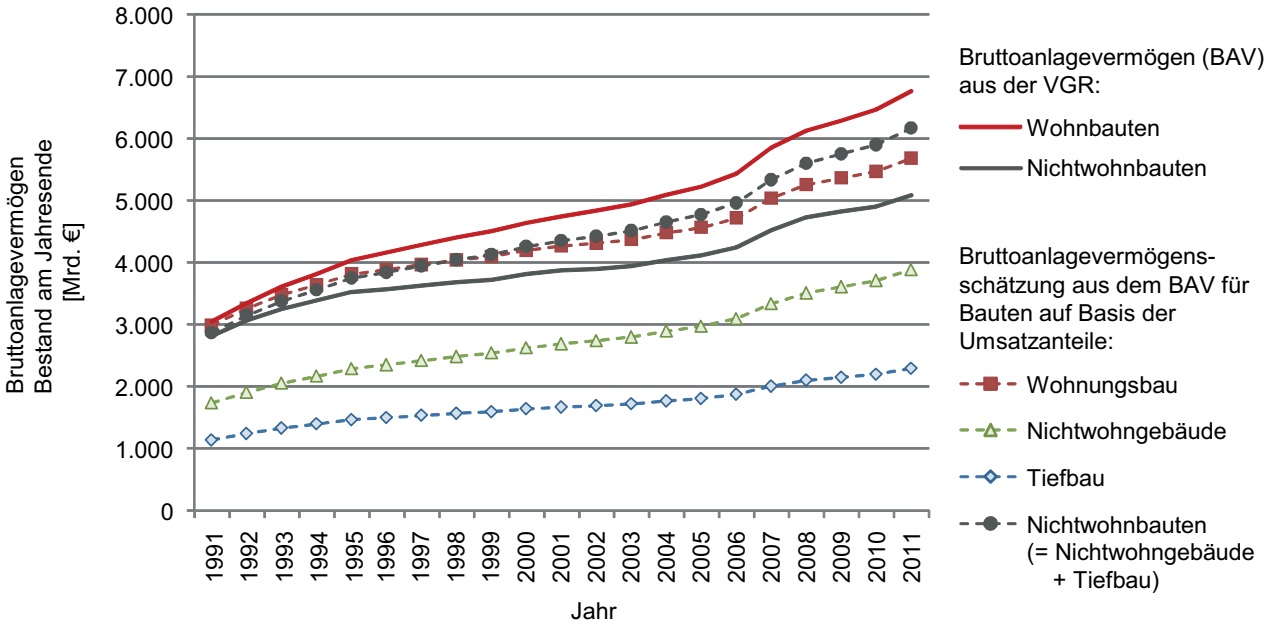
Der annähernd parallele Verlauf der Kurven ist in der gemeinsamen Basis der Daten – der Zeitreihe des Bruttoanlagevermögens für die Bauten insgesamt – begründet. Allerdings zeigt die Plausibilitätskontrolle anhand der Wohnbauten sowie der kumulierten Nichtwohnbauten, dass die über die baugewerblichen Umsätze geschätzten Anteile der Bauarten so noch nicht zu den Daten der VGR passen. Der Anteil des Bruttoanlagevermögens im Wohnungsbau macht in der VGR mit ca. 60 % mehr als die Hälfte aus. Die Nichtwohngebäude und Tiefbauten insgesamt finden sich beim Bruttoanlagevermögen in den restlichen ca. 40 % wieder. Demgegenüber ergibt die Schätzung aus Basis der baugewerblichen Umsätze genau gegensätzliche Werte. Als Konsequenz ergibt sich, dass die ermittelten Anteile aus der Umsatzschätzung in dieser Form noch nicht für die Ausdifferenzierung der Nichtwohnbau-Daten aus der VGR angewendet werden können.

Abbildung 45: Entwicklung der Anteile der Bauweisen am baugewerblichen Jahresumsatz



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 46: Entwicklung der Anteile der Bauweisen am Gesamtvolumen anhand der Verteilung der rechnerischen jährlichen Umsätze



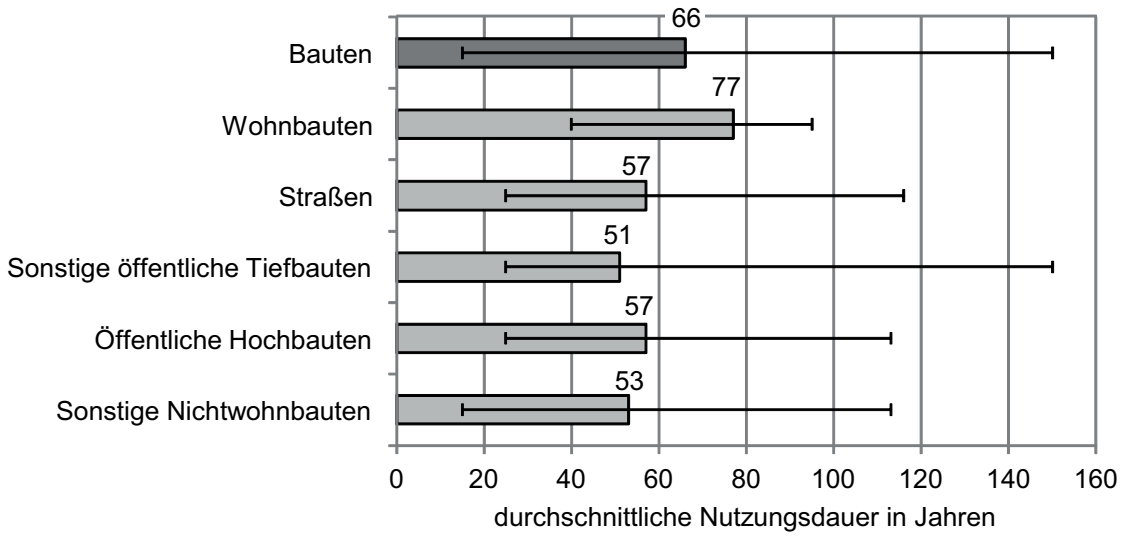
Quelle: eigene Darstellung

Es ist zu beachten, dass dem in der VGR[60] ausgewiesenen Bruttoanlagevermögen verschiedene Nutzungsdauern zu Grunde liegen (Abbildung 47), welche bei der Berechnung der anteiligen Umsätze des Baugewerbes zu berücksichtigen sind. Entsprechend Schmalwasser/Weber (2012) wurden die Umsätze für Wohnbauten mit 77 Jahren in Ansatz gebracht; für die Tiefbauten und die Nichtwohngebäude wurden jeweils die Mittelwerte aus Straßen und sonstigen öffentliche Tiefbauten (54 Jahre) bzw. öffentlichen Hochbauten und sonstigen Nichtwohnbauten (55 Jahre) angesetzt. Dies wird im Folgenden als Nutzungsdaueransatz bezeichnet.

Die nach Wohnbauten, Nichtwohngebäuden und Tiefbau ausdifferenzierten jährlichen Umsatzzahlen des Baugewerbes (als Zeitreihe ausgewertet) wurden mittels linearer Regressionsrechnung über die jeweilige Nutzungsdauer rückextrapoliert und anschließend darüber kumuliert[61]. Die Verhältnisrechnung liefert die prozentualen Anteile der nutzungsdauerbezogenen, kumulierten Umsätze von 18 % im Tiefbau, 55 % im Wohnungsbau und 27 % bei Nichtwohngebäuden als Grundlage für die Anlagevermögensschätzung.

Werden die so ermittelten nutzungsdauerbasierten Umsatzanteile auf die Daten der VGR angewendet, so ergibt sich eine deutlich plausiblere Darstellung (Abbildung 48). Die Differenzen zwischen der Schätzung aus den baugewerblichen Umsätzen und den aus der VGR direkt entnommenen Daten verringern sich deutlich. Allerdings verlaufen die geschätzten Linien der Wohnbauten und Nichtwohnbauten in dieser Darstellung nahezu parallel, wohingegen die Daten aus der VGR ein leichtes Auseinanderdriften zeigen; d. h., der Anteil der Wohnbauten weist gegenüber dem Anteil an Nichtwohnbauten eine stärker steigende Tendenz auf.

Abbildung 47: Nutzungsdauern in der VGR nach Schmalwasser & Weber (2012)

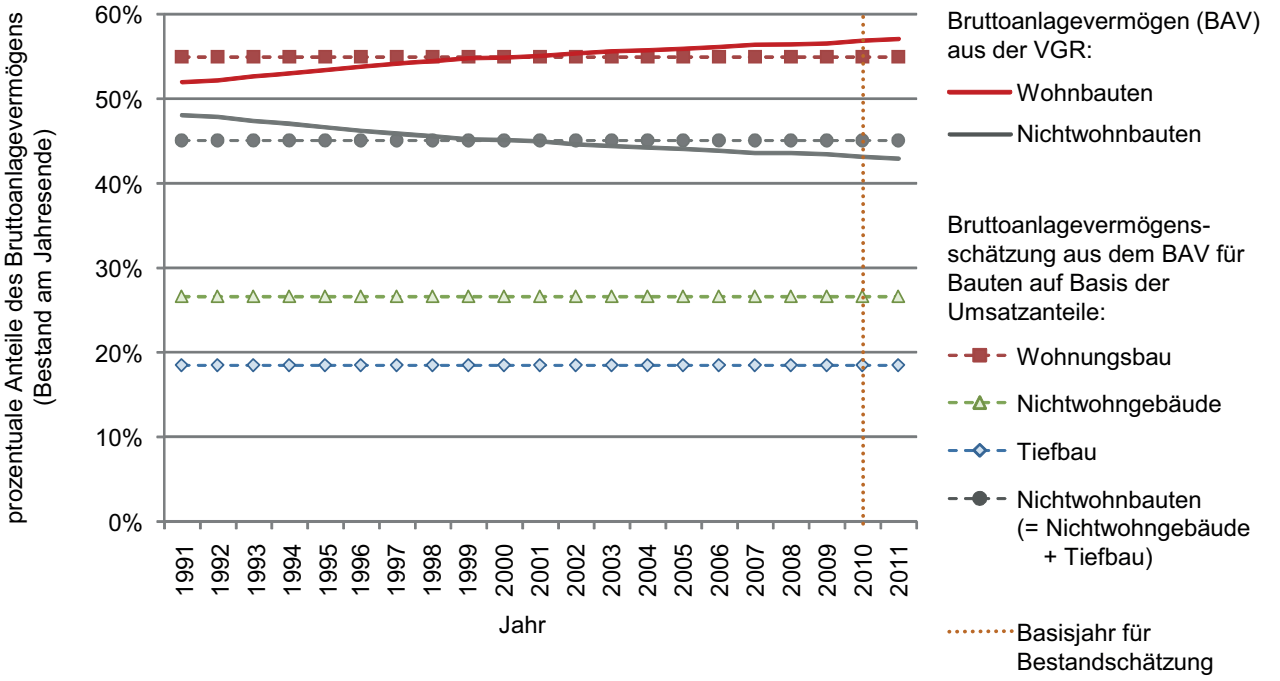


Quelle: eigene Darstellung unter Nutzung von Daten aus Schmalwasser & Weber (2012)

[60] Eine Übersicht sowie weitere Details zu den Vermögensgütern und –werten der VGR finden sich im Anhang 2.2.

[61] Für die Kumulation über die Nutzungsdauern wurde entsprechend der o. g. Ansätze für den Wohnungsbau der Zeitraum von 1934 - 2010, für den Tiefbau der Zeitraum von 1957 - 2010 und für die Nichtwohngebäude der Zeitraum von 1956 - 2010 zugrunde gelegt. Als Plausibilitätskontrolle wurde die Summe der drei Bauarten aus diesem Ansatz dem kumulierten Wert aller Bauten über die durchschnittliche Nutzungsdauer von 66 Jahren (vgl. Abbildung 47), d. h im Zeitraum von 1945 - 2010, gegenübergestellt. Die Übereinstimmung ist sehr gut.

Abbildung 48: Entwicklung der Anteile der Bauweisen am Gesamtvolumen anhand der Verteilung der rechnerischen jährlichen Umsätze mit Berücksichtigung der Nutzungsdauern



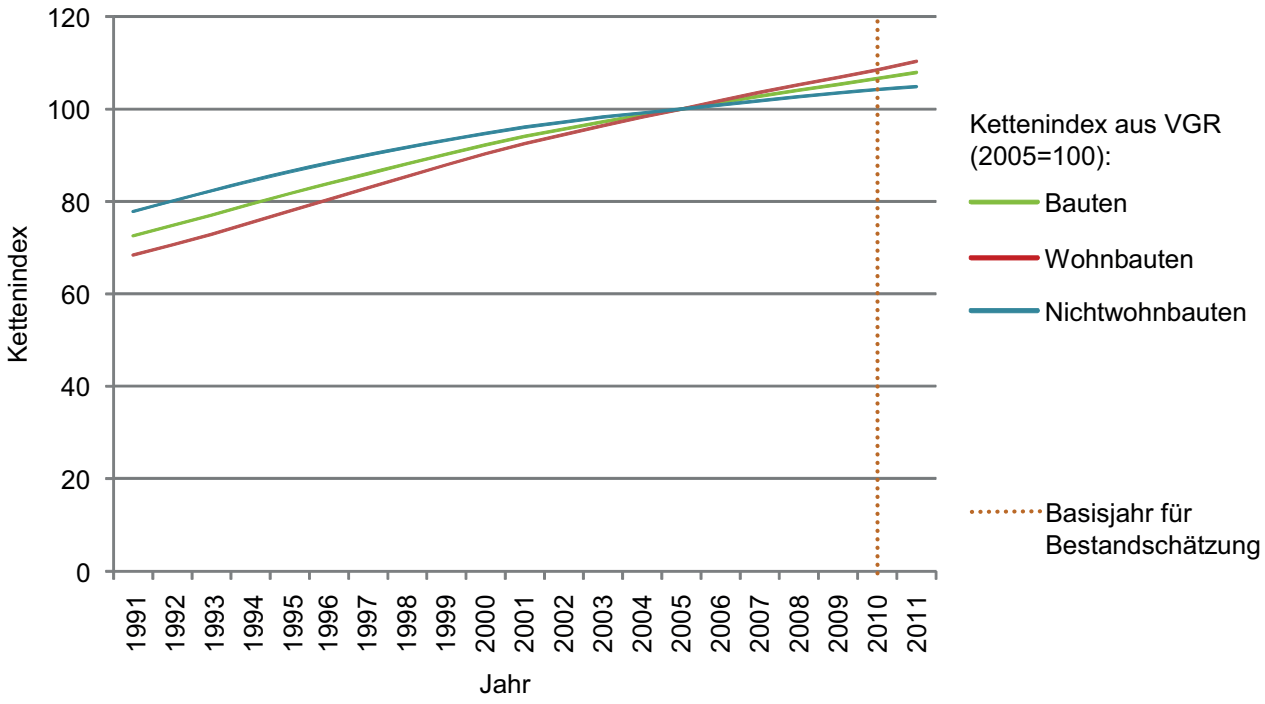
Quelle: eigene Darstellung

Derselbe Effekt zeigt sich bei Betrachtung der Kettenindizes der VGR, welche die Preisentwicklung widerspiegeln (Abbildung 49). Es fällt auf, dass Wohnbauten und Nichtwohnbauten eine unterschiedliche Preisentwicklung[62] aufweisen. Um diese auszugleichen, war eine Korrektur der mithilfe der Kettenindexreihen erforderlich (Abbildung 43, gelber Ast). Um eine Korrelation zwischen der umsatz- und lebensdauerbasierten Anteilsschätzung und den Daten der VGR herzustellen, muss die unterschiedliche Preisentwicklung der VGR-Daten mithilfe der separaten Kettenindizes für die Wohnbauten und die Nichtwohnbauten berücksichtigt werden. Die in Abbildung 48 dargestellten Schätzwerte sind auf der Basis des monetären Gesamtbestands an Bauten aus der VGR berechnet worden, d. h. die berechneten Daten sind an den Indexverlauf der Bauten insgesamt gekoppelt. Um den Bezug der Schätzwerte für die einzelnen Bauarten auf die Indizes der jeweiligen Bauarten (Wohnbauten/Nichtwohnbauten) herzustellen, werden die Indexreihen (siehe Abbildung 49) ins Verhältnis gesetzt und damit eine Korrektur der berechneten Schätzwerte vorgenommen. Die nochmalige Plausibilitätskontrolle (Abbildung 50) zeigt nun im Vergleich zur Abbildung 46 eine sehr gute Übereinstimmung. Der Ansatz kann somit als sichere Basis für die Bestandsschätzung der Nichtwohngebäude dienen.

Für diese Daten konnte anschließend mittels der zuvor ermittelten baugewerblichen Umsatzdaten eine Aufspaltung des monetären Gesamtvolumens der Nichtwohnbauten der VGR in Nichtwohngebäude und Tiefbau vorgenommen werden (Abbildung 43, Mitte).

[62] Die Kettenindizes für die Wohnbauten und Nichtwohnbauten haben jeweils einen von den Bauten insgesamt abweichenden Verlauf. Die Kurven schneiden sich im zu 100 % gesetzten Bezugsjahr.

Abbildung 49: Kettenindizes der Bauten aus der VGR mit Bezugsjahr 2005 = 100



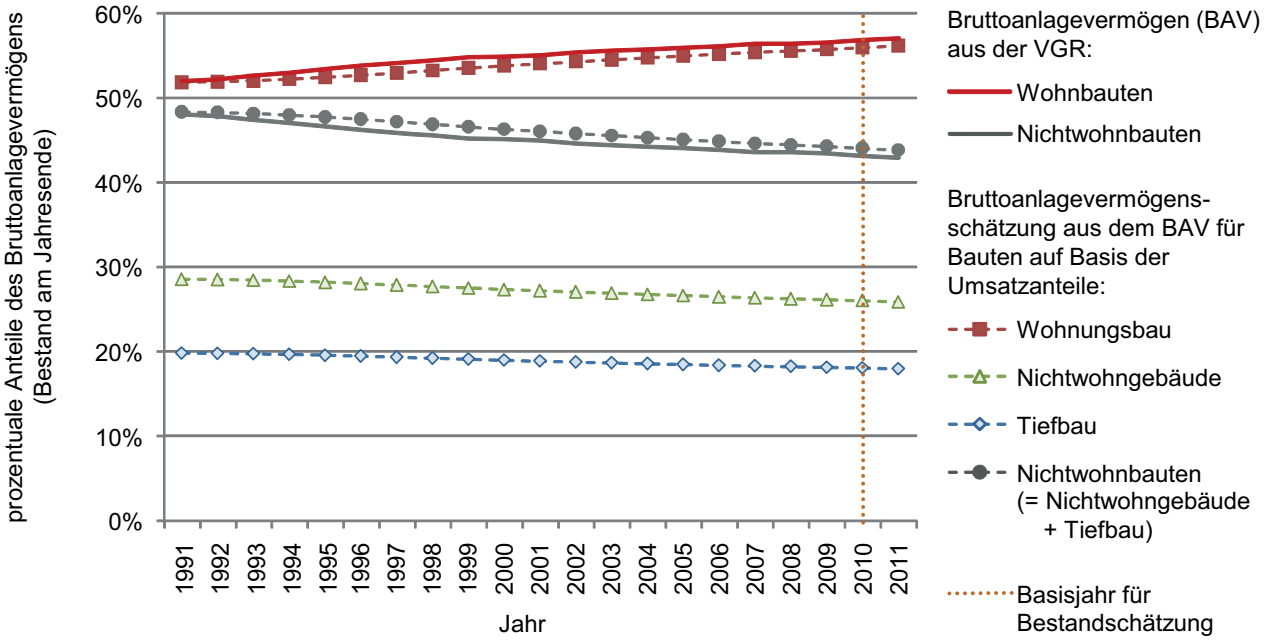
Quelle: eigene Darstellung

Die Anteile der einzelnen Bauweisen am Bruttoanlagevermögen der VGR sind über die Zeitreihe veränderlich. Für die Bestandsschätzung im Rahmen des Projekts wurde als Basisjahr 2010 festgelegt. Der prozentuale Anteil am monetären Gesamtvolumen des Bruttoanlagevermögens der Bauten aus der VGR beläuft sich für das Basisjahr 2010 auf 18 % Tiefbau, 56 % Wohngebäude auf und 26 % Nichtwohngebäude. Betrachtet man nur das Verhältnis zwischen Nichtwohngebäuden und Tiefbau, d. h. deren Anteil am Bruttoanlagevermögen der Nichtwohnbauten, so ist dieses über die gesamte untersuchte Zeitreihe von 1991 - 2011 nahezu konstant (Abbildung 51). Somit kann von einem gleichbleibenden Anteil der Nichtwohngebäude (59 %) und des Tiefbaus (mit 41 %) am Bruttoanlagevermögen der Nichtwohnbauten ausgegangen werden.

Als vergleichende Plausibilitätskontrolle werden Angaben aus Gruhler/Böhm 2011a herangezogen. Dort wurde der Weg über die Ermittlung der Bruttoanlagevermögensanteile des staatlichen Tiefbaus an den Bauten des Staates sowie eine Schätzung des Tiefbauanteils der verbleibenden nichtstaatlichen (gewerblichen) Nichtwohnbauten begangen. Innerhalb der staatlichen Bauten ist das Bruttoanlagevermögen des (staatlichen) Tiefbaus direkt in der VGR ausgewiesen (Destatis 2012a) und wurde für den Vergleich als Zeitreihe aufbereitet (Abbildung 52). Die Zeitreihe zeigt eine geringfügig fallende Tendenz und für das im Projekt festgelegte Basisjahr 2010 einen Tiefbauanteil an den Bauten des Staates von 58 %. Vergleichend dazu wurde von Gruhler/Böhm (2011) ein Anteil von 55 % aus der Veröffentlichung der VGR 2009 (Destatis 2010c) ermittelt.

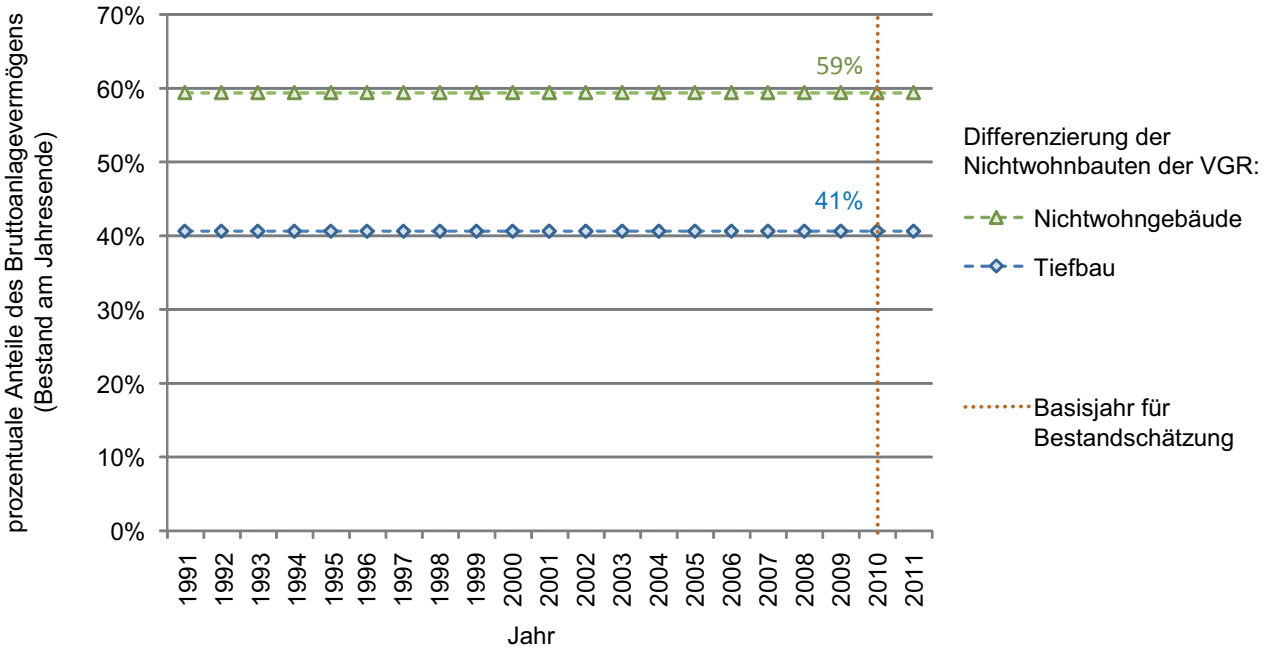
Zwischenzeitlich erfolgte die große Revision der Anlagevermögensrechnung (Schmalwasser/Weber 2012) mit rückwirkender Neuberechnung der Daten in der VGR. Die geringfügige Diskrepanz von ca. 3 % kann vermutlich auf diese Korrekturen in der VGR zurückgeführt werden.

Abbildung 50: Entwicklung der Anteile der Bauweisen am Gesamtvolumen anhand der Verteilung der rechnerischen jährlichen Umsätze mit Berücksichtigung der Nutzungsdauern und der Kettenindizes aus der VGR



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 51: Anteile des Tiefbaus und der Nichtwohngebäude an den Nichtwohnbauten



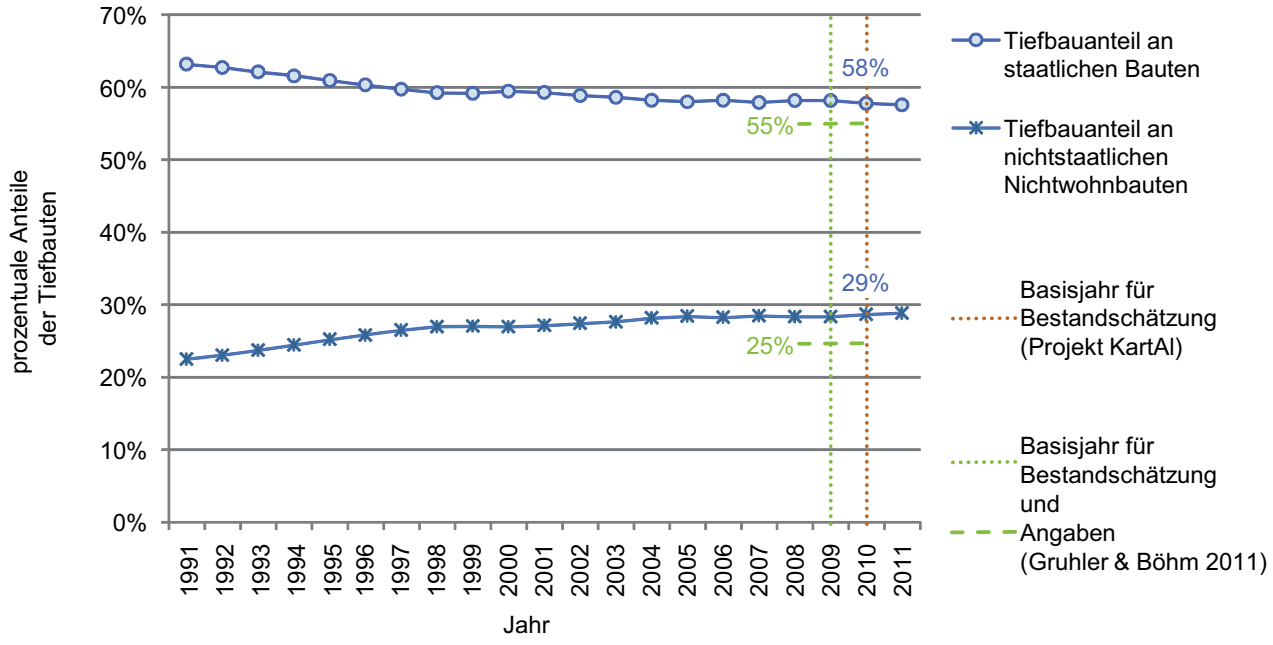
Quelle: eigene Darstellung

Weiterhin wurde im Rahmen des Projektes eine Zeitreihe für das Bruttoanlagevermögen der Tiefbauten auf Basis des in Abbildung 51 ermittelten prozentualen Anteils des Tiefbaus an den Nichtwohnbauten der VGR berechnet. Unter Abzug des Bruttoanlagevermögens der staatlichen Tiefbauten wur-

de daraus der Anteil an den nichtstaatlichen Bauten als Zeitreihe ermittelt (Abbildung 52). Diese Zeitreihe zeigt eine leicht steigende Tendenz am Beginn und nahezu konstante Werte von ca. 29 % in den letzten Jahren. Dieser Wert liegt über dem in Gruhler/Böhm (2011) angegebenen Schätzwert von 25 %, aber annähernd in derselben Größenordnung. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die in Abbildung 50 angegebenen Anteile ein belastbares Zahlenmaterial als Grundlage für die Bestandsschätzung darstellen.

Gruhler/Böhm (2011) legten ihrer Hochrechnung des Nichtwohngebäudebestandes insgesamt letztendlich als vorsichtige Schätzung einen Tiefbauanteil von 20 % zugrunde. Diese Annahme wird unter Berücksichtigung der o. g. Ergebnisse (vgl. Abbildung 52) als zu gering eingeschätzt und deshalb hier nicht weiter verwendet.

Abbildung 52: Tiefbauanteile an den staatlichen Bauten und nichtstaatlichen Nichtwohnbauten



Quelle: eigene Darstellung

Für die Schätzung des Bestandes für das Basisjahr 2010 ist eine Umrechnung der auf Basis der VGR ermittelten monetären Größen (Bruttoanlagevermögen als Wiederbeschaffungswert) in nichtmonetäre Größen erforderlich. Dies kann mithilfe der Relationen zwischen der Gebäudeanzahl, der Nutz- bzw. Wohnfläche (NF bzw. WF) oder des Bruttorauminhalts (BRI) und der zugehörigen veranschlagten Neubaukosten aus der Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2011) erfolgen (Tabelle 18).

Tabelle 18: Spezifische Neubaukosten auf Basis der Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2011) für das Basisjahr 2010

Bezugsgröße	Einheit	Wohngebäude	Nichtwohngebäude
Kosten je Gebäude	1.000 € / Gebäude	251,67	705,47
Kosten pro Rauminhalt	€ / m³	241,14	110,59
Kosten pro Nutzfläche[63]	€ / m²	1.044,30	747,43
Kosten pro Wohnfläche[64]	€ / m²	1.313,11	–

Quelle: eigene Darstellung

Im Bruttoanlagevermögen der VGR sind neben Neubauten jedoch auch alle wertsteigernden Sanierungsmaßnahmen enthalten. Um die auf Basis der Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2011) ermittelten Neubaukostenrelationen für die Bestandsschätzung auf die VGR-Daten für die Nichtwohngebäude anwenden zu können, musste zunächst noch der Sanierungsanteil aus dem Bruttoanlagevermögen herausgerechnet werden. Das Destatis selbst liefert, wie eine Rücksprache ergab, zu den Anteilen Neubau und Sanierung des Bruttoanlagevermögens keine Daten. Entsprechend der Vorgehensweise bei der Bauvolumensrechnung des DIW Berlin[65] (Gornig et al. 2012) erfolgte das Aussplitten des Neubauanteiles anhand der Verhältnisse zwischen Neubau und Sanierung unter direkter Nutzung der Daten aus der Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2011).

Schlussendlich erfolgte die Bestandsschätzung (Abbildung 43, grau) für die Nichtwohngebäude (und als Plausibilitätskontrolle in gleicher Weise auch für die Wohnbauten) aus dem verbliebenen monetären Gesamtvolumen der neu errichteten Nichtwohngebäude (sowie Wohnbauten) anhand der Neubaukostenrelationen aus der Bautätigkeitsstatistik.

6.1.3.1.1.5 Materialzusammensetzung Baukonstruktionen

Die Materialzusammensetzung der Baukonstruktionen der Nichtwohngebäude wird mittels bauteil- und gebäudeartbezogenen Materialkenngrößen – ausdifferenziert nach typischen Bauteilgruppen (tragend, nichttragend, Ausbau) sowie einzelnen Materialgruppen (Sand/Kies, Beton, Stahl, Holz etc.) – anhand der Bestandsschätzung hochgerechnet (Abbildung 53).

Für die Eingangsgrößen zu Material und Geometrie wurden für verschiedene Nichtwohngebäudearten die folgenden Quellen verwendet:

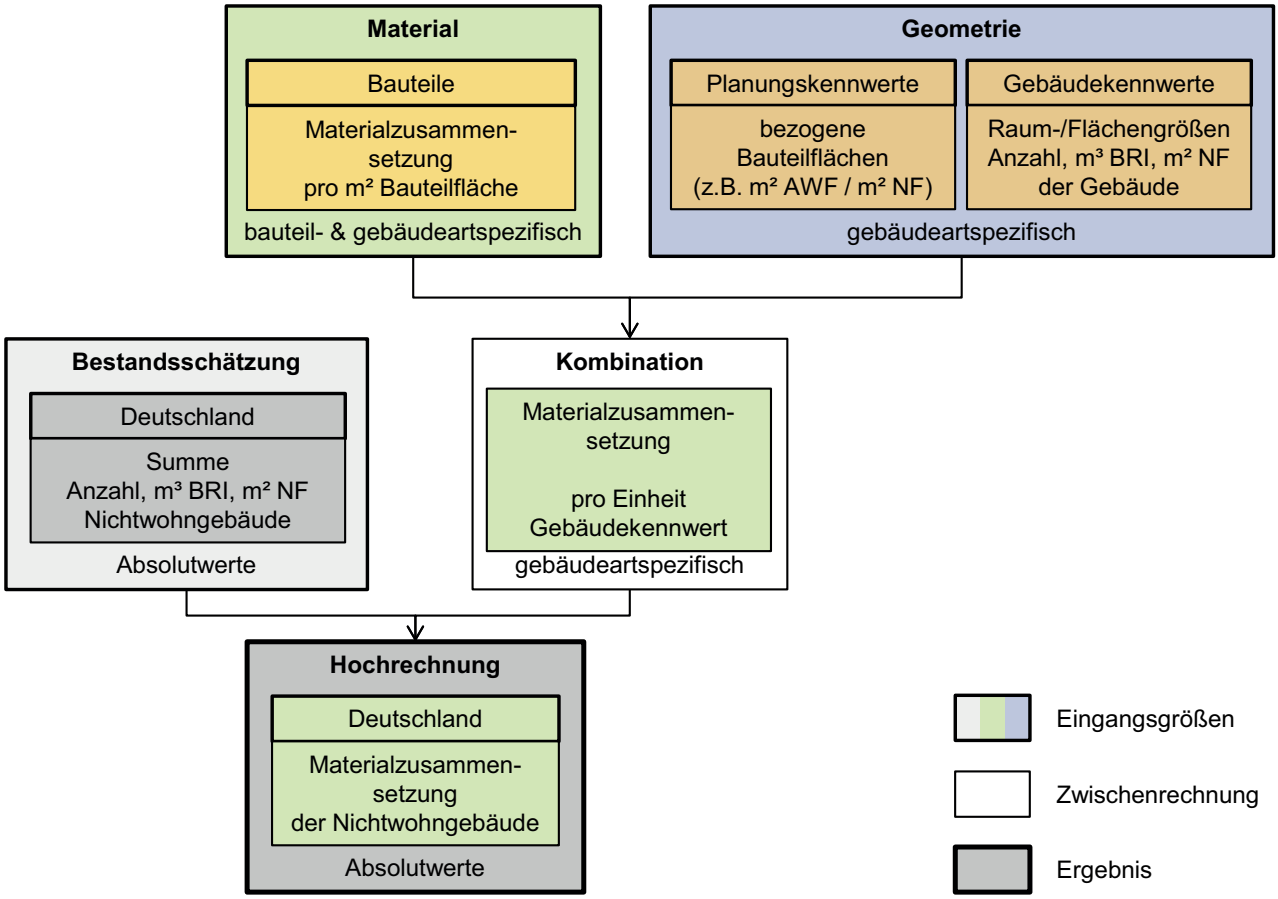
- *Material/Planungskennwerte:*
  ausgewertete BKI-Bauteildaten aus dem IÖR-Projekt P393 „Nichtwohnbaustrukturen“ (basierend auf BKI-Objektdatenbank (BKI 2012)) und
- *Gebäudekennwerte:*
  Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2011)

[63] Bei Wohngebäuden: Nutzfläche einschließlich Wohnfläche[64]

[64] Wohnfläche in Wohnungen

[65] Die Bauvolumensrechnung (Gornig et al. 2012) liefert zwar Verhältnisse zwischen Neubau und Sanierung, jedoch wurden dort weitere Faktoren wie Planungskosten in die Berechnung einbezogen, welche nicht Bestandteil des Bruttoanlagevermögens der VGR sind. Aus diesem Grund sind die dortigen Angaben für die hier durchzuführende Berechnung nicht unmittelbar verwendbar. Die in der Bauvolumensrechnung angegebenen Verhältnisse basieren jedoch auf der Bautätigkeitsstatistik. Die Methodik, d. h. die Vorgehensweise zur Ermittlung der Neubauanteile unter Verwendung der Bautätigkeitsstatistik, kann jedoch für die folgenden Berechnungen übernommen werden.

Abbildung 53: Methodik zur Ermittlung des Materialbestands der Nichtwohngebäude in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung

Ähnlich der Methodik 2 bei den Wohngebäuden nehmen die Hochrechnungen für die Nichtwohngebäude Bezug auf die Typologie[66] der amtlichen Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2011), um die Verknüpfbarkeit zwischen Materialkennziffern und Mengengerüst zu gewährleisten. Die Gebäudetypen sind synthetische Gebäude, welche eine bestimmte Gebäudeart einschließlich ihrer Flächen und Volumen sowie die darin vorherrschenden Bauweisen, Baukonstruktionen, Bauelemente und verwendeten Baustoffe widerspiegeln. Anhand der Gebäudeart werden geeignete Gebäuderepräsentanten ausgewählt und eingeschätzt, zu welchen Anteilen diese bei der Bildung des synthetischen Gebäudetyps zu berücksichtigen sind. Nach Festlegung der beschriebenen Schätzanteile werden die Daten der berücksichtigten Gebäuderepräsentanten zur Bildung des synthetischen Gebäudetyps herangezogen.

Im Unterschied zu Wohngebäuden ist die vorhandene Datenbasis auf Grundlage der BKI-Objektdatenbank (BKI 2012) nicht umfangreich genug, um auch baualtersklassenspezifische Typen abbilden zu können. Aus diesem Grund werden generische Typen für die gesamte Bauepoche (ab ca. 1975) gebildet, welche dafür eine hinreichende statistische Repräsentativität hinsichtlich der Materialzusammensetzung und der Gebäudegeometrien aufweisen.

[66] Anstaltsgebäude (AG), Büro- und Verwaltungsgebäude (BV), landwirtschaftliche Betriebsgebäude (LB), Fabrik- und Werkstattgebäude (FW), Handels- und Lagergebäude (HL), Hotels und Gaststätten (HG) sowie sonstige Nichtwohngebäude (SNW)

6.1.3.1.1.6 Materialflüsse

Bei der Ermittlung von Input- und Outputflüssen wurden neben der Neubautätigkeit (Input) und dem Abriss ganzer Gebäude (Output) auch In- und Outputströme infolge von Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt. Wie auch bei den Wohngebäuden bildet der Gebäudebestand in Deutschland im Basisjahr 2010 den Ausgangspunkt für die Schätzung des Sanierungs-In- und -Outputs. Auch hier mussten Festlegungen getroffen werden, welcher Anteil des Bestandes jährlich saniert wird. Da verlässliche Schätzungen hierzu nur für den Wohngebäudebereich vorliegen, wurde diese Sanierungsrate als erste Annahme auf den Nichtwohngebäudebereich übertragen. Möglicherweise ist die Sanierungsrate bei Nichtwohngebäuden in der Realität typspezifisch niedriger als hier angenommen. Der angegeben Prozentsatz sollte deshalb als obere Schranke für die Baustoffflüsse interpretiert werden.

Weitere geeignete Annahmen müssen für die bei der Sanierung aus dem Gebäude entfernten und im Anschluss wieder eingebrachten Materialmengen getroffen werden. Die für die Wohngebäude ermittelten Sanierungsanteile werden auf die wohngebäudeähnlichen Nichtwohngebäude-Arten[67] übertragen. Für die übrigen Nichtwohngebäudearten[68] werden diese Anteile reduziert, da das Konstruktionsvolumen bei diesen Gebäudearten in der Regel geringer ist als bei Wohngebäuden (Gruhler/Böhm 2011b). Damit ist auch mit geringeren Material-In- und -Outputs bei der Sanierung zu rechnen. Folgende Annahmen[69] wurden zugrunde gelegt:

- *Sanierungsrate:*
  grundhafte Sanierung alle 30 Jahre, dies entspricht einer jährlichen Sanierungsrate von ca. 3 % des Nichtwohngebäudebestandes
- *Sanierungsanteil:*
  - wohnähnliche Nichtwohngebäude (Anstaltsgebäude, Büro- u. Verwaltungsgebäude, Hotels und Gaststätten): Materialanteil Input 5,5 % und Output 5 %
  - landwirtschaftliche Betriebsgebäude, Fabrik- und Werkstattgebäude sowie Handels- und Lagergebäude: Materialanteil Input 3 % und Output 2,5 %

In die Ermittlung der Materialflüsse wurden zusätzlich die Bodenbeläge (einschließlich Verschnitt) mit einbezogen[70].

[67] Anstaltsgebäude, Büro- und Verwaltungsgebäude, Hotels und Gaststätten

[68] landwirtschaftliche Betriebsgebäude, Fabrik- und Werkstattgebäude, Handels- und Lagergebäude

[69] Die Ansätze wurden einer internen Expertenrunde eruiert.

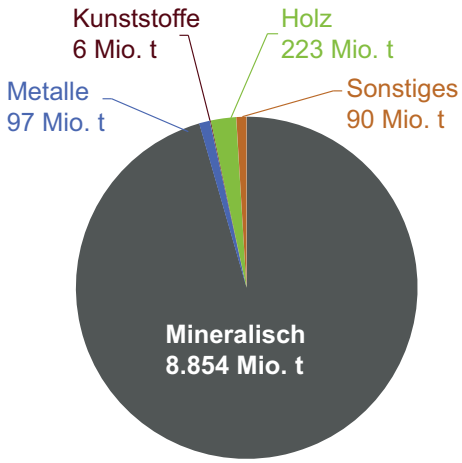
[70] Für Bodenbeläge sind keine Bestandsdaten vorhanden.

6.1.3.2 Materiallager

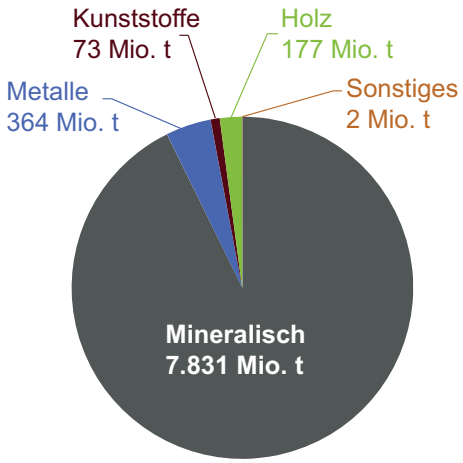
Wohngebäude

Basierend auf den beiden methodischen Ansätzen wurde jeweils das Materiallager Deutschlands für den Wohngebäudebestand berechnet (Abbildung 54). Die daraus resultierenden Ergebnisse liegen absolut bei 9.269 Mio. t (Methodik 1) und 8.447 Mio. t (Methodik 2) und weichen insgesamt leicht voneinander ab. Bei beiden zeigt sich jedoch eine eindeutige Dominanz der mineralischen Baustoffe mit 8.854 Mio. t bzw. 96 % (Methodik 1) und 7.831 Mio. t bzw. 93 % (Methodik 2). Eine weitere Ausdifferenzierung der mineralischen Baustoffe ist nur auf Basis der Methodik 2 möglich (Abbildung 54c). Den mit Abstand größten Anteil darin hat Beton.

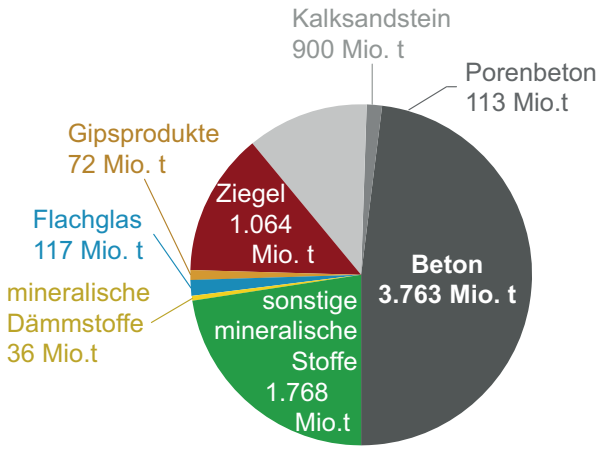
Abbildung 54: Baustoffverteilung im Wohngebäudebestand [Mio. t]



a) Gesamtbestand der wesentlichen Baustoffgruppen nach Methodik 1



b) Gesamtbestand der wesentlichen Baustoffgruppen nach Methodik 2



c) Anteile der mineralischen (Massen-)Baustoffe nach Methodik 2

Quelle: eigene Darstellung

Deutliche Abweichungen zwischen beiden Methoden zeigen sich bei den Kunststoffen und bei den Metallen. Während sich die Differenz bei den Kunststoffen im Wesentlichen in der gegenläufigen Differenz der Kategorie „Sonstiges“ wiederfindet, lässt sich die Differenz bei den Metallen mit Unterschieden bei den getroffenen Annahmen der beiden Methoden begründen (siehe Abschnitt 6.1.3.4).

Nichtwohngebäude

6.1.3.2.1.1 Schätzung des Bestandes

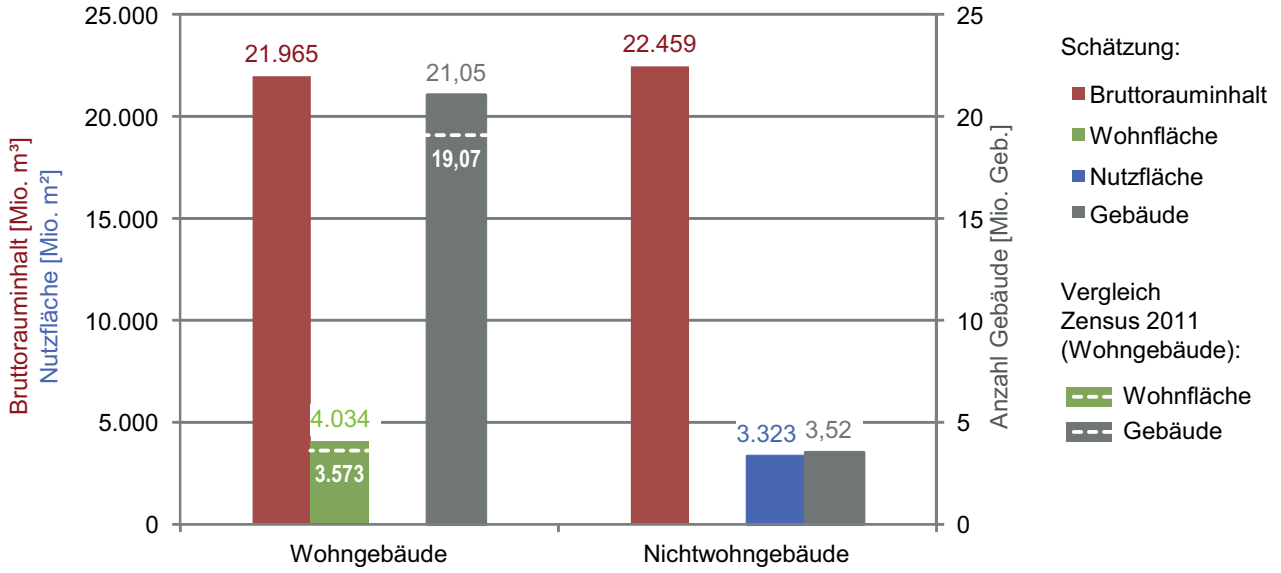
Der in der VGR berichtete Gesamtbestand an Bauten belief sich im Basisjahr 2010 auf einem Wiederbeschaffungswert von 11.366,72 Mrd. Euro (Destatis 2012b). Dieser teilt sich auf in Wohnbauten mit 6.464,27 Mrd. Euro und Nichtwohnbauten mit 4.902,45 Mrd. Euro.

Die Differenzierung des monetären Gesamtvolumens der Nichtwohnbauten in der VGR nach dem Umsatz-Ansatz einschließlich des Nutzungsdaueransatzes ergab einen (monetären) Anteil der Tiefbauten von 41 % bzw. 59 % für die Nichtwohngebäude (vgl. Abschnitt 6.1.3.1, Abbildung 51).

Unter Ansatz dieses Verhältnisses ergibt sich ein Bruttoanlagevermögen für die Nichtwohngebäude von insgesamt 2.894,49 Mrd. Euro. Abzüglich des Sanierungsanteils verbleiben als Bruttoanlagevermögen der neu errichteten Nichtwohngebäude 2.483,82 Mrd. Euro bzw. als Vergleichswert 2.483,82 Mrd. Euro für die neu errichteten Wohngebäude.

Anhand der Neubaudaten des Basisjahres 2010 aus der Bautätigkeitsstatistik (vgl. Abschnitt 6.1.3.1, Tabelle 18) ergeben sich die Schätzwerte für den Bestand der Nichtwohngebäude – unterschieden nach Mio. m³ Bruttorauminhalt (BRI), Mio. m² Nutzfläche (NF) und Mio. Gebäuden (Abbildung 55). Als Plausibilitätskontrolle wurden mit derselben Methode gleichzeitig Schätzwerte für Wohngebäude berechnet, welche anhand der aktuellen Zensusdaten (Destatis 2013c) validiert werden können.

Abbildung 55: Ergebnis der Bestandsschätzung der Nichtwohngebäude in Deutschland mit Abgleich der aktuellen Zensusdaten zu Wohngebäuden



Quelle: eigene Darstellung

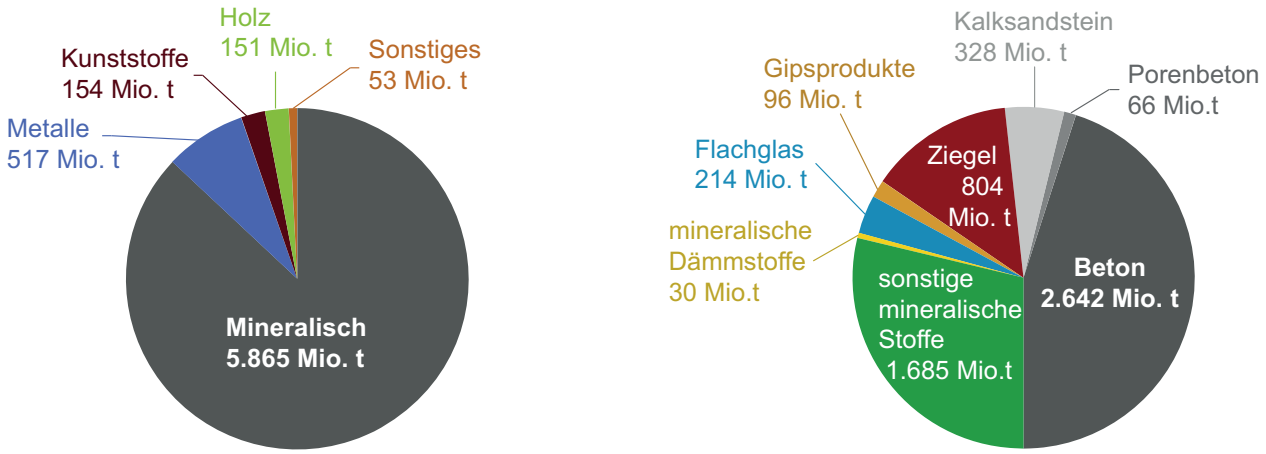
Der größte Anteil an den Nichtwohngebäuden entfällt auf landwirtschaftliche Betriebsgebäude, Fabrik- und Werkstattgebäude sowie Handels- und Lagergebäude, welche zu einem Großteil hallenartige Bauwerke darstellen.

6.1.3.2.1.2 Materialzusammensetzung Baukonstruktionen

Die Analyse der Baustoffzusammensetzung der Nichtwohngebäude ergibt eine deutliche Dominanz der mineralischen Baustoffe gegenüber organischen und metallischen Baustoffen (Abbildung 56), wobei Beton mit Abstand den größten Anteil ausmacht. Bei den metallischen Baustoffen dominiert

der Baustahl in Form von Konstruktions- und Bewehrungsstahl. Der Großteil entfällt mit ca. 2,6 Mrd. t auf den Beton. Hauptgrund hierfür ist die ausschließliche Verwendung von Beton in allen Gründungsbauteilen. Insbesondere in den mengenmäßig dominanten hallenartigen Gebäuden (Landwirtschaft, Industrie, Handel) besitzt die Gründungsfläche einen sehr großen Anteil an den gesamten Bauteilflächen.

Abbildung 56: Baustoffverteilung im Nichtwohngebäudebestand



a) Gesamtbestand der wesentlichen Baustoffgruppen b) Anteile der mineralischen (Massen-)Baustoffe
Quelle: eigene Darstellung der Ergebnisse unter Nutzung von Daten aus dem IÖR-Projekt P393 „Nichtwohnbaustrukturen“

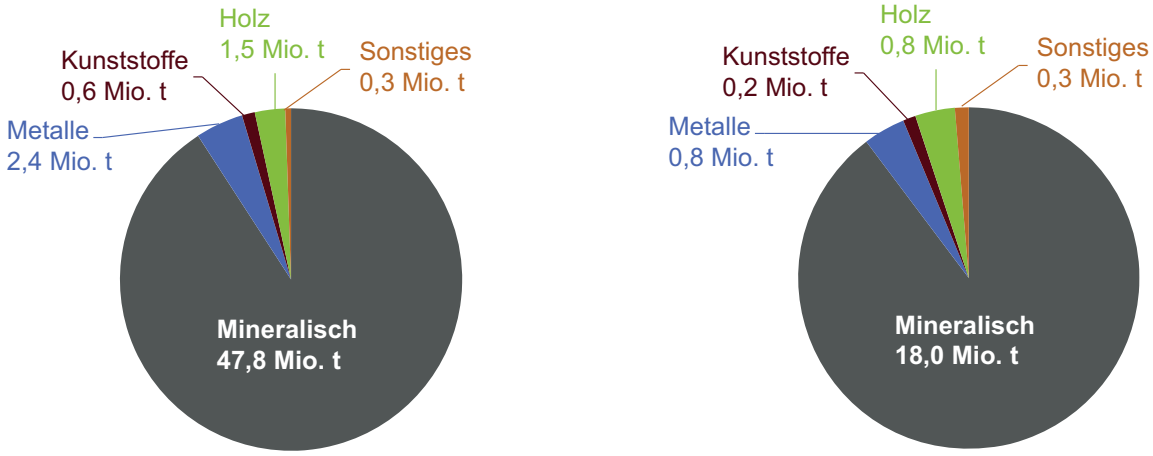
6.1.3.3 Materialflüsse

Wohngebäude

Zur Beurteilung der Bestandsveränderungen wurden für das Basisjahr 2010 Stoffflüsse für die wesentlichen Baustoffgruppen ermittelt. Abbildung 57 zeigt die Ergebnisse auf Grundlage der Berechnungsmethodik 2 (aus Gruhler/Böhm 2011a). Die Materialmengen für den Input enthalten neben der Neubautätigkeit auch Anteile aus der Sanierung. Beim Output wurden ebenfalls neben dem Abriss ganzer Gebäude Anteile aus der Sanierung berücksichtigt. Im Unterschied zu den Beständen enthalten die Baustoffflüsse auch Bodenbeläge.

Die Materialverteilung unterscheidet sich qualitativ kaum zwischen Input und Output. Jedoch liegt der Input mit etwa der zweieinhalbfachen Masse quantitativ deutlich über dem Output. Es stellt sich die Frage, ob diese Differenz von 32,5 Mio. t als jährlicher Zuwachs des Anthropogenen Materiallagers gedeutet werden kann. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die in der Bautätigkeitsstatistik erfassten Abgänge nur einen Teil der tatsächlichen Abgänge darstellen und somit im Rahmen der statistischen Auswertung eine Untererfassung von Abgängen vorliegt. Der auf Basis der Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2011) berechnete Materialoutput kann also lediglich als untere Schranke gewertet werden (siehe auch Abschnitt 6.1.3.4).

Abbildung 57: Baustoffflüsse für Wohngebäude nach Methodik 2 für das Basisjahr 2010 [Mio. t]

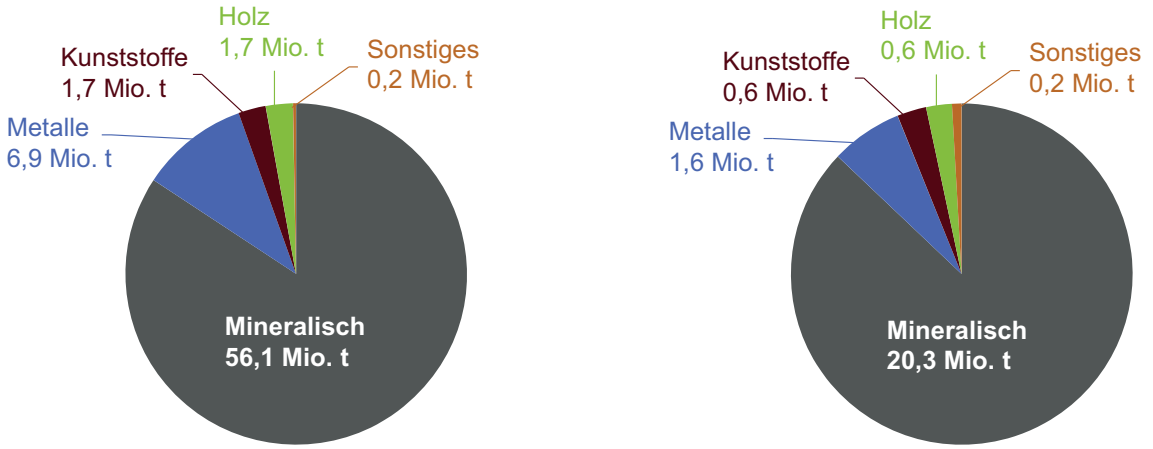


a) Input (Neubau und Sanierung) b) Output (Abriss und Sanierung)
Quelle: eigene Darstellung

Nichtwohngebäude

Zur Beurteilung der Bestandsveränderungen wurden für das Basisjahr 2010 Stoffflüsse zum In- und Output für die wesentlichen Baustoffgruppen ermittelt. (Abbildung 58). Die Materialmengen für den Input enthalten neben der Neubautätigkeit auch Anteile aus der Sanierung. Beim Output wurden ebenfalls neben dem Abriss ganzer Gebäude Anteile aus der Sanierung berücksichtigt. Auch hier enthalten die Baustoffflüsse Bodenbeläge.

Abbildung 58: Baustoffflüsse für Nichtwohngebäude für das Basisjahr 2010 [Mio. t]



a) Input (Neubau und Sanierung) b) Output (Abriss und Sanierung)
Quelle: eigene Darstellung der Ergebnisse unter Nutzung von Daten aus dem IÖR-Projekt P393 „Nichtwohnbau-strukturen“

Die Materialverteilung des Inputs und Outputs unterscheidet sich qualitativ nur gering. Lediglich beim Metallanteil liegt der Input – prozentual betrachtet – deutlich über dem Output. Quantitativ betrachtet ist auch bei den Nichtwohngebäuden der Input größer als der Output. Mit fast Faktor 3 ist der Unterschied etwas größer als bei den Wohngebäuden. Auch hier stellt sich die Frage, ob diese Differenz von 43,3 Mio. t als jährlicher Zuwachs des Anthropogenen Materiallagers gedeutet werden

kann. Hinsichtlich einer möglichen statistischen Untererfassung der Abgänge (vgl. Abschnitt 6.1.3.4) bestehen hier dieselben Bedenken wie bereits bei den Wohngebäuden ausgeführt.

6.1.3.4 Kritische Punkte und Umgang damit

Wohngebäude

Das Ergebnis auf Basis der Methodik 2 liegt mit rund einer Mrd. t bzw. rund 11 % unter dem Ergebnis der Methodik 1. Beide Methoden nutzen gebäudetypologische Baustoffkennwerte zur Hochrechnung des Materiallagers im Wohngebäudebestand. Die in der Methodik 2 nach Gruhler et al. (2011) verwendeten typspezifischen Baustoffzusammensetzungen basieren auf einer Auswertung real existierender Wohngebäuderepräsentanten, wobei nur die Materialien berücksichtigt sind, welche konkret in der verwendeten Gebäudedatenbank verzeichnet sind. Es ist somit davon auszugehen, dass es sich bei dem Ergebnis der Methodik 2 um die untere Grenze des Materiallagers im Bestand der Wohngebäude handelt.

Neben dem Unterschied der Gesamtmasse ist die Verteilung der Materialien von besonderem Interesse. Hier zeigen sich z. B. bei den metallischen Materialien markante Unterschiede. Diese liegen bei Methodik 1 mit ca. 1 % deutlich unter den nach Methodik 2 mit ca. 4 % angegebenen Anteilen. Ein Grund hierfür liegt im Ansatz für den Bewehrungsstahl in den Stahlbetonbauteilen. In den der Methodik 1 zugrunde liegenden Bauelementgruppen wurden die Anteile des Bewehrungsstahls aus Ingenieurssicht zu gering abgeschätzt, in Methodik 2 dagegen eher zu hoch. Methodik 2 beinhaltet bereits eine grobe Differenzierung der Bewehrungsstahlanteile in zwei Hauptgruppen. Aus statischer Sicht müssen die angenommenen Bewehrungsstahlanteile entsprechend der Belastung der Bauteilarten jedoch weiter differenziert werden. Nach einfachen statischen Vergleichsberechnungen liegt der anzunehmende Stahlanteil zwischen den beiden Werten aus Methodik 1 und 2.

Mit den in der Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2011) gemeldeten Abgängen werden die tatsächlichen Abgänge im Gebäudebereich nicht vollständig erfasst. Dies zeigt sich durch Vergleich der absolut ermittelbaren Zahlenwerte zwischen zwei Gebäude- und Wohnungszählungen (GWZ) mit den Zahlenwerten der Fortschreibung aus der Bautätigkeitsstatistik, wonach in Deutschland zwischen den GWZ 1987 und 2011 ca. 50.000 Wohnungsabgänge statistisch nicht erfasst worden sind (Effenberger 2014). Die statistische Untererfassung in der Fortschreibung wirkt sich reduzierend auf die berechneten Output-Materialströme aus (siehe auch Deilmann et al. im Erscheinen). Es ist davon auszugehen, dass der Material-Output tatsächlich größer ist, als auf Grundlage der Bautätigkeitsstatistik (Destatis 2011) jährlich berechnet werden kann.

Keine Berücksichtigung finden bisher Kleinstgebäude, die ebenfalls mit dem Wohnen in Zusammenhang stehen, wie z. B. Garagen oder Schuppen. Da solche Gebäude nicht direkt dem Wohnzweck dienen, werden sie unter dem Begriff der Nichtwohngebäude geführt.

Nichtwohngebäude

Bei der Auswertung der BKI-Daten wurde bei den Raum- und Flächenkenngrößen eine Abweichung gegenüber den statistisch ausgewiesenen Mittelwerten bis zum Faktor 2 festgestellt. D. h., die in der BKI-Objektdatenbank verzeichneten Objekte liegen von der Größe her deutlich über dem Durchschnitt der Statistik. Deshalb wurden aus der BKI-Datenbank nur die Materialzusammensetzungen verwendet – die Hochrechnung erfolgte dann jedoch anhand der geometrischen Kenngrößen der Statistik. Die Vorgehensweise erscheint plausibel.

Beim anlagevermögenbasierten Schätzverfahren waren Einflüsse aus der Nutzungsdauer und Preisentwicklung ebenso zu berücksichtigen wie der Anteil der Sanierung. Das anlagevermögenbasierte Schätzverfahren liefert bei der Plausibilitätskontrolle anhand der Wohngebäude eine Überschätzung des Bestands um 10 % auf Basis der Gebäudeanzahl und um 13 % auf Basis der Nutzfläche im Vergleich zum Zensus 2011 (Destatis 2013c). Die Vorgehensweise wird damit als robust und plausibel eingeschätzt.

Bei der Ermittlung der Materialzusammensetzung ergibt sich die Problematik der unterschiedlichen Typologie zwischen der BKI-Objektdatenbank und der amtlichen Statistik. Hier wurde zwar eine Umschlüsselung vorgenommen, jedoch ist die Verteilung der einzelnen BKI-Typen, welche einer Gebäudetypgruppe der Statistik zuzuordnen sind, nicht bekannt. Hier mussten Schätzungen vorgenommen werden, welche zu Unsicherheiten führen. Es wird ein geschichtetes Vorgehen verfolgt, indem den Gebäudetypgruppe der Statistik, welche besonders mengenrelevant sind, größeres Augenmerk geschenkt wird.

Die Objekte in der BKI-Datenbank enthalten keine Mengenangaben zum Bewehrungsstahlgehalt in den Stahlbetonbauteilen. Hier mussten eigene Annahmen getroffen werden. Vereinfachend wurde eine grobe Differenzierung nach der Belastung in zwei Hauptgruppen vorgenommen. Aufgrund der höheren statischen Beanspruchung wurde für Decken ein Bewehrungsstahlanteil von 4 Vol.-% und für die anderen Stahlbetonbauteile von 3 Vol.-% zugrunde gelegt. Dieser Ansatz ist als obere Schranke zu betrachten. Es wird jedoch bei den Nichtwohngebäuden nur ein geringer Einfluss auf die Gesamtstahlmenge erwartet, da hier – im Gegensatz zum Wohnungsbau – der Konstruktionsstahl (Stahlbauprofile) einen wesentlichen Anteil ausmacht.

Baugrubenaushub und -verfüllung wurden bei der Analyse der Nichtwohngebäude nicht mit betrachtet, da es sich hierbei nicht um Gebäudebestandteile handelt. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit blieben bei der Auswertung der Materialdaten aus der BKI-Datenbank Dachrinnen und Fallrohre, ein Großteil der Treppenläufe einschließlich Geländer sowie weitere Anbauten wie Balkone oder Schornsteine unberücksichtigt. Im Regelfall wurden Innen- und Außentüren „übermessen“, Außenfenster hingegen als spezielle Wandaufbauten mit berücksichtigt. Aufgrund von Zuordnungsschwierigkeiten zur Gründungsfläche bleiben mit Ausnahme der landwirtschaftlichen Bauten, wo alle verfügbaren Daten einflossen, auch Streifen- und Einzelfundamente in der Berechnung zunächst außen vor. Der Einfluss der nicht einzeln erfassten Bauteile quantitativ wird über einen pauschalen Zuschlag auf die Gesamtmaterialmenge je Gebäudetyp abgeschätzt.

Bezüglich des Outputs ist auch bei den Nichtwohngebäuden ein nicht statistisch erfasster Abgang zu erwarten. Deilmann et al. (im Erscheinen) vermuten, dass die statistische Untererfassung der Abgänge in Nichtwohngebäudebereich geringer ausfällt als im Wohngebäudebereich.

Datenlücken entstehen des Weiteren durch die Nichtberücksichtigung von Kleinstgebäuden (< 350 m^3 BRI), wie Garagen, Schuppen und kleineren Hallen, in der amtlichen Statistik, welche nach ersten Schätzungen nutzflächenbezogen ca. ein Viertel der gesamten Nichtwohngebäude ausmachen können. Hinsichtlich einer genaueren Bestandsanalyse von Nichtwohngebäuden wurden im laufenden BBSR-Projekt „Systematische Datenanalyse im Nichtwohngebäudebereich – Erfassung und

Quantifizierung von Energieeinspar- und CO_2-Minderungs-potenzialen“ (Deilmann et al. 2013) methodische Zugänge erarbeitet. Die dort ermittelten Bestandsdaten beschränken sich jedoch entsprechend des Projektzieles auf beheizte Nichtwohngebäude. Weiterführende Analysen werden derzeit im Rahmen des IÖR-Projektes „Nichtwohnbaustrukturen“ getätigt. Die Problematik der Kleinstgebäude wird bei der Synthese der Ansätze (vgl. Abschnitt 7.1.2.1) nochmals aufgegriffen.

6.1.4 Haustechnik

Die Haustechnik ist Bestandteil des Hochbaus und beinhaltet die technische Ausstattung von Bauwerken aus dem Bereich Wohnen und Nichtwohnen sowie dem Bereich Infrastruktur. Die in den nachfolgenden Abschnitten betrachtete Haustechnik bezieht sich auf die Bauwerke des Hochbaus. Die Bauwerke des Tiefbaus und der Infrastruktur wurden bereits im Abschnitt „technische Infrastruktur“ behandelt. Die Haustechnik umfasst eine Vielzahl technischer Ausrüstungen, die vorrangig der Ver- und Entsorgung und teilweise der Erschließung eines Gebäudes dienen. Dies umfasst die Versorgung mit Trinkwasser, elektrischer Energie, Heizwärme, Frischluft und die Entsorgung von Abwasser, Abfall und Abluft sowie technische Ausstattungsgegenstände in Form von Fahrstühlen und Rolltreppen. All diese Ausrüstungen und Anlagen stellen ein nicht zu unterschätzendes Stofflager dar, über dessen Größe und Zusammensetzung jedoch bisher nur sehr wenig bekannt ist.

Ziel des Teilpaketes Haustechnik ist es daher, die bestehende Datenlage zu Stoff- und Materialkennwerten im Gebäudebestand mit Mengen- und Massen-Schätzungen zum Materiallager sowie durch Stoff- und Materialkennwerte der Hautechnik zu ergänzen. Für Wohngebäude erfolgt die Entwicklung spezifischer Kennwerte u. a. anhand schematischer Entwürfe der haustechnischen Ausstattung typischer Ein- und Mehrfamilienhausvertreter. Die Analysen stützen sich weiterhin auf Recherchen von Verkaufs- und Produktionsstatistiken sowie Abriss- und Demontageanalysen. Ziel sind gebäudegruppenbezogene Materialkennziffern für den technischen Ausbau und deren Hochrechnung auf den Bestand.

6.1.4.1 Untersuchungsgegenstand innerhalb der Haustechnik

Aufgrund der wie zuvor bereits beschriebenen hohen Heterogenität innerhalb der technischen Gebäudeausstattung, der geringen Datenlage zum Bearbeitungszeitpunkt wurde vorab eine Auswahl der zu untersuchenden Bereiche der Haustechnik getroffen. Hierzu wurde zunächst im Rahmen einer Sondierung der Fachliteratur die vorhandene Datenlage erhoben. Im Anschluss daran wurden die mengenmäßige Bedeutung der einzelnen Anwendungsgebiete geschätzt sowie mögliche rechnerische Ansätze diskutiert[71].

Bei der Auswahl wurden vor allem die ver- und entsorgungstechnischen Anlagen für Heizwärme, Trinkwasser und Abwasser sowie Teile der Sanitärausstattung berücksichtigt. Dies wird damit begründet, dass die genannten haustechnischen Anlagen in der Mehrheit der Bauwerke des Hochbaus vertreten sind. Ein weiterer Aspekt sind die derzeit recht umfangreichen Untersuchungen, Normen und Regelwerke zu den energie- und klimatechnischen Anlagen in Gebäuden (EnEV, DIN 18 599, VDI-Regel 6000, DIN 12 831, usw.), die in der Vorsondierung methodische Ansätze zur Berechnung des Materiallagers aufzeigten. Zudem wurde berücksichtigt, dass die genannten Ausstattungsgegenstände/-systeme die Hauptmaterialgruppen Metalle, Kunststoffe und mineralische Stoffe untersetzen. Die sanitärtechnische Ausstattung wurde in die Untersuchung aufgenommen, da es sich hierbei um eine der wenigen vorwiegend mineralischen Elemente in der haustechnischen Ausstattung handelt.

Anhand der zuvor genannten Auswertung wurden die folgenden vier Anwendungsfelder ausgewählt:

[71] Basierend auf der Auswertung und Diskussionsrunden innerhalb des IÖR.

- Heizungsanlagen: Im Rahmen der Untersuchung wird das Materiallager zentraler Heizungsanlagen mit Heizkessel betrachtet. Diese decken derzeit jedoch noch den Großteil der Heizwärme-Versorgung und Trinkwarmwasserversorgung im Wohngebäudebestand ab. Nicht untersucht werden die Warmwasserspeicher und Druckluftausgleichsbehälter der Heizungsanlagen. Ebenso werden keine dezentralen Heizungsanlagen wie Öfen und Elektronachtspeichersysteme beleuchtet.

- Gebäudeversorgungsleitungen: Dies umfasst die Heizungsleitungen, die Versorgungsleitungen für kaltes und warmes Trinkwasser sowie die Abwasserleitungen innerhalb des Gebäudes. Nicht untersucht werden Gas- und Heizölversorgungsleitungen. Dennoch ist davon auszugehen, dass mit den zuvor genannten Versorgungsleitungen (Heiz-, Trink- und Abwasserleitungen) die Mehrheit des Materiallagers innerhalb der Versorgungsleitungen abgedeckt werden kann. Hierzu wurde u. a. auf Diefenbach et al. 2010, Wolff et al. 2012, Wittmer 2006 und die DIN-Norm 18599 zurückgegriffen.

- Radiatoren bzw. Heizkörper: Hier wird das Lager der Radiatoren/Heizkörpern untersucht und ermittelt. Nicht in die Untersuchung einbezogen wurden Flächenheizungssysteme (Fuß-, Wand- und Deckenheizungen).

- Sanitärausstattung: Hier wird das Materiallager in Klosettbecken, Waschbecken/Waschtischen, Bade- und Duschwannen betrachtet. Der Bereich der Sanitärausstattung wurde mit der Begründung ausgewählt, da dieser den größten Anteil der mineralischen Fraktion innerhalb der Haustechnik ausmacht und zudem nahezu in jedem Gebäude vertreten ist. Die Datengrundlage für den Bereich der Sanitärausstattung ist weit geringer als für die zuvor genannten Anwendungsgebiete, dennoch lagen mit den Arbeiten des Verbands Deutscher Ingenieure (VDI), VDI-Norm 6000 und der Erhebung der Vereinigung Deutscher Sanitärwirtschaft e.V. Anhaltspunkte vor, auf denen sich aufbauen ließ.

Tabelle 19 fasst zusammen, welche Bestandteile der Haustechnik innerhalb der Untersuchung bearbeitet und analysiert wurden.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die methodischen Vorgehensweisen zur Bestimmung des Materiallagers sowie der Materialflüsse im Gebäudebestand abgehandelt.

Tabelle 19: Übersicht der bearbeiteten und nicht bearbeiteten Bestandteile der Haustechnik innerhalb der Untersuchung

Bereich	Kategorie	Bestandteil	Beispiele	Bearbeitungsstatus	
				Wohnen	Nichtwohnen
Heizung	Wärmeerzeugung/Speicherung	Zentrale Heizungen	Öl-/Gaszentralheizkessel	☑	☒
		Stockwerksheizungen	Öl-/Gasetagenheizkessel	☑	☒
		Einzelraumöfen	Elektronachtspeicheröfen, Kohleofen	☒	☒
		Fernheizungen	Gebäude-Wärmeübergabestation	☒	☒
		Innovative-/regenerative Systeme	Solarthermie-Panele, Photovoltaik, Brennstoffzellen	☒	☒
		Wärmespeicher		☒	☒
	Weitere Elemente der Heizungsanlage		Umwälzpumpen, Ausdehnungsgefäß, Ventile, usw.	☒	☒
	Verteilung	Heizwasserleitungen		☑	☑
		Versorgungsleitungen	Gas-/Heizölversorgungsleitungen	☒	☒
		Elektroheizleitungen		☒	☒
		Dämmung	Rohrdämmung	☒	☒
		Rohrarmaturen		☒	☒
	Heizflächen	Heizkörper	Radiatoren, Plattenheizkörper, Röhrenradiatoren, Kompaktheizkörper	☑	☒
		Flächenheizungssysteme	Fuß-, Wand- und Deckenheizung	☒	☒
	Weitere Anlagen	Abgasanlagen	Schornsteinanlage/Kamin	☒	☒
		Brennstofflager	Öltanks, Flüssiggasspeicher	☒	☒
Trink- und Abwasser	Verteilung	Warm-/Kalt-Trinkwasserleitungen		☑	☑
		Abwasserleitungen		☑	☑
Lüftung	Wärmetau-			☒	☒

Bereich	Kategorie	Bestandteil	Beispiele	Bearbeitungsstatus	
				Wohnen	Nichtwohnen
und Klimatisierung	scher/ Lüftungsanlage/ Klimaanlage				
	Verteilung			☒	☒
Sanitär	Klosettbecken			☑	☒
	Dusch-/ Badewannen			☑	☒
	Waschbecken/ Waschtische			☑	☒
	Armaturen			☒	☒
Gebäudeerschließung	Technische Anlagen zur Erschließung von Gebäuden		Rolltreppen, Fahrstühle, …	☒	☒

☑ bearbeitet

☒ nicht bearbeitet

Quelle: eigene Zusammenstellung.

6.1.4.2 Methoden und Datengrundlagen zur Bestimmung des Materiallagers

Im Bereich der Haustechnik wurden für die Berechnungen je nach Bereich (Wohnen und Nichtwohnen), Anlagentechnik (Heizung, Rohrleitungen, Heizkörper, Sanitär) und Datenlage unterschiedliche Quellen und Ansätze verwendet. Für den Bereich der Wohngebäude sind der methodische Zugang sowie die Datenlage besser als für Nichtwohngebäude. Dies hatte zur Folge, dass für den Bereich der Nichtwohngebäude die Untersuchungen und Auswertungen des Materiallagers und dessen Dynamik auf die Rohrleitungssysteme (Heizung, Trinkwasser, Abwasser) eingegrenzt wurden. Hochrechnungen für das Materiallager in den Anwendungsfeldern Heizungsanlage, Wärmeübergabe und Sanitär konnten aufgrund der geringen und sehr begrenzten Datenlage, der benötigten Vorarbeiten zum Bestand an Nichtwohngebäuden nicht durchgeführt werden. Eine Übertragung der methodischen Ansätze und überschlägigen Berechnungsansätzen des Bereichs Wohnungsbau auf Nichtwohngebäude ist nur teilweise und bedingt möglich. Die größte Hürde stellen hier fehlende Informationen zur Ausstattung und den verwendeten Materialien dar, die größtenteils stark von der der Wohngebäude abweichen. Daher wurde auf eine solche grobe Übertragung an dieser Stelle verzichtet. Es ist jedoch davon auszugehen, dass das Materiallager der Heizungsanlagen, Radiatoren und Sanitäreinrichtungen aufgrund der geringeren Anzahl an Nichtwohngebäuden und der funktionalen Nutzung geringer ist als im Wohngebäudebestand. Zudem werden in Nichtwohngebäuden häufig andere Systeme als im Wohnungsbau verwendet. Hier besteht jedoch erhöhter Forschungsbedarf.

Verwertbare Quellen umfassen insbesondere statistische Daten zum Gebäudebestand, einschlägige technische Normen und Regelwerke zu spezifischen Bemessungsgrößen, Studien zu Teilaspekten,

Verbandsangaben und Herstellerangaben. Im Bereich der Wärmebereitstellung, -versorgung und -übertragung sind Kenntnisstand und Regelungsdichte vergleichsweise hoch. Insbesondere wurde hier auf die Berechnungsansätze der DIN 18599 und Erhebungen der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. aufgebaut. Aufgrund des hohen Stellenwertes der Fragen zu Energieeinsparung und insbesondere der Reduzierung von Heizenergie für die Raumwärmebereitstellung und Trinkwarmwasser konnte auf eine Vielzahl an Studien zurückgegriffen werden. Dennoch mussten aufgrund der stofflich geprägten Fragestellung eigene Ansätze erarbeitet und durch eine umfangreiche Literatur- und Datenrecherche ergänzt werden. So konnte zwar, wie zuvor genannt, auf Berechnungsvorschriften in den Teilen 5 und 8 der DIN 18599 zurückgegriffen werden, jedoch fehlten vor allem Informationen zur Verbreitung der in der DIN 18599 beschriebenen Netz-Typen und den für die Rohrnetze eingesetzten Werkstoffe. Folglich waren zentrale Aufgaben die Abschätzung

- der Anteile der Netz-Typen sowie eingesetzten Werkstoffe und
- die Ermittlung spezifischer Kennwerte der einzelnen Werkstoffe
- auf Basis von Studien, Normen, Richtlinien und Herstellerangaben.

Auch für den Bereich der Wärmebereitstellung und Wärmeabgabe (über Heizkörper) liegen neben einigen wenigen Schätzungen zum Bestand der Heizungsanlagen (Schornsteinfeger 2010 & BDHW) nur wenige Informationen vor. Noch geringer ist die Datenlage für den Bereich der Heizkörper. Nach Einschätzung der Autoren liegen derzeit keinerlei Informationen zum Bestand verbauter Heizkörper in Deutschland vor. Weder zu Art (Gliederradiator, Röhrenradiator, Plattenheizkörper, Flachheizkörper, usw.) noch zur Aufteilung der darin Verbauten Metalle (Gussstahl, Stahl, kaltgewalztes Stahlblech, usw.), geschweige denn Informationen zu den verbauten Wärmeleistungen der Heizkörper, mit deren Hilfe auf die Größe und Gewicht geschlossen werden könnte. Im Zentrum der Untersuchungen für den Bereich Wärmebereitstellung und Wärmeabgabe stand damit die Bestimmung

- der Anzahl der Heizungsanlagen und Wärmeerzeuger sowie
- die Einschätzung der Anteile und Mengen verbauter Heizkörper und deren Werkstoffe.

Hierzu wurde mittels berechneter Wärmeleistungen (in Anlehnung an die Norm-Wärmeleistung) eine Systematik erarbeitet, mit deren Hilfe ein Mengengerüst und Stoffkennwerte ermittelt wurden. Grundlage bildet hier die Untersuchung von Walberg et al. (2011), in der Energiekennwerte und energetischer Zustand des Wohngebäudebestandes in Deutschland betrachtet werden.

Während für Bereiche wie die Raumwärmebereitstellung, Versorgung und Übertragung teils Untersuchungen bzw. Erhebungen (Bsp.: Wolff 2012, Wittmer 2006) vorliegen, liegen für den Bereich Sanitärausstattung nur wenige Daten vor, die Aufschluss über das darin enthaltene Materiallager geben. Diesbezüglich erfolgt für den Bereich der keramischen Sanitärausstattung unter Annahme von haushaltsbezogenen Ausstattungsstandards (VDI-Regel 6000) auf Basis des Mikrozensus 2010 eine grobe Schätzung.

Die Hochrechnung auf Bestände und Flüsse erfolgt in analoger Weise wie bei den vorgenannten Hauptgütergruppen, die Vorgehensweise ist jedoch aufgrund der Heterogenität der zugrundeliegenden Daten deutlich komplexer.

In den nachfolgenden Absätzen werden die methodischen Vorgehensweisen der zuvor kurz beschriebenen Bereiche eingehender erläutert. Aufgrund der bereits genannten Eingrenzung im Bereich des Nichtwohngebäudebestandes wird lediglich bei den Rohrleitungssystemen auf methodische Ansätze im Nichtwohnungsbau eingegangen. Alle anderen Anlagenbereiche beziehen sich ausschließlich auf den Bereich Wohnen, was jedoch jeweils in den Überschriften kenntlich gemacht ist.

Materiallager in Heizungsanlagen und Wärmeerzeugern (Wohnen)

Die Bereitstellung von Raumwärme und Trinkwarmwasser erfolgt durch Heizungsanlagen und Wärmeerzeuger unterschiedlicher Art. Die Bandbreite reicht von großen Heizkraftwerken bis hin zu kleinen Feuerstellen (Kaminen) oder Elektroheizungsanlagen für einzelne Räume.

Laut den jährlichen Erhebungen des Zentralinnungsverbandes der Schornsteinfeger (ZIV) beläuft sich der Bestand an Feuerungsanlagen für Öl, Gas und Festbrennstoffe auf rund 14,7 Mio. Anlagen (ZIV 2010). Nicht erfasst werden jedoch elektrisch betriebene Heizungsanlagen (Wärmepumpen, Nachtspeicheröfen) und Anlagen mit einem Brennwertkessel. Dem gegenüber kommt der Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. in einer Schätzung für 2010 auf rund 19,5 Mio. Anlagen. In beiden Fällen werden keine Aussagen zur Aufteilung der Heizungsanlagen auf Wohngebäude und Nichtwohngebäude getroffen.

Zur Bestimmung des Materiallagers in den Heizungsanlagen und Wärmeerzeugern wurde als erstes ein Mengengerüst erarbeitet und zur Struktur und Anzahl der Heizungsanlagen und Wärmeversorgung eine Recherche durchgeführt. Hierzu wurde auf Erhebungen und Statistiken des Zentralinnungsverbandes des Schornsteinfegerhandwerks, des Bundesindustrieverbands Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., des Instituts für Umwelt und Bauen sowie des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen werden. Auf der Grundlage eigener Berechnungen sind schätzungsweise rund 17,6 Mio. Anlagen Bestandteil der Haustechnik und damit Bestandteil des in diesem Arbeitspaket untersuchten Materiallagers im Wohnungsbau. Tabelle 15 gibt einen Überblick über die Struktur der Wärmeversorgung im deutschen Wohngebäudebestand und veranschaulicht den Bestand der Heizungsanlagen im Gebäude bzw. die der Haustechnik zugeordnet werden. Anlagen zur Nah- und Fernwärmeversorgung sowie die Hausübergabestationen bleiben hierbei unberücksichtigt.

In der Regel bestehen Wärmeerzeuger und Heizungsanlagen zu großen Teilen aus unterschiedlichen Metallen (Stahl, Gussstahl, Stahlblech, Aluminium, Edelstahl) und bergen damit ein Materiallager, dessen Umfang bisher noch unbekannt ist. Die nachfolgenden Untersuchungen beziehen sich zum derzeitigen Zeitpunkt nur auf gebäudezentrale bzw. wohnungszentrale gas- und ölbefeuerte Heizungsanlagen und Wärmeerzeuger. Dies umfasst rund 13,3 Mio. Anlagen. Bisher nicht betrachtet wurden handbeschickte Öfen, Elektroheizungen und Wärmepumpen. Solaranlagen zur Erzeugung von thermischer und elektrischer Energie werden im Abschnitt „technische Infrastruktur“ behandelt.

Tabelle 20: Schätzung des Bestands an Wärmeerzeugern im deutschen Wohngebäudebestand. Eigene Berechnungen auf Basis von IWU 2010 und Destatis 2012a

Art der Wärmeversorgung	EZFH		MFH	
	Anzahl in 1.000	Anzahl in %	Anzahl in 1.000	Anzahl in %
Elektrische Direktbeheizung (Nachtspeicherofen)	1.440	9,5	160	6,5
Wärmepumpen	265	1,8	11	0,5
Maschinelle Lüftung mit Wärmerückgewinnung	105	0,7	21	0,9
Heizkessel	13.285	88,0	2.275	92,2
davon Zentralheizung	11.981	90,2	1.625	71,4
davon Wohnungsheizung	237	1,8	505	22,2
davon Einzelraum	1.067	8,0	145	6,4
Gesamt (unterteilt)	**15.095**	**100,0**	**2.467**	**100,00**
Gesamt (Anzahl in 1.000)	**17.562**			

Quelle: eigene Darstellung

Parallel dazu wurden auf Basis von Energiekennwerten spezifische Heiz-Leistungskennwerte für den deutschen Wohngebäudebestand ermittelt, welche auch in späteren Berechnungen eine wichtige Ausgangsgröße darstellen. Grundlage sind die durch die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. (ARGE) erhobenen Energiekennwerte sowie Resultate aus Untersuchungen zum anteiligen Energieaufwand für die Bereitstellung von Warmwasser (BMVBS 2012, Greller et al. 2010). Die Leistungskennwerte wurden über einen vereinfachten Berechnungsansatz, mittels Volllaststunden, Jahresnutzungsgrad, Heizwert usw., für unterschiedliche Sanierungsgrade und Baualtersepochen bestimmt.

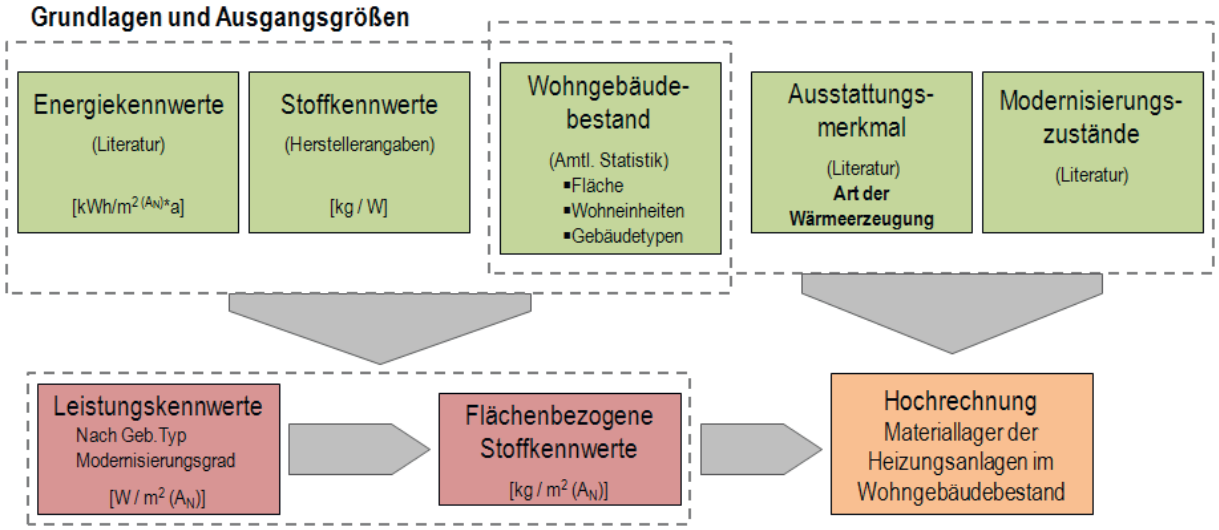
Für die weiteren Berechnungen werden Angaben zu den Flächen, insbesondere zur Gebäudenutzfläche benötigt, da die hier verwendeten Energiekennwerte der ARGE und spätere Berechnungen auf Basis der DIN 18599 sich auf diese beziehen. Da es sich bei der Gebäudenutzfläche um eine rein rechnerisch (aus dem beheizten Gebäudevolumen berechnet; vergleiche EnEV 2009) zu ermittelnde Fläche handelt, fehlen Daten zur deutschlandweit vorhandenen Gebäudenutzfläche. Dagegen liegen durch die Erhebungen des Statistischen Bundesamtes flächendeckend Daten zur Gebäudewohnfläche, differenziert nach Baualter und Gebäudegröße, vor. Diese wurden zur weiteren Berechnung in die Gebäudenutzfläche übertragen. Hierzu gibt es in unterschiedlichen Studien und Regelwerken (IWU 2002, EnEV 2009, Jagnow et al. 2002) Orientierungswerte. Demnach ist die Gebäudenutzfläche bei Einfamilienhäusern um den Faktor 1,25 bis 1,35 und bei den Mehrfamilienhäusern um den Faktor 1,15 bis 1,25 größer als die Wohnfläche. Wendet man diesen Faktor auf die in der Statistik ausgewiesene Wohnfläche an, so erhält man die Gebäudenutzfläche in Wohngebäuden für Deutschland, unterteilt in die Baualtersklassen und Gebäudegrößenklassen.

Basierend auf den zuvor ermittelten spezifischen Heiz-Leistungskennwerten und der Gebäudenutzfläche kann die Anlagengröße (Leistung) für einzelne Wohngebäude bestimmt werden. Kombiniert mit Verteilungsmustern nach Wohnflächengröße und Baualter aus den Daten des „Mikrozensus 2010: Struktur und Bestand an Wohngebäuden“ (Destatis 2012a) und dem Zensus 2011 (Destatis 2013c) der amtlichen Statistik konnte für den gesamten Wohngebäudebestand ein Mengengerüst mit

Anlagenleistung abgeschätzt werden. In Verbindung mit auf Herstellerangaben ermittelten Kessel- bzw. Anlagengewichten können leistungsspezifische Massen (kg/kW$_{Heizleistung}$) von Heizungsanlagen bestimmt werden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass etwa 80 - 90 % der Masse einer Heizungsanlage aus Metallen besteht. Bei den restlichen 10 - 20 % handelt es sich vorrangig um Kunststoffe (Bedienelemente, Schläuche, Kabel, usw.) Die so ermittelten spezifischen Kennwerte liegen in einem Wertebereich von rund 1,0 (kg/kW$_{Heizleistung}$; besonders große Anlagen) und 10,0 (kg/kW$_{Heizleistung}$; kleinere Anlagen).

Durch Kombination der zuvor berechneten flächenspezifischen Leistungskennwerte und der leistungsspezifischen Gewichtseinheiten von Heizungsanlagen sowie den Modernisierungszuständen im Wohngebäudebestand konnte das Materiallager in Heizungsanlagen für den Wohngebäudebestand hochgerechnet werden (Abbildung 59). Die Resultate dieser Hochrechnung sind im Ergebnisteil 6.1.4.4 zu finden.

Abbildung 59: Grundschema zur Bestimmung des Materiallagers in Heizungsanlagen



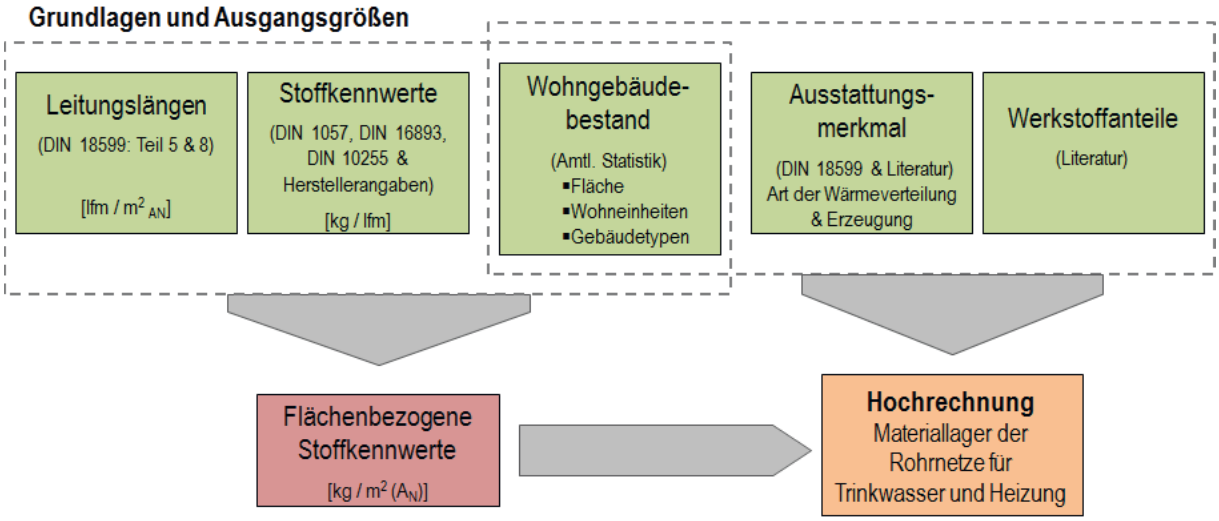
Quelle: eigene Darstellung

Materiallager im Bestand der Rohrleitungssysteme für Heizung, Trinkwasser, Abwasser (Wohnen & Nichtwohnen)

6.1.4.2.1.1 Wohngebäude

Die Ermittlung des Materiallagers im Bestand der Rohrleitungsnetze für Trinkwasser und Heizung im Bereich des Wohnungsbaus unterscheidet sich grundlegend von dem zuvor beschriebenen methodischen Ansatz. Grundlage für die Berechnungen bilden die Teile 5 „Endenergiebedarf von Heizsystemen“ und 8 „Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen“ der DIN 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“ (Abbildung 60).

Abbildung 60: Grundschema zur Bestimmung des Materiallagers in den Rohr- und Leitungsnetzen für Trinkwasser und Heizung.



Quelle: eigene Darstellung

Hierzu werden folgende grundlegende Eingangsdaten benötigt:

- Gebäudenutzfläche (AN) [72] und
- Deckenhöhe (h).

Darüber hinaus werden die Gebäudelänge, -Breite und Geschossigkeit zur Berechnung benötigt. Diese können jedoch über einen Berechnungsansatz aus (BMVBS 2012), abgeleitet für ein Beispielgebäude, verwendet werden. Demnach sind lediglich die Gebäudenutzfläche und die Deckenhöhe mit Daten zu unterlegen.

Mit den zuvor ermittelten Gebäudenutzflächen und den Berechnungsformeln der DIN 18599 konnten flächenspezifische Leitungslängen (m Rohrlänge/m² AN) für die unterschiedlichen Netz-Typen berechnet werden. Aufgrund fehlender Informationen zur Häufigkeit der unterschiedlichen Versorgungs-Netz-Typen im Wohngebäudebestand wurde in internen Fachdiskussionen und Plausibilitätsabwägungen auf Basis unterschiedlicher Quellen die Aufteilung der Netz-Typen für Heizungsnetz-Typen und Trinkwassernetz-Typen geschätzt. So kann wahrgenommen werden, dass die meisten im Bestand vorkommenden Heizungsnetztypen Zweirohrsysteme mit unterer Verteilung sind. Einrohrsysteme sind dagegen eher selten. Diese wurden hauptsächlich zwischen 1975 und 1985 gebaut. Hiervon gibt es noch rund 1,5 Mio. in Ein- und Mehrfamilienhäusern verbaute Systeme (Prof. Hirschberg 2013). Für den Bereich der Trinkwarmwasserversorgung liegen Untersuchungen (IWU 2010, Wolff 2012, Destatis 2012a) vor, die zumindest eine Unterscheidung in dezentrale (über Durchlauferhitzer und Warmwasserspeicher) und zentrale (über einen zentralen Kessel) Versorgungsnetz-Typen ermöglichen.

[72] Bezugsfläche für die Berechnungen der DIN 18599 ist die Nettogrundfläche, welche nach DIN 18599 etwa dem 1,1fachen der Wohnfläche entspricht. Eigene Überlegungen und Auswertungen führen jedoch zu der Annahme, dass die Nettogrundfläche etwa dem 1,1 bis 1,3fachen, im Extremfall dem 1,4fachen der Wohnfläche entsprechen kann (BGF – KGF = NGF; bei 10-20 % KGF und Wfl. ca. 50-70 %BGF). Auf Grundlage dessen wird für die weiteren Berechnungen zur Vereinheitlichung die Gebäudenutzfläche verwendet.

Dies führte dazu, dass für die Berechnungen der Heizwärmeverteilung die Netztypen 1, „Verteilung entlang des Gebäudeumfangs“, Netz-Typ 2 „Verteilung über Steigstränge“ und Netz-Typ 3 „Verteilung über Steigstränge an der Fassade“ sowie die beiden Einrohrsystem-Varianten der Netz-Typen 1 und 3 ausgewählt wurden. Der Netz-Typ 4 „Versorgung über Deckenheizungssysteme“ bildet nach Einschätzung der Autoren eine eher untergeordnete Rolle bei der Wärmeverteilung und wird daher nicht weiter berücksichtigt. Im Bereich der Trinkwasserversorgung wurden alle Netz-Typen der DIN 18599: Teil 8 in die Berechnungen übernommen.

Für die Aufteilung der verwendeten bzw. verbauten Werkstoffe bei den Rohrleitungen im Wohnungsbau liegen derzeit keine den Autoren bekannten Informationen vor, die bei der Kalkulation berücksichtigt werden konnten. Aufgrund des Fehlens dieser doch zentralen Informationen war es nötig, auf der Grundlage einer Literaturrecherche und mit möglichst plausiblen Annahmen die Berechnung durchzuführen, da die einzelnen Werkstoffe (Kupfer, Stahl, Blei, Kunststoff) über stark unterschiedliche Materialdichten und damit flächenspezifische Massen (kg Werkstoff / m^2 AN) verfügen.

Demnach werden Rohrsysteme aus Kunststoffen seit Anfang der 70-er Jahre eingebaut (KRV 2002). Seitdem hat der Einsatz von Kunststoffrohren und Leitungen in der Trinkwasser- und Wärmeversorgung in Gebäuden stark zugenommen und macht im Neubau etwa 60 % der Leitungssysteme aus. Rohrsysteme aus Kupfer und Stahl haben eine weitaus längere Tradition und werden im Wohnungsbau seit etwa dem 1. Quartal des 20. Jhd. verwendet. Auch heute noch werden im Wohnungs- bzw. im Hochbau die Werkstoffe Kupfer und (Edel-)Stahl eingesetzt. Der Werkstoff Edelstahl wird dabei vorrangig in öffentlichen Gebäuden wie Bildungseinrichtungen, Pflege- und Gesundheitseinrichtungen und Verwaltungsbauten eingesetzt, da die Preise für Edelstahl über den Preisen von Kunststoffen und Kupfer liegen und damit im privaten Wohnungsbau in der Regel nicht berücksichtigt werden. Der älteste Werkstoff im Bereich der Wasser- und Wärmeverteilung ist Blei, welcher bereits vor dem 19. Jhd. eingesetzt wurde. Aufgrund gesundheitsschädigender Risiken beim Einsatz von Bleirohren im Bereich der Trinkwasserversorgung wurde der Einsatz ab 1973 verboten. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass Rohrleitungen im Wohnungsbau vor allem durch die Werkstoffe Blei, Kupfer und Stahl bis Ende der 60er Jahre des 20. Jhd. dominiert wurden. Zeitweise wurde auch Aluminium für Rohrleitungen eingesetzt, vorrangig in den Gebieten der ehemaligen DDR. Diese stellen jedoch nur eine untergeordnete Rolle dar und werden daher auch nicht weiter betrachtet.

Auf Basis der beschriebenen historischen Entwicklung, der Recherche und Auswertungen der amtlichen Statistiken zum Wohnungsbau wurden für Rohr- und Leitungssysteme im Bereich der Trink- und Warmwasserversorgung die in Tabelle 21 und Tabelle 22 aufgeführten Annahmen getroffen.

Tabelle 21: Annahmen zur Aufteilung der Werkstoffe in Rohrleitungsnetzen für den Bereich Heizung im Wohnungsbau.

Rohr- und Leitungs-werkstoffe	Wohnungsbauphasen bis 1970					ab 1971 bis 2010				
	Anteile	Wfl.	Gebäudenutzfläche			Anteile	Wfl.	Gebäudenutzfläche		
			EZH	MFH	Gesamt			EZH	MFH	Gesamt
	in %	in Mio. m²				in %	in Mio. m²			
Kupfer	65	1.298	966	671	1.637	30	399	327	176	503
Stahl	35	699	520	361	881	20	266	218	117	335
Kunststoffe	0	0	0	0	0	40	532	436	235	671
Verbund-materialien	0	0	0	0	0	10	133	109	59	168

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 22: Annahmen zur Aufteilung der Werkstoffe in Rohrleitungsnetzen für den Bereich Trinkwasser im Wohnungsbau.

Rohr- und Leitungs-werkstoffe	Wohnungsbauphasen bis 1970					ab 1971 bis 2010				
	Anteile	Wfl.	Gebäudenutzfläche			Anteile	Wfl.	Gebäudenutzfläche		
			EZH	MFH	Gesamt			EZH	MFH	Gesamt
	in %	in Mio. m²				in %	in Mio. m²			
Blei	25	499	353	258	611	0	0	0	0	0
Kupfer	45	898	635	464	1.099	35	465	382	205	587
Stahl	30	599	423	309	733	20	266	218	117	335
Kunststoffe	0	0	0	0	0	45	598	491	263	754

Quelle: eigene Darstellung

6.1.4.2.1.2 Nichtwohngebäude

Für den Bereich der Nichtwohngebäude erfolgte eine Hochrechnung für das in den Rohrleitungen der Haustechnik lagernde Materialdepot. Die Berechnungen folgten dabei prinzipiell dem Vorgehen im Wohngebäudebestand. Dies, und der Umstand, dass Rohrleitungen in der Mehrheit der Nichtwohnbebauung in Form von Trinkwasserleitungen und/oder Heizungsleitungen vorzufinden sind, hat dazu geführt, dass das Materiallager der Rohrleitungen berechnet wurde.

Wie bereits angedeutet, folgen die Berechnungen für Leitungslänge, spezifische Masse und Werkstoffzusammensetzung dem Prinzip des Wohngebäudebestands. Daher werden nachfolgend nur die Aspekte beschrieben, die sich von der Vorgehensweise der Wohnbebauung unterscheiden.

Vergleichbar mit dem Wohnungsbau besitzt die Mehrheit der Nichtwohngebäude Versorgungssysteme für Trinkwasser, Heizung und Entwässerung in Form von Rohnetzen. Für die Berechnungen des Materiallagers werden wie im Wohngebäudebereich Gebäudetypenvertreter verwendet. Diese stellen die Grundlage für die Hochrechnungen der Leitungsnetze dar. Gegenüber dem Wohngebäudebestand ist der Nichtwohngebäudebestand mit einer höheren Heterogenität ausgezeichnet. Hier erfolgt eine

Anlehnung an die Gliederung des Statistischen Bundesamtes, welches den Bestand der Nichtwohngebäude in die folgenden Gruppen einteilt:

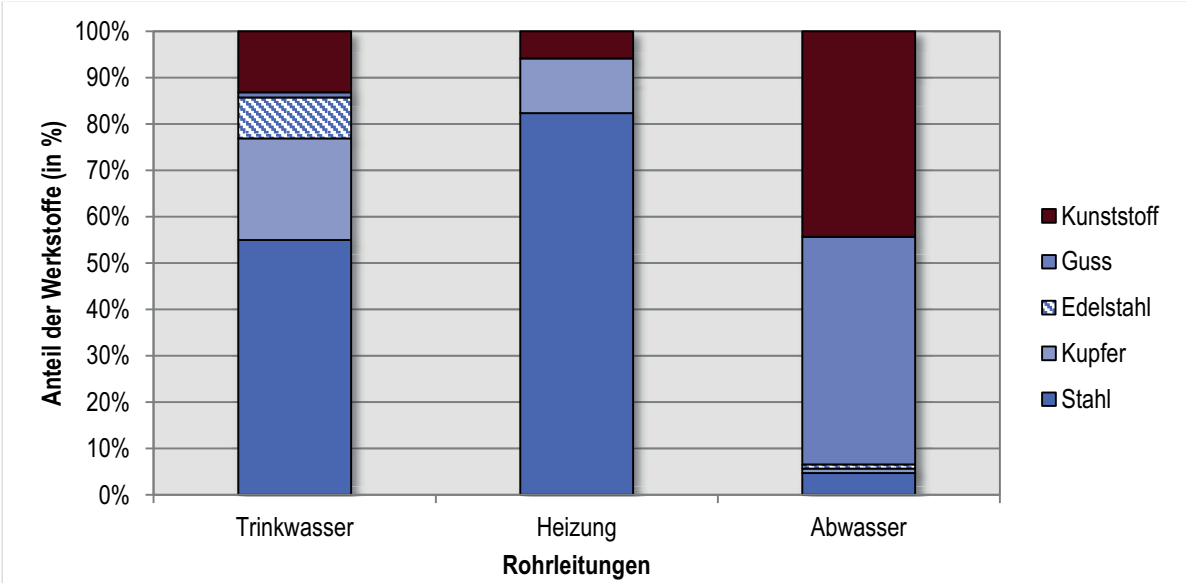
- Anstaltsgebäude
- Büro- und Verwaltungsgebäude
- Landwirtschaftlich genutzte Gebäude
- Nicht landwirtschaftlich genutzte Gebäude
- Fabrik- und Werkstättengebäude
- Handels- und Lagergebäude
- Hotels und Gaststätten
- Sonstige Nichtwohngebäude

Für die Erstellung der Gebäudetypenvertreter wurde u. a. auf die Arbeiten und Ergebnisse aus Deilmann et al. 2013 sowie auf Arbeiten aus dem Teilpaket Nichtwohngebäude der vorliegenden Untersuchung und laufende hausinterne Arbeiten zurückgegriffen. Aus dem Bestand der Nichtwohngebäude wurden vorab die Gebäude mit landwirtschaftlicher Nutzung ausgegliedert. Dies wird damit begründet, dass es sich bei vorrangig landwirtschaftlich genutzten Gebäuden mehrheitlich um Hallen bzw. hallenartige Bauwerke handelt, die selten beheizt werden und kaum über nennenswerte Trink- bzw. Abwasserleitungen verfügen. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass, sollten dennoch Rohleitungen vorhanden sein, wie beispielsweise in modernen Kuhställen, sich diese dann erheblich von den Netztypen der DIN 18599 unterscheiden dürften. Weiterhin wurden die sonstigen Nichtwohngebäude auf die anderen Nichtwohnungsgebäude verteilt bzw. als Bildungseinrichtungen deklariert.

Vergleichbar mit den Berechnungen im Absatz Wohnungsbau werden für die Typengebäude Gebäudenutzfläche (AN), Anzahl der Geschosse, die Höhe der Gebäude sowie eine charakteristische Länge benötigt. Hierzu wurde abermals auf die Arbeiten in Deilmann et al. 2013 zurückgegriffen und mit eigenen Ansätzen aus laufenden hausinternen Arbeiten ergänzt.

Auch im Bestand der Nichtwohngebäude wurden in der Vergangenheit unterschiedliche Werkstoffe in den Rohrleitungsnetzen verwendet. Vergleichbar im Wohngebäudebestand lagen zum Zeitpunkt der Bearbeitung jedoch keine Angaben bzw. Daten über die Aufteilung und Bedeutung der einzelnen Werkstoffe in den Rohrsystemen vor. Hierzu wurde der gleiche Ansatz wie bei den Wohngebäuden verfolgt. Ergänzt wurden die Untersuchungen durch eine Auswertung von Gebäudesteckbriefen aus der BKI-Datenbank. Auch wenn es sich bei der Auswertung der BKI-Daten mit rund 100 Steckbriefen um keine repräsentative Erhebung handelt, so zeigen sich doch ganz klare Tendenzen bei den verwendeten Werkstoffen je nach Anwendungsgebiet (Abbildung 61). Aufgrund des teils sehr unterschiedlichen Detaillierungsgrades der Steckbriefe, die von detaillierten Angaben mit Länge und Einsatzort bis zur einfachen Nennung der Werkstoffe reichen, wurden lediglich die Anzahl der Nennungen und deren Einsatzort ausgewertet. Eine Auswertung hinsichtlich der mengenmäßigen Bedeutung einzelner Werkstoffe war jedoch aufgrund der geringen Anzahl detaillierter Steckbriefe nicht möglich.

Abbildung 61: Anteile der einzelnen Werkstoffe in den unterschiedlichen Anwendungsgebieten von Rohrleitungen



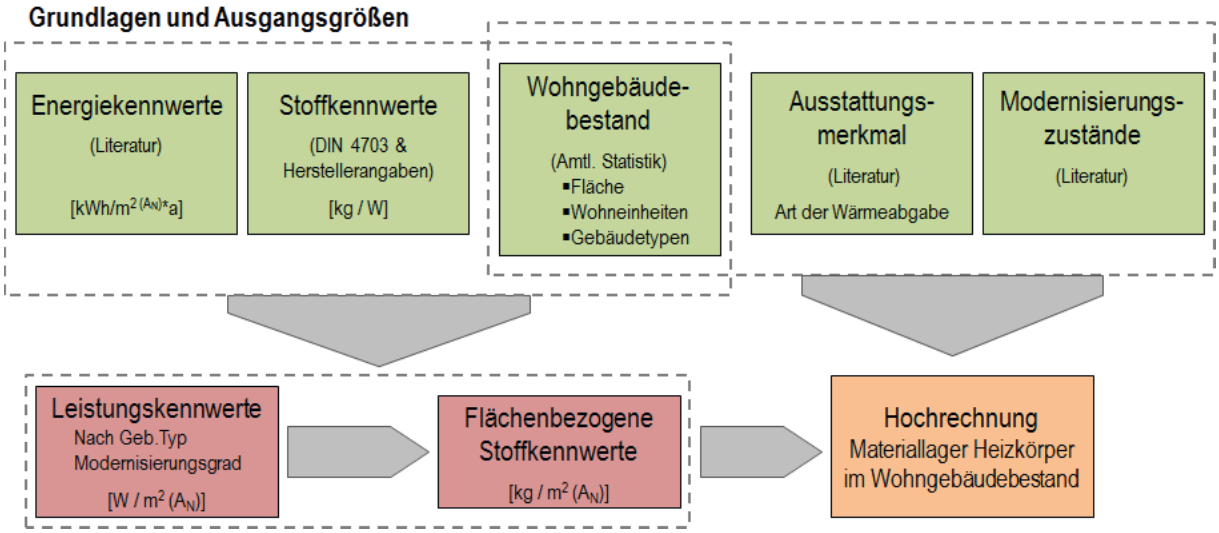
Quelle: eigene Darstellung

In Abbildung 61 zeigt sich klar, dass im Nichtwohnungsbau mehrheitlich Metalle für die Rohrleitungssysteme verwendet wurden. Lediglich im Bereich Abwasser liegt der Anteil der Kunststoffrohre mit rund 45 % fast gleichauf mit den Metallen.

Bestimmung des Materiallagers im Bestand für Heizkörper (Wohnen)

Zur Bestimmung des Materiallagers im Bestand der Heizkörper wurde auf die zuvor bereits berechneten Heiz-Leistungskennzahlen im Wohngebäudebestand zurückgegriffen. Darüber hinaus wurden ebenfalls wie zuvor Stoffkennwerte auf der Grundlage von Herstellerangaben und insbesondere der DIN 4703 erarbeitet. Resultat sind massespezifische Kennwerte je m^2 Gebäudenutzfläche ($kg_{Heizkörper}/m^2_{AN}$), unterschieden nach Metallarten (Stahlblech, Stahl, Gussstahl). Die Abbildung 62 veranschaulicht schematisch die Vorgehensweise zur Berechnung des Materiallagers in den Heizkörpern im Wohngebäudebestand. Anders als bei den Heizungsanlagen wird im Fall der Heizkörper mit einem Metallanteil von 100 % gerechnet. Die so ermittelten spezifischen Kennwerte liegen in einem Wertebereich von rund Stahlblech 0,01 ($kg/W_{Wärmeleistung}$) und Gussstahl 0,1 ($kg/kW_{Wärmeleistung}$).

Abbildung 62: Grundschema zur Bestimmung des Materiallagers in den Heizkörpern im Wohngebäudebestand



Quelle: eigene Darstellung

Wie unter „Materiallager in Heizungsanlagen und Wärmeerzeugern“ beschrieben, konnten dann basierend auf den Stoffkennwerten, Heiz-Leistungskennzahlen, Modernisierungszuständen, Ausstattungsmerkmalen (Art der Wärmeabgabe) und Gebäudenutzflächen (siehe Abbildung 59) das Materiallager für den deutschen Wohngebäudebestand ermittelt werden.

Da auch für die Heizkörper keine Informationen über Anteile der unterschiedlichen Werkstoffe im Bestand vorlagen wurden diese für Heizkörper aus den beiden Werkstoffen Gussstahl und Stahl/-Blech geschätzt. Nach eigenen Schätzungen bestehen rund 90 % der Heizkörper (Kompakt-, Flach-, Plattenheizkörper und Konvektoren) aus Stahl/-Blech. Für die übrigen 10 % der Heizkörper wird angenommen, dass es sich hierbei noch um massive und schwere gusseiserne und Massivstahl-Varianten handelt.

Abschätzung des Materiallagers im Bestand der Sanitärausstattung aus keramischen Werkstoffen (Wohngebäude)

Der Bereich der Sanitärausstattung betrachtet im Folgenden die Materiallager in Wasch-, Klosettbecken, Dusch- und Badewannen im Wohnungsbau. Die Berechnungen für den Bereich der Sanitärausstattung unterscheiden sich grundlegend von den zuvor beschriebenen Bestandteilen der Haustechnik und benötigten daher eine angepasste Berechnungssystematik. Eine Abschätzung des Materiallagers im Bereich der Sanitärausstattung wird dadurch erschwert, dass es zwar Normen und Richtlinien gibt, die den Einsatz von Werkstoffen, Stell- und Bewegungsflächen in Bädern bzw. WC‘s, die Zugänglichkeit und Geschlechtertrennung in öffentlichen Einrichtungen usw. regeln, Angaben bzw. Vorschriften, die über Anzahl bzw. Ausstattung Angaben machen, gibt es jedoch nur in öffentlichen Einrichtungen. Für den Bereich des privaten Wohnungsbaus und Nichtwohnungsbaus gibt es von Seiten des Verbands Deutscher Ingenieure Empfehlungen bzw. Orientierungswerte (VDI 6000), die Angaben zur Ausstattung machen. Daher richtet sich die Ausstattung der Bäder und WC‘s von Wohngebäuden vor allem nach den persönlichen Bedürfnissen und Ansprüchen. In der Richtlinie des VDI (VDI 6000) orientiert sich die Ausstattung der Bäder und WC‘s mit Wasch- und Klosettbecken, Dusch- und Badewannen usw. an der Anzahl der Personen in einem Haushalt. Weiterhin unter-

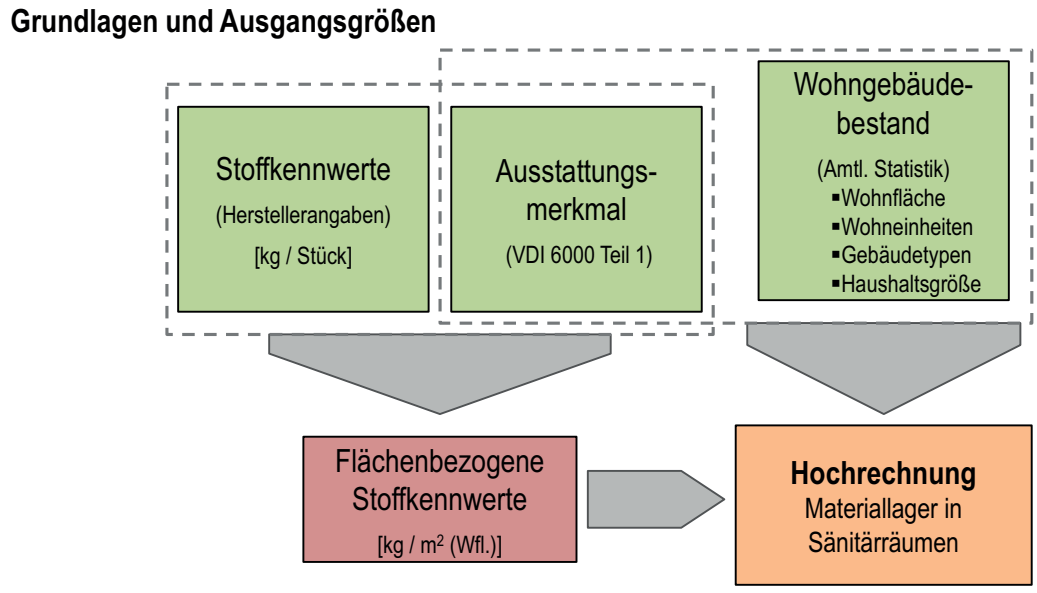
teilt die VDI 6000 die Ausstattung in drei unterschiedliche Standards (einfache, gehobene und komfortable Ausstattung), die Einfluss auf die Anzahl und Grad der Ausstattung haben.

Ausgehend von den Empfehlungen der VDI 6000 wurden für die Hochrechnung des Materiallagers Angaben zu den Haushaltsgrößen benötigt. Diese wurden basierend auf den Angaben des Mikrozensus (Destatis 2012a) zur mittleren Wohnfläche je Wohnung/Gebäude und der mittleren Wohnfläche je Person ermittelt. Darüber hinaus wurden auf Basis von Herstellerangaben für Handwaschbecken und Einzelwaschtischen sowie für Klosettbecken ohne Spülkästen mittlere Massen (kg) berechnet.

Die unterschiedlichen Standards der VDI 6000 wurden insofern berücksichtigt, dass die Haushalte in Wohngebäuden mit einer bzw. zwei Wohnungen mit einem gehobenen Standard und Wohngebäude mit drei und mehr Wohnungen mit dem einfachen Standard berechnet wurden. Die Unterschiede liegen hier vor allem in der Anzahl der Wasch- und Klosettbecken und der Ausstattung mit Dusch- und/oder Badewannen.

Über eine Größenverteilung der Wohnungen/Gebäude, die zuvor festgelegten Ausstattungsgrade, dem Gewicht der einzelnen Installationen und der berechneten Haushaltsgröße konnte die Stückzahl von Wasch- und Klosettbecken, Dusch- und Badewannen und – darauf aufbauend – das Materiallager berechnet werden (Abbildung 63).

Abbildung 63: Grundschema zur Bestimmung des Materiallagers im Sanitärbereich



Quelle: eigene Darstellung

6.1.4.3 Methoden und Datengrundlagen zur Bestimmung der Bestandsdynamik durch die Haustechnik

6.1.4.3.1.1 Wohngebäude

Die Ermittlung der Input- und Outputflüsse für die Bestandteile der Haustechnik erfolgt jeweils in Anlehnung an die zuvor aufgezeigten methodischen Ansätze. Hierbei wurden neben der Neubautätigkeit (Input) und dem Abriss ganzer Gebäude (Output) auch In- und Outputströme in Form von Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt. Während für die Neubautätigkeit und den Abriss Zahlen aus der amtlichen Statistik vorliegen, ist die Datenlage über Höhe und Umfang der Sanierungsmaßnahmen, auch wenn es derzeit eine Vielzahl an Untersuchungen (Diefenbach et al. 2010, Walberg et al.

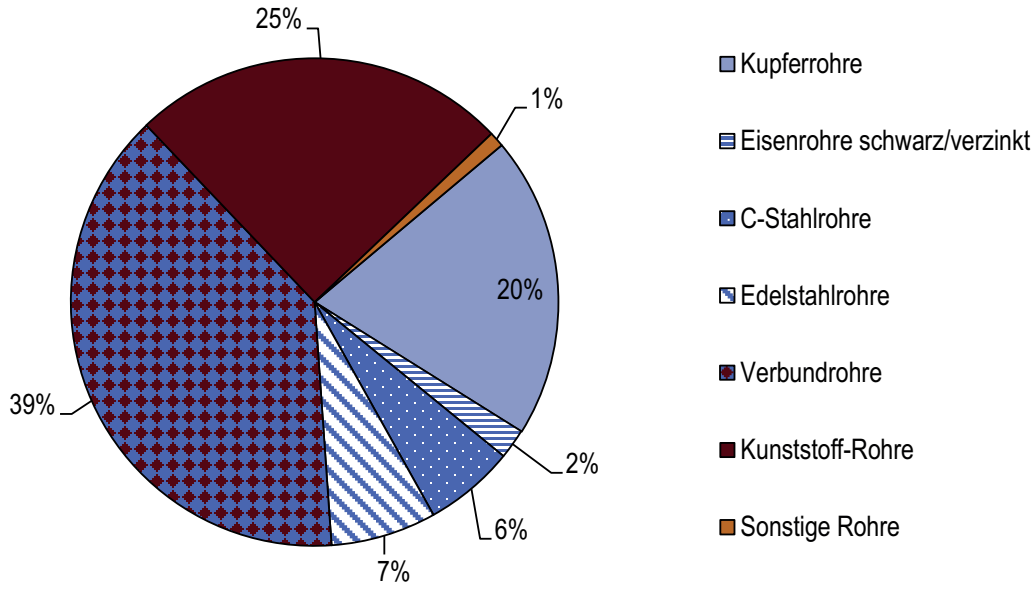
2011, Krauß et al. 2012) hierzu gibt, wesentlich unsicherer. Auf der Grundlage der derzeit verfügbaren Datenlage wurden folgende Annahmen für die Sanierungsmaßnahmen getroffen:

Sanierung:
Hierunter fallen alle Maßnahmen, die während eines Jahres in Form eines Austausches bzw. Erneuerung der Anlagen, Rohrleitungen und Sanitärobjekte durchgeführt werden. Dies kann den Einbau einer neuen Heizung bedeuten oder die Erneuerung des Bads bzw. Teile davon. Aufgrund der doch sehr unterschiedlichen Anwendungsfelder und technischen Lebensdauer bzw. Nutzungsansprüchen wurden für die Anwendungsfelder jeweils eigene Sanierungsraten angesetzt.

- Heizungskessel: Sanierungsrate 4 % (also im Mittel alle 25 Jahre)
- Rohrleitungen: Sanierungsrate 2 % (also im Mittel alle 50 Jahre)
- Heizkörper: Sanierungsrate 4 % (also im Mittel alle 25 Jahre)
- Sanitärobjekte: Sanierungsrate im Ein- und Zweifamilienhaus 7 % und im Mehrfamilienhaus 10 % (also im Mittel alle 15 bzw. alle 10 Jahre)[73]

Des Weiteren wurden für die einzelnen Anwendungsfelder die Anteile der Werkstoffe, die als Input Eingang in das Materiallager fanden, neu deklariert. Als Orientierung dienten hierzu vor allem Angaben von Verbänden, so beispielsweise der Verband Kunststoffrohrverband e.V. (KRV) oder die Vereinigung Deutsche Sanitärwirtschaft e.V. (vergleiche Abbildung 64).

Abbildung 64: Einsatz und Bedeutung der unterschiedlichen Werkstoffe bei der Rohrinstallation in der Haustechnik in 2009



Quelle: Querschiesser 2010

6.1.4.3.1.2 Nichtwohngebäude

Die Hochrechnungen folgen zu großen Teilen dem Vorgehen der Wohngebäudesystematik. Grundlage bilden die Daten der amtlichen Statistik zu Neubautätigkeit (Input) und Abriss ganzer Gebäude

[73] Die Differenzierung zwischen Ein-/Zweifamilienhaus und Mehrfamilienhaus wird damit begründet, dass im Mehrfamilienhaussegment eine höhere Fluktuation der (Miet-)Bewohner und damit der Nutzeransprüche sowie den durch Mietverträge zugrunde liegenden vertraglichen Verpflichtungen zur Instanthaltung zu einer höheren Sanierungsrate führt.

(Output). Für die Stoffströme der Sanierungsmaßnahmen ist die Datenlage für den Bereich der Nichtwohngebäude noch unsicherer als bei den Wohngebäuden. Daher wurden hier in Anlehnung an Deilmann et al. (2013) und Deilmann et al. (im Erscheinen) Annahmen zu den Sanierungsraten getroffen. Auf dieser Grundlage wurden die folgenden Annahmen für die Erneuerung bzw. Sanierung der Rohrleitungsnetze getroffen:

Sanierung:
Aufgrund der größeren Heterogenität und Nutzungen im Nichtwohngebäudebereich wurden für die Sanierungsraten die einzelnen Nichtwohngebäudegruppen in die beiden Gruppen wohnungsbauähnliche Nichtwohngebäude und eher gewerblich bzw. industriell genutzte Gebäude differenziert.

- Anstaltsgebäude: 2,0 %
- Büro- und Verwaltungsgebäude: 2,0 %
- Fabrik- und Werkstättengebäude: 0,3 %
- Handels- und Lagergebäude: 0,3 %
- Hotels und Gaststätten: 2,0 %
- Sonstige Nichtwohngebäude: 2,0 %

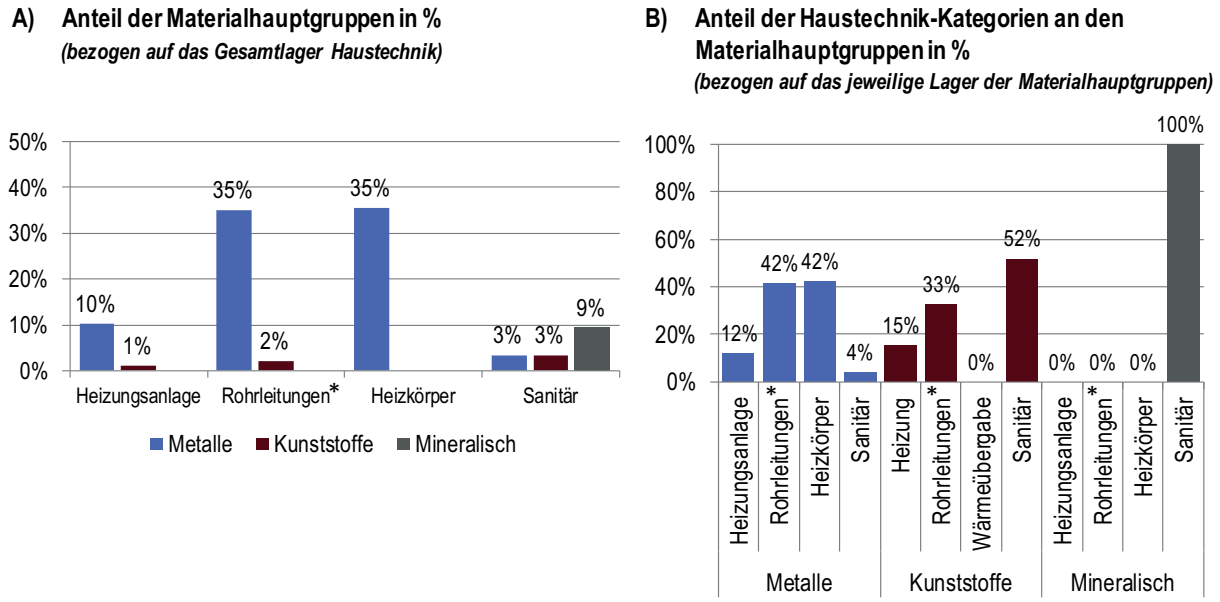
6.1.4.4 Das Materiallager in der Haustechnik

Wohngebäude

Die für den Wohngebäudebestand ermittelten Massen in der Haustechnik belaufen sich auf rund 16,5 Mio. t. Davon entfallen etwa 84 % auf die Materialhauptgruppe der Metalle, gefolgt von der mineralischen Fraktion (hier nur Keramik) mit rund 9 % und die Kunststoffe mit 7 % Massenanteil (Abbildung 66). In der Materialhauptgruppe Kunststoffe nimmt Acryl rund 50 % der Masse ein, während PE, PVC und sonstige nicht zuordenbare Kunststoffe zu etwa gleichen Teilen auf die andere Hälfte entfallen. Der Werkstoff Acryl entstammt vollständig dem Anwendungsfeld Sanitär, während die Kunststoffe PVC und PE dem der Rohrleitungen entstammt. Bei den Metallen dominiert ganz klar der Werkstoff Stahl. Danach folgen Gussstahl und Kupfer. Blei und Aluminium sind nur in kleinen Mengen im Bestand vorhanden. Insgesamt wird das Materiallager von den Metallen dominiert. Die Kunststoffe spielen dagegen, aufgrund ihrer geringen spezifischen Dichte, nur eine geringe Rolle.

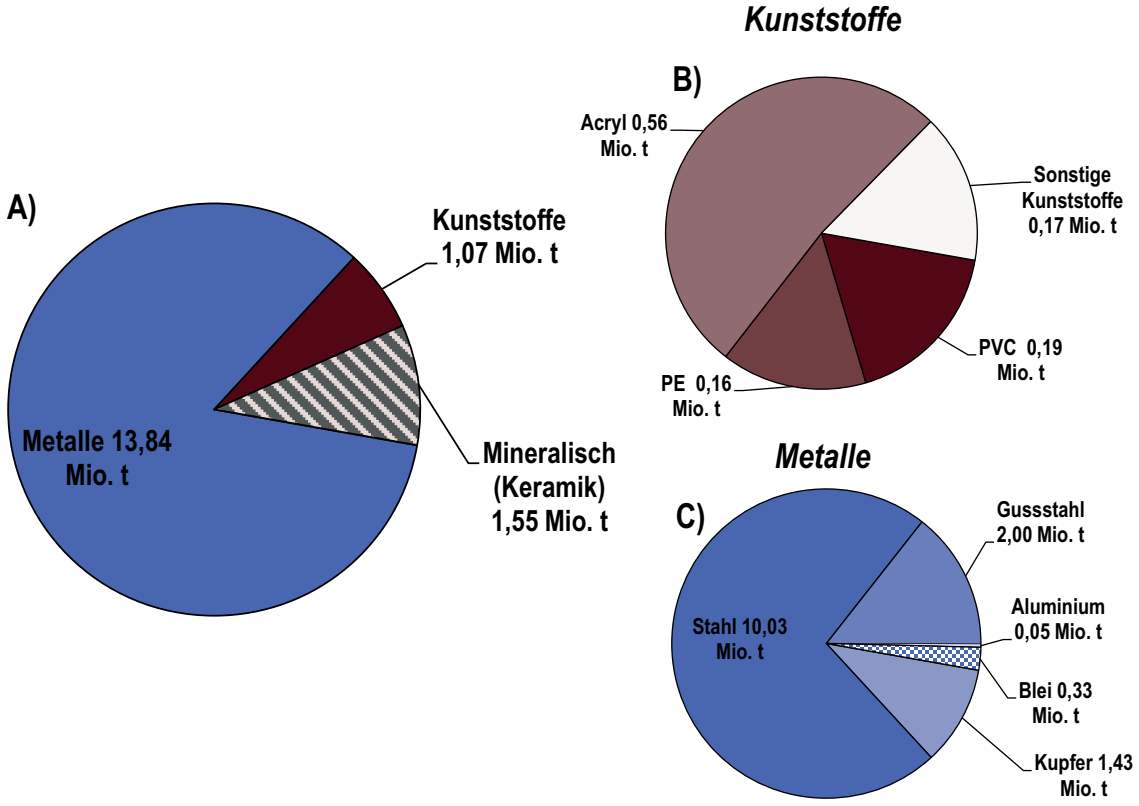
Die dargelegte Hochrechnung zeigt, dass im Bestand der Haustechnik ein hoher Anteil metallischer Materialien vorzufinden ist. Darunter sind auch relevante Materialbestände an Nichteisenmetallen (insb. Kupfer), denen eine besondere ökologische und ökonomische Bedeutung zukommt. Insgesamt nimmt der Bereich der Haustechnik gegenüber dem Bereich der Bauwerke selbst, mit Bezug auf die Massen, nur eine sehr geringe Bedeutung ein.

Abbildung 65: Bedeutung der einzelnen Materialhauptgruppen in den jeweiligen Haustechnik-Kategorien A) und der prozentualen Verteilung der Materialhauptgruppen auf die jeweiligen Haustechnik-Kategorien B).



** Beinhaltet alle Arten von Versorgungsleitungen (Trinkwasser-, Abwasser- und Heizwasserleitungen)*

Abbildung 66: Hochrechnung des Materiallagers in der Haustechnik gegliedert nach Materialhauptgruppen im Wohngebäudebestand (A), Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen



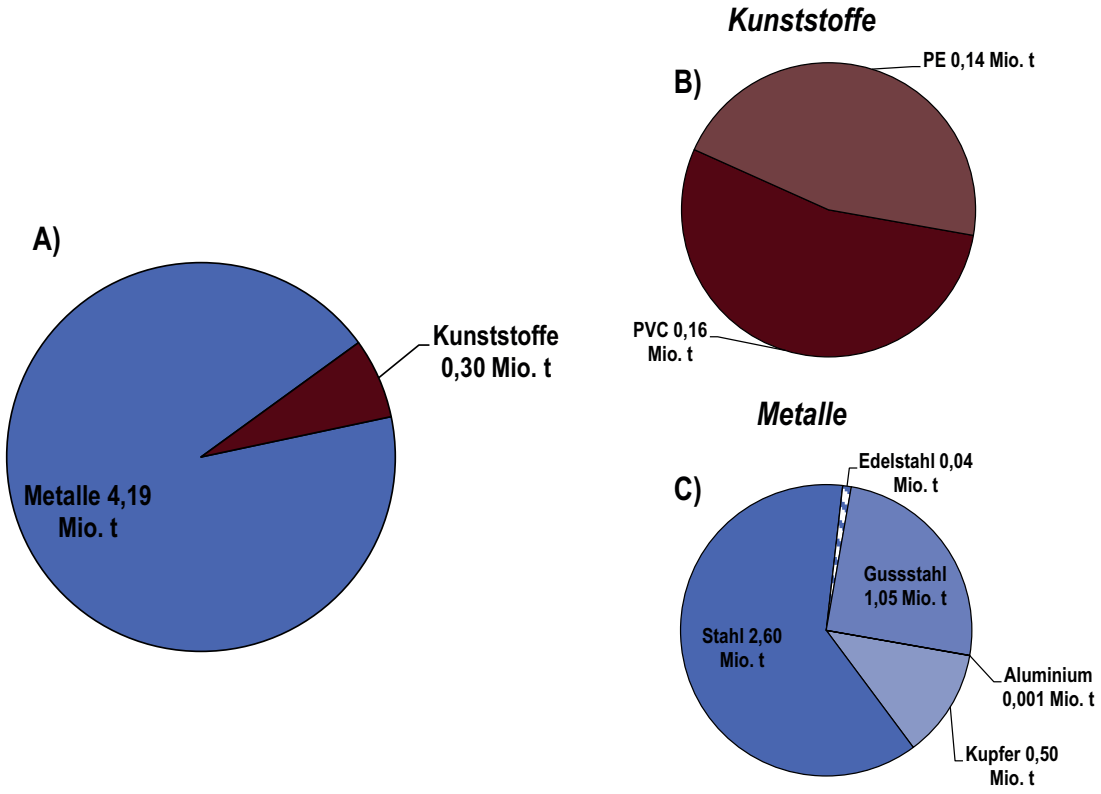
Quelle: eigene Darstellung

Nichtwohngebäude

Das Materiallager in der Haustechnik im Bestand der Nichtwohngebäude liegt, aufgrund der auf die Rohrleitungssysteme begrenzten Betrachtung, erwartungsgemäß unter dem des Wohnungsbaus (vergleiche Abbildung 66 und Abbildung 67). Damit begründet liegen für die Haustechnik des Nichtwohnungsbaus lediglich Daten zu den beiden Materialhauptgruppen Metalle und Kunststoffe vor, nicht jedoch zur mineralischen Materialfraktion. Insgesamt dominieren, wie beim Wohnungsbau, die Metalle mit über 90 % das Materiallager. Bei den Untergruppen zeigt sich ein etwas anderes Bild.

So setzt sich die Fraktion Kunststoffe aus den beiden Kunststoffen PE und PVC etwa zu gleichen Teilen zusammen (Abbildung 67 B). Bei den Metallen nehmen die Stähle (schwarzer, verzinkter Stahl, Gussstahl und Edelstahl) rund 88 % der Masse ein, der Rest entfällt auf Kupfer mit rund 12 % und Aluminium mit unter 1 % (Abbildung 67 C).

Abbildung 67: Hochrechnung des Materiallagers in den Rohrleitungssystemen gegliedert nach Materialhauptgruppen im Bestand der Nichtwohngebäude (A). Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen



Quelle: eigene Darstellung

6.1.4.5 Materialflüsse

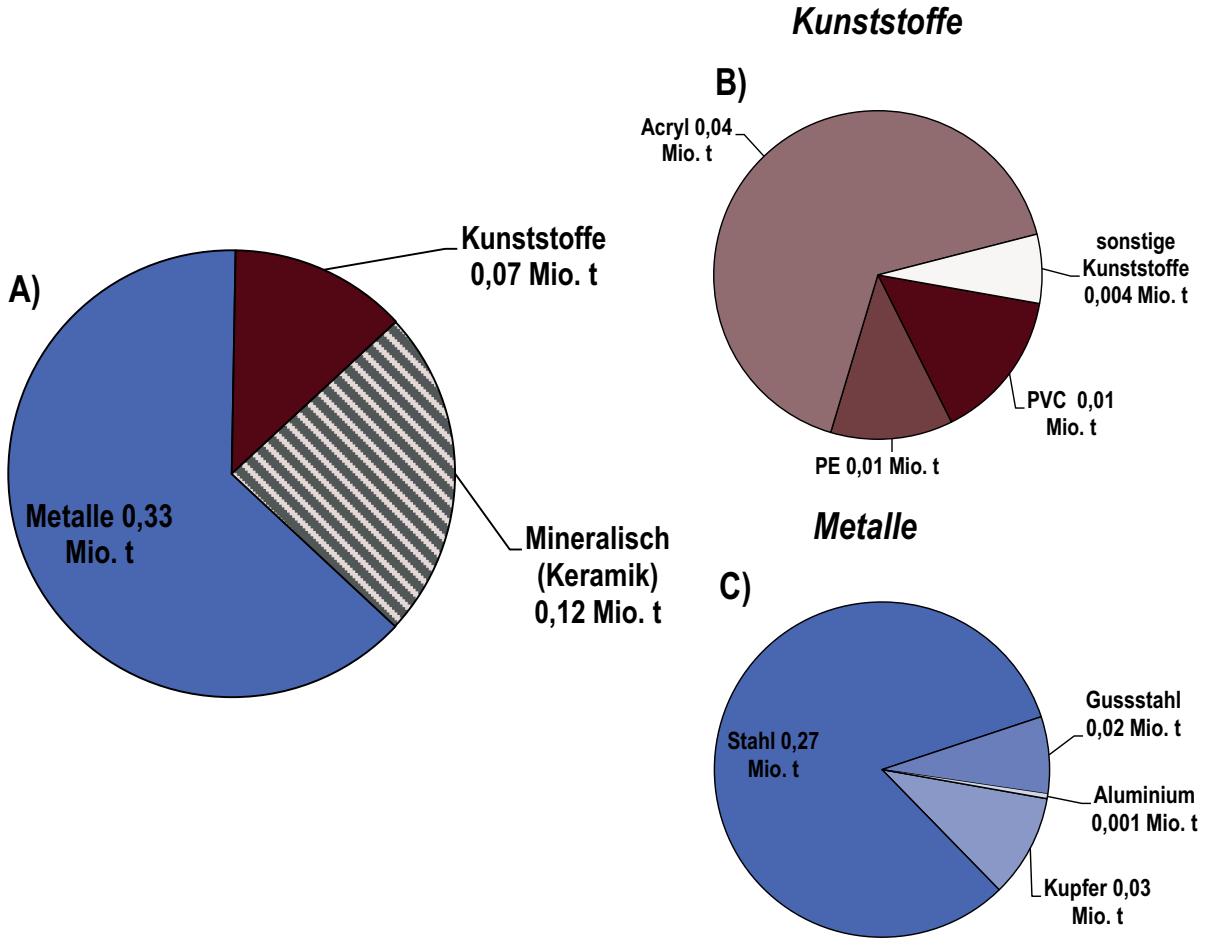
Wohngebäude

Während das Materiallager eine Momentaufnahme darstellt, veranschaulichen die Materialflüsse, welcher Veränderungsdynamik das Lager unterworfen ist. Zur Beurteilung der Bestandsveränderungen wurden für das Basisjahr 2010 Stoffflüsse zum In- und Output für die Haustechnik berechnet. Wie zuvor wurden die Materialmengen nach Materialhauptgruppen und Untergruppen differenziert. Die Bestandsveränderungen für den Input enthalten neben der Neubautätigkeit auch die Stoffflüsse der Sanierung. Gleiches gilt für die Output-Ströme, die den Abriss ganzer Gebäude sowie die Flüsse der Sanierung berücksichtigen.

Gegenüber dem Materiallager verschiebt sich die Verteilung der Werkstoffe zugunsten von Keramik, welche etwa ein Viertel der Inputflüsse ausmacht. Auch die Kunststoffe nehmen bei den Flüssen eine größere Bedeutung ein. Dies ist insbesondere den Stoffflüssen durch die Sanierungsmaßnahmen geschuldet sowie der gestiegenen Bedeutung der Kunststoffe gegenüber den Metallen in den Rohrinstallationen. Anders als bei den Baumaterialien für die Gebäudekonstruktion liegt der Material-Input unter den Outputflüssen (vergleiche Abbildung 68 und Abbildung 69).

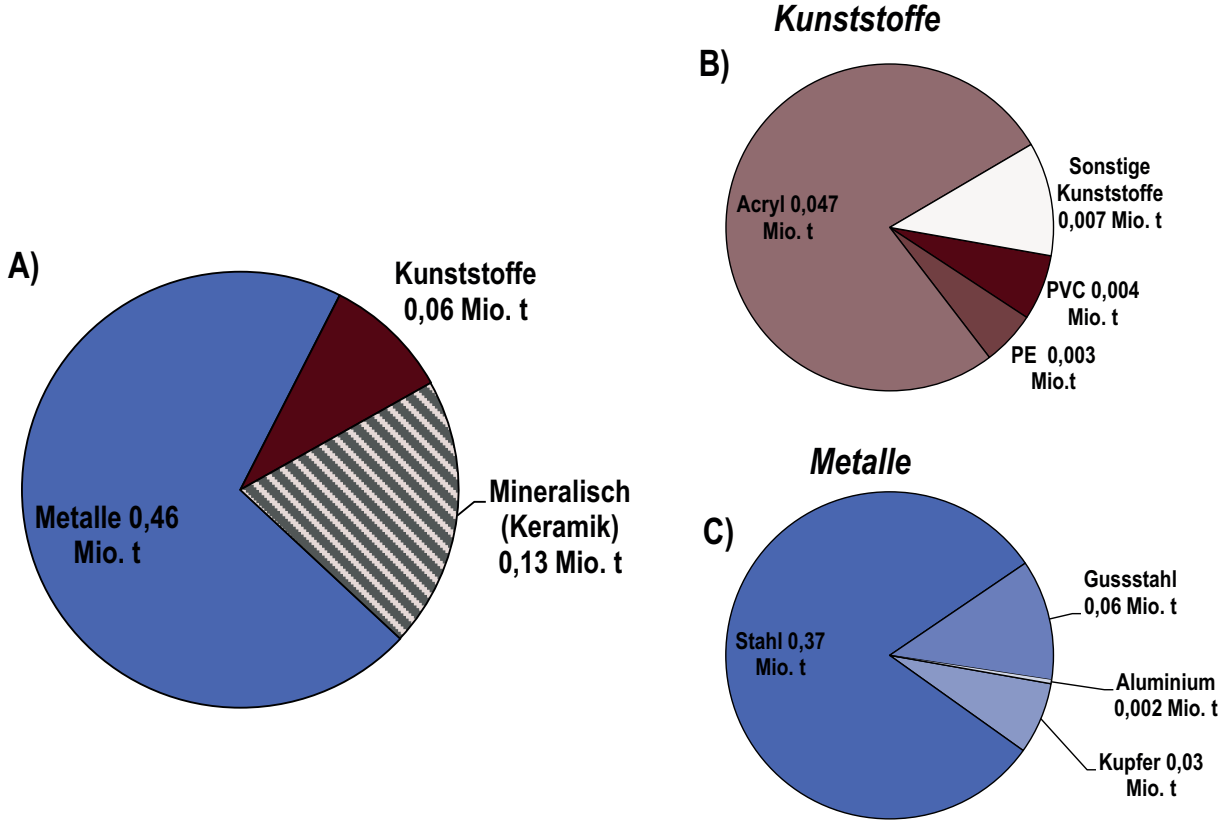
Hintergrund ist die, wie bereits angedeutet, steigende Bedeutung von Kunststoffen in der Haustechnik. Wurden vor 30 Jahren noch mehrheitlich Metalle in der Haustechnik – insbesondere in den Rohrleitungen – verwendet, so hat sich dies in den letzten rund 10 Jahren verändert. Ein weiterer Aspekt ist die steigende Materialeffizienz und technische Entwicklung, die dazu geführt hat, dass beispielsweise Heizkessel heute, gegenüber vor 30 Jahren, um 60 bis 70 % leichter geworden sind. Dies bedeutet, dass durch den Material-Input andere, weniger und leichtere Werkstoffe einfließen, als durch den Output abgehen.

Abbildung 68: Hochrechnung der Material-Inputs durch Haustechnik gegliedert nach Materialhauptgruppen im Bestand der Wohngebäude (A). Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 69: Hochrechnung der Material-Outputs durch Haustechnik, gegliedert nach Materialhauptgruppen im Bestand der Wohngebäude (A). Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen



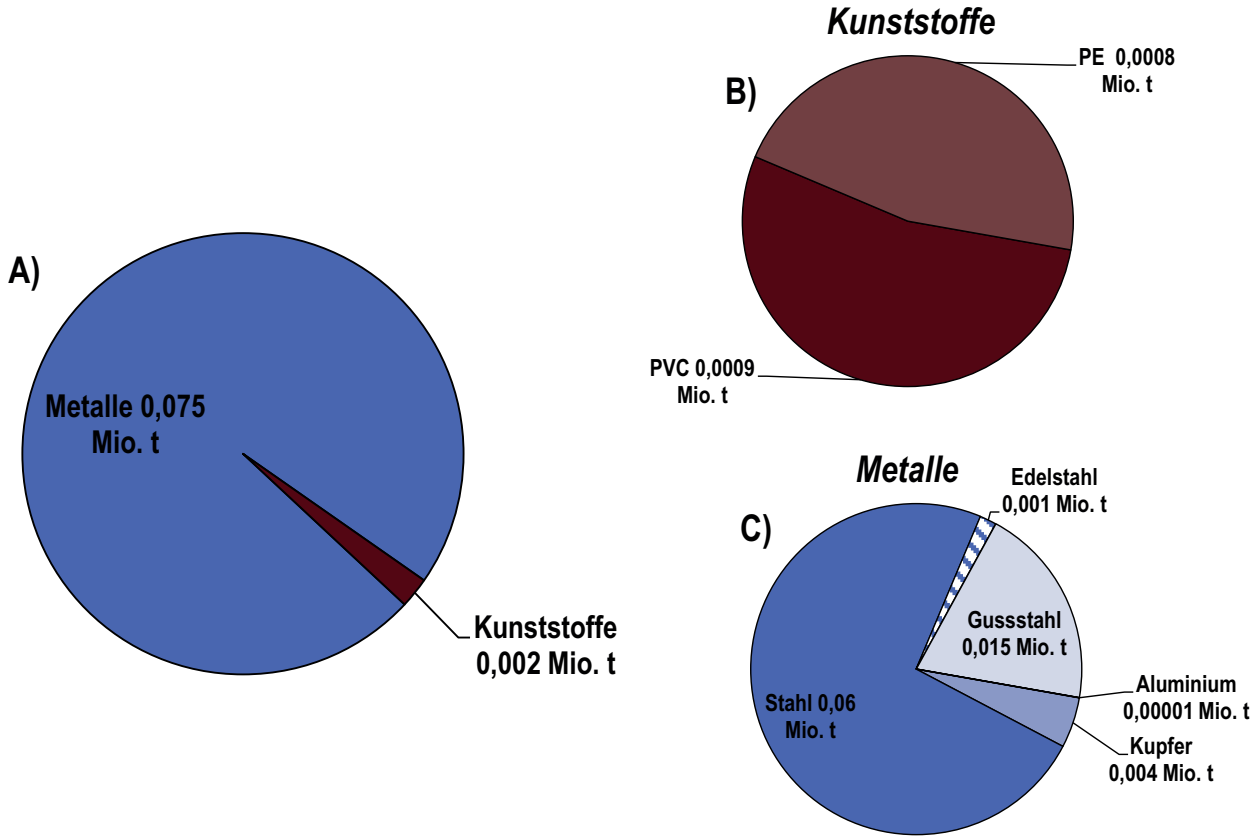
Quelle: eigene Darstellung

Nichtwohngebäude

Die Materialflüsse des Bestands an Nichtwohngebäuden beziehen sich – wie zuvor das Materiallager – lediglich auf die Rohrleitungssysteme. Wie bei den Input- und Output-Strömen der Wohngebäude setzen sich die Flüsse aus dem Neubau bzw. Abriss ganzer Gebäude und den Sanierungsmaßnahmen zusammen und bilden die Stoffflüsse für das Basisjahr 2010 ab. Ein Vergleich zwischen den Stoffflüssen der Wohngebäude und der Nichtwohngebäude ist aufgrund des Umstandes, dass für die Nichtwohngebäude nur die Materialmassen der Rohrleitungssysteme berechnet wurden, nur bedingt möglich.

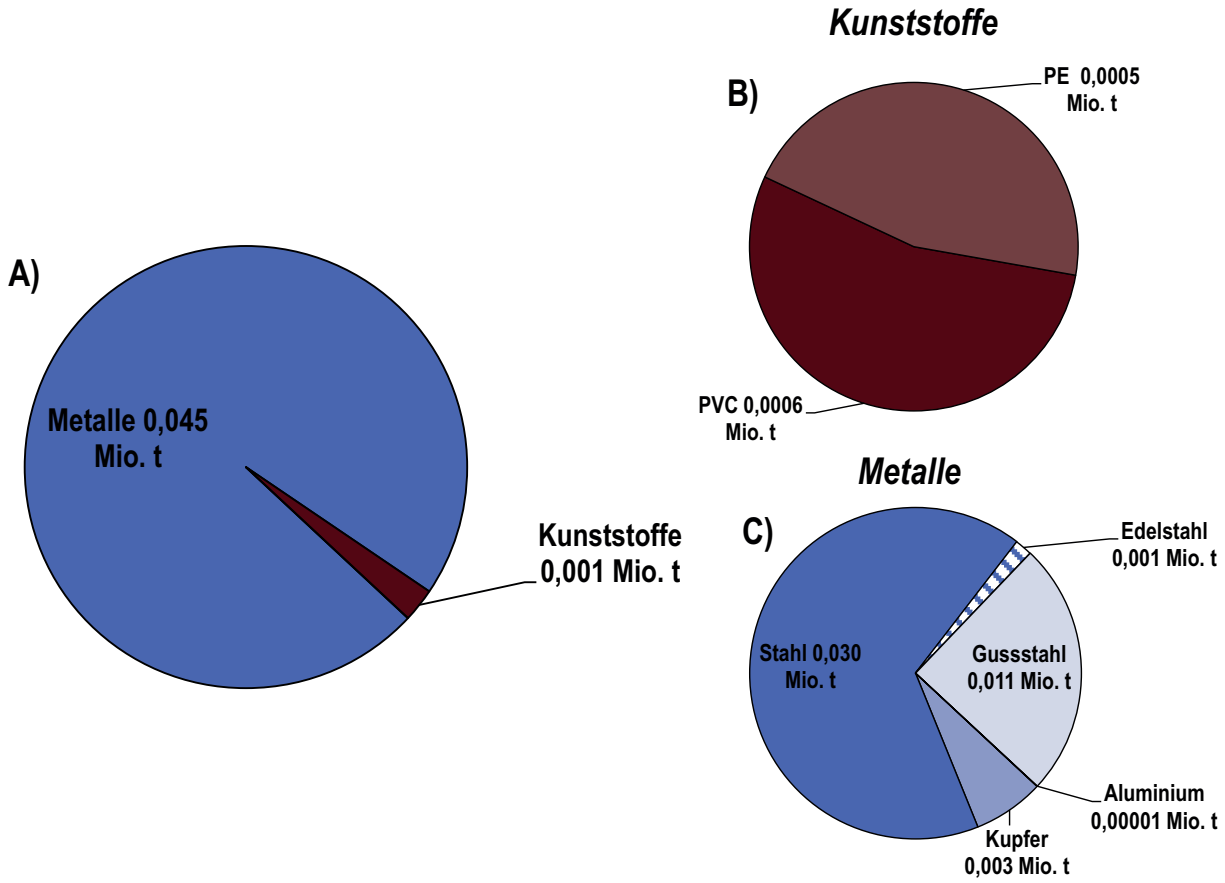
Es zeigt sich, dass aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Rohrleitungssysteme zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden ein gegensätzlicher Saldo zwischen Input und Output besteht. So wächst das Materiallager der Nichtwohngebäude massenmäßig weiter an, was durch die weiterhin hohe Bedeutung der Metalle für die Rohrleitungssysteme gegeben ist. Somit machen die Metalle rund 98 % der Massenströme des Inputs und des Outputs aus (Abbildung 70 und Abbildung 71).

Abbildung 70: Hochrechnung des Material-Inputs durch die Rohrleitungssysteme, gegliedert nach den Materialhauptgruppen für Neubau und Sanierung von Nichtwohngebäuden (A), Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 71: Hochrechnung des Material-Outputs durch die Rohrleitungssysteme, gegliedert nach Materialhauptgruppen für Abriss und Sanierung der Nichtwohngebäude (A), Differenzierung des Materiallagers Kunststoffe (B) und Metalle (C) nach Materialuntergruppen



Quelle: eigene Darstellung

6.1.4.6 Kritische Punkte und Umgang damit

An dieser Stelle wird auf kritische Punkte, den Umgang damit und methodische Ansätze bzw. Konzepte für die Fortschreibung eingegangen.

Wohngebäude

Aufgrund der großen Heterogenität der unterschiedlichen, zuvor beschriebenen Berechnungssystematiken der Bereiche Haustechnik und Sanitärausstattung erfolgt nachfolgend die Reflexion für die einzelnen Bereiche jeweils separat.

6.1.4.6.1.1 Heizungsanlagen und Wärmeerzeuger

Die Hochrechnungen des Materiallagers im Bestand der Heizungsanlagen beruhen auf Wärmeenergieverbräuchen, die durch die ARGE 2010 ausgewertet wurden und darauf abgeleiteten Wärme-Leistungskennzahlen. Die Berechnungen der Wärme-Leistungskennzahlen erfolgten über eine grobe Abschätzung mittels Volllaststunden, die auf Erfahrungswerten und Untersuchungen beruhen, und Jahresnutzungsgraden der Anlagen, die ebenfalls über Erfahrungswerte und Herstellerangaben bekannt sind. Dennoch birgt dies die Gefahr von Abweichungen, deren Größenordnung auch nur schwer abgeschätzt werden kann. Als Plausibilitätskontrolle wurden mit der gleichen Vorgehensweise Wohngebäude mit den darin befindlichen Anlagen berechnet, deren Wärmeleistung im Vorfeld

bekannt war. Im Mittel lag die Abweichung zwischen den berechneten und den realen Wärmeleistungen bei rund 8 % unter den tatsächlichen Wärmeleistungen. Dabei reichen die berechneten Werte von einer Unterschätzung um 26 % bis zu einer Überschätzung um 35 %.

Eine weitere Unsicherheit stellen die spezifischen Massen der Heizungsanlagen und die Verteilung, Struktur und Materialzusammensetzung dieser dar. Auch hier ist eine Abschätzung der Unsicherheiten nur bedingt möglich. Die spezifischen Massen von Heizungsanlagen basieren vorrangig auf Angaben von Herstellern und bilden die Technik der letzten 5 - 10 Jahre ab. Wie eine Broschüre des Anlagenherstellers Viessmann anschaulich darstellt, hat sich jedoch das Gewicht von Heizungsanlagen in den letzten 20 Jahren bei gleichbleibender Leistung um bis zu 63 % verringert (Viessmann 2011). Dies führt bei der Berechnung zu einer Unterschätzung der spezifischen Massen bei den älteren Anlagen. Die Zusammensetzung der Werkstoffe und deren prozentuale Anteile sind ebenfalls nur sehr eingeschränkt möglich. Hierzu konnte auch nur auf die Angaben der Hersteller zurückgegriffen werden, welche jedoch nur den Werkstoff der Brennkammer und der Hülle nennen.

Für Verteilung, Struktur und Materialzusammensetzung liegen zwar auf Basis vereinzelter Studien und Erhebungen Daten zu Anzahl, Alter von öl- und gasbefeuerten Heizungsanlagen sowie Aufteilung auf Ein- und Zweifamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser vor (Schornsteinfeger 2010, IWU 2010), doch sind diese nicht direkt vergleichbar. Zum einen unterscheiden sich die Untersuchungen grundlegend in der Zielstellung und betrachten unterschiedliche Datenbestände, zum anderen ist eine eindeutige Zuordnung auf bestimmte Gebäudebestände nur bedingt möglich. Auch die Verknüpfung mit den Daten der amtlichen Statistik ist nur eingeschränkt möglich. Insbesondere die Anzahl an gebäudezentralen Heizungsanlagen oder wohnungsweisen Heizungsanlagen im Bestand der Wohngebäude mit zwei Wohneinheiten ist nur bedingt einschätzbar, denn nicht jede Wohneinheit hat auch ihre eigene Heizungsanlage. Dies führt zusammen genommen zu einer Unsicherheit bei der Schätzung der Anzahl der Heizungsanlagen.

6.1.4.6.1.2 Rohrleitungsnetze im Wohngebäudebestand

Das Materiallager der Rohrleitungsnetze wurde wie im entsprechenden Absatz beschrieben über die Berechnungsvorschriften und Formeln der DIN 18599 berechnet. Aufgrund der derzeitig hohen Bedeutung von Energieeinspar- und Energieeffizienzfragen ist die Datengrundlage als gut einzuschätzen und drückt sich in der höheren Anzahl an Untersuchungen zu diesem Sachverhalt aus. Hierzu ist insbesondere die Untersuchung von Wolff et al. 2012 hervorzuheben. Wolff et al. 2012 untersuchten in ihrer Studie die energetischen Verluste und Effizienzeinbußen von Heizungs- und Trinkwassernetzen in Mehrfamilienhäusern. Darin verwenden sie neben verschiedenen Berechnungsformeln für die Leitungslängen von Rohrnetzen u. a. auch die Berechnungsvorschriften der DIN 18599 und machen Aussagen über die Längenunterschiede zwischen den berechneten und den tatsächlich vorliegenden Rohrleitungslängen. Insgesamt benennen Wolff et al. 2012 die berechneten Leitungslängen als angemessen und kommen zu dem Ergebnis, dass diese gute Übereinstimmungen mit der Realität liefern. Demnach sind die durch die Berechnungsformeln ermittelten Unsicherheiten bei den Leitungslängen als niedrig einzustufen.

Eine weit größere Unsicherheit bildet die Umrechnung der durch die amtliche Statistik zugrundeliegenden Wohnflächen in Gebäudenutzflächen, auf denen die Berechnungen der DIN 18599, beruhen. Die hier verwendeten Korrekturfaktoren von 1,3 für den Ein- und Zweifamilienhausbestand und 1,2 für den Mehrfamilienhausbestand sind in mehreren Studien genannt worden, doch stellen diese nur eine ungefähre Größenordnung dar. Wie groß hier die Unsicherheit ist, ist nicht bekannt, da es keine Daten zur Gebäudenutzfläche (AN nach EnEV) deutschlandweit gibt. Dies ist auch dadurch bedingt, dass die Gebäudenutzfläche eine erst mit der EnEV 2001 eingeführte Größe ist, die nur über das beheizte Gebäudevolumen bestimmt wird.

Hieran schließen sich direkt die Unsicherheiten der prozentualen Verteilung der unterschiedlichen Rohrnetztypen und der verbauten Werkstoffe an. Es wurde versucht, über eine umfassende Literaturrecherche und Plausibilitätsabwägungen die Unsicherheiten so gering wie möglich zu halten. Dennoch gehen die Autoren davon aus, dass an dieser Stelle die größten Unsicherheiten vorliegen. Allein die Aufteilungen der Werkstoffe und Nennweiten der Rohre können, aufgrund der spezifischen Massen der einzelnen Werkstoffe, zu größeren Abweichungen im Materiallager führen. So liegt das spezifische Gewicht von Kunststoffrohren zwischen 0,04 kg/lfm und 1,0 kg/lfm. Demgegenüber liegt das spezifische Gewicht von Stahlrohren zwischen 0,7 kg/lfm und 5,6 kg/lfm. Dies entspricht einem Faktor von rund 6 bis 18. Zum Vergleich können den eigenen Berechnungen die Untersuchungen von Wittmer 2006, in der den Kupferbestand für eine Region in der Schweiz mittels sogenannter ARK-Häuser berechnet hat, gegenübergestellt werden. Auf Basis der ARK-Häuser benennt Wittmer 2006 spezifische Massen, die Installationsdichte und den potenziellen Kupfergehalt, der sich in der Produktgruppe Heizungsrohre befindet. Die Tabelle 23 stellt die von Wittmer berechneten und die innerhalb dieser Arbeit berechneten Kennwerte für Heizungsrohrnetze gegenüber. Eine Gegenüberstellung der Rohrleitungen für Trinkwasser ist in Tabelle 24 aufgeführt.

Tabelle 23: Gegenüberstellung der spezifischen Kennwerte für Heizungsrohrnetze von Wittmer 2006 und den eigenen Berechnungen

Nutzungstyp	Wittmer 2006			Eigene Berechnungen		
	spezifische Masse [kg/lfm]	Installationsdichte [lfm/m² BGF]	potenzieller Kupfergehalt [kg/m² BGF]	spezifische Masse [kg/lfm]	Installationsdichte [lfm/m² AN]	potenzieller Kupfergehalt [kg/m² AN]
EFH	0,76	0,90	0,68	0,47	0,84	0,39
MFH				0,77	0,66	0,51

Quelle: eigene Darstellung

Die hier von Wittmer 2006 gegenübergestellten Werte zeigen, dass sich die berechneten Kennwerte in den einzelnen Bereichen nicht stark voneinander unterscheiden. Insgesamt summieren sich diese jedoch und führen zu einem entsprechend größeren Unterschied beim potenziellen Kupfergehalt (vgl. Tabelle 23). Demnach liegt der potenzielle Kupfergehalt in Heizungsrohren der eigenen Berechnungen für EFH um 40 % und für MFH um 25 % niedriger als der von Wittmer 2006 bezifferte Wert. Im Bereich der Trinkwasserrohrnetze zeigen sich hingegen stärkere Übereinstimmungen bei der spezifischen Masse und der Installationsdichte und somit auch beim potenziellen Kupfergehalt. Dieser liegt mit 0,24 kg/m² Bezugsfläche (EFH) und 0,32 kg/m² Bezugsfläche (MFH) nahe dem durch Wittmer 2006 ausgewiesenen Kennwert von 0,29 kg/m² Bezugsfläche.

Tabelle 24: Gegenüberstellung der spezifischen Kennwerte für Trinkwassernetze von Wittmer 2006 und den eigenen Berechnungen.

Nutzungstyp	Wittmer 2006			Eigene Berechnungen		
	spezifische Masse [kg/lfm]	Installationsdichte [lfm/m² BGF]	potenzieller Kupfergehalt [kg/m² BGF]	spezifische Masse [kg/lfm]	Installationsdichte [lfm/m² AN]	potenzieller Kupfergehalt [kg/m² AN]
EFH	0,58	0,5	0,29	0,47	0,51	0,24
MFH				0,77	0,42	0,32

Quelle: eigene Darstellung

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass Wittmer 2006 als Bezugsfläche die Bruttogeschossfläche benennt und in den eigenen Berechnungen die Gebäudenutzfläche verwendet wurde. Dennoch ist davon auszugehen, dass dies nur einen untergeordneten Einfluss auf das Gesamtergebnis hat. So wird die Bruttogeschossfläche in Korda (2005) über die Wohnfläche auch mit einem Korrekturfaktor von 1,22 bis 1,32 berechnet, was in etwa den für die Gebäudenutzfläche verwendeten Korrekturfaktoren von 1,3 (EFH) und 1,2 (MFH) entspricht.

6.1.4.6.1.3 Wärmeübertragung (Heizkörper)

Wie im Bereich der Heizungsanlagen und Wärmeerzeuger beruhen die Berechnungen des Materiallagers in den Heizkörpern auf den berechneten Wärme-Leistungskennwerten. Dies bedeutet, dass die bereits zuvor genannten Unsicherheiten bei der Berechnung der Heizungsanlagen, in Bezug auf die Leistungskennwerte, auch hier zutreffen.

Darüber hinaus mangelt es bei den Berechnungen im Bereich der Heizkörper auch an Informationen zu der Art, Leistung, Betriebstemperatur und Material der verbauten Heizkörper. Zwar wurde versucht, mittels Literaturrecherche und Plausibilitätsabwägungen die Unsicherheiten so gering wie möglich zu halten, jedoch fehlt es vor allem auch an einer Kontrollgröße, an der man sich orientieren könnte. Wie bei den Rohrnetzen unterscheiden sich die spezifischen Kennwerte für Heizkörper und dem darin enthaltenen Materiallager je nach Werkstoff bis um den Faktor 12 (Gussstahlradiator gegenüber einem Plattenheizkörper aus Stahlblech).

Eine große Unsicherheit stellt hier insbesondere der noch vorhandene Anteil an Gussstahl und Stahlgliederradiatoren, aufgrund ihrer hohen spezifischen Stoffkennwerte, dar.

6.1.4.6.1.4 Sanitärausstattung

Die Hochrechnung des Materiallagers sanitärtechnischer Ausstattungen weichen von den bisherigen Berechnungen in ihrer Systematik am deutlichsten von den anderen Bereichen ab. Hier wurde aufgrund fehlender relevanter Vorschriften und Untersuchungen ein Ansatz über die Haushaltsgröße, Wohnungsgröße und die durchschnittliche Wohnfläche je Person in einem Haushalt und den Empfehlungen der VDI-Richtlinie 6000 „Ausstattung von und mit Sanitärräumen: Wohnungen“ abgeschätzt.

Unsicherheiten sind hierbei vor allem bei der Berechnung der Haushaltsgrößen und dem Ausstattungsgrad in den Wohnungen zu nennen. Welche Dimensionen diese haben, ist jedoch nur schwer schätzbar. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse eine untere Grenze darstellen. Demnach ist es möglich, dass das Materiallager um bis zu 33 bis 50 % größer ist; möglicherweise sogar noch darüber.

6.1.4.6.1.5 Zusammenfassung

Insgesamt zeigen sich teils erhebliche Unsicherheiten bei der Berechnung des Materiallagers in der Haustechnik und der Sanitärausstattung im Bestand der Wohngebäude. Die größten Unsicherheiten sind vermutlich in den folgenden Aspekten/Punkten zu finden:

- Korrekturfaktoren für Fläche
- Aufteilung der Werkstoffe im Bestand
- Aufteilung der Ausstattung (Rohrnetztypen, Heizungsanlagen, Heizkörper)
- Ausstattung im Sanitärbereich
- Wärme-Leistungskennwerte
- Fehlende Ausstattungsgegenstände der Haustechnik

Zum letzten Punkt ist zu sagen, dass die hier dargelegten und berechneten haustechnischen Installationen den mengenmäßig größten Anteil der Ausstattungsgegenstände und Anlagen (und auch mas-

senbezogen) den Großteil der Haustechnik abbilden. Dennoch ist darauf hinzuweisen, dass beispielsweise mit der elektrischen Verkabelung, den Wasserspeichern, Druckausgleichsbehältern, Flächenheizungen, Lüftungsanlagen sowie Gebäudeerschließungsinstallationen (Fahrstühle, Rolltreppen) teils zentrale haustechnische Installationen und Anlagen fehlen (vergleiche Tabelle 19). Eine Hochrechnung dieser Installationen und Anlagen war jedoch innerhalb des Projekts aufgrund unterschiedlichster Punkte nicht leistbar. Hierzu gehören vor allem die enorme Heterogenität und der Umfang der technischen Ausstattungen sowie die bislang fast vollständig fehlende Datengrundlage. Eine Schätzung auf Basis von Wittmer 2006, Wagner J. et al. (2012) und Erdmann L. et al. (2004) zeigen eine sehr große Bandbreite des in der Verkabelung von Gebäuden gebundenen Kupferlagers. Demnach wurden, in Anlehnung an Wittmer 2006, für das Jahr 2010 rund 7.140 t Kupfer in Strom-, Informations- und Kommunikationskabeln verbaut. In Anlehnung an Wagner J. et al. (2012) und Erdmann L. et al. (2004) liegt die in der elektrischen Gebäudeinstallation verbaute Kupfermenge für 2010 zwischen 190.000 und 240.000 t. Diese enorme Spanne lässt vermuten, dass zum einen bei Wittmer 2006 nicht alle Bereiche bzw. Bauten (Kleinstgebäude und Ferienhäuser) berücksichtigt wurden und zum anderen, dass die Ansätze via Wagner et al. (2012) und Erdmann et al. (2004) sehr wahrscheinlich zu wenig differenziert sind und dadurch auch Bereiche berücksichtigen, die nicht in die eigentliche gebäudetechnische Installation gehören. Auch Beförderungssysteme wie Rolltreppen und Fahrstühle binden vermutlich verhältnismäßig große Massen an Metallen, auch wenn diese wie im Falle der Rolltreppen nur in Kaufhäusern bzw. vergleichbaren Einrichtungen zu finden sind und Fahrstühle lediglich in größeren Mehrfamilienhäusern und Dienstleistungsgebäuden. Insgesamt besteht hier jedoch noch ein erhöhter Forschungsbedarf, um das wahre Ausmaß der haustechnischen Ausstattung und dessen Materiallager abschätzen zu können.

Es ist davon auszugehen, dass die durch die Untersuchung abgedeckten haustechnischen Anlagen die Mehrheit der Haustechnik im Wohngebäudebestand darstellt und somit auch den Großteil der verbauten Materialien.

Nichtwohngebäude

Die Betrachtung kritischer Punkte zur Hochrechnung des Materiallagers der Rohrleitungssysteme im Nichtwohnungsbau gleicht in großen Teilen den bereits im Abschnitt der Wohngebäude dargelegten Problemen, insbesondere die geringe Datenlage zu den eingesetzten Netztypen und den verwendeten Materialien in den Rohrsystemen.

Nachfolgend wird lediglich auf die speziell die Nichtwohngebäude betreffenden kritischen Punkte eingegangen.

Die problematische Datenlage bei Nichtwohngebäuden betrifft vor allem die Aspekte der Gebäudetypen, die Ausstattung mit Rohrleitungsnetzen und die eingesetzten Werkstoffe. Nichtwohngebäude aus den Bereichen Schwerindustrie, produzierendes Gewerbe und landwirtschaftliche Betriebsgebäude sind bei der Einschätzung und Berechnung der Rohrleitungssysteme besonders schwierig.

Für die anderen haustechnischen Installationen können, da diese nicht eingehender behandelt wurden, an dieser Stelle nur konzeptionelle und generelle Aspekte aufgezeigt werden. So ist eine Übertragbarkeit der Systematik von Wohngebäuden im Bereich der Sanitärausstattung nicht direkt gegeben. Hier muss die Systematik stärker angepasst werden. Dies wird jedoch durch den Umstand erleichtert, dass es vor allem für den Bestand der öffentlichen Bauten in der Regel Normen und Vorschriften gibt, die Aussagen zur sanitären Ausstattung machen. Bei gewerblichen und industriellen Betriebsstätten gelten gewisse Orientierungswerte und Vorschriften bei der Sanitärausstattung, die herangezogen werden können.

Auch die Abschätzung und Bestimmung des Materiallagers und dessen Flüsse für die Heizungsanlagen stellen einen sehr heterogenen Bereich dar, für den auch keine allgemeingültigen Aussagen vorliegen. So können zwar für wohnungsbauähnliche Nichtwohngebäude vergleichbare Ansätze wie für die Wohngebäude verwendet werden. Für die Nichtwohngebäude der Bereiche Industrie und produzierendes Gewerbe sowie Forschungseinrichtungen, Bildung, Bäder usw. können hingegen keine fundierten Aussagen getroffen werden.

6.1.5 Langlebige Konsumgüter

6.1.5.1 Erfassung langlebiger Konsumgüter

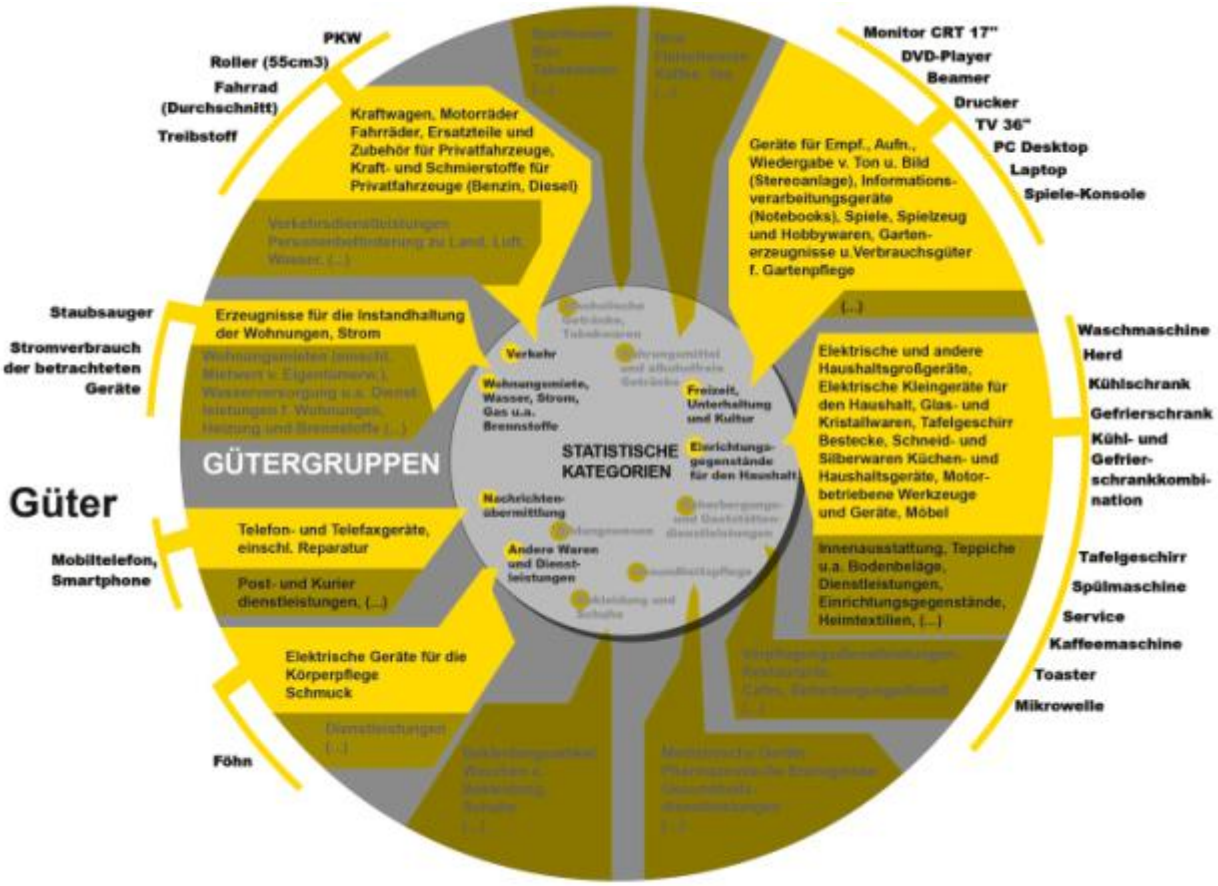
Für langlebige Konsumgüter erfolgen die Abschätzungen des jährlichen Verbrauchs an Rohstoffen auf der Basis von Sachbilanzdaten von rund 30 langlebigen Haushaltsgütern. Für diese Auswahl an langlebigen Haushaltsgütern werden die sachbilanziellen Inventardaten (z. B. die Bill of materials eines Kühlschranks) mit der Summe aus jährlich in Deutschland produzierter Menge und den Nettoimporten der jeweiligen Haushaltsgüter multipliziert. Zumeist liegen nur Materialinventare für ein bestimmtes Produkt je Güterkategorie vor, das als Standard für die gesamte Produktgruppe gewertet werden muss. Die Abschätzung des Materialbestandes und damit des Bestandes an langlebigen Haushaltsgütern erfolgt über zwei Wege:

- Für die statistisch erfassten Haushaltsgüter[74] kann unter Berücksichtigung der Zahl der Haushalte in Deutschland und des Ausstattungsgrades eine Abschätzung des Bestands vorgenommen werden. Dies sind vor allem Haushaltsgroßgeräte (weiße Ware), Heimelektronik, Mobilitätsgüter und Telekommunikationsgeräte. Allerding werden die EVS-Daten (Einkommens- und Verbrauchsstichprobe, EVS) nur alle 5 Jahre erhoben. Die aktuellsten Daten liegen für 2013 (Destatis 2013b) vor und lösen damit die EVS mit Basisjahr 2008 (Destatis 2008) ab. Da in der EVS 2013 ein umfangreicheres Set an Haushaltsgütern abgefragt wurde als in der EVS 2008, sind die Bestandsdaten mit dem Ausstattungsbestand von 2013 hochgerechnet, obgleich damit eine Überschätzung neuer Haushaltsgüter wie Smartphones und Flachbildschirmen einhergeht.
- Für die restlichen Haushaltsgüter, für die Materialinventardaten vorliegen, die aber nicht in der EVS abgefragt wurden, muss alternativ eine Hochrechnung des Bestandes über die angenommene Lebensdauer und den jährlichen Konsum dieser Produkte erfolgen. Diese betrifft vor allem kleinere Haushaltsgüter, wie Toaster oder Kaffeemaschinen. Mit einer relativ kurzen Lebensdauer von z. B. 3 Jahren für Toaster ist es zulässig, die jährlichen Absatzmengen mit der Lebensdauer zu multiplizieren und so einen Bestand dieser Geräte abzuschätzen.

Die Spannbreite der erfassten Haushaltsgüter reicht von sogenannter „Weißer Ware“ (Waschmaschinen, Kühlschrank etc.), Küchenkleingeräten (Toaster, Kaffeemaschine etc.) über Heimelektronik (wie TV und DVD-Player), Telekommunikationsgeräten und Computern (mobil und Desktop), Beförderungsmitteln (wie PKW und Fahrräder). Diese sind im äußereren Kreis der Abbildung 72 aufgeführt. Die Auswahl der Haushaltsgüter orientiert sich einerseits an Kategorien des statistischen Warenkorbes (innerer Kreis in Abbildung 72) und den daraus ableitbaren Gütergruppen langlebiger Haushaltsgüter (mittlerer Kreis in Abbildung 72), aber auch der vorhandenen Datenbasis. So wäre z. B. der gesamte Heimwerkerbereich ein durchaus interessanter Teil des Materiallagers der privaten Haushalte. Jedoch lagen weder Materialinventardaten noch Daten über die Ausstattung der Haushalte mit Bohrmaschinen oder Stichsägen etc. vor. Zusätzlich wurde noch aus externen Quellen (Steinbeis Research Center for Financial Services 2010) der Besitz an Gold- und Silberschmuck in den privaten Haushalten erfasst, die aber nur den Bestand und nicht die jährlichen Flüsse betreffen.

[74] Destatis (2013b): Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten Gebrauchsgütern.

Abbildung 72: Auswahl der untersuchten Haushaltsgüter



Quelle: Zwischenbericht UFOPLAN-Projekt „Nachhaltige Wohlstandsniveaus der privaten Haushalte (FKZ 3711 14 105)

Wie angedeutet, ist es mit den vorhandenen Daten nicht möglich, z. B. zwischen einem Herd mit Ceranfeld und einem Induktionsherd zu unterscheiden. Problematisch ist zudem, dass die vorliegenden Materialinventare zum Teil schon veraltet sind und die technische Erneuerungsrate, gerade im Bereich der Heimelektronik und Telekommunikation, sehr hoch ist. Man denke nur an die komplette Ablösung von herkömmlichen Kathoden-Fernsehgeräten und Computermonitoren durch LED- und Plasmabildschirme in nur wenigen Jahren.

Die Outputflüsse langlebiger Konsumgüter ergeben sich wie in der Mehrzahl der Infrastrukturbestandteile aus der Nutzungsdauer dieser Güter. Diese wurde im Rahmen des UBA-Projektes „Global Nachhaltige Wohlstandsniveaus der privaten Haushalte“ in einer repräsentativen Umfrage telefonisch ermittelt. Dabei unterscheiden sich die Nutzungsdauern je nach Haushaltsgröße[75]. Für die Fragestellung des KartAL1-Projektes wird hingegen mit einer gemittelten Nutzungsdauer gerechnet, da die Haushaltsgröße kein Kriterium in der Untersuchung dieses Projektes darstellt. Aus diesen Nutzungsdauern kann auch ohne Kenntnisse zur Altersverteilung des Bestandes an Haushaltsgütern die

[75] Jedoch in Abhängigkeit des Haushaltsgutes: Während für viele Geräte in größeren Familien (5 Personen und mehr) die Nutzungsdauer kürzer ist als in 1 bis 2 Personen-Haushalten und dies durch eine intensivere Nutzung begründet werden kann, ergab die Befragung für die Güter PKW, Desktop-PC und mobile PC längere Nutzungsdauern in Hashalten mit 5 Personen und mehr als bei 1 bis 2-Personen-Haushalten bzw. 3 bis 4 Personen-Haushalten.

Outputflüsse abgeschätzt werden. Die Outputflüsse wurden mit den in der Tabelle 25 gezeigten Jahren mit Nachkommastelle abgeschätzt und nicht auf volle Jahre gerundet.

Tabelle 25: Warenkorb und Nutzungsdauer der untersuchten langlebiger Konsumgüter in Jahren

Nutzungsdauer langlebiger Konsumgüter	Jahre
PKW	9,00
Motorroller	7,15
Fahrrad	11,82
Telefon mobil / Smartphone	3,09
Fernseher	7,53
DVD Player / Recorder	7,52
Spielekonsole	5,36
PC stationär / Desktop	5,91
Monitor	6,52
PC mobil / Laptop	5,54
Drucker	5,93
Beamer	10,84
Waschmaschine	11,13
Kühlschrank	11,44
Gefrierschrank	12,03
Kühl- und Gefrierschrankkombination	10,85
Spülmaschine	10,55
Mikrowelle	9,90
Toaster	7,52
Elektroherd	12,41
Kaffeemaschine	6,62
Staubsauger	8,26
Föhn	6,35
Speiseservice (inkl. Besteck)	17,98

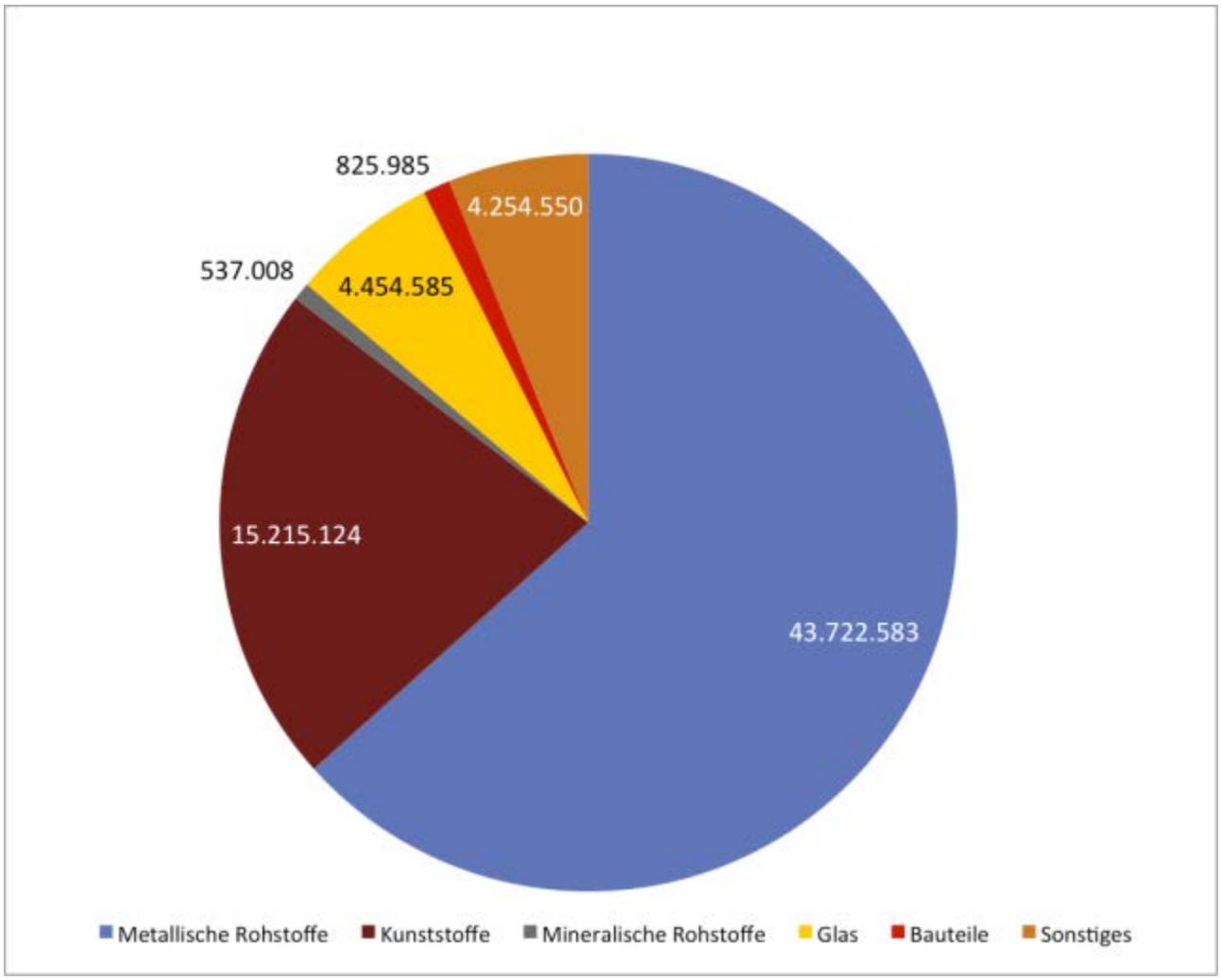
Quelle: eigene Zusammenstellung

6.1.5.2 Materialbestand langlebiger Konsumgüter

Der Materialbestand der ausgewählten langlebigen Haushaltsgüter beträgt 69 Mio. t (Abbildung 73). Fast 60 % des Materiallagers besteht aus metallischen Rohstoffen und diese werden wiederum durch die Massenmetalle Eisen/Stahl (32 Mio. t), Aluminium (3,8 Mio. t) und Kupfer (1 Mio. t) bestimmt. Die Gruppe der Kunststoffe ist sehr breit gefächert, wird aber durch Polypropylen dominiert, das mit 5,48 Mio. t rund ein Drittel der Kunststoffgruppe umfasst. Die Gruppe der sonstigen Materialien um-

fasst ebenfalls eine Vielzahl an unterschiedlichen Materialien. Größere Kategorien sind z. B. Gefrierschutzmittel, Farben oder Öle, aber auch Wolle/Baumwolle[76]. Die Gruppe der Bauteile umfasst wiederum vor allem elektronischen Bauteile wie Displays, Festplatten, Speichermedien, aber auch Batterien.

Abbildung 73: Materialbestand der langlebigen Konsumgüter im Basisjahr 2010 [t]



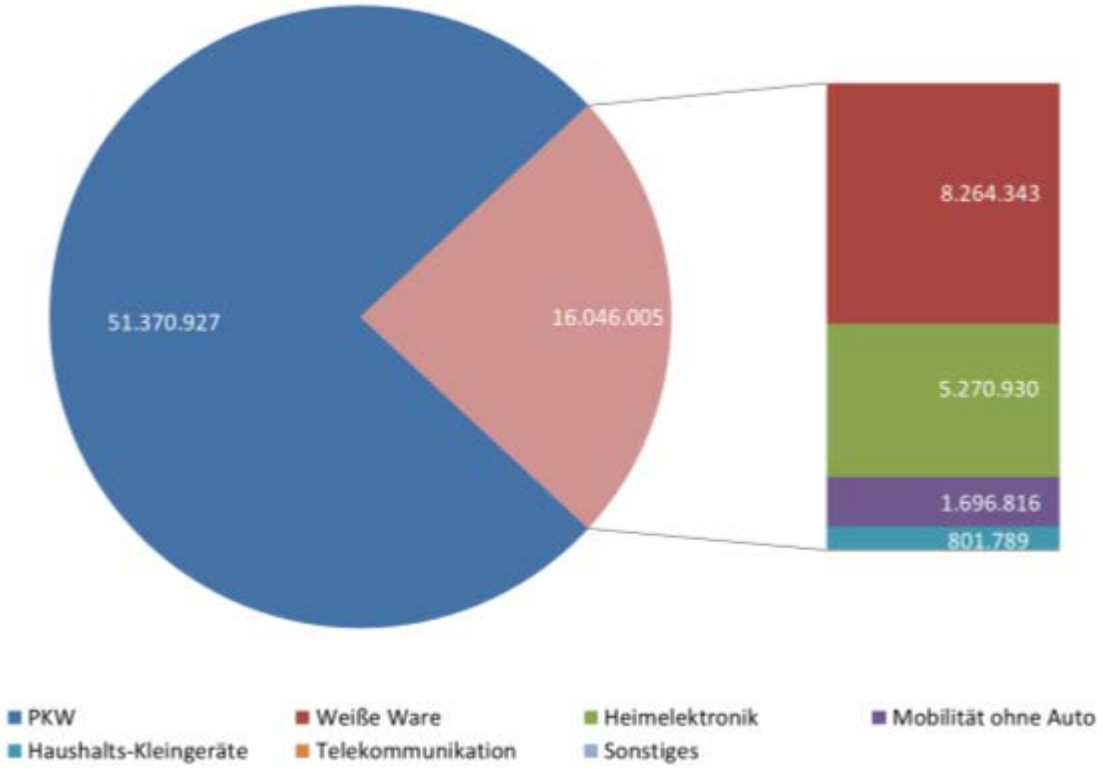
Quelle: eigene Zusammenstellung

Der Materialbestand der langlebigen Konsumgüter wird durch PKW dominiert. Es ist das mit Abstand schwerste untersuchte Haushaltsgut und mit einem Bestand von geschätzt 42,2 Mio. PKW (Ausstattungsbestand laut EVS: 105,4 PKW auf 100 Haushalte) die bestimmende Einflussgröße für den Materialbestand der langlebigen Konsumgüter in Deutschland. PKW mit einem individuellen Materiallager von 51,3 Mio. t bestimmen zu drei Viertel den Materialbestand langlebiger Konsumgüter in privaten Haushalten. Fasst man die Haushaltsgüter zu Gruppen zusammen, folgt als zweitwichtigste Gütergruppe Weiße Ware (8,3 Mio. t), gefolgt von Heimelektronik wie TV und DVD-Player mit zusammen 5,3 Mio. t (Abbildung 74).

[76] Baumwolle/Wolle entstammen der Sachbilanz von PKW bzw. sind Dämmmaterial in Waschmaschinen, also eher technischen Textile. Bekleidung oder Haushaltstextilien sind nicht Teil der Untersuchung gewesen, bilden jedoch einen nennenswerten Bestand an langlebigen Konsumgütern.

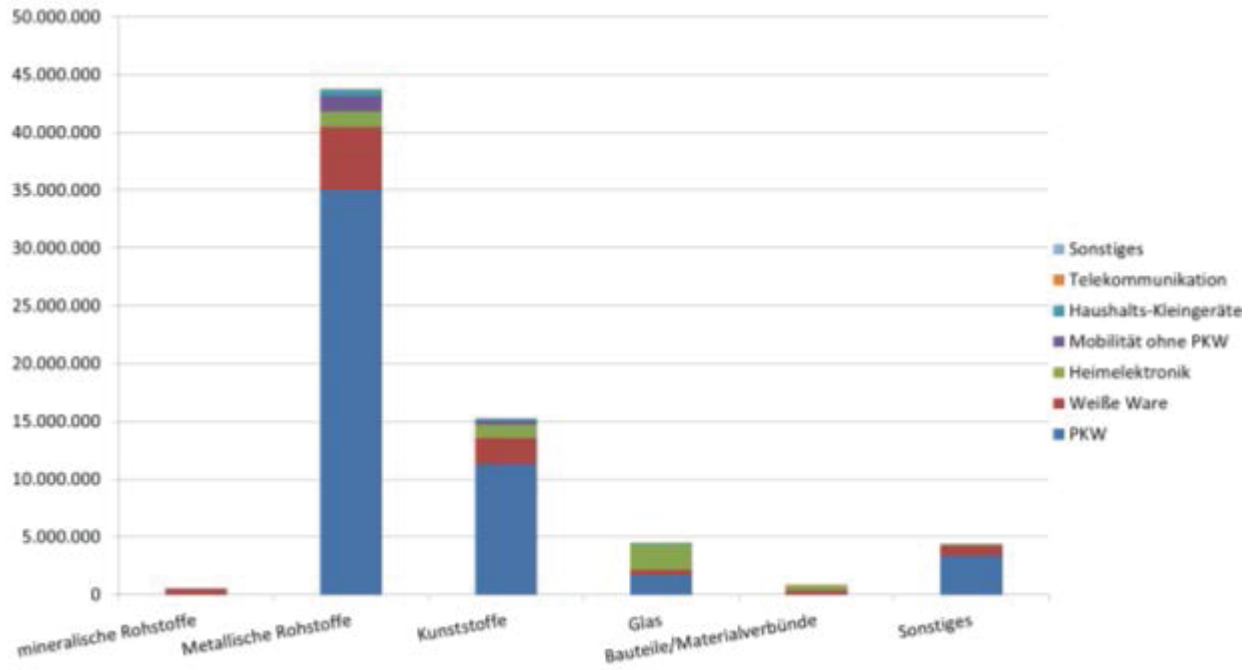
Abbildung 75 führt die Daten der zwei vorherigen Abbildungen noch einmal zusammen und zeigt die relative Bedeutung der einzelnen Haushaltkategorien für den Bestand der einzelnen Materialgruppen auf. Sowohl für metallische Rohstoffe wie auch Kunststoffe sind PKW mit 80 % bzw. 74 % das dominierende Haushaltsgut. Für die Materialgruppe Glas ist dagegen der Bestand an TV-Geräten, Monitoren und Laptops von größerer Bedeutung als der Bestand an PKW. In der Gruppe „sonstiges“ umfasst lediglich das Haushaltsgut „6-teiliges Service und Besteck“.

Abbildung 74: Materialbestand nach Haushaltgütergruppen im Basisjahr 2010 [t]



Quelle: eigene Zusammenstellung

Abbildung 75: Materialbestand unterteilt nach Material- und Gütergruppen im Basisjahr 2010 [t]



Quelle: eigene Zusammenstellung

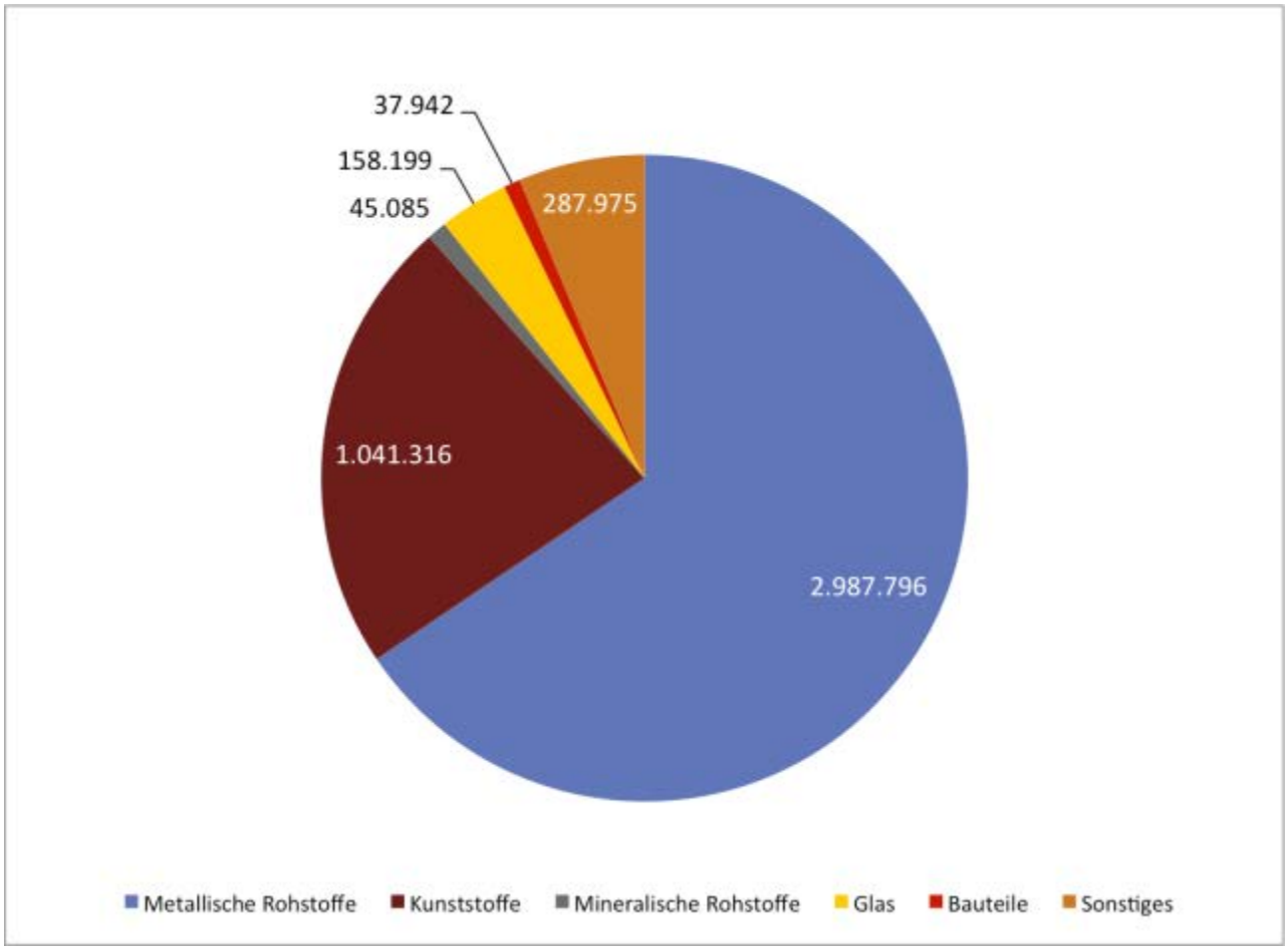
6.1.5.3 Jährliche Materialflüsse langlebiger Konsumgüter

Jährliche Inputflüsse

Die jährlichen Materialmengen für die Herstellung und den Absatz langlebiger Konsumgüter wird über den ermittelten Konsum auf Produktebene abgeschätzt. Dafür werden sowohl die deutsche Produktionsstatistik wie auch die Außenhandelsstatistik zu Rate gezogen. Aus der Formel „Produktion + Importe – Exporte“ lässt sich näherungsweise der Absatz pro Jahr unter Vernachlässigung von Lagerveränderungen abschätzen. Diese Daten wurden im Bereich der Telekommunikation und Heimelektronik durch Branchenangaben des Verbandes BITKOM (2010) modifiziert, da die Qualität der Produktionsstatistik für diese Zwecke mitunter unzureichend ist und Datenlücken beinhaltet.

Mit den so ermittelten Verbrauchszahlen (z. B. 3,25 Mio. verkaufter Kühlschränke oder 10 Mio. Smartphones) und den vorliegenden Materialkennziffern pro Haushaltsgut konnten die jährlichen, differenzierten Materialmengen für den Konsum an langlebigen Konsumgütern abgeschätzt werden. Nach diesen Berechnungen summiert sich die Materialmenge für den Konsum der ausgewählten Konsumgüter im Jahre 2010 auf insgesamt 4,6 Mio. t (Abbildung 76).

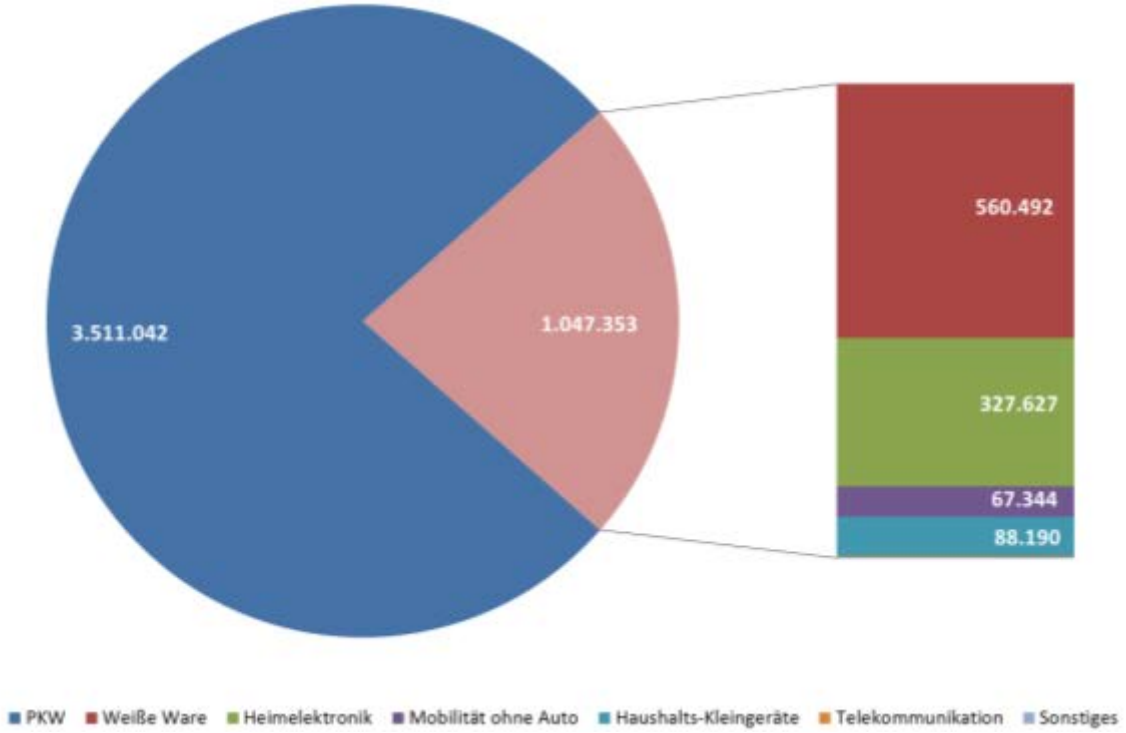
Abbildung 76: Jährlicher Materialinput der langlebigen Konsumgüter im Basisjahr 2010 [t]



Quelle: eigene Darstellung

Die Anteile der Rohstoffkategorien unterscheiden sich nicht wesentlich von denen der Bestandsdaten. Auch hier sind PKW das dominierende Haushaltsgut. PKW sind für 77 % der gesamten jährlichen Material-Inputflüsse verantwortlich (Abbildung 77). Weiterhin sind noch die Gütergruppen Weiße Ware (12 %) und Heimelektronik (7 %) von größerer Bedeutung für die jährlichen Material-Inputflüsse. Haushaltskleingeräte, Telefone und andere Mobilitätsgüter wie Fahrrad oder Motorroller spielen nur ein sehr untergeordnete Rolle.

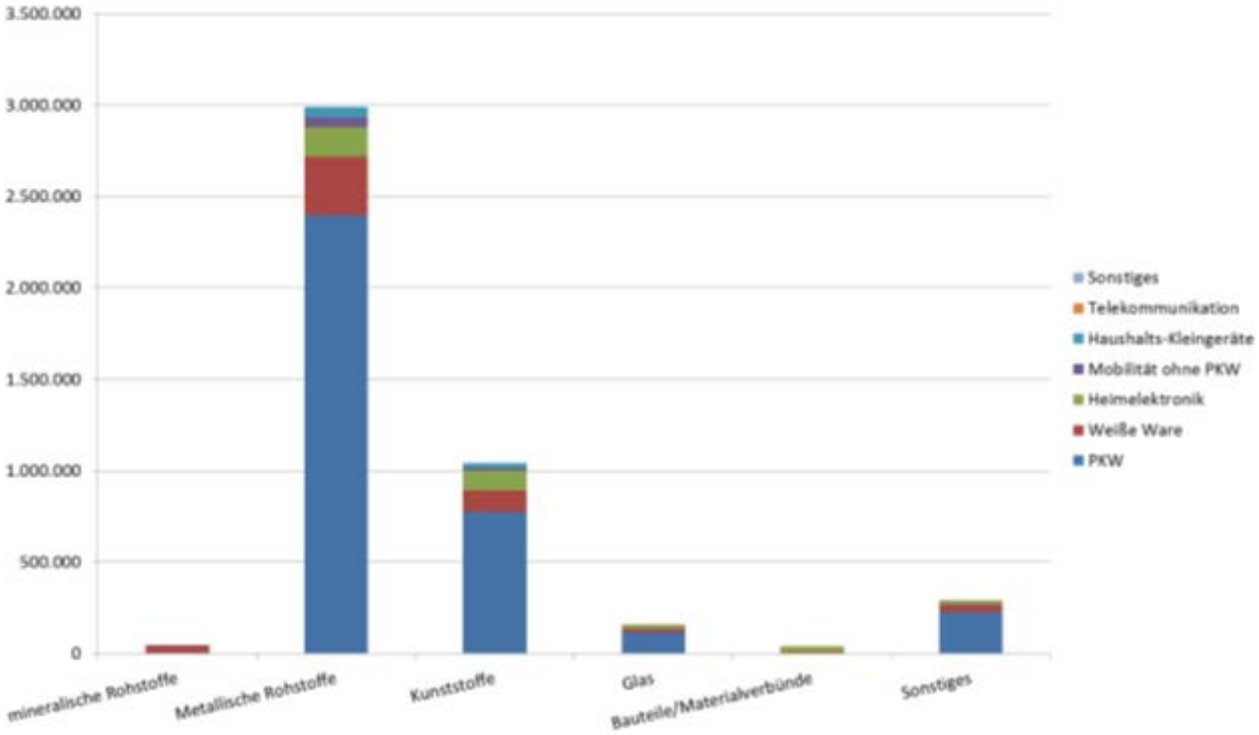
Abbildung 77: Material-Inputflüsse nach Haushaltgütergruppen im Basisjahr 2010 [t]



Quelle: eigene Darstellung

Auch in den jährlichen Material-Inputflüssen sind die metallischen Rohstoffe die dominierende Rohstoffkategorie, die wiederum zu 80 % durch den Kauf von PKW bestimmt wird (Abbildung 78). Auch für die restlichen Materialkategorien stellen PKW die entscheidende Stellgröße für den jährlichen Material-Inputfluss dar. Wie in den Daten für die Materialbestände zeigt sich auch in den jährlichen Flüssen, dass neben PKW die Güter der Weißen Ware und Haushaltselektronik von vorrangiger Bedeutung sind, während Kleingeräte oder Telefone eine weitaus geringere Mengenrelevanz aufweisen.

Abbildung 78: Material-Inputflüsse unterteilt nach Material- und Gütergruppen im Basisjahr 2010 [t]



Quelle: eigene Darstellung

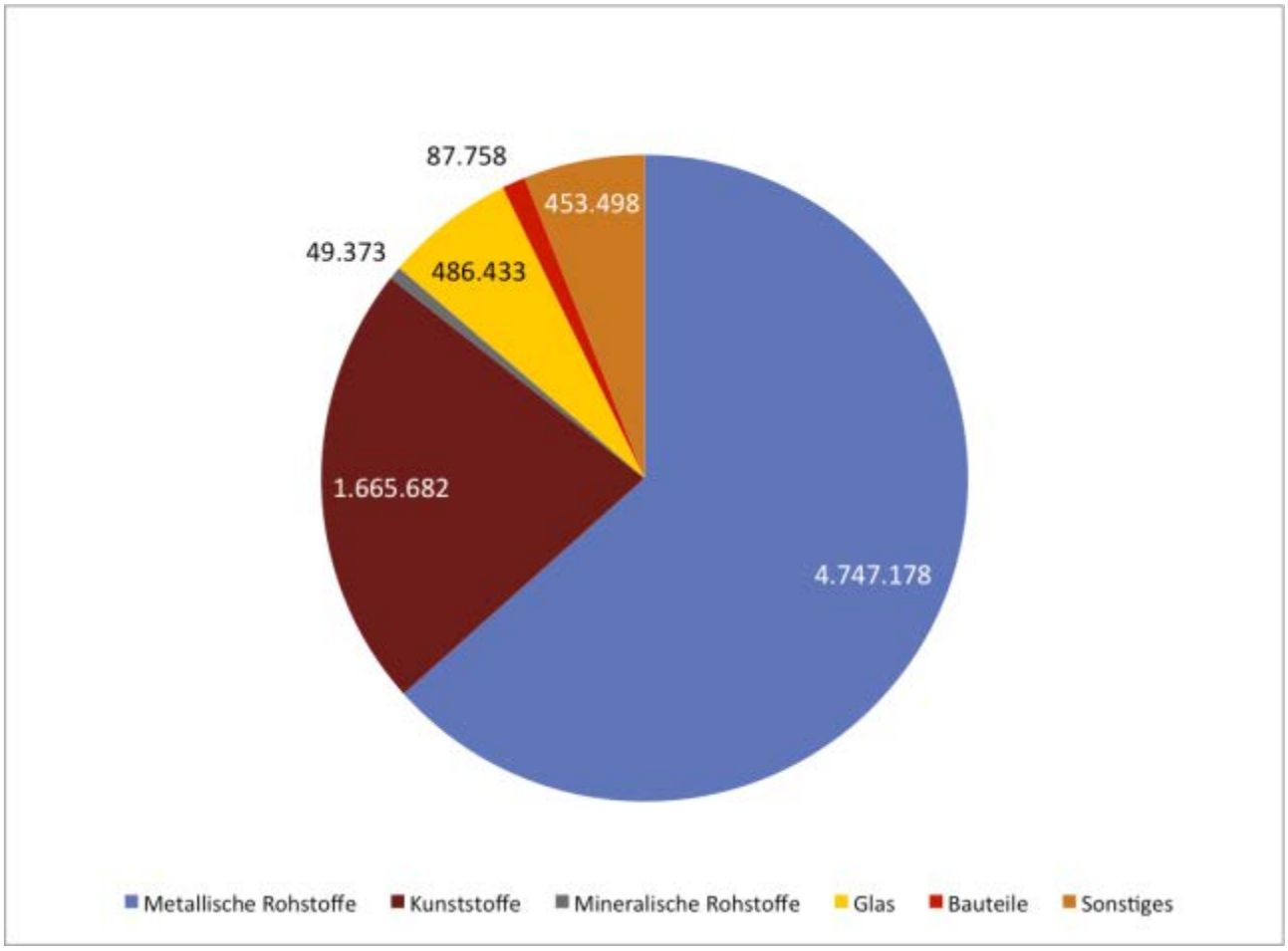
Jährliche Outputflüsse

Die Outputflüsse durch den Konsum der privaten Haushalte werden hier nur grob über eine lineare Abschreibung über die Nutzungsdauer geschätzt. Somit wird z. B. für Telefone und Smartphones mit einer Nutzungsphase von 2,8 Jahren, rund ein Drittel des Bestandes als Output-Fluss gewertet, und für Spülmaschinen mit einer Lebensdauer von 10,2 Jahren respektive nahezu ein Zehntel des Materialbestandes. Anhand der Nutzung dieser individuellen Lebensdauern aller 26 Haushaltsgüter lässt sich ein jährlicher Material-Output-Fluss von 7,49 Mio. t ermitteln (Abbildung 79).

Wie aus den Daten ersichtlich, sind die Outputflüsse im Jahr 2010 höher als die Inputflüsse. Daraus ließe sich schlussfolgern, dass der Materialbestand an langlebigen Konsumgütern sinkt.[77] Eine mögliche Erklärung liegt in der stofflichen Veränderung der Konsumgüter, die sich zwischen den Beständen und den jährlichen Zuflüssen unterscheiden können. In der betrachteten Güterstichprobe fließen sowohl Sachbilanzdaten für TV-Geräte mit Röhrenmonitoren wie auch LCD-Flachbild-TV ein. Während Röhren-TV-Geräte immer noch im Bestand zu finden sind und sich damit auch im Output-Fluss widerspiegeln, sind die jährlichen Inputflüsse komplett aus LCD-Flachbildschirmen bespeist, die z. B. deutlich weniger Glas pro Gerät enthalten als Röhren-TV-Geräte. Ein weiterer Grund könnte in einer möglichen Unterschätzung der Inputflüsse liegen, da die Abschätzung des sichtbaren Konsums anhand der Produktions- und Außenhandelsstatistik durch die unzureichende Qualität der Produktionsstatistiken erschwert wird.

[77] Es wurde jedoch keine Daten für verschiedene Jahre erhoben.

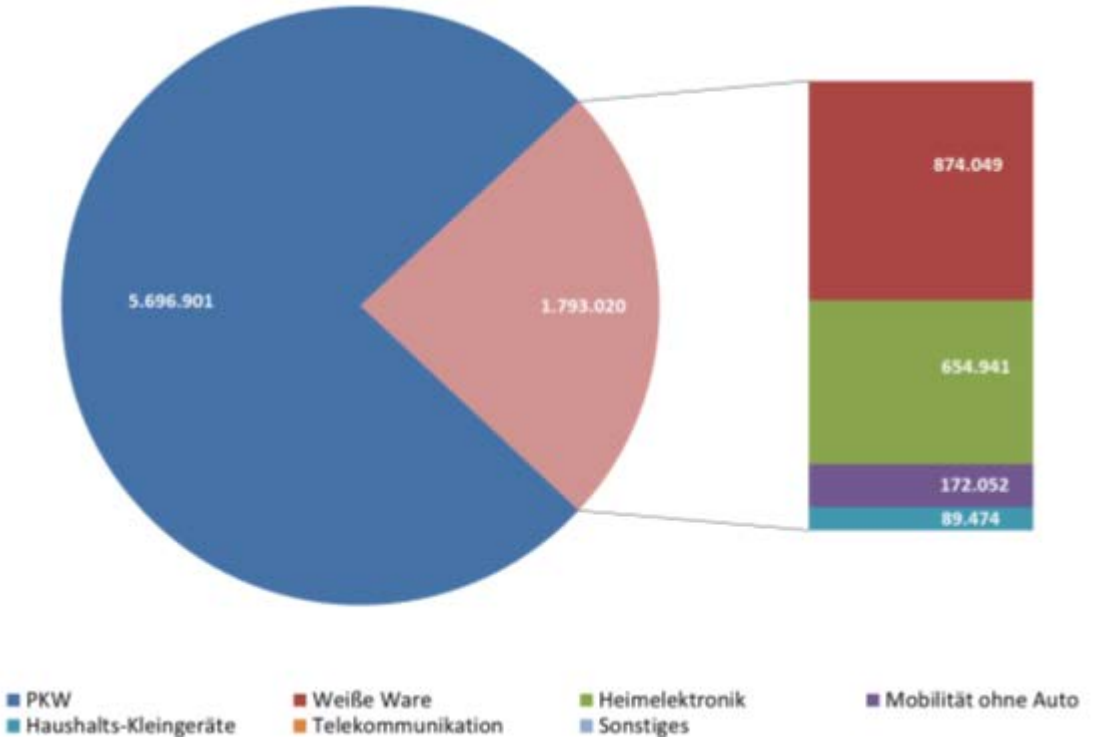
Abbildung 79: Jährlicher Material-Output der langlebigen Konsumgüter im Basisjahr 2010 [t]



Quelle: eigene Darstellung

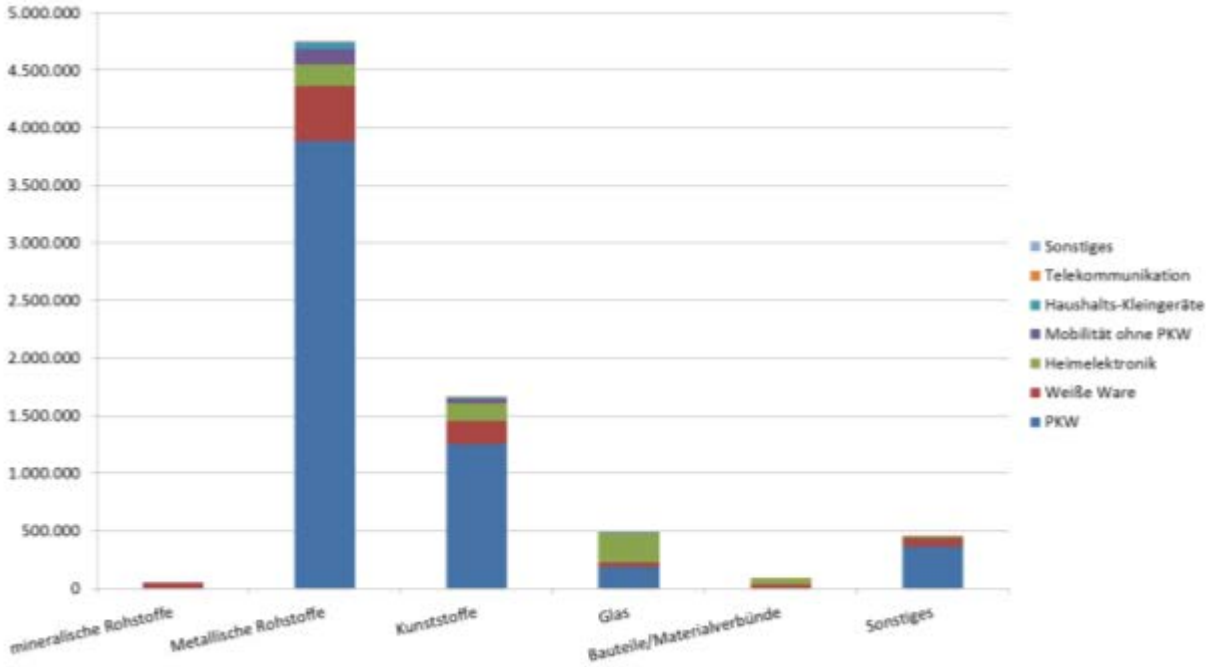
Auch die anderen beiden Darstellungsformen (Abbildung 80 und Abbildung 81) unterscheiden sich hinsichtlich der Relationen nicht wesentlich von den Inputbetrachtungen des Bestandes und den jährlichen Flüssen. Auch hier dominieren die Outputflüsse aus der linearen Abschreibung der PKW und damit der hohe Anteil der metallischen Rohstoffe. Interessanterweise ergab die Befragung zur Nutzungsdauer der Haushaltsgüter für PKW kürzer Nutzungsphasen (9 Jahre) gegenüber den Haushaltsgütern der Weißen Ware (zwischen 10 und 12 Jahren) und nur geringfügig längere als für Güter der Heimelektronik (7,5 Jahre).

Abbildung 80: Material-Outputflüsse nach Haushaltgütergruppen im Basisjahr 2010 [t]



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 81: Material-Outputflüsse unterteilt nach Material- und Gütergruppen im Basisjahr 2010 [t]



Quelle: eigene Darstellung

6.1.5.4 Kritische Punkte und Umgang damit

Obwohl die Auswahlliste an untersuchten Haushaltsgütern ein breites Spektrum der materiellen Ausstattung privater Haushalte abdeckt, ist sie bei weitem nicht vollständig. Es ist zwar die Mehrzahl der Haushaltsgroßgeräte enthalten, aber andere Gütergruppen wie Möbel, Bücher, CDs oder Heimwerkzeug fehlen mangels Sachbilanzdaten komplett. Für andere Güter, wie z. B. Brotbackmaschinen, gibt es in der Reihe der PROSA-Studien[78] zum Teil rudimentäre Sachbilanzdaten, die aus Kapazitätsgründen noch nicht in die Datenbasis aufgenommen worden sind. Mit Blick auf zukünftige Arbeiten zu Konsumgütern sollten vorliegenden Daten, wie z. B. PROSA, noch systematisch untersucht und ggf. integriert werden, um den Materialbedarf und das Materiallager der privaten Haushalte noch umfassender abzubilden.

Auch wenn letztlich in dem UFOPLAN-Projekt „Global nachhaltige Wohlstandsniveaus der privaten Haushalte“, aus denen die Daten über den Konsum an langlebigen Haushaltsgütern stammen, Bekleidung nicht in die Analyse integriert wurde, kann anhand erster Schätzungen vermutet werden, dass die privaten Haushalte im Jahr 2010 durch Bekleidung und Textilien eine Konsum an Baumwolle in Höhe von 580.000 t[79] verursachten. Im Vergleich zu den rund 4,5 Mio. t an jährlichen Materialmengen für die untersuchte Auswahl an langlebigen Konsumgütern wird deutlich, dass relevanten Materialmengen wie z.B. Baumwolle durch die Auswahl an Haushaltsgütern nicht erfasst werden.

Die Ergebnisse sind stark von der Qualität und Aktualität der vorhandenen Sachbilanzen abhängig. Gerade im Bereich der Heimelektronik und Telekommunikation ist die technologische Veränderung hoch. Damit einher geht eine Veränderung der materiellen Zusammensetzung der Geräte, die mit den vorhandenen Daten nur sehr unzureichend abgebildet werden können. Anhand der Daten für Telekommunikationsgeräte wird zudem deutlich, dass in einer auf Massenströme ausgerichteten Analyse wie in diesem Projekt Edel- und Sondermetalle, die nur in geringen Mengen in den Haushaltsgütern zu finden sind, nahezu komplett ausgeblendet werden. Die Analysen und Abbildungen werden durch Massenmaterialien bestimmt. Grundsätzlich lassen sich mit der hier verwendeten Methode Bestands- und Inputgrößen von Edel-und Sondermetallen feststellen (z. B. 11 t Gold im Bestand und 2 t im jährlichen Materialinputfluss). Da allerdings für Materialien keine ökologische oder ökonomische Charakterisierung oder Bewertung verfolgt wird, finden sich diese nicht in den generellen Aussagen dieses Berichtes wieder.

Eine jährliche Fortschreibung der Bestandsveränderung über den jährlichen Konsum an Haushaltsgütern ist über die Auswertung der

- jährlichen Produktionsstatistik (Produktionswert, -menge, -gewicht und Unternehmen)
- der vierteljährlichen Produktionserhebung: Deutschland (Jahre, Güterverzeichnis [9-Steller]) und
- der Außenhandelsstatistik (Aus- und Einfuhr [Außenhandel]: Deutschland, Jahre, Warenverzeichnis [6-/8-Steller])

[78] Das Öko-Institut hat für das BMU das Projekt „TOP 100 - Umweltzeichen für klimarelevante Produkte“ bearbeitet, mit dem Ziel, den produktbezogenen Klimaschutz zu intensivieren. Durch die Entwicklung von klimaschutzbezogenen Umweltzeichen sollte es dazu beitragen, energieeffiziente Best-Produkte zu kennzeichnen und darüber hinaus weitere produktpolitische Maßnahmen zu entwickeln. Zur Ableitung von Vergabekriterien für freiwillige Umweltzeichen nach ISO 14024 wurde dabei die vom Öko-Institut entwickelte PROSA-Methode (Product Sustainability Assessment) eingesetzt. Insgesamt wurden im Projekt 67 verschiedene Produktgruppen auf ihre Eignung für eine Umweltkennzeichnung hin untersucht, zusammen 60 PROSA-Studien oder Hintergrundberichte zu den Produkten verfasst und für 64 Produktgruppen Vergabekriterien für ein Umweltzeichen entwickelt. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand der Energieverbrauch dieser Produkte, weshalb die Sachbilanzdaten nicht immer eine hohe Detailtiefe aufweisen und zum Teil komplett fehlen.

[79] Bei einem geschätzten Baumwollfaseranteil von 40 % am gesamten Verbrauch von Bekleidung und Textilien.

grundsätzlich möglich. Diese Methode ist aber nicht nur aufwendig (mehrere hundert Warenschlüssel der Produktions- wie Außenhandelsstatistik müssen analysiert und ggf. zu wenigen Haushaltsgütern zusammengefasst werden), sondern auch ungenau. Für das UFOPLAN- Projekt „Global nachhaltige Wohlstandsniveaus auf der Ebene der privaten Haushalte“ wurden die jährlichen Absatzmengen für Telekommunikations- und Heimelektronik-Geräte, die sich aus den genannten Statistik ergeben, mit Hilfe von BITKOM-Marktdaten (BITKOM 2010) angepasst. Die Unterschiede sind signifikant.

Bei der Berechnung von jährlichen Materialbedarfen und der gewünschten Fortschreibung des Bestandes kann es in bestimmten Bereichen zu Doppelzählungen zwischen Kapitalgütern und Haushaltsgütern kommen. Anhand der Produktionsstatistik ist nicht zu unterscheiden, welcher Anteil typischer langlebiger Konsumgüter wirklich in den privaten Haushalten verwendet wird. Gerade beim dominierenden Haushaltsgut PKW, aber auch bei anderen Gütern wie PCs oder Kühlschränken, ist aus der Produktions- und Außenhandelsstatistik keine eindeutige Zuordnung zwischen Kapitalgütern und Konsumgütern möglich. PKW können als Dienstwagen verwendet werden, PCs und Kühlschränke in Dienstgebäuden stehen. Nach der Zulassungsstatistik des Kraftfahrtbundesamtes (2014) wurden 61,9 % der 3,08 Mio. PKW im Jahr 2012 zugelassen Fahrzeuge von gewerblichen Haltern angemeldet. Im Bestand der 43,85 Mio. PKW waren jedoch zum Stichtag 01.01.2014 nur 10,2 % der PKW gewerblich registriert. Inwieweit sich die Diskrepanz dieser Daten über Leasing-Fahrzeuge und der hier ungeklärten Zuschreibung als Kapital- bzw. Konsumgut erklärt, sollte in Folgeprojekten weiter recherchiert werden. Mit diesem Projekt konnte nicht abschließend geklärt werden, welcher Anteil der jährlichen PKW-Produktion den Konsumgütern bzw. Kapitalgütern zugeschrieben werden sollte. Um eine Vergleichbarkeit mit den Top-Down-Daten zu gewähren, wurden die PKW in diesem Projekt zunächst komplett als Konsumgüter eingeordnet, trotz des hohen Anteils der offiziell gewerblichen Neuzulassungen von PKW. Für die Bestandsabschätzung kommt dieses Problem nicht zum Tragen, da hier die langlebigen Konsumgüter vor allem über den Ausstattungsbestand erfasst wurden.

6.1.6 Langlebige Kapitalgüter

6.1.6.1 Erfassung langlebiger Kapitalgüter

Für den Bereich der langlebigen Kapitalgüter (Investitionsgüter) wurde die Entscheidung getroffen, keine Bottom-Up-Abschätzung vorzunehmen, da keine Datenbasis für die entsprechend Fragestellung existiert. Weder gibt es Daten über den physischen Bestand, noch über die Typologie an Investitionsgütern. Eventuell verfügbare Sachbilanzdaten konkreter Investitionsgüter wären zudem nicht repräsentativ genug, um eine vertretbare Bottom-Up-Hochrechnung für die Gesamtheit des Investitionsgutbestands durchzuführen. Während z. B. Haushaltswaschmaschinen vergleichbare Maße und ähnliche Materialzusammensetzungen aufweisen und es zulässig erscheint, mit einzelnen Bills of materials den Gesamtbestand hochzurechnen, kann eine industrielle Druckmaschine die Größe eines größeren Kopierers haben, aber auch ganze Fabrikhallen füllen.

Dennoch sollte eine erste Abschätzung des Materialgehalts der Investitionsgüter vorgenommen werden, und zwar für den Anteil der Investitionsgüter, der keine Gebäude und Infrastrukturen umfasst. Dieser Anteil entspricht der Kategorie der letzten Verwendung „Investitionen in Ausrüstungen und sonstige Anlagen“[80] der VGR (Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung). Angaben über die jährliche

[80] Die Zurechnung der letzte Verwendung wird in den vorliegenden IOT in sieben Kategorien ausgewiesen: 1) Konsumausgaben der privaten Haushalte, 2) Konsumausgaben privater Organisationen ohne Erwerbszweck, 3) Konsumausgaben des Staates, 4) Anlageinvestitionen in Ausrüstungen und sonstige Anlagen, 5) Ausrüstungsinvestitionen in Bauten, 6) Vorratsänderung und Nettozuwachs an Wertsachen und 7) Exporte. Für die Analyse der langlebigen Kapitalgüter wird nur die Kategorie 4 untersucht. Da die Vermögensrechnung ebenfalls eine Unterteilung des Sachvermögens in Ausrüstungen und

Veränderung des Volumens dieser Ausrüstungs-Investitionen können aus monetären Input-Output-Tabellen (IOT) und Investitionsstatistiken von Destatis entnommen werden. Diese Angaben der monetären IOT stellen das monetäre Pendant der jährlichen Netto-Materialflüsse in bzw. aus dem Sachvermögensbestand dar. Somit können sie als monetärer Ausdruck der physischen jährlichen Flüsse interpretiert werden, die durch die letzte Verwendung von inländisch produzierten und importierten langlebigen Kapitalgütern induziert werden.

Auf der Grundlage einer um den sektoralen Materialinput erweiterten IOT und eines IO-Prinzipen basierenden Zuschreibungsmodells wurden in diesem Projekt die physischen Größen abgeschätzt. In einem weiteren Schritt wurde der abgeschätzte Materialgehalt mit den entsprechenden monetären Flussgrößen kombiniert. Im Ergebnis wurden physische-monetäre Verhältnisse (Materialintensitäten) für jede Produktgruppe ermittelt. Jedes dieser Verhältnisse stellt eine materialspezifische Intensität einer konkreten Investitionsgütergruppe dar. Diese Verhältnisse dienen als Referenzgröße für die Abschätzung des gesamten Materialbedarfs für Investitionen in Ausrüstungen und sonstige Anlagen. Hierfür wurden die Materialintensitäten aus den jährlichen IOT mit monetären Angaben über das gesamte Anlagevermögens an Ausrüstungen und sonstige Anlagen aus den VGR kombiniert.

Die durchgeführte Zurechnung und anschließende Hochrechnung basiert auf einer Vielzahl von Annahmen und Verallgemeinerungen, so dass die hier dargelegten Ergebnisse die Qualität einer Erstabschätzung der groben Größenordnung des Materiallagers in Kapitalgütern haben.

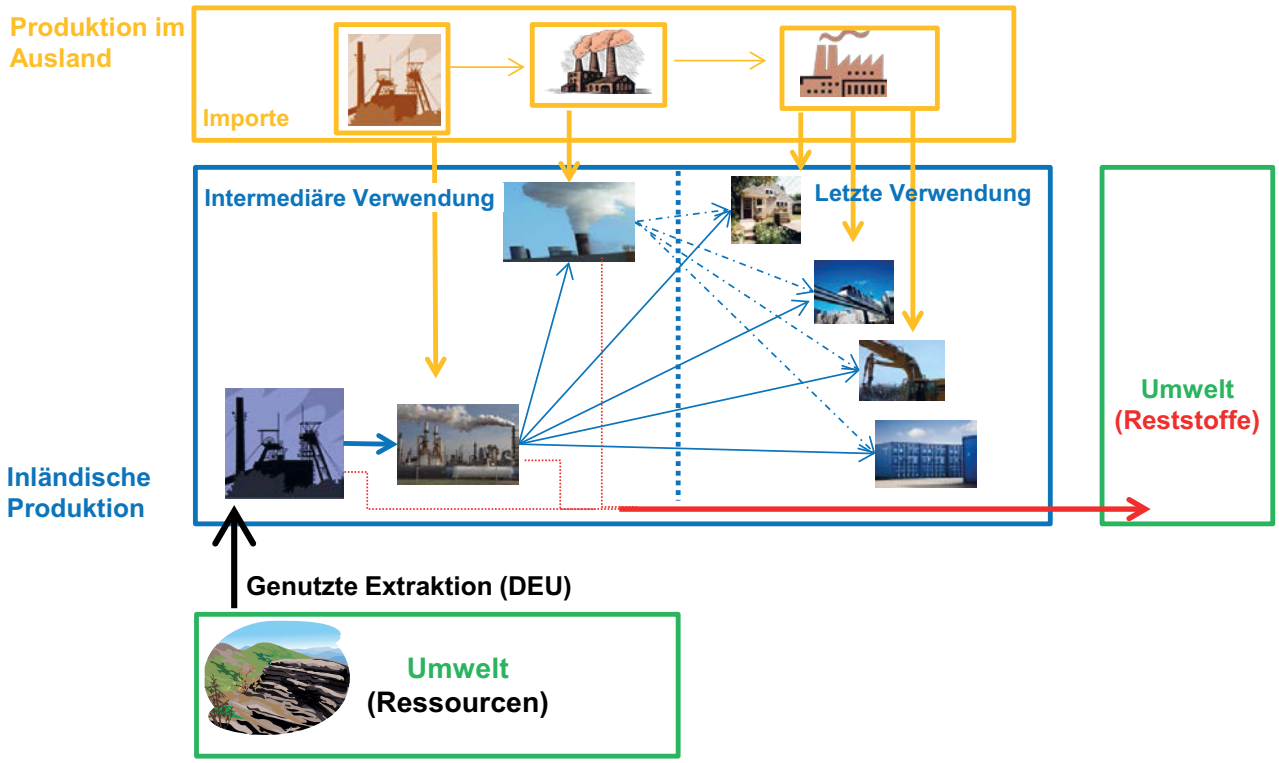
Bezüglich des angewandten erweiterten IO-Modells handelt es sich um ein Zurechnungsmodell, durch welches die Materialmengen abgeschätzt werden, die in den jährlich im Inland produzierten und importierten langlebigen Investitionsgütern enthalten sind. Hierbei werden nicht nur die Materialmengen ermittelt, die direkt durch Produzenten von langlebigen Investitionsgütern eingesetzt wurden, sondern auch die Materialmengen, die in den entsprechenden intermediären Produkten enthalten sind. Der Materialfluss der in einer Periode produzierten langlebigen Investitionsgüter wird folglich unter Berücksichtigung der deutschen Produktionsbereichsverflechtung und der direkten Importe ermittelt (Abbildung 82).

Die geeignete Datenbasis für die Durchführung derartiger Analysen sind normalerweise Physische Input-Output-Tabellen (PIOT), da in diesen die Materialeinsatzmengen bei der Produktion ohne den Einfluss von Preisen dargestellt werden. PIOT konnten hierfür jedoch nicht verwendet werden, da für Deutschland (Bundesgebiet ab 1991) keine aktuelle PIOT veröffentlicht vorliegt. Für diese Analyse musste daher auf monetäre IOT zurückgegriffen werden.

Diese Analyse wurde für die Jahre 1995, 2000 und 2005 und nur für ausgewählte Hauptmaterialkategorien durchgeführt (Holz, Metalle, Mineralien und „andere“). Aktuellere Input-Output-Tabellen (MIOT 2007) konnten für diese Analyse nicht herangezogen. Hierfür fehlten entsprechende detaillierte MFA-Angaben (NAS) nach der Systematik der Produktgruppen, nach welchen die IOT aufgebaut sind. Die Ermittlung dieser MFA-Größen war im Rahmen dieses Projekts nicht vorgesehen.

Bauten kennt, kann sowohl in der IOA als auch der Vermögensrechnung die Kategorie der „Ausrüstung“ synonym für langlebige Kapitalgüter verwendet werden.

Abbildung 82: Schematische Darstellung der Zurechnung des DMI über Input-Output-Analyse



Quelle: eigene Darstellung

Die Gesamtheit aller lagerrelevanten Materialflüsse, die über die jährliche Produktion und Importe von langlebigen Investitionsgütern in der Ökonomie akkumuliert werden, wurde in mehreren Berechnungsschritten ermittelt. Dafür wurde zunächst die monetäre Input-Output-Tabelle um die Größen des „Direkten Material Inputs (DMI) “ erweitert und den dort aufgelösten 71 Produktgruppen zugerechnet. Die Erweiterung der IOT wurde produktgruppenspezifisch durchgeführt, und zwar entsprechend den Produktionscharakteristika jeder produzierten Produktgruppe. So wird die inländische Rohstoffentnahme und der Einsatz von importierten Vorleistungen (Rohstoffe oder Halbwaren) in konsistenter Weise mit der im Inland angewandten Produktionstechnologie verknüpft.

Statt der üblichen Gesamtmenge an Materialien (gemessen als DMI), wurde aber anschließend nur ein Teil des DMI berücksichtigt. Dieser Teil der DMI, der hier als DMI* bezeichnet wird, umfasst nur die lagerrelevanten Materialkategorien des DMI, d. h. der DMI ohne Energieträger und ohne Biomasse, mit Ausnahme von Holz. Der DMI* stellt insofern die Materialmenge dar, die jährlich in Form von Net-Additions-to-Stock in der Ökonomie verbleibt. Somit ist sie die geeignete Ausgangsgröße, um eine Überschätzung der Lager und Flüsse an Material in langlebigen Kapitalgütern zu vermeiden.

Die monetäre IOT zeigt, dass von den 71 Produktgruppen nur bestimmte Produkte im nennenswerten Umfang als „Ausrüstung und sonstige Anlagen“ für die letzten Verwendung inländisch produziert und importiert werden. So wurden 18 Produktgruppen identifiziert, die als relevante Materiallager von Kapitalgütern bezeichnet werden können. Weitere in monetären Einheiten nennenswerte „Investitionen“, die in der MIOT ersichtlich sind, wurden dagegen nicht berücksichtigt, da es sich um Dienstleistungen handelt. So wurden z. B. die Produktion für die letzte Verwendung der Sektoren „DL der Datenverarbeitung und von Datenbanken“ (CPA 72) sowie „Handelsvermittlungs- und Großhandelsleistungen“ (CPA 51) nicht mit analysiert, obwohl beide Sektoren zusammen mit 16 % zur Gesamtsumme der letzten Verwendung für „Ausrüstung und sonstige Anlagen“ von 183.831 Mio. Euro

im Jahr 2005 beitragen. Auch die Importflüsse müssen auf die Gütergruppen eingeschränkt werden, die Kapitalgüter darstellen und überwiegend aus Bestandteilen des DMI* bestehen.

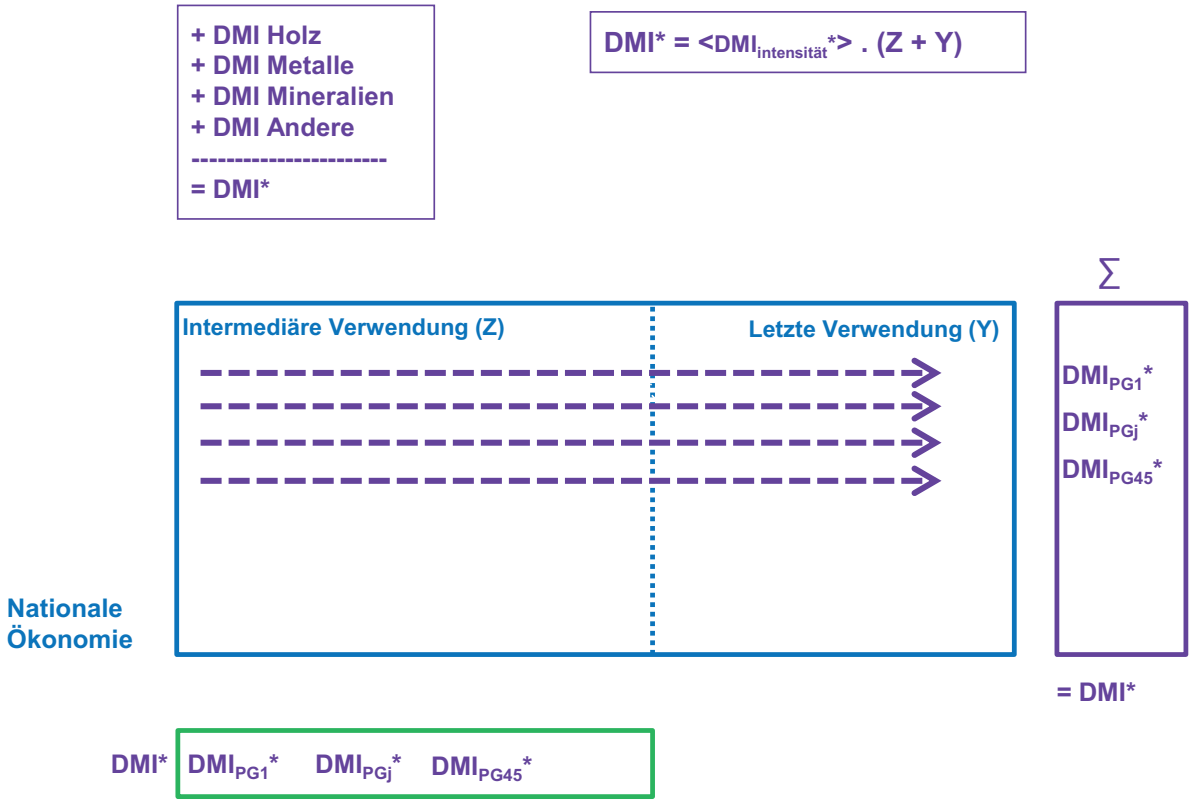
Anschließend wurden für die Jahre 1995, 2000, 2005 die vier Materialgruppen des DMI* (Holz, Metalle, mineralische Rohstoffe und andere) der gesamten Produktion zugerechnet, die notwendig ist, die Investitionsgüter der letzten Verwendung „Ausrüstung und sonstige Anlagen" herzustellen (Abbildung 83). Dabei ist zu beachten, dass diese Zurechnung auf einer Berechnungsprozedur beruht, durch welche der gesamte Materialgehalt der inländisch produzierten Investitionsgüter schrittweise „akkumuliert" wird. Der gesamte Materialgehalt der inländisch produzierten Investitionsgüter setzt sich zusammen aus den Materialien, die durch die Investitionsgüterhersteller direkt einzusetzen waren (z. B. das Blech einer Maschine) und den Materialien, die in den inkorporierten Bestandteilen enthalten sind (z. B. Motor oder Schrauben), die als Teil der Vorleistungskette bereitgestellt werden. Insofern wurde der gesamte Materialgehalt der inländisch produzierten Investitionsgüter durch die Anwendung eines für diesen Zweck entwickelten Modells abgeschätzt. Es werden in jeder „Zurechnungsrunde" entlang der Vorleistungskette der Produktion nur die direkten Materialflüsse hinzuaddiert, die durch die Produktion der 18 Investitionsproduktgruppen ausgelöst werden. Diese schrittweise Ermittlung der Materialflüsse berücksichtigt zum einen die technologischen Charakteristika der deutschen Produktionsverflechtung und zum anderen die materialspezifischen Koeffizienten bzw. materialspezifischen DMI*-Intensitäten je Produktgruppe (24 insgesamt[81]). Auf die Anwendung eines herkömmlichen IO-Zurechnungsmodells wurde hier verzichtet, um die Akkumulation von weiteren indirekten Materialflüssen zu vermeiden, die zwar durch die Produktion von langlebigen Kapitalgütern ausgelöst sind, jedoch im Endprodukt nicht enthalten sind.

Der gesamte Materialgehalt der jährlichen inländischen letzten Verwendung von Sachkapital in Form von „Ausrüstungen und sonstigen Anlagen" umfasst nicht nur den Materialgehalt der im Inland produzierten Investitionsgüter, sondern auch den Materialgehalt von importierten Anlagen und Sachkapital. Letzteres wurde wiederum auf der Grundlage der Importstruktur und der entsprechenden Materialkategorie des modifizierten DMI* Deutschlands (d. h. Importe in physischen Einheiten) abgeschätzt. Dadurch konnte jedem importierten Euro an Sachkapital eine bestimmte Menge an spezifischen Materialien zugerechnet werden.

Aus der beschriebenen Methodik geht zudem hervor, dass zwar die Inputs insgesamt gut abgeschätzt werden können, aber mit dieser Methode keinen Möglichkeit besteht, zwischen Neuanschaffungen, Ersatzbeschaffung oder Instandhaltungsmaßnahmen zu unterscheiden und damit auch keine Outputflüsse abzuschätzen. Da im Bereich der Kapitalgüter auch nicht mit Bottom-Up-Analysen gearbeitet wurde, ist eine alternative Herangehensweise über die Nutzungs- bzw. technische Lebensdauer – wie im Bereich der Infrastrukturen und Konsumgüter – ebenfalls nicht möglich.

[81] Die 18 identifizierten Produktgruppen liefern direkt Güter an die letzte Verwendung „Ausrüstung und sonstige Anlagen". In dem iterativen Zurechnungsprozess der vorgelagerten Produktionsstufen wurden weitere sechs Produktionsbereiche ermittelt, die Güter mit lagerrelevanten Rohstoffen an die 18 Produktionsbereiche liefern (so z. B. die CPA Produktgruppe 2 „Forstwirtschaftliche Erzeugnisse und DL").
Eine Auflistung der 18 materiallagerrelevanten Investitionsproduktgruppen sowie diesen zuliefernden 6 Produktgruppen findet sich im Anhang.

Abbildung 83: Schematischer Aufbau der Zurechnung des DMI* auf die letzte Verwendung



DMI= Direkter Materialinput

Z= Intermediäre Verwendung

Y= Letzte Verwendung

PG= Produktgruppe

Quelle: eigene Darstellung

6.1.6.2 Jährliche Materialflüsse langlebiger Kapitalgüter

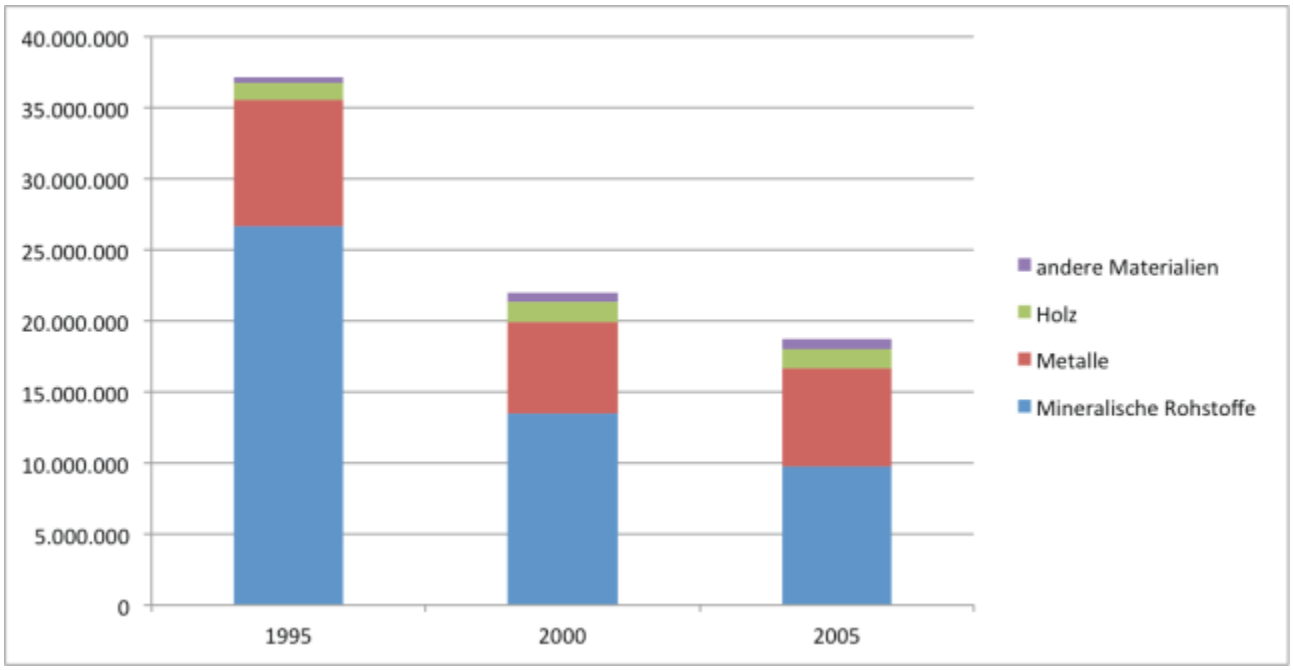
Die Summe beider auf diese Weise ermittelten physischen Größen stellt den gesamten lagerrelevanten Materialgehalt der inländischen letzten Verwendung an langlebigen Investitionsgütern innerhalb einer Periode dar. Das Gesamtergebnis beträgt für das Jahr 2005 18,69 Mio. t und kann dabei in die vier Materialkategorien wie folgt differenziert werden: Holz: 1,32 Mio. t, mineralische Rohstoffe 9,76 Mio. t, metallische Rohstoffe 6,91 Mio. t und sonstige Rohstoffe 0,69 Mio. t.

Die Berechnung wurde für die Jahre 1995, 2000 und 2005 durchgeführt. Während die lagerrelevanten Anlageinvestitionen im Jahr 2000 am höchsten waren und nach einem Anstieg zwischen 1995 und 2000 bis zum Jahr 2000 wieder leicht sanken, ist für die physischen Materialflüsse ein kontinuierliches Absinken von 37,12 Mio. t (1995) über 22 Mio. t (2000) bis auf 18,69 Mio. t im Jahr 2005 festzustellen. Die Materialintensität der Jahre 2000 und 2005 liegt jeweils bei einem Wert von 0,13 kg/Euro bzw. 0,14 kg/Euro im Gegensatz zu einer deutlich höheren Materialintensität im Jahr 1995 (0,33 kg/Euro). Diese Materialintensität kann weiter unterteilt werden in eine rohstoffspezifische

Materialintensität für Holz (0,009 kg/Euro), metallische Rohstoffe (0,049 kg/Euro), mineralische Rohstoffe (0,069kg/Euro und sonstige Rohstoffe (0,005 kg/Euro).

Den mit Abstand größten Beitrag zu lagerrelevanten Materialströmen für die letzte Verwendung von Ausrüstungen und sonstigen Anlagen lieferte die Produktionsgruppe „Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse“[82], der im Jahr 2005 knapp 10 Mio. t mineralische Rohstoffe oder Industriemineralien lieferte, gefolgt von den Produktionsgruppen „Roheisen, Stahl, Rohre und Halbzeug daraus“ (3,1 Mio. t) und „Maschinen“ mit 1,2 Mio. t. Der Produktbereich Kraftwagen und Kraftwagenteile (CPA 34) trug im Jahr 2005 ebenfalls mit knapp 1 Mio. t zu den jährlichen lagerrelevanten Materialflüssen bei. Ein erheblicher Teil dieser Materialmenge befindet sich in PKW, die unter langlebigen Konsumgütern geführt werden und hier entsprechend doppelt gezählt werden. Aus Abbildung 84 wird zudem deutlich, dass im Zeitverlauf der jährliche Materialfluss an Holz und Metallen konstant blieb, während der Rückgang von 1995 bis 2005 durch mineralische Rohstoffe erklärt werden kann.

Abbildung 84: Jährliche lagerrelevante Material-Inputflüsse für die letzte Verwendung „Ausrüstungen und sonstige Anlagen“ [t]



Quelle: eigene Darstellung

6.1.6.3 Materialbestand langlebiger Kapitalgüter

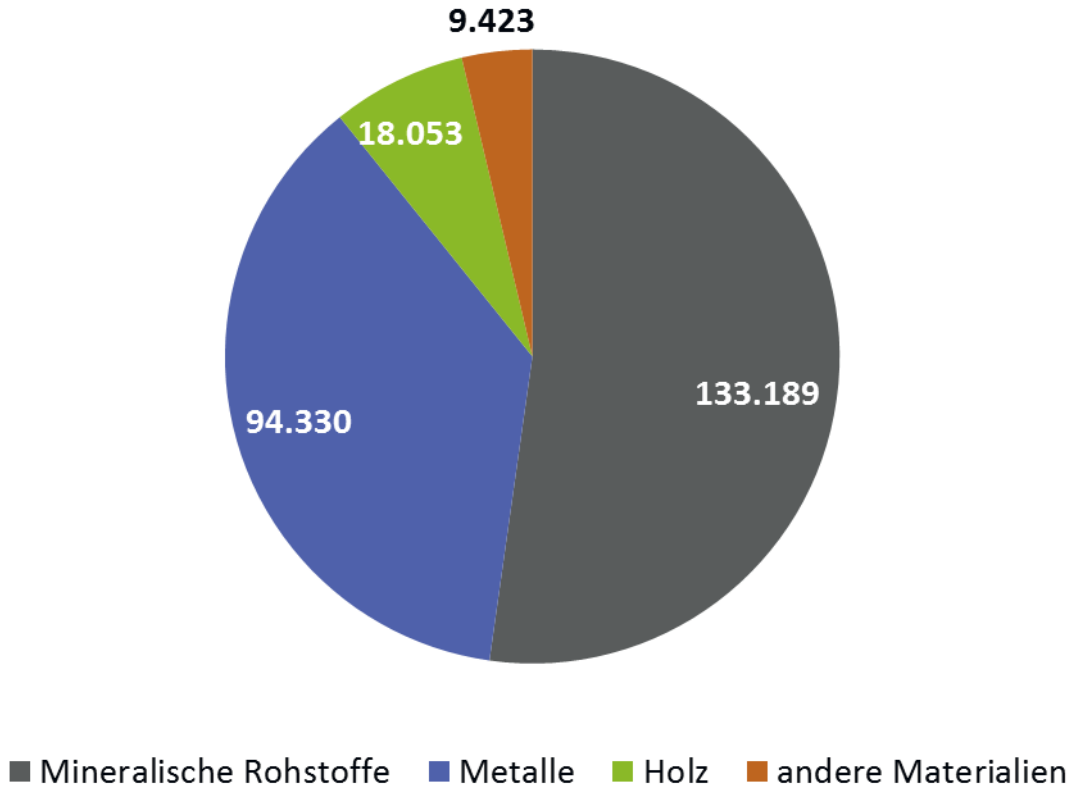
Unter der Annahme, dass sich die prozentuale Aufteilung der vier Materialkategorien aus den jährlichen Materialflüssen der Zurechnung der letzten Verwendung auch auf den Vermögensbestand des schon existierenden Kapitalgüterbestandes anwenden lässt, kann über die Verwendung dieser Anteile das monetäre Anlagevermögen in diese vier Rohstoffkategorien übersetzen werden.

Destatis (2013a) erfasst mittels der VGR das monetäre Anlagevermögen der Bundesrepublik Deutschland, unterteilt nach verschiedenen Kriterien; u. a. wird das Sachvermögen, unterteilt nach Vermögen in Gebäuden, Anlagevermögen sowie immaterielles Vermögen und Nutztiere/Nutzpflanzen für

[82] Die Produktionsgruppe „Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse, liefert nicht direkt an die letzte Verwendung „Ausrüstungen und sonstigen Anlagen“, sondern in diesem Umfang Vorleistungen für die Produktion langlebiger Kapitalgüter.

die Jahre 1991 bis 2012 ausgewiesen. Das Anlagevermögen entspricht wiederum der Kategorie der letzten Verwendung in Anlagen und Ausrüstungen der IOT. Demnach belief sich das Bruttoanlagevermögen Deutschlands im Jahr 2010 auf rund 2.150 Mrd. Euro. Unter Verwendung der aktuellsten verfügbaren rohstoffspezifischen Materialintensität des Jahres 2005 würde dies einem Materialbestand in lagerrelevanten Kapitalgütern von 255 Mio. t entsprechen. Diese Summe teilt sich auf in 18,05 Mio. t Holz, 94,33 Mio. t metallische Rohstoffe, 133,19 Mio. t mineralische Rohstoffe und 9,42 Mio. t sonstige Materialien.

Abbildung 85: Abschätzung Materialbestand Kapitalgüter im Jahr 2005, [1.000 t]



Quelle: eigene Darstellung

6.1.6.4 Kritische Punkte und Umgang damit

Das hier skizzierte Vorgehen ist bisher noch nicht erprobt bzw. an anderer Stelle durchgeführt worden. Aufgrund der notwendigen Annahmen sollte in zukünftigen Forschungsprojekten weiter untersucht werden, inwieweit diese Methodik zu belastbaren Ergebnissen führt. Mit dem gewählten Ansatz gibt es eine Reihe von kritischen Punkten, deren Auswirkungen weitergehend betrachtet werden müssen.

In den wenigen untersuchten Jahren ist zumindest eine deutliche Senkung der Materialintensität von 1995 bis 2000 bzw. 2005 festzustellen. Zudem unterscheidet sich die stoffliche Zusammensetzung in den drei zur Verfügung stehenden Jahren: die Bedeutung der mineralischen Rohstoffe nimmt zwischen 1995 und 2005 kontinuierlich ab, während der Anteil der metallischen Rohstoffe steigt. Eine umfangreiche Datenbasis, die diese Schwankungen auf eine bessere empirische Basis stellen würde, wäre wünschenswert. Methodisch hängt die Zurechnungsmethode stark von der Annahme ab, dass die Materialintensitäten und ihre stoffliche Verteilung von heute auch mit den Beständen aus der Vergangenheit korrespondieren. Daher wären durchgängige Zeitreihen wünschenswert. So ließe sich überprüfen, inwieweit diese Annahmen mit der Realität übereinstimmen. Die Zeitreihen könnten

auch eine große Spannbreite mit Ausreißern zeigen, ohne dass sich für die Volatilität ein Muster erkennen ließe. In dem Fall müsste man einräumen, dass die hier getestete Zurechnungsmethode über IOT fehleranfällig ist. Allerdings zeigen die monetären Verhältnisse des Wertes der Bruttoanlageinvestitionen und des Anlagevermögens (auch in den jeweiligen Unterkategorien) ein sehr stabiles Verhältnis dieser beiden Größen zueinander. Die jährlichen Ausrüstungsinvestitionen schwanken seit 1991 nur geringfügig um den Bereich von 7 - 10 % des Bruttonlagevermögens für Ausrüstungen. Zudem wird in Deutschland der Kapitalstock bzw. das Anlagevermögen mittels der Kumulationsmethode ebenfalls aus den jährlichen Investitionszahlen abgeleitet (Schmalwasser/Schidlowski 2006). Es scheint daher grundsätzlich zulässig und erfolgsversprechend, das Verhältnis von jährlichen monetären Ausrüstungsinvestitionen und physischen Daten der letzten Verwendung für Ausrüstungsinvestitionen (Flussgrößen) auf das Anlagevermögen an Ausrüstungen zu übertragen und so eine erste Abschätzung des Materialbestandes für langlebige Kapitalgüter (Bestandsgröße) zu ermöglichen.

Grundsätzlich basiert die Analyse anhand von IOT auf der Annahme von homogenen Produktgruppen. Das hat zur Folge, dass bestimmte Güter oder Produktgruppen als Kapitalgüter gewertet werden, obwohl in ihnen auch anderen Verwendungsarten enthalten sind. Umgekehrt werden bestimmte Produktgruppen ausgeklammert, obwohl Teilbereiche Kapitalgüter darstellen. Dieses methodische Problem lässt sich derzeit nicht auflösen.

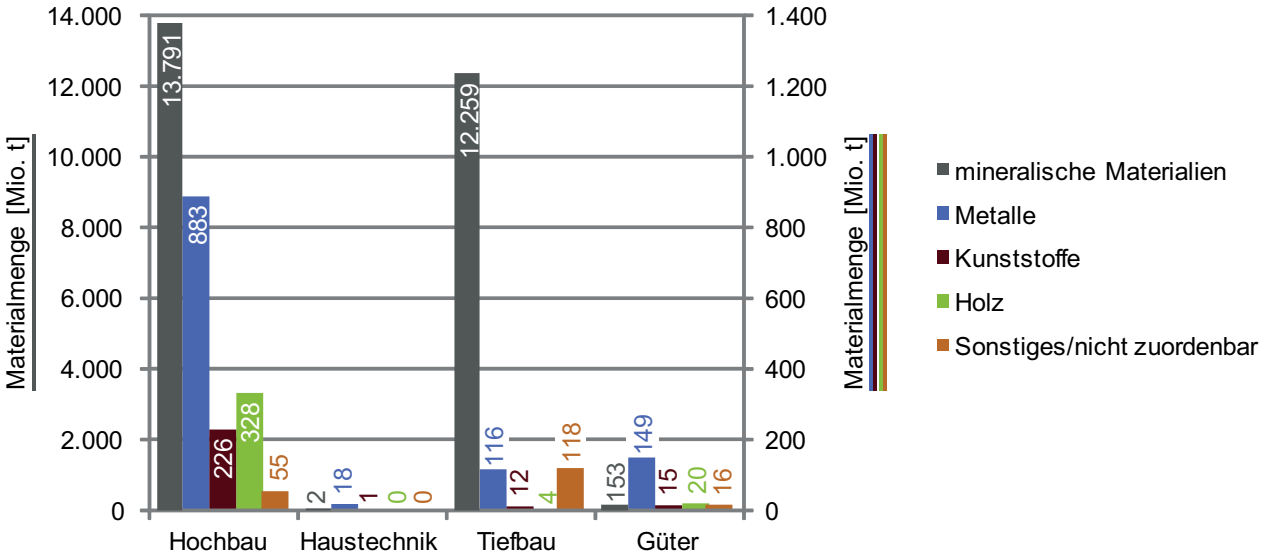
6.1.7 Gesamtes Materiallager über Bottom-Up-Ansatz

Die Bottom-Up-Analysen der einzelnen Gütergruppen (vgl. Abschnitte 6.1.2 bis 6.1.6) im Anthropogenen Materiallager Deutschlands ergeben insgesamt eine Masse von ca. 28 Mrd. t. Darin sind die mineralischen Materialien mit ca. 26 Mrd. t eindeutig dominierend, was im Wesentlichen auf die Massenbaustoffe Beton und Mauersteine zurückzuführen ist. Die verbleibenden ca. 2 Mrd. t setzen sich zusammen aus ca. 1,2 Mrd. t Metallen, ca. 250 Mio. t Kunststoffen, ca. 350 Mio. t Holz und etwa 200 Mio. t sonstigen, nicht zuordenbaren Materialien.

Im Folgenden wird die Hochrechnung aller Bottom-Up-Analysen vergleichend über Material- und Gütergruppen dargestellt. Abbildung 86 zeigt die Materialbestände im Lager, differenziert nach Hochbau (Wohngebäude, Nichtwohngebäude und Infrastrukturgebäude), Haustechnik (für Wohngebäude + Nichtwohngebäude), Tiefbau (Verkehrs-, Energie-, Wasser-/Abwasser- und IuK-Infrastruktur) und Güter (Konsum- und Kapitalgüter).

Im Vergleich zum Bereich des Hoch- und Tiefbaus ist der Bestand an Konsum- und Kapitalgütern sowie der in diesem Projekt berücksichtigten Haustechnik auf einer rein massemäßigen Betrachtungsebene gering. Jedoch dominieren bei letzteren Gütern metallische Stoffe. Dies betrifft neben den über den Analyseansatz überwiegend erfassten Eisenmetallen vor allem die Buntmetalle, wie z. B. Kupfer und Aluminium. Die im Baubereich erfassten Metalle bestehen im Wesentlichen aus Konstruktions- und Bewehrungsstahl. Die Gesamtmenge an Materialien wird durch die mineralischen Massenbaustoffe (Ordinate links) dominiert, wohingegen die anderen Materialien (Ordinate rechts) um mehr als eine Dimension darunter liegen. Die mineralischen Massenbaustoffe teilen sich im Bestand annähernd paritätisch zwischen Hoch- und Tiefbau auf. Bei den anderen Materialgruppen gibt es deutliche Unterschiede.

Abbildung 86: Bestände an Materialien nach Hauptmaterialgruppen im Basisjahr 2010 (künstliche Gesteine in mineralischer Fraktion einschließlich gebundenen Wassers)



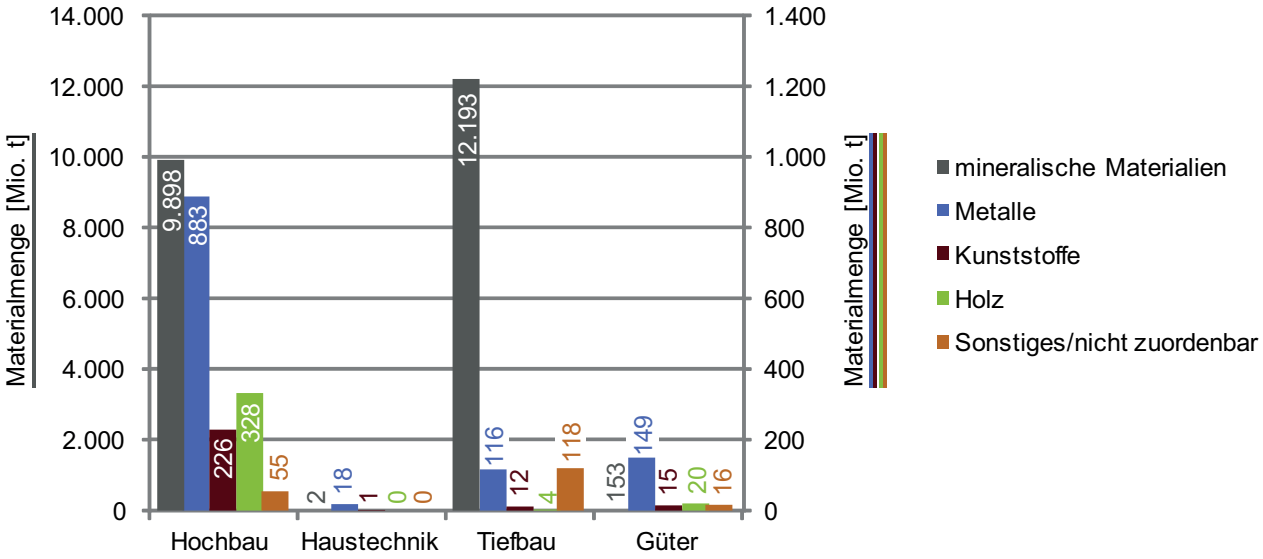
Quelle: eigene Darstellung

Die mineralischen Massenbaustoffe enthalten im Hoch- und Tiefbau jeweils rd. 8 Mrd. t künstlicher Gesteine wie Betone, Kalksandstein, Porenbeton, Mörtel usw. Diese künstlichen Gesteine unterscheiden sich jedoch in ihrem Materialgewicht von den für ihre Herstellung eingesetzten Primärrohstoffen im Bilanzraum des betrachteten Anthropogenen Lagers. Bei anderen Primärrohstoffen, die direkt als Baumaterial Verwendung finden (z.B. Kiesschüttungen), besteht dieser Unterschied nicht.

Weil in der Top-Down-Betrachtung der jährlichen Materialflüsse auch Primärrohstoffe (z. B. durch inländische Extraktion) betrachtet werden, sollen auch die Bottom-Up ermittelten (Bau-)Materialien in ihre enthaltenen mineralischen Stoffanteile umgerechnet werden, um eine Synthese beider Ansätze zu ermöglichen. Aufgrund dieser Umrechnung ergibt sich für die mineralischen Baustoffe ein deutlich geringeres Materialgewicht von insgesamt ca. 22 Mrd. t (Abbildung 87). Die Differenz beider Betrachtungsweisen erreicht eine nicht mehr vernachlässigbare Größenordnung und ist im Hochbau (28 % weniger) ausgeprägter als im Tiefbau (nur 0,4 % weniger), wo ein Großteil der mineralischen Materialien aus Gesteinsschüttungen besteht.

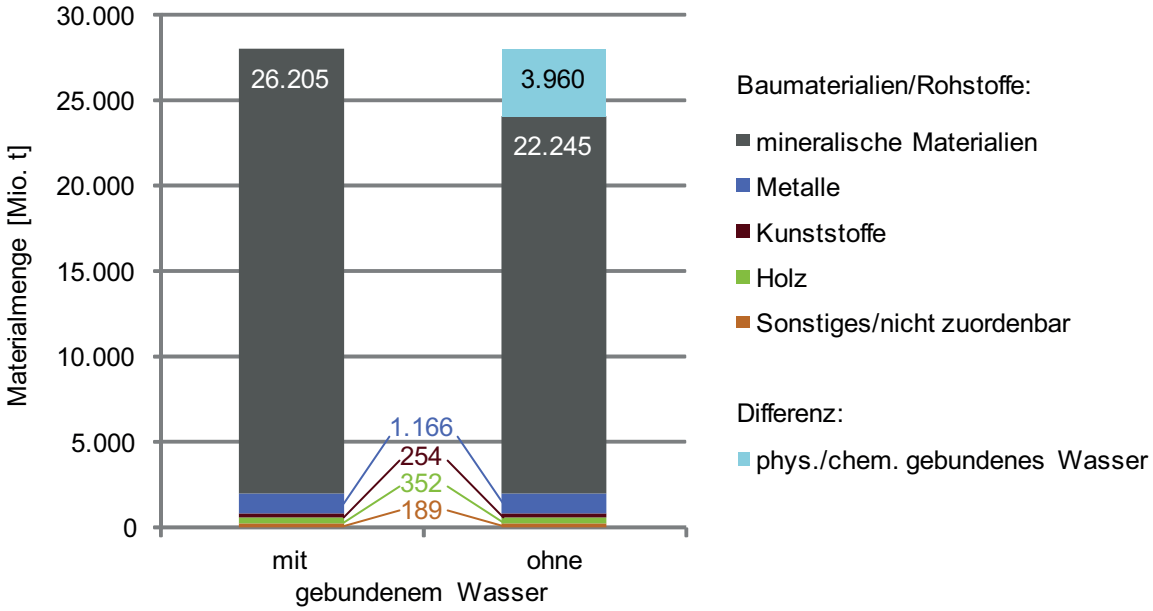
Die Gewichtsreduktion ergibt sich infolge des in Betonen, Mauersteinen, Mörteln und dergleichen chemisch und physikalisch gebundenen Wassers, welches standardmäßig etwa 40 M.-% des hydraulischen Bindemittels ausmacht (Abbildung 88). Aufgrund der unterschiedlichen Stoffzusammensetzung variiert die gebundene Wassermenge zwischen Beton, Kalksandstein, Porenbeton, Mörtel usw. und wird entsprechend differenziert berechnet. Bezogen auf die Gesamtmasse aller mineralischen Baustoffe ergibt sich somit eine Gewichtsreduktion um ca. 15 Masseprozent (Abbildung 88). Dieser Effekt wirkt sich allerdings nur auf die mineralischen Baustoffe aus. Er hat aber keinen Einfluss auf die anderen Baustoffgruppen, deren Ergebnisse bei beiden Betrachtungen identisch sind.

Abbildung 87: Bestände an Materialien im Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen ohne gebundenes Wasser



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 88: Materialbestände im Basisjahr 2010 mit Differenzbetrachtung des gebundenen Wassers

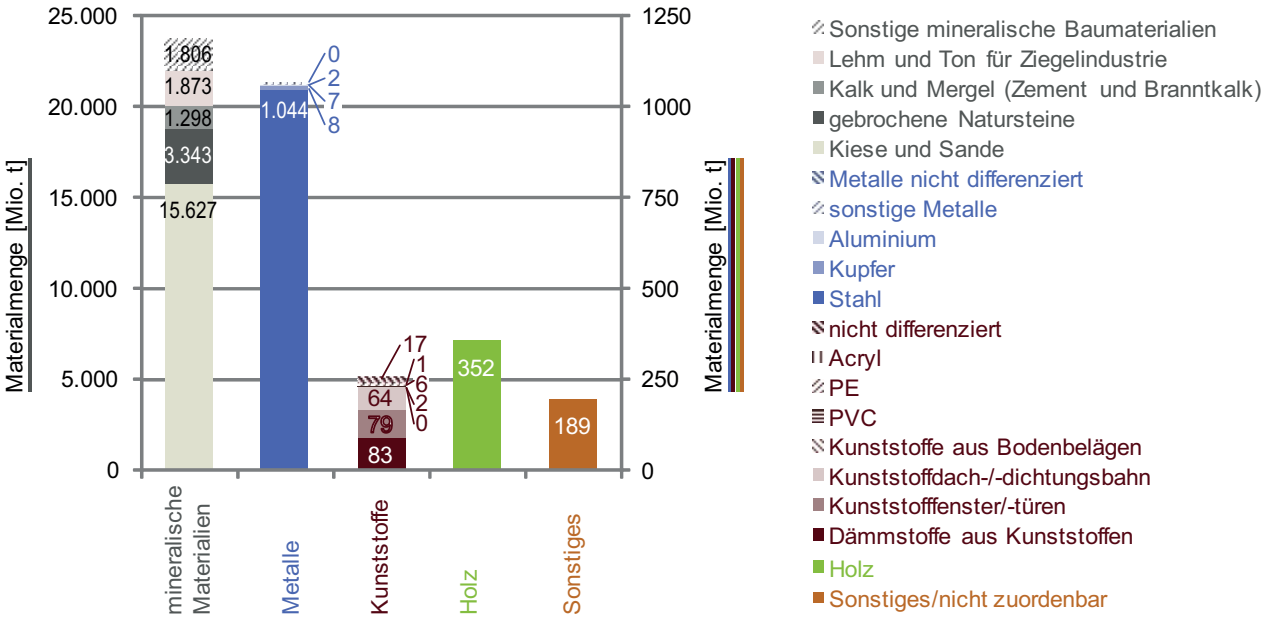


Quelle: eigene Darstellung

Wegen der unterschiedlichen Dimension der mineralischen und der anderen Materialien ist eine differenzierte Betrachtung von Einzelmaterialien separat je Materialgruppe aufschlussreich. Abbildung 89 zeigt die fünf Hauptmaterialgruppen mit einer weiteren Materialdifferenzierung. Hier zeigt sich u. a., wie die Gesamtmasse der metallischen Baustoffe durch den (Bau-)Stahl dominiert wird. Andere Metalle wie Kupfer und Aluminium liegen mehrere Dimensionen darunter und müssen mit einer anderen Skalierung dargestellt werden, um sichtbar zu werden (Abbildung 90). Eine weitere Differenzierung, z. B. der sonstigen Metalle, liegt als Zahlenmaterial vor (Tabelle 47). Bei Kunst-

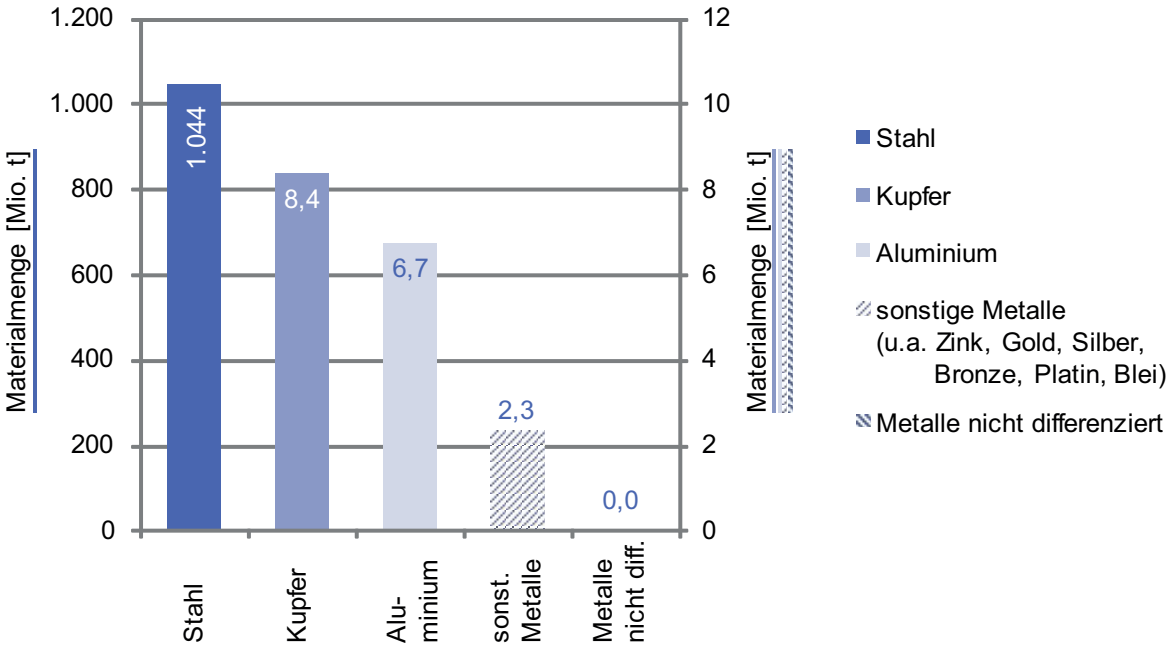
stoffen liegt nur ein geringer Anteil der Ergebnisse materialdifferenziert vor; die große Masse lässt sich nur bauteildifferenziert (Dämmung, Fenster/Türen, Dichtungsbahnen aus Kunststoffen), jedoch ohne exakte Materialdifferenzierung ausweisen (Abbildung 91). Ein weiterer Teil der Kunststoffe ist gar nicht differenzierbar.

Abbildung 89: Bestände an Materialien im Basisjahr 2010 nach Materialgruppen



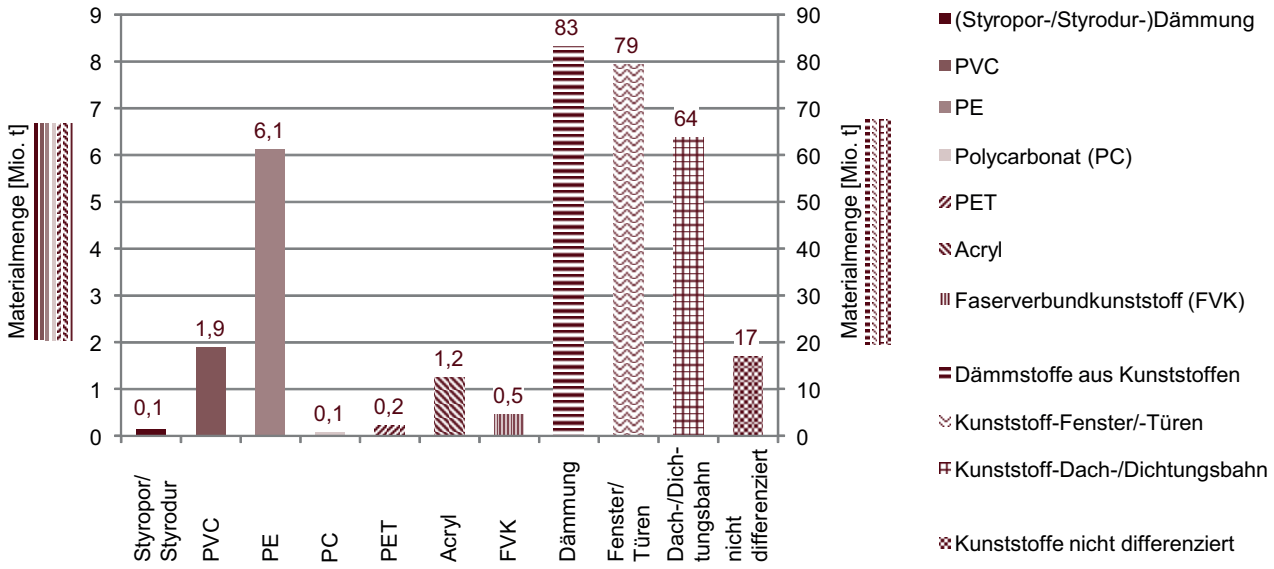
Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 90: Bestände an Metallen im Basisjahr 2010



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 91: Bestände an Kunststoffen im Basisjahr 2010



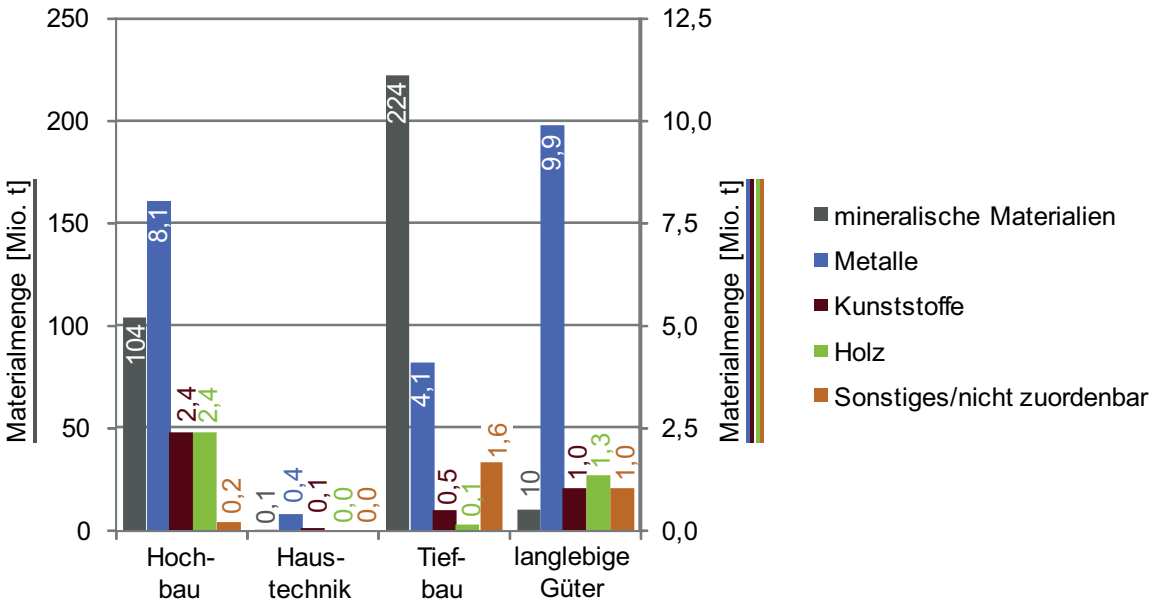
Quelle: eigene Darstellung

6.1.8 Gesamte Materialflüsse über Bottom-Up-Ansatz

Für die Beschreibung der Bestandsveränderungen des Anthropogenen Lagers werden Bottom-Up die jährlichen Materialflüsse ermittelt. Abbildung 92 zeigt als Beispiel die Inputflüsse der Hauptmaterialgruppen in die verschiedenen Gütergruppen. Es dominieren die mineralischen Materialien (im Wesentlichen im Baubereich), wobei ca. ein Drittel auf den Hochbau und ca. zwei Drittel auf den Tiefbau entfallen. Etwa eine Dimension darunter liegen die Inputflüsse an Metallen. Hier sind die größten Massen im Bereich des Hochbaus und der langlebigen Güter (je ca. 20 %) verortet, gefolgt vom Tiefbau mit ca. 10 % der Metalle. Kunststoffe finden sich zu ca. 60 % im Hochbau, ca. 25 % in den langlebigen Gütern und nur ca. 15 % im Tiefbau. Ähnlich ist dies beim Holz. Der Anteil der Haustechnik an den Inputflüssen ist insgesamt gering.

Im Vergleich zu den Beständen (siehe Abschnitt 6.1.7) zeigen sich bei den Inputflüssen teils material- und gütergruppenspezifische Unterschiede. Im Tiefbau unterscheiden sich die Verhältnisse der Hauptmaterialgruppen zueinander zwischen Beständen (Abbildung 87) und Inputflüssen kaum. Im Hochbau zeigen sich deutliche Unterschiede. Im Vergleich zu den Beständen ist die Verwendung an mineralischen Rohstoffen im Hochbau bei den Flüssen in etwa um den Faktor 2 geringer als im Tiefbau. Die Metalle erreichen bei den Inputflüssen im Tiefbau ca. 50 % der im Hochbau eingesetzten Menge, wohingegen dieser Anteil bei den Beständen nur etwa 1/10 ausmacht. Die Haustechnik fällt auch bei den Flüssen gegenüber den anderen Gütergruppen kaum ins Gewicht. Bei den langlebigen Konsum- und Kapitalgütern unterscheidet sich die prozentuale Verteilung der einzelnen Materialgruppen zwischen Beständen und Flüssen kaum. Es dominieren paritätisch die mineralischen und metallischen Rohstoffe gegenüber den restlichen Materialgruppen.

Abbildung 92: Inputflüsse für das Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen



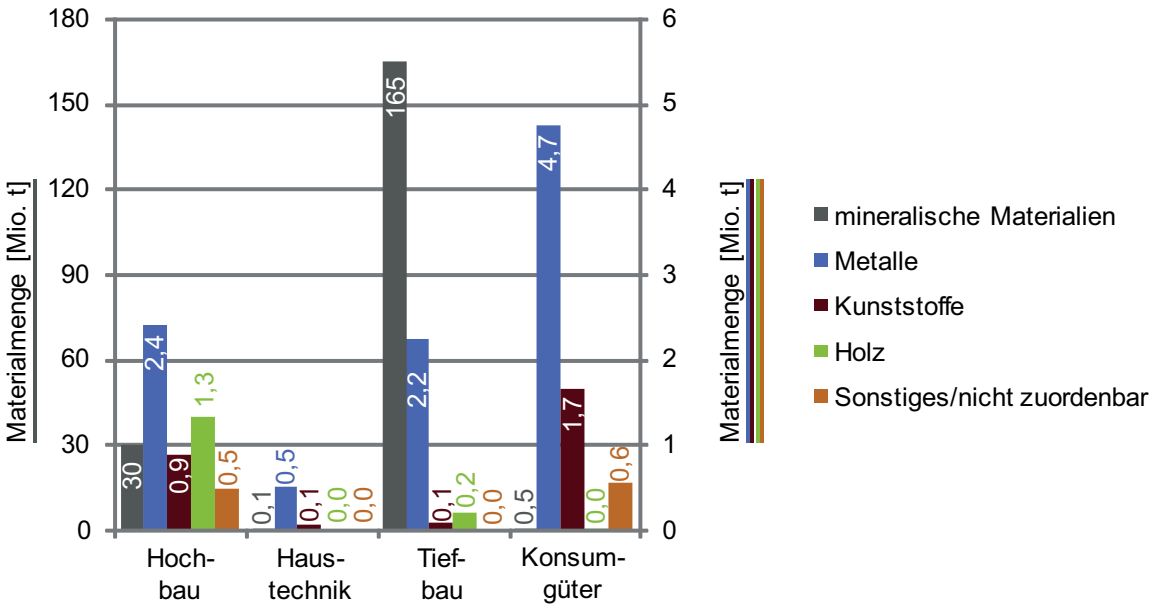
Quelle: eigene Darstellung

Bei den Outputflüssen sind die Unsicherheiten aufgrund der schlechten Datenlage und der deshalb erforderlichen Annahmen[83] wesentlich größer als bei den Inputflüssen. Zu Kapitalgütern liegen keine Outputdaten vor, da eine Abschätzung des Outputs dafür methodisch nicht möglich ist (vgl. Abschnitt 6.1.6.1). Bei den mineralischen Materialien besteht gegenüber den Inputflüssen der Unterschied, dass die Fraktion der künstlichen Steine (Beton, Kalksandstein usw.) bei den Outputflüssen in Form der Endprodukte, d. h. einschließlich des gebundenen Wassers (vgl. Abschnitt 6.1.7, Abbildung 88) betrachtet werden. Dies hat den Grund, dass sich diese Materialien technologisch nicht wieder in ihre Ausgangsbestandteile zerlegen lassen. Diese Art der Betrachtung war nur für die Inputflüsse erforderlich, um anschließend den Vergleich mit den Top-Down-Daten ziehen zu können (siehe Abschnitt 7.1). Bei den Outputflüssen hingegen wird dieser Vergleich mit den abfallwirtschaftlichen Daten gezogen (siehe Abschnitt 7.2), und diese liegen nur für die Endprodukte vor.

Die bereits bei den Inputflüssen festgestellten teils material- und gütergruppenspezifischen Unterschiede gegenüber den Bestandsdaten zeigen sich bei den Outputströmen in analoger Form (Abbildung 93). Die Outputflüsse ähneln qualitativ betrachtet den Inputflüssen (wenngleich sie quantitativ deutlich darunter liegen), weisen aber dennoch Unterschiede auf. Insbesondere bei den mineralischen Materialien zeigt sich eine wesentlich größere Diskrepanz zwischen Hoch- und Tiefbau als dies bei den Inputflüssen der Fall ist, wohingegen der Output bei den Metallen im Hoch- und Tiefbau in derselben Größenordnung liegt.

[83] Im Bereich der Infrastrukturen: Output = Input Instandsetzung

Abbildung 93: Outputflüsse für das Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen



Quelle: eigene Darstellung

Insgesamt wird ersichtlich, dass sich die Veränderungen in den Beständen nicht proportional auf alle Materialgruppen auswirken, sondern unterschiedliche Materialdynamiken existieren. So ist insbesondere bei den mineralischen Baustoffen im Bereich des Tiefbaus ein überproportionaler Zuwachs zu verzeichnen. Dies bestätigt auch die Ergebnisse der differenzierten Analysen auf der Schicht 2 des MSM (vgl. Abschnitt 5.5, Abbildung 33), wonach der Großteil des mineralischen Recyclingstromes in die Tiefbau-Infrastruktur fließt.

6.2 Abfallwirtschaftliche Kennzahlen zur Abbildung von Recyclingaspekten bei spezifischen Input- und Outputströmen

6.2.1 Abschätzung über Kennzahlen

Im Sinne des Konzeptes des Urban Mining wird eine stärkere Rohstoffversorgung aus dem Bestand angestrebt, um Primärrohstoffe zu substituieren und den Bedarf an Zuflüssen in das Lager zu drosseln. In Übertragung auf das Mengenflussgerüst des MSM bedeutet dies eine längere Nutzung der bereits in das Anthropogene Lager eingebrachten Materialen durch Stoffkreisläufe. Der Betrag dadurch kurzfristig vermiedener Abflüsse bestimmt sich unmittelbar aus der Höhe an in den Kreislaufstrom zurückgeführten bzw. wieder in Deponien „zwischengelagerten“ Materialmengen. Der Betrag, um den sich die Inputflüsse drosseln lassen, ergibt sich aus der tatsächlichen Verwertung und Substitution. Eine Verknüpfung mit den Eingangsmengen in stoffliche Kreisläufe liefern die endgültig erreichten Recyclinganteile.

An die Bottom-Up-Betrachtungen anknüpfende abfallwirtschaftliche Analysen zeigen auf, welche Anteile im Kreislauf geführte Materialien in einzelnen Gütergruppen einnehmen können. Grundlagen hierfür bilden Angaben zu Realmengen für Recyclinganwendungen und daraus abgeleiteter Kennzahlen. Einstiegspunkte liefern die amtliche Statistik (u. a. zu Erzeugnissen aus Behandlung; 19-er Gruppe EAV) und Brancheninformationen, die Auskunft geben über eingesetzte Abfälle und Sekundärmaterialien. Abhängig davon, ob die Eingangsinformationen den theoretisch möglichen Einsatz

von sekundären Materialien oder deren tatsächlichen Einsatz betreffen, lassen sich die gegenwärtige Nutzung und Potenziale vergleichend darstellen. Neuere Einblicke liefern die aktuell vorliegende „Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau“ im Auftrag des BBSR (Deilmann et al., im Erscheinen) sowie die vom Umweltbundesamt beauftragte Studie „Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung“ (Schiller et al. 2010).

Für die Bildung von Kennzahlen zur Ableitung theoretischer Einsatzpotenziale stehen unterschiedliche Ansatzpunkte zur Verfügung, basierend auf

- Erkenntnissen der Forschung zu Recyclinganwendungen (mit belegter Machbarkeit zumindest im Labormaßstab),
- Ergebnissen erfolgreich praktizierter Anwendungsversuche sowie
- bestehende Zulassungsgrenzen oder auch international bereits realisierte Werte.

Dies führt zu einer großen Spannbreite im Bereich möglicher Einsatzpotenziale sowie Kennzahlwerte.

Beispielhaft belegen lässt sich dies für Recyclinganwendungen im Bereich des Betonbaus. Hier konnten mittels werkstofflicher Forschung Ersatzanteile durch Rezyklat an den eingesetzten Gesteinskörnungen von bis zu 90 % ohne qualitativ nachweisbare Einschränkungen im Beton ermittelt werden (siehe u. a. Ergebnisse aus BMBF-Vorhaben "Baustoffkreislauf im Massivbau", Teilprojekt E/11; Einfluss des Gehalts an Recyclingsplitt auf die Festbetoneigenschaften; Rübli, S. (2005); Hoffmann, C., Jacobs, F. (2007). Durch eine für die Baustoffzulassung in Deutschland allgemein anerkannte Richtlinie des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DfStB) sind Einsatzgrenzen für geeignete rezyklierte Gesteinskörnungen bei einem maximalen Ersatzanteil von 45 Vol.-% am Gesamtgesteinskörnungsgehalt gezogen (siehe dazu Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100, Ausgabe Dezember 2004). Maßgebend ist für diese Möglichkeit der konkrete Anwendungsfall. In Deutschland in Einzelfällen[84] bereits praktisch umgesetzt, im Ausland teils auch als Baustandard, ist das Bauen mit Betonen, deren sekundärer Anteil an den Gesteinskörnungen bei 20 - 25 % liegt[85].

Die Ermittlung eines theoretischen Mengenpotenzials für Recyclinganwendungen setzt voraus, eine solche Kennzahl in den relevanten Gütergruppen auf die Bottom-Up ermittelten Ströme der jeweiligen Materialart zu projizieren. Die Frage nach dem Aufnahmepotenzial an Sekundärmaterial durch einen bestimmten Einsatzbereich wird durch Verknüpfung mit den ermittelten Materialinputs in die jeweiligen Gütergruppen beantwortet.

Outputflüsse der Gütergruppenlager auf die in der Statistik geführten Abfallfraktionen zu übertragen, stößt an viele Grenzen. In den wenigsten Fällen besteht eine unmittelbare Identität zwischen einzelnen Gütern und entsorgten Abfallfraktionen. So können die statistisch erfassten Bauabfälle im Nachhinein weder einer bestimmten Bauwerksart (Wohn- oder Nichtwohngebäude), noch verlässlich dem Tief-, Hoch- oder Infrastrukturbau zugeordnet werden. Ferner ist es möglich, dass zur registrierten Menge an Bauabfällen Anteile gehören, die kein Bauwerksinput im eigentlichen Sinne darstellen, sondern beispielsweise als Möbelteile oder Haustechnikkomponenten andere Gütergruppen repräsentieren. Eine Ableitung von Stoffflussbeziehungen zwischen abfallwirtschaftlicher Bereitstellung von Sekundärrohstoffen, Rückführung in die Erzeugung und benötigtem Zufluss an Primärmateria-

[84] siehe u. a. die unter www.rc-beton.de dokumentierten Pilotprojekte

[85] Vergleichbar verhält es sich mit den Spannbreiten für Recyclingkennzahlen in anderen Anwendungsbereichen und Materialkategorien. So stehen beim Einsatz recycelten Holzes in der Spanplattenherstellung der für Deutschland vorliegenden Quote von 13 - 19 % Verwendungsgrößenordnungen von 50 - 70 % in anderen europäischen Ländern gegenüber.

lien in ein und derselben Gütergruppenebene ist damit selten sachgerecht. Eher als Ausnahme ist das im Bereich des sogenannten Altpapierkreislaufes hinreichend gut möglich.

Auf der Seite des Materialinputs in Güter lassen eingesetzte Mengen und Qualitäten an Sekundärmaterialien bessere Rückschlüsse auf stoffliche Kreisläufe zu. Allerdings ist der zugängliche Informationsstand über güterbezogene Recyclinganteile bisher unbefriedigend und nur mittels aufwendiger Einzelrecherchen zu verbessern.

Für den Hochbau können Daten ermittelt werden, anhand derer die genannten Zusammenhänge verdeutlicht werden können. Insgesamt wurden ca. dreißig verschiedene sekundäre Inputstoffe in den Hochbau ermittelt, deren Ursprünge in den unterschiedlichen Ebenen der abfallwirtschaftlichen Materialflussbetrachtungen liegen. Oft bestehen pro Materialgruppe mehrere Möglichkeiten eines Einsatzes von verschiedenartigen Sekundärstoffen, meist handelt es sich um materialgleiche. Die genauere Darstellung hierzu liefert Tabelle 26. Sie beinhaltet eine Auflistung der verschiedenen, innerhalb einer Material- bzw. Produktgruppe bereits realisierten Anwendungen an sekundärem Input.

Auf dieser Grundlage können unter Zuhilfenahme von Kennzahlen folgende Aussagen getroffen werden:

- Sekundärrohstoff-Einsatzmengen: die geschätzten absoluten Mengen eingesetzter Sekundärrohstoffe [t];
- Abschöpfungsgrad an Sekundärrohstoff: Verhältnis zwischen eingesetzter Sekundärrohstoffmenge und verfügbarer Sekundärrohstoffmenge [%];
- Recyclinganteil: Verhältnis aus eingesetzter Sekundärrohstoffmenge und Gesamtinputmenge (Primär- und Sekundärrohstoffe) [%].

Nicht alle identifizierten Anwendungen eines sekundären Inputs in die Gebäudeherstellung können mit Zahlen hinterlegt werden. So ist die direkte Rückführung auf Produktionsebene im Bereich Rest- und Rückbeton, Mahlgüter und Verschnitte weitgehend unbekannt. Beispiele sind aus der Glasindustrie (Verwendung von Eigenscherben) und der stahlerzeugenden Industrie (Angaben zum Eigenentfall an Schrotten) bekannt.

Eine grobe Näherung stellt es bei der vorgenommenen Abschätzung auch dar, wenn davon ausgegangen wird, dass alle Holzfaserstoffe, die von der Ziegelindustrie als Porosierungszusatz eingesetzt werden, ausschließlich Ziegel betrifft, die inländisch beim Gebäudebau Verwendung finden. Vergleichbare Vereinfachungen betreffen die Anrechnung der Mengen eingesetzter RC-Gesteinskörnung, Flugasche, Gießereialtsande und an REA-Gips. Hier liegen jeweils nur Angaben zu sektorbezogenen Einsatzmengen aus verschiedenen Quellen vor. Weiterführend ist ein Bezug zum Anwendungsumfang in konkreten Produkten bzw. Gütern lediglich in wenigen Fällen gegeben so dass derzeit an dieser Stelle eine eingeschränkte Quantifizierbarkeit besteht.

Die Ergebnisse aus Recherchen und Abschätzungen aus dem bereits angesprochenen Beispiel des Hochbaus sind in Tabelle 27 und Tabelle 28 wiedergegeben. Die Spaltenwerte der in Tabelle 27 angegebenen Mengen summieren sich auf 12,3 Mio. t. Dies entspricht der für den Hochbau ermittelten Einsatzmenge an Sekundärrohstoffen für das Jahr 2010.

Tabelle 26: Darstellung der bekannten sekundären Inputmaterialien in die Produktionsprozesse am Beispiel des Hochbaus im Basisjahr 2010

Materialgruppen	Bekannter Sekundärer Input in die Produktion		
	Produktions-ebene	Abfallmanagement-ebene	Industrielle Nebenprodukte
Mineralische Materialien			
Beton	Rückbeton	RC-Baustoff	Flugasche, REA-Gips
Porenbeton	Mahlgut (Bruch)		
Kalksandstein	Mahlgut (Bruch)		
Ziegel	Mahlgut (Bruch)	Holzfaser (Altpapier), EPS-Granulat	Gießereialtsand
Gipskarton	Mahlgut (Bruch)	Holzfaser (Altpapier)	REA-Gips
Flachglas	Eigenscherben	Altglas (Flachglas-/ Behälterglasscherben)	
Mineralische Dämmstoffe	Verschnitt	Altglas (Flachglas-/ Behälterglasscherben)	
Mineralische Stoffe in Bodenbelägen	Mahlgut (Bruch)		
Metalle			
Stahl	Eigenentfall	Stahlschrott	
Kunststoffe			
Dämmstoffe aus Kunststoffen	Verschnitt		
Kunststoff-Fenster/-Türen	Verschnitt	PVC-Regranulat	
Kunststoff-Dach/-Dichtungsbahn	Verschnitt		
Kunststoffe in Bodenbelägen	Verschnitt	PVC-Regranulat	
Holz			
Holz	Spanplatten-verschnitt	Altholz (Al-II-Holz)	Industrierestholz

Quelle: eigene Darstellung

Insgesamt wurde in den Berechnungen zum MSM ein Materialfluss von 153 Mio. t ermittelt, der als Sekundärmaterial verfügbar ist. Setzt man die ermittelte Sekundärrohstoffeinsatzmenge hierzu in Bezug, resultiert daraus ein Abschöpfungsgrad an Sekundärrohstoff in Höhe von 8 %, der vom Bereich Hochbau „abgeschöpft“ wird bzw. dort zum Einsatz kommt.

Als Materialinput in den Hochbau wurde für 2010 ein Strom in Höhe von 120 Mio. t ermittelt. Verwendet man dies als Bezugsgröße für die Sekundärrohstoffeinsatzmenge, ergibt sich ein Recyclinganteil im Hochbau in Höhe von ca. 10 %.

Die entsprechend ermittelten Werte differenziert nach Materialgruppen, sind in Tabelle 28 dargestellt.

Tabelle 27: Sekundärrohstoffeinsatzmengen im Gebäudebau im Basisjahr 2010

Sekundäres Inputmaterial	Verwendungsbereich	Sekundär-rohstoffein-satzmenge [Mio. t]	Quelle
RC-Baustoff	Gesteinskörnungszuschlag für Beton	0,48	Destatis FS 19
Flugasche	Steinkohleflugasche in Zementin-dustrie u. bei Betonerzeugung	2,60	SST/DIW-Branchenstudie
REA-Gips	Gipsplattenherstellung und Zusatz bei Zementherstellung	3,72	SST/DIW-Branchenstudie
Gießereialtsand	Ziegelherstellung	0,02	Verbandsangaben
Altglas	Flachglaserzeugung Dämmstoffherstellung	0,45 k.A.	rechnerisch aus Verbands- u. Her-stellerangaben
Stahlschrott	Erzeugung von Bau- u. Konstrukti-onsstahl	3,40	rechnerisch aus Verbandsangaben
PVC-Regranulat bzw. Mahlgut	Verwendung bei Fenster-/Türherstellung und als Bodenbelagszuschlag	0,02	Verbands- u. Her-stellerangaben
Altholz	Spanplattenherstellung	1,05	Mantau-Branchenstudie
(Altpapier-) Holz-faser	Ziegelherstellung und Gipsplatten-herstellung; Dämmstoffherstellung	0,55	PTS-Branchenstudie, rechnerisch aus Herstellerangaben

Quelle: eigene Recherchen und Berechnungen

Tabelle 28: Sekundärrohstoff-Einsatzmengen, Recyclinganteil und Abschöpfungsgrad an Sekundärrohstoff differenziert nach materialgruppen für die Gütergruppe „Hoch-bau“ (2010)

	Sekundärrohstoff-Einsatzmengen [Mio.t]	Recyclinganteil [%]	Abschöpfungsgrad an Sekundärrohstoff [%]
Gesamt	12,29	10,30	8,00
Mineralisch	7,27	6,90	7,80
Metalle	3,40	36,80	11,80
Kunststoffe	0,02	0,80	0,34
Holz	1,60	49,80	6,37

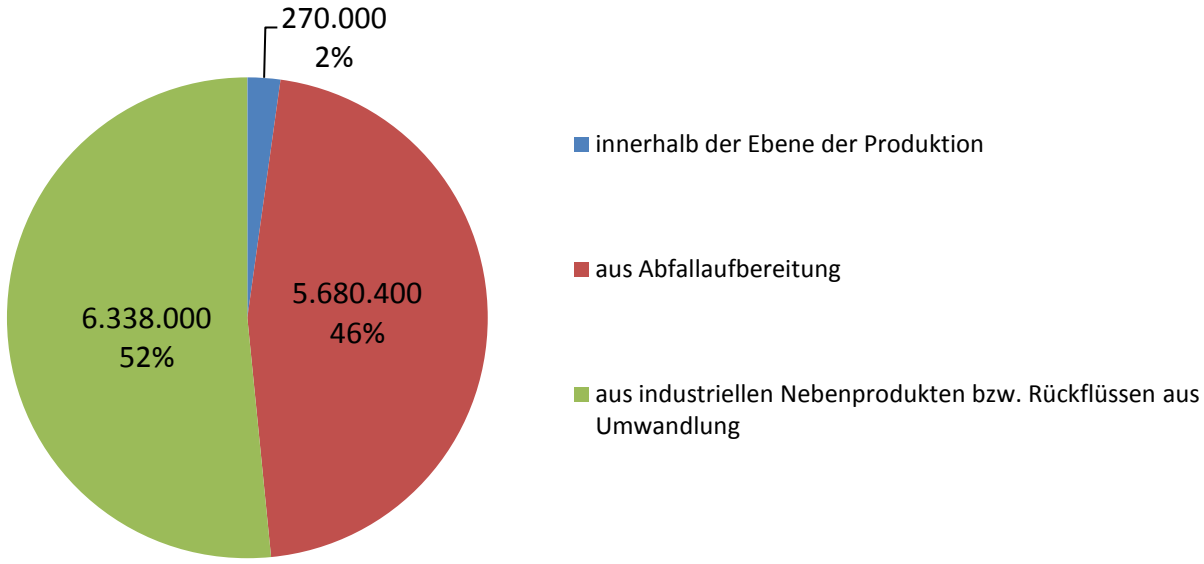
Quelle: eigene Berechnungen

Der Hauptanteil der Einsatzmengen entfällt auf die klassischen Materialgruppen des Bausektors *Mineralisch* und *Metall*. In der Gruppe *Mineralisch* dominieren Sekundärrohstoffe aus industriellen Ne-

benprodukten, allen voran REA-Gips, der insbesondere in Gipsbaustoffen genutzt wird, und bei der Zement- und Betonerzeugung verwendete Flugasche. Bereits stark in der Diskussion befinden sich Möglichkeiten zur Erhöhung des Einsatzes von RC-Gesteins-körnungen im Hochbau, die mit unter 1 Mio. t derzeit noch eine geringe Verwendungsgrößenordnung darstellen. Recycelte Holz- und Metallmengen liefern vom rechnerischen Ansatz mit fast 50 % bzw. 37 % einen relativ hohen Anteil am Gesamtinput der gleichen Materialart in den Gebäudebau. Beim Metall liegt das am insgesamt hohen Beitrag, den Schrotte inzwischen bei der inländischen Eisen- und Stahlerzeugung liefern. Anteilig umgelegt auf die Baustahlerzeugung ergibt sich diese hohe Quote. Beim Holz ist diese vor allem auf die hohe Bedeutung von Holzbauplatten (Span- und Faserplatten) beim heutigen Bauen zurückzuführen. Die Erzeugung derartiger Platten erfolgt unter signifikanter Verwendung von Sekundärholzanteilen und -fasern.

Abbildung 94 nimmt eine Unterscheidung der Sekundärrohstoff-Einsatzmengen nach Herkunft der Mengen vor. Der überwiegende Anteil sekundären Materials kommt aus Reststoffen aus Umwandlung bzw. industriellen Nebenprodukten. Aus dem Abfallrecycling im engeren Sinne, also der Gewinnung und der Einsatz sekundärer Rohstoffe aus nicht mehr genutzten und zu Abfall gewordenen Produkten und Gütern, kommt weniger als die Hälfte des Materials.

Abbildung 94: Herkünfte der im Hochbau im Basisjahr 2010 eingesetzten Sekundärmaterialien entsprechend der abfallwirtschaftlichen Stoffflussebenen im MSM [t]



Quelle: eigene Berechnungen

Die in der gütergruppenbezogenen Bottom-Up-Analyse ermittelten Outputmengen stellen jene Materialmengen dar, die tatsächlich als Abfälle anfallen. Sie bilden die eigentliche Bezugsgröße für das Recycling. Outputmengen, Recyclingmengen und Recyclinganteil sind nicht gleichzusetzen, ebenso ist darauf hinzuweisen, dass Recyclingmengen und substituierte Rohstoffmengen verschieden sind. Dem ist bei der Abbildung abfallwirtschaftlich relevanter Flüsse entsprechend Rechnung zu tragen (siehe hierzu auch Ausführungen in Abschnitt 6.2.2).

6.2.2 Recyclingbeitrag in den Flussgrößen

Der Ansatz zur Kartierung des Anthropogenen Lagers und der Flüsse, von denen es bestimmt wird, ist u. a. von der Idee getragen, Veränderungen der Gesamtmaterialflüsse durch Aktivitäten wie das Recycling ableiten zu können. Das würde voraussetzen, dass Sekundärmaterialströme in direkter und eineindeutiger Beziehung zu den Materialzuflüssen oder auch Inputflüssen in Produkte und Güter stehen. Rein markt- und nachfragebedingte Einflüsse auf den Materialzustrom und -einsatz würden ausgeblendet werden.

Falsch wäre es, bei Materialien mit gleichwertiger Ersetzbarkeit innerhalb einer Stoffgruppe zu unterstellen, dass einer entsprechenden Menge an Sekundärmaterial aus Abfällen ein gleicher Betrag an ersetzlichem Lagerzufluss bzw. Güterinput bilanziell gegenübersteht. Schon die Erhebungsgrenzen der Abfallstatistik erlauben dieses Äquivalenzverhältnis nicht, da im Wesentlichen Behandlungsmengen als Betrachtungsgrößenordnung dienen. Eine Menge Betonbruch, die als vollumfänglich recycelbares Material Anrechnung im SERO-Strom findet, ist nicht die Menge an gebrochenem Beton, die letztlich primäre mineralische Stoffe substituiert bzw. im RC-Produkt vorliegt. Sie unterliegt vielmehr weiteren Verlusten im Zuge des Wiedereinbringungsprozesses in Güter. So gehen beispielsweise im Aufbereitungsverfahren von Altpapier noch in der Papierfabrik erhebliche Mengen an Faserstoff, u. a. aufgrund zu geringer Faserlänge, verloren. Des Weiteren werden Druckfarben, mit dem Papierprodukt zunächst verbundene materialfremde Bestandteile (z. B. Kunststofffolien) oder auch nicht auflösbare Papieranteile (sogenannte nassfeste Papiere) abgetrennt. Allein die Menge noch abgehender Faserschlämme in der Papierproduktion beläuft sich in Deutschland heute auf eine Größenordnung von über 1 Mio. t. Auch bei der Weiternutzung zurückgewonnener mineralischer Materialien können bspw. Wasch- und Klassierprozesse zu Materialausträgen führen, die das vorgelegte Zahlenwerk nicht erfasst. Die vollständigen Behandlungskaskaden bzw. Nettosubstitutionsbeiträge kann das MSM nicht abbilden.

Unterwirft man das Bilanzierungsgerüst des MSM einer sehr langfristigen Betrachtung, verliert der Einfluss von abfallwirtschaftlichem Handeln auf das Lager an Bedeutung bzw. ist kaum mehr darstellbar. Materialien können nicht endlos in Kreisläufen gehalten werden. Jedes recycelte Material kommt irgendwann an den Punkt, wo es aus dem Kreislauf ausgeschleust werden muss. Um das Lager und damit den Rohstoffbestand zu erhalten, bedarf es dann eines adäquaten Zuflusses aus primären Quellen. Abfallwirtschaft verändert primär die Verweildauern von Materialien im Lager und deren temporäre Verbleibsorte. Wichtig ist es, dieses Regulativ so einzustellen, dass potenziell gefährliche Stoffe rechtzeitig an die Orte gelangen, wo sie ohne schädliche Wirkung bleiben, und jene Materialanteile, von denen derartige Gefahren nicht ausgehen, so lange wie möglich lagererhaltend Verwendung finden.

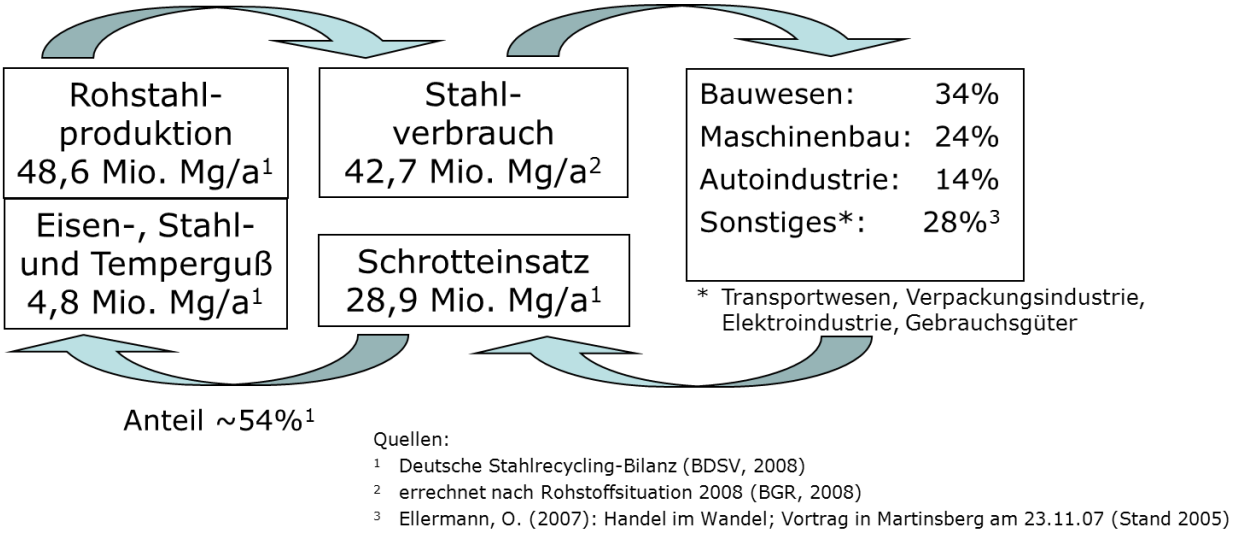
In der Augenblicksbetrachtung führen eingesetzte Recycling-Materialien zu einem additiven Effekt im Bilanzgerüst des MSM. Einerseits werden abgehende Materialflüsse in gleicher Größenordnung reduziert, zusätzlich werden notwendige Zuflüsse an primären Materialien vermieden.

Über die Größenordnung und Beschaffenheit der Mengenströme, die über abfallwirtschaftliche Aktivitäten zum Ausgangspunkt für Prozesse der stofflichen Anschlussnutzung werden, geben die Abschnitte 4.2.2 und 5.4 ausführlich Auskunft. Wie oben ausgeführt, werden dabei aber nicht die letztlich eingesetzten Sekundärrohstoffmengen wiedergegeben. Was diese betrifft, vermittelt Abschnitt 6.2.1 einen Einblick. Zur weiteren Klärung von Mengendifferenzen auf dieser Ebene sind aufwendige Einzeluntersuchungen notwendig. Dabei lassen sich zwischen den verschiedenen Materialgruppen, aber auch bei jeder speziellen Materialanwendung sehr unterschiedliche Ergebnisse erwarten.

In Bereichen, wo das Recycling gut funktioniert und sich die lagererhaltende Materialverwendung über Erfassung und Rückführung in den Produktionsprozess seit langem nahe an der oberen Poten-

zialgrenzen vollzieht, ist gut sichtbar, wie auch in den Beziehungen des Zuflusses an neuen Rohstoffmengen und Sekundärmaterialrückführung ein Gleichgewicht gehalten wird. Exemplarisch lässt sich der Eisen- und Stahlsektor anführen, wo sich schon über einen Zeitraum beginnend von 1950 bis heute der Schrottanteil in der Produktion eng um einen Korridor von 40 – 50 % bewegt. Für diesen Bereich lässt sich mittels eines von verschiedenen Quellen gestützten Zahlengerüstes auch der Teilausschnitt des MSM zum Materialkreislauf vollständig skizzieren (Abbildung 96).

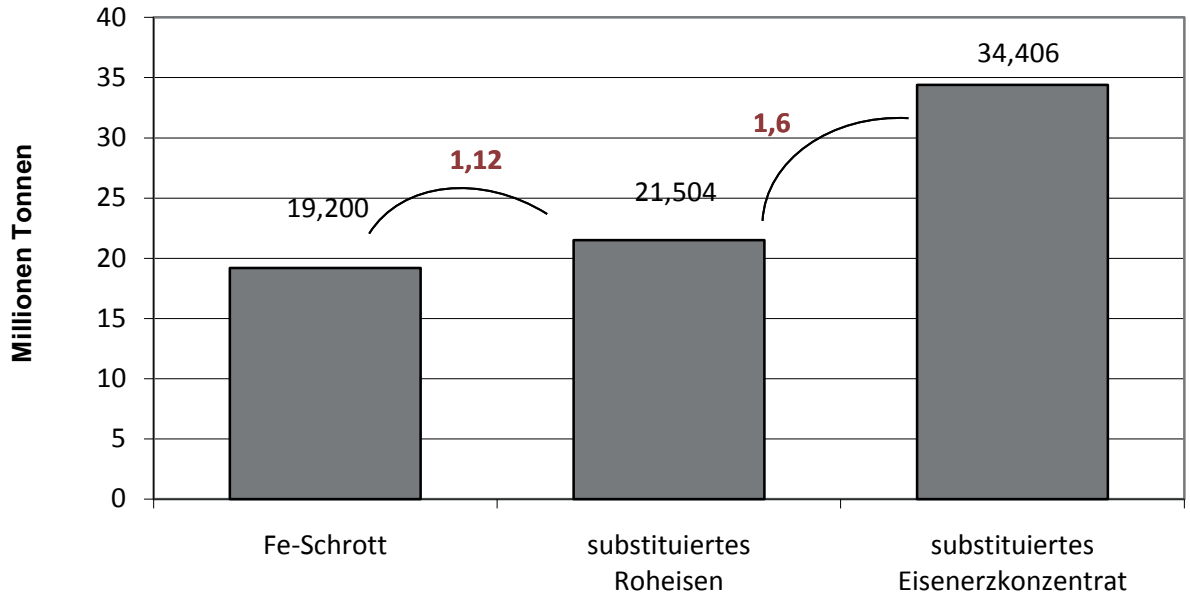
Abbildung 95: Für Fe-Metall/Stahl skizzierbarer Materialkreislauf in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung basierend auf genannten Quellen

Der tatsächlich erzielte Minderungseffekt an Inputströmen, insbesondere Zuflüssen aus Extraktion, in das Anthropogene Lager durch die Nutzung der Sekundärmaterialien wird anhand des Kreislaufes nicht deutlich. Die Auseinandersetzung damit geht über die gestellte Aufgabe der Kartierung hinaus und bedarf gesonderter Betrachtung. Als verknüpfendes Element zwischen tatsächlicher Einsatzmenge an Sekundärmaterial, wie beispielhaft im Abschnitt 5.4 wiedergegeben, und tatsächlich reduzierbaren Inputflüssen sind Substitutionsrechnungen erforderlich. In diesen findet Berücksichtigung, dass bei Verwendung von sekundären Rohstoffen in der Produktion teilweise deutlich höhere Mengen an primären Ausgangsstoffen eingespart werden. Dabei können neben den Ausgangsstoffen für das zur Verarbeitung kommende Material z. B. auch Energierohstoffe substituiert werden. Verwiesen werden kann dazu auf Untersuchungen und Ergebnisse, die im Projekt des Umweltbundesamtes „Ermittlung des Beitrages der Abfallwirtschaft zur Steigerung der Ressourcenproduktivität sowie des Anteils des Recyclings an der Wertschöpfung unter Darstellung der Verwertungs- und Beseitigungspfade des ressourcenrelevanten Abfallaufkommens“ entstanden sind und in der Texte-Reihe mit dem Index 14/2012 veröffentlicht wurden. Dort findet auch der Eisen- und Stahlsektor Betrachtung. Dabei wird zum Beispiel ausgeführt, dass aufgrund bestimmter Qualitätsanforderungen eine vollständige Substitution von Roheisen durch Stahlschrott nicht möglich ist. Roheisen wird durch Einsatz von Eisen- und Stahlschrott bei der Oxygenstahlherstellung im Faktor 1,12 substituiert, d. h., mit einer Tonne Stahlschrott (Fe-Gehalt 95 %) werden etwa 1,12 Mg Roheisen (Fe-Gehalt 85 %) substituiert (Abbildung 96).

Abbildung 96: Ansatz einer Substitutionsrechnung zum Sachverhalt des Stahlrecyclings (2010)



Quelle: Eigene Darstellung

7 Synthese der Ansätze

Im Rahmen einer integrierten Analyse erfolgt hier eine materialgruppen- und gütergruppenspezifische Gegenüberstellung der Ergebnisse der beiden Analysemethoden Top-Down (Schicht 2, vgl. Abschnitt 5) und Bottom-Up (vgl. Abschnitt 6). Ziel ist es, Abweichungen aufzuzeigen und Erklärungsmuster für auftretende Differenzen zu entwickeln, um so das MSM weiter zu qualifizieren. Mithilfe der Gegenüberstellung von Top-Down- und Bottom-Up-Berechnungen sollen Datenlücken identifiziert und Erklärungsansätze sowie Hypothesen zu deren Ursachen formuliert werden. Die Gegenüberstellung hilft des Weiteren bei der Qualifizierung der Bottom-Up ermittelten Mengengerüste sowie bei der Erkennung und Erfassung möglicher Zuordnungsprobleme.

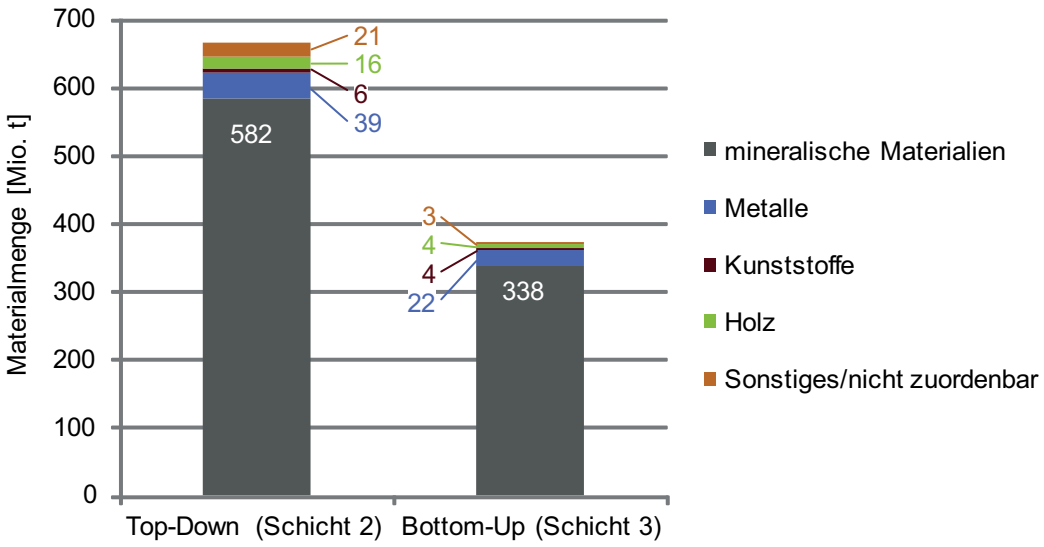
Die Gegenüberstellung fokussiert auf Materialflüsse, da bei den Top-Down-Analysen keine Aussagen zu Beständen getroffen, sondern lediglich Flussdaten ausgegeben werden. Der Vergleich beginnt mit den Inputflüssen, welche aufgrund der Datenlage die differenzierteste Betrachtung erlauben (Top-Down Schicht 2 des MSM, vgl. Abschnitt 5.5). Daran schließt sich ein Vergleich der Outputflüsse an. Dieser ist nur auf der Ebene der Hauptmaterialgruppen möglich, da die Top-Down-Daten hier keine weitere Differenzierung erlauben. Am Ende des Kapitels werden In- und Outputflüsse gegenübergestellt. Alle Angaben in den nachfolgenden Grafiken dieses Kapitels beziehen sich auf das Basisjahr 2010.

7.1 Inputflüsse

7.1.1 Summarischer Vergleich

Für den Vergleich zwischen Top-Down und Bottom-Up werden Top-Down die Inputflüsse auf der Schicht 2 des MSM herangezogen (siehe auch Abschnitt 7.3.2, Abbildung 111). Der summarische Vergleich über alle Güter- und Materialgruppen hinweg zeigt eine Unterschätzung beim Bottom-Up-Ansatz (Abbildung 97). Der Bottom-Up ermittelte Wert (371 Mio. t) erreicht nur knapp mehr als die Hälfte (56 %) der Top-Down ermittelten Gesamtmasse (666 Mio. t), welche sich aus gesamtökonomischen Daten (572 Mio. t, siehe auch Abschnitt 5.3) und abfallwirtschaftlichen Daten (94 Mio. t SERO-Fluss, siehe auch Abschnitt 5.4) zusammensetzen.

Abbildung 97: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up über alle Güter

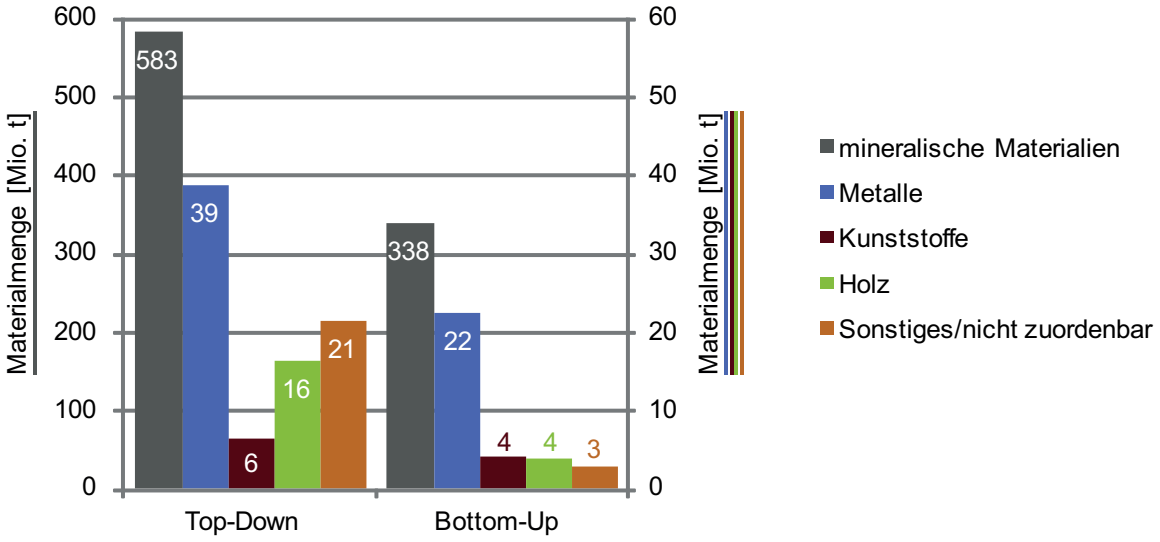


Quelle: eigene Darstellung

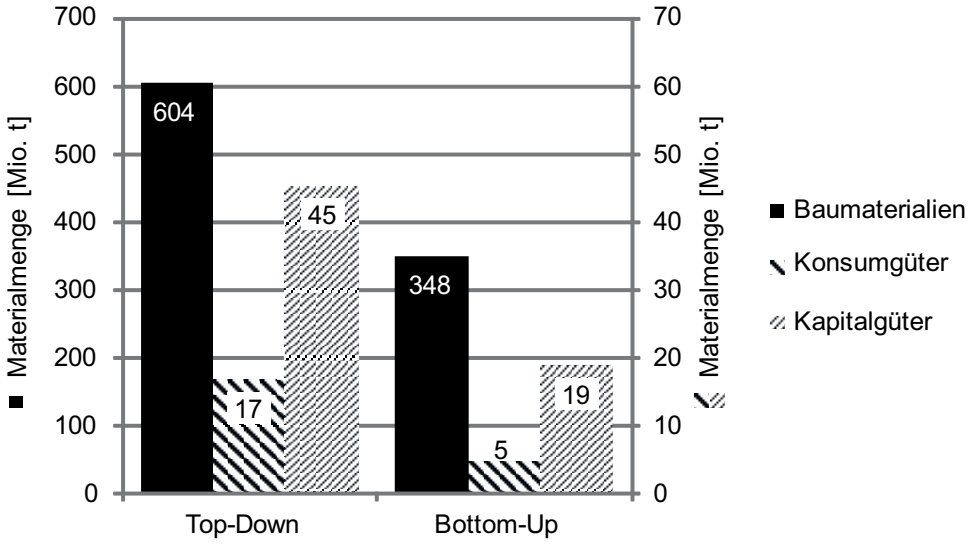
Dies scheint auf den ersten Blick für alle Materialien gleichermaßen zu gelten (Abbildung 98a) – ebenso wie für alle Güter (Abbildung 98b), wenn jeweils nur die Summen ohne weitere Differenzierung verglichen werden. Auf Materialebene sind dies 58 % der Top-Down ermittelten Masse bei den mineralischen Materialien sowie den Metallen, 64 % bei Kunststoffen und 23 % bei Holz. Auf Güterebene liegen die geringsten Abweichungen im Baubereich, wo die Bottom-Up ermittelte Masse (348 Mio. t) 58 % der Top-Down ermittelten Masse (604 Mio. t) beträgt. Deutlich größer sind die Differenzen bei Kapitalgütern (mit 41 %) und noch größer bei den Konsumgütern (mit 27 % der Top-Down ermittelten Masse).

Abbildung 98: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up

a) nach Hauptmaterialgruppen



b) nach Gütergruppen



Quelle: eigene Darstellung

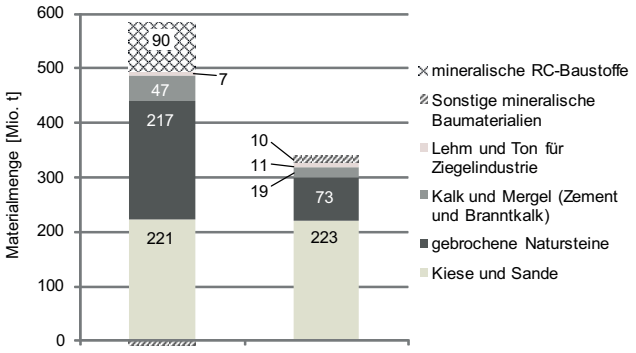
7.1.2 Differenzierter Vergleich nach Materialien und Gütergruppen

Der differenzierte Vergleich nach Material- und Gütergruppen soll zeigen, inwiefern die aus dem summarischen Vergleich gewonnenen Erkenntnisse über die Differenzen zwischen Top-Down und Bottom-Up ermittelten Werten generellen Charakter besitzen. Wenn dies der Fall ist, so könnte der systematische Fehler, z. B. durch Erhöhungsfaktoren, bei den Bottom-Up ermittelten Werten ausgeglichen werden, indem die Top-Down ermittelten Werte als Obergrenze angenommen werden.

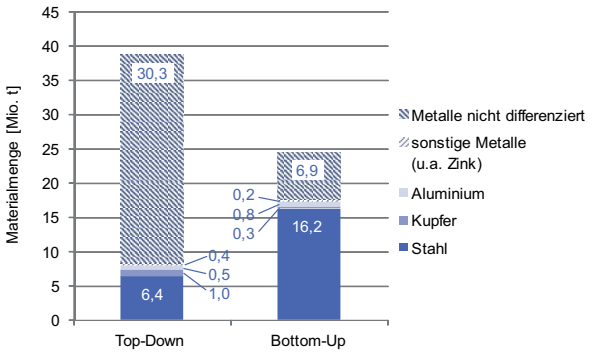
Abbildung 99 zeigt den materialdifferenzierten Vergleich zwischen Top-Down- und Bottom-Up-Ansatz über alle Gütergruppen (bei Kunststoffen mit Ausnahme der Kapitalgüter, da für Kunststoffe keine Bottom-Up-Daten vorliegen). Dieser Vergleich bestätigt zunächst die Feststellungen aus dem summarischen Vergleich (Abschnitt 7.1.1). Bei einzelnen Materialien wie bspw. Stahl (Abbildung 99b) oder diversen Kunststoffarten (Abbildung 99c) sind die explizit für diese Materialien im Bottom-Up-Ansatz ermittelten Werte höher als im Top-Down-Ansatz. Eine generelle Aussage kann daraus jedoch noch nicht abgeleitet werden, da sowohl bei Metallen als auch bei Kunststoffen Top-Down ein großer Teil der Daten ohne Differenzierung vorliegt, der die Top-Down „fehlenden“ Materialien enthalten kann.

Abbildung 99: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up über alle Güter, differenziert nach Materialien

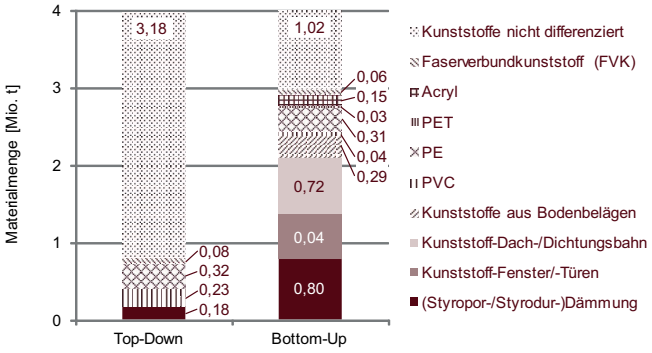
a) mineralische Materialien



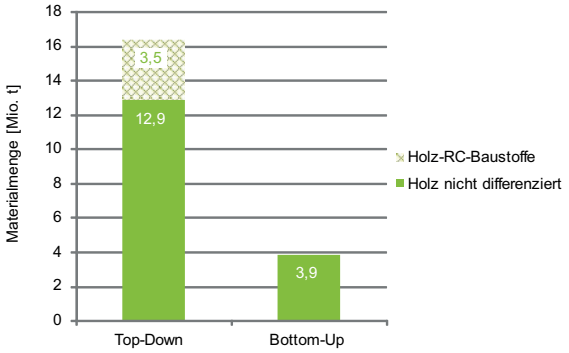
b) Metalle



c) Kunststoffe (außer Kapitalgüter)



d) Holz



Quelle: eigene Darstellung

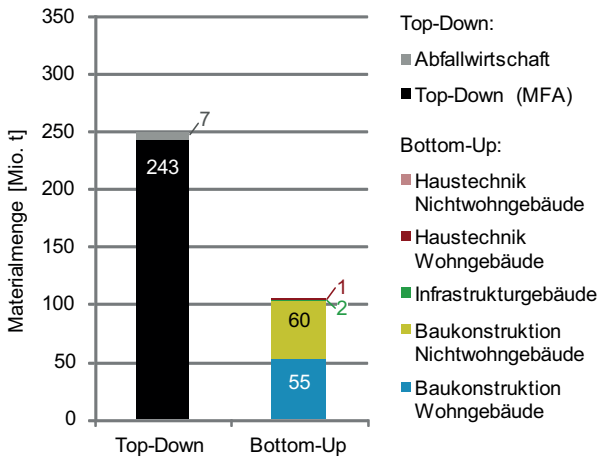
7.1.2.1 Mineralische Materialien

Die mineralischen Materialien (Abbildung 99a) werden durch den Baubereich dominiert. Bottom-Up generierte Daten für Konsumgüter liegen um mehrere Zehnerpotenzen darunter und fallen hier nicht ins Gewicht. Selbiges gilt für Kapitalgüter mit rund 10 Mio. t. Auch bei den Top-Down ermittelten Werten sind die mineralischen Bestandteile in Konsum- und Kapitalgütern unbedeutend (vgl. Abschnitt 5.3.1, Tabelle 4). Aus diesem Grund ist ein Vergleich bei den mineralischen Materialien nur für den Baubereich sinnvoll und wird im Folgenden auch nur für diesen geführt.

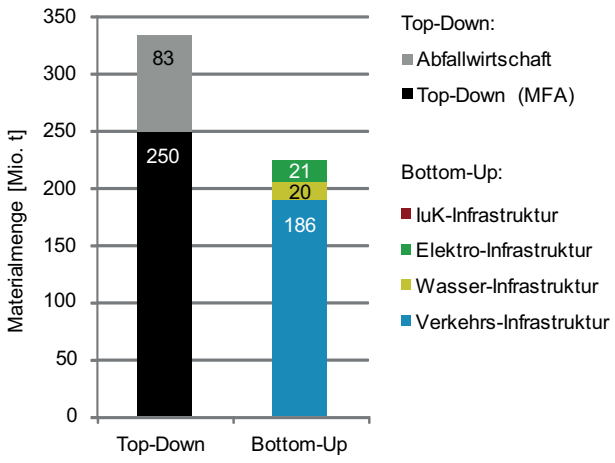
Auf Seite der Bottom-Up-Datenermittlungen im Baubereich sind die mineralischen Baustoffe der Baukonstruktion von Wohn- und Nichtwohngebäuden (in Neubauten und in bestehenden Bauten) einschließlich Haustechnik, Infrastrukturgebäude sowie von Verkehrs-, Wasser-, Elektro- und IuK-Infrastruktur enthalten (Abbildung 100). Die differenzierte Betrachtung nach Baubereichen (Hoch- und Tiefbau) zeigt bei beiden eine Unterschätzung Bottom-Up. Im Hochbaubereich (Abbildung 100a) ist die Datenlücke größer als im Tiefbaubereich (Abbildung 100b). Die Unterschätzung der Bottom-Up-Daten beträgt im Hochbau mehr als die Hälfte (58 %) und im Tiefbau ein Drittel (33 %) im Vergleich zu den aus MFA und abfallwirtschaftlichen Analysen ermittelten Top-Down-Daten.

Abbildung 100: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für mineralische Rohstoffe im Baubereich nach Gütergruppen

a) Hochbau



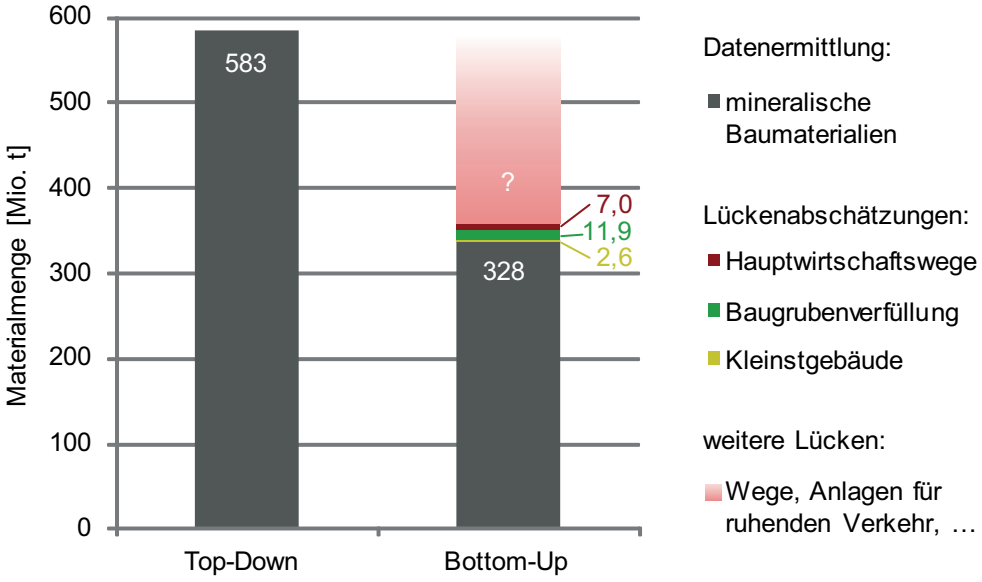
b) Tiefbau



Quelle: eigene Darstellung

Erklärungsmuster für die Differenz sind an dieser Stelle in jedem Fall unvollständige Daten Bottom-Up. Dies betrifft beispielsweise nicht erfasste Hauptwirtschaftswege, welche dem Tiefbau zuzuordnen sind, sowie nicht berücksichtigte Baugrubenverfüllungen, statistisch nicht erfasste Kleinstgebäude und bislang nicht erfasste Zufahrten auf Nichtwohngebäudegrundstücke, die dem Hochbau zuzuordnen sind. Unter Zuhilfenahme von Überschlagsrechnungen sind für einige dieser Kategorien grobe Lückenabschätzungen erfolgt (Abbildung 101). Diese erklären rund 14,5 Mio. t im Hochbau und 7 Mio. t im Tiefbau.

Abbildung 101: Lückenabschätzungen für mineralische Materialien im Baubereich



Quelle: eigene Darstellung

Insgesamt verbleibt jedoch eine größere Lücke (rosa Bereich) von 233 Mio. t, davon 131 Mio. t im Hoch- und 102 Mio. t im Tiefbau. Im Hochbaubereich tragen u.a. bislang nicht erfasste Zufahrten auf Nichtwohngebäudegrundstücke zu der vorhandenen Datenlücke bei, im Tiefbaubereich ist ein Teil der verbleibenden Lücke mit Wegen wie Wirtschafts-, Fahrrad- und Fußwegen sowie Anlagen für den ruhenden Verkehr zu erklären. Sie sind aufgrund der Datenlage nicht quantifizierbar. Unter Berücksichtigung der bereits überschläglich ermittelten Größenordnungen für die Hauptwirtschaftswege usw. ist jedoch nicht zu erwarten, dass diese fehlenden Anwendungen die bestehende Lücke vollständig erklären können.

Des Weiteren bestehen Unsicherheiten bezüglich der Differenzierung in Hoch- und Tiefbau. Möglicherweise bestehen hier Zuordnungsprobleme, die Top-Down anders gehandhabt werden als Bottom-Up[86], sodass sich die Anteile der verbleibenden Lücken (58 % Hochbau bzw. 33 % Tiefbau) bei anderer Zuordnung auch verschieben könnten.

Es bleibt aber auch die Möglichkeit einer Überschätzung des Tiefbaus im Bottom-Up-Bereich zu diskutieren, welche möglicherweise aus den gewählten Ansätzen für den Erhaltungsaufwand von Straßen herrühren kann.

[86] Vermutlich sind Top-Down- und Bottom-Up-seitig Hoch- bzw. Tiefbau schwer zu vergleichen. Der Top-Down-Ansatz verwendet Daten, die bereits entsprechend zugeordnet wurden. So fallen z. B. in einer älteren Statistik des Kies- und Sandverbandes unter Hochbau Kategorien wie Betonzuschlag, Kalksandsteinzuschlag, Mörtelzuschlag sowie sonstige Verwendung in den Bereich Hochbau. Zum Tiefbau zählen Kategorien wie Frostschutzkies, Tragschichtkies (gebunden und ungebunden), Kiessplitt für Decken sowie sonstige Verwendung im Tiefbau. Unterbaumaterial wie Tragschichtkies (Top-Down komplett dem Tiefbau zugeordnet) wird jedoch auch im Hochbau in nicht zu vernachlässigender Menge eingesetzt.
Im Bottom-Up-Ansatz sind im Tiefbau zum Teil Gebäude mit enthalten (bspw. Gebäude in Kraftwerksanlagen oder ähnliches, wo eine Trennung zwischen Hoch- und Tiefbau nur schwer möglich ist), die Top-Down als Hochbau gewertet werden könnten, da sie eben Betonflüsse in oberirdische Gebäude (Kraftwerke, Wasserwerke, Kläranlagen) betreffen. In der Regel wird die Energie- bzw. Wasser-/Abwasser-Infrastruktur im Bottom-Up-Ansatz komplett dem Tiefbau zugerechnet, egal, um welche Bestandteile es sich handelt; lediglich eindeutig als Gebäude identifizierbare Anlangen, wie z. B. Bahnhofsgebäude, wurden als Infrastrukturgebäude dem Hochbau zugewiesen.

Weiterhin wurde Bottom-Up im Verkehrswegebau kein In-Situ-Recycling berücksichtigt. Dies wirkt sich aber maßgeblich auf den Output aus und wird deshalb im Abschnitt 7.2 diskutiert.

7.1.2.2 Metalle

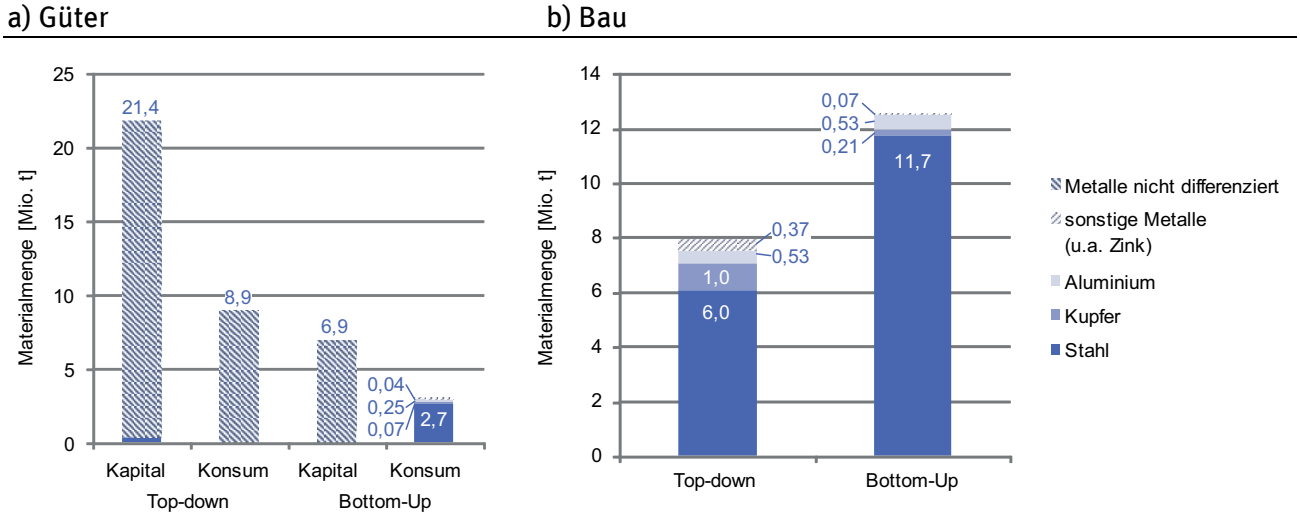
Bei den Metallen ergibt sich die in Abbildung 99b ersichtliche Lücke nach genauerer Betrachtung aus zwei größeren gegenläufigen Einflüssen:

Bottom-Up sind die Daten für Kapital- und Konsumgüter vermutlich unvollständig, da sie sich auf I-/O-Tabellenabschätzungen (Kapitalgüter) bzw. ausgewählte Warenkörbe (Konsumgüter) beschränken (Abbildung 102a). Dies führt zur Vergrößerung der Lücke in der Gesamtbetrachtung (Abbildung 99b).

Top-Down sind vermutlich die Daten für den Stahl – insbesondere im Baubereich (Abbildung 102b), da sie aus Verbandsdaten[87] stammen – unvollständig, was die Lücke in der Gesamtbetrachtung (Abbildung 99b) scheinbar verkleinert.

Im Bereich der Konsum- und Kapitalgüter liegen Top-Down für den Großteil der Metalle keine differenzierten Daten vor, sodass hier keine materialspezifischen Erklärungsmuster gefunden werden können. Im Baubereich überwiegt im Bottom-Up-Ansatz der Anteil des Stahls (Abbildung 102b).

Abbildung 102: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für Metalle



Quelle: eigene Darstellung

Recyclinganteile in der Stahlproduktion kommen für die Erklärung der Lücke nicht infrage, da diese sowohl Top-Down als auch Bottom-Up enthalten sind. Ein Lückenschluss ist hier nach derzeitigem Stand der Kenntnis nicht möglich.

Die große Differenz bei Kupfer im Baubereich wird u. a. auf fehlende Bottom-Up-Daten zu Elektroleitungen und Kupferdachrinnen zurückgeführt. Hier lassen die vorhandenen Daten keine umfassende Auswertung zu. Freileitungen und Erdkabel der Elektroinfrastruktur sind in den Bottom-Up-Daten bereits enthalten, jedoch liegen derzeit keine Daten zu Kupfer aus der IuK-Infrastruktur vor. Diese Kupfermengen könnten ggf. mit zum Füllen der Lücke beitragen.

[87] Konstruktionsstahl lt. Wirtschaftsvereinigung Stahl (Quelle: Bauforum Stahl),
Bewehrungsstahl lt. Institut für Stahlbetonbewehrung - Daten für 2007

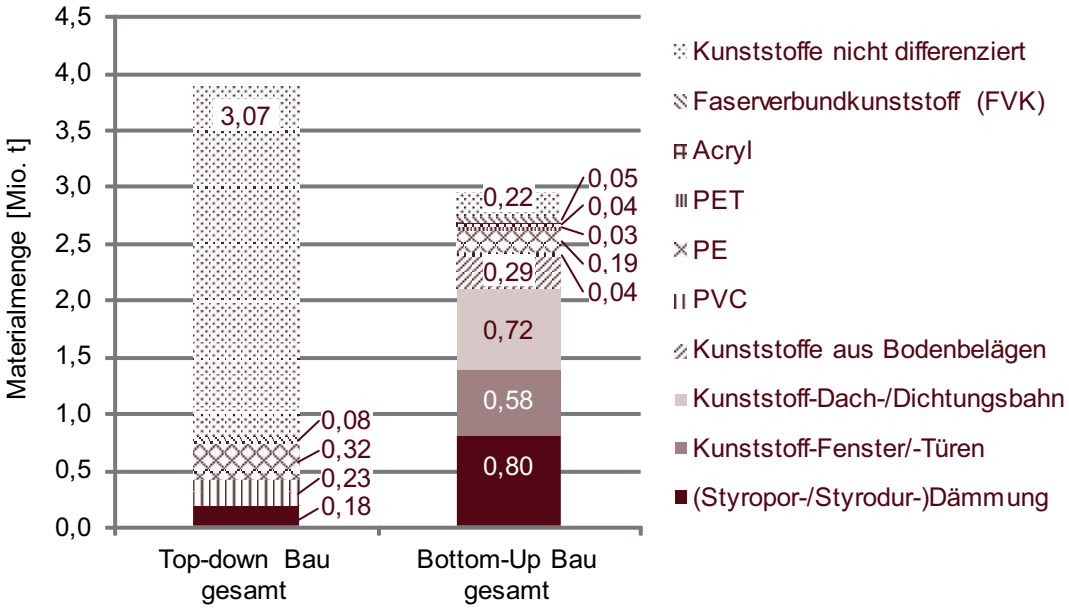
Bei Aluminium passen die Werte Top-Down und Bottom-Up im Wesentlichen zusammen. Zink ist ebenfalls Bottom-Up unvollständig erfasst. Es fehlen z. B. typische verzinkte Bauelemente wie Dachrinnen, Fallrohre oder Schneefanggitter.

7.1.2.3 Kunststoffe

Bei den Kunststoffen sind die Ergebnisse der Top-Down- und Bottom-Up-Analysen insgesamt betrachtet recht ausgewogen (Abbildung 99c). Die differenzierte Betrachtung der Gütergruppen zeigt insbesondere für den Baubereich geringere Abweichungen als bei den anderen Materialgruppen (Abbildung 103). Eine qualitative Beurteilung von Differenzen auf Materialebene innerhalb der verschiedenen Kunststoffarten ist jedoch nicht möglich, da ein Großteil der Top-Down-Daten ohne Differenzierung vorliegt.

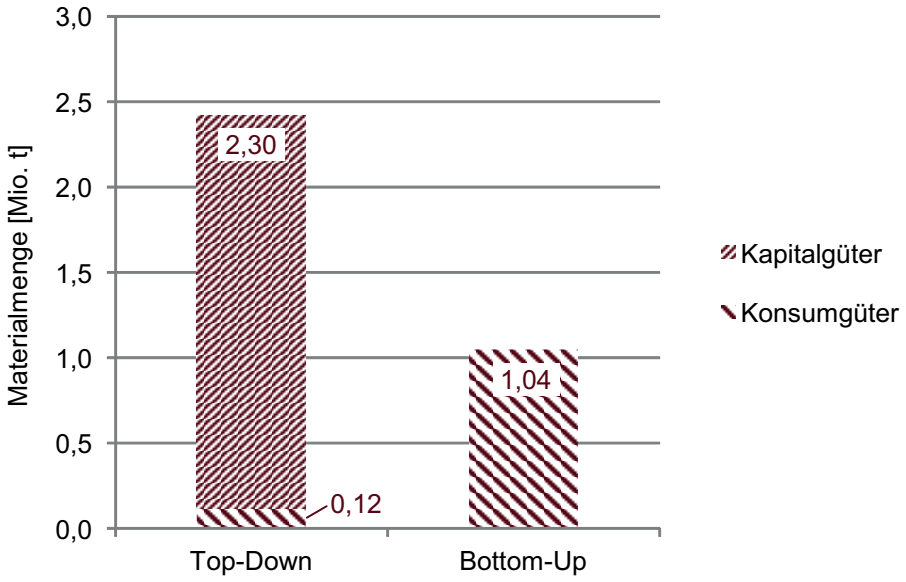
Differenzen treten im Wesentlichen bei Konsum- und Kapitalgütern in Erscheinung (Abbildung 104). Ein Hauptgrund für die Lücke ist, dass Bottom-Up keine Daten für Kunststoffe in Kapitalgütern vorliegen. Neben der Differenz der Summen über alle Konsum- und Kapitalgüter zeigt sich auch eine gegenläufige Differenz bei den Konsumgütern, wonach die Top-Down-Daten die Bottom-Up ermittelten Werte deutlich unterschätzen. Durch die Synthese der Ansätze konnte eine erste Erklärung für diese Differenz in der unterschiedlichen Zuordnung von Kfz zu Konsum- bzw. Kapitalgütern im Top-Down- und Bottom-Up-Ansatz bereits gefunden werden. Dementsprechend erfolgte eine Angleichung durch Umsortieren der PKW im Top-Down-Ansatz. Die danach verbleibende Differenz bei den Konsumgütern lässt sich vermutlich auf weitere Zuordnungsunterschiede zwischen Top-Down- und Bottom-Up-Ansatz zurückführen, denn insgesamt über alle Güter betrachtet, lässt sich die Lücke durch Schätzungen vergleichsweise gut schließen (siehe Abbildung 105).

Abbildung 103: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für Kunststoffe im Baubereich



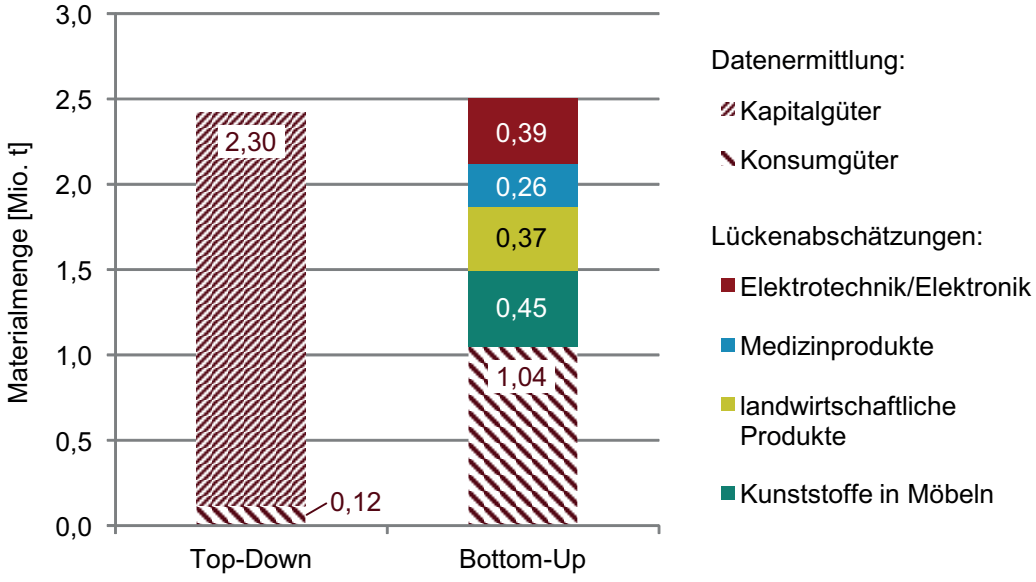
Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 104: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für Kunststoffe in Kapital- und Konsumgütern



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 105: Lückenabschätzungen für Kunststoffe in Kapital- und Konsumgütern



Quelle: eigene Darstellung

Für die absolute Differenz bei den Konsum- und Kapitalgütern wurden Lückenabschätzungen auf Basis der Consultic-Studie (Consultic 2011) vorgenommen (Abbildung 105). Consultic 2011 schätzt eine Gesamtmenge an in Deutschland im Jahr 2011 verarbeiteten Kunststoffwerkstoffen von 11,86 Mio. t. Davon sind 4,11 Mio. t Kunststoffe zu Verpackungsmaterial verarbeitet worden, die für dieses Projekt als nicht lagerrelevant eingeschätzt werden. Trotzdem übersteigt die verbleibende Menge an Kunststoffen die über Top-Down-Schätzungen ermittelte Menge. Werden die Consultic-Daten des sektoralen Verbrauchs von Kunststoffen genutzt, um den Kunststoffverbrauch für Kapital-

güter abzuschätzen, kann, wie Abbildung 105 zeigt, die Datenlücke bei den Kapital- und Konsumgütern zufriedenstellend geschlossen werden.

7.1.2.4 Holz

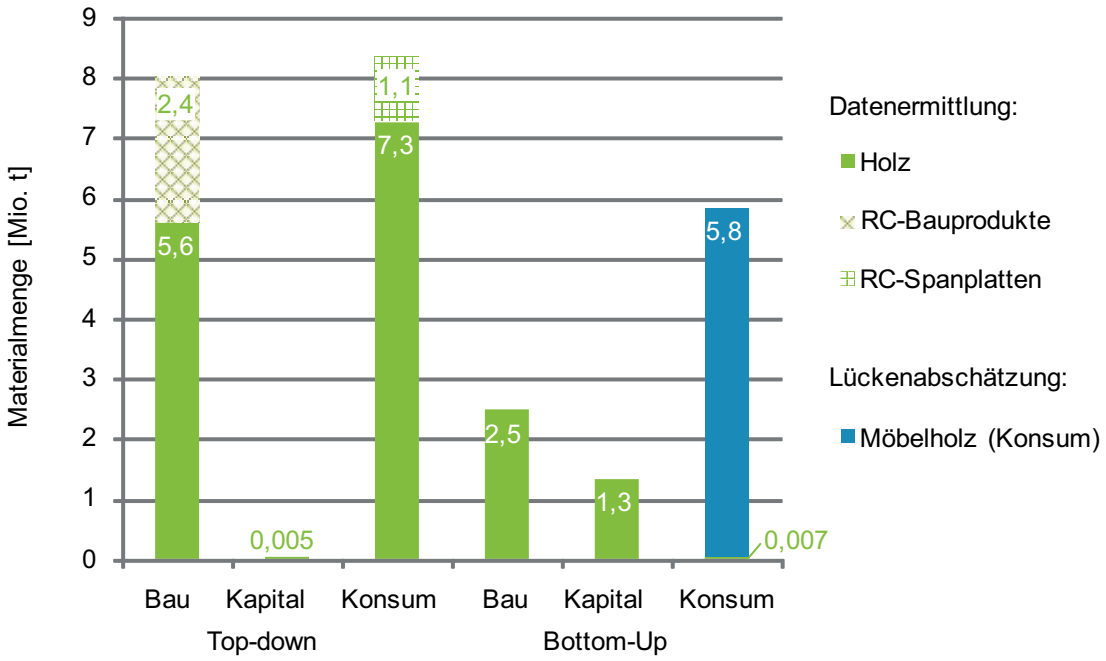
Beim Holz wurde aufgrund der Datenlage keine weitere Differenzierung vorgenommen. Die Differenz beim Holz (Abbildung 99d) resultiert u. a. aus einem unvollständigem Erfassungsrahmen im Bottom-Up-Ansatz und betrifft im Wesentlichen alle Gütergruppen mit Ausnahme der Kapitalgüter (Abbildung 106). Aufgrund der sehr großen Diskrepanzen und des schwierigen Zugangs zu quantitativen Lückenschätzungen erfolgt hier zunächst nur eine qualitative Diskussion.

Im Baubereich sind z. B. sämtliche Bauhilfskonstruktionen in der Bottom-Up-Betrachtung nicht enthalten, die nur während der Bauphase eingesetzt werden, aber nicht im Bauwerk verbleiben. Beispiele sind Schalungen, Abstütz- und Schutzkonstruktionen (z. B. Baumschutz).

Bottom-Up auch nicht erfasst sind Begleit- und Kleinkonstruktionen wie Schuppen, Zäune, Gartenbau- und Baumarktkonstruktionen, die aber eine nicht mehr vernachlässigbare Größenordnung erreichen können. Hier ist der Übergang zwischen Baubereich und Konsumgütern fließend. Eine Abschätzung der Größenordnung dieser Erklärungsansätze erscheint derzeit schwierig bis unmöglich.

Des Weiteren fehlt in der Bottom-Up-Betrachtung das gesamte Möbelholz. Dieses hat eine beachtliche Größenordnung, für die im Konsumgüterbereich eine Lückenschätzung unter Zuhilfenahme einer Branchenerhebung vorgenommen wurde (Abbildung 106).

Abbildung 106: Lückenabschätzungen für Holz nach Gütergruppen



Quelle: eigene Darstellung

Auch beachtliche Mengen Baumarkt- und Lifestyleprodukte, wie z. B. Gartenmöbel, Spielgeräte usw., sind Bottom-Up bislang nicht erfasst. Hier verbleibt sehr wahrscheinlich eine Lücke. Durchlaufende Mengen im Top-Down-Ansatz in der Eurostat ComExt aus Zwischenimporten, die eigentlich wieder exportiert wurden (einfache Transitflüsse), können jedoch definitiv ausgeschlossen werden.

Im Bereich des Holzes verbleiben weitere, noch ungeklärte Fragestellungen, die zur Diskussion gestellt werden sollen:

- Es ist nicht auszuschließen, dass im Bottom-Up-Ansatz Importe stecken, die möglicherweise nicht über den angewandten Ansatz des Handelssaldos berücksichtigt wurden (bspw. Einfuhren in Kleinmengen und kleinen Grenzverkehr). Es wird vermutet, dass deren Größenordnung jedoch eher gering ist.
- Es stellt sich die Frage, wie hoch dissipative Verluste beim Holz sind. Für Holzverarbeitungsverluste (Späne), sogenannte Sägenebenprodukte, wird von Mantau für 2010 eine Größenordnung von 15 Mio. m^3 angegeben. Mit dem dafür angegebenen Dichtewert beliefe sich die Masse auf 7 Mio. t. Allerdings sind hierin nicht nur Sägemehl und Feinspäne enthalten, sondern teilweise auch Materialien, die in Holzerzeugnisse (z. B. MDF-Platten) eingehen. Ca. 2,4 Mio. t davon fließen laut abfallwirtschaftlichen Erkenntnissen in Bauprodukte und konnten, da quantifizierbar, neben Altholz zur Spanplattenherstellung (vgl. Tabelle 27) als Sero-Inputstrom in Güter bereits im MSM berücksichtigt werden (siehe Tabelle 47: 3,5 Mio. t). Erhebliche Mengen fließen auch in die Energieerzeugung.
- Nicht auszuschließen sind des Weiteren mögliche Doppelzählungen Top-Down durch Verwendung verschiedener Produktionsstatistiken. Insbesondere bei Holz gehen sogenannte Industrieresthölzer (z. B. Verschnitte) wieder in andere Produktionssparten ein und sind damit – rein statistisch betrachtet – mehrfach vorhanden. So haben diese Resthölzer z. B. an der Spanplattenproduktion einen Anteil von 60 % und mehr.
- Eine quantitative Lückenschätzung ist aufgrund der Datenlage sehr schwierig bis unmöglich.

7.1.3 Resümee

Der summarische Vergleich über alle Güter- und Materialgruppen hinweg hat die ursprünglich erwartete Unterschätzung beim Bottom-Up-Ansatz zunächst bestätigt. Die differenzierte Betrachtung der einzelnen Material- und Gütergruppen hat allerdings aufgezeigt, dass hier kein eindeutiger systematischer Fehler vorliegt, der grundsätzlich durch einfache Korrekturfaktoren auszugleichen wäre. Am Beispiel des Stahls (Abbildung 99b) zeigt sich bei differenzierter Betrachtung zum Beispiel, dass Abweichungen auch in die andere Richtung möglich sind. Hier liegt die Unterschätzung der Daten im Vergleich zu anderen Materialien im gewählten Top-Down-Ansatz – insbesondere im Baubereich (vgl. Abbildung 102). Die Abweichungen zwischen Top-Down und Bottom-Up unterscheiden sich also in Abhängigkeit vom betrachteten Material qualitativ deutlich voneinander, was bedeutet, dass der Top-Down-Wert nicht grundsätzlich als Obergrenze angesehen werden kann.

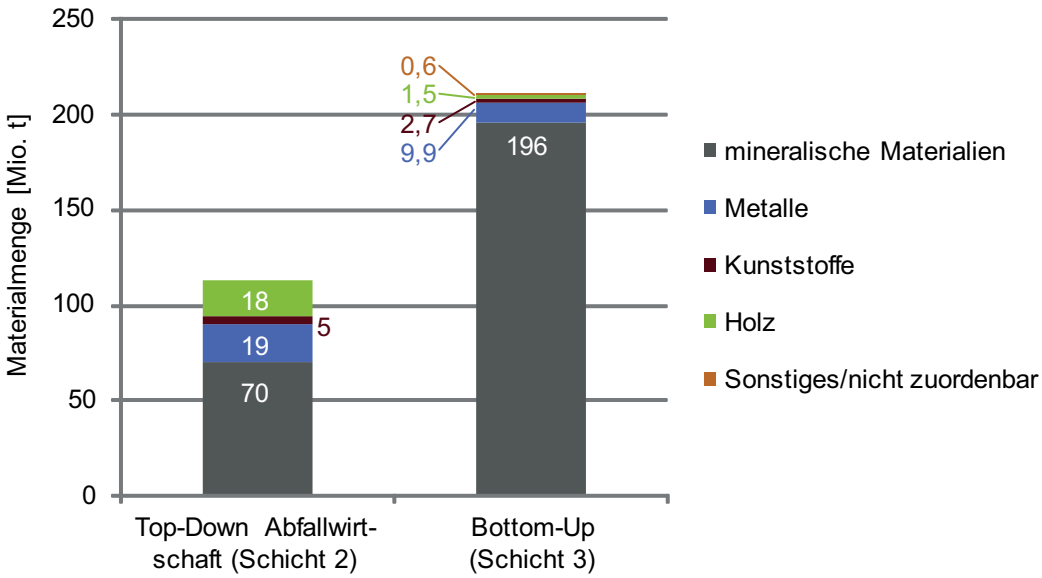
7.2 Outputflüsse

Bottom-Up können Daten für den Output nach Gütern differenziert ermittelt werden. In Abhängigkeit von der Gütergruppe basieren die Berechnungen auf realen Abgangszahlen oder Lebensdauer- bzw. Nutzungsdaueransätzen (vgl. Abschnitt 8.2). Die Berechnung erfolgt materialdifferenziert in jeweils der Differenzierungsstufe der Bestandsdaten, welche den Analysen zugrunde liegen.

Top-Down liegen Outputflussdaten auf der Schicht 2 des MSM aus den abfallwirtschaftlichen Untersuchungen vor. Sie setzen sich zusammen aus dem SERO-Strom aus Bestand und dem Deponiestrom post-consumer (vgl. Tabelle 47, siehe auch Abschnitt 7.3.2, Abbildung 111). Die abfallwirtschaftlichen Daten liegen jedoch ohne Differenzierung in Gütergruppen vor. Bei den Materialien hingegen ist Top-Down eine Differenzierung bis auf die Ebene der Hauptmaterialgruppen möglich. Für den Vergleich der Outputflüsse wurden deshalb die Daten, die aus dem Bottom-Up-Ansatz gewonnen wur-

den, auf der Ebene der Hauptmaterialgruppen aggregiert (vgl. Abschnitt 6.1.8, Abbildung 93). Die Gegenüberstellung der Ergebnisse beider Ansätze zeigt Abbildung 107.

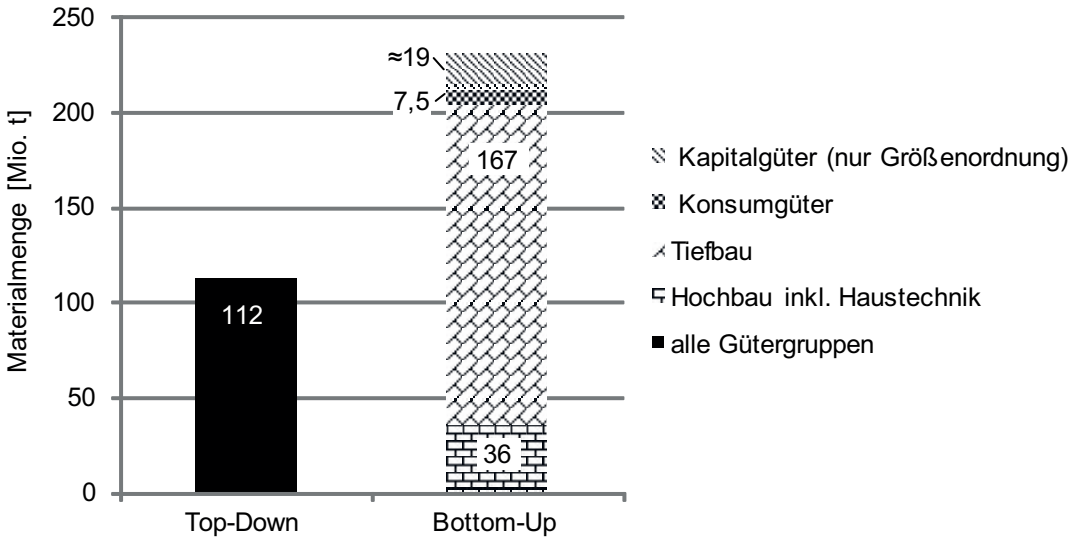
Abbildung 107: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up Outputflüsse nach Materialgruppen



Top-Down-Werte über alle Güter, Bottom-Up-Werte ohne Kapitalgüter
Quelle: eigene Darstellung

Insgesamt zeigt sich eine Überschätzung des Bottom-Up-Ansatzes (210 Mio. t) gegenüber den Top-Down-Werten aus der abfallwirtschaftlichen Analyse (112 Mio. t). Dazu kommt, dass in den 210 Mio. t Output Bottom-Up noch keine Daten zu Kapitalgütern enthalten sind, was die vorhandene Lücke weiter vergrößert. Die Größenordnung für die Kapitalgüter kann unter der Annahme Outputflüsse = Inputflüsse zumindest grob abgeschätzt werden (Abbildung 108).

Abbildung 108: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up Outputflüsse nach Gütergruppen



Top-Down-Werte über alle Güter, Bottom-Up-Werte Kapitalgüter grob geschätzt
Quelle: eigene Darstellung

Die Betrachtung auf der Materialebene (Abbildung 107) zeigt, dass die Überschätzung des Bottom-Up-Ansatzes gegenüber den Top-Down-Werten aus der abfallwirtschaftlichen Analyse ausschließlich von den mineralischen Materialien herrührt.

Bei den anderen Materialgruppen Metalle, Kunststoffe und Holz ist dies umgekehrt. Hier sind die abfallwirtschaftlich erhobenen Top-Down-Daten größer als die Bottom-Up ermittelten Werte, so wie dies auch beim Vergleich der Inputflüsse der Fall ist. Die Differenzen bei den anderen Materialien lassen sich zum Teil dadurch erklären, dass für Kapitalgüter Bottom-Up keine Werte vorliegen (vgl. Schätzung von ca. 19 Mio. t). Weitere Erfassungslücken bei Metallen, Kunststoffen und Holz wurden bereits für die Inputflüsse in den Abschnitten 7.1.2.2 bis 7.1.2.4 diskutiert und gelten gleichermaßen für die Outputflüsse.

Die Betrachtung auf der Güterebene (Abbildung 108) zeigt, dass die große Differenz zwischen Top-Down und Bottom-Up insbes. der mineralischen Materialien zu einem großen Teil im Bereich des Tiefbaus zu suchen ist, denn der Bottom-Up berechnete Output aus dem Tiefbau (167 Mio. t) übersteigt schon allein den gesamten Top-Down ermittelten Output (112 Mio. t). Im Folgenden wird diskutiert, wo diese große Differenz herrühren kann.

Ein Erklärungsansatz findet sich in der Modellierung von Erhaltungsmaßnahmen. Diese werden im Bereich der Verkehrs- und Energieinfrastrukturen, ebenso wie bei den Konsumgütern, unter Verwendung von technischen Lebensdauern berechnet. Sie orientieren sich an technischen Erneuerungszyklen. In der Praxis werden diese Zyklen jedoch insbesondere im Verkehrswegebau häufig deutlich überschritten, was in der Bottom-Up-Betrachtung zu einer Überschätzung des tatsächlichen Material-Outputs führt.

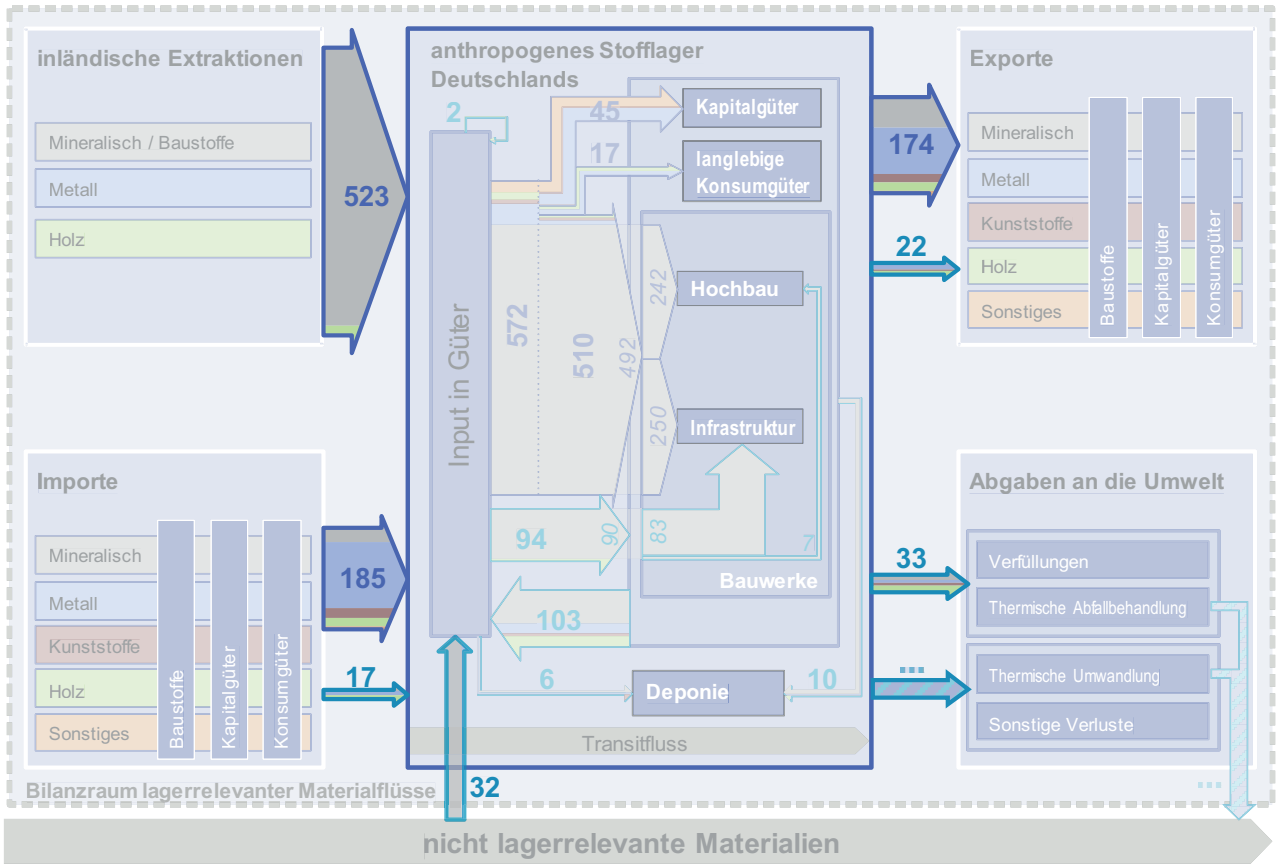
Des Weiteren wird nur ein Teil der Outputflüsse aus Straßen- und Wege-Baumaßnahmen als Abfall erfasst. Ein nicht unerheblicher Anteil wird direkt vor Ort zum Beispiel im Rahmen von Geländeausgleichsmaßnahmen verwendet (sog. In-Situ-Recycling) und somit nicht als Bauabfall ausgewiesen. Untersuchungen von Knappe und Lansche (2010, S. 10 und S. 26) schätzen diesen verbleibenden Anteil auf 85 % bis 75 %. Demnach fallen lediglich 15 % bis 25 % ausgebauten Materials als Bauabfall an, der in der abfallwirtschaftlichen Analyse entsprechend erfasst werden kann. Bottom-Up wurde kein In-Situ-Recycling berücksichtigt. Demzufolge stellt der modellierte Outputfluss eine deutliche Überschätzung insbesondere der anfallenden mineralischen Materialien aus dem Erhalt der Verkehrswege dar, da anzunehmen ist, dass nur ein Teil daraus Eingang in die abfallwirtschaftlichen Statistiken findet.

7.3 Differenzen zwischen Input- und Outputflüssen

7.3.1 Input-Output-Differenzen Top-Down

Auf der Schicht 1 des MSM wird der Vergleich zwischen Input und Output an der Betrachtungsgrenze des Anthropogenen Lagers geführt (Abbildung 110). Der Input in das Lager enthält dabei sowohl inländische Extraktionen und Importe als auch Rückflüsse aus Umwandlung. Der Output umfasst neben den Abgaben an die Umwelt auch die Exporte.

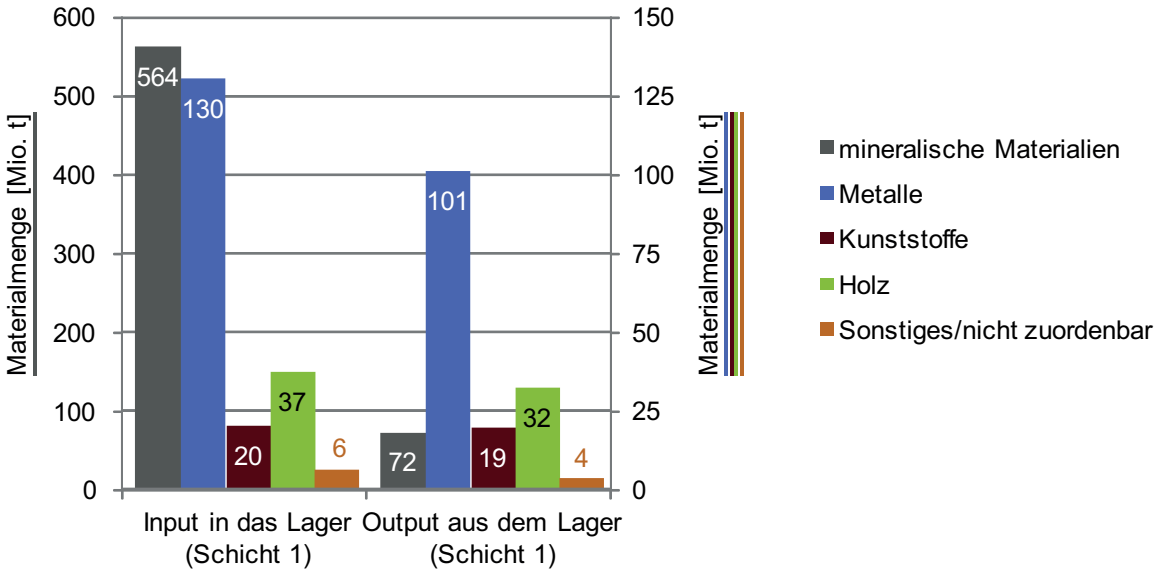
Abbildung 109: Betrachtungsgrenze für die Gegenüberstellung Input – Output (Schicht 1)



Quelle: eigene Darstellung

Bei allen Materialgruppen übersteigt der Input den Output (Abbildung 110). Aus der Differenz beider Werte ergibt sich ein jährlicher Lagerzuwachs in Höhe von 529,5 Mio. t in 2010.

Abbildung 110: Gegenüberstellung Input – Output (Top-Down Schicht 1)

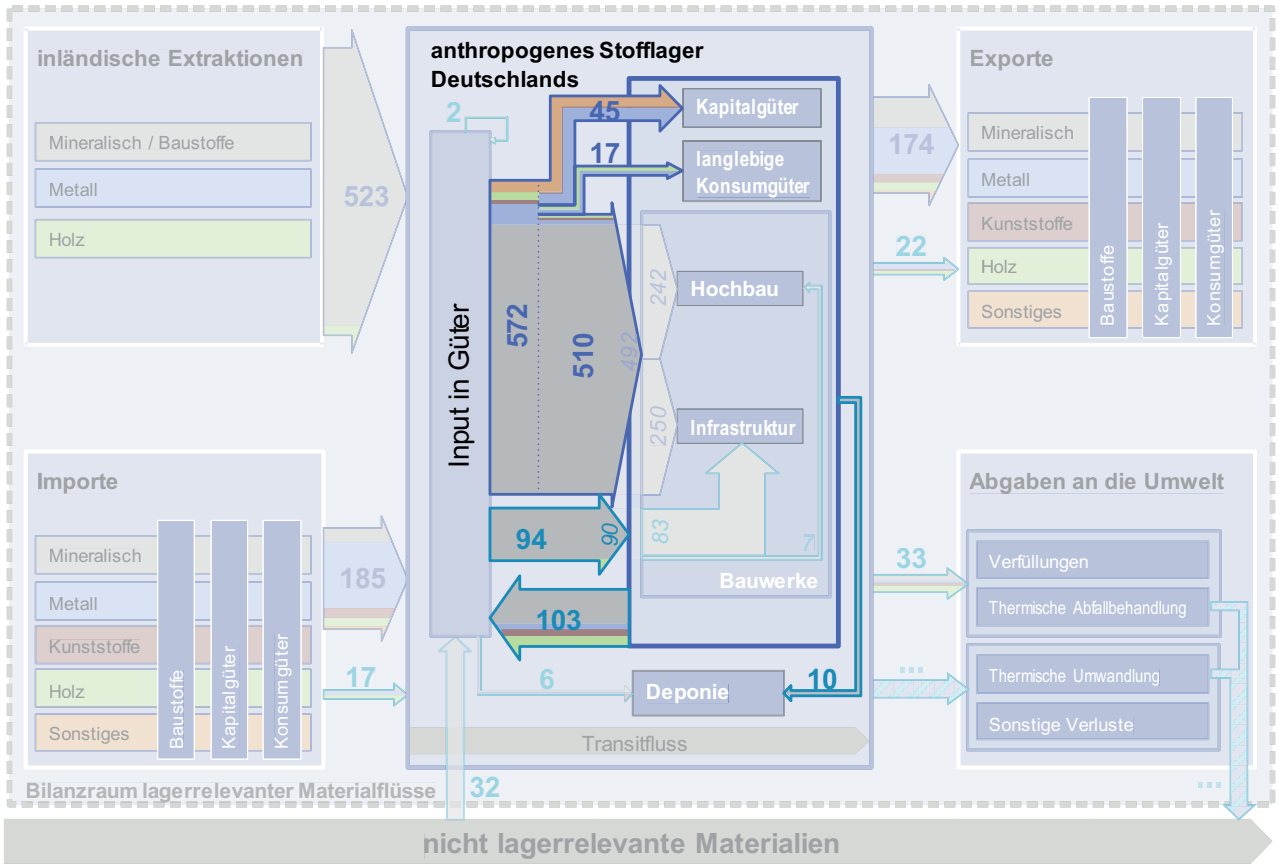


Quelle: eigene Darstellung

Flüsse im Lager, Recyclingschleifen sowie Durchflüsse durch das Lager können auf der Schicht 1 nicht abgebildet werden. Hierfür ist eine differenziertere Betrachtung notwendig.

Auf der **Schicht 2** des MSM – der differenzierten Betrachtung der Flüsse im Lager – wird der Vergleich innerhalb des Anthropogenen Lagers zwischen Input in Güter und Output aus Gütern geführt (Abbildung 111). Das limitierende Element hinsichtlich der Detailtiefe des Vergleichs bilden die abfallwirtschaftlich geprägten Outputdaten, welche auf der Schicht 2 des MSM lediglich eine Differenzierung bis auf die Ebene der Hauptmaterialgruppen zulassen, jedoch keine Differenzierung in Gütergruppen. Sie enthalten den Sekundärmaterialfluss aus dem Güterbestand und den post-consumer-Fluss auf Deponien. Der Input auf Schicht 2 des MSM beinhaltet den Inputfluss in Güter aus der gesamtökonomischen Betrachtung sowie den Sekundärmaterialfluss in Güter aus der abfallwirtschaftlichen Betrachtung.

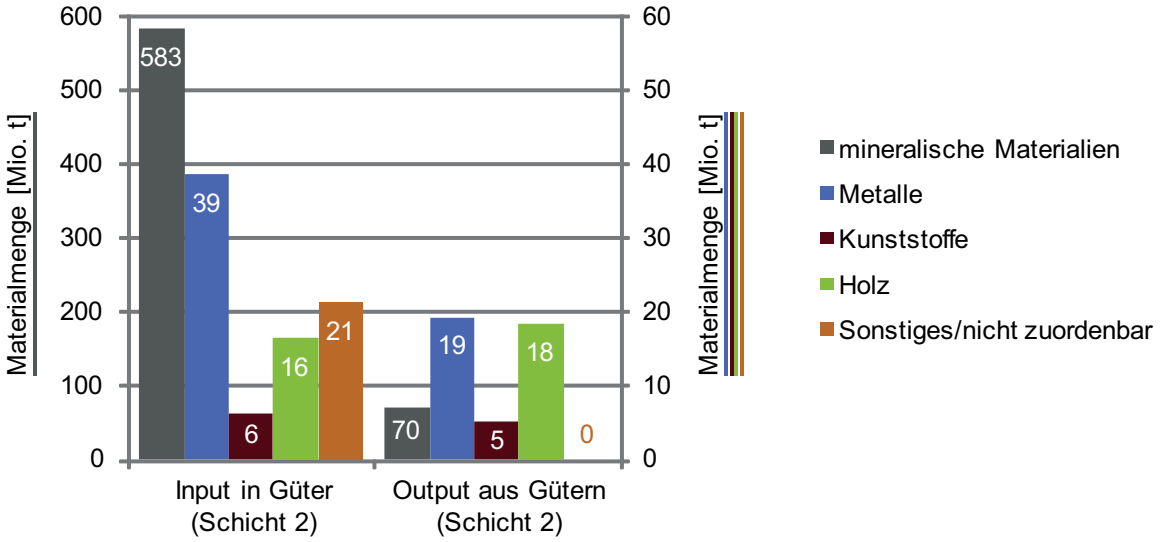
Abbildung 111: Betrachtungsgrenze für die Gegenüberstellung Input – Output (Schicht 2)



Quelle: eigene Darstellung

Mit Ausnahme von Holz übersteigt der Input bei allen Materialgruppen den Output (Abbildung 112). Bei Kunststoffen und Holz ist die Bilanz nahezu ausgeglichen. Größere Differenzen zeigen sich vor allem bei den mineralischen Materialien (Output 12 % vom Input) sowie bei den Metallen (Output 50 % vom Input).

Abbildung 112: Gegenüberstellung Input in Güter – Output (Top-Down)



Quelle: eigene Darstellung

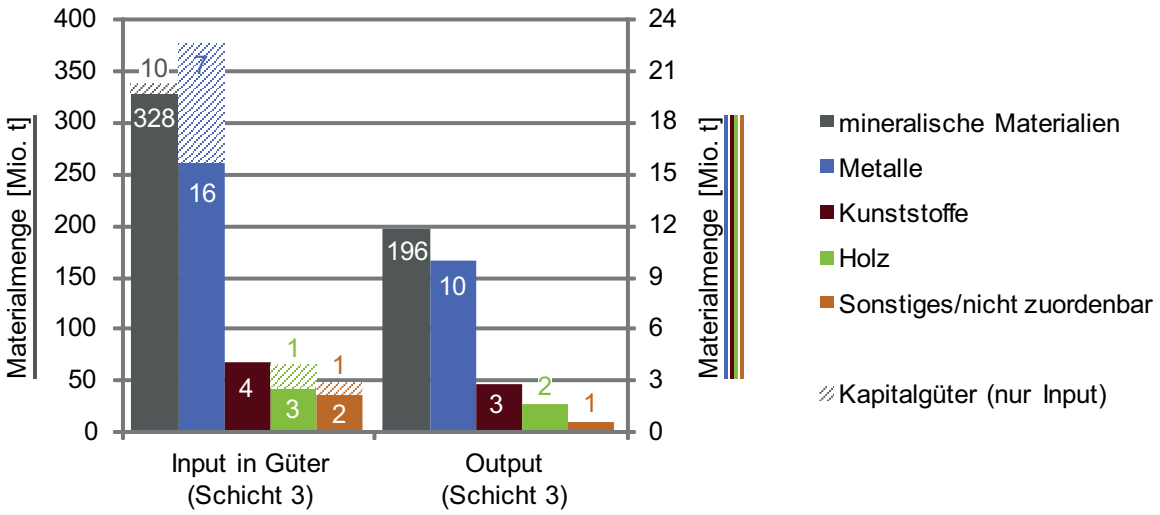
Die Differenz zwischen Input und Output in Höhe von 553 Mio. t liegt in dieselben Größenordnung wie die Differenz auf Schicht 1 des MSM (529,5 Mio. t). Die Differenz auf Schicht 2 sollte jedoch nicht vorschnell als Lagerzuwachs gedeutet werden, denn besonders auffallend ist die sehr große Differenz bei den mineralischen Materialien. Hier beträgt der erfasste Output nur 12 % vom Input. Dies ist u. a. auf Erfassungslücken beim Output zurückzuführen, welche bereits im Abschnitt 7.2 diskutiert wurden, wie bspw. die Problematik des In-Situ-Recyclings.

7.3.2 Input-Output-Differenzen Bottom-Up

Bei der Bottom-Up-Analyse wurden direkte Werte für den Input in Güter sowie den Output aus den Gütern ermittelt. Für Kapitalgüter liegen keine Outputdaten vor. Sie wurden deshalb in Abbildung 113 beim Input separat von den Materialsummen aus Gebäuden inkl. Haustechnik, Infrastrukturen und Konsumgütern dargestellt. Der Vergleich erfolgt mit Ausnahme der Kapitalgüter. Es wird noch einmal darauf hingewiesen, dass sich die errechneten Werte für den Output qualitativ in Abhängigkeit von der gewählten Berechnungsmethodik[88] unterscheiden.

[88] konkrete Abgangszahlen (Hochbau und Haustechnik, vgl. Abschnitte 6.1.3 und 6.1.4) oder Lebens-/Nutzungsdaueransätze (Technische Infrastrukturen, vgl. Abschnitt 6.1.2 und Konsumgüter, vgl. Abschnitt 6.1.5)

Abbildung 113: Gegenüberstellung Input[89] – Output (Bottom-Up, Schicht 3) nach Materialgruppen



Quelle: eigene Darstellung

Der Vergleich nach Materialgruppen (mit Ausnahme der Kapitalgüter) zeigt, dass die berechneten Outputwerte mit ca. 50 %–60 % niedriger sind als die ermittelten Inputwerte (Abbildung 113). Eine vorschnelle Interpretation dieser Daten sollte jedoch vor dem Hintergrund möglicher Unter- und Übererfassungen auf Seiten des Outputs vor allem im mineralisch und metallisch dominierten Baubereich nicht erfolgen (siehe Diskussion im Abschnitt 7.2).

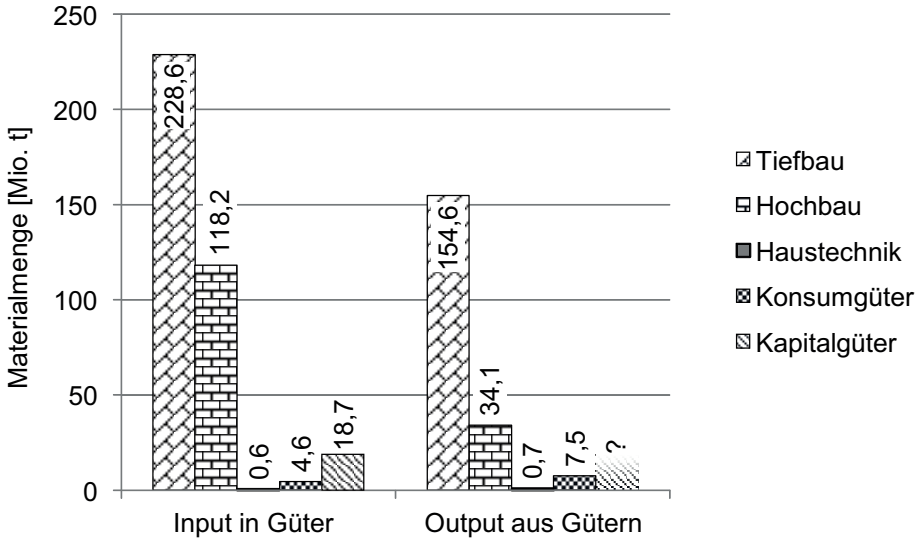
Bei der gütergruppendifferenzierten Betrachtung (Abbildung 114) zeigt sich, dass Input-Output-Differenzen sogar in beide Richtungen möglich sind. Im Bausektor zeigen sich große positive Input-Output-Differenzen, wohingegen die Input-Output-Differenzen bei der Haustechnik und den Konsumgütern negativ sind. Für Kapitalgüter ist aufgrund der Datenlage keine Differenzbetrachtung möglich.

Für den Baubereich wird an dieser Stelle noch einmal auf die in den Abschnitten 6.1.3.3 und 6.1.3.4 angesprochene statistische Untererfassung des Gebäudeabgangs (Hochbau) hingewiesen, welche sich reduzierend auf die ermittelten Outputgrößen auswirken. Konträr dazu steht eine mögliche Überschätzung des Outputs im Tiefbau z. B. infolge der verwendeten Lebensdaueransätze, wie bereits im Abschnitt 7.2 diskutiert wurde.

Die Differenz zwischen Output und Input kann aufgrund dieser Unsicherheiten nicht direkt als Lagerzuwachs interpretiert werden. Dennoch lässt sich für den Baubereich ein Lagerzuwachs ableiten, wenngleich er sich noch nicht explizit quantifizieren lässt. Diese Interpretation erscheint auch vor dem Hintergrund der Top-Down ermittelten Input-Output-Differenzen plausibel.

[89] Darstellung Output ohne Kapitalgüter, da hierfür keine Daten vorhanden sind

Abbildung 114: Gegenüberstellung Input – Output[89] (Bottom-Up, Schicht 3) nach Gütergruppen



Quelle: eigene Darstellung

Bei den negativen Differenzen im Haustechnik- und Konsumgüterbereich stellt sich die Frage, ob hier der Schluss gezogen werden kann, dass das Lager dort einer Schrumpfung unterliegt. Diese Frage ist nicht einfach zu beantworten. Zum einen gibt es hierbei Unsicherheiten methodischer Art. Die Ermittlung des Outputs auf der Basis von angenommenen Lebensdauern ist mit größeren Unsicherheiten verbunden als bei Vorliegen konkreter Abgangszahlen[90]. Zum anderen bestehen aber auch Unsicherheiten hinsichtlich der verwendeten Warenkörbe, was sich am Beispiel Glas (Ersatz von schweren Röhrenmonitoren durch viel leichtere LCD-Displays, vgl. Abschnitt 6.1.5.3) sehr gut veranschaulichen lässt.

Nicht zuletzt kann es auch Lagerverschiebungen zwischen den einzelnen Gütergruppen geben, welche lediglich eine Dynamik innerhalb des Anthropogenen Lagers bedeuten. Solche gütergruppenübergreifenden Materialströme sind mit einer separat nach Gütergruppen getrennten Analysemethodik nur schwer zu erfassen und erfordern eine ganzheitliche Betrachtung des Anthropogenen Materiallagers und der Ströme wie sie den Analyseschichten 1 und 2 zugrunde liegt.

7.3.3 Resümee

Zwischen den einzelnen Schichten des MSM treten Brüche auf, die sich u. a. aus den unterschiedlichen Betrachtungsgrenzen ergeben und nicht vollständig quantifizierbar sind.

Materialströme, die nur kurzfristig im Lager verbleiben, z. B. Güter, die in den Export gehen, leisten keinen Beitrag zur Bestandsdynamik. Sie fließen quasi am Lager vorbei. Diese sog. Durchflüsse lassen sich jedoch nur zum Teil quantifizieren. So wurde im Top-Down-Ansatz auf Schicht 2 der Versuch unternommen, diesen Transitfluss bei den Inputflüssen in Güter herauszurechnen, indem die Exporte aus der MFA-Analyse abgezogen wurden.

Bei den abfallwirtschaftlichen Flüssen gestaltet sich dies jedoch schwieriger. Hier kommt es an mehreren Stellen zu Brüchen zwischen den Betrachtungsebenen. Ein Beispiel dafür sind Materialien, die prozessbegleitend als Hilfsprodukte eingesetzt werden, aber keinen Eingang in Produkte finden. Dies sind zum Beispiel Baustraßen, die nur temporär errichtet und nicht als Straßenbaumaßnahme erfasst

[90] abgesehen von einer möglichen statistischen Untererfassung

werden oder andere Bauhilfskonstruktionen wie bspw. Verschalungen. Diese tauchen aber gleichwohl in der abfallwirtschaftlichen Analyse in Form von Abgaben an die Umwelt auf. Innerhalb des Lagers handelt es sich aber um eine Durchflussgröße unbekannter Größenordnung. Der Teil der Abgaben an die Umwelt, der sich direkt aus dem Output aus Gütern generiert, kann somit nicht aus dem Gesamt-Outputfluss ‚Abgaben an die Umwelt' extrahiert werden, wodurch eine Verknüpfung zwischen Schicht 1 und Schicht 2 an dieser Stelle nicht herstellbar ist.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die alleinige Betrachtung nur einer Schicht des MSM im Allgemeinen nicht ausreichend ist, da es sich insgesamt um ein sehr komplexes System handelt. Um ein Gesamtbild zu erhalten, ist Berücksichtigung aller Betrachtungsebenen erforderlich.

8 Erfassung, Fortschreibung und Dynamisierung

Neben der Ermittlung des Bestandes an lagerrelevanten Materialmengen im Anthropogenen Lager im hier festgelegten Basisjahr 2010 ist es wichtig, Bestandsveränderungen fortschreiben zu können. Nur so lässt sich langfristig ein Einblick in die Entwicklungsdynamiken und den Aufbau des Anthropogenen Lagers gewinnen. Der dazu erforderliche Vergleich von verschiedenen Bilanzierungsjahren ist nur zu realisieren, indem Daten nach einem standardisierten Schema erhoben werden und hierzu Quellen bzw. Herleitungsmechanismen identifiziert werden, für die eine Fortschreibung möglich ist. Dazu wird im Folgenden u. a. herausgearbeitet, inwiefern die genutzten Daten und Datenquellen durch statistische Fortschreibung oder wiederkehrende Untersuchungen in regelmäßiger Überarbeitung sind, wo ein gesonderter Aufwand erforderlich ist und wo sich spezielle Datengrenzen zeigen.

8.1 Datenqualifizierung

Die materialgruppen- und gütergruppenspezifische Gegenüberstellung der Ergebnisse der beiden Analysemethoden Top-Down und Bottom-Up hat gezeigt, dass Abweichungen in beide Richtungen möglich sind. Entgegen der ursprünglichen Vermutung kann somit der Top-Down-Wert nicht per se als Obergrenze angesehen werden.

In den Fällen, wo dies möglich ist (z. B. mineralische Materialien), erfolgen ergänzende Quantifizierungen des Bottom-Up-Ansatzes unter Zuhilfenahme von Überschlagsrechnungen, wie z. B. für ruhenden Verkehr oder das Wegenetz, sowie im Rahmen der angelagerten abfallwirtschaftlichen Analysen. Für die danach verbleibenden Lücken ist zu diskutieren, inwieweit eine pauschale Angleichung der Bottom-Up-Daten an den Top-Down-Wert als obere Grenze (z. B. mittels Erhöhungsfaktoren) sinnvoll ist.

In Fällen, in denen der Top-Down-Wert unter den Bottom-Up ermittelten Ergebnissen liegt (z. B. Stahl im Bau), ist eine solche Herangehensweise generell nicht möglich. Eine pauschale Erhöhung anhand von in anderen Materialgruppen ermittelten Erhöhungsfaktoren ist prinzipiell denkbar, birgt aber große Unsicherheiten. Es wird deshalb vorgeschlagen, in diesen Fällen die verbleibenden Lücken als nicht gesichert schließbar zu akzeptieren und mit den Bottom-Up ermittelten Werten als untere Grenzwerte weiterzuarbeiten.

Mit großen Unsicherheiten behaftet ist auch der Fall, wo der Top-Down-Wert höher als der Bottom-Up-Wert liegt, aber nicht quantifizierbare Doppelzählungen enthält (z. B. FAOStat bei Holz). In diesem Fall wäre es falsch, die Bottom-Up ermittelten Werte pauschal auf diesen zu hohen Top-Down-Wert anzugleichen. Die tatsächliche Größe der Lücke ist unbekannt. Auch in diesem Fall ist die Verwendung der Bottom-Up ermittelten Werte einschließlich zusätzlicher Überschlagsrechnungen als unterem Grenzwert die sicherere Alternative. Weitere Möglichkeiten der Datenqualifizierung (bspw. die Angabe eines Streubereichs) bleiben zu diskutieren.

8.2 Bestandsdynamik im Anthropogenen Lager

Eine übliche Vorgehensweise zur Beschreibung der Bestandsdynamik ist die Verwendung von Verweildauern der unterschiedlichen Güter im Lager. Für den Aspekt der Verweildauern gibt es bei den betrachteten Gütergruppen unterschiedliche Herangehensweisen. So wird die Verweildauer bei den Wohn- und Nichtwohngebäuden über die Zugangs- und Abgangsraten ganzer Gebäude und von Gebäudeteilen erfasst, die direkt aus der Statistik entnommen werden können.

Der Bestandsschätzung der Nichtwohngebäude auf Basis der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) liegen verschiedene Nutzungsdauern zu Grunde. Angenommene Nutzungsdauern bilden auch die Basis für die Ermittlung von Sanierungsraten u. a. bei Bodenbelägen in Gebäuden oder Bestandteilen der Haustechnik.

Für Instandhaltungsmaßnahmen bei den technischen Infrastrukturen bspw. werden technische Lebensdauern unterstellt. Diese werden zumeist über Abschreibungen ermittelt und, darauf aufbauend, jährliche Erneuerungsraten berechnet. Die technischen Lebensdauern können nach Bauelementen differenziert sein (z. B. Straßenschichten) oder näherungsweise einheitlich für das gesamte Teilsystem (z. B. Lärmschutzwände).

Zu beachten ist der Aspekt der Altersstruktur insbesondere bei sehr jungen Infrastrukturbereichen mit vergleichsweise hohem jährlichem Zuwachs. Dort ist die Berechnungsweise der Erneuerungsrate allein aufgrund der jährlichen Abschreibung nicht zutreffend, da der Erneuerungsbedarf für den Zuwachs erst mit dem Ende dessen technischer Lebensdauer einsetzt. Mit Blick auf das Erfassungskonzept sollte deshalb im Bereich der erneuerbaren Energien perspektivisch eine realistische Altersverteilung angesetzt werden.

Für langlebige Konsumgüter, die in der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) erfasst sind, kann die Verweildauer aus den statistisch erfassten Lagerveränderungen ermittelt werden. Bei kleineren Haushaltsgütern, wie Toaster oder Kaffeemaschinen, mit einer relativ kurzen Lebensdauer von z. B. 3 Jahren, wird diese als Verweildauer der Güter im Lager angesetzt.

Nach dem Ende der Verweildauer stehen die Güter für Recyclingprozesse im Lager zur Verfügung. Teile davon verlassen auch als Output das Lager. Zur Quantifizierung der jeweiligen Materialflüsse kann auf die in den Abschnitten 5.4.2 und 6.2 beschriebenen abfallwirtschaftlichen Analysemethoden zurückgegriffen werden.

8.3 Datenqualität, Fortschreibungsfähigkeit und Datenverfügbarkeit

Zur Beurteilung der Datenqualität wurde in enger Abstimmung mit dem UBA ein Konzept in Anlehnung an die Norm DIN EN ISO 14044 sowie Beispiele aus RECOMMENDATIONS 2013/179/EU und Frischknecht et al. (2007) entworfen[91]. Dabei wurde gleichzeitig nach einer umsetzbaren Lösung in Form der Excel-Daten-Tabellen für die Datendokumentation des Berichtsanhanges gesucht, die auch zu den vorhandenen Daten im Projekt passt und dazu im Nachgang auch für eine elektronische Weiterverarbeitung im Folgeprojekt KartAL II (FKZ 3713 93 331) geeignet ist. Ergebnis ist die in Tabelle 29 dargestellte Lösung in Form eines „Ampelsystems“ für die vier wesentlichen Beurteilungskriterien Vertrauenswürdigkeit, zeitliche Repräsentativität, geographische Repräsentativität und technologische Repräsentativität.

[91] Die Norm DIN EN ISO 14044 bezieht sich auf Ökobilanzen und nennt Anforderungen an die Datenqualität, die im Rahmen einer sogenannten „kritischen Prüfung“ zu beurteilen sind. U. a. muss dabei auch die Handhabung fehlender Daten dokumentiert werden. Die beiden Beispiele in RECOMMENDATIONS 2013/179/EU und Frischknecht et al. (2007) verwenden verschiedene Bewertungskriterien mit Bezug auf die Norm und vergeben dabei „Noten“ bzw. Qualitätsstufen von 1-5 zur Bewertung/Klassifizierung. Die Bewertungskriterien zur Einordnung in eine entsprechende Qualitätsstufe sind in Tabellen parameterspezifisch definiert worden. Die Tabelle in RECOMMENDATIONS 2013/179/EU ist sehr allgemein formuliert und enthält wenig konkrete Definitionen, wohingegen die Tabelle aus Frischknecht et al. (2007) sehr präzise Definitionen enthält, die jedoch auf eine spezielle Fragestellung angepasst sind.

Tabelle 29: Bewertungsschema zur Datenqualität

Bewertungsmaßstab[92] **Beurteilungskriterium**		**1 hoch**	**2 mittel**	**3 gering**
V	**VERTRAUENSWÜRDIGKEIT Art der Quelle / Datenbasis**	amtliche/öffentliche Statistiken	Verbandsdaten oder Modellrechnung oder Expertenschätzung	einfache Schätzung oder graue Literatur
Z	**ZEITLICHE REPRÄSENTATIVITÄT Abweichung Erhebung zum Referenzjahr 2010**	max. 1 Jahr Abweichung	Abweichung 2 bis 5 Jahre	Abweichung mehr als 5 Jahre
G	**GEOGRAPHISCHE REPRÄSENTATIVITÄT Geographischer Bereich der Daten in Bezug auf das Betrachtungsgebiet**	Gesamtdeutschland	einzelne Bundesländer oder Europa	lokale Einzeldaten (Lupenbetrachtung) oder Welt
T	**TECHNOLOGISCHE REPRÄSENTATIVITÄT Ausgewertete (Material-) Daten/Konstruktionsarten entsprechen den zu beschreibenden Daten**	Güter, die den untersuchten entsprechen, d. h. identische Zusammensetzung der Materialien (z. B. aus Herstellerangaben)	Güter, für die nur ein Teil der Materialien dokumentiert ist oder Begrenzte Anzahl ausgewählter Güter, die den untersuchten entsprechen (z. B. Warenkörbe)	Produkte anderer Technologie bzw. Herstellart (z. B. Kunststoff- statt Kupferrohr) oder nur einzelne Güter als Repräsentanten (z. B. ein Produkt für ganze Gruppe)

Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage der Quellen DIN EN ISO 14044, RECOMMENDATIONS 2013/179/EU und Frischknecht et al. (2007)

Der für das Basisjahr 2010 ermittelte Bestand im Anthropogenen Lager bildet die Basis für die weitere Fortschreibung. Ausgehend von dessen Datenqualität hängt die Qualität der Fortschreibung insgesamt neben den Materialkennziffern auch von der Qualität der den Materialflüssen (Bestandsveränderungen) zugrundeliegenden Mengenkenngrößen ab. Bei den dokumentierten Materialkoeffizienten (vgl. Abschnitt 8.4) handelt es sich um statische Werte, die nicht jährlich neu ermittelt werden können.

Die zur Verknüpfung benötigten Mengenkenngrößen lassen sich im Idealfall jährlich aus einer amtlichen Statistik entnehmen (z. B. für Gebäude). Der o. g. Qualitätsbeurteilungsmaßstab gibt im Rahmen der Datendokumentation auch Aufschluss über zeitliche Verfügbarkeit der entsprechenden Daten. Die grobe Einteilung der Ausgangsdaten in feste Qualitätsstufen von 1 - 3 (mathematisch: Klas-

[92] Je kleiner die Zahl, desto besser die Datenqualität.

sen) bietet prinzipiell auch die Möglichkeit, in einem Datenbanksystem resultierende Qualitätsstufen für verknüpfte Daten zu berechnen.

Die Umsetzung der Qualitätsbeurteilung erfolgt in den elektronisch gelieferten Daten-Tabellen für die Datendokumentation (vgl. Abschnitt 8.4 und Anhang 3.3).

8.4 Dokumentation und Erfassungskonzept

Im Rahmen des Erfassungskonzepts werden die für das Bezugsjahr 2010 ermittelten Daten elektronisch in Tabellenform aufbereitet (Datendokumentation, siehe Anhang 3.3). Bereits im Hinblick auf die Überführung der gewonnenen Kenntnisse und Zusammenhänge in ein softwaregestütztes Analysetool wurde für die Tabellen der Bottom-Up-Analysen eine Strukturierung festgelegt, die als Grundlage für eine entsprechende programmiertechnische Umsetzung dient. Die Aufbereitung erfolgte für Top-Down- und Bottom-Up-Daten, bei letzterem getrennt für die Hauptgütergruppen Gebäude, Haustechnik, Infrastruktur und langlebige Konsumgüter.

Pro Hauptgütergruppe gibt es:

- Eine Basistabelle mit güterspezifischen Definitionen der zugrundeliegenden Bezugsgrößen (z. B. m^2 Wohnfläche, 1.000 km Straßenlänge). Sie enthält die absoluten Mengenkenngrößen für den Bestand, Input und Output im Basisjahr 2010 einschließlich einer Qualitätsbeurteilung entsprechend des mit dem UBA abgestimmten Qualitätsbeurteilungsmaßstabs (V, Z, G, siehe Abschnitt 8.3, Tabelle 29).
- Eine Tabelle mit nach Gütern und Materialgruppen differenzierten Materialkennziffern als relative Größen einschließlich Qualitätsbeurteilung (V, Z, G, T, siehe Abschnitt 8.3, Tabelle 29), teilweise differenziert nach neuen Gütern und Gütern im Bestand.
- Drei Ergebnistabellen für die nach Gütern und Materialgruppen differenzierten absoluten Massen des Bestandes, der Inputflüsse und der Outputflüsse für das Basisjahr 2010, die sich aus der Verknüpfung von Materialkennziffern und Mengenkenngrößen ergeben.

Diese Datentabellen werden dem UBA im Hinblick auf die Weiternutzung z. B. im Folgeprojekt KartAL II (FKZ 3713 93 331) ausschließlich in digitaler Form zur Verfügung gestellt.

Der im Projekt KartAL erfasste Bestand an Gütern für das Basisjahr 2010 bildet als „Status Quo“ die Grundlage für die Fortschreibung des Bestandsmodells. Die Bestandsakkumulation kann allgemein mithilfe von jährlich oder in größeren Zeitabständen zu generierenden Flussdaten für die einzelnen Gütergruppen erfolgen. In Abhängigkeit von der Gütergruppe sind dafür die in den Abschnitten 6.1.2 bis 6.1.6 beschriebenen Analysemethoden anzuwenden.

Detaillierte Übersichten zu den im Erfassungskonzept enthaltenen Gütern der einzelnen Gütergruppen finden sich in tabellarischer Form in den vorgenannten Abschnitten und sollen hier nicht im Einzelnen wiederholt werden. Es wird an dieser Stelle Bezug genommen auf folgende Übersichten:

- Infrastrukturen:
  Tabelle 11
- Gebäude:
  Tabelle 16 und Tabelle 17
- Haustechnik:
  Tabelle 19
- Konsumgüter:
  Tabelle 25.

Hinsichtlich der Erfassungshäufigkeit und der erreichbaren Datenqualität ist generell zwischen den o. g. Bezugsgrößen (Mengenkenngrößen) und Materialkennziffern zu unterscheiden. Die Mengenkenngrößen bilden die Basis für die Quantifizierung der Materialflüsse. Die Materialkennziffern spiegeln die technologische Dynamik wieder. Sowohl die Datenverfügbarkeit als auch die Datenqualität ist bei den Mengenkenngrößen grundsätzlich besser als bei den Materialkennziffern.

Für die Erfassung der Mengenkenngrößen stehen im günstigsten Fall amtliche Statistiken zur Verfügung (z. B. Destatis 2010a, 2013d). Dies betrifft die Gebäude (Hochbau), die Haustechnik, Teile der Infrastruktur (Tiefbau) sowie die Konsumgüter. Für Wohngebäude erlaubt die Wohngebäudebestandsstatistik (Destatis 2010b) eine jährliche Aktualisierung des Bestandes. Für Konsumgüter, die in der Einkommens- und Verbraucherstichprobe (z. B. EVS 2013) erfasst sind, kann alle 5 Jahre eine Kalibrierung der Bestandsmenge erfolgen.

Die Daten aus den amtlichen Statistiken besitzen bezüglich der Vertrauenswürdigkeit und der zeitlichen Repräsentativität das höchste Qualitätsniveau (siehe Abschnitt 8.3, Tabelle 29). Sie erscheinen einmal pro Jahr und sollten somit jährlich erfasst werden. Für andere Bereiche der Infrastruktur müssen zur Erfassung der Flüsse nichtamtliche Statistiken (z. B. BMVBS 2010) oder Sekundärliteratur herangezogen werden (siehe Abschnitt 6.1.2, Tabelle 11). Inwiefern hier eine jährliche Erfassung möglich ist oder evtl. größere Abstände gewählt werden müssen, bleibt im Einzelfall zu prüfen.

Die Materialkennziffern basieren im Regelfall auf mehr oder weniger komplexen Datenanalysen sowie Berechnungsmodellen für die einzelnen Teilsysteme. Datengrundlage für die Materialverteilung innerhalb der einzelnen Güter im Baubereich sind Verbandsdaten oder vergleichbare Quellen (vgl. Abschnitte 6.1.2.1, 6.1.3.1 und 6.1.4.2). Für die Infrastrukturen bilden die Materialkennziffern Fixgrößen, derzeit nicht jährlich fortschreibbar sind. Die dokumentierten Materialkennziffern im Bereich des Hochbaus (einschließlich Haustechnik) ermöglichen eine baualtersbezogene Unterscheidung zwischen Materialkennziffern, die den Bestand beschreiben und Materialkennziffern, die für den Neubau relevant sind.

Materialkennziffern für den Bestand (zur Beschreibung des Outputs) unterliegen kaum Veränderungen und sind damit vergleichsweise robust. Die Materialkennziffern für den Neubau (Input) sind abhängig von der technologischen Entwicklung. Aller Voraussicht nach werden sie sich im Bausektor aber nicht allzu schnell verändern. Ausgenommen von dieser Einschätzung sind Bereiche mit hohem Innovationspotenzial wie beispielsweise im Bereich der erneuerbaren Energien, deren Entwicklungsgeschwindigkeit in den nächsten Jahren zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch nicht vorausgesagt werden kann.

Im Fall einer notwendigen Aktualisierung von Materialkennziffern sind die bisherigen Neubaukennziffern als Bestandkennziffern für die jüngste Baualtersklasse im Bestandmodell weiterzuführen und aktuelle Neubaukennziffern für den Input zu ergänzen. Solche Aktualisierungen sind voraussichtlich nicht generell erforderlich sondern können sich auf den entsprechenden Güterbereich, der der Veränderung unterliegt, beschränken.

Im Bereich der langlebigen Konsumgüter stützen sich die Materialkennziffern auf vorhandene Materialbilanzen für ausgewählte Haushaltsgüter innerhalb eines Warenkorbes. Dabei unterliegen sowohl die Materialzusammensetzung der analysierten Einzelgüter als auch die Zusammensetzung des Warenkorbes Veränderungen infolge der technologischen Weiterentwicklung. Wesentliche neu entwickelte Güter müssen in den Warenkorb aufgenommen werden, wohingegen ältere, späterhin nicht mehr produzierte Güter nach dem Ende ihrer Verweildauer im Lager aus dem Warenkorb entfallen. Ein Beispiel hierfür ist die Ablösung der alten Röhrenmonitore durch leichtere LCD-Displays.

Allgemein ist zusammenzufassen, dass die Gültigkeit der Materialkennziffern insbesondere für den Input abhängig von der Innovationsdynamik im jeweiligen Güterbereich ist. Beispielsweise herrscht

derzeit eine hohe Dynamik im Bereich der Windenergie vor, wohingegen die Technologie bspw. im Straßenbau eher langsam voranschreitet.

Vor jeder Fortschreibungsschleife ist deshalb der aktuelle Stand der Innovationsentwicklung zu erheben und zu prüfen, ob dieser in den Materialkennziffern bzw. den zugrunde gelegten Warenkörben bereits berücksichtigt ist. Andernfalls sind für den betroffenen Güterbereich punktuelle Anpassungen oder Ergänzungen vorzunehmen.

9 Quellenverzeichnis

Althaus, H.-J.; Chudacoff, M.; Hischier, R.; Jungbluth, N.; Osses, M.; Primas, A. (2007): Life Cycle Inventories of Chemicals. Ecoinvent Report No. 8, v 2.0 EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, from www. Ecoinvent.org

Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. (AGFW) (verschiedene Jahrgänge): AGFW-Branchenreport; Frankfurt/Main: AGFW.

Banse, J; Effenberger, K.-H. (2006): Deutschland 2050 - Auswirkungen des demographischen Wandels auf den Wohnungsbestand Dresden. IÖR-Texte 152, 2006.

Bauer, C.; Bolliger, R.; Tuchschmid, M.; Faist-Emmenegger, M. (2007): Wasserkraft. Ecoinvent report No.6-VIII. Villigen.

Bauer, C. (2008): Life Cycle Assessment of Fossil and Biomass Power Generation Chains. An analysis carried out for ALSTOM Power Services. PSI Bericht Nr. 08-05. Villigen.

Bauforum Stahl (BFS) www.bauforumstahl.de

Baumgartner, W.; Doka, G. (1998): Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken. Bundesamt für Energiewirtschaft Bern.

BDEW (2014): Gasnetzentwicklung in Deutschland seit 1996. http://www.bdew.de/internet.nsf/id/20B74458D73839D1C12579C9004D61C0/$file/Gasnetzentwicklung%20in%20Deutschland%201996_2013%2029Apr2014_o_jaehrlich_Ki.pdf.

BDEW (2013): Das Stromnetz ist 1,8 Mio. km lang. http://www.bdew.de/internet.nsf/id/20130412-pi-deutsches-stromnetz-ist-18-millionen-kilometer-lang-de.

BDEW (ohne Jg.): Kraftwerksdatenbank. Nicht veröffentlicht.

BITKOM (2013): Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation. Im Auftrag des BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. Studie vorgelegt von Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH.

BITKOM (2010): Die Zukunft der Consumer Electronics.

BImSchV - Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1.BImSchV); "Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26. Januar 2010 (BGBl. I S. 38)“.

BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.) (2012): BKI KOSTENplaner 15 Basisversion – Neu-/ Altbau, Freianlagen. Kostenermittlungsprogramm und Kostendaten zu 1./2. Ebene DIN 276 einschließlich Objektdatenbank.

BMVBS (2013): Verkehr in Zahlen 2012/2013. Hamburg: Deutscher Verkehrs- Verlag GmbH.

BMVBS u. a. 2012: Vergleichswerte für Verbrauch bei Wohngebäuden. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.

BMVBS (Hrsg.): Validierung der überarbeiteten DIN V 18599 (Energetische Bewertung von Gebäuden) Version 2011. BMVBS-Online-Publikation 13/2012.

BMVBS (2011): Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2010.

BMVBS (2010): Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs.

BMU (2008): Kurzinfo Wasserkraft.

Boermans-Schwarz, T. (1998): Materialintensitäts-Analyse von Anlagen zur Nutzung von Re-genwasser im Haushalt im Kontext einer nachhaltigen Wasserwirtschaft; Diplomarbeit am Fachbereich Sicherheitstechnik der Bergischen Universität Gesamthochschule Wuppertal.

Bringezu, S. (1998): Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserbehandlungssysteme mit den Mitteln der Stoffflussanalyse; in: Wilderer, P. A. / Arnold, E. / Schreff, D. (Hg.): De-zentrale Abwasserbehandlung für ländliche und urbane Gebiete (Abwassertechnisches Seminar).

Bringezu, S. (2000): Die Analyse der Materialintensität von Infrastrukturen; Wuppertal Papers Nr. 102, Wuppertal.

Bringezu, S. (2000): Ressourcennutzung in Wirtschaftsräumen: Stoffstromanalysen für eine nachhaltige Raumentwicklung. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.

BSW (2011): Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombrance (Photovoltaik). http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/content_files/201105_BSW_Solar_Faktenblatt_PV.pdf

Buchert, M. et al. (1999): Stoffflußbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der Nachhaltigen Entwicklung; Umweltbundesamt Texte 47/1999, Berlin.

Buchert, M. et al. (2004): Stoffflußbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung – Verknüpfung des Bereiches Bauen und Wohnen mit dem komplementären Bereich öffentliche Infrastruktur. Umweltbundesamt Texte 01/2004, Berlin.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2013): Deutschland – Rohstoffsituation 2012. für Analyse Recyclinganteile, u. a. aus Abb. 3.9: Anteil sekundärer Rohstoffe an der deutschen Raffinade- und Rohstahlproduktion.

Bundesnetzagentur (ohne Jg): Monitoringbericht Bonn

Bundesverband Baustoffe, Steine und Erden (BBS) (Hrsg.) (2013): "Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine- und Erden-Industrie bis 2030 in Deutschland".

Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter (BAV): pers. Auskunft und Internetveröffentlichungen zu Herkunft und Einsatz von Altholz insbesondere in Bauprodukten.

Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (2014): pers. Auskunft zum Einsatz von Reststoffen, Rezyklaten und mineral. Nebenprodukten in der Ziegelproduktion.

Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV) – 2011. Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks für das Jahr 2011. k.a.: Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV) –. Available at: http://www.schornsteinfeger.de/bilder_ziv/files/erhebungen2011.pdf

Bundesverband Glasindustrie e.V.: statistische Datenblätter zu Produktion von Glas und Glaswaren nach Branchensektoren und Einfuhr und Ausfuhr von Glas und Glaswaren 2010 u. 2011.

Bundesverband Kraftwerksnebenprodukte BVK: zitiert in Euwid Recycling und Entsorgung Nr. 31 vom 28.07.2009. für Angaben zum Einsatz von Steinkohleflugaschen.

Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung (2012): BVSE - Überblick über die Recycling und Entsorgungsbranche. für Bildung von Zeitreihen zu Recyclingströmen im Bereich unterschiedlicher Materialarten; u. a. Glas, Holz.

Burger, B.; Bauer, C. (2007): Windkraft. Ecoinvent report No. 6-XIII. Villigen

Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH (2009 u. 2011): Kurzfassung der Studien 'Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland' 2009 u. 2011. für Plausibilisierung von Herkunft und Mengen in der Kunststoffverwertung, Anteile vom und in den Baubereich sowie Klärung Mengendifferenzen Top-Down/Bottom-Up.

Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH (Hrsg.): Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2011 – Kurzfassung. URL: http://www.bvse.de/pdf/oeffentlich/Kunststoff/Endbericht_2011_31_08_2012_Kurzversion.pdf

Deilmann, C.; Behnisch, M.; Dirlich, S.; Gruhler, K.; Hagemann, U.; Petereit, R.; Kunz, C; Petereit, K. (2013): Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude - Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO2-Minderungspotenzialen, Berlin : BMVBS, 2013, S.120 (BMVBS-Online-Publikation; 27/2013).

Deilmann C.; Krauß N.; Gruhler K.; Reichenbach J. (im Erscheinen): Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau; Im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); Bonn/Berlin – im Erscheinen.

Dennison, F. J.; Azapagic, A.; Clift, R.; Colbourne, J. S. (1999): Life Cycle Assessment: Com-paring Strategic Options for the Mains Infrastructure – Part I, Water Science and Technology, Vol. 39, Nr. 10-11, S. 315 – 319.

Der Elsner – Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen (vers. Jahrgänge). Otto Elsner.

Destatis (1979): Fachserie 19, Reihe 1.1. Öffentliche Abfallbeseitigung, Datenbasis abfallwirtschaftliche Mengenflussbetrachtungen Jahr 1975.

Destatis (1979): Fachserie 19, Reihe 1.2. Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und in anderen Bereichen, Datenbasis abfallwirtschaftliche Mengenflussbetrachtungen Jahr 1975.

Destatis (1987): Fachserie 19, Reihe 1.1. Öffentliche Abfallbeseitigung, Datenbasis abfallwirtschaftliche Mengenflussbetrachtungen Jahr 1984.

Destatis (1987): Fachserie 19, Reihe 1.2 Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und Krankenhäusern, Datenbasis abfallwirtschaftliche Mengenflussbetrachtungen Jahr 1984.

Destatis (1996): Fachserie 19, Reihe 1.1. Öffentliche Abfallbeseitigung, Datenbasis abfallwirtschaftliche Mengenflussbetrachtungen Jahr 1993.

Destatis (1997): Fachserie 19, Reihe 1.2 Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und Krankenhäusern, Datenbasis abfallwirtschaftliche Mengenflussbetrachtungen Jahr 1993.

Destatis (2004): Umweltnutzung und Wirtschaft - Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2004. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

Destatis (2008): Fachserie 19, Reihe 1 Abfallentsorgung, Datenbasis abfallwirtschaftliche Mengenflussbetrachtungen Jahr 2006.

Destatis (2008): Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten Gebrauchsgütern - Fachserie 15 Heft 1 – 2008.

Destatis (2009): Fachserie 19, Reihe 1 Abfallentsorgung, Datenbasis abfallwirtschaftliche Mengenflussbetrachtungen Jahr 2007.

Destatis (2010): Fachserie 19, Reihe 1 Abfallentsorgung, Datenbasis abfallwirtschaftliche Mengenflussbetrachtungen Jahr 2008.

Destatis (2010a): Statistisches Bundesamt, Fachserie 5, Reihe 1: Bauen und Wohnen, Bautätigkeit, 2010. – www.destatis.de. aufgerufen am 26.03.2013.

Destatis (2010b): Statistisches Bundesamt, Fachserie 5, Reihe 3: Bauen und Wohnen, Bestand an Wohnungen, 2010. – www.destatis.de. aufgerufen am 14.05.2013.

Destatis (2010c): Statistisches Bundesamt: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Fachserie 18, Anlagevermögen nach Sektoren 2009 – Arbeitsunterlage. www.destatis.de. aufgerufen am 14.05.2013.

Destatis (2011): Bauen und Wohnen. Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden u. a. nach Bauherren, Lange Reihen z. T. ab 1980. www.destatis.de. aufgerufen am 26.03.2013.

Destatis (2011): Fachserie 19, Reihe 1 Abfallentsorgung, Datenbasis abfallwirtschaftliche Mengenflussbetrachtungen Jahr 2009.

Destatis (2012): Fachserie 19, Reihe 1 Abfallentsorgung, Datenbasis abfallwirtschaftliche Mengenflussbetrachtungen Jahr 2010.

Destatis (2012a): Mikrozensus - Zusatzerhebung 2010: Bestand und Struktur der Wohneinheiten – Wohnsituation der Haushalte; Statistisches Bundesamt; Fachserie 5, Heft 1.

Destatis (2012b): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Fachserie 18, Anlagevermögen nach Sektoren 2011 – Arbeitsunterlage. www.destatis.de. aufgerufen am 14.05.2013,

Destatis (2012c): Statistisches Bundesamt: Bauhauptgewerbe ab 1995 – Umsatz nach Art der Bauten und Auftraggebern in 1 000 EUR – Deutschland. – Umsatz-20u.m_ab1995.xls vom 15.05.2013.

Destatis (2012d): Statistisches Bundesamt: E 206 Bauhauptgewerbe ab 1991 (von 1991 - 1994 nach WZ 93) – Umsatz nach Art der Bauten und Auftraggebern in 1 000 EUR – Deutschland. – Umsatz-alle_ab1991.xls vom 15.05.2013.

Destatis (2012e): Statistisches Bundesamt: E 206 Ausbaugewerbe (Bauinstallation, sonstiges Baugewerbe) ab 1996 – Beschäftigung und Umsatz – Deutschland. – Ausbau_ab1996.xls vom 15.05.2013.

Destatis (2012f): Betriebsdaten des Schienenverkehrs. Fachserie 8 Reihe 2.1 – 2012.Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

Destatis (2012g): Umweltnutzung und Wirtschaft - Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen. Wiesbaden.

Destatis (2012h): Statistisches Bundesamt: Fachserie 4, Reihe 3.1 – Datenauszug: 1_Produktion DE GENESIS.xls vom 06.08.2013.

Destatis (2013a): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung. Anlagevermögen nach Sektoren 2012. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

Destatis (2013b): Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten Gebrauchsgütern - Fachserie 15 Heft 1 – 2013.

Destatis (2013c): Statistisches Bundesamt: Zensus 2011. Gebäude und Wohnungen. Bundesrepublik Deutschland am 9. Mai 2011. www.destatis.de. aufgerufen am 07.08.2013.

Destatis (2013d): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung 2010; Fachserie 19 Reihe 2.1.2 und 2.1.3; Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) (2011): "Deutschland - Rohstoffsituation 2011".

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb): DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN206-1 und DIN1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620. für Berechnung Einsatzpotenzial Recyclinbeton im Hochbau

Deutsches Kupferinstitut e.V. online:
http://copperalliance.biz/front_frame/frameset.php3?client=1&lang=1&idcat=34&parent=14

Diefenbach, N.; Cischinsky, H.; Rodenfels, M. & Clausnitzer, K.-D. 2010. Datenbasis Gebäudebestand - Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Darmstadt: Institut für Wohnen und Umwelt (IWU); Bremer Energie Institut (BEI).

DIN EN 12831:2003-08 : Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast (Deutsche Fassung EN 12831:2003).

DIN EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. 10/2006.

DIN 18599 Teile 5 und 8, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen und Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen; Beuth; Berlin; 2011.

DIN 16836 – Mehrschichtverbundrohre - Polyolefin-Aluminium-Verbundrohre - Allgemeine Anforderungen und Prüfungen

DIN 16837 – Mehrschichtverbundrohre - Mehrschicht-Kunststoffverbundrohre - Allgemeine Anforderungen und Prüfungen

Dirlich, S.; Gruhler, K.; Deilmann, C. et al.: Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland, Berlin : Bundesministerium f. Verkehr, Bau u. Stadtentwicklung, 2011, S.144, (BMVBS-Online-Publikation; 16/2011).

Doka, G. (2007): Wastewater Treatment. Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Ecoinvent report No. 13, Part IV. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

Doka, G. (2007): Building material disposal. Ecoinvent report. No. 13-V. Villigen.

Dones, R. (2007): Kernenergie. Ecoinvent report No. 6-VII. Villigen.

Dones, R.; Bauer, C.; Röder, A. (2007): Kohle. Ecoinvent report No. 6-VI. Villigen.

Drenckhan, A.; Eger, M.; Estermann, A. S. (2006): Entry-Exit-System – Aufgaben für das Gaswirtschaftsjahr 2006/2007. Energie/Wasser-Praxis, Vol. 57, Heft 12 (Jahresrevue). S. 60-63.

Edelmann, W.; Schleiss, K.; Engeli, H.; Baier, U. (2001): Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas. Schlussbericht im Auftrag des Amtes für Energie. Bern.

Effenberger, K.-H. (2014): Wie hoch sind Wohnungsbestand und Wohnungsleerstand in Deutschland? In: Wohnungswirtschaft heute (64).

Erdmann, L. et al. (2004): Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen Handlungsoptionen und Steuerungsinstrumente am Beispiel von Kupfer und Blei; Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), WerkstattBericht Nr. 68, Berlin.

DVGW (2014): Blei und Trinkwasser. http://www.dvgw.de/wasser/informationen-fuer-verbraucher/blei-im-trinkwasser/. abgerufen am 01.07.2014.

Eurostat (2009): Economy Wide Material Flow Accounts: Compilation Guidelines for reporting to the 2009 Eurostat questionnaire. Version 01 – June 2009

Eurostat (2011): International Trade – ComExt DS-016890-EU27 Trade Since 1988 By CN8.

Eurostat (2012): Economy-wide Material Flow Accounts (EW-MFA). Compilation Guide 2012.

Fa. Saint Gobain / Euroglas / Calyxo: pers. Auskunft und Internetveröffentlichungen zum Einsatz von Reststoffen und Rezyklaten in der Produktion; insbesondere Scherben in Bauprodukten (Flachglas, Dämmstoffe)

Faist-Emmenegger, M.; Heck, T.; Jungbluth, N.; Tuchschmid, M. (2007): Erdgas. Ecoinvent report No. 6-V. Villigen.

Frischknecht, R.; Tuchschmid, M.; Faist-Emmenegger, M. (2007): Strommix und Stromnetz. Ecoinvent report No. 6-XVI. Villigen.

Forschungsstelle für Energiewirtschaft FfE (1996): Ganzheitliche energetische Bilanzierung der Energiebereitstellung (GaBiE). München.

forum.newpower - Zeitschrift für erneuerbare Energien (ohne Jg.): Entwicklung der Anzahl an Biogasanlagen, regelmäßige Darstellung.

Frischknecht, R. (Hrsg.); Jungbluth, N. (Hrsg.); Althaus, H.-J.; Doka, G.; Dones, R.; Heck, Th.; Hellweg, S.; Hischier, R.; Nemecek, Th.; Rebitzer, G.; Spielmann, M.; Wernet, G. (2007): Overview and methodology. Ecoinvent report No.1. Dübendorf, 2007.

Fthenalis, V.; Kim, H. C.; Frischknecht, R.; Raugei, M.; Sinha, P.; Stucki, M. (2011):Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic, International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12, Report T12-02:2011.

Geuder, M. (2004): Energetische Bewertung von Windkraftanlagen. Diplomarbeit an der Fach-hochschule Würzburg-Schweinfurt.

Gores, S. (2010): Markt für Blockheizkraftwerke. Absatz 2009 und aktuelle Entwicklung. http://www.bkwk.de/aktuelles/presse/2010-12-13%20BHKW-Marktentwicklung.pdf

Görg, H. (1997): Entwicklung eines Prognosemodells für Bauabfälle als Baustein von Stoffstrombetrachtungen zur Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. TH Darmstadt, Schriftenreihe WAR 98, Darmstadt.

Greller, M.: Schröder, F.; Bögelein, T.; Güttler, P. u. a. 2010: Universelle Energiekennzahlen für Deutschland - Teil 3: Spezifischer Energieverbrauch für zentrale Warmwasserbereitung und Relation zum Heizenergieverbrauch. Bauphysik, 32(3), S.154–159.

Gruhler, K.; Böhm, R. (2011a): Auswirkungen des demographischen Wandels auf das Stofflager und die Stoffflüsse des Wohngebäudebestandes – Deutschland 2050 -. Stuttgart : Fraunhofer IRB, 2011 (Reihe Wissenschaft, Band 25).

Gruhler, K.; Böhm, R. (2011b): Ressourcenbezogene Kennwerte von Nichtwohngebäuden - Analyse und Aufarbeitung von Daten der Statistik "Bauen und Wohnen". Stuttgart : Fraunhofer IRB, 2011 (Reihe Wissenschaft, Band 30).

Gruhler, K.; Deilmann, C.; Böhm, R., Schiller, G. (2002): Stofflich-energetische Gebäudesteckbriefe – Gebäudevergleiche und Hochrechnungen für Bebauungsstrukturen. IÖR-Schriften 38. Dresden.

Gruhler, K.; Böhm, R.; Deilmann, C.: Ressourcenbezogene Kennwerte von Nichtwohngebäuden - Analyse und Aufbereitung von Daten der Statistik ""Bauen und Wohnen"" In: Kurzberichte aus der Bauforschung 53 (2012) 2, S.39 ff.

Hamburgisches WeltWirtschaftsInstitut (2012): Liberalisierungspotenziale bei der Entsorgung gebrauchter Verpackungen aus Papier, Pappe und Karton. für materialspez. Zeitreihenbetrachtungen, u. a. über Abb.2.2: Entwicklung von Papierproduktion, Altpapierverbrauch und Einsatzquoten; Abb.2.3: Entwicklung der Im- und Exporte von Altpapier, Deutschland, 1950-2010.

Heck, T. (2007): Wärme-Kraft-Kopplung. Ecoinvent report No. 6-XIV. Villigen.

Hillenbrand, T. (2009): Analyse und Bewertung neuer urbaner Wasserinfrastruktursysteme. Dissertation, Karlsruhe.

Hintemann, R.; Fichtner, K. (2010): Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland. Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen- und Energieeinsatz. UBA-Texte 55/2010.

Hirschberger (2013): Wie kann ich eine Einrohrheizung erkennen? Experteninterview zu Einrohrheizungen. http://www.co2online.de/energie-sparen/heizenergie-sparen/einrohrheizung/interview-einrohrheizung-erkennen/. Abgerufen 08.04.2014.

Hirschberger, S.; Bauer, C.; Burgherr, P.; Biollaz, S.; Durisch, W.; Foskolos, K.; Hardegger, P.; Meier, A.; Schenler, W.; Schulz, T.; Stucki, S.; Vogel, F. (2005): Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten. PSI Bericht Nr. 05-04. Paul Scherrer Institut. Villigen.

Initiative Zink: http://www.initiative-zink.de/basiswissen/zink-in-zahlen

Institut für Stahlbetonbewehrung (ISB): https://www.isb-ev.de

INTECUS GmbH (2012): Studie UBA-FB 001608 (Texte 14/2012) 'Ermittlung des Beitrages der Abfallwirtschaft zur Steigerung der Ressourcenproduktivität sowie des Anteils des Recyclings an der Wertschöpfung unter Darstellung der Verwertungs- und Beseitigungspfade des ressourcenrelevanten Abfallaufkommens'. für Klärung Mengenlücken in Destatis FS 19 (u. a. Bereich Metallschrotte) und Differenzbeträge Top-Down/Bottom-Up.

IWES (Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik) (ohne Jg.): Datenbank Windenergienanlagen. Nicht veröffentlicht.

IWU (Institut Wohnen und Umwelt) (1994): Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern (ABL und NBL). Endbericht für die „Deutsche Bundesstiftung Umwelt“ in Kooperation mit der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages. Darmstadt.

Jekel, M.; Remy, C.; Ruhland, A. (2006): Ecological Assessment of Alternative Sanitation Concepts with Life Cycle Assessment. Final Report for Subtask 5 of the Demonstration Project “Sanitation Concepts for Separate Treatment of Urine, Faeces and Greywater” (SCST).

Jungbluth, N.; Stucki, M.; Flury, K.; Frischknecht, R.; Büsser, S. (2012): Life Cycle Inventories of Photovoltaic. On behalf of the Swiss Federal Office of Energy SFOE. Ulster. 2012.

Knappe, F.; Lansche, J. (2010): Optimierung der Verwertung mineralischer Bauabfälle in Baden-Württemberg. Abschlussbericht für das Umweltministerium Baden-Württemberg.

Kommission der EU (2001): VERORDNUNG (EG) Nr. 586/2001 DER KOMMISSION vom 26. März 2001 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1165/98 des Rates über Konjunkturstatistiken: Definition der industriellen Hauptgruppen (MIGS). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 86/11.

Kuhn, M.; Radermacher, W.; Stahmer, C. (1994): Umweltökonomische Trends 1960 bis 1990. Wirtschaft und Statistik 8, 658-677.

Kaiser, B. 2013. Systeme und ihre Vorteile/Energieeffizienz und erneuerbare Energien für Gebäude. Available at: http://ish2013.bdh-koeln.de/pdf/vortrag_402.pdf.

Korda, M. (Hrsg.) (2005): Städtebau: Technische Grundlagen. Wiesbaden.

Krauß, N,; Deilmann, C,; Gruhler, K, (2012): Wo steht der deutsche Gebäudebestand energetisch? - Modernisierungsstand, Ausgangsbasis und Perspektiven. In: Kurzberichte aus der Bauforschung 53 (2012) 5, S.40-50.

Kreislaufwirtschaftsträger Bau: Monitoringberichte 1- 8 (1996 - 2010). für Mengenplausibilisierung Destatis FS 19, Bildung von Zeitreihen zu Recyclingströmen im Bereich mineral. Materialien und Klärung Differenzbeträge Top-Down/Bottom-Up

Kristof, K. & Heinnicke, P. 2010: Endbericht des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess). Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie. Available at: http://ressourcen.wupperinst.org/Downloads/MaRess_Endbericht.pdf.

Kunststoff-Wochendienst, 2007: 30 Jahre Kunststoffrohre in der Haustechnik ohne Lobby: Kunststoff contra Kunststoff, Güte contra Güte, In: KWD-SHK Nr. 1335, 12.2007, www.kwd-online.de

Laasch, T. & Laasch, E. 2009. Haustechnik: Grundlagen, Planung, Ausfuhrung; mit ... 231 Tabellen. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

Lassaux, S.; Renzoni, R.; Germain, A. (2007): Life Cycle Assessment of Water from the Pum-ping Station to the Wastewater Treatment Plant. In: International Journal of Life Cycle Assessment 12 (2), 118-126.

LfU Bayern (2008): Staatliche Wasserspeicher in Bayern. http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/staatliche_wasserspeicher/index.htm

Löckenhoff E., 2002: Marktentwicklung und Bedeutung der Kunststoffrohre heute, Fachverband der Kunststoffrohr-Industrie (KRV), Bonn.

Manstein, C. (1996): Das Elektrizitätsmodul im MIPS-Konzept – Material-Analyse der bundes-deutschen Stromversorgung (öffentliches Netz) im Jahr 1991, Wuppertal Paper Nr. 51, Wuppertal: Wuppertal Institut.

Mantau, U. (2012): Holzrohstoffmonitoring. Holzwerkstoffindustrie Kapazität und Holzrohstoffnutzung im Jahr 2010.

Marheinecke, T. (2001): Lebenszyklusanalyse fossiler, nuklearer und regenerativer Stromer-zeugungstechniken. Forschungsbericht Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Ener-gieanwendung der Universität Stuttgart, Band 87.

Markus, D.; Manstein, C.; Liedtke, C. (1996): Materialintensitätsanalysen von Grund-, Werk- und Baustoffen (4). Der Werkstoff PVC. Materialintensität eines Trinkwasserrohrs; Wuppertal Paper 63, Wuppertal: Wuppertal Institut.

Mottschall, M.; Bergmann, T. (2013): Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland. UBA-Texte 96/2013.

Nitsch, J. et al. DLR / ifeu / Wuppertal Institut (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nut-zung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben für das Bundesminis-terium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

pro-K / Rewindo / AgPU / Wecobis-Datenbank: pers. Auskunft und Internetveröffentlichungen zum Einsatz von Reststoffen und Rezyklaten in der Produktion; insbesondere Mahlgüter und Re-Granulate in Bauprodukten (Fenster, Türen, Bodenbelagstoffe).

Querschiesser Unternehmensberatung GmbH & Co. KG, 2010: Fakten über das Beschaffungsverhalten der SHK-Handwerker bei Installationsmaterial. Eine Studie im Auftrag der Verbände DGH Deutscher Großhandelsverband Haustechnik e. V. und KRV Kunststoffrohrverband e. V.

Reckerzügl, T. (1997): Vergleichende Materialintensitäts-Analyse zur Frage der zentralen oder dezentralen Abwasserbehandlung anhand unterschiedlicher Anlagenkonzepte; Diplom-arbeit an der Universität-Gesamthochschule Paderborn, Abteilung Höxter, erstellt am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

RECOMMENDATIONS 2013/179/EU: Commission Recommendation of 9 April 2013 on the Use of Common Methods to Measure and Communicate the Life Cycle Environmental Performance of Products and Organisations, Annex II: Product Environmental Footprint (PEF) Guide. In: Official Journal of the European Union, L 124, Vol. 56, 2013 – doi:10.3000/19770677.L_2013.124.eng.

Rogatty, W. 2006. Wärme nach Maß: Wie groß muss der neue Wärmeerzeuger in einem Altbau sein? IKZ-Haustechnik, hrsg. , (14).

Salzer, C. 2008: Die Materialintensität der europäischen Elektrizitätserzeugung. Eine Bilanzie-rung nach dem MIPS-Konzept. Bachelorarbeit an der Bauhaus-Universität Weimar.

Scharp, M. (2010): IuK-Infrastrukturen: Mobilfunk. Endbericht. UBA-Projekt Materialeffizienz und Ressourcenschonung.

Schiller, G. et al. (2010): Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung; Umweltbundesamt Texte 56/2010, Berlin.

Schmalwasser, O.; Weber, N. (2012): Revision der Anlagevermögensrechnung für den Zeitraum 1991 bis 2001. Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik, November 2012.

Schmalwasser, O.; Schidlowski, M. (2006): Kapitalstockrechnung in Deutschland. Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik, November 206.

Schmied, M., Mottschall, M. (2013): „Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland“ Teilgutachten im Rahmen des Forschungsvorhabens "Welches Schienennetz braucht Deutschland?" (FKZ 36301244); Berlin 2013.

Schütz, H.; Bringezu, S. (2008): Ressourcenverbrauch von Deutschland – aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen. Dessau-Roßlau. UBA-Texte 02-08.

Siedentop, S.; Schiller, G.; Koziol, M.; Walther, J.; Gutsche, J-M. (2006): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten – Bilanzierung und Strategieentwicklung. Endbericht.

Soukup, O. (2008): Erstellung von Produktökobilanzen auf der Basis von Stoffstromnetzen für die Bereitstellung von Biogas zur Einspeisung in das Erdgasnetz. Diplomarbeit an der Leuphana-Universität Lüneburg.

SST/DIW-Branchenstudie 2013: Gutachten/Studie: Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2030 in Deutschland. für Ermittlung von Herkunft und Verbleib mineralischer industrieller Nebenprodukte.

Steger, S.; Fekkak, M., Bringezu, S. (2011): Materialbestand und Materialflüsse in Infrastrukturen. Meilensteinbericht des Arbeitspakets 2.3 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess)

Tillman, A.-M.; Svingby, M.; Lundström, H. (1998): Life Cycle Assessment of Municipal Waste water Systems. In: International Journal of Life Cycle Analysis 3 (3), 145-157.

Timm, U. & Neutze, M. 2013. Korrespondenz zu: Auswertung zu "Wohnungen in Wohngebäuden (ohne Wohnheime) nach Gebäudegrößenklassen, Baujahr und Wohnfläche - Zensus 2011.

Treiber, F. (2006): Lärmschutz und mehr. In Straßenverkehrstechnik 10/2006, S. 620 – 624.

TU Dresden, Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten; INTECUS GmbH: Vortrag 'Energieeffizienz und deren Steigerung in der Abfallverbrennung'. für Zeitreihenbetrachtung und Plausibilisierung Abfallmengenentwicklung in MVA.

U.E.C. GmbH; Kanthak & Adam GbR (2011): Studie UBA-FB 001458 (Texte 19/2011) 'Aufkommen, Verbleib und Ressourcenrelevanz von Gewerbeabfällen'. u. a. für Mengenplausibilisierung Destatis FS 19 und Klärung Differenzbeträge Top-Down/Bottom-Up.

Umweltbundesamt (UBA) (2012): Glossar zum Ressourcenschutz. http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4242.pdf. aufgerufen am 24.04.2013.

Umweltbundesamt (UBA) (2012a): Grenzüberschreitende Verbringung von zustimmungspflichtigen Abfällen: für Auswertung 'Zeitreihe Export nach Abfallarten ab Inkrafttreten des europäischen Abfallkatalogs.

Umweltbundesamt (UBA) (2012b): Grenzüberschreitende Verbringung von zustimmungspflichtigen Abfällen: für Auswertung 'Zeitreihe Export nach Abfallarten ab Inkrafttreten des europäischen Abfallkatalogs.

Umweltbundesamt (UBA) (2013): National Inventory Report (NIR) an UNFCCC 2013.

Umweltbundesamt (UBA) (2013a): Grenzüberschreitende Abfallverbringung: für Auswertung 'Zeitreihe Export von nicht notifizierungspflichtigen Abfällen nach Warengruppen.

Umweltbundesamt (UBA) (2013a): Grenzüberschreitende Abfallverbringung: für Auswertung 'Zeitreihe Export von nicht notifizierungspflichtigen Abfällen nach Warengruppen.

VDI 2012. VDI-Richtlinie 3807 - Blatt 5 (Entwurf): Energieverbrauchskennwerte für Gebäude - Teilkennwerte thermische Energie. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure (VDI).

Venkatesh, G.; Hammervold, J.; Brattebo, H. (2009): Combined MFA-LCS for Analysis of Wastewater Pipeline Networks. Case Study of Oslo, Norway. In: Journal of Industrial Ecology 13 (4), 532-550.

Verband Deutscher Papierfabriken; Papiertechnische Stiftung (2010): Ergebnisse der Rückstandsumfrage 'Aufkommen und Verbleib der Rückstände aus der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie . für Ermittlung der Entsorgungs- und Verwertungswege/-mengen, darunter Abgabe an die Zement- und Ziegelindustrie.

Wagner, J. et al. (2012): Ermittlung des Beitrages der Abfallwirtschaft zur Steigerung der Ressourcenproduktivität sowie des Anteils des Recyclings an der Wertschöpfung unter Darstellung der Verwertungs- und Beseitigungspfade des ressourcenrelevanten Abfallaufkommens; Umweltbundesamt Texte 14/2012, Berlin.

Walberg, D.; Holz, A.; Gniechwitz, T. & Schulze, T. 2011: Wohnungsbau in Deutschland - 2011 - Modernisierung oder Bestandsersatz. Kiel: Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. Available at: http://www.bdb-bfh.de/bdb/Downloads/ARGE_Kiel_-_Wohnungsbau_in_Deutschland_2011.pdf.

Wild-Scholten (2012): Life Cycle Assessment of Photovoltaic Systems. BMU-Forschungsvorhaben "Aktualisierung von Ökobilanzen für Erneuerbare Energien im Bereich Treibhausgase und Luftschadstoffe“.

WirtschaftsVereinigung Metalle (WVM) (2010): Metallstatistik 2010. http://www.wvmetalle.de/presse/artikeldetail/?tx_artikel_feartikel[artikel]=801&tx_artikel_feartikel[back]=presse%2Fzahlen-und-fakten%2F&tx_artikel_feartikel[action]=show&cHash=5cad5d08765811e0c203b2cc0a9dc25d

Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl) www.stahl-online.de

Wirtschaftsvereinigung Stahl (2013): Schrottbilanz für Deutschland. für materialspez. Zeitreihenbetrachtungen Recyclinganteile in der Stahlproduktion und Herkünfte

Zimmermann, P.; Doka, G.; Huber, F.; Labhardt, A.; Ménard, M. (1996): Ökoinventare von Entsorgungsprozessen. Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen; ESU-Reihe 1/96; Zürich: Institut für Energietechnik an der ETH Zürich.

10 Glossar

10.1 Zusammenfassung zentraler Begriffe

Die Grundlage des vorliegenden Berichts bildet das UBA-Glossar (UBA 2012), auf dessen Wiedergabe an dieser Stelle verzichtet wird. In diesem Absatz werden ergänzend dazu weitere zentrale Begriffe, welche Bestandteil des mehrschichtigen Stoffstrommodells (MSM) und wesentlich für dessen Verständnis sind, erläutert.

Als **lagerrelevant** für das Anthropogene Stofflager werden nur Stoffe, Materialien und Güter betrachtet, die im Rahmen wirtschaftlicher Aktivitäten zu Veränderungen der Größe und Zusammensetzung des Anthropogenen Lagers führen (z. B. Gebäude, Autos, Kleidung, Maschinen, usw.) Diese werden als „lagerrelevant" bezeichnet. Nicht lagerrelevant sind sog. Durchflussgrößen. Unter Berücksichtigung der zuvor getroffenen Bedingungen werden Energieträger, die nicht stofflich genutzt werden als Betriebsstoffe und daher als nicht lagerbildend eingestuft und gehen daher nicht in die Betrachtung ein. Des Weiteren werden biogene Stoffe wie Nahrungsmittel und Energiepflanzen ebenfalls als nicht lagerbildend eingeordnet und ebenfalls nicht berücksichtigt. Ein wichtiges Kriterium für die Bestimmung der Lagerrelevanz von Gütern ist deren Lebensdauer, bzw. die Verweildauer der Materialien in Gütern. Langlebige Güter werden als lagerrelevant angesehen, kurzlebige Güter mit Lebensdauern unter einem Jahr dagegen als Durchflussgrößen, die nicht ins Lager eingehen.

Unter dem Begriff **Materialgruppen** werden Materialien zu Gruppen zusammengefasst. Entlang der verwendeten Definitionen und Beschreibungen des statistischen Bundesamtes (Destatis) in der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR) (Destatis 2012g) und dem statistischen Amt der Europäischen Union (Eurostat) können folgende Materialgruppen genannt werden:

- Energieträger: Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Erdöl, usw.
- Mineralische Rohstoffe: Erze, Baumineralien und Industriemineralien
- Biomasse: pflanzliche Biomasse aus der Forstwirtschaft und Landwirtschaft sowie Biomasse von Tieren (Fischerei, Jagd)

Unter Berücksichtigung der gesetzten Rahmenbedingungen und Einschränkungen bezüglich des zuvor genannten lagerrelevanten Charakters ist vor allem die Materialgruppe der mineralischen Rohstoffe für die Untersuchung von Bedeutung. Wie zuvor beschrieben werden die Materialgruppen Energieträger und Biomasse nur bei einem stofflichen Einsatz bzw. einer stofflichen Verwertung, die lagerrelevant ist, in der Untersuchung berücksichtigt.

Bezug nehmend auf die Beschreibung zu „Material bzw. Materialien" wird unter dem Begriff des **Primärmaterials**[93], ein Material verstanden, welches aus der Natur entnommen wurde und erstmalig zur Erstellung von Gütern eingesetzt wird. Dabei kann es sich sowohl um Rohstoffe als auch um bereits verarbeitete und veredelte Stoffe und Stoffgemische handeln, nicht jedoch um aufbereitete Rohstoffe und Stoffe.

In diesem Fall wird von einem **Sekundärmaterial**[94] gesprochen, welches in Form einer Kreislaufführung aus bereits verarbeiteten und wieder aufbereiteten Rohstoffen und Stoffen wieder der Produktion und Verarbeitung zugeführt werden. Sekundärmaterialien umfassen demzufolge das gesamte Spektrum an Materialien, welche zur Verwertung bzw. zur Aufbereitung vorgesehen sind.

---

[93] „Materialien, die der Umwelt auf der ersten Produktionsstufe (Bergbau; Landwirtschaft etc.) entnommen werden; umfasst (Primär-) Rohstoffe und nicht genutzte Extraktionen (z.B: Abraum)." Quelle: Wuppertal Institut, Bringezu 2000

[94] Das Umweltbundesamt (UBA 2012) verwendet in diesem Zusammenhang den Begriff „Sekundärrohstoff": Rohstoff, der aus Abfällen oder Produktionsrückständen gewonnen wird. Er kann Primärrohstoffe ersetzen.

Güter sind Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren. Diese werden in der ökonomieweiten-Materialflussanalyse zu Gruppen zusammengefasst. Die Zusammenfassung in Gruppen erfolgt entlang mehrerer Ebenen. Bei Destatis werden diese beispielsweise auf der ersten Ebene in die folgenden Gruppen zusammengefasst:

- Rohstoffe in Energieträgern, mineralische Rohstoffe oder Biomasse,
- Halbwaren von Energieträgern, mineralischen Rohstoffen oder Biomasse,
- Fertigwaren überwiegend von Energieträgern, mineralischen Rohstoffen oder Biomasse.

Im Weiteren werden durch das Statistische Bundesamt weitere Untergruppen, in Übereinstimmung mit der Zuordnung von Eurostat, ausgewiesen. Vergleiche hierzu die jährlichen Veröffentlichungen der UGR zu „Rohstoff- und Materialeinsatz“ im Rahmen der Berichte zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen „Umwelt und Wirtschaft“.

10.2 Definitionen zur Bruttoanlagevermögensschätzung (Nichtwohngebäude)

Im Statistischen Jahrbuch des Bundes (Destatis 2010c, 626) wird das Anlagevermögen wie folgt definiert: „Das Anlagevermögen umfasst alle produzierten Vermögensgüter, die länger als ein Jahr wiederholt oder dauerhaft in der Produktion eingesetzt werden. Einbezogen sind materielle und immaterielle Güter: Ausrüstungen, Wohnbauten, Nichtwohnbauten, sonstige Anlagen. Es wird mit Hilfe einer Kumulationsmethode[95], ausgehend von den in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen nachgewiesenen Bruttoanlageinvestitionen und Angaben über die durchschnittliche Nutzungsdauer der einzelnen Anlagegütergruppen, berechnet. Bei der Anwendung des Bruttokonzepts (Bruttoanlagevermögen) werden die Anlagen mit ihrem Neuwert – ohne Berücksichtigung der Wertminderung – dargestellt, während beim Nettokonzept (Nettoanlagevermögen) die seit dem Investitionszeitpunkt aufgelaufenen Abschreibungen abgezogen sind.“

Das Anlagevermögen wird in Wiederbeschaffungspreisen sowie als Kettenpreisindex angegeben. Beim Nachweis des Bruttoanlagevermögens zu Wiederbeschaffungspreisen wird der Betrag zugrunde gelegt, der hätte gezahlt werden müssen, wenn die Anlagen im Berichtsjahr neu beschafft worden wären; das Nettoanlagevermögen zu Wiederbeschaffungspreisen stellt den Gegenwartswert dar (Arbeitskreis VGRdL 2013). Soll die reale bzw. mengenmäßige Entwicklung des Anlagevermögens über mehrere Jahre vergleichbar dargestellt werden, so sind Einflüsse aus der Veränderung von Preisen möglichst vollständig auszuschalten. Das geschieht, indem die Anlagegüter unabhängig davon, wann sie angeschafft wurden, einheitlich mit über den Kettenpreisindex bereinigten Preisen bewertet werden.

Ein Kettenindex ergibt sich aus der Multiplikation von Teilindizes (Wachstumsfaktoren), die sich jeweils auf das Vorjahr beziehen und somit ein jährlich wechselndes Wägungsschema haben. Er wird auf ein Referenzjahr bezogen (derzeit 2005) und gibt für das jeweilige Berichtsjahr an, wie sich z. B. das preisbereinigte Wirtschaftswachstum seit dem Referenzjahr entwickelt hat (Arbeitskreis VGRdL 2013).

Wohnbauten sind in der VGR Gebäude, die ausschließlich oder hauptsächlich zu Wohnzwecken genutzt werden. Eingeschlossen sind alle zugehörigen Bauten, wie etwa Garagen und alle festen Einrichtungen, die üblicherweise in Wohnbauten installiert sind. Hausboote, Binnenschiffe, Wohnwa-

[95] Die Berechnung der Anlagevermögen erfolgt nach der international gebräuchlichen Perpetual-Inventory-Methode, bei der davon ausgegangen wird, dass sich der heute vorhandene Kapitalbestand aus den Anlageinvestitionen der Vergangenheit zusammensetzt (Arbeitskreis VGRdL 2013).

gen und Caravans, die von privaten Haushalten als Hauptwohnsitz genutzt werden, gehören ebenso zu den Wohnbauten, obwohl sie keine Bauten sind. Auch Baudenkmäler, die im Wesentlichen als Wohnungen genutzt werden, werden eingeschlossen. Die Position Wohnbauten umfasst auch die Erschließungskosten. Wohnbauten zählen auch dann zum Anlagevermögen, wenn sie sich im Eigentum von privaten Haushalten befinden, da sowohl die Vermietung als auch die eigene Nutzung von Wohneigentum durch private Haushalte in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen als Produktion von Wohnungsdienstleistungen behandelt werden und somit alle Wohnbauten das Kriterium "dauerhaft in der Produktion eingesetzt" erfüllen.

Zu den **Nichtwohnbauten** in der VGR zählen die Nichtwohngebäude und die sonstigen Bauten.

Nichtwohngebäude sind in der VGR Gebäude, die nicht zu Wohnzwecken genutzt werden, wie Bürogebäude, Fabrikgebäude, Lagerhallen, Schulen, Krankenhäuser und ähnliches, einschließlich fest verbundener Installationen, Einrichtungen und Ausrüstungen sowie der Erschließungskosten.

Unter den **sonstigen Bauten** versteht die VGR bauliche Anlagen, bei denen es sich nicht um Gebäude handelt, wie Straßen, Brücken, Tunnels, Flugplätze, Kanäle, Staudämme und ähnliches.

Anhang zum Abschlussbericht

Kartierung des Anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft

Anhang 1 Details zur Datenaufbereitung Top-Down

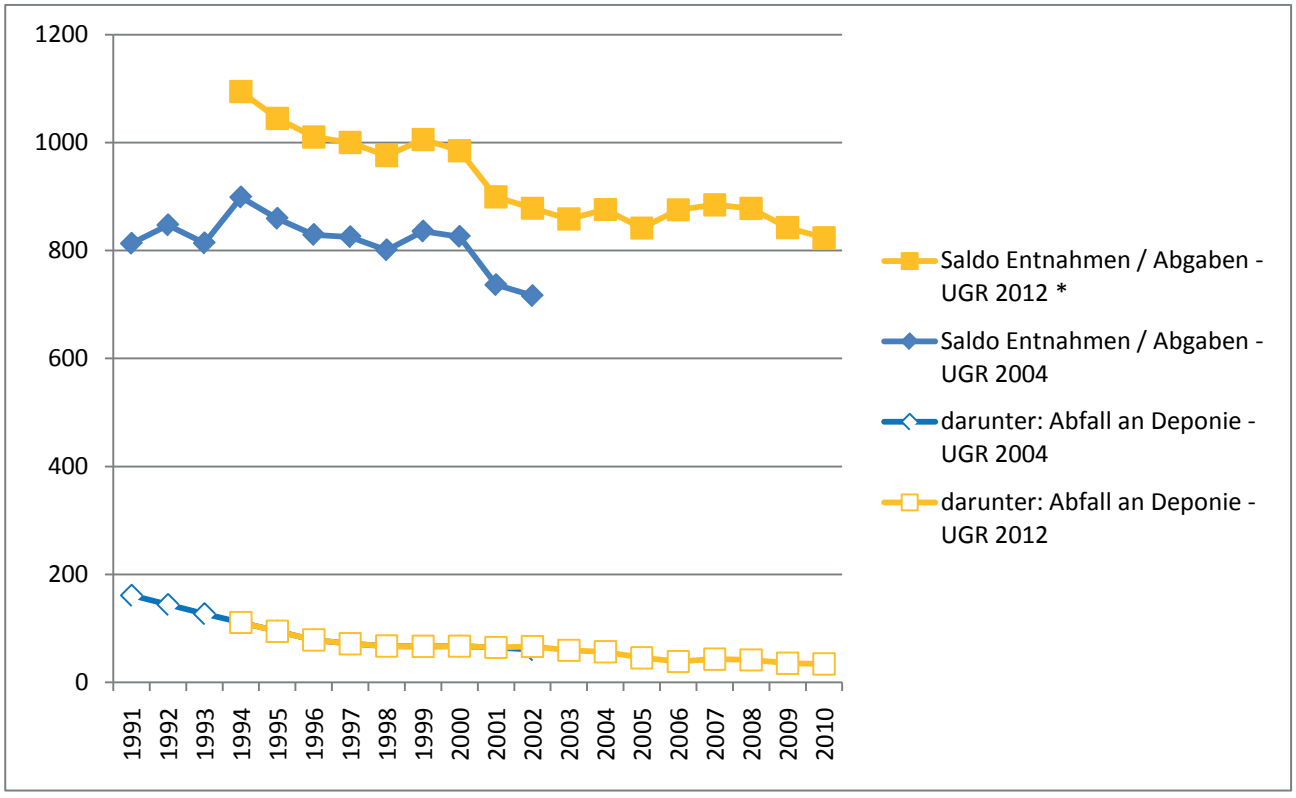
Anhang 1.1 Nettogesamtzuwachs des Anthropogenen Stofflagers berechnet auf Grundlage der UGR

Anhang 1.1.1 UGR Daten für Deutschland 1991 bis 2010

Destatis veröffentlicht jährlich Daten zu den ökonomieweiten Materialflüssen Deutschlands, in der aktuellen Ausgabe von 2012 in Zeitreihe von 1994 bis 2010 (hier: UGR 2012). Lediglich in der ersten Ausgabe von 2004 (hier: UGR 2004) wurden Daten bis 1991 zurückreichend (und bis 2002 reichend) berichtet. Es gibt somit einen überlappenden Zeitraum 1994 bis 2002 in den beiden Ausgaben. Die Berechnungsgrundlagen für Materialflüsse, mit Auswirkungen auf das Ergebnis für den Netto-Bestandszuwachs, wurden im Laufe der Zeit teilweise geändert, so dass sich UGR 2004 und UGR 2012 teils deutlich unterscheiden. Es gibt somit für den Zeitraum 1991 bis 1993 keine amtlichen Daten welche mit dem aktuellen UGR Datensatz vergleichbar sind. Hierauf wird im Folgenden näher eingegangen.

Abbildung 115 verdeutlicht zunächst die Unterschiede zwischen UGR 2004 und UGR 2012 für das Ergebnis „Saldo Entnahmen / Abgaben“ (entspricht dem Netto-Bestandszuwachs – NAS) und darunter „Abfall an Deponie“. Während die Daten für die letztgenannte Kategorie in beiden Datensätzen übereinstimmen, liegen die Saldi von Entnahmen und Abgaben nach UGR 2012 im überlappenden Zeitraum deutlich höher als nach UGR 2004. Der indizierte zeitliche Verlauf (setzt man 1994=100; hier nicht abgebildet) ist jedoch bei UGR 2012 und UGR 2004 gleich. Die quantitativen Unterschiede werden im Folgenden kurz skizziert und im nachfolgenden Kapitel näher untersucht, um die beiden Datensätze anzugleichen.

Abbildung 115: Saldi von Entnahmen und Abgaben sowie Abfall an Deponien nach Datensätzen aus UGR 2004 und UGR 2012 [Mio. t]



Quelle: eigene Darstellung

Anhang 1.1.2 Unterschiede auf der Inputseite

Hier fiel vor allem auf, dass die Entnahme von Gasen (hauptsächlich Sauerstoff für Verbrennungsprozesse sowie für Atmung von Menschen und Nutztieren) nach UGR 2004 um ca. 230-270 Mio. t in 1994 niedriger liegt als nach UGR 2012. Auf der Materialentnahmeseite waren zudem Abweichungen bei inländischer Rohstoffentnahme von mineralischen Rohstoffen (relativ gering, maximal 1,9 %) sowie Biomasse aus Forstwirtschaft (hoch, zwischen ca. 83 % und 94 %) zu untersuchen. Letzterer Punkt ist durch die unterschiedliche Ausweisung von Holzeinschlag in Feuchtgewicht (UGR 2004) bzw. Trockengewicht (UGR 2012) bedingt. Ebenso traten Unterschiede bei der nicht verwerteten Extraktion auf (diese fällt bilanztechnisch nicht ins Gewicht, da Input gleich Output ist, und wurde daher auch nicht weiter betrachtet).

Anhang 1.1.3 Unterschiede auf der Outputseite

Hier fielen zwei Hauptunterschiede ins Gewicht. Zum einen lagen die Materialabgaben nach Verwertung insgesamt bei UGR 2004 um mehr als 200 Mio. t höher als bei UGR 2012. Dem lag die unterschiedliche Ausweisung von organischem Dünger (Trockengewicht in UGR 2012 versus Nassgewicht in UGR 2004) zugrunde. Zum anderen lag bei UGR 2004 auch die Abgabe von Gasen (hauptsächlich Wasser aus Verbrennungsprozessen sowie Atmungsemissionen) ebenfalls um ca. 250 Mio. t niedriger als nach UGR 2012. Dies betraf in erster Linie die Emissionen von Wasser(dampf) aus Verbrennungsprozessen. Es gab außerdem auch (geringere, d.h. um ca. 3 % niedriger nach UGR 2004) Abweichungen bei Luftemissionen.

Anhang 1.2 Vorgehensweise zum Umgang mit den Daten

Destatis erstellte nach eigenen Angaben die aktuellen Materialkonten nach den methodischen und praktischen Vorgaben von Eurostat. Offenbar wurde die ältere Zeitreihe ab 1991 nicht entsprechend angepasst, sie wird ja auch nicht mehr publiziert. Um für dieses Vorhaben vergleichbare Daten in langer Zeitreihe (dann auch vor 1991) zu erhalten, mussten die Daten für Deutschland vor 1994 angepasst, und so die Kompatibilität mit der aktuellen Zeitreihe sowie mit den Eurostat Konventionen hergestellt werden. Hierzu mussten insbesondere folgende Module untersucht werden:

- Verbrennungsbilanzen für Energieträger,
- Luftemissionen,
- Dissipativer Output in Form organischen Düngers,
- Inländische Extraktion von mineralischen Rohstoffen und forstwirtschaftlicher Biomasse,
- (Nicht verwertete Extraktion – optional, für die Bilanz *per se* nicht erforderlich).

Die erforderlichen Anpassungen der UGR Daten werden im Folgenden für Verbrennungsbilanzen beschrieben. Für die anderen Positionen laut obiger Listung wurden einfache rechnerische Anpassungen durch Bildung von Relationen der Werte für 1994 nach UGR 2012 gegenüber UGR 2004 durchgeführt.

Anpassung der UGR Daten für 1991-1993 an die aktuelle Zeitreihe ab 1994

Wie zuvor erwähnt, ergab die Überprüfung der einzelnen Positionen im UGR-Materialkonto für die Daten für 1994 der alten Zeitreihe (UGR 2004) hohe Abweichungen gegenüber der aktuellen Zeitreihe ab 1994 bei den Positionen "Sauerstoffentnahme für Verbrennungsprozesse" und "Wasser aus Verbrennungsprozessen". Dies hat gravierende Auswirkungen auf NAS. Um die Bilanzen anzupassen, wurden eigene Verbrennungsbilanzen für 1991 bis 1994 gerechnet. Das Ergebnis war, kurz gefasst, dass die UGR-Daten für das Jahr 1994 aus der UGR 2012 Publikation nicht nachvollzogen werden konnten. Dies liegt vermutlich u. a. an einzelnen Annahmen zur Energieträgerzusammenset-

zung, kann aber auf Basis der verfügbaren Daten nicht geklärt werden. Als einfacher Ausweg bleibt die direkte rechnerische Anpassung der Werte für 1991-93 an die UGR 2012. Dies wurde dementsprechend durchgeführt.

Besonderheit: „Abfall an Deponien“

Eine Besonderheit im Kontext der Ableitung der Materialsaldi (NAS) nach dem Materialkonto der UGR stellt die Position „Abfall an Deponien“ dar, dies wird in Box 1 erläutert.

Box 1: Problem der Einschließung von Abfall an Deponien in NAS
Die Herleitung von NAS laut Materialkonto der UGR erfolgt wie hier in tabellarischer Form aufbereitet (Einheit: Mio. t)

Jahr 2010
Verwertete inländische Entnahme 1,016
Entnahme von Gasen 1,086
Einfuhr 593
INPUT Insgesamt 2,69
Verwertete inländische Abgabe 865
Abgabe von Gasen 642
Ausfuhr 365
OUTPUT Insgesamt 1,871
Rechnerisch: Materialsaldo = Input minus Output = NAS 824
Ausgewiesen in UGR 2012 als Materialsaldo 824
d.h.: stimmt mit der Rechnung oben überein

Ausgewiesen in UGR 2012:
darunter Abfall an Deponie 34.0375
Ausgewiesen in Fachserie 19, Reihe 1, 2010, S.32 (Abfallentsorgung):
Wert für Deponien Insgesamt - Input Insgesamt 34.0375
d.h.: stimmt exakt mit dem UGR 2012 Wert überein
Unter den Wert für Abfall an Deponien fallen u. a. nach FS 19, Reihe 1:
170503 * Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten 0.9557
170504 Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen 12.9467
170505 * Baggergut, das gefährliche Stoffe enthält 0.0196
170506 Baggergut mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 05 05 fällt 0.2577
SUMME 170503 bis 170506 14.1797

Nun das Problem: wenn diese Kategorien für Boden und Steine sowie Baggergut Bestandteil der auf Deponien abgelagerten Menge und somit von NAS sind, dann müssten sie auch im Input gezählt werden.
Boden und Steine, Baggergut sind jedenfalls nicht Bestandteil des UGR Materialsaldos, sondern vielmehr unter der UGR-Kategorie "Nicht verwertete inländische Rohstoffentnahme" bzw. gleichermaßen in der outputseitigen Kategorie "Nicht verwertete inländische Abgabe" enthalten (Input = Output). Dort heißt die Kategorie:
Boden, Steine und Baggergut 108.36
und liegt mit ca. 108 Mio. t in 2010 deutlich über dem Anteil von ca. 14 Mio. t, der auf Deponie geht. Wobei die UGR weiter spezifiziert: (1) Ab 2002 inklusive gefährlicher Abfälle und (2) Ab 2004

Box 1: Problem der Einschließung von Abfall an Deponien in NAS
Die Herleitung von NAS laut Materialkonto der UGR erfolgt wie hier in tabellarischer Form aufbereitet (Einheit: Mio. t)

ohne eingesetzte Mengen an Bodenaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch bei Bau- und Rekultivierungsmaßnahmen.
Fazit: dieses Problem blieb auch nach interner Diskussion im Projektteam bestehen. Aus Gründen der Praktikabilität (es handelt sich nicht um gravierend hohe Mengen im Kontext von NAS) wurden die Daten der UGR weiterhin unverändert übernommen.

Anhang 1.3 Ansätze zur Top-Down-Schätzung des Anthropogenen Lagers

Im Rahmen eines Exkurses wurde untersucht, inwieweit ausgehend von ökonomieweiten Daten Einschätzungen zum Bestand des Anthropogenen Stofflagers getroffen werden können. Dazu wurden unterschiedliche Ansätze betrachtet:

7. Schätzung eines Anfangsbestands mit vereinfachten Materialkoeffizienten und Fortschreibung durch kumulierten Nettobestandszuwachs:
   Dieser Ansatz ermittelt den Anfangsbestand für 1960 mit Materialkoeffizienten aus dem Projekt MaRess (Steger et al. 2011) in Verknüpfung mit Referenzgrößen zum Gebäude- und Infrastrukturbestand für 1960. Die Betrachtung umfasst Gebäude, Straßen, Kanäle, und Bahnstrecken. Zunächst wurde die Bestandsschätzung für das Gebiet der früheren Bundesrepublik (alte Bundesländer = ABL) durchgeführt, das Gesamtergebnis wurde dann auf das heutige Gebiet der BRD (einschließlich der neuen Bundesländer = NBL) hochskaliert.
   Für den Gebäudebestand der ABL in 1990 wurden Gebäudestatistiken des StBA zugrunde gelegt. Diese wiesen für 1990 den Bestand an Wohngebäuden auf. Aus den Angaben zu in 1990 fertiggestellten Wohngebäuden sowie deren Volumen konnte ein Koeffizient für m^3 pro Wohngebäude ermittelt werden, der multipliziert mit der Bestandszahl das gesamte Volumen des Wohngebäudebestandes der ABL in 1990 ergab. Multipliziert mit einem Materialkoeffizienten[96] von ca. 701 kg pro m^3 wurde die entsprechende Materialmenge im Wohngebäudebestand geschätzt. Zur Hochrechnung auf den gesamten Gebäudebestand wurden der Quotient aus fertiggestellten Wohngebäuden in m^3 im Zeitraum 1960 bis 1990 multipliziert mit dem Materialkoeffizienten (also als kg Material akkumuliert von 1960-1990) und dem entsprechenden Divisor mit Daten zu Nichtwohngebäuden gebildet (dabei wurde ein halb so großer Materialkoeffizient wie für Wohngebäude angenommen). Der Gebäudebestand in 1960 wurde durch Rückrechnung unter Berücksichtigung der jährlichen Zu- und Abgänge von Material ermittelt.
   Für die Straßeninfrastruktur der ABL wurden Flächenangaben nach Straßentypen aus „Verkehr in Zahlen“ des damaligen BMV entnommen und mit Materialkoeffizienten für mineralische Baustoffe aus MaRess multipliziert.
   Für Kanäle in den ABL wurden Angaben der amtlichen Statistik zu Längen mit Materialkoeffizienten zu Uferbefestigungen und Abdichtungen pro m Kanal (H. Stiller, WI, 1996[97] und persönliche Mitteilung) multipliziert. Zudem wurden auf Grundlage der Angaben zur Anzahl von Schleusen

[96] Der Materialkoeffizient wurde seinerzeit aus Daten zur ersten Physischen Input-Output Tabelle für die Bundesrepublik Deutschland in 1990 abgeleitet. Diese Daten sind heute leider nicht mehr verfügbar. Der Koeffizient setzt sich zusammen aus Minerale 0,94, Holz 0,025, Metalle 0,018, Kunststoffe 0,005, Glas 0,0002, Keramik 0,00015, Elektroteile 3E-05, Sonstige 0,012 (insgesamt 1,0).

[97] Stiller, H. (1996): Materialintensitätsanalysen von Transporten – Neue Prioritäten für Instrumente? In J. Köhn and M.J. Welfens (eds.). Neue Ansätze in der Umweltökonomie. Metropolis-Verlag, Marburg, 253-284.

der Materialinput für Stahl und Beton geschätzt (ebenfalls basierend auf Stiller 1996, WI).
Für Bahnstrecken in den ABL wurden Angaben für Längen nach Verkehr in Zahlen des BMV mit Materialkoeffizienten aus MaRess multipliziert, unterteilt in mineralische Stoffe, Metalle, Kunststoffe, Holz, Sonstige. Die so ermittelten Bestandsschätzungen für die ABL in 1960 wurden hochskaliert auf das Gebiet der heutigen Bundesrepublik durch Multiplikation mit dem Quotienten aus NAS akkumuliert für 1960 bis 1990 für Deutschland dividiert durch NAS akkumuliert für 1960 bis 1990 für die ABL (Faktor 1,17 – entspricht auch dem Faktor für das Jahr 1960).

8. Schätzung auf Basis von Daten zum Anlagevermögen:
   Ansatz 2 geht von monetären Daten von Destatis zu Bauten und Ausrüstungen in der gesamten Volkswirtschaft in Zeitreihe 1991 bis 2011[98] als preisbereinigte Vermögenswerte aus. Die jährlichen Zuwächse der Vermögenswerte von Bauten plus Ausrüstungen werden in Relation zu den jährlichen NAS-Werten gesetzt, um so Koeffizienten für kg NAS pro Euro zu erhalten. Dabei wurden sowohl Brutto- als auch Netto-Vermögenswerte (abzgl. Abschreibungen) zugrunde gelegt.
9. Schätzung auf Basis von NAS differenziert in Hoch- und Tiefbau sowie geeigneten Koeffizienten bezogen auf entsprechende Bauvolumina:
   Ansatz 3 folgt der Idee, den Hauptanteil des NAS nach Materialien aufzuschlüsseln. Diese werden in quantitativer Hinsicht von inländisch extrahierten Baumaterialien dominiert. Ausgehend hiervon sollte eine Unterscheidung zwischen Hoch- und Tiefbau erfolgen.
10. Schätzung auf Basis Siedlungsflächenbezogener Kenngrößen:
    Für Hochrechnungen werden Materialkennziffern bezogen auf einzelne Flächenkategorien der Flächenstatistik verwendet. Für den Hochbau wird Kennzahlen von Bräutigam et al (1997) zurückgegriffen, die auf Gebäude- und Freiflächen bezogen werden, für den Tiefbau auf Daten aus MaRess, die auf Verkehrsflächen bezogen werden.
    Danach betrug 1991 die Entnahme von Rohstoffen aus der Natur für den Hochbau und Ausbau in Deutschland 365,1 Mio. t. Die bundesweite Flächeninanspruchnahme kann für den 4-Jahres-Zeitraum von 1989 bis 1993 nur geschätzt werden, weil nur für die alten Bundesländer Daten der Flächenstatistik vorliegen. Daraus folgte, dass für diese Schätzung nur das Wertepaar 1992/1996 herangezogen werden konnte. Es ergab sich ein durchschnittlicher jährlicher Wert von 301 Quadratkilometer Zuwachs bei Gebäude- und Freiflächen. Daraus wurde ein Koeffizient von 1,21 Mio. t pro m^2 Flächenzuwachs berechnet.
    Analog zur Bestandsschätzung für Gebäude wurde eine flächenbezogene Bestandsschätzung für den Tiefbau durchgeführt. Hierzu wurde auf Materialinput-Daten des MaRess Projektes zurückgegriffen, die der Flächenkategorie „Verkehrsfläche“ zugeordnet werden konnten. Für Verkehrsinfrastrukturen[99] ergab sich ein Input von 28,739 Mio. t mineralische Rohstoffe[100]. Legt man den Verkehrsflächenzuwachs für den Zeitraum 2000 bis 2011 nach Daten des Statistischen Bundesamtes zugrunde, so resultiert ein Materialinputkoeffizient von 351 kg pro m^2.

Nach Ansatz 1 ergibt sich eine Anfangs-Bestandsgröße für 1960 von 9,9 Mrd. t. Nach Addition der Nettobestandszugänge resultiert für 2010 eine Bestandsgröße von 51,7 Mrd. t.

Nach Ansatz 2 errechnet sich für 2010 nach Nettoanlagevermögen eine Bestandsgröße von 37,2 Mrd. t.

---

98 Statistisches Bundesamt: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Anlagevermögen nach Sektoren. Arbeitsunterlage 2011. Wiesbaden 2012.

99 Straße; Ingenieurbauwerke Bundesfernstraßen; Schiene

100 Anmerkung: in den Angaben zu den mineralischen Rohstoffen steckt neben Sand, Kies, Stein etc. auch Beton.

Ansatz 3 wurde bislang nicht weiterverfolgt, da die Aufschlüsselung des NAS nach Hoch- und Tiefbau, der in quantitativer Hinsicht von inländisch extrahierten Baumaterialien dominiert wird, aufgrund unzureichender Datenlage unbefriedigend blieb[101].

Die Bestandsschätzung nach Ansatz 4 für den Hochbau und Ausbau ergibt 25,1 Mrd. t (für Deutschland 1992), davon annähernd 96 % mineralische Rohstoffe (darunter ca. 81 % Steine und Erden und 8 % Metalle) und ca. 4 % biotische Rohstoffe. Die Bestandsschätzung für den Tiefbau (Verkehrswege) nach Ansatz 3 ergab 6,3 Mrd. t mineralische Rohstoffe in Deutschland 2010.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Schätzungen der Bestandsgrößen aus Top-Down-Perspektive bzw. aus einer Kombination von Top-Down- und Bottom-Up-Perspektive grundsätzlich möglich sind. Die damit verbundenen Unsicherheiten sind jedoch erheblich. Die Schätzungen können bestenfalls als sehr grobe Orientierungswerte dienen.

Die Möglichkeiten gegenüberstellender Plausibilitätsprüfungen von Bottom-Up und Top-Down Berechnungen sind auf der Datengrundlage, wie sie in diesen einfachen Verfahren generierbar sind, begrenzt. So wird das Lager zumeist als Summengröße über alle Materialfraktionen oder zumindest wenig differenziert angegeben. Dies eröffnet kaum Anknüpfungspunkte für Plausibilitätsabgleiche. Für sich genommen zeichnet dies nur ein sehr grobes Bild über das Anthropogene Stofflager, das den mit dem Modell gesteckten Anforderungen nicht gerecht wird.

Anhang 1.4 Grenzen der Interpretierbarkeit der erhobenen Daten zu Materialflüssen für Baumaterialien, ermittelt auf Grundlage der Produktionsstatistik

- *Bei der Verwendung von Daten der Produktionsstatistik (GP 9) treten Doppelzählungen auf. Dies führt tendenziell zu einer Überschätzung einzelner Positionen*
  Z. B. ergeben sich für die Produktion von Zement und Zementerzeugnissen in Deutschland 2010 nach GP 9 in der Summe ca. 70,7 Mio. t. Die Produktion von Zement alleine (Portlandzement und anderer Zement) macht darunter ca. 29,7 Mio. t aus und entspricht damit nahezu den Angaben des „Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ)“ wonach die Zementproduktion in Deutschland 2010 ca. 29,9 Mio. t ausmachte.
- *Aufgrund von Abschneidekriterien zur Betriebsgröße, die bei der Generierung der Daten zur Produktionsstatistik angewendet werden, kommt es tendenziell zu einer Unterschätzung einzelner Positionen:*
  Der gesamte Produktionsumfang z. B. für Kiese/Sande/Splitt/ Gesteinsmehle/Aschen beträgt nach GP 9 ca. 300 Mio. t. Die UGR berichtet ca. 500 Mio. t inländische Extraktion von Bauminералen. Bereits in frühen Arbeiten (z. B. Kuhn et al. 1994) wurden deutliche Unterschiede zwischen Angaben in der Produktionsstatistik und Verbandsstatistiken (z. B. der Kies- und Sandindustrie) festgestellt. Die MFA – und damit auch die UGR - ermittelt daher gezielt Gesamtextraktionen – also auch solche durch Unternehmen mit weniger als 10 oder 20 Angestellten – und geht damit über den Berichtsraum der amtlichen Statistik hinaus, was vor allem bei Sand und Kies eine große Rolle spielt, und sie ermittelt mithilfe von Schätzverfahren,

[101] So kann die Verwendung von Sand und Kies nach Hoch- und Tiefbau aufgrund der Daten zur Rohstoffsituation zugeordnet werden. Bei Natursteinen, Naturwerksteinen und gebranntem Kalkstein ist nur die direkte Verwendung im Tiefbau nach Angaben des BBS verfügbar (hierzu zählen z. B. bei Natursteinen Trag- und Deckschichten im Straßenbau, aber auch die Verwendung als Gleisschotter oder als Wasserbaustein im Wasserbau). Verwendungen von Kalkstein für Zement können letztlich in den Hoch- und Tiefbau fließen (BBS), weitere Angaben waren nicht erhältlich. Bei ungebranntem Kalkstein sind keine Werte für die Verwendung im Tiefbau enthalten. Bei Ziegelton ist eine Verwendung im Tiefbau wohl vernachlässigbar (BBS).

ob die statistisch erfassten Extraktionsmengen für Bau-Sand und -Kies sowie für Kalkstein plausibel sind.

- *Die Daten zur inländischen Produktion von Holz nach GP 9 (5-6 Mio. t) werden von einer Kategorie – „Holz in Form von Plättchen oder Schnitzeln aus Nadelholz" – bestimmt:*
  Vergleicht man Daten der Produktionsstatistik zur inländischen, lagerrelevanten Extraktion von Holz mit ca. 17 Mio. t, so ergibt sich ein hoher Unterschied, der einer weiteren Untersuchung bedürfte.
- *Zuordnungsprobleme von Metallen (Stahl, Zink, Aluminium, Kupfer) zu Baumaterialien, verbunden mit großen Unschärfen:*
  Insbesondere bei metallischen Gütern kann zwar bei manchen Gütern eine eindeutige Zuordnung getroffen werden, bei vielen anderen Gütern wie z. B. Bandstahl ist das nicht möglich. So ist die gesamte Materialgruppe Eisen/Stahl sicherlich in dieser Darstellung nach GP 9 mit z. B. insgesamt 73,6 Mio. t im Jahr 2010 überzählt. Die gesamte Stahlverwendung in Deutschland nach Wirtschaftsvereinigung Stahl (hier allerdings nur Werte für 2005 bzw. vorläufige Gesamtwerte für 2010) liegt deutlich unter diesen Werten (37,1 Mio. t in 2005; 40,4 Mio. t in 2010). Für Konstruktionsstahl wurden in dieser Studie für 2010 2,14 Mio. t angegeben (nach Wirtschaftsvereinigung Stahl/Bauforum Stahl[102]), für Bewehrungsstahl 3,91 Mio. t (nach Institut für Stahlbetonbewehrung – Daten für 2007, d. h. maximal ein Verwendungspotenzial im Bausektor von ca. 6,05 Mio. t.
- *Zink wird für 2010 in seiner gesamten Verwendung in Deutschland mit 620.000 t angegeben, nach Güterproduktionsstatistik wurden 208.000 t ermittelt.*
  Die Verwendung für Bauzwecke ist nicht explizit ausgewiesen, nach Angaben der Initiative Zink.de[103] zu den Anteilen an der Gesamtverwendung in Bauindustrie und Bauwesen wurde ein Wert von 372.000 t ermittelt.
- *Aluminium hatte 2010 ein Gesamtproduktionsvolumen von ca. 4,6 Mio. t, nach Güterproduktionsstatistik ergeben sich ca. 3,8 Mio. t.*
  Nach Metallstatistik der Wirtschaftsvereinigung Metalle e.V. wurden in 2010 527.000 t Aluminium im Bauwesen verwendet.
- *Insgesamt wurden 2,5 Mio. t Kupferwerkstoffe in 2010 in Deutschland produziert.*
  Zitat nach dem Deutschen Kupferinstitut: „Rund 40 Prozent aller Kupferanwendungen findet man heute übrigens im Bausektor, sowohl in der Elektro- als auch in der Sanitärinstallation" – das entspräche knapp 1 Mio. t für 2010. Die Güterproduktionsstatistik (GP) zählt ca. 2,1 Mio. t Kupferproduktion in 2010 und damit nahe an der Gesamtproduktion.

Das Beispiel Kupfer verdeutlicht in besonderer Weise die Problematik bei den Metallen. Welchen Anteil der Produktion kann man für Bauzwecke ansetzen – und für welche Güter auf 9steller Ebene? Möglicherweise könnte eine Input-Output-Analyse näherungsweise Informationen liefern (sie ist allerdings auch nicht sehr spezifisch für die Gruppe der Nichteisen-Metalle).

102 Wirtschaftsvereinigung Stahl/Bauforum Stahl: Konstruktionsstahl 2,14 Mio. t; Institut für Stahlbetonbewehrung: Bewehrungsstahl - Daten für 2007 – 3,91 Mio. t.

103 http://www.initiative-zink.de/

Anhang 1.5 Abfallwirtschaftlich geprägte lagerrelevante Materialflüsse

Anhang 1.5.1 Problematiken der Darstellbarkeit abfallwirtschaftlicher Komponenten im MSM

Die abfallwirtschaftliche Komponente im Top-Down Ansatz des Modells ist nicht nur aus Sicht des Erhalts einer durchgehenden Stoffstromlogik schwierig zur Darstellung zu bringen. Hier stellen vor allem die verfügbaren bilanzierungstechnischen Grundlagen eine erhebliche Problematik dar. Eine weitere schwerwiegende Problematik wird durch die Abgrenzung des Betrachtungsraumes bewirkt. Hierdurch bleiben bei der Bestimmungsmethodik für das Anthropogene Lager und zur Veränderungsdynamik im Bereich Materialzu- und -abflüsse bestimmte Stoffströme und Vorgänge unberücksichtigt, die aber im Abfallbewirtschaftungskontext und in den hierzu geführten Statistiken oftmals nicht von betrachtungsrelevanten Vorgängen und Materialflüssen zu entkoppeln sind. Auf thermische Prozesse und bergbauliche Aktivitäten, die hier eine besonders prominente Rolle spielen, wurde bereits hingewiesen.

Genannte Problematiken beeinflussen in hohem Maße den Versuch, die quantitative Größenordnung der in das Modell integrierten abfallwirtschaftlichen Vorgänge in einer sowohl dem Bilanzraum entsprechenden als auch mit den sonstigen Flussgrößen passfähigen Form abzuschätzen und zu beschreiben.

Eine Schwierigkeit bzw. Ungenauigkeit bei der Bilanzierung wird durch den Umstand erzeugt, dass der nach UGR für ein festes Zeitfenster bestimmbare Input in das Lager, entweder das Lager verlassend oder durch Kreislaufführung substituierend in den Inputflüssen, zu jeweils sehr unterschiedlichen Zeitpunkten wieder in Erscheinung treten kann. Dieser zeitliche Versatz kann die Dynamik der Lagerveränderung sehr inkonsistent erscheinen lassen und führt außerdem zu Stofflägern, die über das Modell nur schwer erkennbar gemacht und vor allem quantitativ kaum ermittelt werden können.

Eine weitaus größere Problematik und Unschärfe entsteht aber durch die unzureichende Abgrenzbarkeit von Abfallbestandteilen die dem systemischen Grundansatz nach im Lager vorliegen können sowie der dann in den Abfällen festgelegten Stoffe und Materialien, die tatsächlich auf die verschiedenen Ströme unterschiedlicher Funktionalität (weiter lagererhaltend oder Output bzw. Abgabe) zur Aufteilung kommen. Auch bedarf es zur Anrechnung auf die jeweiligen Stromgrößen adäquater Aussagen im statistischen Erfassungswesen. Abfallwirtschaftliche Vorgänge werden indes über völlig andere stoffliche Aggregationseinheiten dokumentiert als es die Rohstoff- und Materialkategorien sind, auf welche sich in der UGR abstellen lässt. Meistenteils wird nur noch unter Zuhilfenahme empirischen Wissens über die Zusammensetzung bestimmter Abfallgemische, eine entsprechende Aufteilung bzw. Zuweisung von Daten möglich.

Problemverschärfend wirkt sich an dieser Stelle aus, dass bestimmte stoffliche Teilmengen bzw. Materialkategorien von vornherein nicht dem Bilanzraum zugehörig sind. Diese Herausnahme aus den Betrachtungen zum Anthropogenen Lager schafft einen Konflikt zu den tatsächlich entstehenden und demgemäß statistisch erfassten Abfallströmen und Verwertungswegen.

Abfallströme des Anthropogenen Lagers sind im Regelfall Stoffgemische, die oft auch im Verlauf ihrer Erfassung, Behandlung und Entsorgung nicht mehr die klare stoffliche Trennung erfahren, um sie den Rohstoffeinheiten auf der Inputebene des Anthropogenen Lagers gleichzustellen. Bis eine erneute Rückführung in Güter erfolgt ist, haben meist viele Zwischenschritte der Aufbereitung, Qualitätsverbesserung, Vermarktung und Wiederverarbeitung stattgefunden, für die keine durchgängige Dokumentation erfolgt oder möglich ist. Diese Tatsache bewirkt eine Unvollständigkeit der Statistiken, die ebenfalls für Lücken und Ungenauigkeiten bei der Stoffstrommodellierung sorgt. Ein herausragendes Beispiel liefern frei gehandelte Gebrauchtmaterialien, wie bestimmte Altmetallmengen, die zwar auf der Seite sekundärer Inputmengen in die Produktion auftauchen, aber an keiner Stelle der für die Abfallwirtschaft verfügbaren Statistik verzeichnet sind. Datengrundlagen müssen hier also

beispielsweise bei einschlägigen Wirtschaftsverbänden nachgesucht werden, welche zumeist über fundierte Zahlen hinsichtlich des Sekundärrohstoffeinsatzes verfügen.

Wiederum eine andere statistische Problematik sind Doppelerfassungen, die sich aufgrund der verschiedenen Meldepunkte entlang der Abfallentsorgungskette und der dabei verwendeten Kennzeichnungssystematik ergeben. Zu derartigen Überschneidungen kommt es u. a. im Bereich der aus der Abfallbehandlung gemeldeten Outputmengen verschiedener Deklarierung und Inputmengen in andere Abfallbehandlungsarten, insbesondere im Falle des Vorliegens von Prozess- und Nutzungskaskaden. Destatis als zentrale statistische Behörde Deutschlands versucht auf einer groben Differenzierungsebene im Rahmen einer Abfallbilanz Deutschlands Doppelmengen zu identifizieren und zu eliminieren. Da jedoch nicht jeder Abfall, der eine Abfallbehandlungsanlage verlässt, mit einer 19er Schlüsselnummer als behandelter Abfall kenntlich gemacht wird, dürfte die Identifikation von Dopplungen nicht vollständig gelingen. Zusätzlich haben in der Vergangenheit im Bereich der abfallwirtschaftlichen Statistiken wiederholt Umklassifizierungen und Neuzuordnungen stattgefunden, die mit Blick auf längere Zeitreihenauswertungen zueinander kompatible Aussagen über bestimmte Abfallströme bzw. Verbleibswege von Abfallmaterialien teilweise erheblich erschweren oder unmöglich machen.

Anhang 1.5.2 Problematiken bei der Einbindung der abfallwirtschaftlich geprägten lagerrelevanten Materialflüsse in das MSM

Abfallzusammensetzung

- Für viele Abfallströme sind Stoff- bzw. Materialgehalte nur unzureichend erforscht, vielfach muss mit Annahmen verfahren werden;
- weitreichendere, methodisch zuverlässige Informationen sind erst aus den jüngeren Jahren erhältlich, vor 2000 nur für wenige Abfallfraktionen;
- veränderte Konsumptions- und Produktionsmöglichkeiten sowie Materialverfügbarkeit werden bezeichnungsgleiche Abfallströme über die Jahre hinsichtlich ihrer Stoffgehalte stark verändert haben.

Vollständigkeit der Daten

- Datenlücken/-differenzen zwischen den verschiedenen Aufschlüsselungsebenen des EAV in der Fachserie 19;
- Nicht materialspezifisch aufgeschlüsselte Abfallfraktionen z. B. Abfälle a.n.g.
- Nicht erfassbare Flüsse gebrauchter Güter und Sekundärrohstoffe außerhalb des Abfallregimes

Recyclingschleifen

- „Abfälle“ in der Produktion, die direkt wieder in diese zurückgeführt werden, sind hinsichtlich ihrer Entstehung ungenügend dokumentiert; wenn Rezyklatanteile zur Ausweisung kommen, ist deren Anteil aber häufig mit eingeschlossen,
- Verzerrungen durch aus kurzlebigen Gütern gewonnene Rezyklate (Verpackungskunststoffe) die in die Produktion langlebiger Güter eingehen.

Wird zur Unterstützung der Interpretierbarkeit in Form verbaler Hinweise aufgegriffen.

Verpackungen

Sind bisher in der Auswertung als Herkunft lagerrelevanter Materialien berücksichtigt. Ein Wesentliches Argument hierfür ist, dass aus Verpackungsmaterialien gewonnen Sekundärrohstoffe in vielfacher Hinsicht zum Bestandteil langlebiger Produkte werden (können). Eingeschlossen in die Auswertung lassen sich so Verzerrungen vermeiden.

Anhang 1.5.3 Qualitätsbeurteilung der abfallwirtschaftlichen Datenquellen

Tabelle 30: Quellenbewertung für den abfallwirtschaftlichen Analyseteil

Arbeitsschritt	Quelle	Aussagebereich	V	Z	G	T
Erfassung abfallwirtschaftlicher Mengen	Destatis FS 19 Reihe 1	2006-2010	2	3	1	2
		1993	2	2	1	3
		frühere Jahre	3	1	1	3
	UBA-Daten zur Abfallverbringung	nicht notifizierungspflichtige Abfälle	1	3/1 [104]	1	2
		notifizierungspflichtige Abfälle	1	3/1 [105]	1	3
Bestimmung der Materialanteile in den Abfällen	ABANDA	Abfallzusammensetzung EAV-bezogen	2	1	1	2
	IP-Abfallbewertung	Abfallzusammensetzung Abfallgruppen	3	1	2	2
	Sonstige Erhebungen (auch eigene)	Abfallzusammensetzung Abfallgruppen	2	1	2	2
Ergänzung von Mengenflüssen	Verbandserhebungen	industrielle Nebenprod.	2	3	1	1
Plausibilisierung von Mengenflüssen	Verbandserhebungen	Abfall- und SERO-Flüsse	2	2	1	2
	Studien		2	2	1	2
Bildung abfallwirtschaftlicher Kennzahlen zum Recycling	Verbandserhebungen	Anteile und Herkünfte sekundärer Materialien in der Produktion	2	3	2	2
	Studien (auch eigene)		1	2	2	2
	Expertenaussagen		1	3	1	1

[104] Qualitätsänderung im Jahr 2007

[105] Qualitätsänderung im Jahr 1998

Anhang 2 Details zur Datenaufbereitung Bottom-Up

Anhang 2.1 Zusatzinformationen zu Windenergieanlagen

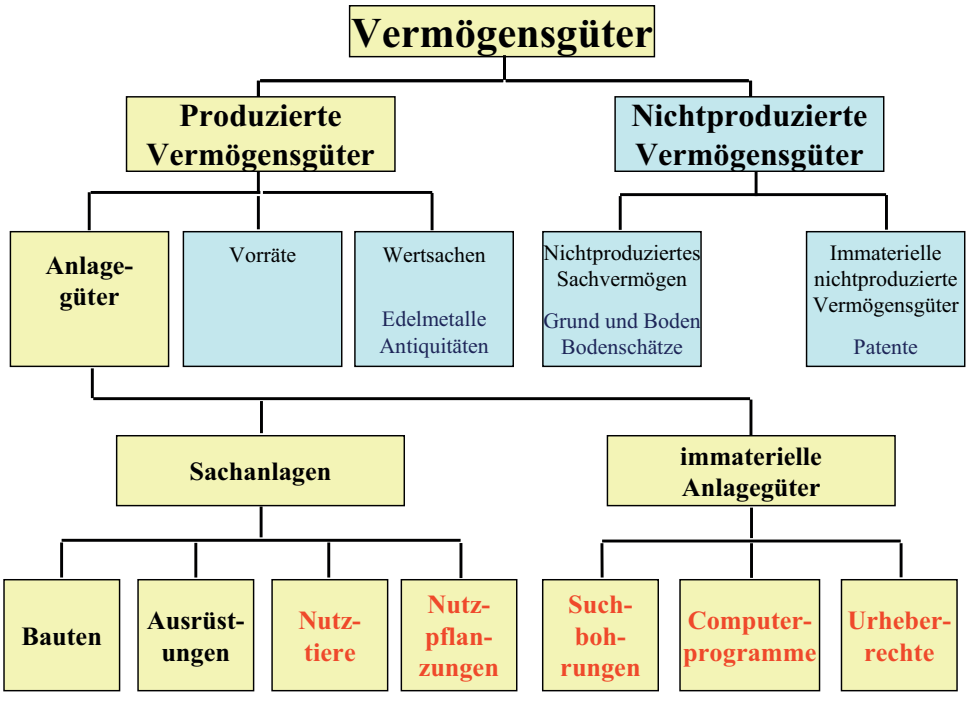
Tabelle 31: Bestand an Windenergieanlagen (WEA)

Leistungsklasse	Anzahl der Anlagen
0-149 kW	800
150-499 kW	1.275
500-999 kW	6.485
1000-1499 kW Getriebe	980
1500-2000 kW Getriebe	2.821
1500-2000 kW ohne Getriebe	3.804
2000-2499 kW Getriebe	2.536
2000-2499 kW ohne Getriebe	2.536
>=2500 kW Getriebe	112
>=2500 kW ohne Getriebe	113
Summe	**21.462**

Quelle: Steger et al. (2011)

Anhang 2.2 Zusatzinformationen zur VGR

Abbildung 116: Vermögensgüter der VGR



Quelle: VGR (2011)

Abbildung 117: Durchschnittliche Nutzungsdauern und Spanne der durchschnittlichen Nutzungsdauern innerhalb der Gütergruppen nach Vermögensarten für das Investitionsjahr 2010 [Jahren]

Vermögensarten	Durchschnittliche Nutzungsdauer	Spanne der durchschnittlichen Nutzungsdauern innerhalb der Gütergruppen
Bauten	66	15 – 150
Wohnbauten	77	40 – 95
Straßen	57	35 – 116
Sonstige öffentliche Tiefbauten	51	25 – 150
Öffentliche Hochbauten	57	25 – 113
Sonstige Nichtwohnbauten	53	15 – 113
Ausrüstungen (gemäß GP 2009[1])	15	5 – 30
Sonstige Maschinen und Geräte (13 – 24)	15	5 – 20
Metallerzeugnisse (25)	16	14 – 20
Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse (26)	8	5 – 12
Elektrische Ausrüstungen (27)	16	7 – 20
Maschinen (28)	14	8 – 20
Personenkraftwagen ohne Privatleasing und Kurzzeitvermietung (29_1)	8	8 – 16
Nutzfahrzeuge (29_2)	11	7 – 16
Schiffe (30_1)	25	20 – 25
Schienenfahrzeuge (30_2)	25	25
Luftfahrzeuge (30_3)	20	20
Möbel (31)	18	12 – 20
Waren a. n. g. (32)	14	10 – 30
Reparaturen und Installationen (33)	15	9 – 25
Nutzpflanzungen		
Rebanlagen	20	–
Hopfenanlagen	15	–
Spargelanlagen	8	–
Obstplantagen	10	–
Immaterielle Anlagegüter	5	5 – 30
Software	5	5 – 10
Suchbohrungen	30	30
Urheberrechte	5	5

1 Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken, Ausgabe 2009.

Quelle: Schmalwasser & Weber (2012)

Tabelle 32: Bruttoanlagevermögen (BRV) zu Wiederbeschaffungspreisen (Bestand am Jahresende 2010) [Mrd. EUR]

Gegenstand der Nachweisung	Gesamte Volkswirtschaft	Nichtfinanzielle Kapitalgesellschaften	Finanzielle Kapitalgesellschaften	Staat	Private Haushalte u. private Organisationen o.E.
Sachanlagen	13.520,70	4.716,58	281,90	2.024,03	6.498,19
Nutztiere und Nutzpflanzungen	/	/	/	/	/
Ausrüstungen	2.142,54	1.798,68	20,83	60,86	262,17
Bauten	11.366,72	2.913,32	261,07	1.963,17	6.229,16
Wohnbauten	6.464,27	843,03	42,52	53,67	5.525,05
Nichtwohnbauten	4.902,45	2.070,29	218,55	1.909,50	704,11
Immaterielle Anlagegüter	131,11	98,74	7,26	9,02	16,09
Alle Anlagegüter	**13.651,81**	**4.815,32**	**289,16**	**2.033,05**	**6.514,28**

Quelle: VGR (2011)

Anhang 2.3 Auflistung der lagerrelevanten Produktgruppen für Kapitalgüter

Tabelle 33 lagerrelevante Produktgruppen für die Abschätzung der jährlichen Materialflüsse in Kapitalgüter

CPA	Bezeichnung
02	Forstwirtschaftliche Erzeugnisse und DL
13	Erze
14	Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse
17	Textilien
18	Bekleidung
19	Leder und Lederwaren
20	Holz; Holz-, Kork-, Flechtwaren (ohne Möbel)
22.1	Verlagserzeugnisse
22.2 – 22.3	Druckerzeugnisse, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger
24 (ohne 24.4)	Chemische Erzeugnisse (ohne pharmazeutische Erzeugnisse)
25.2	Kunststoffwaren
26.1	Glas und Glaswaren
26.2 – 26.8	Keramik, bearbeitete Steine und Erden
27.1 – 27.3	Roheisen, Stahl, Rohre und Halbzeug daraus
27.4	NE-Metalle und Halbzeug daraus
28	Metallerzeugnisse
29	Maschinen
30	Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräte und -einrichtungen
31	Geräte der Elektrizitätserzeugung, -verteilung u.Ä.
32	Nachrichtentechn., Rundf.- und Fernsehgeräte, elektron. Bauelemente
33	Medizin-, mess-, regelungstechn., optische Erzeugnisse; Uhren
34	Kraftwagen und Kraftwagenteile
35	Sonstige Fahrzeuge (Wasser-, Schienen-, Luftfahrzeuge u.a.)
36	Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte, Spielwaren u.Ä.

Anhang 3 Wertetabellen zu den Diagrammen im Bericht

Anhang 3.1 Wertetabellen zu Abschnitt 4: Top-Down-Analyse der Materialflüsse in das und aus dem Lager (Analyseschicht 1)

Tabelle 34: Wertetabelle zu Abbildung 6: Direkte Materialflüsse sowie Netto-Bestandszuwachs mit Abfall an Deponien in Deutschland 1960 bis 2010 [

Jahr	VIE	NAS	darunter: Abfall an Deponien	Importe	Exporte
1960	1.133	680	48	162	77
1961	1.198	720	50	167	80
1962	1.269	762	52	182	83
1963	1.308	793	53	194	87
1964	1.397	843	58	212	90
1965	1.375	834	61	223	93
1966	1.391	844	63	232	101
1967	1.363	828	62	237	112
1968	1.406	863	64	270	124
1969	1.440	899	68	297	127
1970	1.487	938	71	331	132
1971	1.500	952	73	336	132
1972	1.569	1.005	76	352	133
1973	1.561	1.013	79	384	151
1974	1.504	957	76	379	173
1975	1.445	951	73	351	148
1976	1.446	961	82	383	152
1977	1.455	923	90	375	161
1978	1.472	933	93	395	182
1979	1.527	1.010	99	428	186
1980	1.512	985	104	416	184
1981	1.454	875	101	379	185
1982	1.356	790	98	363	176
1983	1.379	767	97	362	179
1984	1.392	789	97	378	193
1985	1.386	776	94	385	192
1986	1.390	791	93	393	189
1987	1.351	766	85	387	194
1988	1.380	827	88	398	202
1989	1.443	858	88	405	218

Jahr	VIE	NAS	darunter: Abfall an Deponien	Importe	Exporte
1990	1.403	890	90	425	220
1991	1.290	1.029	161	433	211
1992	1.279	1.053	144	456	216
1993	1.256	1.012	127	423	202
1994	1.319	1.094	111	463	223
1995	1.272	1.045	95	464	225
1996	1.249	1.010	79	475	238
1997	1.231	1.000	72	482	249
1998	1.191	976	67	505	260
1999	1.233	1.006	67	489	265
2000	1.205	985	67	521	289
2001	1.140	899	65	507	292
2002	1.113	878	67	513	304
2003	1.082	858	59	542	318
2004	1.108	876	57	562	349
2005	1.074	841	46	564	357
2006	1.094	875	39	601	380
2007	1.103	885	43	607	396
2008	1.084	878	42	607	388
2009	1.040	842	35	539	338
2010	1.016	824	34	593	365

MFA-Daten zur Berechnung von NAS als Saldo von Input und Output [Mio. t]
Abkürzungen:
VIE = Verwertete Inländische Entnahme
VIA = Verwertete Inländische Abgabe: Emissionen in Luft und Wasser, (Abfall), Dissipative Outputs (Produktverwendungen, Verluste)
NAS = Net Additions to Stock (VIE plus Importe minus VIA minus Exporte ± Bilanzausgleichsposten)
Quellen:
1997-1990: Zeitreihen für ABL aus Matthews et al.,
1991-1993: UGR 2004 Daten angepasst an UGR 2012
ab 1991 Gesamtdeutsche Daten (hier nur UGR Daten)

Tabelle 35: Wertetabelle zu Abbildung 7: Lagerrelevante inländische Rohstoffentnahmen in Deutschland 1960-2010 [Mio. t]

Jahr	Gesamtdeutschland	Neue Bundesländer	Alte Bundesländer
1960	436	60	362
1961	486	63	409
1962	526	65	446
1963	542	68	462
1964	615	70	533
1965	634	72	549
1966	653	75	565
1967	629	77	538
1968	663	80	571
1969	692	83	596
1970	726	84	628
1971	740	87	639
1972	822	91	720
1973	806	92	698
1974	733	92	627
1975	692	96	585
1976	695	99	582
1977	691	101	576
1978	704	103	588
1979	745	117	615
1980	742	122	606
1981	668	117	537
1982	562	104	445
1983	611	106	493
1984	578	104	461
1985	559	103	443
1986	575	100	462
1987	563	93	456
1988	586	98	473
1989	654	97	542
1990	662	91	537
1991	680		
1992	716		
1993	707		

Jahr	Gesamtdeutschland	Neue Bundesländer	Alte Bundesländer
1994	779		
1995	741		
1996	712		
1997	704		
1998	680		
1999	727		
2000	701		
2001	636		
2002	610		
2003	609		
2004	585		
2005	564		
2006	603		
2007	587		
2008	570		
2009	531		
2010	523		

MFA-Daten zur Berechnung lagerrelevanter Materialien [Mio. t]
Abkürzungen:
VIE = Verwertete Inländische Entnahme
Quellen:
1997-1990: Zeitreihen für ABL aus Matthews et al.,
1991-1993: UGR 2004 Daten angepasst an UGR 2012
ab 1991 Gesamtdeutsche Daten (hier nur UGR Daten)

Anhang 3.2 Wertetabellen zu Abschnitt 5: Top-Down-Analyse von Input-, Output- und lagerinternen Materialflüssen nach Güter- und Materialgruppen (Analyseschicht 2)

Tabelle 36: Wertetabelle zu Abbildung 10: Produktion von Kapitalgütern in Deutschland 1995-2011 [Mio. t]

Jahr	Güter vorwiegend aus Eisen/Stahl	Güter vorwiegend aus Metallen	Güter vorwiegend aus Kunststoffen	Andere Produkte	Summe
1995	0,5	27,4	2,0	6,2	**36,1**
1996	0,3	25,9	2,1	5,7	**34,0**
1997	0,3	28,2	2,1	6,7	**37,3**
1998	0,3	29,4	2,3	7,9	**39,9**
1999	0,5	29,5	2,3	7,5	**39,8**
2000	0,5	30,4	2,2	8,7	**41,8**
2001	0,5	28,5	2,4	10,2	**41,5**
2002	0,4	30,0	3,0	10,9	**44,3**
2003	0,5	26,3	3,4	12,3	**42,5**
2004	0,5	28,1	3,5	13,1	**45,3**
2005	0,5	28,1	3,4	14,0	**46,1**
2006	0,5	29,6	3,9	15,4	**49,4**
2007	0,5	30,6	4,1	16,6	**51,8**
2008	0,4	30,8	4,2	17,3	**52,7**
2009	0,3	24,9	2,4	20,8	**48,4**
2010	0,3	27,4	2,3	20,6	**50,7**
2011	0,3	30,5	2,2	21,1	**54,1**

Tabelle 37: Wertetabelle zu Abbildung 14: Importe von Kapitalgütern nach Materialgruppen, Deutschland 1995-2011 [Mio. t]

Jahr	Biomasse	Güter vorwiegend aus Eisen/Stahl	Güter vorwiegend aus Metallen	Güter vorwiegend aus nicht-metallischen Mineralen	Güter vorwiegend aus Kunststoffen	Andere Produkte
1995	0,2	0,3	8,1	0,0	0,0	0,3
1996	0,2	0,3	8,2	0,0	0,0	0,3
1997	0,3	0,2	8,8	0,0	0,0	0,3
1998	0,3	0,3	10,3	0,0	0,0	0,3
1999	0,3	0,2	11,1	0,0	0,0	0,4
2000	0,3	0,2	12,7	0,0	0,0	0,4
2001	0,3	0,2	13,1	0,0	0,0	0,4
2002	0,3	0,2	12,7	0,0	0,0	0,4
2003	0,3	0,2	14,4	0,0	0,0	0,4
2004	0,3	0,2	14,8	0,0	0,0	0,4
2005	0,2	0,2	15,6	0,0	0,0	0,4
2006	0,2	0,2	19,2	0,0	0,0	0,5
2007	0,2	0,2	21,1	0,0	0,0	0,5
2008	0,1	0,2	22,5	0,0	0,0	2,6
2009	0,1	0,2	15,5	0,0	0,0	2,5
2010	0,1	0,2	18,4	0,0	0,0	2,3
2011	0,1	0,2	23,3	0,0	0,0	2,7

Tabelle 38: Wertetabelle zu Abbildung 15: Exporte von Kapitalgütern nach Materialgruppen, Deutschland 1995-2011 [Mio. t]

Jahr	Biomasse	Güter vorwiegend aus Eisen/Stahl	Güter vorwiegend aus Metallen	Güter vorwiegend aus nicht-metallischen Mineralen	Güter vorwiegend aus Kunststoffen	Andere Produkte
1995	0,0	0,1	11,8	0,0	0,0	0,3
1996	0,0	0,1	12,1	0,0	0,0	0,3
1997	0,1	0,1	13,5	0,0	0,0	0,4
1998	0,1	0,1	15,0	0,0	0,0	0,4
1999	0,1	0,1	15,0	0,0	0,0	0,4
2000	0,1	0,1	17,0	0,0	0,0	0,5
2001	0,1	0,1	18,1	0,0	0,0	0,5
2002	0,1	0,1	19,5	0,0	0,0	0,5
2003	0,1	0,1	19,3	0,0	0,0	0,5
2004	0,1	0,1	21,4	0,0	0,0	0,5
2005	0,1	0,1	22,2	0,0	0,0	0,6
2006	0,1	0,1	25,7	0,0	0,0	0,7
2007	0,2	0,2	28,0	0,0	0,0	0,7
2008	0,2	0,2	29,0	0,0	0,0	1,7
2009	0,1	0,1	20,6	0,0	0,0	1,7
2010	0,2	0,1	24,4	0,0	0,0	1,8
2011	0,2	0,1	28,0	0,0	0,0	1,6

Tabelle 39: Wertetabelle zu Abbildung 11: Produktion von langlebigen Konsumgütern in Deutschland 1995-2011 [Mio. t]

Jahr	Güter vorwiegend aus Biomasse	Güter vorwiegend aus Metallen	Güter vorwiegend aus nicht-metallischen Mineralen	Güter vorwiegend aus Kunststoffen	Andere Produkte
1995	5,8	8,2	0,0	0,0	0,4
1996	5,9	8,8	0,0	0,1	0,4
1997	5,9	8,9	0,0	0,1	0,4
1998	6,3	9,7	0,0	0,1	0,4
1999	6,5	11,1	0,0	0,1	0,4
2000	6,5	11,0	0,0	0,1	0,4
2001	6,2	11,5	0,0	0,1	0,5
2002	6,1	11,8	0,0	0,2	0,4
2003	6,3	12,0	0,0	0,1	0,4
2004	6,4	12,6	0,0	0,1	0,4
2005	6,2	12,6	0,0	0,1	0,3
2006	6,7	12,6	0,0	0,1	0,4
2007	6,8	13,3	0,0	0,1	0,3
2008	6,5	12,1	0,0	0,1	0,3
2009	6,4	9,4	0,0	0,1	0,4
2010	6,3	12,5	0,0	0,1	0,4
2011	6,2	12,8	0,0	0,1	0,4

Tabelle 40: Wertetabelle zu Abbildung 16: Importe von langlebigen Konsumgütern nach Materialgruppen (1995-2011) [Mio. t]

Jahr	Bio-masse	Güter vorwie-gend aus Ei-sen/Stahl	Güter vor-wiegend aus Metallen	Güter vorwieg. aus nicht-metallischen Mineralen	Güter vor-wiegend aus Kunststoffen	Andere Produkte
1995	1,1	0,0	2,9	0,0	0,0	0,3
1996	1,2	0,0	3,2	0,0	0,0	0,3
1997	1,2	0,0	3,3	0,0	0,0	0,4
1998	1,2	0,0	3,5	0,0	0,0	0,4
1999	1,2	0,0	3,8	0,0	0,0	0,4
2000	1,4	0,0	3,9	0,0	0,0	0,4
2001	1,4	0,0	4,0	0,0	0,0	0,5
2002	1,4	0,0	4,0	0,0	0,0	0,5
2003	1,5	0,0	4,3	0,0	0,0	0,5
2004	1,5	0,0	4,5	0,0	0,0	0,5
2005	1,6	0,0	4,5	0,0	0,0	0,6
2006	1,6	0,0	5,1	0,0	0,0	0,6
2007	1,6	0,0	5,4	0,0	0,0	0,7
2008	1,5	0,0	5,1	0,0	0,0	0,7
2009	1,6	0,0	5,3	0,0	0,1	0,6
2010	1,8	0,0	5,0	0,0	0,1	0,7
2011	1,9	0,0	5,4	0,0	0,1	0,8

Tabelle 41: Wertetabelle zu Abbildung 17: Exporte von langlebigen Konsumgütern nach Materialgruppen (1995-2011)
[Mio. t]

Jahr	Biomasse	Güter vorwiegend aus Eisen/Stahl	Güter vorwiegend aus Metallen	Güter vorwiegend aus nicht-metallischen Mineralen	Güter vorwiegend aus Kunststoffen	Andere Produkte
1995	0,4	0,0	3,9	0,0	0,0	0,3
1996	0,4	0,0	4,3	0,0	0,0	0,3
1997	0,4	0,0	4,8	0,0	0,0	0,3
1998	0,5	0,0	5,4	0,0	0,0	0,3
1999	0,5	0,0	5,8	0,0	0,0	0,4
2000	0,5	0,0	6,3	0,0	0,0	0,4
2001	0,6	0,0	6,8	0,0	0,0	0,4
2002	0,6	0,0	7,3	0,0	0,0	0,5
2003	0,6	0,0	7,3	0,0	0,0	0,5
2004	0,7	0,0	7,7	0,0	0,0	0,5
2005	0,7	0,0	8,0	0,0	0,0	0,5
2006	0,8	0,0	8,4	0,0	0,0	0,6
2007	0,9	0,0	9,3	0,0	0,0	0,7
2008	0,9	0,0	9,0	0,0	0,0	0,7
2009	0,9	0,0	7,2	0,0	0,0	0,6
2010	0,8	0,0	8,6	0,0	0,0	0,7
2011	0,8	0,0	9,4	0,0	0,0	0,8

Tabelle 42: Wertetabelle zu Abbildung 12a: : Produktion von Baumaterialien in Deutschland 2009-2011 - Entwicklung der Produktion nach Materialgruppen

Jahr Baustoffgruppe	2009	2010	2011
Mineralische Baustoffe	406	398	441
Faserverbundbaustoffe	0,2	0,2	0,2
organisch-chemische Baustoffe	28	24	28
biotische Baustoffe	5	6	6
metallische Baustoffe	65	80	83
sonstige Baustoffe	1	1	1

Tabelle 43: Wertetabelle zu Abbildung 12b: : Produktion von Baumaterialien in Deutschland 2009-2011 - Differenzierung der Produktion im Basisjahr 2010 nach einzelnen Materialien

Jahr Baustoffgruppe	2010
Mineralische Baustoffe	
mineralische Baustoffe - Naturstein	2,878
mineralische Baustoffe - Kiese/Sande/Splitt/Gesteinsmehle/Aschen	288,642
mineralische Baustoffe - Zement	70,707
mineralische Baustoffe - Kalk	21,610
mineralische Baustoffe - Gips	3,729
mineralische Baustoffe - Ton/Keramik/Ziegel	6,822
mineralische Baustoffe - Glas	1,783
mineralische Baustoffe - Dämmstoffe	0,452
mineralische Baustoffe - Fasern	0,913
Faserverbundbaustoffe	
Faserverbundbaustoffe - mineralische Matrix	0,169
Faserverbundbaustoffe - Kunststoffmatrix (organisch)	0,076
organisch-chemische Baustoffe	
organisch-chemische Baustoffe - Kunststoffe	3,858
organisch-chemische Baustoffe - Bitumen	20,420
biotische Baustoffe	
Holz	5,591
metallische Baustoffe	
metallische Baustoffe - Eisen/Stahl	73,616
metallische Baustoffe - Aluminium	3,756
metallische Baustoffe - Zink	0,208
metallische Baustoffe - Kupfer	2,060
metallische Baustoffe - andere Metalle	0,018
sonstige Baustoffe	
sonstige Baustoffe	0,622

Tabelle 44: Wertetabelle zu Abbildung 18: Importe von Baumaterialien nach Materialgruppen, 1995-2011 [Mio. t]

Jahr	Mineralische Baustoffe	Faserverbund-baustoffe	Organisch-chemische Baustoffe	Biotische Baustoffe	Metallische Baustoffe	Andere Stoffe
1995	41,8	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0
1996	38,9	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0
1997	36,7	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0
1998	32,5	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0
1999	32,6	0,1	0,0	0,3	0,1	0,0
2000	34,3	0,1	0,0	0,3	0,2	0,0
2001	27,4	0,1	0,0	0,2	0,2	0,0
2002	24,8	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0
2003	22,2	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0
2004	21,9	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0
2005	21,6	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
2006	22,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0
2007	21,9	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0
2008	22,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0
2009	20,5	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
2010	20,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0
2011	23,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0

Tabelle 45: Wertetabelle zu Abbildung 19: Exporte von Baumaterialien nach Materialgruppen, 1995-2011 [Mio. t]

Jahr	Mineralische Baustoffe	Faserverbund-baustoffe	Organisch-chemische Baustoffe	Biotische Baustoffe	Metallische Baustoffe	Andere Stoffe
1995	23,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
1996	23,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
1997	23,8	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
1998	25,6	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
1999	25,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
2000	27,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
2001	26,4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
2002	28,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
2003	28,9	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
2004	33,8	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
2005	35,7	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0
2006	41,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2007	47,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2008	49,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1
2009	41,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2010	40,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2011	42,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabelle 46: Wertetabelle zu Abbildung 115: Saldi von Entnahmen und Abgaben sowie Abfall an Deponien nach Datensätzen aus UGR 2004 und UGR 2012 [Mio. t]

Jahr	UGR 2004		UGR 2012	
	Saldo Entnahmen / Abgaben	darunter: Abfall an Deponie	Saldo Entnahmen / Abgaben	darunter: Abfall an Deponie
1991	813,0	161,3		
1992	847,1	144,2		
1993	813,7	127,2		
1994	898,6	111,0	1.094,4	111,0
1995	859,2	94,8	1.044,7	94,8
1996	829,3	78,6	1.010,4	78,6
1997	825,2	71,6	1.000,1	71,6
1998	800,9	67,2	975,9	67,2
1999	835,6	66,8	1.005,5	66,8
2000	825,8	67,1	984,8	67,1
2001	736,5	64,8	899,3	64,8
2002	716,2	60,4	878,4	66,5
2003			858,5	59,5
2004			876,0	56,7
2005			841,5	45,7
2006			875,4	38,7
2007			884,6	43,2
2008			877,9	41,6
2009			842,4	35,4
2010			823,5	34,0

Tabelle 47: Wertetabelle zu Abbildung 33: Materialflüsse im Anthropogenen Lager - Schicht 2 des MSM (2010), differenziert nach Hauptmaterialgruppen [Mio. t]

Materialfluss	Gesamt	Mineralisch	Metalle	Kunststoffe	Holz	Sonstige/n.z.
Inländische Extraktionen						
MFA[106]	**523,1**	505,2	0,4	0,0	17,5	0,0
Importe						
MFA[106]	**185,4**	27,7	118,8	19,5	13,6	5,8
Abfallwirtschaft[106]	**17,2**	2,6	7,8	0,7	6,1	
Flüsse im Lager						
Produktionskreislauf[107]	**1,71**	0,46	0,25	0,11	0,90	
Input in Güter (MFA)[108]	**571,6**	492,4	38,6	6,3	12,9	21,4
Kapitalgüter	**45,1**		21,8	2,3	0,0	21,0
Konsumgüter	**16,7**		8,9	0,1	7,3	0,4
Bauwerke	**509,7**	492,4	7,9	3,9	5,6	-0,1
Hochbau		242,4				
Tiefbau		250,0				
Input in Güter (Abfallw.)[109]	**94,0**	90,5[110]	-	-	3,5[111]	
Hochbau		6,8[112]				
Tiefbau		83,7[113]				
SERO-Strom aus Bestand (Abfallwirtschaft)[107]	**103,05**	62,33	17,54	5,02	18,16	
Deponiestrom preconsumer (Abfallwirtschaft)[107]	**5,55**	3,29	2,22	0,03	0,0	
Deponiestrom postconsumer (Abfallwirtschaft)[107]	**9,52**	7,61	1,69	0,12	0,1	
Rückflüsse aus Umwandlung (Abfallw.)[106]	**31,5**	28,1	3,4	0,0	0,0	
Exporte						

[106] Daten basierend auf Tabelle 1

[107] Daten basierend auf Tabelle 9

[108] Daten basierend auf Tabelle 4 und Tabelle 5

[109] Daten basierend auf Tabelle 4 und Tabelle 5

[110] Schätzung als Summe aus SERO-Strom Bestand (Tabelle 9) und Rückfluss aus Umwandlung (Tabelle 1)

[111] Schätzung als Summe aus SERO Altholz und Sägenebenprodukte zur Spanplattenherstellung (Tabelle 27) und Bauprodukte aus Verarbeitungsverlusten (vgl. Abschnitt 7.1.2)

[112] RC-Baustoff, Flugasche und REA-Gips (Tabelle 27)

[113] Ergibt sich aus der Differenz (abzügl. Hochbau)

MFA[106]	**173,6**	56,3	84,3	15,0	14,5	3,5
Abfallwirtschaft[106]	**21,7**	3,7	11,3	1,6	5,0	
Abgaben an die Umwelt						
Abfallwirtschaft[106]	**32,5**	12,0	5,1	2,8	12,6	

Anhang 3.3 Wertetabellen- zu Abschnitt 6: Bottom-Up Analyse

Tabelle 48: Wertetabelle zu Abbildung 54: Baustoffverteilung im Wohngebäudebestand [Mio. t]

Bestände	**Gesamtbestand der wesentlichen Baustoffgruppen**		**Anteile der mineralischen (Massen-)Baustoffe**
Methodik	**Methodik 1**	**Methodik 2**	**Methodik 2**
Materialgruppe			
Mineralische Materialien	8.854	7.831	
Beton			3.763
Porenbeton			113
Kalksandstein			900
Gipsprodukte			72
Flachglas			117
Mineralische Dämmstoffe			36
Sonstige mineralische Stoffe			1.768
Metalle	97	364	
Kunststoffe	6	73	
Holz	223	177	
Sonstiges / nicht zuordenbar	90	2	

Tabelle 49: Wertetabelle zu Abbildung 56: Baustoffverteilung im Nichtwohngebäudebestand

Bestände	**Gesamtbestand der wesentlichen Baustoffgruppen**	**Anteile der mineralischen (Massen-)Baustoffe**
Methodik	**Methodik 2**	**Methodik 2**
Materialgruppe		
Mineralische Materialien	5.865	
Beton		2.642
Porenbeton		66
Kalksandstein		328
Gipsprodukte		96
Flachglas		214
Mineralische Dämmstoffe		30

Sonstige mineralische Stoffe		1.685
Metalle	517	
Kunststoffe	154	
Holz	151	
Sonstiges / nicht zuordenbar	53	

Tabelle 50: Wertetabelle zu Abbildung 57: Baustoffflüsse für Wohngebäude nach Methodik 2 für das Basisjahr 2010 [Mio. t]

Fluss	Input			Output		
Materialgruppe	gesamt	davon Neubau	davon Sanierung	gesamt	davon Abriss	davon Sanierung
Mineralische Materialien	47,8	34,0	13,8	18,0	4,3	13,8
Metalle	2,4	1,7	0,7	0,8	0,2	0,6
Kunststoffe	0,6	0,4	0,2	0,2	0,0	0,2
Holz	1,5	1,1	0,4	0,8	0,1	0,7
Sonstiges / nicht zuordenbar	0,3	0,2	0,1	0,3	0,0	0,3

Tabelle 51: Wertetabelle zu Abbildung 58: Baustoffflüsse für Nichtwohngebäude für das Basisjahr 2010 [Mio. t]

Fluss	Input			Output		
Materialgruppe	gesamt	davon Neubau	davon Sanierung	gesamt	davon Abriss	davon Sanierung
Mineralische Materialien	56,1	48,3	7,8	20,3	13,0	7,3
Metalle	6,9	6,0	0,9	1,6	1,0	0,6
Kunststoffe	1,7	1,5	0,2	0,6	0,3	0,3
Holz	1,7	1,5	0,2	0,6	0,4	0,2
Sonstiges / nicht zuordenbar	0,2	0,2	0,0	0,2	0,1	0,1

Tabelle 52: Wertetabelle zu Abbildung 86: Bestände an Materialien nach Hauptmaterialgruppen im Basisjahr 2010 (künstliche Gesteine in mineralischer Fraktion einschließlich gebundenen Wassers) [Mio. t]

Gütergruppe	Hochbau	Haustechnik	Tiefbau	Güter
Materialgruppe				
Mineralische Materialien	13.791	2	12.259	153

Metalle	883	18	116	149
Kunststoffe	226	1	11	15
Holz	328	0	4	20
Sonstiges / nicht zuordenbar	55	0	118	16

Tabelle 53: Wertetabelle zu Abbildung 87: Bestände an Materialien im Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen ohne gebundenes Wasser [Mio. t]

Gütergruppe Materialgruppe	Hochbau	Haustechnik	Tiefbau	Güter
Mineralische Materialien	9.898	2	12.193	153
Metalle	883	18	116	149
Kunststoffe	226	1	11	15
Holz	328	0	4	20
Sonstiges / nicht zuordenbar	55	0	118	16

Tabelle 54: Wertetabelle zu Abbildung 88: Materialbestände im Basisjahr 2010 mit Differenzbetrachtung des gebundenen Wassers [Mio. t]

Gütergruppe Materialgruppe	mit gebundenem Wasser	ohne gebundenem Wasser
Phys./chem. Gebundenes Wasser	-	3.960
Mineralische Materialien	26.205	22.245
Metalle	1.166	1.166
Kunststoffe	254	254
Holz	352	352
Sonstiges / nicht zuordenbar	189	189

Tabelle 55: Wertetabelle zu Abbildung 89: Bestände an Materialien im Basisjahr 2010 nach Materialgruppen [Mio. t]

Materialien	Gesamtbestand
Mineralische Materialien	
Kiese und Sande	15.627
Gebrochene Natursteine	3.343
Kalk und Mergel (Zement und Branntkalk)	1.298
Lehm und Ton für Ziegelindustrie	1.873

Sonstige mineralische Baumaterialien	1.806
Metalle	
Stahl	1.044
Kupfer	8,4
Aluminium	6,7
Sonstige Metalle	2,3
Metalle nicht differenziert	0,0
Kunststoffe	
Dämmstoffe aus Kunststoffen	83
Kunststofffenster/-türen	79
Kunststoffdach-/-dichtungsbahn	64
Kunststoffe aus Bodenbelägen	0
PVC	2
PE	6
Acryl	1
Kunststoffe nicht differenziert	18
Holz	352
Sonstiges / nicht zuordenbar	189

Tabelle 56: Wertetabelle zu Abbildung 90: Bestände an Metallen im Basisjahr 2010

Materialien	Gesamtbestand [Mio. t]
Stahl	1.044
Kupfer	8,4
Aluminium	6,7
Sonstige Metalle	2,3
Metalle nicht differenziert	0,0

Tabelle 57: Wertetabelle zu Abbildung 91: Bestände an Kunststoffen im Basisjahr 2010

Materialien	Gesamtbestand [Mio. t]
(Styropor-/Styrodur-)Dämmung	0,1
PVC	1,9
PE	6,1
Polycarbonat (PC)	0,1
PET	0,2
Acryl	1,2

Faserverbundkunststoff (FVK)	0,5
Dämmstoffe aus Kunststoffen	83
Kunststofffenster/-türen	79
Kunststoffdach-/-dichtungsbahn	64
Kunststoffe nicht differenziert	17

Tabelle 58: Wertetabelle zu Abbildung 92: Inputflüsse für das Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen

Gütergruppe Materialgruppe	Hochbau	Haustechnik	Tiefbau	Güter
Mineralische Materialien	104	0,1	224	10
Metalle	8,1	0,4	4,1	9,9
Kunststoffe	2,4	0,1	0,5	1,0
Holz	2,4	0,0	0,1	1,3
Sonstiges / nicht zuordenbar	0,2	0,0	1,6	1,0

Tabelle 59: Wertetabelle zu Abbildung 93: Outputflüsse für das Basisjahr 2010 nach Hauptmaterialgruppen

Gütergruppe Materialgruppe	Hochbau	Haustechnik	Tiefbau	Güter
Mineralische Materialien	30	0,1	165	0,5
Metalle	2,4	0,5	2,2	4,7
Kunststoffe	0,9	0,1	0,1	1,7
Holz	1,3	0,0	0,2	0,0
Sonstiges / nicht zuordenbar	0,5	0,0	0,0	0,6

Anhang 3.4 Wertetabellen zu Abschnitt 7: Synthese der Ansätze

Tabelle 60: Wertetabelle zu Abbildung 97: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up über alle Güter und Abbildung 98: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up [Mio. t]

Analyseschicht Material-/Gütergruppe	Top-Down inkl. Abfallwirtschaft (Schicht 2)	Bottom-Up (Schicht 3)
Materialgruppe		
Mineralische Materialien	583	338
Metalle	39	22
Kunststoffe	6	4
Holz	16	4
Sonstiges / nicht zuordenbar	21	3
Gütergruppe		
Baumaterialien	604	248
Konsumgüter	17	5
Kapitalgüter	45	19

Tabelle 61: Wertetabelle zu Abbildung 99: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up über alle Güter, differenziert nach Materialien [Mio. t]

Analyseschicht Materialien	Top-Down inkl. Abfallwirtschaft (Schicht 2)	Bottom-Up (Schicht 3)
Mineralische Materialien		
Kiese und Sande	221	223
Gebrochene Natursteine	217	73
Kalk und Mergel (Zement und Branntkalk)	47	19
Lehm und Ton für Ziegelindustrie	7	11
Sonstige mineralische Baumaterialien		10
Mineralische RC-Materialien	90	
Metalle		
Stahl	6,4	16,2
Kupfer	1,0	0,3
Aluminium	0,5	0,8
Sonstige Metalle	0,4	0,2
Metalle nicht differenziert	30,3	6,9
Kunststoffe		
Dämmstoffe aus Kunststoffen	0,18	0,8

	Kunststofffenster/-türen		0,58
	Kunststoffdach-/-dichtungsbahn		0,72
	Kunststoffe aus Bodenbelägen		0,29
	PVC	0,23	0,04
	PE	0,32	0,31
	PET		0,03
	Acryl	0,08	0,15
	Faserverbundkunststoff (FVK)		0,06
	Kunststoffe nicht differenziert	3,18	1,02
Holz			
	Holz nicht differenziert	12,9	3,9
	Holz-RC-Baustoffe	3,5	

Tabelle 62: Wertetabelle zu Abbildung 100: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für mineralische Rohstoffe im Baubereich nach Gütergruppen

Fluss	Hochbau		Tiefbau	
Analyseschicht Gütergruppe	Top-Down + Abfallw. (Schicht 2)	Bottom-Up (Schicht 3)	Top-Down + Abfallw. (Schicht 2)	Bottom-Up (Schicht 3)
Top-Down (MFA)	243	-	250	-
Abfallwirtschaft	7	-	83	-
Baukonstruktion Wohngebäude	-	55	-	-
Baukonstruktion Nichtwohngebäude	-	60	-	-
Haustechnik Wohngebäude	-	2	-	-
Haustechnik Nichtwohngebäude	-	1	-	-
Verkehrs-Infrastruktur	-	-	-	186
Wasser-Infrastruktur	-	-	-	20
Elektro-Infrastruktur	-	-	-	21
IuK-Infrastruktur	-	-	-	0

Tabelle 63: Wertetabelle zu Abbildung 101: Lückenabschätzungen für mineralische Materialien im Baubereich [Mio. t]

Analyseschicht Materialien/Güter	Top-Down inkl. Abfallwirtschaft (Schicht 2)	Bottom-Up (Schicht 3)

Mineralische Materialien	583	328
Kleinstgebäude		2,6
Baugrubenverfüllung		11,9
Hauptwirtschaftswege		7,0

Tabelle 64: Wertetabelle zu Abbildung 102: **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** [Mio. t]

Fluss	Güter				Bau	
Analyseschicht	Top-Down + Abfallw. (Schicht 2)		Bottom-Up (Schicht 3)		Top-Down + Abfallw. (Schicht 2)	Bottom-Up (Schicht 3)
Metalle	Kapital	Konsum	Kapital	Konsum		
Stahl	0,3	-	-	2,7	6,0	11,7
Kupfer	-	-	-	0,07	1,0	0,21
Aluminium	-	-	-	0,25	0,53	0,53
Sonstige Metalle	-	-	-	0,04	0,37	0,07
nicht differenziert	21,4	8,9	6,9	-	-	-

Tabelle 65: Wertetabelle zu Abbildung 103: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für Kunststoffe im Baubereich [Mio. t]

Analyseschicht Kunststoffe	Top-Down inkl. Abfallwirtschaft (Schicht 2)	Bottom-Up (Schicht 3)
Dämmstoffe aus Kunststoffen	0,18	0,80
Kunststofffenster/-türen		0,58
Kunststoffdach-/-dichtungsbahn		0,72
Kunststoffe aus Bodenbelägen		0,29
PVC	0,23	0,04
PE	0,32	0,19
PET		0,03
Acryl	0,08	0,04
Faserverbundkunststoff (FVK)		0,05
Kunststoffe nicht differenziert	3,07	0,22

Tabelle 66: Wertetabelle zu Abbildung 104: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up für Kunststoffe in Kapital- und Konsumgütern und Abbildung 105: Lückenabschätzungen für Kunststoffe in Kapital- und Konsumgütern [Mio. t]

Analyseschicht Materialien/Güter	Top-Down inkl. Abfallwirtschaft (Schicht 2)	Bottom-Up (Schicht 3)
Kapitalgüter	0,12	-
Konsumgüter	2,30	1,04
Kunststoffe in Möbeln		0,45
Landwirtschaftliche Produkte		0,37
Medizinprodukte		0,26
Elektrotechnik/Elektronik		0,39

Tabelle 67: Wertetabelle zu Abbildung 106: Lückenabschätzungen für Holz nach Gütergruppen

Analyseschicht	Top-Down inkl. Abfallwirtschaft (Schicht 2)			Bottom-Up (Schicht 3)		
Gütergruppe Materialien/Güter	Bau	Kapital-güter	Konsum-güter	Bau	Kapital-güter	Konsum-güter
Holz	5,6	0,005	7,3	2,5	1,3	0,007
RC-Bauprodukte	2,4	-	-	-	-	-
RC-Spanplatten	-	-	1,1	-	-	-
Möbelholz (Konsum)	-	-	-	-	-	5,8

Tabelle 68: Wertetabelle zu Abbildung 107: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up Outputflüsse nach Materialgruppen und Abbildung 108: Gegenüberstellung Top-Down – Bottom-Up Outputflüsse nach Gütergruppen [Mio. t]

Analyseschicht Material-/Gütergruppe	Top-Down inkl. Abfallwirtschaft (Schicht 2)	Bottom-Up (Schicht 3)
Materialgruppe		
Mineralische Materialien	70	196
Metalle	19	9,9
Kunststoffe	5	2,7
Holz	18	1,5
Sonstiges / nicht zuordenbar	0	0,6
Gütergruppe		
alle Gütergruppen	112	-

Hochbau inkl. Haustechnik	-	36
Tiefbau	-	167
Konsumgüter	-	7,5
Kapitalgüter	-	(19)[114]

Tabelle 69: Wertetabelle zu Abbildung 110: Gegenüberstellung Input – Output (Top-Down Schicht 1) [Mio. t]

Fluss Materialgruppe	Input in das Lager (Schicht 1)	Output aus dem Lager (Schicht 1)
Mineralische Materialien	**564**	**72**
Metalle	**130**	**101**
Kunststoffe	**20**	**19**
Holz	**37**	**32**
Sonstiges / nicht zuordenbar	**6**	**4**

Tabelle 70: Wertetabelle zu Abbildung 112: Gegenüberstellung Input in Güter – Output (Top-Down) [Mio. t]

Fluss Materialgruppe	Input in Güter (Schicht 2)	Output aus Gütern (Schicht 2)
Mineralische Materialien	**583**	**70**
Metalle	**39**	**19**
Kunststoffe	**6**	**5**
Holz	**16**	**18**
Sonstiges / nicht zuordenbar	**21**	**0**

Tabelle 71: Wertetabelle zu Abbildung 113: Gegenüberstellung Input – Output (Bottom-Up, Schicht 3) nach Materialgruppen [Mio. t]

Fluss Materialgruppe	Input in Güter (Schicht 3)	Output aus Gütern (Schicht 3)
Mineralische Materialien	**328**	**196**
zusätzlich in Kapitalgütern	**10**	
Metalle	**16**	**10**

[114] Schätzung aus Input

zusätzlich in Kapitalgütern	**7**	
Kunststoffe	**4**	**3**
Holz	**3**	**2**
zusätzlich in Kapitalgütern	**1**	
Sonstiges / nicht zuordenbar	**2**	**1**
zusätzlich in Kapitalgütern	**1**	

Tabelle 72: Wertetabelle zu Abbildung 113: Gegenüberstellung Input – Output (Bottom-Up, Schicht 3) nach Materialgruppen [Mio. t]

Fluss Gütergruppe	Input in Güter (Schicht 3)	Output aus Gütern (Schicht 3)
Tiefbau	**228,6**	**154,6**
Hochbau	**118,2**	**34,1**
Haustechnik	**0,6**	**0,7**
Konsumgüter	**4,6**	**7,5**
Kapitalgüter	**18,7**	**-**

Anhang 4 Elektronische Tabellen zur Datendokumentation

In Absprache mit dem UBA erfolgt die Bereitstellung der ausführlichen Datendokumentationstabellen ausschließlich in elektronischer Form. Die Zuordnung der Dateinamen wurde wie folgt vorgenommen:

- Top-Down (MFA)
  Datendokumentation Top-Down.xlsx
- Bottom-Up
- Technische Infrastrukturen (Tiefbau)
  Datendokumentation Bottom-Up Infrastrukturen.xlsx
- Bauwerke des Hochbaus (Gebäude)
  Datendokumentation Bottom-Up Gebäude.xlsx
- Haustechnik
  Datendokumentation Bottom-Up Haustechnik.xlsx
- Langlebige Güter
  Datendokumentation Bottom-Up Konsumgüter.xlsx
  Datendokumentation Bottom-Up Kapitalgüter.xlsx
- Abfallwirtschaft
  Datendokumentation Abfallwirtschaft.docx
- Liste der Datenquellen
  Datendokumentation - Quellen.xlsx

Die Liste der Datenquellen gliedert sich wie folgt:

- Gebäude: ab lfd. Nr. 1
- Haustechnik: ab lfd. Nr. 50
- Top-Down: ab lfd. Nr. 100
- Technische Infrastrukturen: ab lfd. Nr. 150
- Abfallwirtschaft: ab lfd. Nr. 250
- Langlebige Güter: ab lfd. Nr. 300