

TEXTE

61/2026

Dokumentation

Kartierung des Anthropogenen Lagers V – Strategieentwicklung für einen nationalen Urban Mining Prozess

**Gesamtwirtschaftliche Materialflussanalysen und
Bestandsveränderungen des anthropogenen Lagers
Deutschlands (2010–2020)**

von:

Anja Kathan, Birte Ewers, Dr. Monika Dittrich
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 61/2026

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3722 35 301 0

Dokumentation

Kartierung des Anthropogenen Lagers V – Strategieentwicklung für einen nationalen Urban Mining Prozess

Gesamtwirtschaftliche Materialflussanalysen und
Bestandsveränderungen des anthropogenen Lagers
Deutschlands (2010–2020)

von

Anja Kathan, Birte Ewers, Dr. Monika Dittrich
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

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

Durchführung der Studie:

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung
Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg

Abschlussdatum:

November 2025

Redaktion:

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

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8289>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
1 Top-Down-Analyse der Materialflüsse in das und aus dem Lager (Analyseschicht 1).....	10
1.1 Nettobestandszuwachs des anthropogenen Stofflagers.....	10
2 Top-Down Analyse der Input-, Output- und lagerinternen Materialflüsse nach Güter- und Materialgruppen (Analyseschicht 2).....	16
2.1 Datengrundlagen und methodisches Vorgehen zur Ermittlung der Materialflüsse des anthropogenen Lagers Deutschlands.....	17
2.2 Materialflussbetrachtungen von Importen und Exporten nach Material- und Gütergruppen auf Grundlage der Außenhandelsstatistik.....	19
2.2.1 Kapitalgüter.....	19
2.2.2 Langlebige Konsumgüter.....	20
2.2.3 Baustoffe.....	22
2.2.4 Zusammenfassende Darstellung der Materialflüsse der Importe und Exporte langlebiger Güter für das Basisjahr 2010 sowie 2015 und 2020 differenziert nach Material- und Gütergruppen.....	23
2.3 Materialflüsse der inländischen Produktion langlebiger Güter ermittelt auf Grundlage der Produktionsstatistik.....	25
2.3.1 Kapitalgüter.....	25
2.3.2 Langlebige Konsumgüter.....	26
2.3.3 Baustoffe.....	26
2.3.4 Zusammenfassende Darstellung der Materialflüsse der inländischen Produktion langlebiger Güter für das Basisjahr 2010 sowie 2015 und 2020 differenziert nach Material- und Gütergruppen.....	28
2.4 Abfallwirtschaftlich geprägte Input-, Output- und lagerinterne Materialflüsse.....	29
2.4.1 Materialflüsse der Abfallimporte und -exporte.....	29
2.4.2 Abfallwirtschaftlich geprägte lagerrelevante Materialflüsse innerhalb des Lagers.....	32
2.4.2.1 Problematik der Abgrenzung und industrielle Nebenprodukte.....	33
2.4.2.2 Grundlegende Problematik der Datenkonsistenz zwischen EAV-Ebenen.....	34
2.4.2.3 Doppelerfassungen.....	35
2.4.3 Gesamtabfallaufkommen (innerhalb des Lagers).....	35
2.4.3.1 Verwertung.....	37

2.4.3.2	Deponierung	38
2.4.3.3	Verfüllung	40
2.4.3.4	Thermische Umwandlung.....	41
2.4.3.5	Kreisläufe innerhalb einer Prozessebene	42
3	Zusammenfassende Darstellung als Sankey.....	43
4	Quellenverzeichnis	46
A	Anhang	49
A.1	Flussdiagramm für das Jahr 2020 im Detail	49
A.2	Flussdiagramm für das Jahr 2015 im Detail	49
A.3	Flussdiagramme für das Jahr 2010	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Direkte Materialflüsse sowie Nettobestandszuwachs und Abfall an Deponien in Deutschland 1960–2020 [Mio. t]	11
Abbildung 2:	Direkte Materialflüsse der Input- und Outputseite sowie Nettobestandszuwachs in Deutschland von 1960–2020 [Mio. t]	13
Abbildung 3:	Lagerrelevante inländische Rohstoffentnahmen in Deutschland 1960–2020 [Mio. t]	15
Abbildung 4:	Importe der Kapitalgüter nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020	19
Abbildung 5:	Exporte der Kapitalgüter nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020	20
Abbildung 6:	Importe der langlebigen Konsumgüter nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020	21
Abbildung 7:	Exporte der langlebigen Konsumgüter nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020	22
Abbildung 8:	Importe von Baumaterialien nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020	23
Abbildung 9:	Exporte von Baumaterialien nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020	23
Abbildung 10:	Produktion von Kapitalgütern in Deutschland 2010, 2015 und 2020	25
Abbildung 11:	Produktion von langlebigen Konsumgütern in Deutschland 2010, 2015 und 2020	26
Abbildung 12:	Produktion von Baumaterialien in Deutschland 2010, 2015 und 2020	27
Abbildung 13:	Produktion von Baumaterialien in Deutschland im Jahr 2020 nach Material	27
Abbildung 14:	Abfallimporte und -exporte insgesamt (inkl. nicht lagerrelevanten Rohstoffen) und der Verbleib importierter Mengen für die Jahre 2010, 2015 und 2020	30
Abbildung 15:	Import lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorien 2010, 2015 und 2020	31
Abbildung 16:	Exporte lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorien 2010, 2015 und 2020	32
Abbildung 17:	Lagerrelevantes Gesamtabfallaufkommen und verwertete industrielle Nebenprodukte nach Verwertungsweg (2015)	36
Abbildung 18:	Lagerrelevantes Gesamtabfallaufkommen und verwertete industrielle Nebenprodukte nach Verwertungsweg (2020)	37
Abbildung 19:	Mengen deponierter lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorien inkl. Boden, Steine und Baggergut, 2015	40

Abbildung 20:	Mengen deponierter lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorien inkl. Boden, Steine und Baggergut, 2020 .40
Abbildung 21:	Thermische Umwandlung lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorie 201541
Abbildung 22:	Thermische Umwandlung lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorie 202041
Abbildung 23:	Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2020 [in Mio. t]43
Abbildung 24:	Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2015 [in Mio. t]44
Abbildung 25:	Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2020 nach Materialkategorien [in Mio. t].....49
Abbildung 26:	Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2015 nach Materialkategorien [in Mio. t].....49
Abbildung 27:	Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2010 [in Mio. t.]50
Abbildung 28:	Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2010 nach Materialkategorien [in Mio. t].....50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Abweichungen in den Luftemissionsdaten der UGR 2012 und der UGR 202114
Tabelle 2:	Materialflüsse der Importe nach und Exporte aus Deutschland 201524
Tabelle 3:	Materialflüsse der Importe nach und Exporte aus Deutschland 202024
Tabelle 4:	Materialflüsse der inländischen Produktion in Deutschland 2015 nach Güter- und Materialgruppen [Mio. t]28
Tabelle 5:	Materialflüsse der inländischen Produktion in Deutschland 2020 nach Güter- und Materialgruppen [Mio. t]29

Abkürzungsverzeichnis

NAS	Nettobestandszuwachs (Net Addition to Stock)
CGT	dt.: „gewichtete Bruttoreaumzahl“, ist ein von der OECD entwickeltes Maß zum Vergleich der Schiffsproduktion weltweit (compensated gross tonnes)
EAV	Europäisches Abfallverzeichnis
EW-MFA	Gesamtwirtschaftliche Materialflussrechnungen (Economy-wide material flow accounts)
Fe-Metall	Eisenhaltige Metalle
HMVA	Hausmüllverbrennungsaschen
KartAL	Kartierung des anthropogenen Lagers (Studienreihe des Umweltbundesamtes)
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
t	Tonne
NE-Metall	Nichteisenmetalle
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PPK	Papier, Pappe, Kartonage
SBS	strukturellen Unternehmensstatistiken
THG	Treibhausgas(e)
UGR	Umweltökonomische Gesamtrechnung
VIA	Verwertete inländische Abgabe
VIE	Verwertete inländische Entnahme

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

Dieser Zwischenbericht dokumentiert die Arbeiten zum UAP4.1 im Projekt KartAL V (Kartierung des Anthropogenen Lagers V – Strategieentwicklung für einen nationalen Urban Mining Prozess) zur Quantifizierung gesamtwirtschaftlicher Materialflüsse und Bestandsveränderungen im Zeitraum 2010–2020. Die Quantifizierung für die Jahre 2015 und 2020 wurde entsprechend des Top-down-Vorgehens, das im Rahmen des Projekts KartAL I zur Anwendung kam (Schiller et al. 2015), entlang der dort entwickelten zwei Analyseschichten umgesetzt.

Für Analyseschicht 1 wurde zunächst der Nettobestandszuwachs (Net Addition to Stock, NAS) des anthropogenen Lagers, der in KartAL I über den Zeitraum 1960 bis 2010 vorlag, um eine neuerliche Berechnung des Jahres 2010 und bis einschließlich 2020 auf Basis des Materialkontos der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR) (2023) ergänzt und Neuberechnet. Auf Grund von Änderungen in den Rechenständen von Destatis sind Brüche ab dem Jahr 2010, dem Jahr des letzten Rechenstandes nach Schiller et al. (2015), entstanden. Diese Unterschiede wurden aufgearbeitet und werden in Abstimmung mit dem Auftraggeber hier zusammenfassend beschrieben.

Ziel der Analyseschicht 2 ist es, eine differenziertere Aussage über die in Analyseschicht 1 betrachteten Daten zu treffen. Eine differenzierte Darstellung der Güter bzw. Gütergruppen nach Materialkategorien auf Basis der Produktionsstatistiken, der Außenhandelsstatistiken und der Abfallstatistiken ermöglichen einen tiefergreifenden Blick in die Materialflüsse in und aus dem anthropogenen Lager. Grundsätzlich konnten die Ermittlung und Auswertung der Materialflüsse nach der Methodik in KartAL I vorgenommen werden, allerdings waren bei der Umsetzung zu Analyseschicht 2 Anpassungen der Herangehensweise notwendig, da sich Herausforderungen mit der aktuellen Datenlage insbesondere auf Grund von Datenlücken und (teilweise rückwirkenden) Revidierungen in den Rechenständen der statistischen Grundlagen ergeben haben.

1.1 Nettobestandszuwachs des anthropogenen Stofflagers

Für die Berechnung des jährlichen Nettobestandszuwachses (Net Addition to Stock, NAS) des anthropogenen Lagers wurden die Daten aus dem Materialkonto der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR) herangezogen.

Der NAS ergibt sich aus der Differenz der (nach Schiller et al. (2015)):

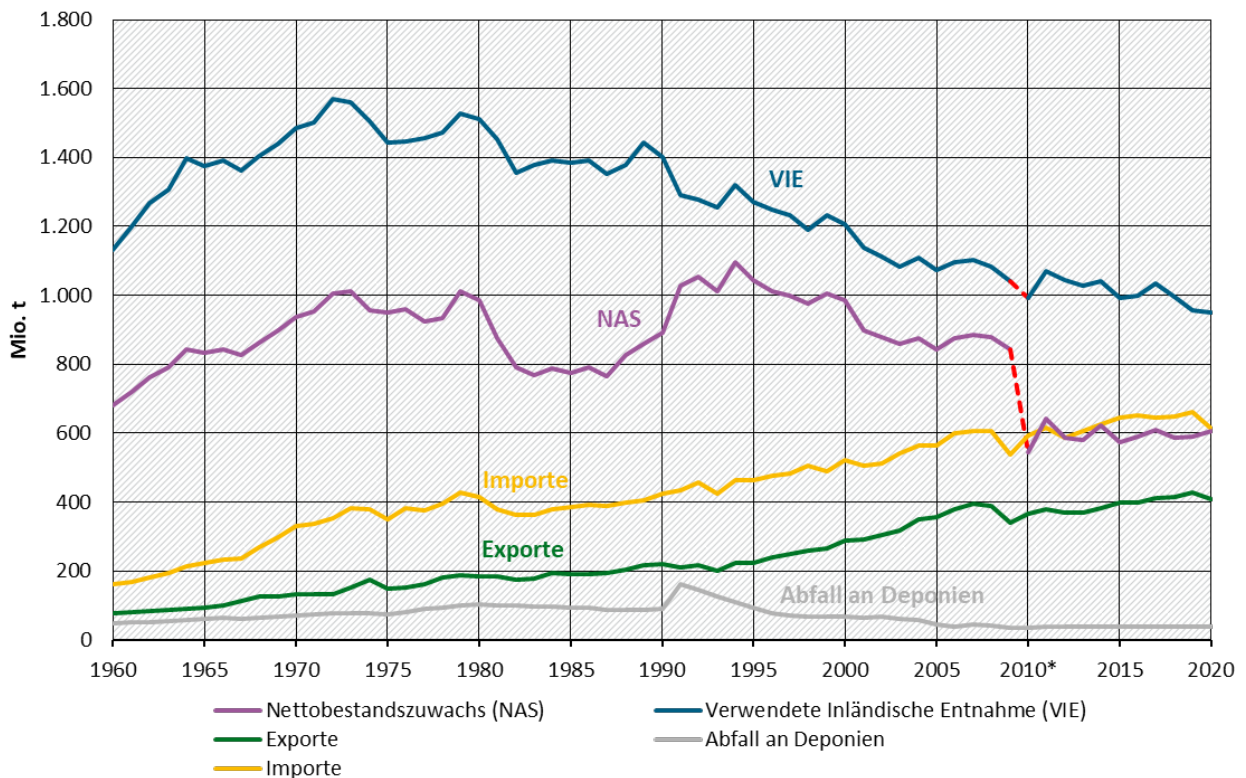
- ▶ **Inputgrößen:** Verwertete inländische Entnahme (VIE), Einfuhr von Gütern und Rohstoffen und Entnahme von Gasen¹.
- ▶ **Outputgrößen:** Verwertete inländische Abgabe (VIA) in Form von Treibhausgasen und Luftschadstoffen (vormals „Luftemissionen“), Emissionen im Abwasser, dissipativem Gebrauch von Produkten, dissipativer Verluste (Reifen-Bremsabrieb) und der Abgabe von sonstigen Gasen² sowie der Ausfuhr von Gütern und Rohstoffen.

¹ Diese dient dem Bilanzausgleich auf der Inputseite; sie umfasst: Sauerstoffentnahme für Verbrennungsprozesse, Sauerstoffentnahme für Atmung von Menschen und Nutztieren, Stickstoffentnahme für Verbrennungsprozesse und zur Bildung von Distickstoffoxid.

² Diese dient dem Bilanzausgleich auf der Outputseite; sie umfasst: Wasserdampf aus Verbrennungsprozessen und durch die Atmung und Haut von Menschen und Nutztieren. Die Kohlendioxidabgabe durch Atmung von Menschen und Nutztieren wird bereits im Rahmen der „Treibhausgase“ bilanziert.

Abbildung 1 zeigt den NAS, andere direkte Materialflüsse sowie die Abfälle an Deponien.

Abbildung 1: Direkte Materialflüsse sowie Nettobestandszuwachs und Abfall an Deponien in Deutschland 1960–2020 [Mio. t]



Quelle: Eigene Darstellung; 1960–2009 auf der Basis von Schiller et al. (2015) (nach Destatis (2012a), 2010–2020 auf der Basis von Destatis (2023a); Anmerkung: die gestrichelte rote Linie zeigt die Brüche zwischen den Daten der UGR 2012 und der UGR 2023 der VIE und folglich der NAS. *Ab 2010 werden Daten aus der UGR 2023 dargestellt.

Importe und Exporte Deutschlands zeigen über den Zeitraum von 1960 bis 2020 einen konstanten Anstieg, mit Einbrüchen im Jahr 2009. Seit 2010 sind die Importe bis 2020 um 3,4 % gestiegen, die Exporte sogar um 11,3 % im Vergleich zu 2010. Die verwertete inländische Entnahme (VIE) zeigt bis in die 1970er Jahre hinein einen Anstieg. Bedingt durch verminderte Fördermengen von Energieträgern (Stein- und Braunkohle) sowie von mineralischen Rohstoffen nahm die VIE seither deutlich ab (Schiller et al. 2015). Sie lag 2020 bei rd. 941 Mio. t. Das entspricht einer Reduktion der VIE um 4,3 % gegenüber 2010³.

Der Nettobestandszuwachs verzeichnete eine fluktuierende Entwicklung in den letzten 60 Jahren. Nach dem Anstieg zwischen 1960 bis zum Beginn der 1970er Jahre blieb der NAS bis in die 1980er Jahre konstant hoch. Schließlich sank er auf sein bis dato niedrigstes Niveau von rund 766 Mio. t im Jahr 1987. 1994 erreichte der NAS seinen Höchststand mit rund 1.094 Mio. t. In den darauffolgenden 20 Jahren sank der NAS wiederum deutlich.

Auf Grund von Änderungen in den Rechenständen von Destatis (siehe im Folgenden) errechneten Schiller et al. (2015) einen NAS-Wert von rund 820 Mio. t im Jahr 2010. Auf Basis der Daten der aktuellsten UGR (2023) resultierte jedoch für das Jahr 2010 ein NAS-Wert in Höhe von 544 Mio. t, das entspricht einer Differenz von rund 33 %. Die Daten der vergangenen 10

³ bzw. -6,5 % seit 2010 nach dem alten Rechenstand (Schiller et al. 2015).

Jahre zeigen eine leicht ansteigende, jedoch fluktuierende Entwicklung auf einem durchschnittlichen Niveau von rund 600 Mio. t.

Im Zeitraum von 1960 bis 2010 wurden insgesamt (ohne Abfaldeponierung) netto 42,3 Mrd. t Material im anthropogenen Lager akkumuliert (im Mittel rund 829 Mio. t pro Jahr) (Schiller et al. 2015). Nach der UGR 2023 wurden im Zeitraum von 2010 bis 2020 netto 6,5 Mrd. t Material im anthropogenen Lager Deutschlands akkumuliert (im Mittel rund 532 Mio. t pro Jahr). Auf Grund der Differenz in den Daten der UGR 2023 gegenüber der UGR 2012, ist der aktuelle Zeitraum nicht mit dem Zeitraum aus KartAL I vergleichbar. Eine Rückrechnung der NAS nach aktueller UGR-Revision ist lediglich bis 1994 erfolgt.

Für das Jahr 2020 resultiert (auf Basis der UGR 2023) ein NAS von rund 606 Mio. t. Das entspricht einem Anstieg des anthropogenen Lagers von rund 7 t pro Einwohner*in im Jahr 2020 (Destatis 2023b).

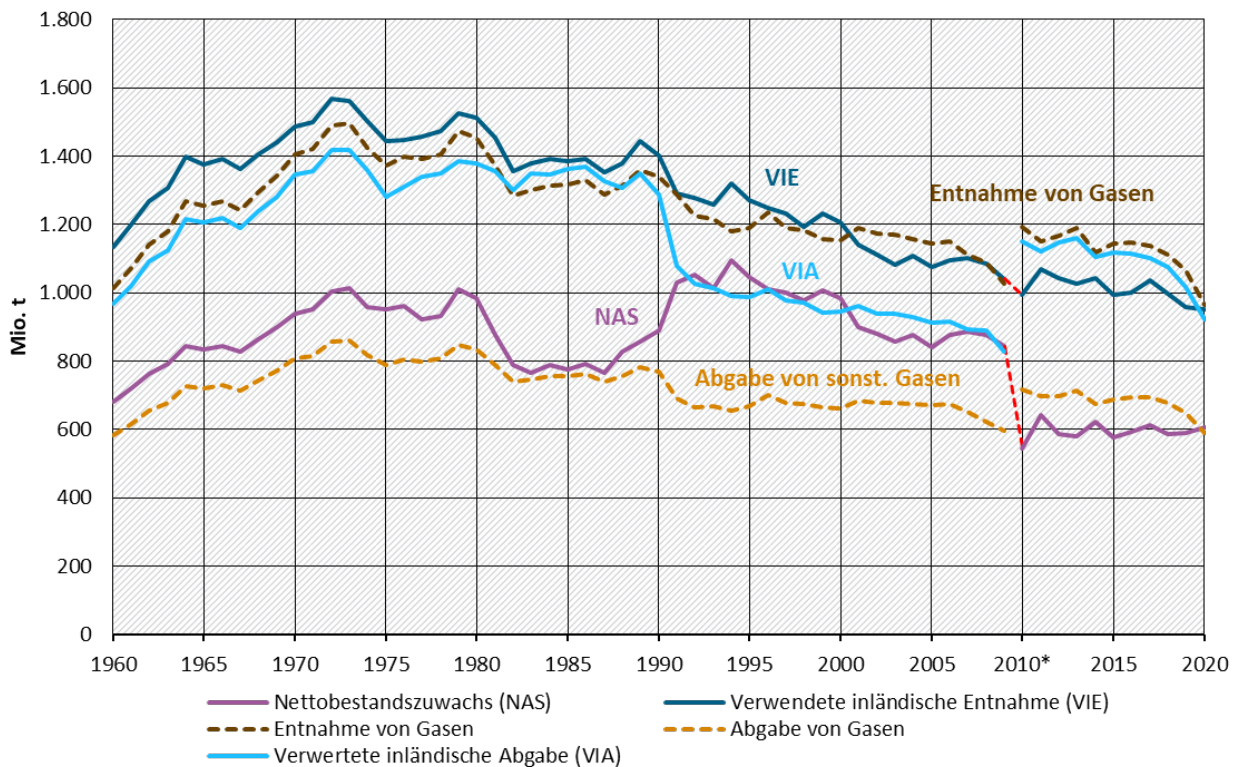
Unterschiede und Brüche in den Datenreihen

Aufgrund der rückwirkenden Revision der UGR Rechenstände entstand bei verschiedenen Datenreihen ein Bruch im Jahr 2010, dem Jahr des letzten Rechenstandes nach Schiller et al. (2015) (siehe VIE, NAS in Abbildung 1). Im Folgenden wird auf die Unterschiede, die sich aus dem Vergleich der UGR 2012 (Destatis 2012a), die Schiller et al. genutzt hatten, und der aktuellen UGR 2023 (Destatis 2023a) ergeben, näher eingegangen.

Die wesentlichen Unterschiede auf der Inputseite sind (siehe Abbildung 2): Die verwertete Entnahme von Gasen (Sauerstoff: für Verbrennungsprozesse und für Atmung von Menschen und Nutztieren; Stickstoff: für Verbrennungsprozesse) liegt im Jahr 2010 nach der UGR 2023 um rund 107 Mio. t höher als nach der UGR 2012.

Auf der Seite der verwerteten inländischen Entnahme sind ebenfalls Abweichungen festzustellen. Relevante Veränderungen sind wie folgt: In der UGR 2023 liegen die fossilen Energieträger insgesamt um rund 1,8 % höher als nach der UGR 2012; insbesondere liegt dies an Erdgas, Grubengas und Erdölgas (+5 % im Vergleich zur UGR 2012). Die sonstigen mineralischen Rohstoffe liegen in der UGR 2023 ebenfalls um 0,6 % höher als in der UGR 2012. Bei den biotischen Rohstoffen ist festzustellen, dass diese in der UGR 2023 um 12 % niedriger liegen als in der UGR 2012. Die Abweichungen führen zu einer Gesamtdifferenz der VIE, die nach UGR 2023 um 23 Mio. t im Jahr 2010 niedriger liegt als nach UGR 2012.

Abbildung 2: Direkte Materialflüsse der Input- und Outputseite sowie Nettobestandszuwachs in Deutschland von 1960–2020 [Mio. t]



Quelle: Eigene Darstellung; 1960–2009 auf der Basis von Schiller et al. (2015) (nach Destatis (2012a)), 2010–2020 auf der Basis von Destatis (2023a). *Ab 2010 werden Daten aus UGR 2023 gezeigt. Anmerkung: Die VIA enthält nach der UGR 2023 THG, die auch Kohlendioxid durch Atmung von Menschen und Tieren beinhalten, diese Position wurde in der UGR 2012 unter der Abgabe von sonstigen Gasen bilanziert.

Auf der Outputseite liegen die Hauptunterschiede zwischen der UGR 2023 und der UGR 2012 bei der verwerteten inländischen Abgabe (insbesondere bei den Luftemissionen) und bei der Abgabe von sonstigen Gasen.

Die VIA setzt sich nach der UGR 2023 aus den Treibhausgasen (THG) und den Luftschadstoffen (vormals nach der UGR 2012 – Luftemissionen), den Emissionen im Abwasser, dem dissipativen Gebrauch von Produkten und den dissipativen Verlusten zusammen. Zudem wird eine Position „Verwertete Abgabe von Gasen“ (UGR 2023) bzw. „Abgabe von sonstigen Gasen“ (UGR 2012) gelistet. Diese enthielt ursprünglich Wasser aus Verbrennungsprozessen, sowie die Atmungsemissionen CO₂ und H₂O. Das Kohlendioxid wird in der UGR 2023 jedoch zu den THGs gezählt.

Nach der UGR 2012 liegen die Luftemissionen (UGR 2012) bzw. Treibhausgase und Luftschadstoffe (UGR 2021) im Jahr 2010 um 179,8 Mio. t höher als nach UGR 2012. Zentral erscheint dabei die Abweichung der Kohlendioxidemissionen, die nach UGR 2021 um 177,8 Mio. t (rd. 22 %) höher liegen als nach UGR 2012 (Tabelle 1).

Tabelle 1: Abweichungen in den Luftemissionsdaten der UGR 2012 und der UGR 2021

Gegenstand der Nachweisung	Differenz UGR 2023 und 2012 in [Mio. t]	%- Abweichung UGR 2023 gegenüber 2012
Treibhausgase und Luftschadstoffe (vormals Luftemissionen)⁴	+180	+22 %
Kohlendioxid (CO ₂)*	+178	+19 %
Kohlenmonoxid (CO)	+0,47	+14 %
Stickoxide (NO _x)	+0,63	+48 %
Schwefeldioxid (SO ₂)	+0,11	+25 %
Distickstoffoxid (N ₂ O)	-0,10	-56 %
Ammoniak (NH ₃)	-0,24	-44 %
Methan (CH ₄)	+0,06	+2 %
Partikel (Staub)	+0,63	+239 %
Flüchtige organische Verbindungen außer Methan (NMVOC)	+0,35	+33 %

Quelle: Eigene Zusammenstellung; *Atmungsemissionen (CO₂) werden in der UGR 2012 zwar unter der Position „Abgabe von sonstigen Gasen“ bilanziert, in der UGR 2023 allerdings unter den Treibhausgasen.

Zudem werden in der UGR 2023 weitere Treibhausgase und Luftschadstoffe ausgewiesen, die in UGR 2012 nicht in die Berechnung einfließen. Dies betrifft teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC) (rd. 6.000 T), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) (40 T), Schwefelhexafluorid (SF₆) (132 T), Schwermetalle (711 T), persistente organische Schadstoffe (POPs) (153 T), Stickstofftrifluorid (NF₃) (4 T).

Die Abgaben von sonstigen Gasen (nur Wasserdampf) liegen im Jahr 2010 nach der UGR 2023 um 182 Mio. t höher als nach der UGR 2012, vor allem die Abgabe von Wasser aus Verbrennungsprozessen liegt nach der UGR 2023 um 25 % höher als nach der UGR 2012.

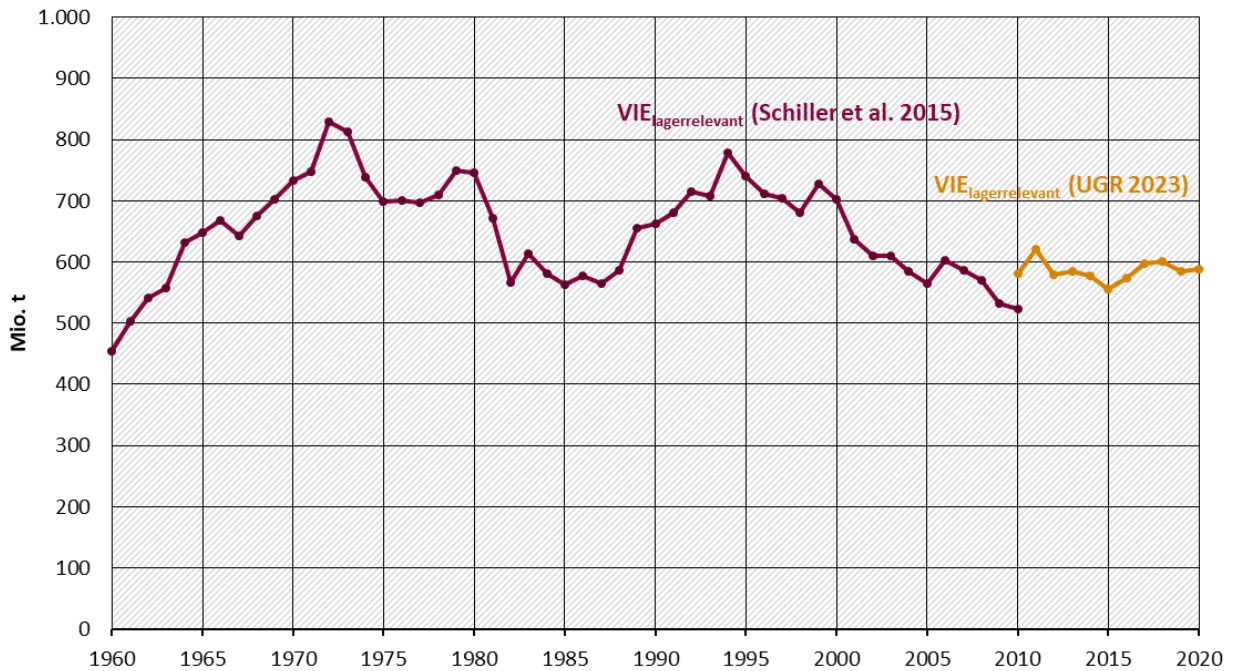
Auf Grund der Differenzen zwischen der UGR 2023 und UGR 2012 ergibt sich ein NAS, der um 279 Mio. t niedriger liegt als nach der UGR 2012 errechnet bzw. nach Schiller et al. (2015) mit rund 820 Mio. t ausgewiesen wurde.

Abbildung 3 zeigt einen ausgewählten Datensatz, der nur die lagerrelevante Extraktion berücksichtigt auf Basis von Schiller et al. (2015), Destatis (2012a) und Destatis (2023a) sowie FAO (2023). Die dargestellte VIE umfasst Bauminerale, Erze und Holz. Die Extraktion bestand über den gesamten Zeitraum 1960 bis 2010 (Schiller et al. 2015) und auch im neu berechneten Zeitraum zu überwiegendem Teil (zu ca. 95–99 %) aus Baumineralien. Seit Mitte der 1990er Jahre zeigt sich eine fast kontinuierliche Abnahme bis 2010 auf 523 Mio. t (nach Schiller et al. 2015) bzw. nach der UGR (2023) auf 581 Mio. t lagerrelevante Extraktionen (Destatis 2023a). Im Zeitraum 2010 bis 2020 liegt die lagerrelevante Extraktion auf einem gleichbleibenden Niveau und liegt im Jahr 2020 bei rund 590 Mio. t.

⁴ Diese setzten sich unter anderen zusammen aus: Treibhausgasen (Kohlendioxid (CO₂) durch Verbrennung und Industrieprozesse, Kohlendioxid (CO₂) durch Atmung von Menschen und Nutztieren, Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O) u.a.) und Luftschadstoffen (Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO₂), Ammoniak (NH₃), Flüchtige organische Verbindungen außer Methan (NMVOC), Partikel (Staub), u.a.).

Die lagerrelevante Extraktion zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Netto-Bestandszunahme, und entspricht in ihrem physischen Ausmaß dem Großteil des NAS. Im Folgenden wurde sie daher auch zur Top Down-Schätzung der Bestandsgröße herangezogen.

Abbildung 3: Lagerrelevante inländische Rohstoffentnahmen in Deutschland 1960–2020 [Mio. t]



Quelle: Eigene Darstellung; 1960–2010 auf der Basis von Schiller et al. (2015) (nach Destatis (2012a)), 2010–2020 auf der Basis von Destatis (2023a) und FAO (2023). Anmerkung: aufgenommene lagerrelevante Rohstoffe umfassen Baumineralien⁵, Erze und Holz⁶.

⁵ Diese inkludieren ab 2010 alle Positionen der Steine, Erden und Industriemineralien: Bausande und andere natürliche Sande, Brechsande, Körnungen, Splitt, Mehl von Natursteinen, Kieselsaure Sande und Quarzsande, Kiese und Feldsteine, Naturstein, Kalk-, Gipsstein und Anhydrit, Kreide und Dolomit, Lehm (Ziegelton), Kaolin und anderer Spezialtone, Stein-, und Siedesalz, Industriesole, Kalisalze, Schwefel(-kies), Fluss-, Schwerspat, sonstige chemische und Düngemittelminerale und sonstige mineralische Rohstoffe. Davon abgezogen werden die dissipativen Stoffe unter der verwerteten Abgabe von Material an die Umwelt (Streusalz und mineralischer Dünger). Aufgrund der Aufnahme der gesamten Position der Steine, Erden und Industriemineralien, entsteht für das Jahr 2010 ein Bruch zwischen den Ergebnissen aus Schiller et al. (2015) und der UGR (2023).

⁶ Die inländische Entnahme setzt sich aus Säge- und Furnierholz sowie anderes Industrieholz zusammen.

2 Top-Down Analyse der Input-, Output- und lagerinternen Materialflüsse nach Güter- und Materialgruppen (Analyseschicht 2)

Ziel der Analyseschicht 2 ist es, eine differenziertere Aussage über die in Analyseschicht 1 betrachteten Daten zu treffen. Eine differenzierte Darstellung der Güter nach Materialkategorien und Gütergruppen auf Basis der Produktionsstatistiken, der Außenhandelsstatistiken und der Abfallstatistiken, ermöglichen einen tiefgreifenden Blick in die Materialflüsse in und aus dem anthropogenen Lager. Verbandsstatistiken erweitern die von statistischen Ämtern öffentlich zugänglichen Daten und helfen dabei diese zu plausibilisieren. Die hier dargelegten Analyseschritte basieren weitgehend auf dem Vorgänger-Projekt (KartAL I) nach Schiller et al. (2015).

Die nachfolgenden Analysen und Ergebnisse umfassen das Jahr 2010, das vorrangig zum Abgleich mit den Ergebnissen aus KartAL I dient, und die beiden Jahre 2015 und 2020. Die beiden Jahre, die den Fokus des Projektes bilden, können nur bedingt einen Trend abbilden, insbesondere da das Jahr 2020 von Einschränkungen durch die Corona-Pandemie geprägt war.

In Kapitel 2.1 wird das methodische Vorgehen erläutert. Es wurde darauf geachtet, die Ermittlung und Auswertung der Materialflüsse der Methodik nach Schiller et al. (2015) anzupassen, um die Nachvollziehbarkeit und Übereinstimmung der Ergebnisse zu ermöglichen. Zunächst wurden die Materialflüsse der Im- und Exporte auf Grundlage der Außenhandelsstatistik bestimmt. Die inländische Produktion langlebiger Güter wurde auf Grundlage der Produktionsstatistiken ermittelt. Datenlücken und methodische Herausforderungen in der Vorgehensweise nach KartAL I erforderten ein Ausweiten der Methodik auf die strukturellen Unternehmensstatistiken (SBS), die zusätzlich herangezogen wurden.

Infobox 1: Was sind lagerrelevante Güter?

Stoffe, Materialien und Güter, die etwa im Rahmen wirtschaftlicher Aktivitäten zu Veränderungen der Größe und der Zusammensetzung des anthropogenen Lagers führen (z. B. Gebäude, Autos, Maschinen, etc.) werden grundsätzlich als „lagerrelevant“ bezeichnet. Für die Bestimmung der Lagerrelevanz ist die Lebensdauer bzw. die Verweildauer der Materialien oder Stoffe in Gütern ausschlaggebend. Langlebige Güter sind daher lagerrelevant, kurzlebige Güter, mit einer Lebensdauer von weniger als einem Jahr, werden als sogenannte „Durchflussgrößen“ bezeichnet und gehen nicht ins Lager ein (z.B. Nahrungsmittel, chemische Erzeugnisse wie Schädlingsbekämpfung-, Pflanzenschutz- und Desinfektionsmittel). (Schiller et al. 2015)

Ziel der hier vorliegenden Analyse ist es, ein Grundverständnis der gesamtwirtschaftlichen Materialflüsse und Bestandsentwicklungen zu etablieren. Dieses soll als Wissensbasis dienen für eine Vergegenwärtigung der Tragweite, welche Urban Mining zukünftig erreichen kann. Mit dem Fokus auf die Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen aus langlebigen Produkten, Gebäuden, Infrastrukturen und Ablagerungen, wurden Gütergruppen wie z.B. Bekleidung und andere Textilien, Leder, Papiererzeugnisse und Pappe, Kraftstoffe sowie Verpackungen nicht in die Analyse integriert.

Grundsätzlich werden drei aggregierte Gütergruppen betrachtet: Kapitalgüter (Investitionsgüter), langlebige Konsumgüter (Gebrauchsgüter) und Baustoffe.

2.1 Datengrundlagen und methodisches Vorgehen zur Ermittlung der Materialflüsse des anthropogenen Lagers Deutschlands

Import-Export-Daten wurden aus der Comext Datenbank von Eurostat entnommen (Eurostat 2023a). Die lagerrelevanten Güter wurden entlang der Verordnung (EG) Nr. 656/2007 der Kommission⁷ den aggregierten Klassen der Kapitalgüter, der langlebigen Konsumgütern und der Baustoffe zugewiesen, wobei Pkws, Wohnmobile und -anhänger zu den langlebigen Konsumgütern gezählt wurden. Zusätzlich zur Verordnung wurden relevante Güter aufgenommen und den Gütergruppen zugeordnet. Die Baustoffe wurden getrennt von den Kapitalgütern und langlebigen Konsumgütern betrachtet und überschneiden sich nicht mit diesen. Schiller et al. (2015) betrachteten außerdem die lagerrelevanten Halbwaren und Rohstoffe, die in den beiden zusammenfassenden Tabellen (Tabelle 2 und Tabelle 3) in Kapitel 2.2.4 aufgenommen wurden. Eine Einteilung nach Materialkategorien erfolgte nach dem elektronischen Fragebogen von Eurostat für die Datenerhebung 2023 über die gesamtwirtschaftlichen Materialflussrechnungen (*Economy-wide material flow accounts, EW-MFA*)⁸ (Eurostat 2022a; b). Nicht zuordenbare Güter wurden anhand der Güterbeschreibungen kategorisiert. Eine genaue Zuordnung zu einer Kategorie ist allerdings mit Unschärfen verbunden, da sich Güter meist aus mehr als einem Material zusammensetzen, weshalb es sich um Güter „vorwiegend“ aus einem bestimmten Material handelt. Güter, die keiner Kategorie eindeutig zugeordnet werden können, wurden unter der Kategorie „andere Produkte“ ausgewiesen. Kapitel 2.2 fasst die Ergebnisse der Analyse der Handelsdaten zusammen.

Für die Materialflüsse der inländischen Produktion wurden vorrangig zwei Quellen genutzt. Die Materialflüsse der inländischen Produktion von Kapitalgütern und langlebigen Konsumgütern basieren auf den Produktionsstatistiken (Prodcom) von Eurostat (2023b), die Analyse der Materialflüsse der Baumaterialien basiert auf den Güterproduktionsstatistiken des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2023c; d). Die Entscheidung, Destatis als Quelle für die Materialflussanalyse der Baumaterialien zu nutzen, basiert auf Schiller et al. (2015), wonach „[f]ür die Gütergruppe der Baustoffe [...] mit dem für die Kapital- und Konsumgüter gewählten Vorgehen aufgrund von Zuordnungsproblemen keine zufriedenstellenden Aussagen generieren [lassen]. Deshalb wurde für diese Gruppe ein abweichendes Vorgehen gewählt.“ (Schiller et al. 2015, S. 24).

Ausgehend von den Produktionsstatistiken (Prodcom) nach Eurostat (2023b) wurden die Kapital- und langlebigen Konsumgüter, wie bei der Analyse der Handelsdaten, entlang der Verordnung (EG) Nr. 656/2007 der Kommission zugewiesen sowie die bereits erweiterten Gütergruppen aufgenommen. Die Pkws und andere Fahrzeuge wie Wohnwagen wurden wieder zu den langlebigen Konsumgütern gezählt. Einteilung nach Materialkategorien erfolgte, wie bei den Handelsgütern nach dem elektronischen Fragebogen von Eurostat (Eurostat 2022a; b).

Da die Prodcom-Daten nach Eurostat nicht ausschließlich in Gewichtseinheiten vorlagen, und teilweise Mengenangaben fehlten, erfolgten mehrere methodische Schritte für die Umrechnung. Wie bereits in Schiller et al. (2015) wurden Konversationsfaktoren aus den Anhängen des Fragebogens von Eurostat für die Datenerhebung 2023 der EW-MFA (Eurostat 2022b) zur Umrechnung genutzt. Waren weder Produktionsmengen noch Konversationsfaktoren

⁷ Verordnung (EG) Nr. 656/2007 der Kommission vom 14. Juni 2007 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 586/2001 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1165/98 des Rates über Konjunkturstatistiken: Definition der industriellen Hauptgruppen (MIGS); URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX:32007R0656>

⁸ Economy-wide material flow accounts (EW-MFA) 2023 questionnaire & Economy-wide material flow accounts (EW-MFA) - annexes of the 2023 questionnaire, bezogen von Eurostat, Version 18, Oktober 2022; URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/environment/methodology>.

vorhanden, so wurden fehlende Mengen über den Produktionswert aus Prodcum und den Exportwert pro Gewichtseinheit aus den Handelsdaten der Comext Datenbank von Eurostat ermittelt. Für die Umrechnung sogenannter CGT-Einheiten (*compensated gross tonnes*) in Gewichtseinheiten wurde das neue CGT-System nach OECD (2006) verwendet.

Kapital- und langlebige Konsumgüter, für die über keine der genannten Vorgehensweisen in Anlehnung an die Methodik in Schiller et al. (2015) Produktionsmengen ermittelt werden konnten, wurden gefiltert und in einem weiteren Schritt separat behandelt (dies waren je nach Jahr zwischen 637–671 Kapitalgüter und zwischen 206–209 langlebige Konsumgüter). Für diese „ausstehenden“ Güter wurde der Produktionswert der bereits errechneten Güter der Gütergruppe nach Prodcum identifiziert. In weiterer Folge wurden die strukturellen Unternehmensstatistiken (SBS-Daten) von Eurostat bezogen (Eurostat 2023c). Diese Datenbank ist äußerst umfangreich und vollständig, allerdings können die Daten nur auf eine sektorale Ebene (Ebene der Gütergruppen) aufgeschlüsselt werden. Über den gesamten Produktionswert der Gütergruppen aus den SBS-Daten, abzüglich der bereits ermittelten Produktionswerte der Güter aus Prodcum sowie den Exportwerten pro Gewichtseinheit aus Comext, konnten die Produktionsmengen der ausstehenden Güter hergeleitet werden.

Zuletzt wurden die Daten zur Produktion von Baustoffen auf Basis der Güterproduktionsstatistiken des Statistischen Bundesamtes analysiert (Destatis 2023c; d). Das Kapitel 2.3 fasst die Ergebnisse der Analyse der Gütergruppen und Materialkategorien zusammen.

Zudem wurden Analysen der abfallwirtschaftlich geprägten Daten hinzugezogen. Hierfür wurden sowohl die Importe und Exporte abfallwirtschaftlicher lagerrelevanter Materialien als auch lagerinterne Materialströme berücksichtigt. Die im Inland anfallende Abfallentsorgung basiert vorwiegend auf der Abfallstatistik von Destatis (2012b, 2017) (Für die beiden Jahre 2010 und 2015: Fachserie 19, Reihe 1; Für 2020: GENESIS-Online Datenbank des statistischen Bundesamtes – Abfallentsorgung 2020 (32111-0004)⁹(Destatis 2023e)). Die Abfallstatistiken von Destatis sind nach dem Europäischen Abfallverzeichnis (EAV) aufgeschlüsselt. Die ins Ausland exportierten (notifizierungspflichtigen) Abfälle sowie die entsprechenden nach Deutschland importierten Mengen werden nach dem Baseler Übereinkommen überwacht und für Deutschland vom Umweltbundesamt statistisch ausgewertet. Die grenzüberschreitende Verbringung notifizierungspflichtiger und nicht-notifizierungspflichtiger Abfällen werde vom Umweltbundesamt als Zeitreihen veröffentlicht (UBA 2022). Da die Zeitreihen des Umweltbundesamtes nach Zoll-Codes bzw. Abfallkategorien nach der EG-Abfallverbringungsverordnung eingeordnet werden, lassen sich diese nicht mit den Annahmen für die materialspezifische Zusammensetzung nach EAV verknüpfen.

Die Zuordnung der Zusammensetzung bzw. die materialgruppenspezifischen Anteile an den jeweiligen Abfallmengenströme wurde auf Basis der Ergebnisse aus Steger et al. (2019) umgesetzt, zusätzlich waren weitere Schätzwerte für einzelne Abfallfraktionen nötig.

⁹ Im Berichtsjahr 2017 ist die Fachserie 19, Reihe 1 zuletzt erschienen, der statistische Bericht bzw. die Online-datenbank GENESIS lösen diese ab (EVAS-Nummer der Statistik zur Recherche in GENESIS-Online: 32111).

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

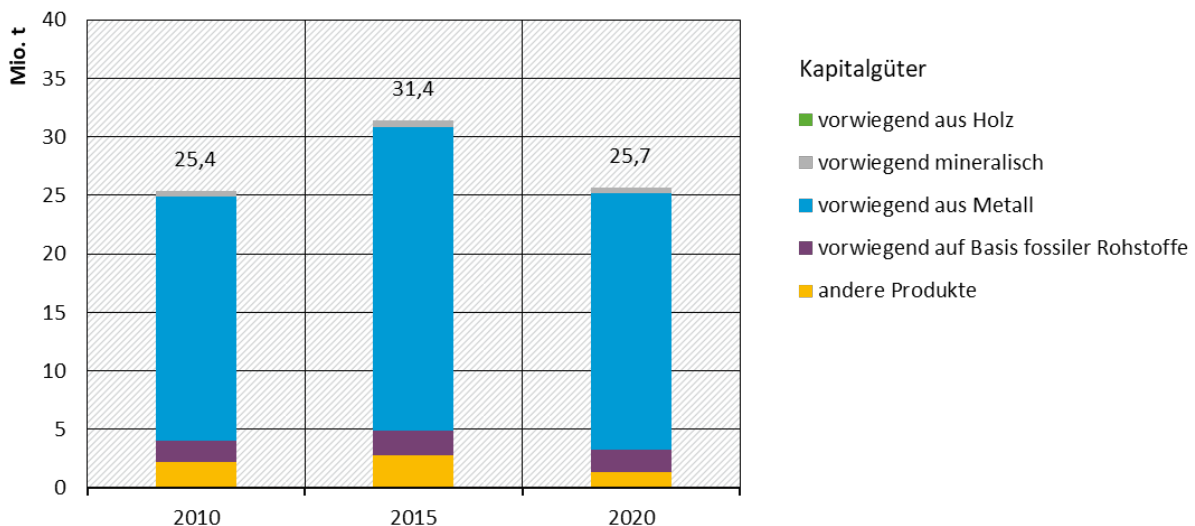
2.2.1 Kapitalgüter

Abbildung 4 zeigt die Importe der Kapitalgüter nach Deutschland für die Jahre 2010, 2015 und 2020. Nach Schiller et al. (2015) wurden 2010 insgesamt 20,9 Mio. t an Kapitalgütern importiert. Auf Basis der Neuberechnung konnten für das Jahr 2010 rund 25 Mio. t an Kapitalgüter-Importen ausgewiesen werden. Für die Jahre 2015 und 2020 zeigt sich ein Anstieg der Importe von Kapitalgütern gegenüber 2010 von rund 24 % bzw. 1 %. Im Jahr 2020 lagen die Importe um rund 18 % niedriger als noch im Jahr 2015.

Die importierten Güter bestanden zum Großteil aus Metallen (>80 %). Der nicht weiter differenzierte Posten „andere Produkte“ fiel im Jahr 2015 mit 9 % und im Jahr 2020 mit einem Anteil von 5 % ins Gewicht. Güter vorwiegend auf der Basis fossiler Rohstoffe nahmen in allen drei Jahren einen Anteil von rund 7 % ein.

Der deutlich erkennbare Höchststand an Kapitalgütern im Jahr 2015, gegenüber den Jahren 2010 und 2020 wurde vorrangig durch metallische Gütergruppen hervorgerufen. Insgesamt stiegen die Güter vorwiegend aus Metallen um rund 5 Mio. t. Darunter fielen beispielsweise die Gütergruppen „Herstellung von sonstigen Teilen und sonstigem Zubehör für Kraftwagen“ (+1,2 Mio. t), „Herstellung von Metallkonstruktionen“ (+1 Mio. t), „sonstige Metallwaren“ (+0,6 Mio. t) und „Herstellung von Batterien und Akkumulatoren“ (+0,4 Mio. t).

Abbildung 4: Importe der Kapitalgüter nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020



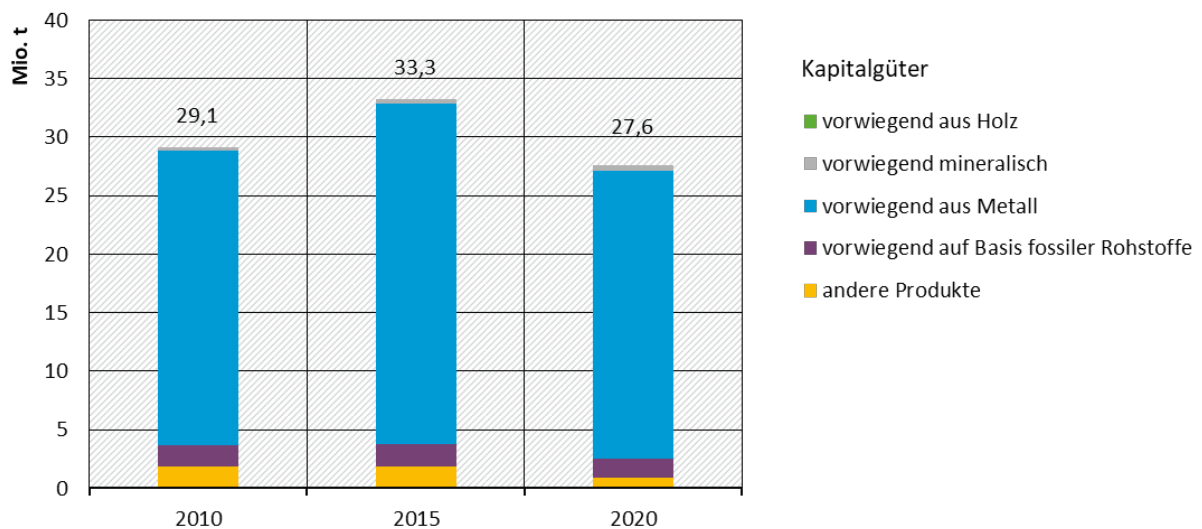
Quelle: Eigene Darstellung

Der Gesamtexport der Kapitalgüter 2010 lag nach Schiller et al. (2015) bei 26,5 Mio. t, die Neuberechnung ergab einen Gesamtexport von rund 29 Mio. t. Abbildung 5 zeigt darüber hinaus den Export der Kapitalgüter für die Jahre 2015 und 2020. Gegenüber 2010 stiegen die Exporte bis zum Jahr 2015 um 14 %, im Jahr 2020 lagen die Exporte um 17 % niedriger als 2015, und um 5 % niedriger als noch 2010. Der Rückgang der Exporte 2020 gegenüber 2015 lässt sich vermutlich auf die Folgen der Einschränkungen während der Corona-Pandemie zurückführen, für eine tiefergehende Trendanalyse müssten jedoch auch die Jahre vor und nach der Pandemie betrachtet werden, dies war jedoch nicht Gegenstand der Analyse im vorliegenden Projekt.

Die Differenzierung der Exportströme nach Materialgruppen zeigt ähnliche Ausprägungen wie bei den Importströmen. Die überwiegende Menge der Güter ist den Metallen zuzuordnen (>80 %). Güter vorwiegend auf Basis fossiler Rohstoffe lagen in allen drei Jahre bei rund 6 % der Gesamtexporte; der nicht weiter differenzierte Posten „andere Produkte“ lag im Jahr 2010 und 2015 bei 6 % und 2020 bei einem Anteil von 3 %.

Im Jahr 2015 ist, wie auch bei den Importen, ein deutlicher Höchststand an Kapitalgütern gegenüber den Jahren 2010 und 2020 erkennbar. Auch bei den Exporten bewirkten vorwiegend metallische Gütergruppen einen Anstieg um rund 4 Mio. t im Vergleich zu 2010. Darunter fielen vorrangig dieselben Gütergruppen, die auch bei den Importen den Peak hervorriefen. In absteigender Reihenfolge waren dies die Gütergruppen „Herstellung von sonstigen Teilen und sonstigem Zubehör für Kraftwagen“ (+1,4 Mio. t), „Herstellung von Metallkonstruktionen“ (+1,2 Mio. t), „sonstige Metallwaren“ (+0,5 Mio. t) und „Herstellung von Batterien und Akkumulatoren“ (+0,5 Mio. t). Für alle drei Jahre zeigte sich ein Exportüberschuss.

Abbildung 5: Exporte der Kapitalgüter nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020



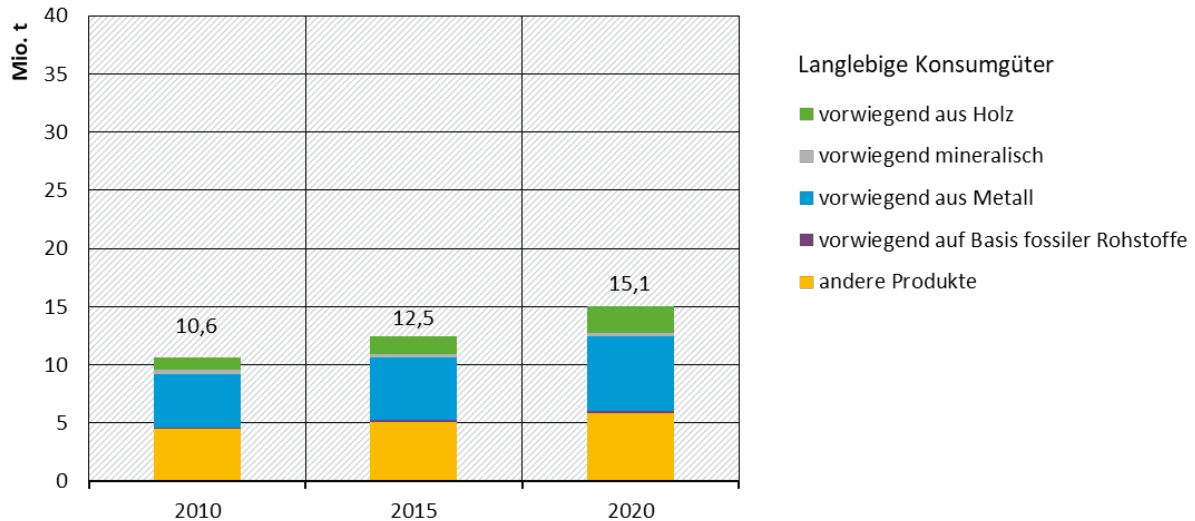
Quelle: Eigene Darstellung

2.2.2 Langlebige Konsumgüter

Abbildung 6 zeigt die Importe der langlebigen Konsumgüter nach Deutschland für die Jahre 2010, 2015 und 2020. Nach Schiller et al. (2015) wurden 2010 insgesamt 7,6 Mio. t langlebiger Konsumgüter importiert. Auf Basis der Neuberechnung konnten für das Jahr 2010 insgesamt 10,6 Mio. t importierter langlebiger Konsumgüter ausgewiesen werden. Für die Jahre 2015 und 2020 zeigte sich ein Anstieg dieser Importe gegenüber 2010 von rund 18 % bzw. 42 %.

Die importierten langlebigen Konsumgüter bestanden überwiegend aus Metallen und dem Posten „anderen Produkte“, die über den EW-MFA-Fragebogen nach Eurostat (2022a) nicht weiter differenziert wurden. Der Anteil der vorwiegend metallischen Güter belief sich in allen drei Jahren auf rund 43 %; der Anteil der „anderen Produkte“ lag 2015 bei rund 41 % und 2020 bei 39 %. Die Kategorie der Güter vorwiegend aus Holz nahm rund 12 % (2015) bzw. 15 % (2020) der Gesamtimporte ein.

Abbildung 6: Importe der langlebigen Konsumgüter nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020



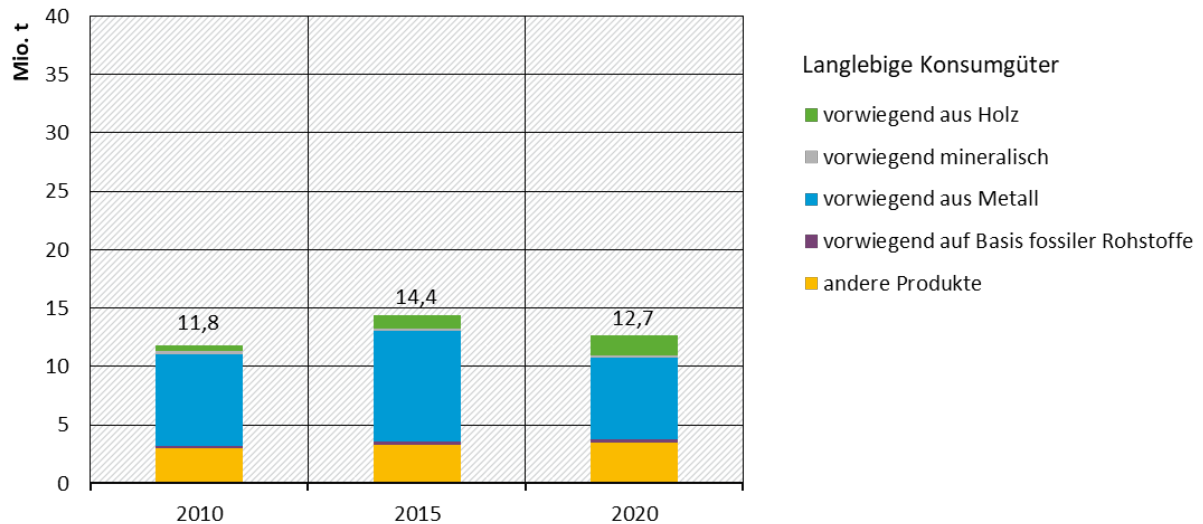
Quelle: Eigene Darstellung

Der Gesamtexport langlebiger Konsumgüter 2010 lag nach Schiller et al. (2015) bei 10,2 Mio. t, die Neuberechnung ergab einen Gesamtexport von 11,8 Mio. t. Abbildung 7 zeigt darüber hinaus den Export der langlebigen Konsumgüter für die Jahre 2015 und 2020. Gegenüber 2010 stiegen die Exporte bis zum Jahr 2015 um 22 %, im Jahr 2020 lagen die Exporte niedriger als 2015, aber um 7 % höher als noch 2010. Der Rückgang der Exporte 2020 gegenüber 2015 lässt sich vermutlich auf die Folgen der Einschränkungen während der Corona-Pandemie zurückführen.

Die überwiegende Menge der exportierten Güter bestand aus Metallen, die Anteile der Güter vorwiegend aus Metallen lagen zwischen 66 % (2010 und 2015) und 55 % (2020). Güter der Kategorie „andere Produkte“ nahmen in den Jahren 2015 und 2020 Anteile von 23 % bzw. 28 % ein. Güter vorwiegend aus Holz nahmen in den betrachteten Jahren einen zunehmenden Anteil ein. 2015 lag dieser bei 8 % und 2020 bei 14 % der Gesamtexporte.

Deutschland wies für das Jahr 2015 einen Exportüberschuss von langlebigen Konsumgütern auf, während im Jahr 2020 ein Importüberschuss vorlag.

Abbildung 7: Exporte der langlebigen Konsumgüter nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020



Quelle: Eigene Darstellung

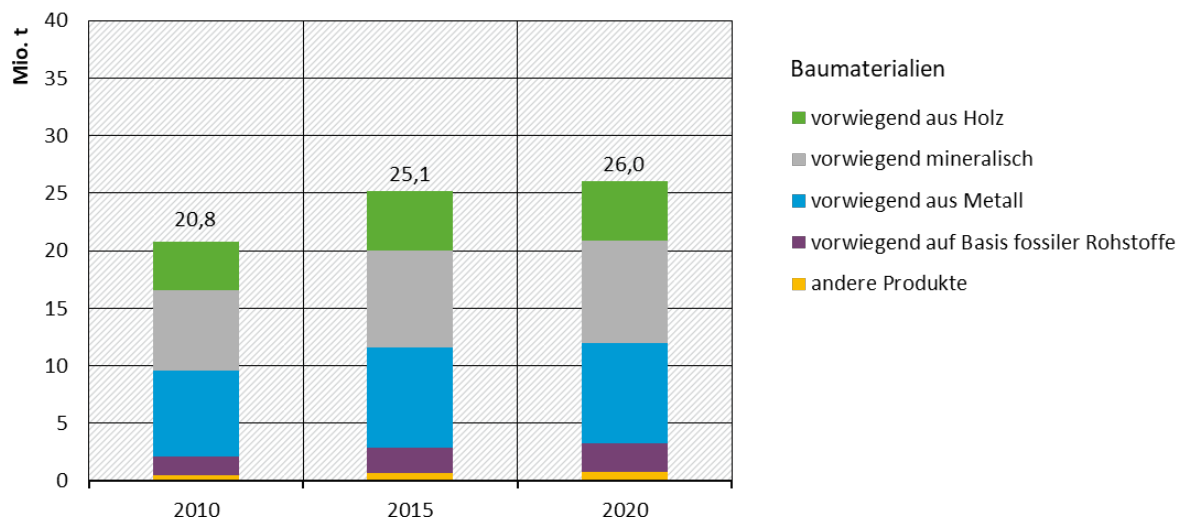
2.2.3 Baustoffe

Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen die Importe und Exporte der Baumaterialien für die Jahre 2010, 2015 und 2020. Das nach Schiller et al. (2015) ermittelte Ergebnis für das Jahr 2010 ergab insgesamt 20,5 Mio. t importierte Baumaterialien und 40,4 Mio. t exportierte Baumaterialien. Auf Basis der Neuberechnung konnten für das Jahr 2010 insgesamt 20,8 Mio. t an Importen und 37,6 Mio. t an Exporten ausgewiesen werden.

Für das Jahr 2015 zeigte sich ein Anstieg sowohl der Importe als auch der Exporte gegenüber 2010 von rund 21 % (Importe) bzw. 2 % (Exporte). Die Importe lagen im Jahr 2020 um 25 % höher als 2010 und um 3 % höher als 2015. Im Jahr 2020 wurden um 2 % weniger Baumaterialien exportiert als noch 2010; im Vergleich zu 2015 wurden um 4 % weniger Baumaterialien exportiert.

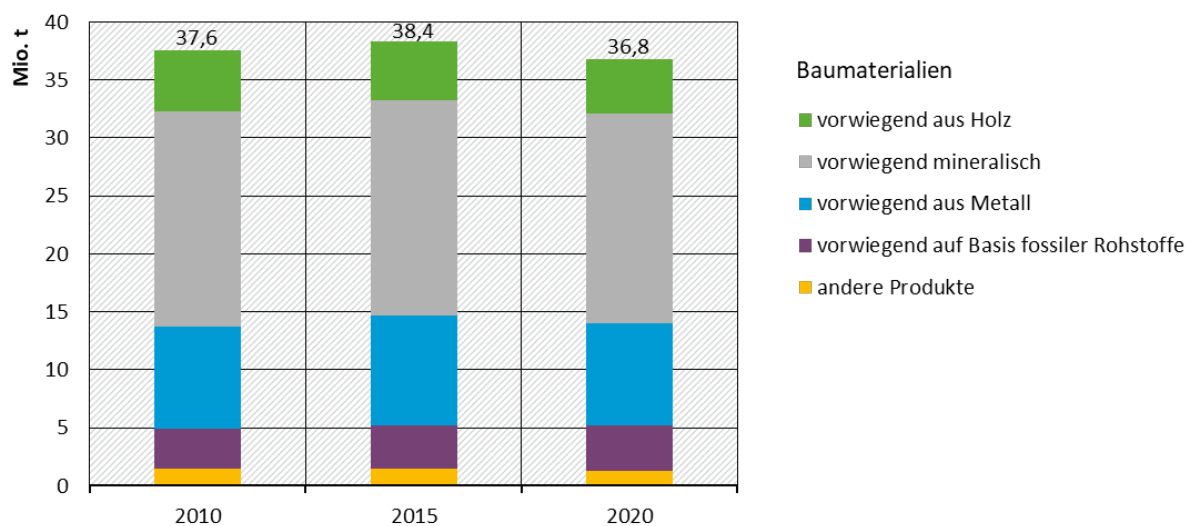
Die importierten Güter bestanden in den Jahren 2010 und 2015 mehrheitlich aus Metallen. Im Jahr 2020 überwogen die mineralischen Rohstoffe mit 34 %. Bei den exportierten Gütern war in allen drei Jahren eine überwiegend mineralische Materialzusammensetzung festzustellen. 2015 nahmen mineralische Materialien rund 48 % ein, 2020 sind es 49 %.

Abbildung 8: Importe von Baumaterialien nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 9: Exporte von Baumaterialien nach Materialgruppen, Deutschland 2010, 2015 und 2020



Quelle: Eigene Darstellung

2.2.4 Zusammenfassende Darstellung der Materialflüsse der Importe und Exporte langlebiger Güter für das Basisjahr 2010 sowie 2015 und 2020 differenziert nach Material- und Gütergruppen

Zusätzlich zu den Handelsdaten wurde in Schiller et al. (2015) eine Einschätzung der lagerrelevanten Verwendung von Rohöl und der Anteil lagerrelevanter Kunststoffe aus Erdöl vorgenommen.

Nach Angaben des Verbands der Chemischen Industrie e.V. (VCI 2019) nutzt die chemische Industrie „[...] rund 15 Prozent des in Deutschland verbrauchten Erdöls zur stofflichen Verarbeitung. Mehr als die Hälfte des Erdöls wird für die Kraftstoffherstellung genutzt, der Rest energetisch. In Deutschland entfallen vom Verbrauch aller fossilen Rohstoffe (Erdgas, Erdöl,

Kohle) circa 5 Prozent auf die Chemie. Der Anteil der energetischen Nutzung beträgt hier 78 Prozent, auf Kraftstoffe entfallen 17 Prozent“.

2020 wurden 14,3 Mio. t an Mineralölprodukten in der Chemie stofflich eingesetzt; zudem 2,8 Mio. t Erdgas, sowie 0,3 Mio. t Kohle und 2,6 Mio. t nachwachsende Rohstoffe (VCI 2023).

Der Kunststoffverbrauch Deutschlands lag in den Jahren 2019/2021 im Durchschnitt bei 12,3 Mio. t, davon entfielen im Schnitt 75 % auf langlebige Produkte (Bau, Automobil, Elektronik/Elektrik und Sonstiges; exkl. Verpackungen) (Lindner et al. 2020, 2022).

Insgesamt wurden 2015 rund 90,4 Mio. t Rohöl importiert, 2020 rund 84,7 Mio. t Rohöl (Eurostat 2023a). Wird der in der chemischen Industrie stofflich genutzte Anteil von 15 % berücksichtigt, so standen 2015 rund 13,6 Mio. t und 2020 rund 12,7 Mio. t Rohöl für die Verarbeitung zur Verfügung. Wird darüber hinaus der auf die langlebigen Produkte fallende Anteil von durchschnittlichen 75 % berücksichtigt, so entspricht dies für das Jahr 2015 einer Menge von rund 10,2 Mio. t und 2020 von rund 9,5 Mio. t die als zusätzliche Inputflüsse ermittelt werden konnten. Tabelle 2 und Tabelle 3 fassen die Ergebnisse der Materialflüsse des Handels zusammen; unter den Importen der Rohstoffe und Halbwaren ist der Anteil an lagerrelevantem Rohöl der in Kunststoffe und Güter daraus eingeht zusätzlich aufgeführt.

Tabelle 2: Materialflüsse der Importe nach und Exporte aus Deutschland 2015

2015	Baustoffe		Kapitalgüter		Langlebige Konsumgüter		Rohstoffe und Halbwaren	
	Import	Export	Import	Export	Import	Export	Import	Export
Gesamt	25,1	38,4	31,4	33,3	12,5	14,4	120,7+ 10,2*	81,8
Mineralisch	8,4	18,5	0,6	0,4	0,3	0,2	20,8	34,0
Metalle	8,8	9,5	25,9	29,1	5,3	9,5	77,5	23,7
Kunststoffe	2,2	3,7	2,1	1,9	0,2	0,3	11,2 + 10,2*	15,2
Holz	5,1	5,1	0,0	0,0	1,6	1,1	10,9	8,7
Andere Produkte	0,7	1,5	2,8	1,9	5,1	3,3	0,2	0,2

Quelle: Eigene Zusammenstellung basierende auf Eurostat (2022a; b, 2023a; d); *Berechnet auf Basis von VCI (2019) und der Conversio-Studien (Lindner et al. 2020, 2022).

Tabelle 3: Materialflüsse der Importe nach und Exporte aus Deutschland 2020

2020	Baustoffe		Kapitalgüter		Langlebige Konsumgüter		Rohstoffe und Halbwaren	
	Import	Export	Import	Export	Import	Export	Import	Export
Gesamt	26,0	36,8	25,7	27,6	15,1	12,7	103,5 + 9,5*	85,2
Mineralisch	9,0	18,1	0,5	0,5	0,3	0,2	21,2	30,6

2020	Baustoffe		Kapitalgüter		Langlebige Konsumgüter		Rohstoffe und Halbwaren	
Metalle	8,7	8,8	21,9	24,6	6,4	7,0	62,6	21,7
Kunststoffe	2,5	3,9	1,9	1,7	0,2	0,3	11,1 + 9,5*	15,0
Holz	5,1	4,7	0,0	0,0	2,3	1,7	8,5	17,7
Andere Produkte	0,7	1,3	1,4	0,9	5,9	3,5	0,2	0,2

Quelle: Eigene Zusammenstellung basierend auf Eurostat (2022a; b, 2023a; d); *Berechnet auf Basis von VCI (2019) und der Conversio-Studien (Lindner et al. 2020, 2022).

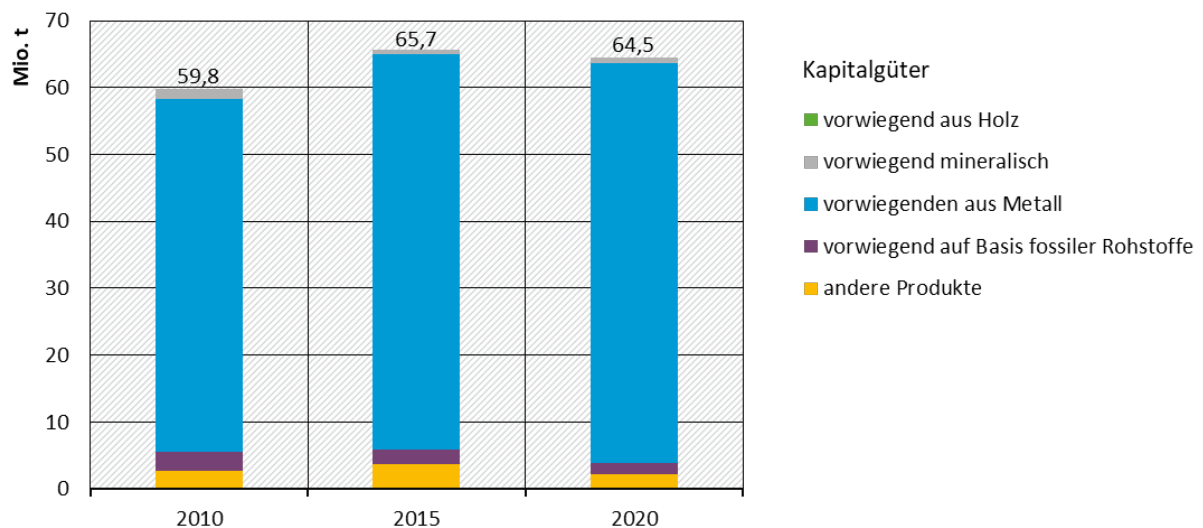
2.3 Materialflüsse der inländischen Produktion langlebiger Güter ermittelt auf Grundlage der Produktionsstatistik

2.3.1 Kapitalgüter

Abbildung 10 zeigt die inländische Produktion von Kapitalgütern nach Materialgruppen für die Jahre 2010, 2015 und 2020. Nach Schiller et al. (2015) wurden 2010 insgesamt 50,7 Mio. t Kapitalgüter produziert, wobei diese überwiegenden den Metallen und den „anderen Produkten“ zuzuordnen waren. Auf Basis der Neuberechnung konnten für das Jahr 2010 rund 60 Mio. t produzierter Kapitalgüter erfasst werden. Zwischen 2010 und 2015 stieg die Produktionsmenge der Kapitalgüter um 10 %, schließlich fiel sie um 2 % und lag im Jahr 2020 bei rund 65 Mio. t.

Die Kapitalgüter waren zum Großteil den Metallen zuzuordnen. Der Anteil der Güter vorwiegend aus Metallen lag in den drei betrachteten Jahren bei 88–93 %. Güter vorwiegend auf Basis fossiler Rohstoffe nahmen einen Anteil von rund 3 % (2015 und 2020) ein. Andere Produkte nahmen einen Anteil von 6 % (2015) und 3 % (2020) ein.

Abbildung 10: Produktion von Kapitalgütern in Deutschland 2010, 2015 und 2020



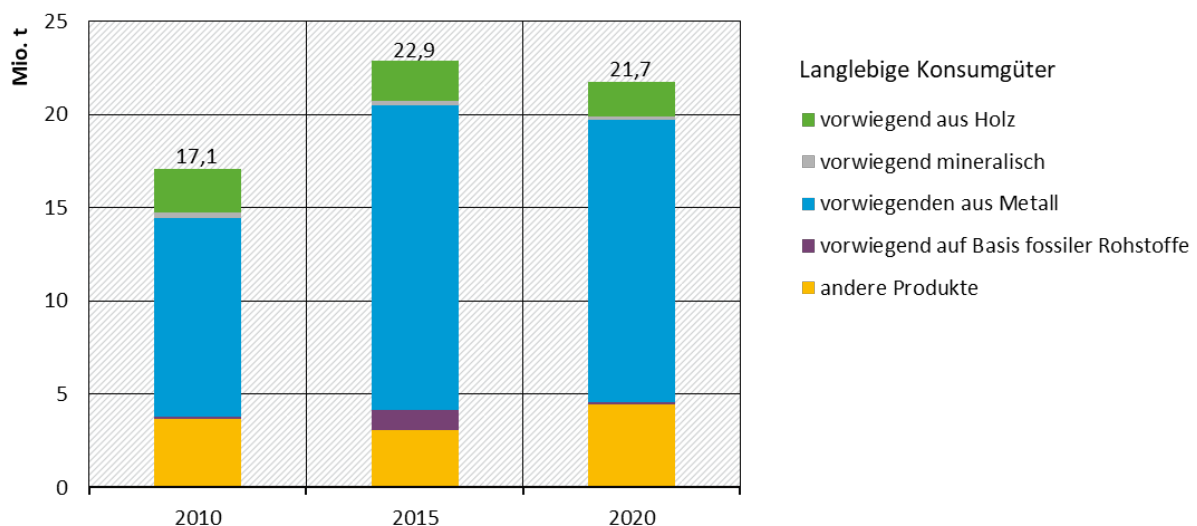
Quelle: Eigene Darstellung

2.3.2 Langlebige Konsumgüter

Die inländische Produktion langlebiger Konsumgüter für die Jahre 2010, 2015 und 2020 wird in Abbildung 11 gezeigt. Die Güter sind wie zuvor nach Materialien gruppiert. Nach Schiller et al. (2015) wurden 2010 insgesamt 19,3 Mio. t langlebige Konsumgüter produziert. Auf Basis der Neuberechnung konnten für das Jahr 2010 rund 17 Mio. t langlebige Konsumgüter erfasst werden. Zwischen 2010 und 2015 stieg die Produktion um 34 %. Im Jahr 2020 ging die Produktion langlebiger Konsumgüter um rund 5 % gegenüber 2015 zurück und lag bei rund 22 Mio. t.

Die langlebigen Konsumgüter waren zum Großteil den Metallen zuzuordnen. Der Anteil der Güter vorwiegend aus Metall lag in den drei betrachteten Jahren bei zwischen 62–71 %. Der Anteil der „anderen Produkte“ lag in den drei Jahren bei 13–21 %. Güter vorwiegend aus Holz nahmen Anteile zwischen 9–14 % ein.

Abbildung 11: Produktion von langlebigen Konsumgütern in Deutschland 2010, 2015 und 2020



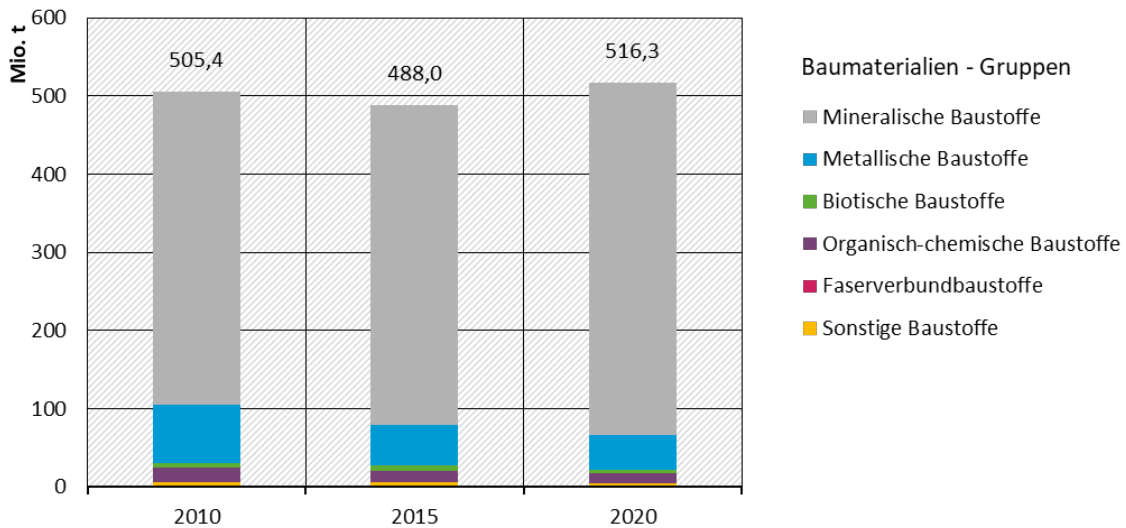
Quelle: Eigene Darstellung

2.3.3 Baustoffe

Die Produktionsdaten der Baustoffe basieren auf der Güterproduktionsstatistik (9-Steller Ebene, GP2009 und GP2019) (Destatis 2023c; d). Abbildung 12 zeigt die inländische Produktion der Baustoffe nach Materialgruppen für die Jahre 2010, 2015 und 2020. Nach Schiller et al. (2015) wurden 2010 insgesamt 507,9 Mio. t Baustoffe produziert. Die Neuberechnung der Baustoffmengen für das Jahr 2010 ergab rund 505 Mio. t. Zwischen 2010 und 2015 sank die Produktion der Baustoffe um 3 %. Im Vergleich zu 2015 lag die Produktion 2020 wieder um 6 % höher und erreichte rund 516 Mio. t.

Die Baustoffe waren überwiegend den mineralischen Materialien zuzuordnen (79–87 %). Metallische Materialien nahmen in den drei Jahren einen geringer werdenden Anteil ein, 2010 waren es 15 %, 2015 lag der Anteil bei 11 % und 2020 bei 9 %.

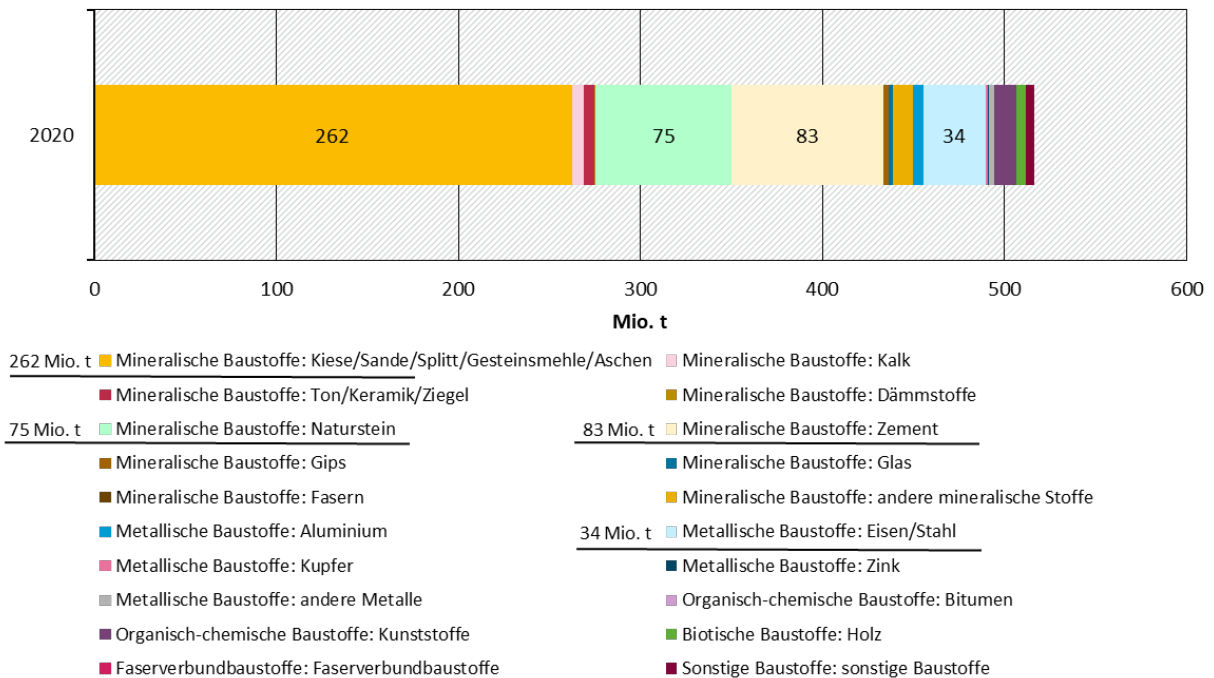
Abbildung 12: Produktion von Baumaterialien in Deutschland 2010, 2015 und 2020



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 13 zeigt die Produktion der Baustoffe für das Jahr 2020 für einzelne Materialien. Mehr als 50 % der produzierten Baustoffe waren der Gruppe der Kiese, Sande, Splitt, Gesteinsmehl und Aschen zuzuordnen (rund 262 Mio. t). Des Weiteren entfielen rund 16 % auf Zement (83 Mio. t) und 14 % auf Natursteine (75 Mio. t). Mit 34 Mio. t, bzw. einem Anteil von rund 7 % fielen außerdem Eisen und Stahl ins Gewicht.

Abbildung 13: Produktion von Baumaterialien in Deutschland im Jahr 2020 nach Material



Quelle: Eigene Darstellung

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Produktionsstatistik für Baustoffe durch ihre Abbildung von Gütern sehr unterschiedlicher Fertigungstiefen zu nennenswerten Doppelzählungen führt,

beispielsweise bei Sanden und Gesteinskörnungen, die in Zementen Eingang finden und diese wiederum in Betonfertigteilen zum Einsatz kommen.

2.3.4 Zusammenfassende Darstellung der Materialflüsse der inländischen Produktion langlebiger Güter für das Basisjahr 2010 sowie 2015 und 2020 differenziert nach Material- und Gütergruppen

Tabelle 4 und Tabelle 5 fassen die Ergebnisse der Produktionsstatistiken der Jahre 2015 und 2020 zusammen. Wie bereits Schiller et al. (2015) verwiesen, ist die Aussagekraft zum Bestand des anthropogenen Lagers und dessen Materialflüsse auf Basis der Produktionsstatistiken von Eurostat und Destatis begrenzt. Datenlücken müssen geschlossen werden und einheitliche Konversationskoeffizienten sind notwendig, um einheitlich Nicht-Gewichts-Einheiten umrechnen zu können. Außerdem, so scheint es, wurden rückwirkend Daten überarbeitet und/oder sind nicht mehr zugänglich. Durch die Verknüpfung unterschiedlicher Datenbanken wie Prodcom und Comext sowie die Übereinstimmung mit den Produktionsstatistiken von Destatis ergeben sich Herausforderungen, für die ein methodisch einheitliches Vorgehen und eine Überarbeitung der Kompatibilitäten notwendig wären.

Tabelle 4: Materialflüsse der inländischen Produktion in Deutschland 2015 nach Güter- und Materialgruppen [Mio. t]

2015	Baustoffe	Kapitalgüter	Langlebige Konsumgüter	Gesamt
Gesamt	488,0	65,7	22,9	576,7
Mineralisch	408,4	0,7	0,3	409,5
Metalle	52,7	59,2	16,3	128,2
Kunststoffe	12,8	2,1	1,1	16,0
Holz	6,1	0,0	2,1	8,2
Andere Produkte	8,1	3,7	3,1	14,8

Quelle: Eigene Zusammenstellung basierend auf Destatis (2023c; d) und Eurostat (2023b; a).

Tabelle 5: Materialflüsse der inländischen Produktion in Deutschland 2020 nach Güter- und Materialgruppen [Mio. t]

2020	Baustoffe	Kapitalgüter	Langlebige Konsumgüter	Gesamt
Gesamt	516,3	64,5	21,7	602,7
Mineralisch	449,7	0,8	0,2	450,6
Metalle	44,7	59,9	15,1	119,7
Kunststoffe	12,5	1,7	0,1	14,3
Holz	5,0	0,0	1,8	6,9
Andere Produkte	4,5	2,2	4,5	11,2

Quelle: Eigene Zusammenstellung basierend auf Destatis (2023c; d) und Eurostat (2023b; a).

2.4 Abfallwirtschaftlich geprägte Input-, Output- und lagerinterne Materialflüsse

Die Datenanalyse zu abfallwirtschaftlichen Mengenströmen basieren im Wesentlichen auf den Abfallstatistiken von Destatis, wie in Kapitel 2.1 dargelegt wurde. Allerdings ist eine separate, ergänzende Betrachtung der Abfallimporte und -exporte erforderlich, da die genannten Daten nur einen Ausschnitt abbilden. Einen Überblick über die gehandelten Abfallströme liefert das Umweltbundesamt. Nachfolgend werden die grenzüberschreitenden Abfallwirtschaftsströme für die drei Stützjahre 2010, 2015 und 2020 betrachtet.

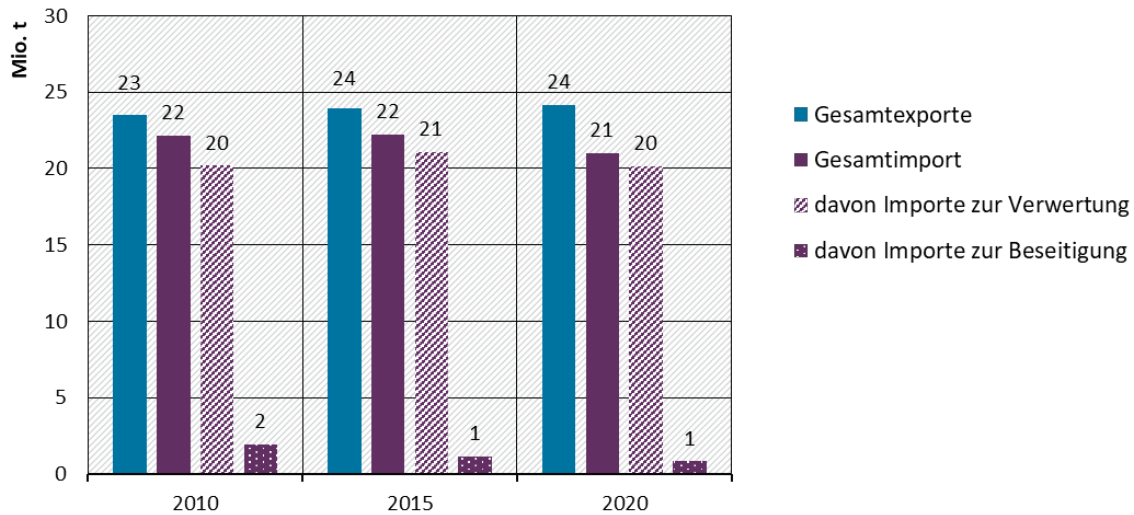
2.4.1 Materialflüsse der Abfallimporte und -exporte

Bei den Gesamtexporten (Abbildung 14) ließ sich zwischen 2010 und 2015 eine Zunahme um 2 % und zwischen 2015 und 2020 eine Zunahme um 1 % ermitteln. Im Jahr 2015 wurden rund doppelt so viele notifizierungspflichtige Abfällen exportiert wie noch 2010; für das Jahr 2020 konnte eine weitere Zunahme von rund 46 % im Vergleich zu 2015 verzeichnet werden. Nicht-notifizierungspflichtige Exporte haben indes zwischen 2010 und 2015 um 5 % und zwischen 2015 und 2020 um 6 % abgenommen.

Die Gesamtimporte haben zwischen 2010 und 2015 nur um knapp 0,4 % zugenommen. Im Jahr 2020 kam es zu einer Abnahme um rund 6 % gegenüber 2015. Im Gegensatz zu den Exporten haben die importierten notifizierungspflichtigen Abfälle leicht abgenommen und sind zwischen 2010 und 2015 um 5 % und zwischen 2015 und 2020 um 21 % zurückgegangen. Die nicht-notifizierungspflichtigen Abfälle hingegen sind leicht gestiegen (2015 um rund 3 % gegenüber 2010 und 2020 um 1 % gegenüber 2015). Hinsichtlich der Entsorgungswege der Importe sticht die Abnahme der Import zur Beseitigung hervor. Diese lag 2015 um 40 % niedriger als noch 2010 und im Jahr 2020 um 29 % niedriger als noch 2015.

Für alle drei Stützjahre weist Deutschland einen Exportüberschuss der Abfälle auf. Dieser lag in der Größenordnung von 1,4–3,2 Mio. t.

Abbildung 14: Abfallimporte und -exporte insgesamt (inkl. nicht lagerrelevanten Rohstoffen) und der Verbleib importierter Mengen für die Jahre 2010, 2015 und 2020

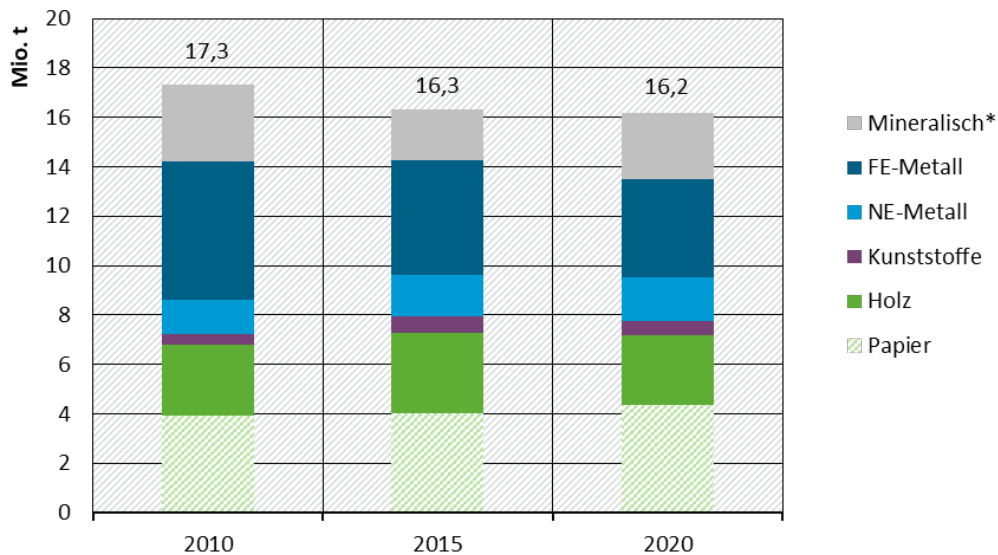


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf UBA (2022); Anmerkung: Gesamtimporte abzüglich der notifizierungspflichtigen Abfallmengen die zur Beseitigung gelangen ergeben die Importe zur Verwertung.

Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen den Import und Export lagerrelevanter Abfälle in materialdifferenzierter Darstellung. Diese lassen sich über die Bezeichnungen der Abfallart nach der EG-Abfallstatistikverordnung aus der Datenerhebung auslesen und den Hauptmaterialkategorien Holz, Fe-Metall, NE-Metall, Kunststoff und mineralische Abfälle zuordnen. Als zusätzliche Materialkategorie wurde an dieser Stelle Papier aufgenommen, da es mengenmäßig relevante Anteile aufweist, obgleich Papier und dessen Erzeugnisse für die weitere Betrachtung lagerrelevanter Materialflüsse ausgeschlossen wurde.

Die Anteile lagerrelevanter Abfallimporte am Gesamtabfallimport lagen bei 86 % (2010), 78 % (2015) und 80 % (2020). Die Zusammensetzung nach Material lag je nach Stützjahr bei rund 25–32 % Fe-Metallen, 23–27 % Papier, 13–18 % vorwiegend mineralischen Abfällen sowie rund 16–20 % Holz. Es fällt auf, dass der Fe-Metall-Anteil leicht rückläufig ist, während etwa der Anteil von Papier steigt.

Abbildung 15: Import lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorien 2010, 2015 und 2020

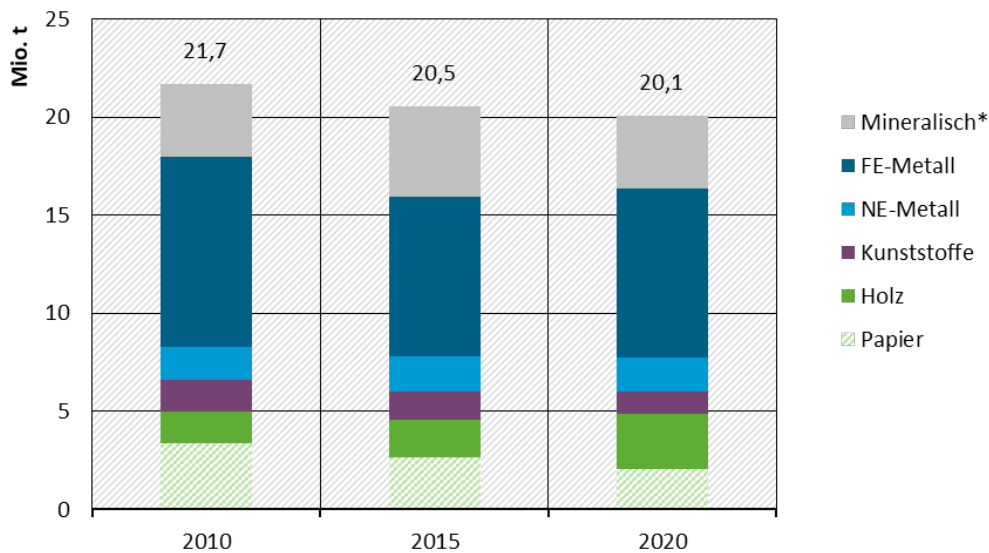


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf UBA (2022); Anmerkung: Papier wurde auf Grund der Mengenrelevanz zusätzlich abgebildet. Es handelt sich dabei allerdings nicht um eine lagerrelevante Materialkategorie und so wurde es in der weiteren Bilanzierung nicht berücksichtigt; die Kategorie „Mineralisch“ enthält industrielle Nebenprodukte wie Schlacken und Aschen.

Abbildung 16 zeigt die lagerrelevanten Abfallexporte. Der Anteil am Gesamtabfallexport lag bei 92 % (2010), 86 % (2015) und 83 % (2020). Die Zusammensetzung nach Material lag je nach Stützjahr bei rund 39–45 % Fe-Metallen, 17–23 % vorwiegend mineralischen Abfällen, 10–16 % Papier, sowie rund 7–14 % Holz. Es fällt auf, dass der Anteil von vorwiegend aus Holz bestehendem Abfall zugenommen hat, der Fe-Metall-Anteil 2015 zunächst leicht niedriger lag, 2020 aber wieder zugenommen hat und der Anteil von Papier im Abfallexport abnimmt.

Es bestand ein deutlicher Exportüberhang im Bereich der Fe-Metalle von 3,5 Mio. t im Jahr 2015 und von 4,7 Mio. t im Jahr 2020. Für Holz bzw. Papier zeigte sich für Deutschland ein Importüberschuss. Für Holz lag dieser 2015 bei rund 1,4 Mio. t, im Jahr 2020 haben sich Import und Export ausgeglichen. Für Papier ist ein Importüberschuss festzustellen, der im Jahr 2015 bei rund 1,4 Mio. t und 2020 bei 2,3 Mio. t lag.

Abbildung 16: Exporte lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorien 2010, 2015 und 2020



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf UBA (2022); Anmerkung: Papier wurde auf Grund der Mengenrelevanz zusätzlich abgebildet. Es handelt sich dabei allerdings nicht um eine lagerrelevante Materialkategorie und so wurde es in der weiteren Bilanzierung nicht berücksichtigt; die Kategorie „Mineralisch“ enthält industrielle Nebenprodukte wie Schlacken und Aschen.

2.4.2 Abfallwirtschaftlich geprägte lagerrelevante Materialflüsse innerhalb des Lagers

Für die Analyse der lagerinternen Abfallströme wurden vorrangig die Mengenangaben des Statistischen Bundesamtes genutzt und die Abfälle nach dem Europäischen Abfallverzeichnis (EAV) klassifiziert. Die Zuordnung der Abfallfraktionen zu den Materialgruppen wurde auf Basis der Ergebnisse aus Steger et al. (2019) vorgenommen, die die Zusammensetzung der Abfallarten bzw. -gemische für die zentralen Materialkategorien ausweisen. Eine neuerliche Auswertung der Abfalldatenbank ABANDA, wie es in Schiller et al. (2015) umgesetzt wurde, war im Rahmen dieses Arbeitspaketes nicht leistbar. Die Aufschlüsselung der Abfallfraktionen in unterschiedliche Materialkategorien kann sich zukünftig durch neuere Erkenntnisse verbessern. Eine geeignete Datenbank, die regelmäßig überprüft und aktualisiert wird, bzw. die neuesten Erkenntnisse umfasst, könnte für diesen Schritt das Vorgehen erleichtern und einen wichtigen Beitrag zur Qualität und Genauigkeit der drauf basierenden Analysen leisten.

Für die Ermittlung der lagerrelevanten Materialströme wurde in einem ersten Schritt die Lagerrelevanz der verschiedenen Abfallfraktionen nach EAV-Aufschlüsselung beurteilt. Dabei wurden die Zusammensetzung der Abfallarten/-gemische, die Mengenrelevanz sowie die Entsorgungswege berücksichtigt. Eine Orientierung bietet dabei die Studie von Steger et al. (2019), in der die Gewinnung von Sekundärrohstoffen zur Reduktion der volkswirtschaftlichen Primärrohstoffflüsse im Fokus stand. An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass die Machbarkeit bzw. Abwägung des Aufwandes und der Rentabilität der Sekundärrohstoffrückgewinnung aus den einzelnen Abfallfraktionen bzw. -gemischen nicht in die Auswahl eingeflossen sind.

Zentral bei der Bearbeitung der abfallwirtschaftlichen Flüsse sind folgende Herausforderungen:

1. Problematik der strikten Abtrennung lagerrelevanter Abfälle bzw. Abfallfraktionen
2. Datenkonsistenz zwischen den Ebenen der EAV-Abfallschlüssel
3. Doppelerfassungen

2.4.2.1 Problematik der Abgrenzung und industrielle Nebenprodukte

Das bereits in Schiller et al. (2015) diskutierte Problem der strikten Abgrenzung lagerrelevanter Materialflüsse stellt eine Herausforderung dar.

Problem der strikten Abgrenzung „lagerrelevanter“ Materialflüsse – v. a. Reststoffe von Verbrennungsprozessen bzw. industrielle Nebenprodukte

Neben der stofflichen Verwertung und der Beseitigung ist der Abfallstrom der thermischen Verwertung zu beachten. Dieser umfasst Ströme die z. B. in Müllverbrennungsanlagen oder Kraftwerksanlagen erfolgen.

Aschen aus der Müllverbrennung und der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen und Kraftwerksnebenprodukte wie Steinkohleflugasche oder REA-Gips sind industrielle Nebenprodukte aus kurzlebigen Gütern. Sie werden als „Durchflussgüter“ interpretiert. Während Aschen in der Regel im Deponiebau angewendet werden (Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. (ITAD) 2024), findet REA-Gips zunächst Eingang in Gipsprodukte oder als Zuschlagstoff im Zement; überwiegend werden Gipsabfälle schließlich auf Deponien entsorgt (UBA 2019). Da diese Nebenprodukte aus kurzlebigen Gütern entstehen, werden sie als gesonderter Materialstrom bzw. Zufluss betrachtet.

Hochofen- und Stahlwerksschlacken sowie Gießerei-Altsande hingegen entstehen aus langlebigen Gütern z. B. bei der Roheisengewinnung. Diese industriellen Nebenprodukte aus langlebigen Gütern werden wieder zurückgeführt und bilden einen Rückfluss, der dem Bilanzraum als stofflich nutzbare Materialien erhalten bleibt.

Die industriellen Nebenprodukte liegen in den Größenordnungen von rund 30 Mio. t für 2015 und 26 Mio. t für 2020. (Schwarzkopp et al. 2022)

Zu- bzw. Rückfluss: Industrielle Nebenprodukte

Verbandserhebungen des Bundesverbands Baustoffe – Steinen und Erden e.V. (BBS) aus der Publikation „Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-Erden-Industrie bis 2040 in Deutschland“ weisen die wichtigsten industriellen Nebenprodukte aus. Für das Jahr 2010 lag die Gesamtmenge der Nebenprodukte bei rund 29,6 Mio. t. Für 2015 wurden 30,4 Mio. t und für 2020 26,3 Mio. t industrieller Nebenprodukte ermittelt (Schwarzkopp et al. 2022).

Die Mengen umfassen im Detail (Schwarzkopp et al. 2022):

- ▶ Hochofenschlacke
- ▶ Stahlwerksschlacke
- ▶ Steinkohlenflugasche
- ▶ sonstige Aschen (HMVA) – aus der Müllverbrennung und der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen
- ▶ Gießereialtsand
- ▶ REA-Gips

Reststoffe von Verbrennungsprozessen – Output aus der thermischen Umwandlung

Reststoffe aus den Mengenflüssen der thermischen Umwandlung sind unter den Abfallschlüsselnummern 19 01 11 und 19 01 12 (Aschen und Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen) quantifiziert.

2015:

190111* Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten (Output thermische Abfallbehandlung: 0,277 Mio. t; Output MVA: 0,251 Mio. t)

190112 Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 190111 fallen (Output thermische Abfallbehandlung: ca. 5,5 Mio. t; Output MVA: 1,0 Mio. t)

2020:

190111* Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten (Output thermische Abfallbehandlung: 0,310 Mio. t; Output MVA: 0,260 Mio. t)

190112 Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 190111 fallen (Output thermische Abfallbehandlung: ca. 5,3 Mio. t; Output MVA: 1,2 Mio. t)

In Summe liegen diese Outputflüsse bei rund 7 Mio. t (2015) und rund 8 Mio. t (2020). Die Herkunft der Abfälle lässt sich statistisch nicht nachvollziehen. Da der Output aus der thermischen Behandlung im Rahmen des Bilanzraumes nicht näher betrachtet wird und die Gesamtmenge der beiden Abfallschlüsselnummern im Vergleich zu den Verbandsangaben deutlich geringer ausfallen, wird auf die Verbandsangaben zurückgegriffen, um den Rückfluss der stofflich nutzbaren industriellen Nebenprodukte und Reststoffe bzw. den Fluss in die Deponierung abzubilden. Zugleich soll erwähnt werden, dass möglicherweise die Abflüsse aus dem Bilanzraum über die thermische Behandlung (Input in thermische Umwandlung Kapitel 2.4.3.4) überschätzt werden, da hierbei z. T. kurzlebige Güter berücksichtigt werden.

2.4.2.2 Grundlegende Problematik der Datenkonsistenz zwischen EAV-Ebenen

Das EAV unterscheidet Hauptgruppen (2-Steller-Ebene) und differenziert Untergruppen auf mehreren Ebenen weiter (4-, 6-, 8-Stellerebene). Aufgrund von statistischer Geheimhaltung und wettbewerbsrechtlichen Belangen bei den Abfallarten (6- bzw. 8-Steller) stimmen die Summen der einzelnen Abfallarten bzw. Einzelpositionen nicht immer mit der übergeordneten Ebene, der zugehörigen Zwischensumme der Abfallkapitel (2-Steller), überein. Dies führt zu Konsistenzproblemen bzw. Vollständigkeitslücken innerhalb von Abfallhauptgruppen.

Infobox: Problematik der Datenkonsistenz zwischen den EAV- Ebenen (Beispiel)

Insbesondere fällt auf, dass sich auf EAV 8-Steller Ebene folgende Differenzierung findet:

19120901 Erzeugnisse für die Verwendung im Straßen- und Wegebau

19120902 Erzeugnisse für die Verwendung im sonstigen Erdbau (einschließlich Verfüllung)

19120903 Erzeugnisse für die Verwendung in Betonmischanlagen

19120904 Erzeugnisse für die Verwendung in Asphaltmischanlagen

19120905 Erzeugnisse für sonstige Verwendung (z. B. Deponiebau, Sportplatzbau, Lärmschutzwände)

Bei diesen Abfallfraktionen liegt im Falle der Bauschuttzubereitungsanlagen eine Menge von über 60 Mio. t als Output aus der Anlage vor (im Jahr 2015), der jedoch auf der nächsthöheren 6-Steller Ebene unter 191209 z) nicht aufsummiert ausgegeben wird.

Dies ist mehrfach der Fall. Für die betroffenen EAV-Schlüssel müssen die 8-Steller Ebenen daher mitberücksichtigt werden.

2.4.2.3 Doppelerfassungen

Materialströme, die aus einer Abfallbehandlungsanlage entstanden sind und einer neuen Abfallbehandlungsanlage zugeführt werden, werden bei der Weiterbehandlung statistisch erneut erfasst. Dies führt zu einer Doppelerfassung von Materialströmen. Insbesondere der Teil der Abfallstatistik mit der Abfallschlüsselnummer 19 – Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen – bedingt die Doppelzählung von Abfallmengen aufgrund von Behandlungskaskaden (Schiller et al. 2015). In der Auswertung von Nettoabfallmengen muss dem durch Ausschluss dieser Mengen Rechnung getragen werden.

Nicht zu den Sekundärabfällen zählen nach Destatis die Abfallgruppen 1908 – Abfälle aus Abwasserbehandlungsanlagen, 1909 – Abfälle aus der Zubereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch oder industriellem Brauchwasser sowie 1913 – Abfälle aus der Sanierung von Böden und Grundwasser sowie Sekundärabfällen. Diese gehen als Rohstoffe bzw. Produkte aus dem Entsorgungsprozess heraus und zählen nach allgemeinem Verständnis nicht zu den Sekundärabfällen (Destatis 2022, 2023f).

Außerdem kommt es bei den Positionen der EAV-Nummern 160104* „Altfahrzeuge“ und 160106 „Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten (Restkarossen)“ zu Doppelzählungen (Steger et al. 2019). Die Abfallfraktion mit der EAV-Nummer 160104* wurde daher von der Berechnung ausgeschlossen.

2.4.3 Gesamtabfallaufkommen (innerhalb des Lagers)

In einem zweiten Schritt wurde der Anteil der jeweiligen Abfallfraktion an einer der Hauptmaterialkategorien in Orientierung an den Ergebnissen nach Steger et al. (2019) (Holz, Fe-Metall, NE-Metall, Kunststoffe und mineralische Stoffe; zusätzlich PPK) festgelegt. Dabei mussten teilweise Schätzungen zu einzelnen Abfallfraktionen bzw. -arten vorgenommen werden.

Der Gesamtmassestrom lagerrelevanter Abfälle, der als Inputstrom in Abfallentsorgungsanlagen eingeht, wurde wie folgt in Anlehnung an die Abfallbilanz nach Destatis (2022) berechnet:

Input der Abfälle aus der Gewinnung und Behandlung von Bodenschätzen (EAV 01)

+

Input der Bau- und Abbruchabfälle (EAV 17)

+

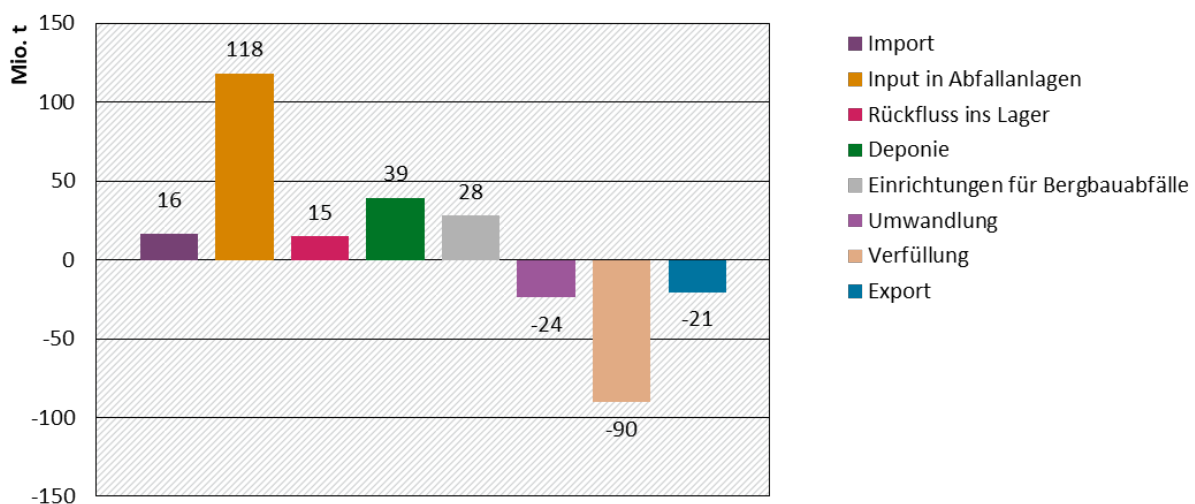
Übrige Abfälle (v.a. Gewerbe und Produktion)

= **Nettoaufkommen**

Um einen Überblick über das Abfallaufkommen in den abfallstatistischen Daten zu erlangen, wurden die lagerrelevanten Abfälle (inkl. PPK¹⁰) nach ihrem Input in Abfallentsorgungsanlagen ausgewertet. Nicht mitberücksichtigt sind an dieser Stelle jene Inputströme der Abfälle aus der Abfallbehandlung (Sekundärabfälle) mit dem EAV-Schlüsselcode 19 (ausgenommen 1908, 1909 und 1913), da somit einer Doppelzählung entgegnet wird¹¹. Das Netto-Gesamtaufkommen lagerrelevanter Abfälle lag demnach im Jahr 2015 bei rund 315 Mio. t.¹²

Abbildung 17 zeigt das Gesamtaufkommen lagerrelevanter Abfälle inkl. Papier (jeweils nur Inputstrom) sowie den Rückfluss langlebiger Güter ins anthropogene Lager, der aus industriellen Nebenprodukten hervorgeht.

Abbildung 17: Lagerrelevantes Gesamtabfallaufkommen und verwertete industrielle Nebenprodukte nach Verwertungsweg (2015)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von UBA (2022), Destatis (2017) und BBS (2022).

Die erste grobe Analyse zeigt: der Erhaltungsaspekt bei den abfallwirtschaftlichen Strömen überwiegt. Flüsse, die zum Wachstum bzw. zum Erhalt des Bestandes im anthropogenen Lager beitragen sind oberhalb der Abszissenachse abgetragen; sie summieren sich auf 217 Mio. t. Unterhalb der Abszissenachse sind die Flüsse abgetragen, die sich nach der Definition des betrachteten anthropogenen Lagers einer weiteren stofflichen Nutzung entziehen. Diese Flüsse summieren sich auf rund 135 Mio. t. Miteinbezogen ist in dieser Abbildung die Abfallfraktion Boden und Steine (v. a. EAV 170504), die mit rund 82 Mio. t den Großteil der in die Verfüllung eingehenden Abfallmengen ausmacht¹³.

¹⁰ Papier ist kein lagerrelevantes Gut. Entsprechende EAV-Codes wurden daher ausgeschlossen. In der Regel enthalten allerdings auch die Abfallströme der Siedlungsabfälle, neben lagerrelevanten Materialien, Anteile von Papier, Pappe und Kartonage. Diese Anteile wurde in weiterer Folge herausgerechnet, sind hier allerdings noch mitberücksichtigt. Die Ergebnisse sind daher nicht mit den Ergebnissen aus den Sankey-Diagrammen (Abbildung 23 und Abbildung 24) vergleichbar.

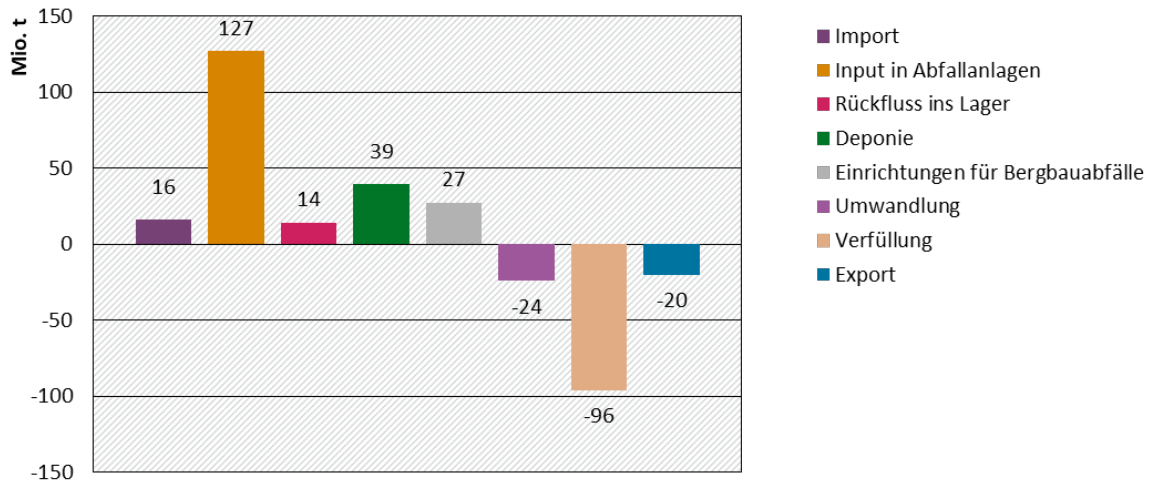
¹¹ Mengen auf Deponien sind ausgenommen, da angenommen werden kann, dass der Abfallinput keiner weiteren nachgeschalteten bzw. erneuten Abfallbehandlung zugeführt wird.

¹² Es sei an dieser Stelle erneut auf die Problematik der Datenkonsistenz verwiesen. Die Aufsummierung der einzelnen Inputströme nach Anlagenarten entspricht nicht der Summe des gemeldeten Gesamtinputs. Es besteht ein Differenzbetrag von rund 13 Mio. t, der keiner Anlage zuordenbar ist. Hingewiesen werden soll auch darauf, dass es sich hierbei um das gemeldete Aufkommen an den Anlagen handelt, die weiteren Verwertungswege wurden hier noch nicht betrachtet. Die Ergebnisse sind daher nicht mit den Ergebnissen aus den Sankey-Diagrammen (Abbildung 23 und Abbildung 24) vergleichbar.

¹³ Es ist anzumerken, dass die Summe der Abfallfraktion Boden und Steine in die Verfüllung im Weiteren auf Grund der dargelegten Sachlage in Kapitel 2.4.3.2.1 nicht mehr ausgewiesen wird, da diese außerhalb des betrachteten Bilanzraumes liegt.

Abbildung 18 zeigt das Gesamtaufkommen lagerrelevanter Abfälle (Inputströme) sowie den Rückfluss ins anthropogene Lager für das Jahr 2020.

Abbildung 18: Lagerrelevantes Gesamtabfallaufkommen und verwertete industrielle Nebenprodukte nach Verwertungsweg (2020)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von UBA (2022), Destatis (2023e) und BBS (2022).

Auch für 2020 überwiegt der Erhaltungsaspekt bei den abfallwirtschaftlichen Strömen. Flüsse, die zum Wachstum bzw. zum Erhalt des Bestandes im anthropogenen Lager beitragen summieren sich auf 223 Mio. t. Flüsse, die sich einer weiteren stofflichen Nutzung entziehen, summieren sich auf rund 140 Mio. t. In die Verfüllung miteinbezogen ist auch hier die Abfallfraktion der Böden und Steine (v. a. EAV 170504), die mit rund 88 Mio. t den Großteil der in die Verfüllung eingehenden Abfallmengen ausmacht.

2.4.3.1 Verwertung

In diesem Bericht werden für die Erfassung der tatsächlichen Verwertungswege innerhalb des anthropogenen Lagers die Outputströme¹⁴ „Abfälle zur Verwertung“ folgender Abfallentsorgungsanlagen betrachtet:

- ▶ Chemisch-physikalische Behandlungsanlagen
- ▶ Bodenbehandlungsanlagen
- ▶ Biologische Behandlungsanlagen
- ▶ Mechanisch (-biologische) Abfallbehandlungsanlagen
- ▶ Demontagebetriebe für Altfahrzeuge
- ▶ Schredderanlagen und Schrottscheren
- ▶ Sortieranlagen

¹⁴ Im Output von Entsorgungsanlagen sind in der Regel Sekundärabfälle mit Abfallschlüsselnummern der EAV-Klasse 19 zu erwarten, allerdings zeigen die Daten, dass einige Mengen an Abfällen mit Primärabfallschlüsselnummern im Anlagenoutput zu finden sind, dies erschwert eine zuverlässige Bestimmung des Aufkommens (ARGUS 2019).

- ▶ Zerlegeeinrichtungen für Elektro- und Elektronikaltgeräte
- ▶ Sonstige Behandlungsanlagen
- ▶ Bauschuttzubereitungsanlagen (Outputstrom); die Abfälle werden zu Erzeugnissen für die Verwendung im Straßen- und Wegebau, für die Verwendung im sonstigen Erdbau und sowie zu Gesteinskörnungen verarbeitet, die in der Betonproduktion eingesetzt werden (es wurde keine Abschätzung des tatsächlich verwerteten Anteils unterstellt, allerdings ist davon auszugehen, dass Nebenströme von ungeeigneten und/oder schadstoffbelasteten Materialien schließlich über Deponien entsorgt werden¹⁵)
- ▶ Asphaltmischanlagen (Inputstrom); es wurde angenommen, dass die in die Anlagen eingehenden Mengen vollständig zu z. B. Heißmischgut für den Straßen- und Wegebau aufbereitet werden.

2.4.3.2 Deponierung

Bei der Deponierung handelt es sich im Rahmen des Projektes um einen Verwahrungsprozess mit „ruhemdem Potenzial“ für zukünftige Stoffkreisläufe (Schiller et al. 2015). Durch ein nachgeschaltetes Recycling von etwa Schlämmen, Filterstaub o. ä. könnten zukünftig insbesondere metallische Rohstoffe gewonnen werden. Die Beurteilung der Lagerrelevanz der einzelnen Abfallfraktionen kann hier nur grob abgeschätzt werden; für ein zukünftiges Urban Mining müssen die Materialfraktionen im Detail überprüft werden.

Betrachtet wurden folgende relevante Abfallbehandlungsanlagen (Inputstrom):

- ▶ Deponien
- ▶ Einrichtungen zur Entsorgung von bergbaulichen Abfällen (deponieähnliche Ablagerungen) (=Halde)

Die lagerrelevante Gesamtmenge an deponierten Materialien betrug im Jahr 2015 wie auch 2020 rund 39 Mio. t. Davon entfallen auf die Abfallkategorien Boden, Steine und Baggergut (der EAV-Abfallgruppe 1705) rund 17 Mio. t (2015) bzw. 19 Mio. t (2020). Diese Abfallkategorien bedürfen aufgrund ihrer Größenordnung und bestehenden Problematik mit der UGR (siehe Kapitel 2.4.3.2.1) besonderer Aufmerksamkeit (siehe Kapitel 2.4.3.2.1).

Der deponieähnliche Materialstrom, der in Einrichtungen zur Entsorgung von bergbaulichen Abfällen eingeht (*EAV 010102 Abfälle aus dem Abbau von nichtmetallhaltigen Bodenschätzen*¹⁶), betrug rund 28 Mio. t (2015) bzw. 27 Mio. t (2020) (Abbildung 17 und Abbildung 18).

2.4.3.2.1 Besonderheit: Abfall an Deponie (EAV 17)

Infobox 2: Besonderheit „Abfall an Deponien“

Unter den Wert für Abfall an Deponien fallen im Jahr 2015 nach Destatis (2017):

- ▶ 170503 * Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten 0,758 Mio. t (2015)

¹⁵ Eine Doppelzählung (Output aus Bauschuttanlagen und Input in Deponien) kann daher nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Es werden daher sowohl der Brutto-, als auch der Netto- Inputstrom (ohne Sekundärabfälle) bei Deponien betrachtet.

¹⁶ Auf der 2-Steller Ebene des EAV 01 werden höhere Beträge notiert als in den detaillierten Ebenen (bzw. der Abfallart 010102). Die Differenz von rund 1,2 Mio. t (2015) und 10,4 Mio. t (2020) wird an dieser Stelle erwähnt, in die weiteren Berechnungen fließen allerdings die genannten Mengen der detailliertesten Ebenen ein.

- ▶ 170504 Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 170503 fallen 16,6 Mio. t (2015)
- ▶ 170505 * Baggergut, das gefährliche Stoffe enthält 0,007 Mio. t (2015)
- ▶ 170506 Baggergut mit Ausnahme desjenigen, das unter 170505 fällt 0,467 Mio. t (2015)

Summe 170503 bis 170506 **17,45 Mio. t** (bzw. 18,6 Mio. t im Jahr 2020)

Wenn diese Kategorien für Boden und Steine sowie Baggergut Bestandteil der auf Deponien abgelagerten Menge und des NAS sind, dann müssten sie auch im Input gezählt werden. Allerdings fallen Abraum, Bergematerial, Boden, Steine und Baggergut¹⁷ unter „Nichtverwertete inländische Entnahme von Rohstoffen aus der Umwelt“ bzw. „Nichtverwertete inländische Abgabe von Rohstoffen an die Umwelt“ (Input = Output) des UGR Materialkontos (Destatis 2023a).

Die Kategorie Boden, Steine und Baggergut umfasst dort rund 121 Mio. t (2015) bzw. 132 Mio. t (2020) und liegt damit deutlich über dem Anteil von rund 18 Mio. t bzw. 19 Mio. t aus den abfallwirtschaftlichen Statistiken, der auf Deponien geht.

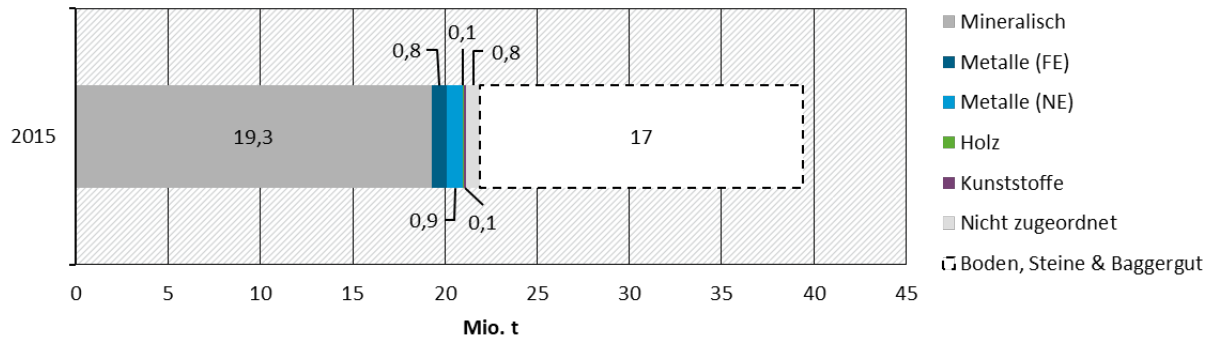
Um dieser Problematik Rechnung zu tragen, wurden die aus den Daten der abfallwirtschaftlichen Statistik hervorgehenden Materialströme der Böden und des Baggerguts im Folgenden ergänzend dargelegt. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde beschlossen, inputseitig die aus Boden und Baggergut stammenden Teilmengen, die in Deponien gehen, gesondert auszuweisen.

Abbildung 19 zeigt die lagerrelevanten Materialien, die im Jahr 2015 in Deponien abgelagert wurden, sowie die Mengen der genannten Kategorien der EAV-Abfallgruppe 1705. Ohne den Abfallarten Boden, Steine und Baggergut betrug die Menge deponierter Materialien rund 22 Mio. t. Die mineralischen Anteile überwiegen mit 89 % deutlich. Die Anteile von Fe- und NE-Metallen liegen jeweils bei rund 4 %. Werden die Abfallkategorien der EAV-Abfallgruppe 1705 mitberücksichtigt, beträgt der mineralische Anteil der Gesamtmenge von rund 40 Mio. t rund 93 %, die metallischen Anteile reduzieren sich zu je 2 %.

Die größten Mengen, die in die Deponierung eingehen (abgesehen von den Abfallkategorien der EAV-Abfallgruppe 1705) sind: EAV 100101 Rost- und Kesselasche, Schlacken und Kesselstaub mit Ausnahme von Kesselstaub, der unter 100104 fällt mit rund 4,9 Mio. t (2015) bzw. 2,6 Mio. t (2020) und EAV 170107 Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 170106 fallen mit rund 3 Mio. t (2015 und 2020).

¹⁷ Ab 2004 ohne eingesetzte Mengen an Bodenaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch bei Bau- und Rekultivierungsmaßnahmen.

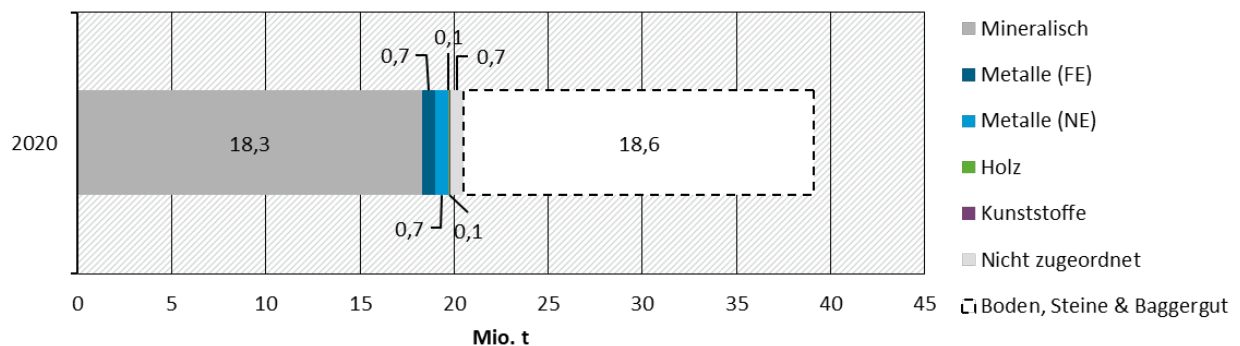
Abbildung 19: Mengen deponierter lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorien inkl. Boden, Steine und Baggergut, 2015



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Destatis (2017) und Steger et al. (2019).

Abbildung 20 zeigt die lagerrelevanten Materialien, die im Jahr 2020 in Deponien abgelagert wurden, sowie die Mengen der genannten Kategorien der EAV-Abfallgruppe 1705. Ohne den Abfallarten Boden, Steine und Baggergut betrug die Menge deponierter Materialien rund 21 Mio. t. Die mineralischen Anteile überwiegen mit 89 % deutlich. Die Anteile von Fe- und NE-Metallen liegen jeweils bei rund 3 %. Werden die Abfallkategorien der EAV-Abfallgruppe 1705 mitberücksichtigt, beträgt der mineralische Anteil der Gesamtmenge von rund 39 Mio. t etwa 94 %, die metallischen Anteile reduzieren sich zu je 2 %.

Abbildung 20: Mengen deponierter lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorien inkl. Boden, Steine und Baggergut, 2020



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Destatis (2023e) und Steger et al. (2019).

2.4.3.3 Verfüllung

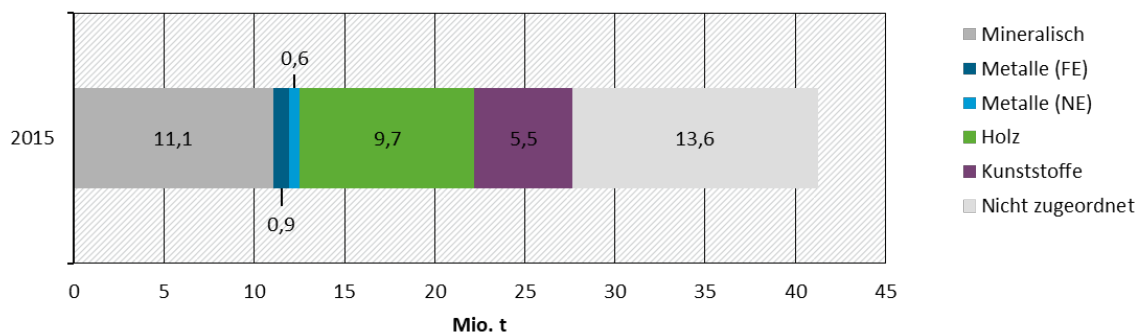
In die Verfüllung gehen Abfälle, die beim Aufsuchen, Ausbeuten und Gewinnen sowie bei der physikalischen und chemischen Behandlung von Bodenschätzen entstehen (EAV 01). Die Lagerung bergbaufremder Abfälle findet in untertägigen und übertägigen Abbaustätten statt. Der Gesamtinput auf Halden entspricht der Summe der EAV 01 Abfälle, die in „Anlagen naturbelassener Stoffe im Bergbau“ gehen. Insgesamt lag dieser Abfallstrom nach EAV-Hauptgruppe (2-Steller-Ebene) im Jahr 2015 bei rund 28 Mio. t und im Jahr 2020 bei rund 27 Mio. t. Wie bereits im Kapitel 2.4.2.2 beschrieben, stimmen die Summen der einzelnen Abfallarten bzw. Einzelpositionen nicht immer mit der übergeordneten Ebene überein. Dies ist auch hier der Fall, nur rund 17 Mio. t werden auf der Einzelposition EAV 010102 ausgewiesen. Da die Verfüllung kein Bestandteil der Betrachtung des zu bewirtschaftenden anthropogenen

Lagers ist, wurde auf eine weitere Betrachtung verzichtet und die entsprechende Inputgröße direkt für die Gesamtbilanz herangezogen (siehe Abbildung 23 und Abbildung 24).

2.4.3.4 Thermische Umwandlung

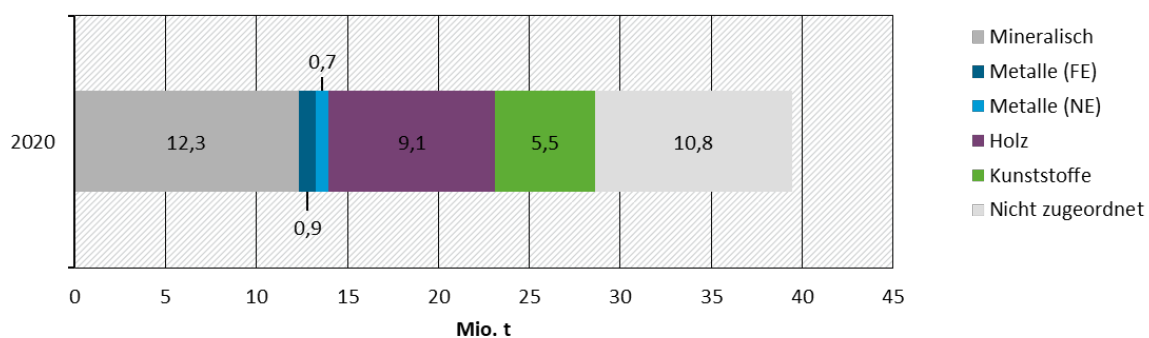
Die thermische Umwandlung umfasst in den Statistiken von Destatis thermische Abfallbehandlungsanlagen und Feuerungsanlagen mit energetischer Verwertung von Abfällen. Aus den Statistiken von Destatis konnten im Jahr 2015 rund 41 Mio. t und im Jahr 2020 rund 39 Mio. t an lagerrelevanten Materialien identifiziert werden, die in die thermische Umwandlung eingingen (siehe Abbildung 21 und Abbildung 22).

Abbildung 21: Thermische Umwandlung lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorie 2015



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Destatis (2017) und Steger et al. (2019); Anmerkung: die Mengen wurden unter Berücksichtigung der Sekundärmaterialien (EAV 19) berechnet.

Abbildung 22: Thermische Umwandlung lagerrelevanter Abfälle nach Materialkategorie 2020



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Destatis (2023e) und Steger et al. (2019); Anmerkung: die Mengen wurden unter Berücksichtigung der Sekundärmaterialien (EAV 19) berechnet.

Zum Teil werden diese Mengenströme wieder ins anthropogene Lager rückgeführt. Dieser Mengenstrom kann jedoch mit den vorliegenden Daten nicht eindeutig nachgeführt werden, denn die Menge an Reststoffen aus thermischer Umwandlung, die wiederum in verschiedene Teilströme der EAV-Schlüsselkategorien aufgeht (wiederverwertete Aschen, Schlacken etc.) begründet sich 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. Auf Grund dieses Bruchs in der Systematik, wie bereits in Schiller et al. (2015) dargelegt, ist kein durchgängiger Materialfluss darstellbar.

Die festen Reststoffe der Verbrennung (insbesondere Schlacken, Aschen, Stäube) bilden einen Materialstrom, der über einen gesonderten Weg dem Lager als stofflich verwertbare Materialien

(erneut) zur weiteren Nutzung zufließt (kurzlebige und langlebige industrielle Nebenprodukte; siehe Kapitel 2.4.2.1).

2.4.3.5 Kreisläufe innerhalb einer Prozessebene

Wie auch in KartAL I dargelegt, sind die abfallwirtschaftlichen Materialkreisläufe, die im Produktionsprozess entstehen und solche, die das Ende der Nutzungsdauer eines Gutes beschreiben und deren Materialien als Abfälle anfallen, nicht eindeutig differenzierbar (Schiller et al. 2015). Die Abfallstatistik bezieht sich auf abfallrechtlich relevante Materialströme, wodurch etwa betriebsinterne (Produktions-)Kreisläufe nicht statistisch erfasst werden.

Bereits in der Analyse von Schiller et al. (2015) wurde darauf hingewiesen, dass die mit rund 1,7 Mio. t bezifferten innerbetrieblichen Produktionskreisläufe nur einen Bruchteil der Materialströme abbildet, die in werksinternen Rückläufen in der Produktion wiedereingesetzt werden. Einige Beispiele sollen zur Einordnung der Größenordnung dienen:

In der Stahlindustrie wurden im Jahr 2020 rund 0,61 Mio. t Schlacken einem internen Kreislauf zugeführt (2010 waren es rund 0,74 Mio. t) (WV Stahl 2021). Auch im Aluminiumguss werden etwa 20 % der Produkte, auf Grund von hohen Qualitätsanforderungen, wieder eingeschmolzen. Laut Steger et al. (2019) beläuft sich diese interne Kreislaufführung auf rund 0,177 Mio. t. In der Ziegelherstellung wird der Hauptanteil der Abfälle (Brennbruch) aufbereitet und erneut der Ziegelproduktion zugeführt: „Das Aufkommen an Brennbruch wird ungefähr mit 1 bis 3 Prozent der Produktion bei Dachziegeln und Mauerziegeln geschätzt. In Summe entspricht das etwa 200.000 bis 300.000 Tonnen“ (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie 2020).

Die zusammenfassenden Tabellen und Grafiken, sowie die Materialflussübersichten berücksichtigen diese Mengen nicht.

3 Zusammenfassende Darstellung als Sankey

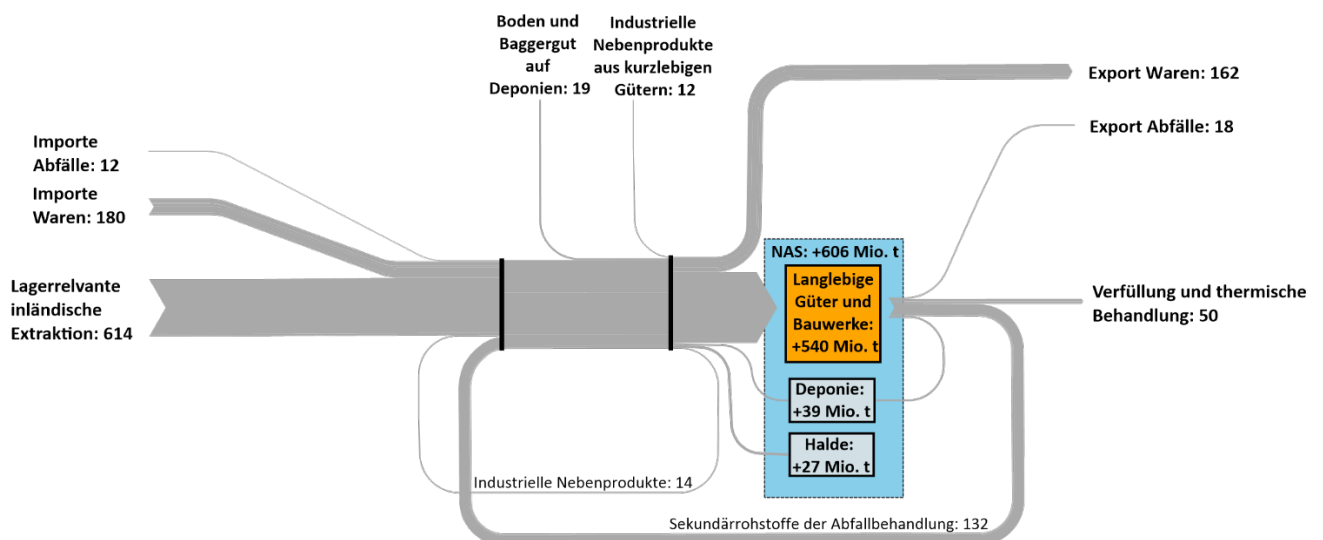
Abbildung 23 und Abbildung 24 veranschaulichen die Ergebnisse zur lagerrelevanten Extraktion aus Analyseschicht 1 und die detaillierteren Ergebnisse der Analyseschicht 2 in einem Sankey- bzw. Flussdiagramm für das Jahr 2020 und für das Jahr 2015.

Die Sankey-Diagramme zeigen den Zuwachs des anthropogenen Lagers im jeweiligen Jahr. Der Nettobestandszuwachs (Net additions to stock, NAS) lässt sich als physisches Bestandswachstum der Volkswirtschaft interpretieren und berechnet sich aus der Differenz aus Eingängen und Ausgängen des anthropogenen Lagers. In der Sankey-Darstellung werden alle lagerrelevanten Güter berücksichtigt.

Im Jahr 2020 belief sich der Nettobestandszuwachs auf 606 Mio. t (darunter Zuwachs an langlebigen Gütern und Bauwerken 540 Mio. t sowie auf Deponien 39 Mio. t und Halden 27 Mio. t) (siehe Abbildung 23). Dies entspricht 7,3 t pro Person. Auf die langlebigen Güter und Bauwerke entfiel hiervon ein Zuwachs von rund 6,5 t pro Person. Der Nettobestandszuwachs lässt sich zu ca. 94 % nichtmetallischen Mineralien zuordnen, 5 % Metallen und 1 % Sonstigen, darunter Holz und Kunststoffe.

Für 2015 konnte ein Nettobestandszuwachs von 583 Mio. t ermittelt werden (darunter Zuwachs an Gütern und Bauwerken 516 Mio. t sowie auf Deponien 39 Mio. t und Halden 28 Mio. t) (siehe Abbildung 24). Dies entspricht 7,1 t pro Person. Auf die langlebigen Güter und Bauwerke entfiel hiervon ein Zuwachs von rund 6,3 t pro Person. Der Nettobestandszuwachs lässt sich auch für das Jahr 2015 zu über 90 % nichtmetallischen Mineralien zuordnen, 7 % Metallen und 1 % Sonstigen, darunter Holz und Kunststoffe.

Abbildung 23: Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2020 [in Mio. t]

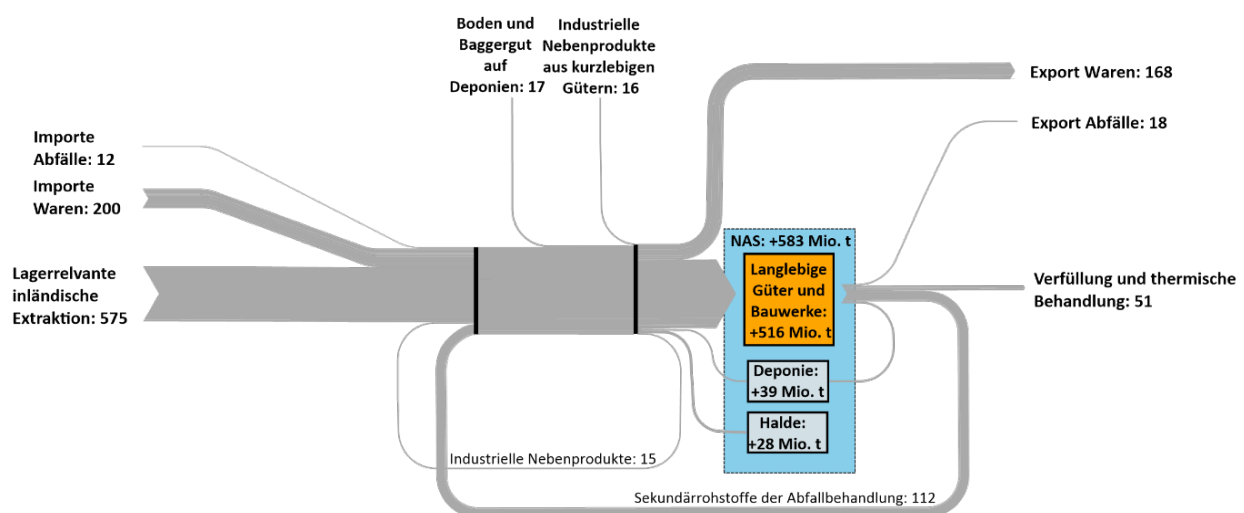


Quelle: Eigene Darstellung

Für die Berechnung des Nettobestandszuwachses 2020 (Abbildung 23) wurden folgende Ein- und Ausgänge verrechnet:

- ▶ **Eingänge:** Inländische Entnahme von Rohstoffen (614 Mio.t), sowie Boden und Baggergut (19 Mio. t) , Importe von Gütern, Rohstoffen sowie Halbwaren (180 Mio. t) und Abfällen (12 Mio. t) inklusive der Zu- bzw. Rückflüsse industrieller Nebenprodukte (insb. REA-Gips, Schlacken, Aschen) (26 Mio. t) und Sekundärrohstoffe aus der Abfallbehandlung (132 Mio. t) sowie Boden und Baggergut, die auf Deponien gelangen (19 Mio. t),
- ▶ **Ausgänge:** Exporte von Gütern, Rohstoffen sowie Halbwaren (162 Mio. t) und Abfällen (18 Mio. t) wie auch dem Output aus dem Bilanzraum mit Verfüllungen in über- und untertägigen Abbaustätten und thermischen Behandlungen von Abfällen (50 Mio. t). Außerdem werden outputseitig die Sekundärrohstoffe der stofflich verwerteten Materialflüsse der Abfallwirtschaft (132 Mio. t) abgezogen.

Abbildung 24: Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2015 [in Mio. t]



Quelle: Eigene Darstellung

Für die Berechnung des Nettobestandszuwachses 2015 (Abbildung 24) wurden folgende Ein- und Ausgänge verrechnet:

- ▶ **Eingänge:** Inländische Entnahme von Rohstoffen (575 Mio.t), sowie Boden und Baggergut (17 Mio. t) , Importe von Gütern, Rohstoffen sowie Halbwaren (200 Mio. t) und Abfällen (12 Mio. t) inklusive der Zu- bzw. Rückflüsse industrieller Nebenprodukte (insb. REA-Gips, Schlacken, Aschen) (rund 30 Mio. t) und Sekundärrohstoffe aus der Abfallbehandlung (112 Mio. t) sowie Boden und Baggergut, die auf Deponien gelangen(17 Mio. t) ,
- ▶ **Ausgänge:** Exporte von Gütern, Rohstoffen sowie Halbwaren (168 Mio. t) und Abfällen (18 Mio. t) wie auch dem Output aus dem anthropogenen Lager bzw. Bilanzraum mit Verfüllungen in über- und untertägigen Abbaustätten und thermischen Behandlungen von Abfällen (51 Mio. t). Außerdem werden outputseitig die Sekundärrohstoffe der stofflich verwerteten Materialflüsse der Abfallwirtschaft (112 Mio. t) abgezogen.

Der Nettobestandszuwachs ist seit dem Jahr 2010 deutlich gestiegen. Im Jahr 2010 lag er nach dieser Berechnungsmethodik bei 565 Mio. t (siehe Abbildung 27 im Anhang A.3); im Jahr 2015 bei 583 Mio. t. Im Jahr 2020 lag der NAS schließlich um rund 7 % höher als noch im Jahr 2010. Somit wächst die deutsche Volkswirtschaft physisch in bedeutendem Maße weiter an und lässt

in diesem Zeitraum nicht erkennen, dass Sättigungseffekte eintreten, die mit rückläufigen Bestandszuwächsen einhergehen.

Der Export von Gütern und Baustoffen, der das anthropogene Lager verlässt, lag bei 168 Mio. t (2015) bzw. 162 Mio. t (2020). Die abfallwirtschaftlich lagerrelevanten Materialströme, die als Inputströme in jegliche Abfallbehandlungsanlagen eingehen, summieren sich auf 311 Mio. t (2015) bzw. 360 Mio. t (2020) (Nettoabfallaufkommen; ohne EAV 19 um Doppelzählungen zu vermeiden).

4 Quellenverzeichnis

ARGUS (2019): Schlussbericht zum Projekt: Umsetzung von Neuregelungen zur Statistik im europäischen Abfallrecht. FKZ: UM17333080. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (Hg.), vorgelegt von ARGUS Statistik und Informationssysteme in Umwelt und Gesundheit GmbH in Kooperation mit Öko-Institut e.V. und HTP GmbH & Co. KG, Berlin.

https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_um17_33_3080_neuregelung_abfallrecht_bf.pdf (12.12.2023).

Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie (2020): Status Quo und Perspektiven - Re-use und Recycling von Ziegeln. Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (Hg.), Berlin.

https://www.ziegel.de/sites/default/files/2021-05/200305_Recyclingbroschuere_Layout_RZ_WEB%5B8526%5D.pdf (10.12.2023).

Destatis (2012a): Teil 1: Gesamtwirtschaftliche Übersichtstabellen, Wirtschaftliche Bezugswahlen.

Umweltnutzung und Wirtschaft / Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen., 2012,01.

Statistisches Bundesamt (Hg.). https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00045573 (20.02.2023).

Destatis (2012b): Abfallentsorgung - Fachserie 19 Reihe 1 - 2010. Fachserie / 19 / 1. Statistisches Bundesamt (Hg.). https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00024676 (11.05.2023).

Destatis (2017): Abfallentsorgung - Fachserie 19 Reihe 1 - 2015. Fachserie / 19 / 1. Statistisches Bundesamt (Hg.). https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00070814 (11.05.2023).

Destatis (2022): Abfallbilanz (Abfallaufkommen/-verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen - 2020. 5321001207004. Statistisches Bundesamt (Hg.).

https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallbilanz-pdf-5321001.pdf?__blob=publicationFile (12.12.2023).

Destatis (2023a): Statistischer Bericht - Umweltökonomische Gesamtrechnungen - Gesamtwirtschaftliches Materialkonto - Berichtszeitraum 1994 - 2021. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/Publikationen/Downloads/statistischer-bericht-gesamtwirtschaftliches-materialkonto-5851315217005.html> (08.05.2023).

Destatis (2023b): Bevölkerung: Deutschland, Stichtag. <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/url/c0cbd96a> (20.02.2023).

Destatis (2023c): Produktionswert, -menge, -gewicht und Unternehmen der Vierteljährlichen Produktionserhebung: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis (9-Steller) (GP2019). <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=42131-0003&bypass=true&levelindex=0&levelid=1681396857279#abreadcrumb> (13.03.2023).

Destatis (2023d): Produktionswert, -menge, -gewicht und Unternehmen der Vierteljährlichen Produktionserhebung: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis (9-Steller) (GP2009). <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/url/748eda3d> (13.03.2023).

Destatis (2023e): Abfallentsorgung: Deutschland, Jahre, Anlagenart, Abfallarten (Code: 32111-0004). <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=32111-0004&bypass=true&levelindex=0&levelid=1703671591876#abreadcrumb> (27.04.2023).

Destatis (2023f): Sekundärabfälle. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Glossar/sekundaerabfaelle.html> (02.01.2024).

Eurostat (2022a): Economy-wide material flow accounts (EW-MFA) 2023 questionnaire.

<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6191533/Economy-wide+material+flow+accounts+%28EW-MFA%29+questionnaire> (13.03.2023).

Eurostat (2022b): Economy-wide material flow accounts (EW-MFA) - annexes of the 2023 questionnaire.

<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6191533/Annexes+of+EW-MFA+questionnaire> (13.03.2023).

Eurostat (2023a): EU Handel seit 1988 nach HS2-4-6 und KN8 (DS-045409).

<https://ec.europa.eu/eurostat/comext/newxtweb/mainxtnet.do> (23.03.2023).

Eurostat (2023b): Abgesetzte Produktion, Aus- und Einfuhren.

<https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DS-056120/legacyMultiFreq/table?lang=de> (16.03.2023).

Eurostat (2023c): Detaillierte jährliche Unternehmensstatistiken für die Industrie (NACE Rev. 2, B-E).

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/structural-business-statistics/database> (04.05.2023).

Eurostat (2023d): Eurostat statistical classifications. <https://op.europa.eu/en/web/eu-vocabularies/eurostat> (22.03.2023).

FAO (2023): Forestry Production and Trade. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> (08.05.2023).

Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. (ITAD) (2024):

Umfrage – Aufbereitung von Hausmüllverbrennungssasche. 8. Düsseldorf, Berlin.

<https://www.itad.de/wissen/faktenblaetter/faktenblatt-umfrage-hmva-itad-igam-2022.pdf> (25.09.2025).

Lindner, C.; Schmitt, J.; Fischer, E.; Hein, J. (2022): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2021: Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen – Kurzfassung. Conversio Market & Strategy GmbH (Hg.),

Mainaschaff. https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/01-Nachrichten/03-Kunststoff/2022/Kurzfassung_Stoffstrombild_2021_13102022_1_.pdf (17.07.2025).

Lindner, C.; Schmitt, J.; Hein, J. (2020): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019. Conversio Market &

Strategy GmbH (Hg.), Mainaschaff. https://www.conversio-gmbh.com/res/News_Media/2020/Kurzfassung_Stoffstrombild_2019.pdf (25.06.2025).

OECD (2006): Council Working Party on Shipbuilding - A new Compensated Gross Ton (CGT) System. OECD Council Working Party on Shipbuilding (WP6) (Hg.). [https://one.oecd.org/document/C/WP6\(2006\)7/En/pdf](https://one.oecd.org/document/C/WP6(2006)7/En/pdf) (13.04.2023).

Schiller, G.; Ortlepp, R.; Krauß, N.; Steger, S.; Schütz Helmut; Fernández, J. A.; Reichenbach, J.; Wagner, J.;

Baumann, J. (2015): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der

Sekundärrohstoffwirtschaft (KartAI I). TEXTE 83/2015. Umweltbundesamt (Hg.), Dessau-Roßlau. S. 261.

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-in-deutschland> (15.02.2023).

Schwarz Copp, F.; Løyen, S.; Blazejczak, J.; Gornig, M. (2022): Die Nachfrage nach Primär- und

Sekundärrohstoffen der Steine-Erden-Industrie bis 2040 in Deutschland. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (Hg.), Berlin. https://cdn.prod.website-files.com/664355396b105bd9a4e9c9adb/665dd3a096315c0e03fb96fd_2022-04-20_BBS_Rohstoffstudie_01_ONLINE.pdf (25.09.2025).

Steger, S.; Ritthoff, M.; Bulach, W.; Schüler, D.; Kosińska, I.; Degreif, S.; Dehoust, G.; Bergmann, T.; Krause, P.;

Oetjen-Dehne, R. (2019): Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur

Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität - Anhang. TEXTE 34/2019.

Umweltbundesamt (Hg.), Dessau-Roßlau.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-27_texte_34-2019_sekundaerrohstoffwirtschaft_anhang.pdf (23.05.2023).

UBA (2019): Gips – Factsheet. Umweltbundesamt (Hg.), Dessau-Roßlau.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/factsheet_gips_fi_barrierefrei.pdf (25.09.2025).

UBA (2022): Grenzüberschreitende Abfallstatistik. Umweltbundesamt.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/grenzueberschreitende-abfallverbringung/grenzueberschreitende-abfallstatistik> (15.05.2023).

VCI (2019): Daten und Fakten: Rohstoffbasis der Chemieindustrie. Verband der Chemischen Industrie.

<https://www.bayerische-chemieverbaende.de/wp-content/uploads/sites/4/2019/09/daten-fakten-rohstoffbasis-chemieindustrie-3.pdf> (28.03.2023).

VCI (2023): Daten und Fakten: Energiestatistik. Verband der Chemischen Industrie.

<https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/energiestatistik-2023-3.pdf> (nicht mehr online) (28.03.2023).

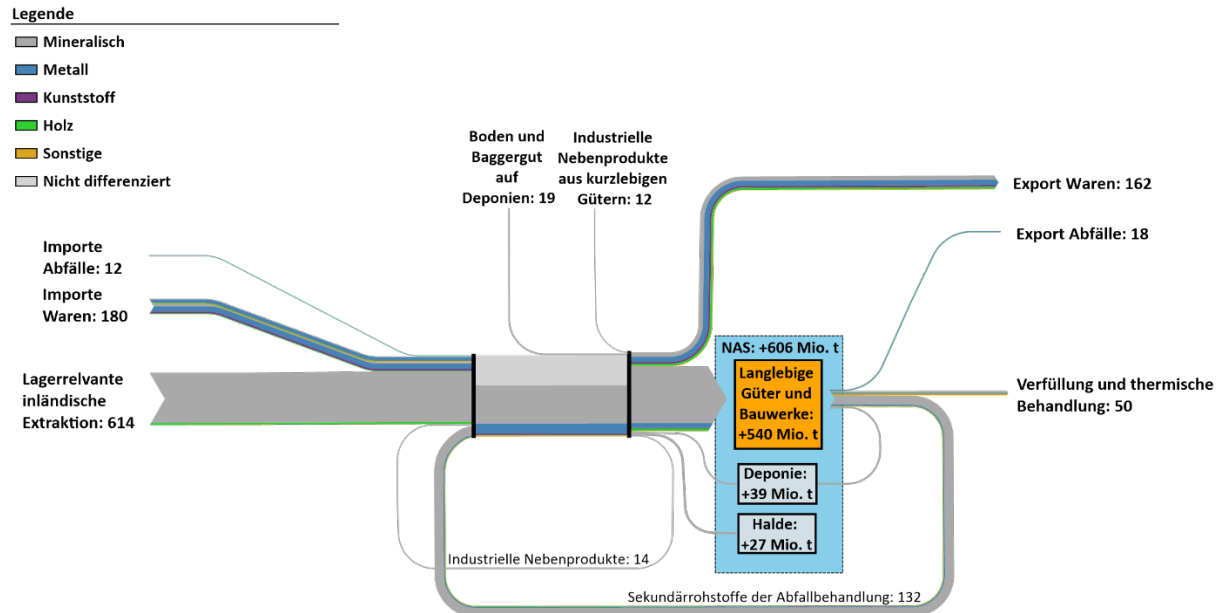
WV Stahl (2021): Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2021. Wirtschaftsvereinigung Stahl (Hg.), Berlin.

<https://www.wvstahl.de/publikationen/fakten-zur-stahlindustrie-in-deutschland-2021/> (05.09.2025).

A Anhang

A.1 Flussdiagramm für das Jahr 2020 im Detail

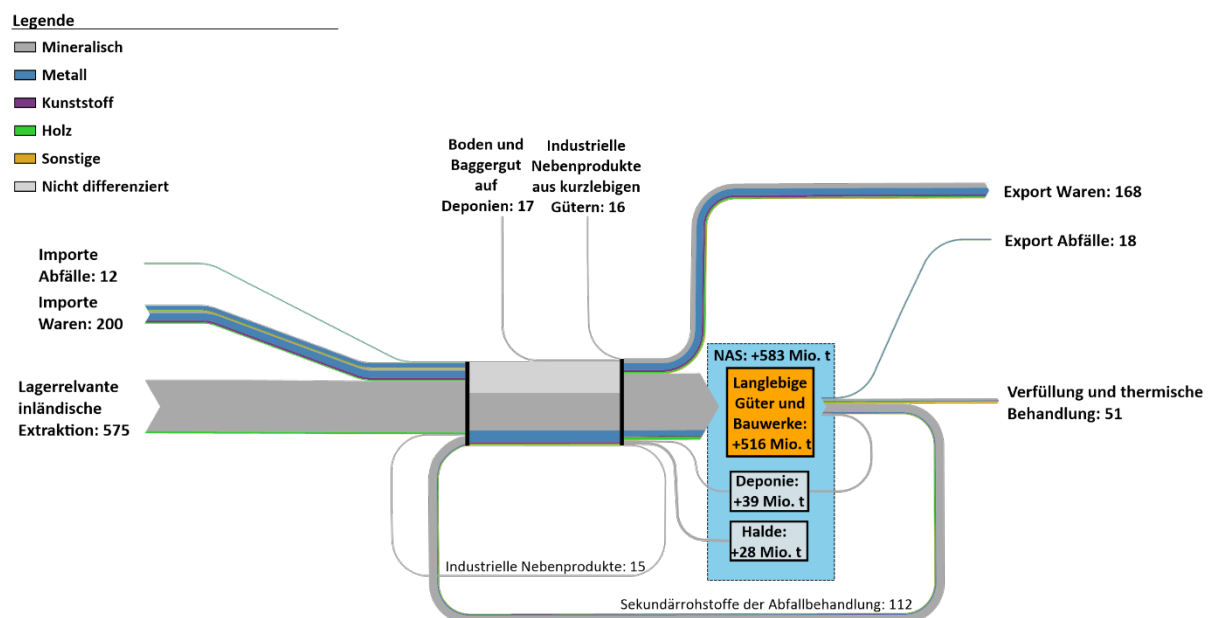
Abbildung 25: Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2020 nach Materialkategorien [in Mio. t]



Quelle: Eigene Darstellung

A.2 Flussdiagramm für das Jahr 2015 im Detail

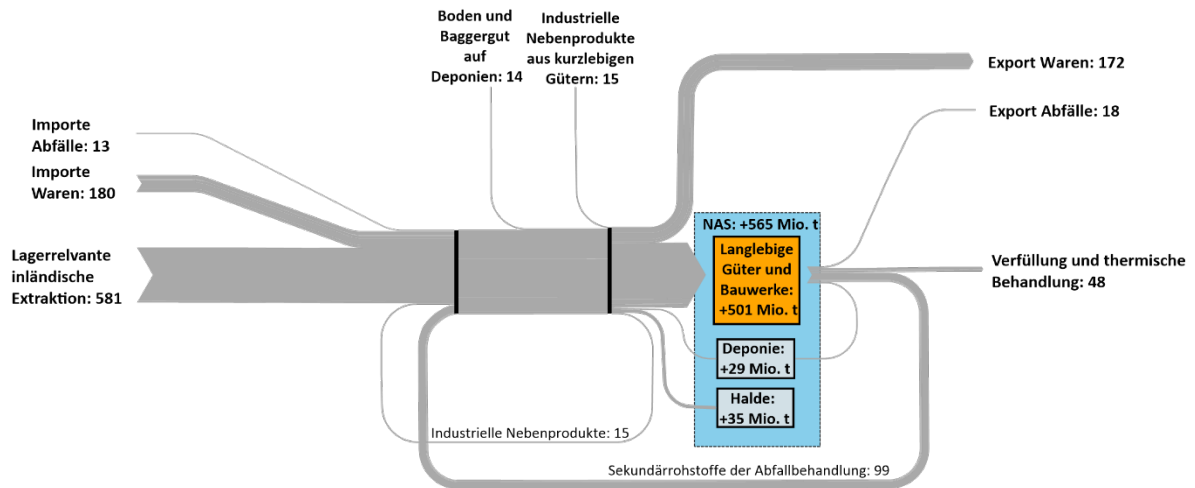
Abbildung 26: Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2015 nach Materialkategorien [in Mio. t]



Quelle: Eigene Darstellung

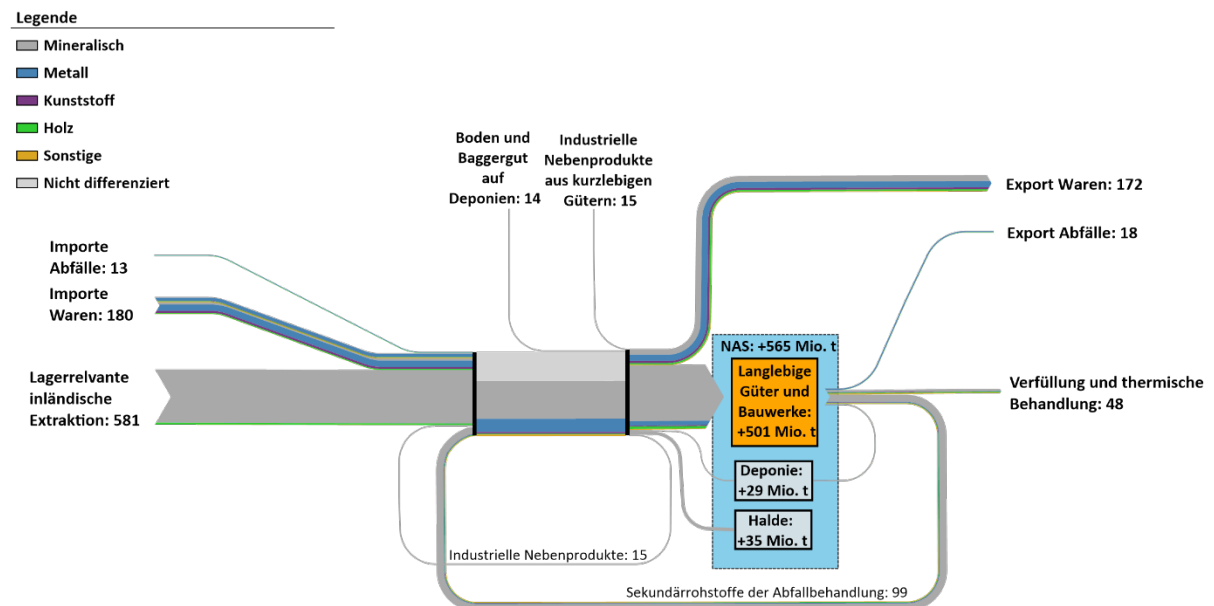
A.3 Flussdiagramme für das Jahr 2010

Abbildung 27: Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2010 [in Mio. t.]



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 28: Sankey-Diagramm – Zuwachs des anthropogenen Lagers Deutschlands 2010 nach Materialkategorien [in Mio. t.]



Quelle: Eigene Darstellung