

TEXTE

117/2023

Forschungsbericht

Ressourcennutzung in Deutschland – Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts Datengrundlagen

von:

Stephan Lutter, Julia Kreimel, Stefan Giljum
Wirtschaftsuniversität Wien, Institute for Ecological Economics, Wien

Monika Dittrich, Sonja Limberger, Birte Ewers, Karl Schoer

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH und SSG, Heidelberg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 117/2023

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

Forschungskennzahl 3719 31 105 0

FB001151

Forschungsbericht

Ressourcennutzung in Deutschland – Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts

Datengrundlagen

von

Stephan Lutter, Julia Kreimel, Stefan Giljum
Wirtschaftsuniversität Wien, Institute for Ecological
Economics, Wien

Monika Dittrich, Sonja Limberger, Birte Ewers, Karl
Schoer
Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
und SSG, 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

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Wirtschaftsuniversität Wien, Institute for Ecological Economics
Welthandelsplatz 1
1020 Wien
Österreich

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH und SSG
Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg

Abschlussdatum:

März 2022

Redaktion:

Fachgebiet I 1.1 „Grundsatzfragen, Nachhaltigkeitsstrategien und -szenarien,
Ressourcenschonung“
Christopher Manstein

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, August 2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor*innen.

Kurzbeschreibung: Ressourcennutzung in Deutschland – Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts – Datengrundlagen

Das Umweltbundesamt veröffentlicht seit dem Jahr 2016 einen nationalen Bericht zur Situation der Nutzung natürlicher Ressourcen in Deutschland: „Die Nutzung natürlicher Ressourcen in Deutschland“ (kurz: „Ressourcenbericht“). Mit diesem Vorhaben soll in Deutschland ein regelmäßiger Bericht etabliert werden, der die vielfältigen Zusammenhänge zwischen Ressourcennutzung, Ressourcenkonsum und wirtschaftlicher Entwicklung analysiert, diskutiert und interpretiert (UBA 2016a, 2018a, 2022a).

Das Forschungsvorhaben „Ressourcennutzung in Deutschland - Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts“ (DeuRess II) umfasste die wissenschaftlichen Grundlagen- und Begleitarbeiten zur Ausarbeitung des Ressourcenberichts 2022. Der vorliegende Bericht fokussiert auf die Forschungsarbeiten zur Weiterentwicklung der Datengrundlagen für den Ressourcenbericht 2022.

Die Arbeiten zur Weiterentwicklung der Datengrundlagen erfolgten dabei in drei Schritten.

(1) Zunächst wurden bestehende sowie mögliche neue bzw. ergänzende Datengrundlagen zur inländischen Rohstoffentnahme sowie zu indirekten Rohstoffflüssen – den sogenannten „Rohstoffäquivalenten“ – analysiert, um die zentralen Indikatoren des Berichts zu berechnen und die Rohstoffnutzung in Deutschland zu quantifizieren. Zudem wurden für diese Indikatoren verschiedene Ansätze zur Zeitnahschätzung analysiert, um im Ressourcenbericht möglichst aktuelle Ergebnisse präsentieren zu können. (2) Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden in einem weiteren Schritt eigene Modellrechnungen zur Abschätzung der indirekten Rohstoffflüsse durchgeführt. (3) Schließlich wurden Modellierungen durchgeführt, um den Einfluss einzelner Parameter auf Deutschlands Rohstoffnutzung („Raw Material Consumption“, RMC) zu analysieren.

Abstract: Resource use in Germany – Development of the German Resources Report – data bases

Since 2016, the German Environment Agency is publishing a report on the "The Use of Natural Resources in Germany" (in short: "Resources Report"). The aim of this project was to establish a regular report in Germany that analyses, discusses and interprets the diverse relationships between resource extraction, resource consumption, and economic development (UBA 2016b, 2018b, 2022b). (UBA 2022b, 2016b, 2018b)

The research project "Resource Use in Germany – Further Development of the German Resources Report" (DeuRess II) comprised the scientific basic and accompanying work for the preparation of the Resource Report 2022. The present report focuses on the research for the further development of the data basis for the Resources Report 2022.

This research was divided into three steps: (1) First, existing, and possible new or supplementary data sources for domestic material extraction and indirect material flows – also termed "Raw Material Equivalents" (RME) – for the Resources Report 2022 were analysed. These data were needed to calculate the key indicators of the report and to quantify the use of raw materials in Germany. To present timely results, different now-casting methods were analysed.

(2) Based on these findings, own model calculations were carried out to estimate the RMEs.

(3) Moreover, individual factors and their influence on Raw Material Consumption (RMC) were modelled.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	11
Abkürzungsverzeichnis.....	12
Zusammenfassung.....	13
Summary.....	22
1 Einleitung.....	30
2 Analyse von Datenquellen für den Ressourcenbericht 2022.....	32
2.1 Aufgabenstellung.....	32
2.2 Inländische Entnahme in Deutschland in UGR & international.....	32
2.2.1 Fragestellung.....	32
2.2.2 Problemanalyse und Lösungsansätze.....	33
2.2.3 Umsetzung im Ressourcenbericht 2022.....	36
2.3 Rohstoffäquivalente (RME).....	36
2.3.1 Fragestellung.....	36
2.3.2 Mögliche Lösungsansätze.....	37
2.3.2.1 Auswahl und Überblick der Ansätze.....	37
2.3.2.2 Vor- und Nachteile der drei Lösungsansätze.....	38
2.3.2.3 Vergleich der drei Lösungsansätze.....	42
2.3.3 Umsetzung im Ressourcenbericht 2022.....	43
2.4 Berichtsjahr und Zeitnahschätzung („Now-casting“).....	45
2.4.1 Fragestellung.....	45
2.4.2 Problemanalyse und Lösungsansätze.....	45
2.4.2.1 Berichtsjahr.....	45
2.4.2.2 Zeitnahschätzung („Now-casting“).....	47
2.4.3 Auswahl Datenquellen für den Ressourcenbericht 2022.....	49
3 Dokumentation des RME-Modells für Deutschland.....	51
3.1 Methodische Beschreibung des RME-Modells Deutschland.....	51
3.1.1 Einführung.....	51
3.1.2 Methodik.....	52
3.1.2.1 Aufgliederung der monetären IOT.....	52
3.1.2.2 Hybridisierung der IOTs.....	55
3.1.2.3 Berechnung der Importe in RME mit EU-RME-Koeffizienten.....	55
3.1.2.4 Berechnung der Exporte in RME mit dem Leontief-Verfahren.....	56

3.2	Technische Umsetzung	56
3.3	Ergebnisse	57
3.4	Vergleich mit den Ergebnissen von Destatis.....	71
3.4.1	Rohstoffindikatoren 2010 und 2018: gesamt	72
3.4.2	Rohstoffindikatoren 2010 und 2018: Biomasse	73
3.4.3	Rohstoffindikatoren 2010 und 2018: Metalle	74
3.4.4	Rohstoffindikatoren 2010 und 2018: nicht-metallische Mineralien.....	76
3.4.5	Rohstoffindikatoren 2010 und 2018: fossile Energieträger.....	76
3.4.6	Zeitreihe und Gesamtrohstoffproduktivität	77
3.5	Umsetzung im Ressourcenbericht 2022	78
4	Analyse der Auswirkungen ausgewählter Faktoren, die den Rohstoffkonsum beeinflussen	80
4.1	Hintergrund und Stand der Forschung	80
4.2	Methode des Simulationsmodells	84
4.3	Auswahl der Simulationen	85
4.4	Ergebnisse des Simulationsmodells	87
4.4.1	Parameter der Endnachfrage.....	87
4.4.2	Parameter der Produktionstechnologie	95
4.5	Fazit und Umsetzung im DeuRess II-Bericht	104
4.5.1	Fazit.....	104
4.5.2	Umsetzung im Ressourcenbericht 2022	107
5	Spezifische Aspekte der Ressourcennutzung in Deutschland	109
5.1	Kreislaufwirtschaft	109
5.2	Umweltgefährdungspotenziale.....	110
5.3	Planetare Grenzen	110
5.4	Ressourcenschonung durch Technologiewandel.....	112
6	Quellenverzeichnis	113

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) in Deutschland nach Rohstoffgruppen, 2008–2020.....	17
Abbildung 2:	Rohstoffeinsatz in Deutschland nach Rohstoffgruppen, 2010–2020	18
Abbildung 3:	Entwicklung der Gesamtrohstoffproduktivität in Deutschland im Vergleich zweier Methoden, 2010–2019	18
Abbildung 4:	Inländischer Materialkonsum (DMC) und Rohstoffkonsum (RMC) in Deutschland absolut nach Rohstoffgruppen, 2019, sowie pro Kopf, 2008-2020	19
Abbildung 5:	Auswirkungen der Erhöhung unterschiedlicher Parameter der Endnachfrage um 100 % auf den Rohstoffkonsum (RMC) (für 2010).....	20
Abbildung 6:	Auswirkungen der Erhöhung der Recyclingraten verschiedener Materialien auf den Rohstoffkonsum (RMC) (ausgehend von Recyclingraten im Jahr 2010)	21
Figure 7:	Development of Raw Material Consumption (RMC) in Germany by raw material group, 2008–2020	26
Figure 8:	Raw Material Input (RMI) in Germany by raw material groups, 2010–2020.....	26
Figure 9:	Development of total raw material productivity in Germany – comparison of two methods, 2010–2019	27
Figure 10:	Domestic Material Consumption (DMC) and Raw Material Consumption (RMC) in Germany, in absolute values by raw material group, 2019; and per capita, 2008–2020.....	27
Figure 11:	Impact of increasing different final demand parameters by 100 % on Raw Material Consumption (RMC) (for 2010).....	28
Figure 12:	Impact of increasing recycling rates of various materials on Raw Material Consumption (RMC) (based on recycling rates in 2010).....	29
Abbildung 13:	Vergleich der Entwicklung der inländischen Rohstoffentnahme Deutschlands nach Daten der UGR (Destatis) und der IRP MFA Datenbank, 1994–2017	35
Abbildung 14:	Absolute Differenz in den Daten der UGR (Destatis) und der IRP MFA Datenbank hinsichtlich der inländischen Rohstoffentnahme Deutschlands, 1994–2017.....	35
Abbildung 15:	Importe Deutschlands 2019, Gewicht nach EW-MFA versus Rohstoffäquivalente	59
Abbildung 16:	Exporte Deutschlands 2019, Gewicht nach EW-MFA versus Rohstoffäquivalente	59
Abbildung 17:	Entwicklung der Rohstoffimporte und -exporte in Deutschland, direkt und in RME	60

Abbildung 18:	Rohstoffeinsatz (RMI) in Deutschland nach Materialgruppen, 2008–2019.....	61
Abbildung 19:	Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) in Deutschland nach Rohstoffgruppen.....	61
Abbildung 20:	Rohstoffeinsatz (RMI) nach Gütergruppen, 2019	62
Abbildung 21:	Rohstoffkonsum (RMC) nach Art der letzten Verwendung, .2019.....	63
Abbildung 22:	Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) nach Art der letzten Verwendung	63
Abbildung 23:	Rohstoffkonsum der privaten Haushalte nach Bedürfnisfeldern, 2019	64
Abbildung 24:	Entwicklung des Rohstoffkonsums der privaten Haushalte.....	64
Abbildung 25:	Rohstoffkonsum (RMC) nach Rohstoffen, 2019.....	65
Abbildung 26:	Entwicklung der Gesamtrohstoffproduktivität (2010-2019)....	66
Abbildung 27:	Rohstoffindikatoren 2010 (oben) und 2018 (unten) im Vergleich	73
Abbildung 28:	Rohstoffindikatoren Biomasse 2010 (oben) und 2018 (unten) im Vergleich	74
Abbildung 29:	Rohstoffindikatoren Metalle 2010 (oben) und 2018 (unten) im Vergleich	75
Abbildung 30:	Rohstoffindikatoren nicht-metallischer Mineralien 2010 (oben)und 2018 (unten) im Vergleich.....	76
Abbildung 31:	Rohstoffindikatoren fossiler Energieträger 2010 (oben) und 2018 (unten) im Vergleich	77
Abbildung 32:	RMI und RMC im Vergleich im Zeitverlauf	78
Abbildung 33:	Gesamtrohstoffproduktivität 2010–2018/9, absolut und indexiert (2011=100), im Vergleich	78
Abbildung 34:	Beitrag der verschiedenen Faktoren (c.p.) auf die Entwicklung des globalen RMC (1990–2010)	81
Abbildung 35:	Beitrag der verschiedenen Faktoren (c.p.) auf die Entwicklung des RMC (1990–2010) differenziert nach Ländern	81
Abbildung 36:	Beitrag der verschiedenen Einflussfaktoren (c.p.) auf den RMC – Veränderung "AZE30" gegenüber 2010 in Prozent	83
Abbildung 37:	Beitrag der verschiedenen Einflussfaktoren (c.p.) auf die Veränderung des RMC – Veränderung "TW30" gegenüber "AZE30" in Prozent des Basiswertes für 2010	84
Abbildung 38:	V1 – Erhöhung der gesamten Endnachfrage um 100 % (c.p.)...88	
Abbildung 39:	V2 – Erhöhung der Exporte um 100 % (c.p.)	88
Abbildung 40:	V3 – Erhöhung der letzten inländischen Endnachfrage um 100 % (c.p.)	89
Abbildung 41:	V4 – Erhöhung der Güterverwendung um 100 % (c.p.)	90

Abbildung 42:	V4a – Erhöhung der inländischen Verwendung von Strom, Gas, Wärme, Bau- und Mobilitätsdienstleistungen um 100 % (c.p.)	91
Abbildung 43:	V5 – Erhöhung der letzten inländischen Verwendung sonstiger Dienstleistungen um 100 % (c.p.)	92
Abbildung 44:	V6 – Erhöhung der letzten inländischen Verwendung Ernährungsgütern um 100 % (c.p.)	92
Abbildung 45:	V7 – Erhöhung der Anlageinvestitionen um 100 % (c.p.)	93
Abbildung 46:	V8 – Erhöhung der Anlageinvestitionen für Wohnungsbauten um 100 % (c.p.)	94
Abbildung 47:	V9 – Erhöhung der Anlageinvestitionen für Verkehrsinfrastruktur um 100 % (c.p.)	94
Abbildung 48:	V10 – Reduktion der Inputintensitäten aller Produktionsaktivitäten um 50 % (c.p.)	95
Abbildung 49:	V11–V13 – 0 % (oben)/ 90 % (unten)/ 100 % (Mitte) – Papier-Recycling (c.p.)	97
Abbildung 50:	V14–V16 – 0 % (oben) / 80 % (unten) / 100 % (Mitte) – Eisen-Recycling (c.p.)	99
Abbildung 51:	V17–V19 – 0 % (oben) / 80 % (unten) / 100 % (Mitte) – Aluminium-Recycling (c.p.)	101
Abbildung 52:	V20–V22 – 0 % (oben) / 90 % (unten) / 100 % (Mitte) – Kupfer-Recycling (c.p.)	103
Abbildung 53:	Auswirkungen der Erhöhung unterschiedlicher Parameter der Endnachfrage um 100% auf den Rohstoffkonsum (RMC) (für 2010)	105
Abbildung 54:	Auswirkungen der Erhöhung der Recyclingraten verschiedener Materialien auf den Rohstoffkonsum (RMC) (ausgehend von Recyclingraten im Jahr 2010)	105
Abbildung 55:	Direkte Rohstoffflüsse durch die deutsche Wirtschaft nach Rohstoffgruppen, 2019	109
Abbildung 56:	Umweltgefährdungspotenzial und Umweltregulierung in Abbauländern nach Rohstoffen	110
Abbildung 57:	Das Konzept der planetaren Grenzen für Deutschland	111
Abbildung 58:	Folgen der Verarbeitung von Primär- und Sekundärmetallen für Dimensionen der planetaren Grenzen	111
Abbildung 59:	Auswirkung einer stärkeren Sekundärnutzung von Kupfer, Eisen und Aluminium auf den Rohstoffkonsum (RMC) sowie resultierende Umweltfolgen, Basisjahr 2010	112

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich der Daten der UGR mit jenen der MFA-Datenbank des UN IRP	33
Tabelle 2:	Vergleich der wichtigsten MFA-Indikatoren für Deutschland für Jahr 2010 auf Basis (1) des Destatis Modells, (2) des EU Country Tools, (3) des Eurostat-Modells und (4) von EXIOBASE - mit UN IRP-Extensionen.....	42
Tabelle 3:	Publikationsintervalle für Datensätze der statistischen Ämter	45
Tabelle 4:	Berichtsjahre der Ressourcenberichte	46
Tabelle 5:	Ergebnisse des RME-Modells für Deutschland.....	57
Tabelle 6:	Rohstoffkonsum (RMC) der privaten Haushalte in Bezug auf Güter und Dienstleistungen im Bereich Informations- und Kommunikationstechnologien nach Rohstoffgruppen, 2019 ..	67
Tabelle 7:	Primärrohstoffgehalt (RMC) der privaten Haushalte in Bezug auf Güter und Dienstleistungen im Bereich Informations- und Kommunikationstechnologien nach Sektoren, 2019	68
Tabelle 8:	Rohstoffkonsum der privaten Haushalte im Bedarfsfeld Ernährung und Anteil der Importe, 2008–2019	68
Tabelle 9:	Rohstoffkonsum der privaten Haushalte im Bedarfsfeld Ernährung nach Sub-Rohstoffgruppen, 2019	69
Tabelle 10:	Materialkonsum (RMC) der privaten Haushalte im Bedarfsfeld Wohnen, 2008–2019	70
Tabelle 11:	Materialkonsum im Bedarfsfeld Wohnen nach Sub-Rohstoffgruppen, 2019.....	70
Tabelle 12:	Geschätzte Rohstoffindikatoren für 2020 in Tausend Tonnen (RME)	71
Tabelle 13:	Übersicht der Simulationen der Endnachfrage (V1–V9)	85
Tabelle 14:	Übersicht der Simulationen der Produktionstechnologie (V10–V22)	86
Tabelle 15:	Zusammenfassung der Simulationsvarianten V1–V9 auf den RMC in % (für 2010).....	106
Tabelle 16:	Zusammenfassung der Simulationsvarianten V10–V22 auf den RMC in in % (für 2010)	107

Abkürzungsverzeichnis

BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BGS	Britischer Geologischer Dienst (engl.: British Geological Survey)
BWS	Bruttowertschöpfung
CMUR	Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe (engl.: „Circular Material Use Rate“)
DE	Inländische Rohstoffentnahme (engl.: „Domestic Extraction“)
Destatis	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
DMC	Inländischer Materialkonsum (engl.: „Domestic Material Consumption“)
DMI	Direkter Materialeinsatz (engl.: „Direct Material Input“)
DTA	Annahme inländischer Produktionstechnologie (engl.: „Domestic Technology Assumption“)
EEA	Europäische Umweltagentur (engl.: „European Environment Agency“)
EU	Europäische Union
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (engl.: „Food and Agriculture Organisation of the United Nations“)
IEA	Internationale Energieagentur (engl.: International Energy Agency)
Ktoe	Kilotonne Öleinheit (engl.: „kiloton oil equivalent“)
IOT	Input-Output-Tabelle
IUCN	Weltnaturschutzunion (engl.: „International Union for Conservation of Nature“)
LCA	Lebenszyklusanalyse (engl.: „Life Cycle Assessment“)
LV	Letzte Verwendung
MFA	Materialflussanalyse (engl.: „Material Flow Analysis“)
MRIO	Multi-regionales Input-output Modell
NKWS	Neue Kreislaufwirtschaftsstrategie
ProgRess	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm
RMC	Rohstoffkonsum (engl.: Raw Material Consumption)
RME	Rohstoffäquivalente (engl.: Raw Material Equivalents)
RMI	Rohstoffeinsatz (engl.: Raw Material Input)
SBS	Strukturelle Unternehmensstatistiken (engl.: „Structural Business Statistics“)
SDA	Structural Decomposition Analysis
SPA	Strukturpfadanalyse (engl.: „Structural Path Analysis“)
SRIO	Ein-Regionen-Input-Output-Modell (engl.: Single-region input-output Modell)
TDU	Total Domestic Use
TMR	Gesamter Materialeinsatz (engl.: „Total Material Requirement“)
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UGR	Umweltökonomische Gesamtrechnung
UN IRP	Internationaler Rat für nachhaltiges Ressourcenmanagement des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (engl.: „International Resource Panel“)
USGS	Geologischer Dienst der USA (engl.: United States Geological Survey)

Zusammenfassung

Das Umweltbundesamt veröffentlicht seit dem Jahr 2016 einen nationalen Bericht zur Situation der Nutzung natürlicher Ressourcen in Deutschland: „Die Nutzung natürlicher Ressourcen in Deutschland“ (kurz: „Ressourcenbericht“). Mit diesem Vorhaben soll in Deutschland ein regelmäßiger Bericht etabliert werden, der die vielfältigen Zusammenhänge zwischen Ressourcennutzung, Ressourcenkonsum und wirtschaftlicher Entwicklung analysiert, diskutiert und interpretiert. Die Ressourcenberichte, die bisher in den Jahren 2016, 2018 und 2022 erschienen (UBA 2016a, 2018a, 2022a), fördern die Sensibilisierung relevanter Stakeholder*innen-Gruppen für das Thema Ressourcenschonung und unterstützen entsprechende politische Prozesse wie das deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess; BMU 2020) oder aktuell die Erarbeitung der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) (Bundesregierung 2021b).

Das Forschungsvorhaben „Ressourcennutzung in Deutschland – Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts“ (DeuRess II) umfasste die wissenschaftlichen Grundlagen- und Begleitarbeiten zur Ausarbeitung des Ressourcenberichts 2022. Der vorliegende Bericht fokussiert auf die Forschungsarbeiten zur Weiterentwicklung der Datengrundlagen für den Ressourcenbericht 2022.

Hintergrund

Natürliche Ressourcen wie Rohstoffe, Wasser und Land sind die Grundlage unserer Wirtschaft und Gesellschaft. Eine wachsende Weltbevölkerung sowie zunehmender Wohlstand führen dazu, dass die Menge der genutzten Ressourcen global Jahr für Jahr ansteigt.

Allein die Gewinnung von Rohstoffen stieg seit dem Jahr 1970 um mehr als das Dreifache. Wurden 1970 noch rund 27 Milliarden Tonnen Rohstoffe extrahiert, waren es 2019 bereits 96 Milliarden Tonnen. Somit nutzte im Jahr 2019 jeder Mensch durchschnittlich etwa 12,5 Tonnen Rohstoffe (UNEP IRP 2022).

Mit der steigenden Ressourcennutzung gehen negative Umweltauswirkungen wie etwa der Klimawandel, der Verlust an Biodiversität oder Wassermangel einher, die teilweise bereits die Planetaren Grenzen unserer Ökosysteme überschritten haben (Steffen et al. 2015; Wang-Erlandsson et al. 2022; Persson et al. 2022).

Ohne einen grundlegenden Wandel hin zu einer erheblichen Steigerung der Produktivität der Rohstoff- und Ressourcennutzung und einer absoluten Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourceneinsatz werden sich globale wie auch regionale Umweltbelastungen weiter verschärfen. Ein Szenario des UN International Resource Panel (IRP) zeigt: Setzen sich die bisherigen Trends fort, würde z. B. die Rohstoffnutzung im Jahr 2060 auf über 18 Tonnen pro Kopf ansteigen – mit Folgen für die Umwelt und das Leben der Menschen auf der Erde (UNEP IRP 2019).

Ein schonender und effizienter Umgang mit natürlichen Ressourcen ist somit ein zentrales Anliegen der Umweltpolitik. Deutschland hat sich mit dem Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess; BMU 2012) und seinen Fortschreibungen (ProgRess II und ProgRess III; BMU 2016, 2020) zu einer nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen bekannt. Die Bundesregierung fördert die Kreislaufwirtschaft als effektiven Klima- und Ressourcenschutz und verfolgt das Ziel der Senkung des primären Rohstoffverbrauchs und geschlossener Stoffkreisläufe. Aktuell wird hierzu eine „Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS)“ entwickelt (Bundesregierung 2021b).

Auch auf europäischer und internationaler Ebene wurden Politiken für eine effizientere und nachhaltigere Nutzung von natürlichen Ressourcen entwickelt (EEA 2020). Die europäische Kommission entwickelte als Teile des Green Deal (Europäische Kommission 2019) eine neue Version des „Circular Economy Action Plan“ (European Commission 2020). Entsprechende Aktivitäten finden z. B. auch bei der G7 und G20, bei der Vereinten Nationen (International Resource Panel IRP) oder der OECD statt (G20 2019; G7 2022; UNEP IRP 2020a). In vielen Ländern, auch außerhalb Europas bzw. der G20, werden Politiken für die effiziente Nutzung von natürlichen Ressourcen, einschließlich Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) neu- bzw. weiterentwickelt (Dittrich et al. 2020a; Dittrich et al. 2023).

Ziel und Schritte des Forschungsvorhabens

Grundvoraussetzung für die Berichterstattung zur Rohstoffnutzung ist eine umfassende und möglichst aktuelle Datengrundlage, die Rohstoffentnahme, Konsums sowie den Handel mit Rohstoffen umfasst und mögliche Entkopplungstendenzen aufzeigt.

Der vorliegende Forschungsbericht beschreibt die wissenschaftlichen Arbeiten zur Weiterentwicklung der Datengrundlagen für den dritten Ressourcenbericht (UBA 2022a), die in den Jahren 2019 bis 2022 von der Wirtschaftsuniversität Wien, dem Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg und Dr. Karl Schoer (Sustainable Solution Germany, SSG) durchgeführt wurden.

Die Arbeiten zur Weiterentwicklung der Datengrundlagen erfolgten in drei Schritten. (1) Zunächst wurden bestehende sowie mögliche neue bzw. ergänzende Datengrundlagen zur inländischen Rohstoffentnahme sowie zu indirekten Rohstoffflüssen – den sogenannten „Rohstoffäquivalenten“ – analysiert, um die zentralen Indikatoren des Berichts zu berechnen und die Rohstoffnutzung in Deutschland zu quantifizieren. Zudem wurden für diese Indikatoren verschiedene Ansätze zur Zeitnahschätzung analysiert, um im Ressourcenbericht möglichst aktuelle Ergebnisse präsentieren zu können. (2) Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden in einem weiteren Schritt eigene Modellrechnungen zur Abschätzung der indirekten Rohstoffflüsse durchgeführt. (3) Schließlich wurden Modellierungen durchgeführt, um den Einfluss einzelner Parameter auf Deutschlands Rohstoffkonsum (engl. „Raw Material Consumption“, RMC) zu analysieren.

Für einen großen Teil der benötigten Informationen konnte auf empirische Daten der öffentlichen Statistik (insb. die Umweltgesamtrechnung des statistischen Bundesamtes) zurückgegriffen werden. Ein Teil der Indikatoren für den Ressourcenbericht bezieht sich auf indirekte Handelsströme (sog. „Rohstoffäquivalente“, RME). Diese beruhen nicht auf empirischen Daten, sondern werden modellgestützt berechnet. Dazu werden auf europäischer und internationaler Ebene zunehmend Input-Output (IO) Modelle entwickelt bzw. genutzt. Das statistische Amt der Europäischen Union (Eurostat) stellt für EU-Mitgliedsländer ein Berechnungstool zur Verfügung. Ziel der hier beschriebenen Arbeiten war die Weiterentwicklung der Datengrundlagen für den Ressourcenbericht 2022, insbesondere die Durchführung von RME-Modellrechnungen für Deutschland, die mit dem Eurostat-Modell harmonisiert sind und eine Ergänzung zur nationalen Berichterstattung darstellen.

Analyse von Datenquellen für den Ressourcenbericht 2022

Zur Weiterentwicklung der Datengrundlagen für den Ressourcenbericht 2022 wurde zuerst eine Bestandsaufnahme durchgeführt. Diese beinhaltete die Betrachtung, Analyse und Diskussion bestehender sowie möglicher neuer bzw. ergänzender Datengrundlagen. Dadurch sollten Datenlücken überbrückt, Zeitreihen verlängert und die Aktualität und Qualität des Berichts erhöht werden. Die Arbeiten erfolgten in drei Teilen:

(1) Vergleich der Daten zur inländischen Rohstoffentnahme

Für die bisher veröffentlichten Ressourcenberichte 2016 und 2018 wurden für die inländische Entnahme Daten der Umweltgesamtrechnung (UGR) von Destatis verwendet. Es ist davon auszugehen, dass diese Daten vom statistischen Bundesamt die höchste Genauigkeit aufweisen. Die Darstellung der inländischen Entnahme basiert daher auch im Ressourcenbericht 2022 auf diesen Daten. Um die inländische Entnahme Deutschlands mit anderen Ländern zu vergleichen, wurde zunächst geprüft, inwiefern die Daten aus der UGR Deutschlands von internationalen „Material Flow Accounting“ (MFA)-Datensätzen abweichen.

Für Vergleiche auf europäischer Ebene wurde die Datenbank von Eurostat verwendet (Eurostat 2021d), welche die offiziellen MFA-Statistiken aller Mitgliedsstaaten enthält, die demselben statistischen Standard folgen. Für Daten zur internationalen Rohstoffentnahme bietet sich die UN IRP Datenbank als international anerkannte Referenzdatenbank an (UNEP IRP 2022). Der Vergleich der Daten für Deutschland von Destatis und der IRP-Datenbank zeigt, dass vor allem für die Kategorien fossile Energieträger sowie für Metallerze die beiden Datenbanken sehr ähnliche Zahlen berichten. Bei Biomasse sowie bei nicht-metallischen Mineralien liegen die von Destatis berichteten Zahlen zum Teil deutlich über jenen der Datenbank des UN IRP. Durch die lediglich kleinen Unterschiede bei den Trends einzelner Kategorien war auch der internationale Vergleich gut umsetzbar.

(2) Vergleich der Daten zu Rohstoffäquivalenten

Daten zum indirekten Rohstoffbedarf (RME) spielen bei der Konzeption des Ressourcenberichts in mehreren Themenfeldern eine wichtige Rolle. Da die internationalen Lieferketten zu komplex und die Produktvielfalt zu hoch sind, können Berechnungen der RME der gehandelten Güter nicht vollständig auf statistischen Daten beruhen, sondern müssen zwangsläufig modellgestützt erfolgen. Bislang wurden für die Ressourcenberichte RME-Daten von Destatis verwendet (Kaumanns und Lauber 2016; Maier 2018).

Die dem Destatis-Modell zugrundeliegende Methode ist ein hybrides „single-region input-output (SRIO) Modell“, das in seinen Grundzügen vor rund 15 Jahren entwickelt wurde (Lauber et al. 2004; Schoer und Stahmer 2004; Schoer 2004). Der große Vorteil dieses Modells ist, dass es Daten der amtlichen Statistik verwendet. Allerdings weicht das Modell in einigen methodischen Aspekten von aktuellen Entwicklungen in der Forschung ab. Auf europäischer und internationaler Ebene werden zunehmend multiregionale Input-Output (MRIO)-basierte Modelle entwickelt bzw. genutzt, deren empirische Ausgangsdaten laufend verbessert werden und deren sektorale Gliederungen spezifische Herausforderungen bei der Berechnung von Rohstoffflüssen (bspw. der Metallflüsse) berücksichtigen, wie beispielsweise das vom UN International Resource Panel (IRP) entwickelte globale MRIO namens „GLORIA“ (Lenzen et al. 2021).

Neben dem Destatis-Modell standen zwei weitere Optionen zur Berechnung von RME für Deutschland zur Verfügung: Ein für Eurostat entwickelter Ansatz sowie globale multi-regionale input-output (MRIO) Modelle.

Der Eurostat-Ansatz basiert auf einem sehr differenzierten hybriden SRIO-Modell für die EU als Region und berücksichtigt regional abweichende Technologien für rohstoffrelevante Importe (Schoer et al. 2022). Zusätzlich bietet Eurostat ein sogenanntes „Country Tool“ an, das es einzelnen Ländern ermöglichen soll, auf Basis der Umweltgesamtrechnung (UGR) sowie mit Hilfe von aus dem Gesamtmodell abgeleiteten Koeffizienten RME-basierte Indikatoren zu berechnen (Eurostat 2019). Für Länder wie Deutschland kann also entweder das EU-Country Tool genutzt werden oder aber auch das EU-Modell teilweise (d.h. für die Berechnung der RME

der Exporte basierend auf heimischer Produktionstechnologie) oder vollständig (d.h. einschließlich der Übertragung der Berechnungsweise der RME-Importe) auf Deutschland übertragen werden.

Die RME der international gehandelten Güter Deutschlands können aber auch basierend auf einem globalen MRIO-Modell berechnet werden. MRIO-Modelle verwenden monetäre Daten zur Produktion und zum Handel einzelner Sektoren in unterschiedlichen Ländern, um die Rohstoffentnahme in Primärsektoren über die unterschiedlichen Lieferketten der Endnachfrage der einzelnen Länder zuzurechnen. Input-Output-Tabellen (IOT) bilden die Handelsbeziehungen der einzelnen Sektoren innerhalb der einzelnen Länder sowie für alle Länder der Welt (bzw. Restder-Welt-Regionen) untereinander ab. Um das Modell auszubalancieren, sind teilweise erhebliche Adaptierungen der originalen IOT sowie der Daten zum direkten Handel notwendig. MRIO-Modelle haben den Vorteil, die gesamte Weltwirtschaft und ihre unterschiedlichen Lieferketten abzubilden. So kann der geografische Ursprung der Rohstoffe, die zur Befriedigung der deutschen Endnachfrage benötigt werden, zurückverfolgt werden.

Da zum Zeitpunkt der Arbeiten am Ressourcenbericht nicht gesichert war, dass von Destatis Daten für zusätzliche thematische Auswertungen ausreichend differenziert und vor allem zeitnah aktualisiert zur Verfügung stehen, wurden Alternativen untersucht. Gemäß Leistungsbeschreibung zur Ausschreibung dieses Vorhabens waren auf der Basis der Untersuchung alternative Datenquellen zu entwickeln. Berechnungen mit Hilfe des Eurostat Country Tools sind mit relativ geringem Aufwand durchführbar – allerdings sind damit einige Einschränkungen verbunden. Für die zweite Eurostat-Modellvariante – die (Teil-) Übertragung des Modells auf Deutschland – ist der Aufwand für die Datenbeschaffung und Plausibilisierung sowie für zusätzlich erforderliche methodische Anpassungen höher als beim Country Tool. Dafür kann die Genauigkeit bei der Schätzung der Exporte mit Hilfe des Eurostat-Modells spürbar verbessert werden. Aus diesem Grund erfolgten die RME-Berechnungen schließlich mit Hilfe des auf Deutschland angewendeten RME-Modells von Eurostat (Kap. 3 RME-Modell für Deutschland).

Lieferkettenstrukturen der deutschen Wirtschaft und die geografische Herkunft der Rohstoffe können im Detail nur mit MRIO-Berechnungen analysiert werden. Dazu wurde die MRIO-Datenbank GLORIA eingesetzt, die für die regelmäßigen Berechnungen konsumbasierter Indikatoren der Rohstoffnutzung des UN IRP entwickelt wurde (Lenzen et al. 2021).

(3) Berichtsjahr und Zeitnahschätzung

Öffentliche Statistiken zur Entnahme und zum Handel von Rohstoffen können erst mit einer gewissen zeitlichen Verspätung publiziert werden. Für die bisher veröffentlichten Ressourcenberichte 2016 und 2018 lagen die Berichtsjahre jeweils drei Jahre zurück. Die Analyse der Verfügbarkeit der amtlichen Daten zeigte, dass das Jahr 2019 nahezu vollständig vorlag, für das Jahr 2020 waren hingegen nur die Daten zur inländischen Entnahme verfügbar.

Um zeitnahe Ergebnisse zu präsentieren und den Ressourcenbericht 2022 so für aktuelle Diskussionen interessanter zu machen, war eine Zeitnahschätzung für die zentralen Indikatoren vorgesehen. Die Fortschreibungen auf der Basis der Entwicklungen in den früheren Jahren war jedoch aufgrund der in Folge der Pandemie teilweise erheblich unterschiedlichen Produktions- und Konsummuster in 2020 nicht anwendbar. Daher wurde schließlich eine andere Vorgehensweise angewandt: Basierend auf der Beobachtung, dass die Veränderungen der direkten Im- bzw. Exporte und die Veränderungen der indirekten Im- und Exporte (RME) oftmals ähnlich verlaufen, wurden die prozentualen Veränderungen der Importe bzw. Exporte zwischen 2019 und 2020 der bereits vorliegenden Daten von Eurostat auf die RME der Importe bzw. Exporte übertragen. Die Indikatoren Rohstoffkonsum (RMC) und Rohstoffeinsatz (RMI) wurden über

die Summen der heimischen Entnahme und der Importe bzw. Exporte berechnet. Im Ressourcenbericht sind sie als vorläufige Schätzung ausgewiesen.

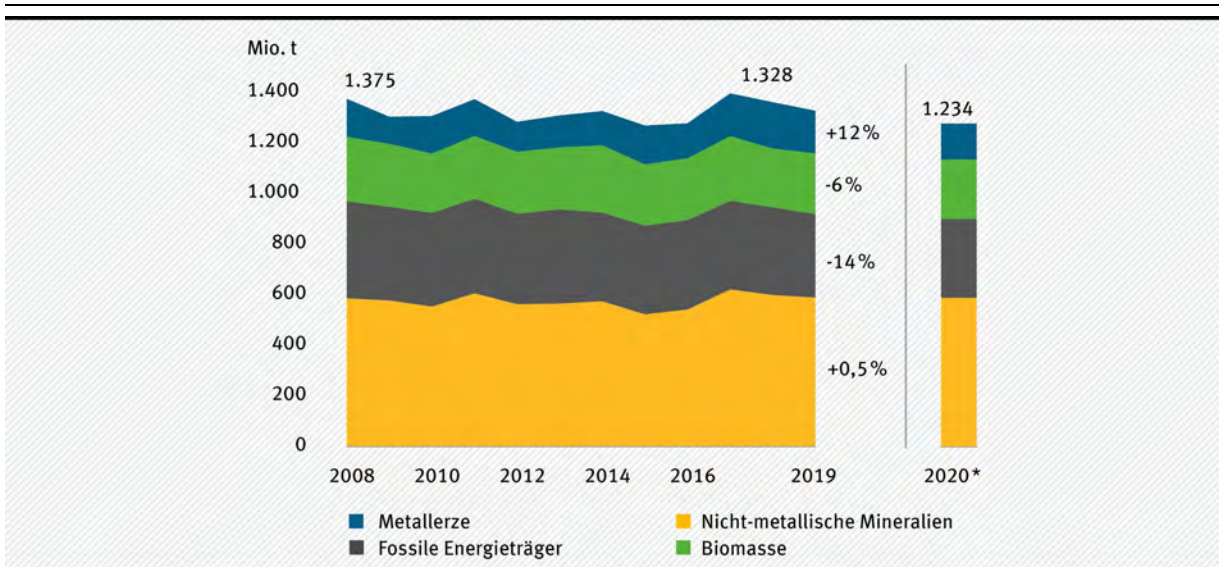
Das Modell der „Raw Material Equivalents (RME)“ für Deutschland

Das Modell der „Raw Material Equivalents (RME)“ für Deutschland ist an das EU-Modell von Eurostat (Schoer et al. 2022) sowie an das Country Tool von Eurostat (Schoer et al. 2023) angelehnt. Es handelt sich dabei um ein umweltökonomisches Rohstoffmodell, das auf einem hybriden Ansatz beruht und die deutsche Volkswirtschaft einschließlich ihrer Importe und Exporte abbildet. Grundlage dieses nationalen Modells sind hybride Input-Output-Tabellen (IOT), welche die wirtschaftliche Verflechtung von Produktion und Konsum für Deutschland teils in monetären, teils in physischen Größen abbilden. Für rohstoffintensive Produktionsaktivitäten (z. B. Verarbeitung von Rohstoffen, Baustoffe) werden physische Einheiten verwendet, welche die Rohstoffflüsse besser repräsentieren. Die restlichen Gütergruppen werden in monetären Einheiten dargestellt.

Für Importe aus der Europäischen Union nach Deutschland wurden die durchschnittlichen RME-Koeffizienten der EU-27 angewandt. Importe aus Nicht-EU-Ländern wurden mit den RME-Koeffizienten der EU-27-Importe aus dem europäischen Standard-Modell berechnet. Exporte und die letzte inländische Verwendung wurden auf der Basis der deutschen Verflechtungsmatrix unter Berücksichtigung der Importe mit dem Leontief-Verfahren ermittelt.

Im dritten Ressourcenbericht wurde insbesondere auf die Daten aus dem RME-Modell für Deutschland zurückgegriffen. Abbildung 1 zeigt beispielsweise die Ergebnisse der Berechnungen des Rohstoffkonsums. Demnach sank Deutschlands Rohstoffkonsum zwischen 2008 und 2019 von 1.375 auf 1.328 Mio. Tonnen. Generell wurden bei den Hauptindikatoren die Ergebnisse des Modells den von Destatis publizierten Werten direkt gegenübergestellt.

Abbildung 1: Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) in Deutschland nach Rohstoffgruppen, 2008–2020



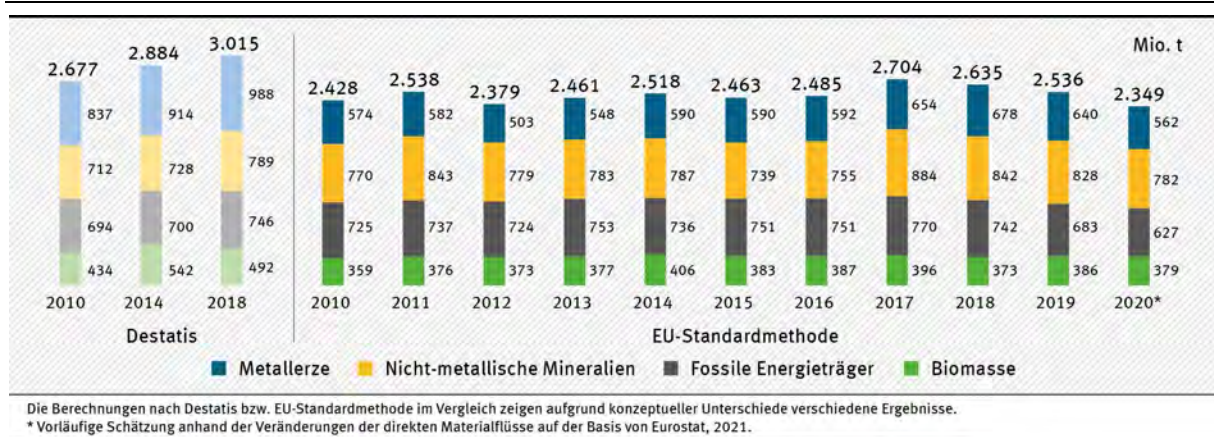
* Vorläufige Schätzung anhand der Veränderungen der direkten Materialflüsse auf der Basis von Eurostat, 2021.

Quelle: eigene Darstellung für den Ressourcenbericht 2022 (UBA 2022a)

Im RME-Modell wurden die Extraktionsdaten, die Eurostat veröffentlicht, genutzt. Sie gehen auf Datenlieferungen von Destatis zurück. Aufgrund konzeptioneller Unterschiede in den Modellen weichen die Ergebnisse des RME-Modells von den Destatis-RME-Werten ab – insbesondere bei den mineralischen Rohstoffen.

Insgesamt liegen die Importe und die Exporte in RME im Destatis-Modell deutlich höher als in den Berechnungen mit dem RME-Modell. Der RMI beinhaltet die im Inland entnommenen Rohstoffe zuzüglich Importe in RME. Aufgrund der Unterschiede bei Im- und Exporten zwischen den beiden Modellen, ist in Folge ist auch der RMI im Destatis-Modell höher (Abbildung 2) – im Jahr 2018 beispielsweise um +14 %. In beiden Berechnungsmodellen folgt der RMI aber demselben Trend. Insgesamt verändert sich der RMI über den gesamten Zeitraum von 2010 bis 2019 (gemäß RME-Modell) nur wenig (+4 %).

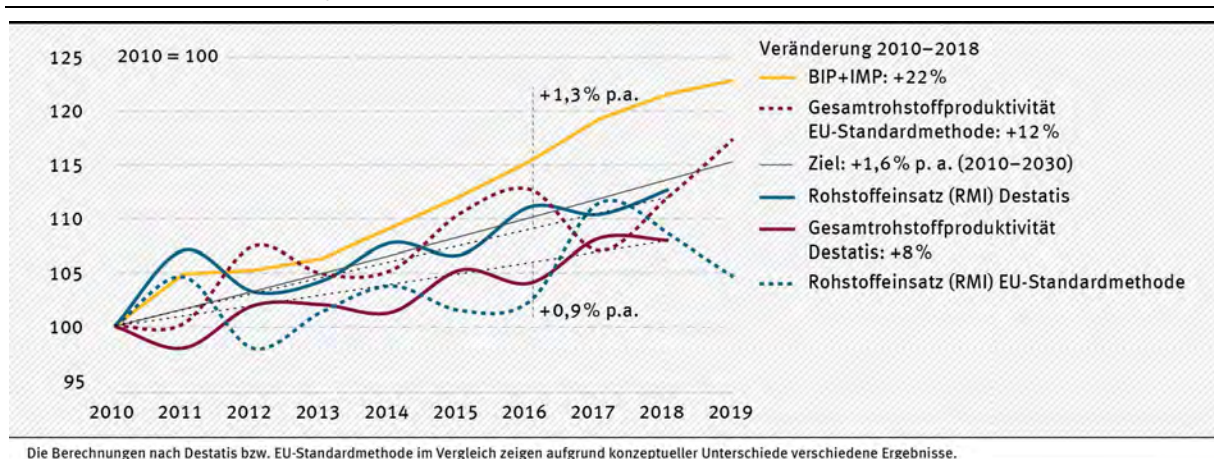
Abbildung 2: Rohstoffeinsatz in Deutschland nach Rohstoffgruppen, 2010-2020



Quelle: eigene Darstellung für den Ressourcenbericht 2022 (UBA 2022a)

Ein weiterer zentraler Indikator des Ressourcenberichts ist die Gesamtrohstoffproduktivität. Aufgrund des höheren RMI liegen die Werte im RME-Modell in allen Jahren über den Werten von Destatis (Abbildung 3). Insgesamt betrug der Anstieg der Gesamtrohstoffproduktivität im Zeitraum 2010 bis 2018 nach Destatis 8 % – ein Wachstum von 0,9 % pro Jahr. Nach EU-Standardmethode erhöhte sich die Gesamtrohstoffproduktivität zwischen 2010 und 2018 um 12 % (1,3 % pro Jahr).

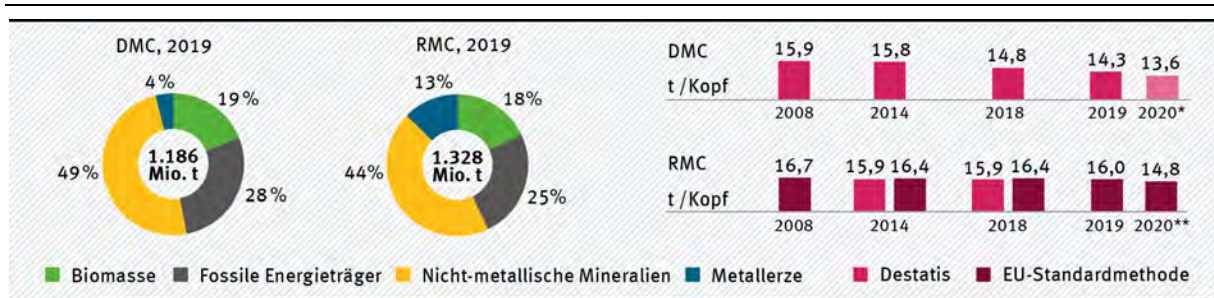
Abbildung 3: Entwicklung der Gesamtrohstoffproduktivität in Deutschland im Vergleich zweier Methoden, 2010–2019



Quelle: eigene Darstellung für den Ressourcenbericht 2022 (UBA 2022a)

Die Unterschiede beim RMC sind gering (Abbildung 4). Gemäß den Berechnungen nach EU-Standardmethode belief sich der RMC 2018 auf 16,4 Tonnen pro Kopf. Im Vergleich dazu weist Destatis einen RMC von 15,9 Tonnen pro Kopf aus.

Abbildung 4: Inländischer Materialkonsum (DMC) und Rohstoffkonsum (RMC) in Deutschland absolut nach Rohstoffgruppen, 2019, sowie pro Kopf, 2008–2020



Die Berechnungen nach Destatis bzw. EU-Standardmethode im Vergleich zeigen aufgrund konzeptueller Unterschiede verschiedene Ergebnisse.
 * Fortschreibung basierend auf dem Trend gemäß Eurostat, 2021.
 ** Vorläufige Schätzung anhand der Veränderungen der direkten Materialflüsse auf der Basis von Eurostat, 2021.

Quelle: eigene Darstellung für den Ressourcenbericht 2022 (UBA 2022a)

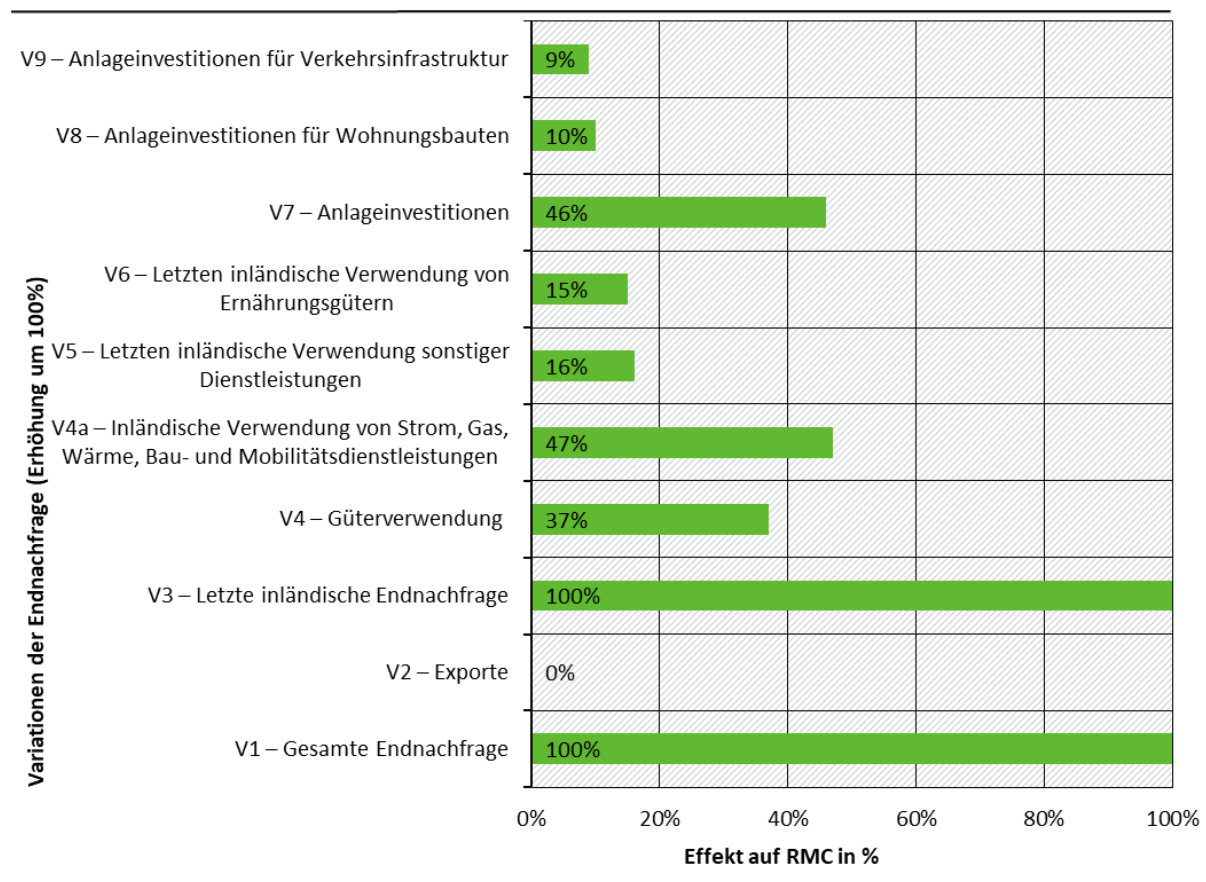
Wichtigste konzeptionelle Unterschiede zwischen den beiden Methoden betreffen die Berücksichtigung von Sekundärrohstoffen und Annahmen zur Produktionstechnologie für importierte Waren.

Auswirkungen ausgewählter Faktoren auf den Rohstoffkonsum

Abschätzungen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der Ressourcennutzung sind von hoher wirtschaftlicher wie politischer Relevanz. Um die Rohstoffnutzung in der Zukunft im Ressourcenbericht 2022 zu skizzieren und zu erläutern, wurden im Rahmen dieser Forschungsarbeiten unterschiedliche Parameter auf ihren isolierten Effekt auf den Rohstoffkonsum (RMC) ausgehend vom Jahr 2010 untersucht. Diese Berechnungen sollten die Effekte von zentralen Stell-schrauben ermitteln. Die politische bzw. wirtschaftliche Plausibilität der Simulationsannahmen standen hingegen nicht im Fokus der Analyse dieses Forschungsvorhabens.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass eine Veränderung innerhalb verschiedener Kategorien der Endnachfrage einen mittleren bis starken Effekt auf den RMC hat. Eine Erhöhung rohstoff-intensiver Güterverwendungen wirkt sich deutlich stärker aus (V4; +37 %) als eine Erhöhung der Endnachfrage nach Dienstleistungen (V6; +16 %) (Abbildung 5).

Abbildung 5: Auswirkungen der Erhöhung unterschiedlicher Parameter der Endnachfrage um 100 % auf den Rohstoffkonsum (RMC) (für 2010)



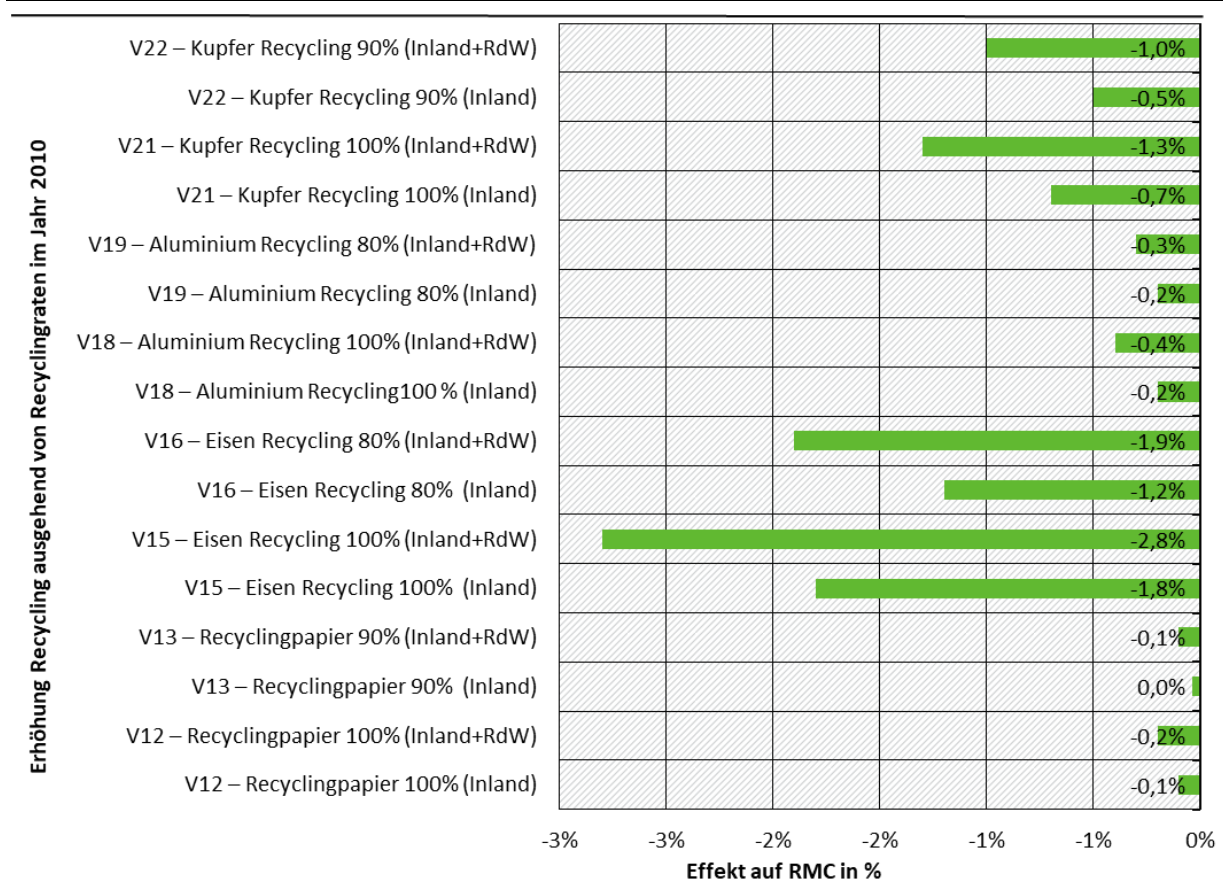
Quelle: eigene Berechnungen, Ifeu/SSG

Weitere Stellschrauben mit bedeutenden Auswirkungen sind die Anlageinvestitionen, die materialintensiven Investitionen im Baubereich und in den Verkehrsinfrastrukturen.

Die Einflussnahme durch die Produktionstechnologie ist vor dem Hintergrund noch nicht ausgenutzter Effizienzpotenziale interessant und kann wesentlich zur Minderung des Rohstoffkonsums beitragen.

Abbildung 6 zeigt wiederum die Effekte der Erhöhung von Recyclingraten verschiedener Materialien auf den RMC ausgehend vom Basiswert (2010). Besonders hoch sind die Einspar-effekte bei Metallen wie Eisen und Kupfer. Beispielsweise würde der Ausbau der Sekundärkupferproduktion von derzeit 56 % auf 90 % c.p. den RMC metallischer Rohstoffe um rund 0,4 % senken.

Abbildung 6: Auswirkungen der Erhöhung der Recyclingraten verschiedener Materialien auf den Rohstoffkonsum (RMC) (ausgehend von Recyclingraten im Jahr 2010)



Quelle: eigene Berechnungen, Ifeu/SSG; Anmerkung: RdW = Rest der Welt

Insbesondere bei Kupfer und Eisen ist eine verstärkte Nutzung von Sekundärrohstoffen im Sinne einer auf Ressourcenschonung ausgerichteten Politik ein wichtiger Hebel. Das veranschaulicht einmal mehr die politische Relevanz der Weiterentwicklung der Datengrundlagen, da nur mit detaillierten Daten zu Recycling-Potentialen bzw. tatsächlichen Quoten entsprechende Maßnahmen gesetzt werden können.

Die Arbeiten im Rahmen dieses Forschungsprojektes leisteten nicht zuletzt im Bereich der indirekten Flüsse einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Datengrundlagen für eine wissenschaftlich fundierte Rohstoffpolitik in Deutschland. Aufgrund der methodischen Harmonisierung des verwendeten Ansatzes mit jenem von Eurostat können sie auch als Beitrag zur wissenschaftlichen Diskussion in diesem Themenbereich gesehen werden. Es wird daher empfohlen, diese Berechnungsweise auch in Zukunft fortzuführen.

Summary

Aim and Subject of the Research Project

Since 2016, the German Environment Agency regularly publishes a national report on the situation of natural resource use in Germany: “The Use of Natural Resources in Germany” (also: “Resources Report”). The aim of this project is to establish a regular report for Germany that analyses, discusses and interprets the interrelationships between resource extraction, resource consumption, and economic development. The Resources Reports, published in 2016, 2018, and 2022 (UBA 2016b, 2018b, 2022b), promote the sensitization of relevant stakeholder groups of resource conservation and support corresponding political action and institutions such as the German Resource Efficiency Program (ProgRess; BMU 2020) and, currently, the development of the National Recycling Management Strategy (Bundesregierung 2021b).

The research project "Resource Use in Germany – Further Development of the German Resources Report" (DeuRess II) comprised the scientific work for the preparation of the Resources Report 2022.

The present research report focuses on the scientific work for the further development of the data basis for the Resources Report 2022.

Background

Natural resources such as raw materials, water or land are the basis of our economy and society. Due to worldwide population growth and wealth increases globally, the amount of resources used is rising yearly. The global extraction of raw materials alone has increased more than threefold since 1970. Around 27 billion tons of raw materials were extracted in 1970, and by 2019 extraction had risen to 96 billion tons, amounting to an average use of 12.5 tonnes of raw materials per capita (UNEP IRP 2022). Increased use of raw materials leads to negative environmental impacts such as climate change, loss of biodiversity and water shortages, some of which already exceeded the planetary boundaries of our ecosystems (Steffen et al. 2015; Wang-Erlandsson et al. 2022; Persson et al. 2022).

Without a fundamental increase in raw material and resource productivity and an absolute decoupling of economic growth from resource use, global and regional environmental pressures will continue to worsen. A scenario from the UN International Resource Panel (IRP) shows that if current trends continue, raw materials use will grow to more than 18 tonnes per capita in 2060, with consequences for the environment, human life, the economy, and society (UNEP IRP 2019).

The sustainable use of natural resources is thus a central concern of environmental policy. With the German Resource Efficiency Program (ProgRess; BMU 2012) and its updates (ProgRess II und ProgRess III; BMU 2016, 2020), the German government committed to the sustainable use and protection of natural resources. The German government promotes the circular economy as an effective means of climate and resource protection and pursues the reduction of primary raw material consumption and closed material cycles. A "National Circular Economy Strategy" (NKWS) is currently being developed for this purpose (Bundesregierung 2021b).

Policies for more efficient and sustainable use of natural resources have also been developed at the European and international levels (EEA 2020). The European Commission developed a new version of the "Circular Economy Action Plan" (European Commission 2020) as part of the Green Deal (European Commission 2019). Corresponding activities are also taking place, for example, at the G7 and G20, the United Nations (International Resource Panel, IRP) and the OECD (G20 2019; G7 2022; UNEP IRP 2020a). In many countries, also outside Europe or the G20, policies for

the efficient use of natural resources, including the circular economy, are being developed or further developed (Dittrich et al. 2020a; Dittrich et al. 2023).

Aim and Steps in the Research Project

The basic prerequisite for reporting on the use of natural resources is a comprehensive and up-to-date database on the extraction and consumption of, and trade in, raw materials, and on possible decoupling trends.

This report describes the scientific work on the further development of the data sources for the third Resources Report (UBA 2022a) conducted from 2019 to 2022 by the Vienna University of Economics and Business Administration, the Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg, and Dr. Karl Schoer (Sustainable Solution Germany, SSG).

The work was carried out in three steps. (1) First, existing and possible new or supplementary data bases for Domestic Raw Material Extraction and indirect raw material flows – so-called "Raw Material Equivalents" – were analysed to calculate the central indicators of the Resources Report and to quantify raw material use in Germany. In addition, various approaches to near-time estimation were analysed to present the most up-to-date results for these indicators in the Resources Report. (2) Based on these findings, model calculations were carried out to estimate the indirect raw material flows. (3) Finally, the influence of individual parameters on Germany's Raw Material Consumption (RMC) was modelled and analysed.

For most of the data required, it was possible to draw from empirical data available from public statistics (especially the environmental accounts of the German Statistical Office). Some of the indicators for the Resources Report refer to indirect trade flows (i.e. "Raw Material Equivalents" or RME). These are not based on empirical data, but are calculated using models. For this purpose, input-output (IO) models are increasingly being developed or used at the European and international level. Eurostat, the statistical office of the European Union, provides such a model for EU member countries. The aim of the work described in this report was to further develop the data basis for the Resources Report 2022 and to calculate and model RME for Germany in harmonization with the Eurostat model. The results provide RME data complementary to national statistics.

Analyses of Data Sources for the Resources Report 2022

To elaborate on the data sources for the 2022 Resources Report, stocktaking was the first step. Entailing the consideration, analysis, and discussion of already existing and possible new/additional data sources. The aim was to close data gaps, extend time series, and increase the timeliness and quality of the report. This was accomplished in three steps:

(1) Comparison of domestic material extraction data

For the Resources Reports published to date (2016 and 2018), domestic extraction data from the Destatis environmental accounts (UGR) were used. This data from the Federal Statistical Office is assumed to be of highest accuracy, and domestic extraction accounts in the 2022 Resources Report continue to be based on this data. To compare Germany's domestic extraction with other countries', it was first examined to what extent data from Germany's UGR differs from international Material Flow Analyses (MFA) databases.

For comparisons among countries of the European Union, the Eurostat database was used (Eurostat 2021d). It reports official MFA statistics of all member states following the same statistical standard and methodology.

International raw material extraction data is from the internationally recognized UN International Resource Panel (IRP) database (UNEP IRP 2022). A comparison between data on

raw material extraction in Germany by IRP and by Destatis showed that similar values for fossil energy sources and metal ores, but for biomass and non-metallic minerals the figures reported by Destatis are sometimes higher. Due to minor differences in the trends of individual categories, the IRP data was used for international comparison.

(2) Comparison of data on Raw Material Equivalents

Data on indirect raw material demand (also called “Raw Material Equivalents” or RME) plays an important role in several thematic areas of the Resources Report. Because international supply chains are too complex and product diversity is too high, calculations of RME of traded commodities cannot be based entirely on empirical data but must instead be modelled. Until now, RME-data from Destatis has been used for this purpose (Kaumanns und Lauber 2016; Maier 2018).

The underlying method of the Destatis model is a hybrid single-region input-output (SRIO) model, which in its basic features was developed around 15 years ago. The major advantage of this model is that it uses statistical data, but in some methodological aspects the model differs from the latest developments in scientific research. At the European and international level, multiregional input-output (MRIO)-models with improved empirical data such as the MRIO model „GLORIA“ (Lenzen et al. 2021) developed for the UN (IRP) are increasingly being developed and used. The sectoral disaggregation of these models allows to account for specific challenges regarding the calculation of raw material flows (e.i. metal flows).

In addition to the Destatis model, two other options were available for calculating RME for Germany: an approach developed for Eurostat, and global multi-regional input-output (MRIO) models.

The Eurostat approach is based on a highly disaggregated hybrid SRIO model for the EU as a region and considers regionally specific technologies for raw-material relevant imports (Schoer et al. 2022). Eurostat also offers a “Country Tool” allowing countries to calculate RME-based indicators based on environmental accounting using coefficients from the overall model (Eurostat 2019). Thus, for countries of the European Union such as Germany, there are two options: to use the EU Country Tool, or to apply the EU model partly (i.e. for the calculation of RME of exports based on domestic production technology) or fully (i.e. including the transfer of the method of calculation of RME imports) adapted to the German case.

RME for Germany’s trade flows may also be calculated based on a global MRIO model. MRIO models use monetary data for sectoral trade in different countries to allocate the raw material extraction in primary sectors to the country that elicits the final demand, via the different supply chains. Input-output tables (IOTs) map the trade relations of single sectors within individual countries for all countries of the world (or the rest of the world). MRIO models have the advantage of representing the entire global economy and its various supply chains, but to balance the model, adaptations of the original IOT and of the data on direct trade are necessary. Thus, the geographic origin of the raw materials needed to satisfy German final demand can be traced.

During the project it was not certain whether the Destatis RME-data would be sufficiently detailed for further analyses and promptly updated, so alternatives seemed advisable. According to the project description, alternative data sources were to be developed on the basis of these analyses. The Eurostat Country Tool can be used with relatively little effort, but has limitations. Compared to the Country Tool, the second Eurostat model requires higher effort for data procurement and plausibility checks, and additional methodological adjustments are required. The accuracy of the Eurostat model concerning the estimation of exports could also be

improved. Finally, the RME calculations were made using the Eurostat RME model (partly applied to Germany (Chapter 3 “Dokumentation des RME-Modells für Deutschland”).

Supply chain structures of the German economy and the geographical origin of the raw materials will be analysed in detail using MRIO calculations. For this purpose, the MRIO database “GLORIA” was applied, which was developed for the calculation of consumption-based indicators of material use of the UN IRP (Lenzen et al. 2021).

(3) Reporting year and timeliness estimate

Public statistics on material extraction and trade are published with a certain time lag. For the Resources Reports 2016 and 2018, the reporting years lagged three years behind. Our analysis for the Resources Report 2022 showed official data for 2019, while for 2020, only data on domestic extraction was available.

To present timely results and contribute to current discussions, nowcasts were provided for key indicators. However, extrapolations based on earlier trends were not applicable to 2020 due to production and consumption patterns differing significantly in the aftermath of the pandemic. A different approach was therefore chosen based on observation that changes in direct imports or exports often amount to similar changes in indirect imports or exports (RME). The percentage change in imports and exports between 2019 and 2020 of the already available data on direct trade were applied to the RME of imports and exports at the level of material groups. The Raw Material Consumption (RMC) and Raw Material Input (RMI) indicators were calculated using the sums of domestic extraction and imports and exports respectively. In the Resources Report, they are shown as preliminary estimates.

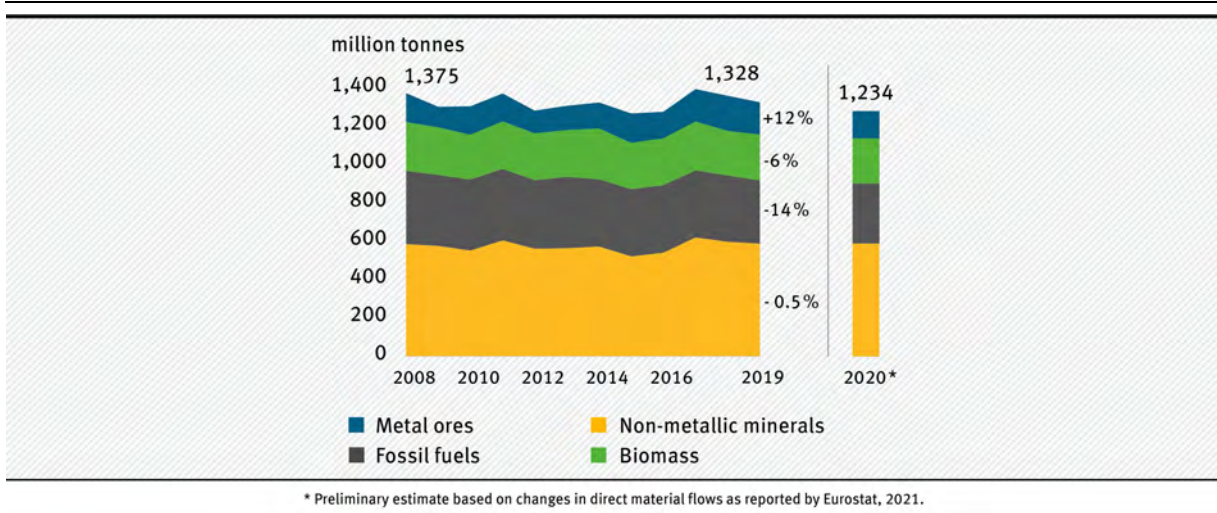
The Model of Raw Material Equivalents (RME) for Germany

The Model of Raw Material Equivalents (RME) for Germany is based on the EU model of Eurostat (Schoer et al. 2022) and the Country Tool of Eurostat (Schoer et al. 2023). It is an environmental-economic model based on a hybrid approach that maps the German economy including its imports and exports. The basis of this national model are hybrid input-output tables (IOT), which depict the economic interdependence of production and consumption for Germany, partly in monetary and partly in physical terms. For material-intensive production activities (e.g. processing of raw materials, construction materials) physical units are used to better represent commodity flows, whilst for the remaining commodity groups monetary units are used.

For imports from the European Union to Germany, the average RME coefficients of the EU-27 were applied. Imports from non-EU countries were calculated using the RME coefficients of EU-27 imports from the EU-standard model. Exports and final demand were calculated based on the German matrix, considering imports using the Leontief method.

For the third Resources Report data from the RME model for Germany were used. Figure 7 shows for example the results of the calculation of the Raw Material Consumption (RMC). According to this, Germany's RMC fell from 1,375 to 1,328 million tons between 2008 and 2019. In general, for the main indicators, the results of the model were compared directly with the results published by Destatis.

Figure 7: Development of Raw Material Consumption (RMC) in Germany by raw material group, 2008–2020

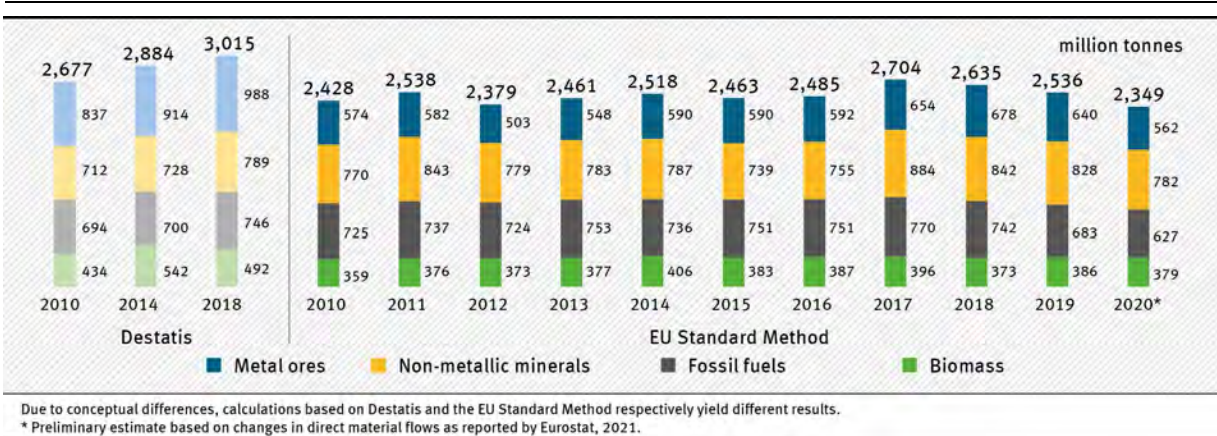


Source: own illustration for the Resources Report 2022 (UBA 2022b)

The RME model builds upon extraction data published by Eurostat, which is based on data reported by Destatis. Due to conceptual differences in the models, the results of the RME model deviate from the Destatis RME-values – especially in the case of mineral raw materials.

Overall, imports and exports in RME are significantly higher in the Destatis model than in the RME model. The RMI includes domestic extraction of raw materials plus imports in RME. Due to the differences in imports and exports between the two methods, as a result, the RMI is also higher in the Destatis model (Figure 8). In 2018, for example, RMI values of the Destatis model are 14 % higher than those of the RME-model. In both calculation models, however, the RMI follows the same trend. Overall, the RMI changes only slightly (+4 %) over the entire period from 2010 to 2019 (according to the RME model).

Figure 8: Raw Material Input (RMI) in Germany by raw material groups, 2010–2020

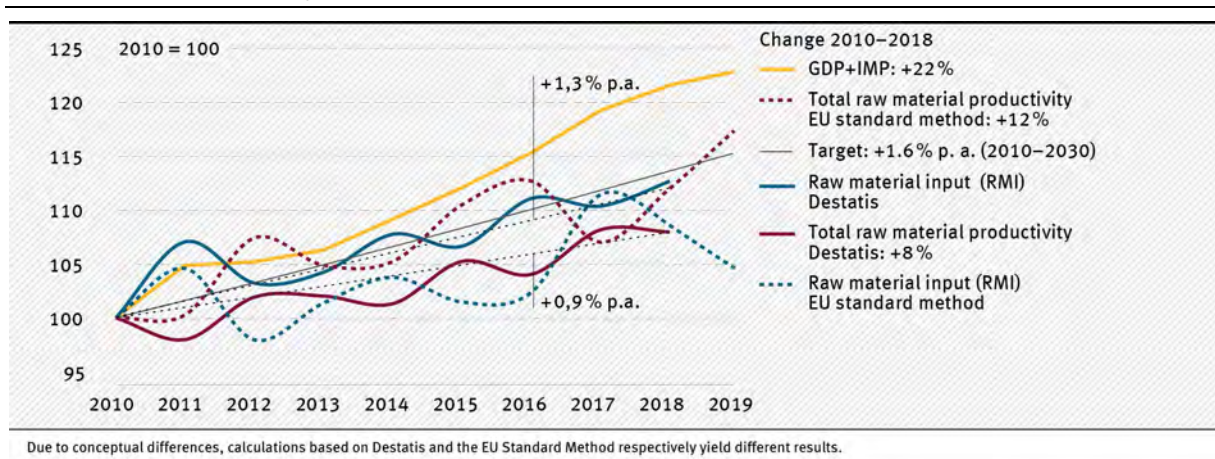


Source: own illustration for the Resources Report 2022 (UBA 2022b)

Another key indicator in the Resources Report is total raw material productivity. Due to the higher RMI, the values in the RME model are higher than the Destatis values for all years (Figure 9). Overall, the increase in total raw material productivity in the period 2010 to 2018 according to Destatis was 8 % (0.9 % per year). In the RME-model, total raw material productivity increased by 12 % (1.3 % per year) in the same period.

According to the goal set by the German Sustainable Development Strategy (Bundesregierung 2021a) and ProgRes III (BMU 2020), the growth rate of total raw material productivity should increase 1.6 % per year between 2010 and 2030. This represents an increase of 30 % in total. To meet this goal, total raw material productivity needs to increase by a further 22 % according to Destatis and by 23 % according to the RME mode. However, it should be noted that sustainability strategy’s goal is based on Destatis method.

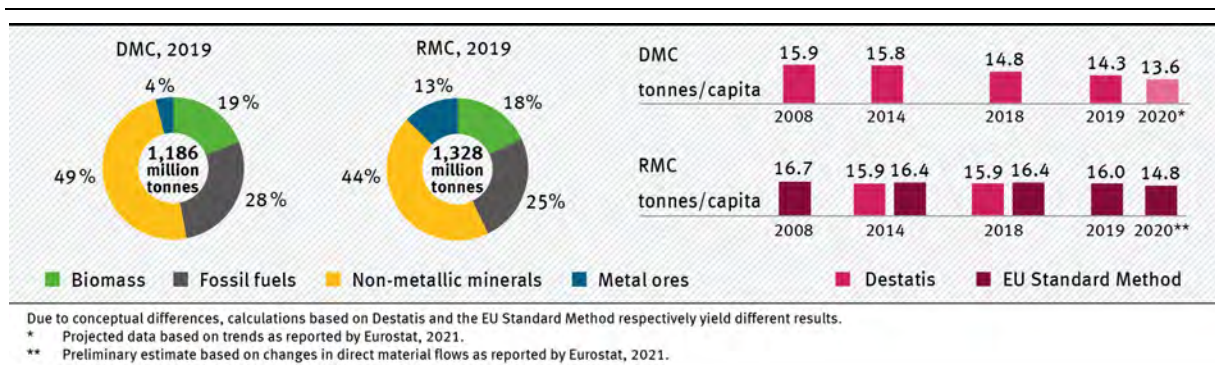
Figure 9: Development of total raw material productivity in Germany – comparison of two methods, 2010–2019



Source: own illustration for the Resources Report 2022 (UBA 2022b)

The differences for the RMC are minor (Figure 10). According to the calculations using the EU standard method, the RMC in 2018 was 16.4 tons per capita. In comparison, Destatis shows an RMC of 15.9 tons per capita.

Figure 10: Domestic Material Consumption (DMC) and Raw Material Consumption (RMC) in Germany, in absolute values by raw material group, 2019; and per capita, 2008–2020



Source: own illustration for the Resources Report 2022 (UBA 2022b)

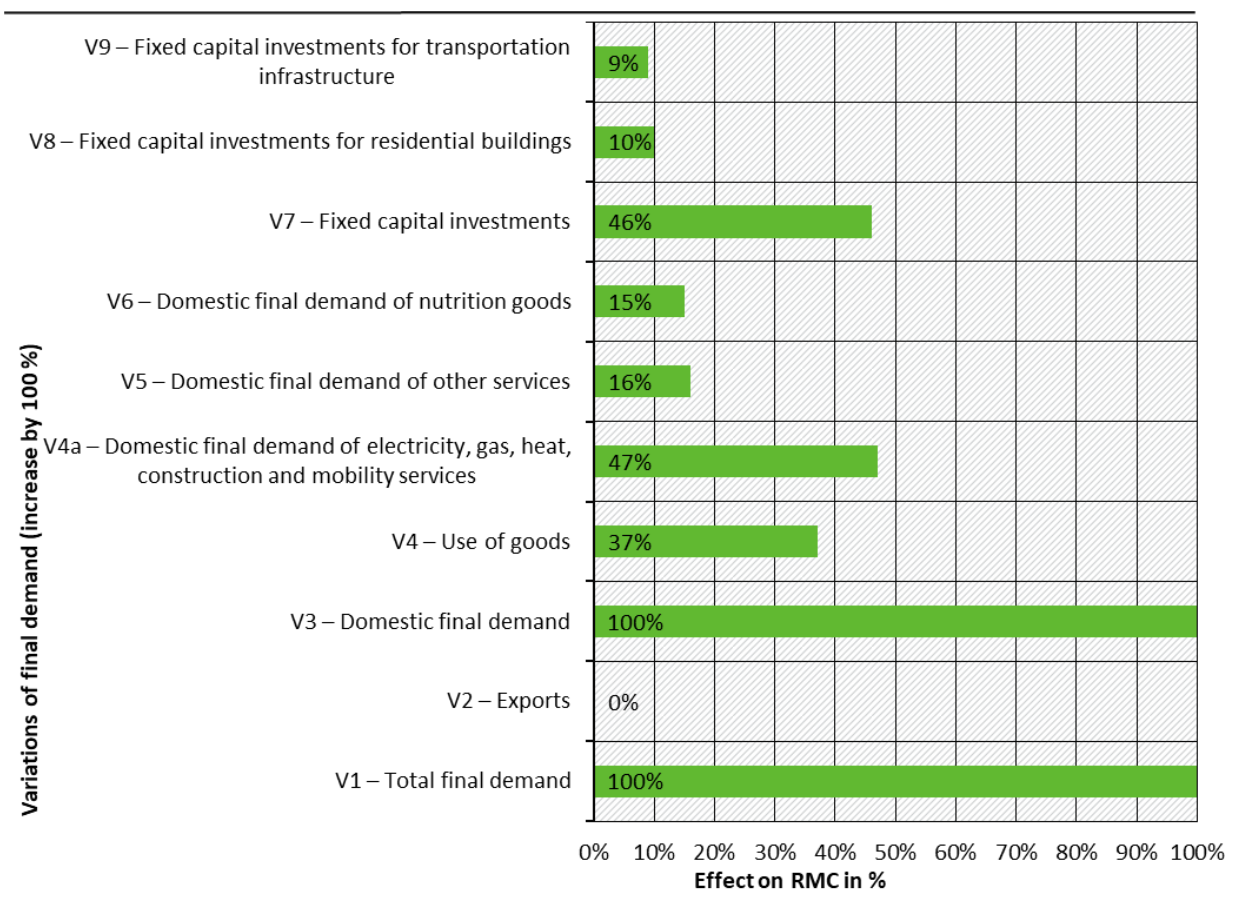
The most important conceptual differences between the two methods relate to secondary raw materials and assumptions on the production technology of imported goods.

Effects of Selected Factors on Raw Material Consumption

Projections of resource use are of high economic and political relevance. To depict and explain Germany’s future raw material use in the Resources Report 2022, different parameters were examined for their isolated effect on raw material consumption (RMC) based on the year 2010, without focus on the political or economic plausibility of the underlying assumptions.

The results clearly show that a change in different categories of final demand has a medium to strong effect on the RMC. An increase in use of material-intensive goods has a much stronger effect on the RMC (V4; +37 %), than a variation in final demand toward services (V6; +16 %) (Figure 11).

Figure 11: Impact of increasing different final demand parameters by 100 % on Raw Material Consumption (RMC) (for 2010)



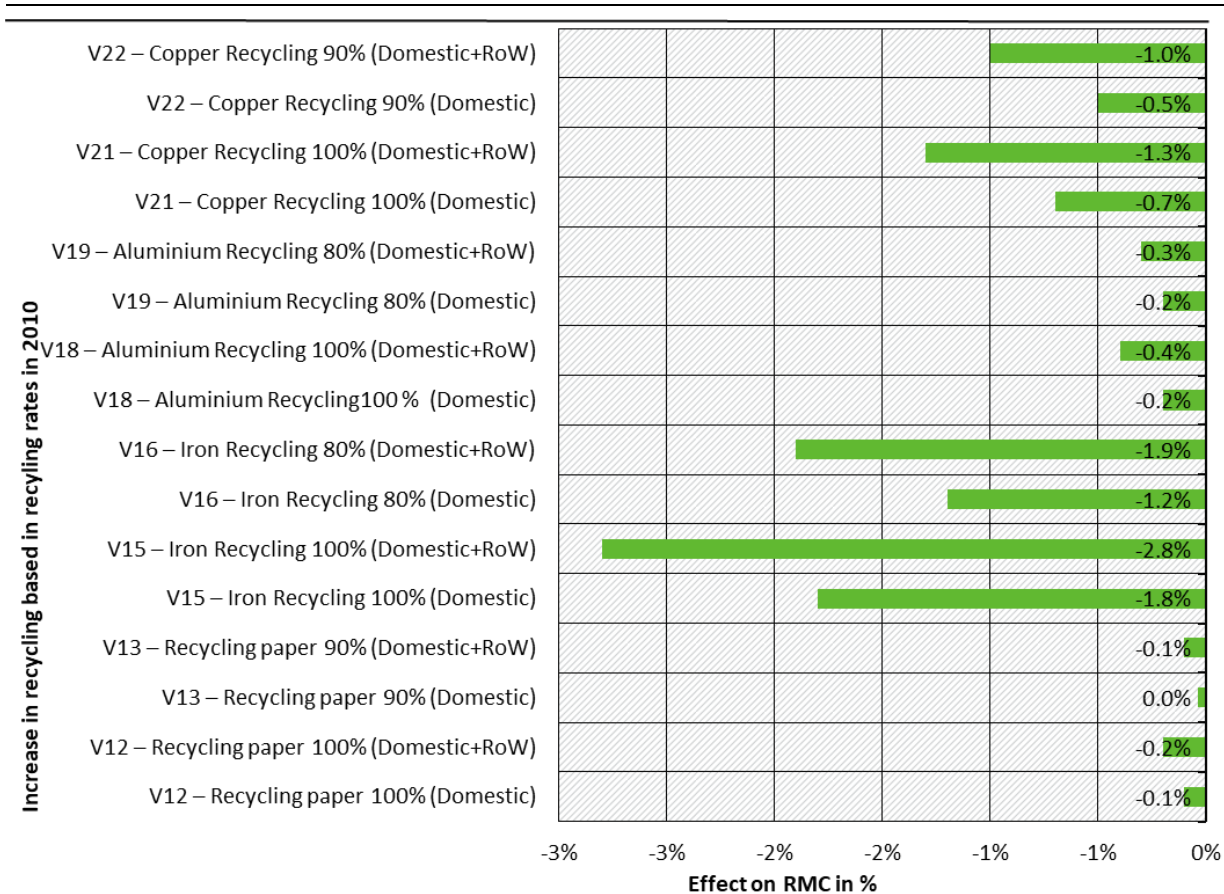
Source: own calculations, Ifeu/SSG

Other levers with significant effects are fixed asset investments and material-intensive investments in construction and transportation infrastructure.

The influence of production technology on the RMC shows that unexploited efficiency potentials can still significantly contribute to reducing raw material consumption.

Figure 12 shows the effects of increasing recycling rates of different materials on the RMC starting from the baseline (2010). Of particular interest are savings in the metal sector, such as for iron and copper. For example, expanding secondary copper production from the current 56 % to 90 % c.p. would result in a reduction of RMC of metallic raw materials of about 0.4 %.

Figure 12: Impact of increasing recycling rates of various materials on Raw Material Consumption (RMC) (based on recycling rates in 2010)



Source: own calculations, Ifeu/SSG; Note: RoW = Rest of World

The results stress that use of secondary raw materials is an important lever for resource conservation policy.

This illustrates once again the political relevance of the development of the data basis, since only with detailed data on recycling potentials or actual quotas appropriate measures can be taken.

The work carried out within the framework of this research project made an important contribution to improving the data basis for a scientifically sound raw materials policy in Germany, not least for indirect material flows. Due to the methodological harmonization of the Eurostat approach used, the presented work can also be seen as a contribution to the scientific discussion in this area. It is therefore recommended to continue calculations based on this method in future projects.

1 Einleitung

Natürliche Ressourcen wie Rohstoffe, Wasser und Land sind die Grundlage unserer Wirtschaft und Gesellschaft. Eine wachsende Weltbevölkerung sowie zunehmender Wohlstand und damit verbundene veränderte Konsummuster führen dazu, dass die Menge der genutzten Ressourcen global Jahr für Jahr ansteigt.

Allein die Gewinnung von Rohstoffen stieg seit dem Jahr 1970 um mehr als das Dreifache. Wurden 1970 noch rund 27 Milliarden Tonnen Rohstoffe extrahiert, waren es 2019 bereits 96 Milliarden Tonnen. Somit nutzte im Jahr 2019 jeder Mensch durchschnittlich etwa 12,5 Tonnen Rohstoffe (UNEP IRP 2022).

Mit der steigenden Ressourcennutzung gehen negative Umweltauswirkungen wie etwa der Klimawandel, der Verlust an Biodiversität oder Wassermangel einher, die teilweise bereits die Planetaren Grenzen unserer Ökosysteme überschritten haben (Steffen et al. 2015; Wang-Erlandsson et al. 2022; Persson et al. 2022).

Ohne einen grundlegenden Wandel hin zu einer erheblichen Steigerung der Produktivität der Rohstoff- und Ressourcennutzung und einer absoluten Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourceneinsatz werden sich globale wie auch regionale Umweltbelastungen weiter verschärfen. Ein Szenario des UN International Resource Panel (IRP) zeigt: Setzen sich die bisherigen Trends fort, würde z. B. die Rohstoffnutzung im Jahr 2060 auf über 18 Tonnen pro Kopf ansteigen – mit Folgen für die Umwelt und das Leben der Menschen auf der Erde (UNEP IRP 2019).

Ein schonender und effizienter Umgang mit natürlichen Ressourcen ist somit ein zentrales Anliegen der Umweltpolitik. Deutschland hat sich mit dem Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess; BMU 2012) und seinen Fortschreibungen (ProgRess II und ProgRess III; BMU 2016, 2020) zu einer nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen bekannt. Die Bundesregierung fördert die Kreislaufwirtschaft als effektiven Klima- und Ressourcenschutz und verfolgt das Ziel der Senkung des primären Rohstoffverbrauchs und geschlossener Stoffkreisläufe. Aktuell wird hierzu eine „Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS)“ entwickelt (Bundesregierung 2021b).

Auch auf europäischer und internationaler Ebene wurden Politiken für eine effizientere und nachhaltigere Nutzung von natürlichen Ressourcen entwickelt (EEA 2020). Die europäische Kommission entwickelte als Teile des Green Deal (Europäische Kommission 2019) eine neue Version des „Circular Economy Action Plan“ entwickelt (European Commission 2020). Entsprechende Aktivitäten finden z. B. auch bei der G7 und G20, bei der Vereinten Nationen (International Resource Panel IRP) oder der OECD statt (G20 2019; G7 2022; UNEP IRP 2020a). In vielen Ländern, auch außerhalb Europas bzw. der G20, werden Politiken zur effizienteren Nutzung von natürlichen Ressourcen, einschließlich Kreislaufwirtschaft (Circular Economy), neu- bzw. weiterentwickelt (Dittrich et al. 2020a; Dittrich et al. 2023).

Ziele und Schritte des Forschungsvorhabens

Das Umweltbundesamt veröffentlicht seit dem Jahr 2016 einen nationalen Bericht zur Situation der Nutzung natürlicher Ressourcen in Deutschland: „Die Nutzung natürlicher Ressourcen in Deutschland“ (kurz: „Ressourcenbericht“). Mit dem Vorhaben soll in Deutschland ein regelmäßiger Bericht etabliert werden, der die vielfältigen Zusammenhänge zwischen Ressourcenentnahme, Ressourcenkonsum und wirtschaftlicher Entwicklung analysiert, diskutiert und interpretiert (UBA 2016a, 2018a, 2022a).

Das Forschungsvorhaben „Ressourcennutzung in Deutschland - Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts“ (DeuRes II) umfasste die wissenschaftlichen Grundlagen- und Begleitarbeiten zur Ausarbeitung des Ressourcenberichts 2022. Die vorliegende Veröffentlichung fokussiert auf die Forschungsarbeiten zur Weiterentwicklung der Datengrundlagen für den Ressourcenbericht 2022.

Grundvoraussetzung für die Berichterstattung zur Rohstoffnutzung ist eine umfassende und möglichst aktuelle Datengrundlage hinsichtlich der Entnahme und des Konsums von sowie des Handels mit Rohstoffen beziehungsweise möglicher Entkopplungstendenzen.

Für einen großen Teil der benötigten Informationen konnte auf empirische Daten der öffentlichen Statistik (insb. die Umweltgesamtrechnung des statistischen Bundesamtes) zurückgegriffen werden. Ein Teil der Indikatoren für den Ressourcenbericht bezieht sich auf indirekte Handelsströme (sog. „Rohstoffäquivalente“, RME). Diese beruhen nicht auf empirischen Daten, sondern werden modellgestützt berechnet. Dazu werden auf europäischer und internationaler Ebene zunehmend Input-Output (IO) Modelle entwickelt bzw. genutzt. Das statistische Amt der Europäischen Union (Eurostat) stellt für EU-Mitgliedsländer ein solches Modell zur Verfügung. Ziel der hier beschriebenen Arbeiten war die Weiterentwicklung der Datengrundlagen für den Ressourcenbericht 2022, insbesondere die Durchführung von RME-Modellrechnungen für Deutschland, die mit dem Eurostat Modell harmonisiert sind und eine Ergänzung zur nationalen Berichterstattung darstellen.

Der vorliegende Forschungsbericht beschreibt die wissenschaftlichen Arbeiten zur Weiterentwicklung der Datengrundlagen für den dritten Ressourcenbericht (UBA 2022a), die in den Jahren 2019 bis 2022 von der Wirtschaftsuniversität Wien, dem Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg und Dr. Karl Schoer (Sustainable Solution Germany, SSG) durchgeführt wurden.

Aufbau dieses Forschungsberichts

In Kapitel 2 dieses Berichts werden bestehende sowie mögliche neue bzw. ergänzende Datengrundlagen zu Rohstoffäquivalenten und zur inländischen Rohstoffentnahme für den Ressourcenbericht 2022 betrachtet und analysiert. Zudem werden für zentrale Rohstoff-Indikatoren verschiedene Ansätze zur Zeitnahschätzung analysiert und bewertet, um im Ressourcenbericht zeitnahe Ergebnisse zu präsentieren und ihn so für aktuelle Diskussionen interessanter zu machen.

Kapitel 3 beschreibt die durchgeführten Modellrechnungen zur Abschätzung der indirekten Rohstoffflüsse – der sogenannten „Rohstoffäquivalente“. Durch die Verwendung der EU-Standardmethode sind die Ergebnisse anschlussfähig an europäische Modellrechnungen.

Kapitel 4 beinhaltet Modellrechnungen, mit denen der Effekt einzelner Parameter auf den Rohstoffkonsum (engl.: „Raw Material Consumption“, RMC) untersucht wurden, um Aussagen zu großen bzw. kleinen Hebeln zur Senkung des Rohstoffkonsums tätigen zu können (s. Kap. 3).

2 Analyse von Datenquellen für den Ressourcenbericht 2022

Lutter, S., Kreimel, J., Giljum, S., Dittrich, M.

2.1 Aufgabenstellung

Deutschland verfügt mit dem Umweltbundesamt (UBA), dem Statistischen Bundesamt (Destatis) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) über öffentliche Institutionen, die umfassende und qualitativ hochwertige Daten aus dem Bereich der Rohstoff- und Ressourcennutzung zur Verfügung stellen. Diese amtlichen Daten wurden in den bisher veröffentlichten Ressourcenberichten vorrangig verwendet (UBA 2016a, 2018a) und stellten auch für den Ressourcenbericht 2022 (UBA 2022a) eine wichtige Grundlage dar, wurden allerdings mit weiter entwickelten Datengrundlagen ergänzt.

Ziel dieses Arbeitsschrittes war die Analyse möglicher neuer bzw. ergänzender Datengrundlagen für den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zu entwickelnden Ressourcenbericht 2022 sowie die Prüfung der Möglichkeiten, unterschiedliche Datenquellen in konsistenter Form zu kombinieren. Dadurch sollten etwaige Datenlücken überbrückt, Zeitreihen verlängert und die Aktualität und Qualität des Berichts erhöht werden. In Anlehnung an die Leistungsbeschreibung wurden die folgenden Fragestellungen behandelt:

1. Inländische Entnahme von Rohstoffen in Deutschland: Wo bestehen Abweichungen in den Daten zur inländischen Entnahme und den dahinterliegenden methodischen Ansätzen zwischen den Daten, wie sie der UGR zu entnehmen sind, und jenen in internationalen MFA-Datensets (beispielsweise die Materialfluss-Datenbank des International Resource Panel der Vereinten Nationen)? Welche Auswirkungen haben solche Abweichungen ggf. für die Darstellung im Ressourcenbericht? (s. Kap. 2.2)
2. Rohstoffäquivalente (engl.: „Raw Material Equivalents“, RME): Welche Methoden existieren, indirekte Rohstoffflüsse (RME) in Zusammenhang mit dem deutschen Handel und Konsum zu berechnen? Wie können Lieferketten genauer analysiert werden? Wie können nationale Berechnungen mit multiregionalen Input-Output-Berechnungen kombiniert bzw. harmonisiert werden, um kongruentere Ergebnisse zu generieren? (s. Kap. 2.3)
3. Berichtsjahr und Betrachtung längerer Zeitreihen: Mit welchem Berichtsjahr ist aufgrund der Aktualität der Destatis-Daten für Standard-Inhalte wie inländische Entnahme, direkter Handel, etc. zu rechnen und wie kann die Zeitreihe über Proxy-Daten verlängert werden („Zeitnahschätzung“ oder „Now-Casting“)? (s. Kap. 2.4)

Die Unterkapitel folgen einer einheitlichen Struktur: Zu Beginn wird jeweils die genaue Fragestellung erläutert, um den Rahmen für die folgenden wissenschaftlichen Arbeiten zu definieren. Darauf folgend werden mögliche Lösungsansätze analysiert und deren Vor- und Nachteile diskutiert. Schließlich wird ein Fazit in Form einer Empfehlung für die Umsetzung im Kontext dieses Forschungsvorhabens gezogen.

2.2 Inländische Entnahme in Deutschland in UGR & international

2.2.1 Fragestellung

Für die in diesem Forschungsvorhaben bisher veröffentlichten Ressourcenberichte 2016 und 2018 wurden als Datengrundlagen für die inländische Entnahme vor allem Daten von Destatis verwendet – z. B. Daten der Umweltgesamtrechnung (UGR) und zum Außenhandel. Für Daten zur internationalen Rohstoffentnahme wurde die Materialfluss-Datenbank des International

Resource Panel der Vereinten Nationen (UN IRP) als international anerkannte Referenzdatenbank verwendet (UN IRP 2017). Die Daten von Destatis umfassen die Zeitreihe 1994–2019 und basieren auf von Destatis selbst erhobenen oder an Destatis berichtete und vom Bundesamt zusammengestellten Primärdaten. Die Daten der globalen UN IRP Datenbank umfassen eine längere Zeitreihe (1970-2019), basieren jedoch vor allem auf Daten des britischen und amerikanischen geologischen Bundesamts (BGS und USGS) sowie den Datenbanken der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (engl. „Food and Agriculture Organization of the United Nations“, FAO) und der Internationalen Energieagentur (engl.: „International Energy Agency“, IEA) und sind daher in manchen Kategorien für Deutschland weniger genau, da diese Datenbanken nicht immer auf offiziell berichtete Daten zurückgreifen. Andere internationale MFA-Datenbanken wie jene von Eurostat oder der OECD beziehen ihre Daten zwar direkt von den statistischen Ämtern der Mitgliedsstaaten, was eine Vergleichbarkeit sicherstellt, sind aber nur bedingt für internationale Vergleiche geeignet, da sie eine kürzere Zeitreihe und nicht alle Länder der Welt abdecken.

Die Unterschiede zwischen der UGR und der IRP MFA-Datenbank sind nicht nur von Relevanz für den Vergleich Deutschlands mit anderen Nationen hinsichtlich der inländischen Entnahme. Vielmehr werden die Daten der UN IRP auch als Umweltextensionen im globalen Modell EXIOBASE verwendet, um Rohstoffäquivalente (RME) des internationalen Handels zu berechnen. Das bedeutet, dass eine Abweichung in den Extensionen auch zu einer Abweichung der RME-Berechnungen führt.

Folgende Fragestellungen sollen in diesem Kapitel erarbeitet werden:

- ▶ Wo bestehen Abweichungen in den Daten zur inländischen Entnahme und den zugrundeliegenden methodischen Ansätzen zwischen den Destatis-Daten, wie sie der Umweltgesamt-rechnung zu entnehmen sind, und jenen in internationalen MFA-Datensätzen (beispielsweise der Datenbank des UN IRP)?
- ▶ Welche Auswirkungen hat dies für dieses Forschungsvorhaben?

2.2.2 Problemanalyse und Lösungsansätze

Im Folgenden werden die UGR-Daten von Destatis jenen der Datenbank des UN IRP gegenübergestellt, um zu zeigen, in welchen Rohstoffkategorien die größten Unterschiede auftreten. Tabelle 1 zeigt den Vergleich für die vier Hauptkategorien der Materialflussanalyse und die drei Jahre 1995, 2005 und 2015.

Tabelle 1: Vergleich der Daten der UGR mit jenen der MFA-Datenbank des UN IRP

Materialgruppe [in 1.000 t]	1995			2005			2015		
	UGR	IRP	Δ	UGR	IRP	Δ	UGR	IRP	Δ
Biomasse	221.198	181.378	22 %	247.677	210.534	18 %	269.577	231.730	16 %
Fossile Energieträger	265.244	270.154	-2 %	221.508	221.644	0 %	194.428	195.864	-1 %
Metallerze	69	70	-2 %	362	396	-9 %	496	471	5 %
Nicht-metallische Mineralien	796.334	502.429	58 %	613.043	474.347	29 %	561.210	534.383	5 %
Gesamt	1.282.844	954.031	34 %	1.082.590	906.920	19 %	1.025.711	962.449	7 %

Quellen: Destatis 2020a, UN IRP 2017

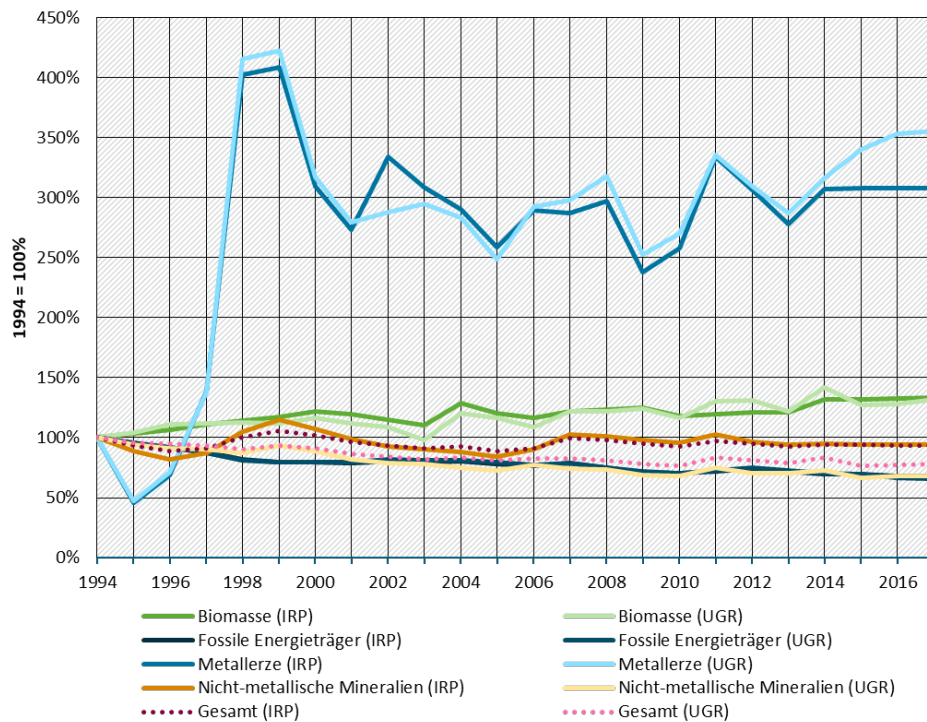
Aus dem Vergleich in Tabelle 1 wird ersichtlich, dass vor allem für die Kategorien Fossile Energieträger sowie für Metallerze die beiden Datenbanken sehr ähnliche Zahlen berichten. Bei Biomasse sowie bei nicht-metallischen Mineralien liegen die von Destatis berichteten Zahlen zum Teil deutlich über jenen der MFA-Datenbank des UN IRP.

Bei Biomasse liegen die Daten von Destatis konstant mindestens 16 % (im Jahr 2015) über den IRP-Daten. Das UN IRP schätzt die Menge an Biomasse, die als Futter verwendet wird bzw. auf der Weide von Nutztieren gegrast wird, über Daten der FAO zu Stückzahlen unterschiedlicher Nutztiere, deren Energiebedarf sowie über Futtermittelstatistiken ab. Im Unterschied dazu verwendet Destatis eigene Statistiken (zurückgehend auf die Erhebungen des Thünen Instituts) zu Stückzahlen, Energiebedarf und Futtermittelverbrauch. Aufgrund der unterschiedlichen Schätzmethoden liegt der Wert des UN IRP für die Destatis-Kategorie, die Futtermittel, Weide und Ernterückstände sowie Stroh umfasst, etwa 20 % über dem Wert, der von Destatis berichtet wird. Gleichzeitig berichtet Destatis mehr als das Doppelte an Getreideproduktion als das UN IRP für Deutschland, das wiederum die Daten von der FAO bezieht.

Bei den sonstigen mineralischen Rohstoffen ist der Unterschied zwischen den beiden Datenquellen besonders im Jahr 1995 erheblich. Hier berichtet Destatis um 58 % höhere Werte als das UN IRP. Bis zum Jahr 2015 nähern sich die beiden Datenquellen jedoch stark an, sodass hier nur noch ein Unterschied von 5 % zu beobachten ist. Dominante Rohstoffgruppen innerhalb der nichtmineralischen Rohstoffe die sogenannten Bauminerale. Die Daten für Natursteine, Schotter, Kiese und Sande entnimmt Destatis der Produktionsstatistik, d. h. der Vierteljährlichen Produktionserhebung im Verarbeitenden Gewerbe. Da diese keine Vollerhebung ist, werden Zuschätzungen für Kleinbetriebe berechnet. Zuschätzungen für Kalkstein und Dolomit, Sand und Kies, sowie andere gebrochene Natursteine werden gesondert berechnet. Für die UN IRP-Datenbank werden die Bauminerale über den Bedarf an Zement, Bitumen, Ziegel für den Straßenbau, Schienenbau und Hochbau abgeschätzt. Die zunehmende Ähnlichkeit der Ergebnisse zeigt eine Annäherung der Schätzmethoden.

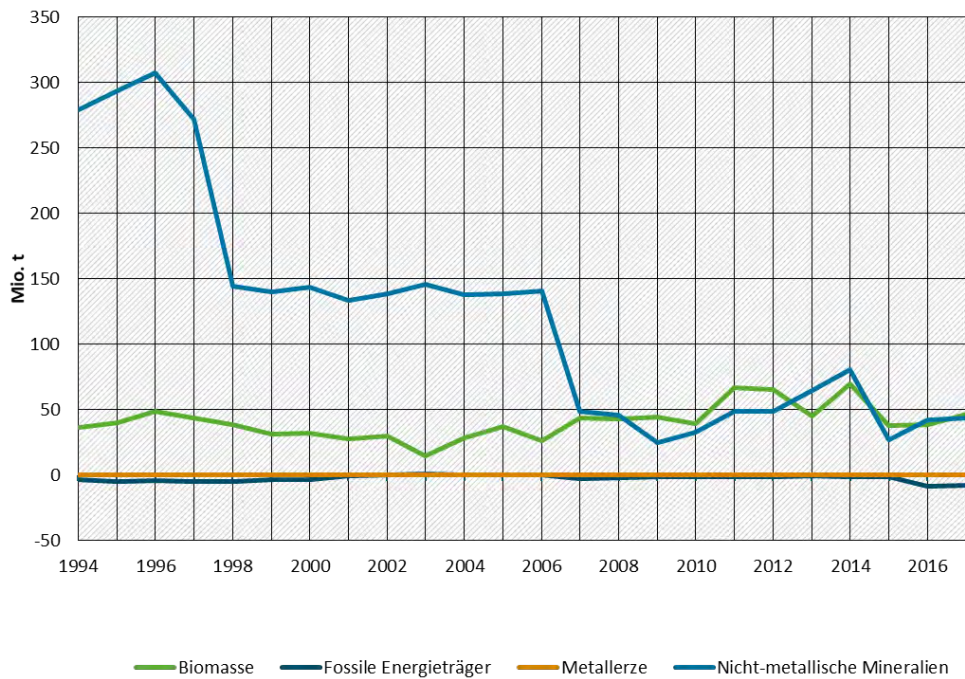
Über alle Kategorien betrachtet zeigt sich ebenfalls, dass sich die beiden Datenquellen einander annähern und im Jahr 2015 nur 7 % auseinanderliegen. Wirft man einen Blick auf die Trends der Rohstoffentnahme nach den einzelnen Kategorien sieht man über alle Kategorien hinweg ein sehr homogenes Bild (siehe Abbildung 13). Lediglich im Bereich der sonstigen mineralischen Rohstoffe zeigen sich größere Unterschiede. In absoluten Größen ist aber eine starke Annäherung feststellbar (Abbildung 14). Da diese Kategorie die größte der vier Hauptkategorien ist, folgt der Trend der gesamten Entnahme auch in beiden Fällen jenem dieser Materialkategorie. Es wird also ersichtlich, dass ein korrektes Berichtswesen bzw. eine realitätsnahe Abschätzung von Baumineralien von großer Bedeutung für eine genaue Berichterstattung sind. Es zeigt sich des Weiteren, dass die Schätzungen der IRP-Datenbank sich immer näher den offiziellen Daten von Destatis annähern. Während eine Integration von offiziellen Statistiken wie beispielsweise von Destatis oder Eurostat in die IRP-Datenbank die beste Lösung wäre (und auch geplant ist – siehe unten), ist ein Vergleich der inländischen Entnahme in Deutschland auf Basis von Daten der UGR mit anderen Ländern innerhalb der EU über Eurostat und außerhalb der EU auf Basis von Daten der IRP-Datenbank problemlos möglich.

Abbildung 13: Vergleich der Entwicklung der inländischen Rohstoffentnahme Deutschlands nach Daten der UGR (Destatis) und der IRP MFA Datenbank, 1994–2017



Quelle: eigene Darstellung basierend auf Destatis 2020a, UN IRP 2017

Abbildung 14: Absolute Differenz in den Daten der UGR (Destatis) und der IRP MFA Datenbank hinsichtlich der inländischen Rohstoffentnahme Deutschlands, 1994–2017



Quelle: eigene Darstellung basierend auf Destatis 2020a, UN IRP 2017

2.2.3 Umsetzung im Ressourcenbericht 2022

Die vorhandenen Unterschiede zwischen der UGR von Destatis und der MFA-Datenbank des UN IRP bei der inländischen Rohstoffentnahme Deutschlands können im Ressourcenbericht folgendermaßen gelöst werden: Die Darstellung der heimischen Entnahme in Deutschland basiert weiterhin auf Basis der Daten der UGR. Es ist davon auszugehen, dass diese Daten vom statistischen Bundesamt die höchste Genauigkeit aufweisen. Die Datenbank von Eurostat (Eurostat 2021d) enthält die offiziellen MFA-Statistiken aller Mitgliedsstaaten, die dem selben statistischen Standard folgen. Die Daten aus dem gesamtwirtschaftlichen Materialkonto von Destatis entsprechen somit den Daten von Eurostat. Damit bietet sich die Eurostat-Datenbank für Vergleiche auf Europäischer Ebene an. Durch die lediglich kleinen Unterschiede bei den Trends der einzelnen Kategorien zwischen Destatis und der IRP-Datenbank ist auch der internationale Vergleich gut umsetzbar.

2.3 Rohstoffäquivalente (RME)

2.3.1 Fragestellung

Daten zum indirekten Rohstoffbedarf spielen in den bisher veröffentlichten Berichten zur Nutzung natürlicher Ressourcen in Deutschland („Ressourcenberichte“) sowie im Ressourcenbericht 2022 in mehreren Themenfeldern eine wichtige Rolle. Beim Themenfeld Handel werden direkte und indirekte Rohstoffströme einander gegenübergestellt. Im Themenfeld Wirtschaft wird der Rohstoffbedarf der deutschen Wirtschaft und ihre Abhängigkeit von ausländischen Rohstoffen analysiert. Wichtigster Indikator ist hier die Gesamtrohstoffproduktivität. Und im Themenfeld Konsum wird gezeigt, wie sich die Rohstoffintensität des deutschen Konsums im Vergleich zu anderen Ländern verhält.

Berechnungen der RME können nicht vollständig auf empirischen Daten beruhen, da die internationalen Lieferketten zu komplex und die Produktvielfalt zu hoch sind. Die Berechnung muss daher zwangsläufig modellgestützt erfolgen. Bislang wurden für die Ressourcenberichte Daten von Destatis verwendet, das die unterschiedlichen Indikatoren mit Hilfe eines Modells berechnet (Kaumanns und Lauber 2016). Allerdings weicht das Modell in einigen methodischen Aspekten von aktuellen Entwicklungen in der Forschung ab. Auf europäischer und internationaler Ebene werden zunehmend multiregionale Input-Output (MRIO)-basierte Modelle entwickelt bzw. genutzt, deren empirische Ausgangsdaten laufend verbessert werden und deren sektorale Gliederungen spezifische Herausforderungen bei der Berechnung von Rohstoffflüssen (bspw. Der Metallflüsse) berücksichtigen. Zum Zeitpunkt der Arbeiten am Ressourcenbericht war zudem nicht gesichert, dass Daten für zusätzliche thematische Auswertungen ausreichend differenziert und vor allem zeitnah aktualisiert zur Verfügung stehen.

In diesem Kapitel sollen daher folgende Fragestellungen erarbeitet werden:

- ▶ Welche Methoden existieren, RME in Zusammenhang mit dem deutschen Handel und Konsum für Deutschland zu berechnen?
- ▶ Wie können Lieferketten genauer analysiert werden?
- ▶ Wie können nationale Berechnungen mit multiregionalen Input-Output-Berechnungen kombiniert bzw. harmonisiert werden, um kongruentere Ergebnisse zu generieren?

2.3.2 Mögliche Lösungsansätze

2.3.2.1 Auswahl und Überblick der Ansätze

Wie oben beschrieben, sind RME-basierte Indikatoren Rohstoffeinsatz (engl.: „Raw Material Input“, RMI), Rohstoffkonsum (engl.: „Raw Material Consumption“, RMC) sowie die in Rohstoffäquivalenten (RME) gerechneten Handelsströme (IM_{RME} und EX_{RME}) hinsichtlich der Rohstoffnutzung von zentraler Bedeutung. Im Rahmen des Vorhabens wurden verschiedene aktuelle Berechnungsoptionen recherchiert, methodisch in Ansätze zusammengefasst und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile in der Anwendung bewertet.

Die zur Verfügung stehenden Optionen können in drei Lösungsansätze zusammengefasst werden:

- ▶ das Destatis-Modell,
- ▶ ein von Eurostat entwickelter Ansatz bzw. daran angelehnte Berechnungen und
- ▶ eine ausschließlich auf einem globalen multi-regionalen input-output (MRIO) Modell basierte Berechnung mit unterschiedlichen Wahlmöglichkeiten der genutzten MRIO-Modelle.

Im Folgenden werden diese Lösungsansätze beschrieben. Im Kapitel 2.3.2 wird ihre Eignung für die Anwendung im gegenständlichen Forschungsvorhaben analysiert.

2.3.2.1.1 Lösungsansatz 1 – Nutzung der RME-Daten von Destatis

Das Destatis-Modell ist ein hybrides „single-region input-output (SRIO) Modell“, das in seinen Grundzügen vor rund 15 Jahren entwickelt wurde und von Kaumanns (2016) im Rahmen von UBA-Vorhaben¹ bereits beschrieben wurde. Es liefert derzeit die offiziellen Zahlen für Indikatoren der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2021a), vom deutschen Ressourceneffizienzprogramm Progress (BMU 2012; Bundesregierung 2016a) und für die UBA-Reihe „Daten zur Umwelt“ (UBA 2017), die aktuelle Daten, Trends und Bewertungen zur Umwelt-situation in Deutschland dokumentiert. Im Destatis-Modell werden Importe (im Vergleich zu anderen Modellen) aggregiert berechnet und Unterschiede bei verschiedenen Technologien im Ausland (z. B. die Energieinputs oder Recyclinganteile) vergleichsweise wenig berücksichtigt. Hinzu kommen Setzungen, die vom internationalen Vorgehen (Schoer et al. 2023) abweichen. Im konzeptionellen Ansatz von Destatis werden alle in Deutschland gesammelten und rezyklierten Abfälle Deutschland zugewiesen. Importe werden um im Ausland rezyklierte und dann importierte Materialien gemindert, den Exporten werden keine rezyklierten Anteile zugeordnet. Die Zielsetzung ist damit, die Anstrengungen, die in Deutschland hinsichtlich Recycling unternommen werden, sollen auch Deutschland positiv gutgeschrieben werden. D.h., wenn in Deutschland mehr recycelt als extrahiert wird, kann der RMC (für den Stoffstrom) durchaus auch negativ werden. Im Gegensatz dazu ist die Zielsetzung beispielsweise bei Eurostat etwas anders: hier sollen möglichst genau die tatsächliche Nutzung der Primärrohstoffe in der EU bilanziert werden. D.h. Recyclinganteile in gehandelten Gütern, überwiegend basierend auf durchschnittlichen RC-Anteilen, werden bei Im- und Exporten abgezogen. Auch in MRIO-Modellen werden die Primärrohstoffflüsse bilanziert, Sekundärrohstoffe werden nicht mit den Primärrohstoffen verrechnet. Nach Rücksprache mit Destatis waren keine methodischen Änderungen geplant. Im Jahr 2021 wurden die RMC-Daten bis 2018 veröffentlicht.

¹ Globale Umweltinanspruchnahme durch Produktion, Konsum und Importe, Teilvorhaben 1, FKZ: 3716 12 105 2

2.3.2.1.2 Lösungsansatz 2 – Nutzung des Eurostat Country Tools und/oder des Eurostat Modells

Parallel zum Modell von Destatis wurden in den vergangenen Jahren Modelle von anderen Institutionen (Forschungsinstitutionen und Behörden wie Eurostat) weiterentwickelt. Dabei wurden neue Standards entwickelt, die zwar nicht verbindlich sind, allerdings zunehmend von europäischen Ländern genutzt werden. Der Eurostat-Ansatz basiert auf einem sehr differenzierten hybriden SRIIO-Modell für die EU als Region, mit der die wichtigsten RME-basierten Indikatoren für die EU als Aggregat berechnet werden (Schoer et al. 2022). Das EU-Modell wird jedes Jahr unter Berücksichtigung einer Vielzahl von empirischen Daten (Produktionsstatistiken, Handelsstatistiken, Extraktionsstatistiken, etc.) aktualisiert und liefert Daten mit einer „Verspätung“ von zwei Jahren. Das Modell berücksichtigt regionale Unterschiede von rohstoffintensiven Technologien. Zusätzlich bietet Eurostat ein Country Tool an, das es Ländern ermöglichen soll, mit Hilfe von Koeffizienten auf Basis des Gesamtmodells mit limitiertem Aufwand RME-basierte Indikatoren zu berechnen (Eurostat 2019). Für die Berechnungen der Rohstoffäquivalente kann entweder das EU-Country Tool für Deutschland genutzt oder aber auch das EU-Modell auf Deutschland vollständig oder teilweise übertragen werden. Die Optionen werden im folgenden Kapitel (2.3.2.2) erläutert.

2.3.2.1.3 Lösungsansatz 3 – Nutzung eines MRIO-Modells

MRIO Modelle verwenden monetäre Daten zum Handel einzelner Sektoren in unterschiedlichen Ländern, um die Rohstoffentnahme in Primärsektoren über die unterschiedlichen Lieferketten der Endnachfrage der einzelnen Länder zuzurechnen. MRIO-Modelle enthalten monetäre Input-Output-Tabellen (IOT) für alle Länder der Welt (bzw. Rest-der-Welt-Regionen), welche die Handelsbeziehungen der einzelnen Sektoren eines Landes untereinander abbilden. Daten zu Handelsflüssen zwischen den Sektoren unterschiedlicher Länder ermöglichen es, die einzelnen Tabellen zu einer großen globalen Input-Output-Tabelle zusammenzuschließen, um globale Handelsketten nachzuvollziehen und zu analysieren (Vgl. bspw. Lutter et al. 2016). Um das Modell auszubalancieren und voneinander abweichende Daten zum bilateralen Handel auszugleichen, sind teilweise erhebliche Adaptierungen der originalen IOT sowie der Daten zum direkten Handel notwendig. Für die Ressourcenberichte 2016 und 2018 wurde ein MRIO namens EXIOBASE verwendet (Stadler et al. 2018), um Deutschlands Lieferketten analysieren zu können. Das UN IRP entwickelte inzwischen ein neues globales MRIO namens „GLORIA“, das einen Fokus auf höhere Sektor-Detailierung im Bereich der rohstoffrelevanten Sektoren (Entnahme und Verarbeitung) legt. Das neue Modell basiert auf dem Ansatz des ‚Global MRIO Lab‘ (Lenzen et al. 2014; Lenzen et al. 2017) und umfasst 164 Länder und Regionen und 97 Sektoren (Lenzen et al. 2021).

2.3.2.2 Vor- und Nachteile der drei Lösungsansätze

Im Folgenden sollen zuerst die Vor- und Nachteile der drei Lösungsansätze diskutiert werden. Anschließend wird ein direkter Vergleich für ein Beispieljahr durchgeführt, um Unterschiede und Ähnlichkeiten zwischen den Ergebnissen vergleichen zu können. In Kapitel 2.3.3 wird dann ein Vorschlag zur Umsetzung im Rahmen des gegenständlichen Forschungsvorhabens gemacht.

2.3.2.2.1 Lösungsansatz 1: Destatis

Wie zuvor beschrieben, liefert das Destatis-Modell die offiziellen Rohstoffindikatoren für Deutschland. Somit ist der große Vorteil einer Verwendung dieses Lösungsansatzes im Rahmen dieses Forschungsvorhabens, dass offizielle Daten der amtlichen Statistik verwendet würden. Dem gegenüber stehen die bereits angesprochenen Nachteile, dass die Methodik nicht mehr auf dem aktuellen Stand der Forschung (s. Annahmen zum Recycling, zur Produktion von Importen, etc.) ist und das aktuellste Berichtsjahr für den Ressourcenbericht 2022 das Jahr 2018 war und daher für aktuellere Berichtsjahre Datenpunkte über Proxy-Daten abgeschätzt hätten werden

müssen. Daher schien eine Anwendung dieses Lösungsansatzes nicht empfehlenswert, zumal Alternativen mit einer hohen Qualität existieren (siehe im Folgenden).

2.3.2.2.2 Lösungsansatz 2: Eurostat

Der in Kapitel 2.3.2.1.2 beschriebene Lösungsansatz auf Basis des Modells von Eurostat ermöglicht zwei alternative Vorgangsweisen, die unterschiedlich aufwändig sind, aber auch Ergebnisse unterschiedlicher Qualität liefern. Lösungsansatz 2a beschreibt die Anwendung des Eurostat Country Tools auf Deutschland. Lösungsansatz 2b behandelt die Anwendung des „Eurostat RME-Modells“ auf Deutschland. Im Folgenden sollen diese beiden Varianten und ihre Eignung zur Anwendung im Forschungsvorhaben analysiert werden.

2.3.2.2.3 Lösungsansatz 2a: Anwendung des Eurostat Country Tools auf Deutschland

Eine Umrechnung von Güterströmen für Deutschland in Rohstoffäquivalente in Form einer Zeitreihe ist mit Hilfe des Country Tools mit relativ geringem Aufwand durchführbar. Dazu muss lediglich die Toolvorlage mit den entsprechenden Daten für Deutschland befüllt werden². Die benötigten Ausgangsdaten werden von Eurostat zusammen mit dem Tool in einem für das Modell geeigneten Format bereitgestellt. Eine entsprechende Aufbereitung der Handelsdaten der einzelnen Länder aus der europäischen Datenbank Comext (Eurostat 2021a) muss gesondert bei Eurostat angefordert werden.

Mit der Bereitstellung des Tools verfolgt Eurostat das Ziel, den Mitgliedsländern ein vereinfachtes Rechenwerkzeug zur Schätzung von RME zur Verfügung zu stellen, das mit vergleichsweise geringem Aufwand genutzt werden kann.

Allerdings ist es ratsam, auch bei dieser Variante die Ergebnisse einer sorgfältigen Plausibilitätsprüfung zu unterziehen. Eventuelle Inkonsistenzen, z. B. aufgrund von Fehlern bei den Ausgangsdaten oder wenn ökonomische Strukturen stark vom europäischen Durchschnitt abweichen, müssen durch entsprechende Eingriffe, sei es bei einzelnen Ausgangsdaten oder bei der Gewichtung der im Ländertool hinterlegten Durchschnittsfaktoren, ausgeräumt werden.

Mit den Vereinfachungen im Country Tool müssen im Vergleich zum vollen Eurostat RME Modell (siehe Lösungsansatz 2b im Folgenden) einige Einschränkungen in Kauf genommen werden, insbesondere folgende:

Rohstoffe nach vier Hauptkategorien: Die Darstellung nach Rohstoffarten ist mit Bezug auf den RMC grundsätzlich auf die vier Hauptkategorien Biomasse, Metallerze, nicht-metallische Mineralien und fossile Energieträger beschränkt. Die RME der Importe und der Exporte stehen allerdings in tiefer Gliederung nach 182 Gütergruppen und 52 Rohstoffkategorien zur Verfügung.

Ungenauigkeiten bei der Anwendung der RME-Koeffizienten für die EU auf die Mitgliedsländer: Die sogenannten RME Koeffizienten stellen den kumulierten Rohstoffgehalt (52 Rohstoffkategorien) der einzelnen Gütergruppen (182 Gütergruppen) dar. Im Rahmen des Country Tools werden die RME der Importe und der Exporte eines Landes mit Hilfe der durchschnittlichen RME Koeffizienten für die EU für die einzelnen Gütergruppen geschätzt. Besonders problematisch kann die Anwendung der EU-Koeffizienten auf die Exportgüterströme sein, da damit die Annahme verbunden ist, dass die Exportgüter des jeweiligen Mitgliedlandes mit der durchschnittlichen EU-Produktionstechnologie hergestellt wurden. Im Rahmen des Tools wird versucht, diesen Nachteil zumindest teilweise zu kompensieren, indem die ursprünglichen EU-Koeffizienten mit Hilfe von länderspezifischen Informationen über den Energieträgermix bei

² Das Tool steht unter dem folgenden Link zum Download zur Verfügung:
https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/env_ac_rme_esms.htm.

der Stromherstellung und dem Anteil von Sekundärmetallen an der Produktion wichtiger Metalle korrigiert werden.

Darüber hinaus ist bei der Anwendung des Country Tools für Deutschland zu berücksichtigen, dass die Datenlage für Deutschland wesentlich umfassender ist, als jene für die übrigen europäischen Länder, da in Deutschland mit den jährlichen Aufkommens- und Verwendungstabelle nach ca. 2800 Gütergruppen (Gütermatrix) sehr detaillierte Informationen verfügbar sind. Um diese Informationen nutzen zu können, muss das bestehende Country Tool entsprechend erweitert werden.

2.3.2.2.4 Lösungsansatz 2b: Anwendung des „Eurostat RME-Modells“ auf Deutschland

In der zweiten Modellvariante werden die EU-bezogenen Ausgangsdaten des Eurostat RME-Modells durch entsprechende Daten für Deutschland ersetzt. Damit könnten Ergebnisse in RME für Deutschland nach 182 Gütergruppen und 52 Rohstoffkategorien ermittelt werden. Der Aufwand für die Datenbeschaffung und Plausibilisierung sowie für zusätzlich erforderliche methodische Anpassungen ist höher als beim Country Tool.

Die hier zum Einsatz kommende Methode lehnt sich eng an die Vorgehensweise beim Umweltökonomischen Rohstoffmodell (URMOD) an, das im Rahmen des UBA-Vorhabens DeteRess³ (Dittrich et al. 2018) entwickelt und im Forschungsvorhaben RESCUE⁴ (Dittrich et al. 2020b; Dittrich et al. 2020c, 2020d, 2020f, 2020e, 2020g) genutzt wurde. Allerdings ist die sektorale Gliederung mit 182 Gütergruppen deutlich niedriger als jene bei URMOD (274 Gütergruppen), das für spezifischen Szenario-Fragen konzipiert wurde und nur für das Jahr 2010 in der weitgehenden Differenzierung vorliegt.

Zwei wesentliche methodische Unterschiede sind bei der Übertragung des EU-Ansatzes auf Deutschland zu berücksichtigen:

1. die Datenbasis für die Ableitung der disaggregierten IOT unterscheidet sich; und
2. es gibt Unterschiede bei der Vorgehensweise bei der Schätzung der RME der Importe. Auf diese beiden Unterschiede soll im Folgenden kurz eingegangen werden.

Datenlage: Das RME-Eurostat-Modell für die Berechnungen der europäischen Indikatoren (s. Kap. 2.3.2.1.2) beruht auf einer jährlichen hybriden (Verwendungsstrukturen in monetären und nicht-monetären Einheiten) IOT nach 182 Gütergruppen und einer entsprechend gegliederten Matrix der Rohstoffinputs in die Ökonomie (Environmental Extension). Die disaggregierte und hybride IOT wird in mehreren Rechenschritten mit Hilfe von Strukturinformationen abgeleitet. Mit Hilfe des sogenannten Leontief Verfahrens (inverse Koeffizienten-Matrix) werden in diesem Modell die Rohstoffinputs den einzelnen Gütern als kumulierter Rohstoffaufwand zugerechnet.

Für Deutschland liegen, wie bereits erwähnt, mit der tief gegliederten jährlichen Gütermatrix nach ca. 2.800 Gütergruppen grundsätzlich wesentliche originäre Ausgangsdaten für eine unmittelbare Schätzung einer tief gegliederten monetären IOT vor, die direkt verwendet werden könnte. Es ist jedoch erforderlich, die Tabelle für Deutschland zu hybridisieren, also teilweise monetäre Daten durch physische zu ersetzen, da die Preise die Mengen nicht ausreichend gut repräsentieren.

RME der Importe: Die RME der deutschen Importe werden, analog zum Country Tool, auf der Grundlage von EU-RME-Koeffizienten geschätzt. Die Schätzung der RME der Importe in die EU

³ Strukturelle und produktionstechnische Determinanten der Ressourceneffizienz: Untersuchung von Pfadabhängigkeiten, strukturellen Effekten und technischen Potenzialen auf die zukünftige Entwicklung der Rohstoffproduktivität (DeteRess), FKZ 3712 93 321, www.umweltbundesamt.de/publikationen/strukturelle-produktionstechnische-determinanten

⁴ Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourceneffizienten Deutschland (RTD), FKZ 3715 41 11 50, www.umweltbundesamt.de/rescue

aus Nicht-EU Ländern beruht grundsätzlich auf der Annahme, dass diese Güter mit inländischer Produktionstechnologie hergestellt wurden (engl.: „Domestic Technology Assumption“, DTA). Diese Annahme dürfte im Fall der großen und stark diversifizierten EU-Ökonomie für den Großteil der Importe eine geeignete Annäherung an die Produktionstechnologie in den Herkunftsländern der Importe darstellen. Für einige Güter ist mit wesentlichen Unterschieden in der Produktionstechnologie in der EU und den Handelspartnern zu rechnen. Für die Erzeugung von Elektrizität, die Extraktion von Metallerzen und die Erzeugung von Metallen (einschließlich Schrottanteilen) werden daher die auf DTA beruhenden Ergebnisse justiert, indem zusätzlich regionalisierte Informationen in das Modell einbezogen werden. Bei diesen Gütern ist eine korrekte Annahme der Produktionstechnologien für den RME-Gehalt von Gütern besonders bedeutsam. Die RME der deutschen Importe aus Nicht-EU Ländern werden durch Multiplikation der Importe laut disaggregierter IOT mit den entsprechenden EU-RME-Koeffizienten ermittelt.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass rund die Hälfte der deutschen Importe aus EU-Ländern stammt. Deshalb wird bei der Berechnung der RME der deutschen Importe von EU-RME-Koeffizienten für Exporte, welche die durchschnittliche EU-Produktionstechnologie widerspiegeln, ausgegangen und nicht von der DTA.

Aufstellung von Zeitreihen: Für die Aufstellung einer Zeitreihe für Deutschland wäre es idealerweise erforderlich, das Modell auf einer aufwändigen jährlichen Auswertung der Gütermatrix aufzubauen. Dies gilt für beide betrachteten Modellvarianten. In der Vergangenheit hat Destatis die Angaben der internen Gütematrix nur gegen Entgelt zur Verfügung gestellt. Um den Aufwand zu begrenzen, kann man sich bei der Nutzung der Gütermatrix auf ausgewählte Rahmenjahre (z. B. 2010 und 2016) beschränken und für die übrigen Jahre geeignete Fortschreibungs- bzw. Interpolationsansätze verwenden.

Dieser Lösungsansatz 2b erlaubt eine Ergebnisausweisung mit einer hohen Differenzierung der metallischen Rohstoffe im RMC, RMI und Im- und Exporten. Die Anwendung des Eurostat-Modells ist zeitaufwändiger als jene des Country Tools. Jedoch ist sie mit einem überschaubaren und leistbaren Zusatzaufwand möglich, insbesondere vor dem Hintergrund, dass SSG und ifeu das Modell entwickelt haben und seit über 10 Jahren die offiziellen europäischen Daten für Eurostat rechnen.

2.3.2.2.5 Lösungsansatz 3: Anwendung eines MRIO-Modells auf Deutschland

Wie oben beschrieben, haben MRIO-Modelle den Vorteil, die gesamte Weltwirtschaft und ihre unterschiedlichen Lieferketten abzubilden. Das bedeutet, dass auch sehr komplexe Lieferketten, welche eine Vielzahl von Ländern einbeziehen, vollständig in die Berechnung einfließen. Über das Einbinden von Daten zur Materialentnahme in allen Ländern weltweit als sogenannte Extensionen können näherungsweise auch die Lieferketten der einzelnen Rohstoffe abgebildet werden und Indikatoren wie RMI und RMC für die vom Modell abgedeckten Länder und Ländergruppen abgeschätzt werden. Nur ein MRIO-basiertes Modell erlaubt eine Analyse von Lieferketten über verschiedene Produktionsländer hinweg sowie die Identifizierung des wahrscheinlichen bzw. durchschnittlichen geografischen Ursprungs der Rohstoffe, die zur Befriedigung der heimischen Endnachfrage benötigt werden. Mit Hilfe von Analysemethoden wie der „Structural Decomposition Analysis“ (SDA) können dann Aussagen über die Strukturen internationaler Lieferketten getroffen werden.

Andere Ansätze zur Bewertung von Lieferketten mithilfe von MRIO umfassen beispielsweise die Strukturpfadanalyse (SPA; Defourny und Thorbecke 1984), die es erlaubt, Lieferketten mit den höchsten Umweltbelastungen oder -auswirkungen zu identifizieren, oder die „Structural Production Layer Decomposition“ (SPLD; Wieland et al. 2017), die es ermöglicht, die Lieferketten

eines Landes in verschiedene Schritte (Schichten) zu unterteilen und so die zugrunde liegenden wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Strukturen zu beschreiben.

Arbeiten zum Vergleich unterschiedlicher Ansätze (Giljum et al. 2019; z. B. Schoer et al. 2013; Lutter et al. 2019) zeigen jedoch, dass die Unterschiede in den Ergebnissen der einzelnen MRIO-Modelle sowie zwischen MRIO-Modellen und (hybriden) SRIO-Modellen bedeutend sein können, insbesondere, wenn zusätzlich zur nationalstaatlichen Ebene auch die Sektor-Ebene betrachtet wird. Hier erweisen sich hybride SRIO-Ansätze wie das Eurostat-Modell als genauer, weshalb für Deutschland-spezifische RME-Analysen ein MRIO-basierter Ansatz weniger geeignet scheint. Unabhängig vom gewählten Ansatz für die deutschen RMEs wird jedoch weiterhin ein MRIO-Ansatz verwendet werden müssen (EXIOBASE, GLORIA, etc.), um die Analysen der internationalen Zusammenhänge bzw. Vergleiche für DeuRess II zu erstellen.

2.3.2.3 Vergleich der drei Lösungsansätze

Die Ergebnisse der drei unterschiedlichen Ansätze sind aufgrund unterschiedlicher methodischer Vorgehensweisen und Systemgrenzen schwer vergleichbar und mit signifikanten Abweichungen verbunden. Die folgende Vergleichstabelle zeigt grobe Unterschiede auf (Tabelle 2). Tiefergehende methodische Analysen sind im gegenständlichen Vorhaben nicht vorgesehen.

Tabelle 2: Vergleich der wichtigsten MFA-Indikatoren für Deutschland für Jahr 2010 auf Basis (1) des Destatis Modells, (2) des EU Country Tools, (3) des Eurostat-Modells und (4) von EXIOBASE mit UN-IRP-Extensionen

[in Mio. t]	DE	Importe in RME	RMI	Exporte in RME	RMC
Lösungsansatz 1: Destatis					
Gesamt	1.021	1.601	2.622	1.330	1.292
Biomasse	249	138	387	158	229
Metallerze	0	804	804	684	120
Nicht-metallische Mineralien	573	139	712	155	557
Fossile Energieträger	199	520	719	333	386
Lösungsansatz 2a: EU-Country Tool					
Gesamt	1.023	1.543	2.566	1.335	1.220
Biomasse	251	152	403	154	249
Metallerze	0	596	596	450	146
Nicht-metallische Mineralien	576	246	821	318	503
Fossile Energieträger	196	550	746	414	332
Lösungsansatz 2b: adaptiertes Eurostat-Modell					
Gesamt	1.023	1.530	2.553	1.257	1.296
Biomasse	251	152	403	136	266
Metallerze	0	596	596	444	153
Nicht-metallische Mineralien	576	246	821	306	515

[in Mio. t]	DE	Importe in RME	RMI	Exporte in RME	RMC
Fossile Energieträger	196	537	733	371	362

Lösungsansatz 3: MRIO (EXIOBASE) mit UN-IRP Extensionen

Gesamt	1.013	1.068	-	275	1.806
Biomasse	234	266	-	75	427
Metallerze	0,4	99	-	0,3	99
Nicht-metallische Mineralien	583	428	-	142	868
Fossile Energieträger	195	275	-	58	412

DE = Inländische Rohstoffentnahme (engl.: „Domestic Extraction“), Imp = Importe, RMI = Primärrohstoffeinsatz (engl.: „Raw Material Input“), Exp = Exporte, RMC = Rohstoffkonsum (engl.: „Raw Material Consumption“);

Quelle: Maier 2018; Stadler et al. 2018; Eurostat 2019

Die Ergebnisse von Destatis und den Eurostat-Modellen weichen zwar voneinander ab, insbesondere, wenn die einzelnen Rohstoffgruppen betrachtet werden. Jedoch liegen die Ergebnisse nicht sehr weit voneinander entfernt. Die Ergebnisse der Varianten Country Tool und EU IOT Modell unterscheiden sich nur bezüglich der RME der Exporte (Differenz 78 Mio. t) und entsprechend des RMC. Die Differenz verdeutlicht, dass die Genauigkeit bei der Schätzung der Exporte mit Hilfe des Eurostat-Modells (Lösungsansatz 2b) spürbar verbessert werden kann. Schwer vergleichbar sind aufgrund des anderen methodischen Ansatzes die Ergebnisse auf Basis des EXIOBASE-Modells (Stadler et al. 2021) unter Verwendung der Extraktionsdaten vom UN IRP. Die Extraktionen weisen die geringsten Unterschiede auf (s. auch Kap. 3 im Folgenden). Beim RMC fällt ein generell höheres Niveau beim MRIO-basierten Ansatz auf, was vor allem dadurch begründet ist, dass die MRIO-Logik auch nicht-metallische Minerale, die für den Aufbau von Infrastruktur im exportierenden Land verwendet wurde, dem konsumierenden Land zuordnet. Dabei wirkt sich vor allem China als Motor der globalen Wirtschaft – und die von China publizierte IOT, deren Qualität schwer überprüfbar ist – aus.

Die RME der Importe und Exporte sind nicht direkt vergleichbar, da MRIO-Modelle indirekte Handelsflüsse (IM_{RME} und EX_{RME}) anders berechnen als hybride SRIO-Modelle. Im SRIO quantifizieren IM_{RME} alle Entnahmen im Ausland, die für die Herstellung von Importen nach Deutschland nötig waren. EX_{RME} ist jene Menge an Entnahme, die für die Herstellung von Exporten aus Deutschland notwendig war, unabhängig davon, wo die Entnahme stattfand.

Bei einem MRIO quantifizieren IM_{RME} nur jene Entnahmen im Ausland, die für die Herstellung von jenen Importen nach Deutschland notwendig waren, die über Endprodukte und Service-Leistungen in der deutschen Endnachfrage landen. Aus diesem Grund enthält diese Tabelle keine MRIO-Werte für den RMI. EX_{RME} bezieht sich lediglich auf die Menge an inländischer Entnahme in Deutschland, die für die Herstellung von Exporten verwendet wurde und über Endprodukte und Service-Leistungen in der ausländischen Endnachfrage landet. Ein direkter Vergleich zwischen den unterschiedlichen Modellen wäre auch bei der Handelsbilanz in RME (IM_{RME} und EX_{RME}) – der sog. „Raw material trade balance“ (RTB) – möglich. Auch hier zeigen sich große Unterschiede zwischen MRIO- und SRIO-basierten Ansätzen – ebenso wie zwischen den unterschiedlichen SRIO-basierten Ansätzen.

2.3.3 Umsetzung im Ressourcenbericht 2022

Die in Kapitel 2.3 zuvor durchgeführte Analyse unterschiedlicher Lösungsansätze für die Berechnung indirekter Rohstoffströme für Deutschland hat gezeigt, dass verschiedene

Lösungsansätze existieren, die jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen. Für die Berechnung dieser Ströme im Rahmen des Forschungsvorhabens und in weiterer Folge die Verwendung im Ressourcenbericht 2022 wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

- ▶ **Berechnung der RMEs des deutschen Handels:** Die Berechnung der RMEs des deutschen Handels sowie der Indikatoren RMI, RMC und Gesamtrohstoffproduktivität wurde mit Hilfe des auf Deutschland angewendeten RME-Modells von Eurostat umgesetzt (Lösungsansatz 2b). Hier kamen ausschließlich Daten aus nationalen Quellen (Destatis) bzw. das Modell von Eurostat zur Anwendung. Die Entscheidung für diesen Ansatz basiert auf der höheren Ergebnisgenauigkeit im Vergleich zum Destatis-Ansatz aufgrund der differenzierteren Auflösung und weil Daten mit höherer Aktualität zur Verfügung gestellt werden konnten.
- ▶ **Analyse der internationalen Handelsketten:** Für die Detailanalyse der internationalen Handelsketten wurde, wie bereits weiter oben erwähnt, ein MRIO-basierter Ansatz verwendet, da SRIO-basierte Ansätze keine Aussage zu Lieferketten-Strukturen bzw. deren geografischer Struktur machen können. Zur Auswahl des am besten geeigneten MRIO wurden die Ergebnisse der aktuellen Version des Modells EXIOBASE (Stadler et al. 2018) mit jenen aus dem für das UN IRP entwickelten MRIO-Modell GLORIA (Lenzen et al. 2021) verglichen. Der Vergleich zeigte: Während EXIOBASE einen hohen Sektor-Detailgrad aufweist bietet GLORIA den Vorteil, dass auch hier das Sektor-Detail besonders im Bereich der Rohstoff-relevanten Sektoren sehr hoch ist und das UN IRP eine offizielle überstaatliche Quelle ist.
- ▶ **Abgleich der Daten des Eurostat-Modells und der MRIO-Ergebnisse:** Die Kombinierbarkeit von Ergebnissen aus dem Eurostat-Modell und jenen eines MRIOs ist zu einem großen Teil abhängig von der Übereinstimmung der Handelsdaten (ohne Umrechnung in RME). Im europäischen Modell werden die Handelsdaten aus der Comext-Datenbank (Eurostat 2021a) genutzt, in der gegenwärtig erarbeiteten Umstellung wird auf die Datenbank FIGARO für den intra-europäischen Handel zurückgegriffen. In den verschiedenen MRIOs wird auf unterschiedliche Handelsdatensätze zurückgegriffen, manche davon sind harmonisiert, andere nicht. Zentral für eine Kombination zwischen europäischen/deutschen und multiregionalen Modellen ist folglich der Abgleich zwischen den direkten Handelsströmen. Dies ist eine Aufgabe, zu der sich Eurostat, UNEP und OECD bekannt haben und die weit über den Rahmen dieses Vorhabens hinausgeht. Es ist davon auszugehen, dass die Anstrengungen von Eurostat, von UNEP sowie der OECD mittel- bis langfristig zu harmonisierten Datensätzen führen werden. Für dieses Vorhaben wurde davon ausgegangen, dass durch das Umsteigen auf einen Eurostat-basierten Ansatz eine Annäherung stattfinden würde.

Für dieses Vorhaben wird daher wie bisher ein pragmatischer Weg eingeschlagen. Mit Hilfe von Methoden wie der SPA oder SPLD (siehe zuvor) werden auf Basis von MRIO-basierten Berechnungen für Deutschland die Lieferketten-Strukturen der deutschen Wirtschaft analysiert (siehe oben). Ebenso können rein MRIO-basierte Aussagen über die durchschnittliche Herkunft einzelner Rohstoffe für den heimischen RMI oder RMC getätigt werden. Vergleiche zwischen Deutschland und anderen Ländern werden lediglich auf relativer Ebene durchgeführt werden. Dies trifft beispielsweise auf den RMC pro Kopf oder auf die Entwicklung dieses Indikators über die Zeit zu.

2.4 Berichtsjahr und Zeitnahschätzung („Now-casting“)

2.4.1 Fragestellung

Der in diesem Vorhaben zu veröffentlichende UBA-Ressourcenbericht wird auf umso mehr Interesse stoßen, je aktueller seine Zahlen sind. Daten zur Entnahme, zum Handel, zum Recycling, etc. von Rohstoffen der öffentlichen Statistik werden erst mit einer gewissen zeitlichen Verspätung publiziert (Erhebungen, Berechnungen, usw.). Des Weiteren hatte auch die Publikation des Ressourcenberichts eine gewisse Vorlaufzeit, innerhalb derer keine neuen Daten mehr eingearbeitet werden konnten. Dies ist umso mehr von Bedeutung, als dadurch sichergestellt wurde, dass nicht kurzfristig Fehler durch einen fehlenden Datenabgleich auftreten. Für die Ressourcenberichte 2016 und 2018 lagen die Berichtsjahre jeweils drei Jahre zurück (Berichtsjahr 2013 im Ressourcenbericht 2016 und Berichtsjahr 2015 im Ressourcenbericht 2018).

Umweltdaten und Indikatoren sind eine wichtige empirische Informationsbasis. Je aktueller die für diese Vergleiche und Strategien herangezogenen Daten sind, desto aussagekräftiger sind die Vergleiche zur Einordnung gegenwärtiger Entwicklungen. Zur Kommunikation und Evaluation nationaler wie auch internationaler politischer Maßnahmenprogramme ist eine zeitnahe Abschätzung der Entwicklung der wichtigsten Indikatoren besonders relevant für die Ressourcenberichte.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eruiert,

- ▶ mit welchem Berichtsjahr aufgrund der Aktualität der Destatis-Daten für Standard-Inhalte wie inländische Entnahme, direkter Handel, etc. für den Ressourcenbericht zu rechnen ist und
- ▶ mit welchen Methoden die Zeitreihen der wichtigsten Indikatoren über Proxy-Daten und Schätzungen verlängert werden können, um die Relevanz der Daten zu steigern.

2.4.2 Problemanalyse und Lösungsansätze

Im Folgenden werden zuerst die Veröffentlichungsintervalle für die für das Forschungsvorhaben relevanten Datensätze analysiert, um eine Aussage über das voraussichtliche Berichtsjahr des Ressourcenberichts 2022 treffen zu können. In weiterer Folge werden bestehende Ansätze zur Zeitnahschätzung (engl.: „now-casting“) von Schlüsselindikatoren untersucht.

2.4.2.1 Berichtsjahr

Für die Ermittlung des aktuellsten, offiziell berichteten Jahres für die Publikation im Jahr 2022 ist es essentiell, mit Destatis abzugleichen, in welchem Intervall und mit welcher Aktualität die einzelnen Datensätze veröffentlicht werden. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die für das Forschungsvorhaben relevantesten Datensätze von Destatis und deren Publikationsintervall auf Basis der Auskunft von Destatis.

Tabelle 3: Publikationsintervalle für Datensätze der statistischen Ämter

Datensatz	Publikationsintervall
UGR (Entnahme und Handel mit Rohstoffen)	jährlich gegen Ende November, t-2
UGR (Wasser)	3-jährlich gegen Ende November, t-2-4, nächste Veröffentlichung 2021 (Berichtsjahr 2019)

Datensatz	Publikationsintervall
UGR der Länder (Rohstoffe)	jährlich, t-2
UGR der Länder (Wasser)	3-jährlich, t-2-4
Monetärer Handel	jährlich, t-1, Veröffentlichung jeweils im Herbst
Abfallbilanz	jährlich, t-2 – Veröffentlichung ~Juli
Flächennutzung - UGR „nur“ die globale Flächenbelegung durch Ernährungsgüter	jährlich, t-2
Luftemissionsrechnung der UGR	jährlich Ende Sept., t-2

Quelle: eigene Darstellung; „t – x“: gibt die Aktualität der berichteten Daten an. t ist das Jahr der Veröffentlichung eines Datensatzes, x die Differenz zwischen Veröffentlichungsdatum und dem aktuellsten berichteten Jahr.

Für die zeitgerechte Publikation des Ressourcenberichts 2022 war ein Abschluss der Datengrundlage mit Ende 2021 unumgänglich. Das bedeutet, dass die von Destatis und den statistischen Ämtern der Länder zur Verfügung gestellten Daten zu UGR und verwandten Themen Zeitreihen bis zum Jahr 2019 umfassten. Aus Kapitel 2.3 zur Berechnung der RME des deutschen Handels bzw. Kapitel 2.3.2.3 zur Kombination dieser Berechnungen mit globalen MRIOs ist zu entnehmen, dass für die Analyse indirekter Flüsse auch das Modellierungsjahr 2019 als aktuellstes Jahr verwendet werden konnte. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Berichtsjahre für die einzelnen Bereiche des Ressourcenberichts in den bisherigen und dem neuen UBA-Ressourcenbericht 2022.

Tabelle 4: Berichtsjahre der Ressourcenberichte

Themenbereich	Bericht 2016	Bericht 2018	Neu: Bericht 2022
UGR – Rohstoffentnahme	2013	2015	2019
Direkter physischer Handel	2013	2015	2019
Monetärer Handel	2013	2015	2019
Indirekter physischer Handel (RME)	2010/2011	2014	2019
UGR – Wassernutzung	2013	2013	2016
Flächennutzung	2013	2015	2020
Direkte Treibhausgasemissionen	-	2017	2020
Abfall	2013	2015	2019
Wasserfußabdruck	2011	2011	Abhängig von Quelle
Flächenfußabdruck	2010	2010	Abhängig von Quelle
Treibhausgas-Fußabdruck	2010	2013	Abhängig von Quelle

Quelle: eigene Darstellung

Es zeigt sich also, dass für alle für die Rohstoffnutzung relevanten Themenfelder einheitlich das Berichtsjahr 2019 herangezogen werden kann. Bezüglich der Fußabdrücke anderer

Ressourcenkategorien ist das Berichtsjahr von der verwendeten Datenquelle abhängig. So war etwa zum Zeitpunkt der Analyse der Datenquellen noch nicht klar, ob die Berechnungen des Flächenfußabdrucks durch das UBA oder des Treibhausgas-Fußabdrucks durch Destatis aktualisiert werden. Für die Berechnung des Wasserfußabdrucks wird wie bisher wieder ein MRIO zur Anwendung kommen. Bei Sonderthemen wie Kritikalität, Umweltwirkungen oder Bestände ist ein einheitliches Berichtsjahr weniger von Bedeutung und aufgrund der unterschiedlichen Datenquellen auch schwer zu gewährleisten.

2.4.2.2 Zeitnahschätzung („Now-casting“)

Für die Zeitnahschätzung der für dieses Forschungsvorhaben relevanten Indikatoren gibt es nur wenige Erfahrungswerte. Zwei Veröffentlichungen sind für die Anwendung im Forschungsvorhaben von besonderer Relevanz, da sie sich auf Rohstoffindikatoren fokussieren. Dabei handelt es sich einerseits um ein für das UBA umgesetztes Vorhaben⁵, das die Erhöhung der Aktualität von Umweltdaten und Indikatoren der Umweltberichterstattung des Umweltbundesamtes und dadurch deren Nutzbarkeit für die Politikberatung zum Ziel hatte (Lutz et al. 2019). Daneben entwickelte eine Studie von ECORYS, dem Copenhagen Resource Institute und Cambridge Econometrics für die Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission Now-casting-Ansätze für unterschiedliche Materialfluss-Indikatoren (ECORYS et al. 2013). In weiterer Folge werden die beiden Ansätze beschrieben und ihre Eignung für die Anwendung in diesem Vorhaben beurteilt.

2.4.2.2.1 UBA-Ansatz für Zeitnahschätzungen

Für das UBA-Vorhaben wurden aus einer Vielzahl bestehender Daten und Indikatorsätzen vor allem des UBA aber auch der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2016b) sowie internationaler Institutionen und Strategien (beispielsweise der OECD, oder der EEA) Indikatoren auf die Möglichkeit und Notwendigkeit einer Zeitnahschätzung hin überprüft. Ergebnis des Vorgehens war zunächst eine Liste von 65 Indikatoren, die in einem weiteren Schritt gekürzt wurde. In einem dritten Schritt wurden Zeitnahschätzungen für neun Indikatoren, die sich den Themenbereichen „Ressourcen“, „Verkehr“ sowie „Umwelt und Wirtschaft“ zuordnen lassen, durchgeführt. Der Projektbericht stellt für jeden Indikator eine Methode und ein entsprechendes Tool für die Zeitnahschätzung zur Verfügung, um diese selbstständig vornehmen zu können. Für die folgenden neun Indikatoren wurden Schätzmethode entwickelt:

- ▶ Gesamtrohstoffproduktivität
- ▶ Rohstoffkonsum pro Kopf
- ▶ Umweltfreundlicher Personenverkehr
- ▶ Umweltfreundlicher Güterverkehr
- ▶ Umweltkosten von Energie und Straßenverkehr
- ▶ Umweltbezogene Steuern
- ▶ Beschäftigte im Umweltschutz
- ▶ PEV des verarbeitenden Gewerbes
- ▶ Treibhausgas-Emissionen des verarbeitenden Gewerbes

⁵ Aktualität von Umweltdaten und Indikatoren erhöhen und die Nutzung für die Politikberatung verbessern, 3716 12 104 0, www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualitaet-von-umweltdaten-indikatoren-erhoehen

Für dieses Vorhaben sind vor allem die Indikatoren Gesamtrohstoffproduktivität und Rohstoffkonsum pro Kopf von Bedeutung. Die Gesamtrohstoffproduktivität errechnet sich als Verhältnis von Bruttoinlandsprodukt und Importen (preisbereinigt) zum RMI. Veröffentlicht wird eine indexierte Entwicklung über die Zeit. Die Analyse im Rahmen des UBA-Vorhabens ergab, dass im Rahmen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) die zur Berechnung des Zählers des Indikators notwendigen Daten regelmäßig aktualisiert werden und Daten zur preisbereinigten Summe aus Importen und BIP mit einer Verzögerung von lediglich wenigen Monaten zur Verfügung stehen. Im Unterschied basieren die veröffentlichten Daten zum RMI bzw. RMC auf Modellierungen und standen zum damaligen Zeitpunkt von Destatis veröffentlicht bis zum Jahr 2014 zu Verfügung (s. Kap. 2.3.2.1.1).

Das Forschungsteam des UBA-Vorhabens entschied sich daher zu einer pragmatischen Lösung: Aufgrund der verfügbaren Abschätzungen des Statistischen Bundesamtes wurde auf eine langfristig relativ stabile Entwicklung des RMI bzw. RMC geschlossen, die in der kurzen Frist insbesondere durch konjunkturelle Einflüsse (wie dem deutlichen Einbruch der Importe im Jahr 2009) geprägt wird. Fehlende Daten zu RMI und RMC werden daher im Tool mittels einer linearen Regression durch einen langfristigen linearen Trend sowie auf Basis aktueller Daten zu Bevölkerungsentwicklung und außenwirtschaftlichen Einflüssen fortgeschrieben.

2.4.2.2.2 Der ECORYS-Ansatz zur Zeitnahschätzung

Die Studie von ECORYS, dem Copenhagen Resource Institute und Cambridge Econometrics, für die Generaldirektion Umwelt fokussierte bei ihren Now-Casting-Ansätzen auf Materialfluss-Indikatoren (ECORYS et al. 2013). Dabei wurden Trends auf Basis der Entwicklung unterschiedlicher Proxy-Indikatoren fortgeschrieben.

Um den DMC vorherzusagen, wird ein Indikator für das Ausmaß der Aktivität in einer relevanten (und im Idealfall dominanten) Benutzerbranche verwendet. Beispielsweise ist der Bausektor der dominierende Verwender von nicht-metallischen Mineralien, und daher wird angenommen, dass Änderungen bei der Verwendung dieser Materialien Änderungen im Umfang der Aktivitäten im Bausektor widerspiegeln. Vorgeschlagen wird der Indikator Bruttowertschöpfung (BWS). Dieser ist ein Maß für die Wertschöpfung einer Branche und definiert als die Differenz zwischen dem Wert der Produktion des Sektors und dem Wert der von ihm gekauften Betriebsmittel. In der Praxis ändert sich das Verhältnis der inflationsbereinigten Bruttowertschöpfung zum inflationsbereinigten Wert der Materialeinkäufe kurzfristig nicht wesentlich, weshalb BWS als Prädiktor für DMC verwendet wird. Für die Abschätzung der heimischen Entnahme schlägt die Studie die Verwendung von Produktionsdaten aus der entsprechenden Datenbank von Eurostat (Eurostat 2021d, 2021e) vor. Für sechs unterschiedliche Materialgruppen wird der jeweilige Proxy-Indikator für die Entnahme und den DMC sowie die entsprechende Eurostat-Quelle, wo Daten zu finden sind, angegeben.

Die Methode zur Schätzung von Exporten und Importen versucht, die Eurostat-Methode zur Erstellung der veröffentlichten MFA-Accounts unter Verwendung von Handelsdaten aus der Comext-Datenbank von Eurostat (Eurostat 2021a), die sehr aktuell sind (t +2 Monate), so genau wie möglich zu reproduzieren. Die Export- und Importdaten werden nach Gewicht für die relevanten Codes der kombinierten Nomenklatur erfasst und dann zu MFA-Kategorien gemäß den Definitionen aggregiert.

Der Prozess zur Vorhersage der Importe und Exporte in RME basiert auf der Methode, die in den historischen hybriden Input-Output-Tabellen (IOTs) von Eurostat dokumentiert ist (Eurostat 2012). In diesen Tabellen werden die Materialien in einer von drei Einheiten gemessen: Tonnen (für Rohstoffe ohne Energie), Tonnen Öläquivalent (für Energieträger) und Euro (für nachge-

lagerte Produkte). Nun werden Handelsdaten aus der Comext-Datenbank für jene Indikatoren erfasst, die in Tonnen und Euro gemessen werden. Bei den Indikatoren, die in Tonnen Öl-äquivalent gemessen werden, werden die Handelsdaten aus der Energiestatistik von Eurostat verwendet. Aus diesen Daten werden Koeffizienten gebildet, welche die Handelsdaten in Rohstoff-äquivalente umwandeln. Die hybriden IOTs wurden nur für die EU-27 als Ganzes berechnet und beziehen sich auf den Handel außerhalb der EU. Bei der Berechnung von Schätzungen auf Ebene der Mitgliedstaaten werden die Extra-EU-Importkoeffizienten der Hybrid-IOTs auf die Extra-EU-Importe eines Mitgliedstaats angewendet, aber die Extra-EU-Exportkoeffizienten der Hybrid-IOTs auf die Intra-EU-Importe eines Mitgliedstaats. Die Motivation ist, dass die Intra-EU-Importe jedes Landes einen Export aus anderen Mitgliedstaaten darstellen und daher die Rohstoffzusammensetzung der EU-Exporte der beste Leitfaden ist, um die Intra-EU-Importe in Rohstoffäquivalente umzuwandeln. Es werden jedoch nicht alle RME-Sektoren im Hybrid-IOT verwendet. Dies betrifft vor allem Dienstleistungen, da in Comext keine Daten für den Handel mit Dienstleistungen verfügbar sind und die Rohstoffäquivalente des Dienstleistungshandels einen geringen Anteil am gesamten RME ausmachen.

2.4.3 Auswahl Datenquellen für den Ressourcenbericht 2022

Entsprechend der Analysen in Kapitel 2.3 wurden die Daten zur indirekten Rohstoffnutzung für Deutschland mit einem für Deutschland entwickelten RME-Modell auf Basis der EU-Standardmethode berechnet. Die Ergebnisse wurden für besonders wichtige Indikatoren wie die Gesamtrohstoffproduktivität mit jenen aus nationalen Quellen (Destatis) verglichen und die Unterschiede erläutert. Dieser Ansatz wurde gewählt, da die EU-Standardmethode dem aktuellen Stand der Wissenschaft entspricht und durch die Detailtiefe der Ergebnisse eine noch höhere Konsistenz zwischen den einzelnen Kapiteln gewährleistet werden konnte. Das folgende Kapitel (3) erläutert das im Rahmen dieses Projekts entworfene RME-Modell.

Die Darstellung der heimischen Entnahme in Deutschland erfolgte weiterhin auf Basis der Daten der UGR vom statistischen Bundesamt, denn es war davon auszugehen, dass diese Daten die höchste Genauigkeit aufweisen. Für Vergleiche auf europäischer Ebene wurde die Datenbank von Eurostat herangezogen (Eurostat 2021d), welche die offiziellen MFA-Statistiken aller Mitgliedsstaaten enthält, die dem selben statistischen Standard folgen. Für internationale Vergleiche wurde die IRP-Datenbank verwendet, die im Vergleich zu den UGR-Daten lediglich kleine Unterschiede bei den Trends der einzelnen Rohstoffkategorien aufweist.

Entsprechend der Analyse in Kapitel 2.4.2.1 wurde 2019 als das Berichtsjahr des Ressourcenberichts 2022 gewählt. Für einige Indikatoren standen mit Datenschluss Ende 2021 bereits Daten zur direkten Rohstoffnutzung für 2020 zu Verfügung (insbesondere über Eurostat, s.u.). Diese wurden soweit möglich in den Bericht integriert.

Die für die Zeitnahschätzung ausgewählten Methoden mussten jedoch aufgrund der globalen Ereignisse einer neuerlichen Evaluierung unterzogen werden.

Das Jahr 2020 war aufgrund der Covid-Pandemie und der damit zusammenhängenden Lockdowns ungewöhnlich. Menschen haben ihre Konsummuster stark verändert, beispielsweise sank das Mobilitätsaufkommen und die Nachfrage in der Gastronomie, während andere Gütergruppen im Zusammenhang mit Haushalt und Wohnen, wie beispielsweise Heimtrainer oder Baumaterialien, stärker nachgefragt wurden. Auch die Produktionsmuster unterschieden sich teilweise stark von den vorherigen Jahren. Die zu Verfügung stehenden Schätzmethode waren daher nur bedingt geeignet, Werte für das Jahr 2020 zu ermitteln, da die Signifikanz der Proxy-Variablen für die zu schätzenden Indikatoren nur noch bedingt gegeben war. Für eine

gute Schätzung wäre eine Input-Output-Tabelle der wirtschaftlichen Verflechtung in 2020 erforderlich, die aber nicht vorlag. Fortschreibungen auf der Basis der Entwicklungen in den früheren Jahren waren nicht anwendbar. Daher wurde folgender Ansatz verfolgt:

Die heimische Entnahme lag für das Jahr 2020 vor (Eurostat 2021d). Eurostat veröffentlichte ebenso Importe und Exporte in Eigengewichten (ohne „Rucksäcke“) nach Materialgruppen für das Jahr 2020. Die prozentualen Veränderungen zwischen den Jahren 2019 und 2020 nach Materialgruppe und Handelsfluss wurde auf die RME der Importe bzw. Exporte übertragen. Das Vorgehen basiert auf der Beobachtung, dass die Veränderungen der direkten Im- bzw. Exporte den Veränderungen der indirekten Im- und Exporte häufig ähnlich verlaufen. Die Indikatoren RMC und RMI wurden über die Summen der heimischen Entnahme mit den Importen bzw. Exporten berechnet. Im Ressourcenbericht sind sie als vorläufige Schätzung ausgewiesen. Die Gesamtrohstoffproduktivität wurde nach Rücksprache mit der Fachbegleitung lediglich bis zum Jahr 2019 berichtet.

3 Dokumentation des RME-Modells für Deutschland

Dittrich, M., Ewers, B., Schoer, K.

Im Folgenden wird zunächst die genutzte Methodik beschrieben, dann werden die Ergebnisse dargestellt. Abschließend wird ein Vergleich mit den Daten von Destatis vorgenommen.

3.1 Methodische Beschreibung des RME-Modells Deutschland

3.1.1 Einführung

Das RME-Modell für Deutschland ist ein umweltökonomisches Rohstoffmodell, das auf einem Input-Output-Ansatz beruht. Ziel des Modells ist die Ermittlung zentraler Indikatoren zur Rohstoffnutzung in Deutschland. Die Rohstoffindikatoren werden in Rohstoffäquivalenten ermittelt, d.h. es werden alle Rohstoffe berücksichtigt, die entlang der gesamten Lieferkette gehandelter Güter eingesetzt wurden. Damit werden Importe und Exporte vergleichbar mit inländisch produzierten Gütern berechnet. Die Methodik des Modells ist harmonisiert mit dem Eurostat EU-RME-Modell (Schoer et al. 2022) zur Ermittlung von Rohstoffindikatoren auf EU-Ebene und dem RME-Ländertool (Schoer et al. 2023), welches Eurostat den Ländern bereitstellt.

Methodisch folgt das Modell der Logik der Input-Output-Analyse (Miller und Blair 2009). Diese wurde von Wassily Leontief in den 1930er Jahren entwickelt und zur Beobachtung der wirtschaftlichen Entwicklung von Ländern eingesetzt. Daten über Güterströme zwischen und innerhalb von Wirtschaftsbereichen wurden verwendet, um sogenannte Input-Output-Tabellen aufzustellen. Diese beschreiben, welche Vorleistungen durchschnittlich zur Produktion von Gütern eines Wirtschaftsbereiches verwendet werden und wie hoch die Endnachfrage, d.h. der Konsum, die Investitionen und die Exporte dieser Güter sind. Mit Hilfe des Leontief-Verfahrens können dann durch Matrizenrechnung Koeffizienten ermittelt werden, die beschreiben, welche Vorleistungen zur Produktion einer Einheit eines Gutes benötigt werden. Input-Output-Tabellen können mit Hilfe von sogenannten Satellitenkonten um Umweltdaten (z.B. Treibhausgasemissionen, Rohstoffeinsatz) erweitert werden.

Im RME-Modell Deutschland wurde der Rohstoffeinsatz mit einem solchen Satellitenkonto berechnet. Direkte und indirekte Rohstoffimporte und die inländische Entnahme von Rohstoffen wurden dabei entsprechend der Vorleistungsverflechtung der Input-Output-Tabelle (IOT) den Gütern der letzten Verwendung zugerechnet.

In vielen Fällen beruhen Input-Output-Modelle auf einer monetären IOT. Hier wurde aber eine hybride IOT verwendet, d.h. für rohstoffintensive Produktionsaktivitäten (z.B. Rohstoffextraktion, erste Bearbeitung von Rohstoffen) wurden physische Einheiten verwendet, die die Rohstoffflüsse besser repräsentieren, während die restlichen Gütergruppen in monetären Einheiten dargestellt wurden.

Das Modell ist ein nationales Modell, d.h. die IOT bildet die deutsche Volkswirtschaft einschließlich ihrer Importe und Exporte ab. Neben nationalen Modellen existieren auch multi-regionale Modelle, die die Verknüpfungen zwischen verschiedenen Volkswirtschaften abbilden (z.B. WIOD⁶, Exiobase⁷, EORA⁸). Diese haben den Vorteil, dass die Produktionstechnologie direkt aus den IOTs der Herkunftsländer abgeleitet werden kann und Importe über Durchschnittsketten bis zum Erzeugerland rückführbar sind. Allerdings sind dabei die Datenerfordernisse

⁶ URL: <http://wiod.org/home>

⁷ URL: <https://www.exiobase.eu/>

⁸ URL: <https://worldmrio.com/>

sehr hoch. Sind für ein Land nur unzureichende oder fehlerhafte Daten vorhanden, wie es häufig der Fall ist, werden die Fehler und Unsicherheiten auf die Berechnungen aller Länder übertragen.

3.1.2 Methodik

Im Kern des RME-Modells für Deutschland steht eine hoch aufgelöste Input-Output-Tabelle (IOT) mit 182 Gütergruppen, die die Vorleistungsverflechtungen innerhalb der Wirtschaft darstellt. Die Unterteilung der Gütergruppen ist dabei an die Erfordernisse der Rohstoffberechnung angelehnt. Das heißt rohstoffintensive Gütergruppen, wie Agrarerzeugnisse, Erze oder Metall-erzeugnisse, sind stärker unterteilt als die Dienstleistungen. Im Vergleich dazu haben die von Destatis und Eurostat veröffentlichten IOTs eine Auflösung von 72 bzw. 64 Gütergruppen.

Wie bereits erwähnt ist die Methodik eng angelehnt an die Methodik des Eurostat EU-RME-Modells (Schoer et al. 2022) und des Eurostat RME-Ländertools (Schoer et al. 2023).

Das EU-RME-Modell wurde im Rahmen eines Eurostat-Projekts von Karl Schoer und ifeu erstellt und wird jährlich aktualisiert. Methodische Weiterentwicklungen erfolgen regelmäßig. Die Rohstoffkoeffizienten der Importe wurden im EU-RME-Modell mit Hilfe der adaptierten Domestic Technology Assumption‘ (A-DTA) geschätzt. D.h. es wird grundsätzlich angenommen, dass Importe mit der gleichen Technologie wie im Inland hergestellt werden. In Bezug auf rohstoffrelevante Produktionsaktivitäten, wie Strom- und Metallerzeugung, wurden aber länderspezifische Informationen zur Produktionstechnologie genutzt.

Das RME-Ländertool ist ein vereinfachtes Rechentool, das Eurostat den Ländern bereitstellt. Importe und Exporte in RME wurden dabei auf der Basis von RME-Koeffizienten, die ein Ergebnis des EU-RME-Modells darstellen, abgeleitet.

Für die Berechnung der Importe in RME greift das RME-Modell für Deutschland analog zum RME-Ländertool direkt auf die RME-Koeffizienten des EU-RME-Modells zurück. Die Berechnung der deutschen Exporte in RME erfolgte mit Hilfe der detaillierten, hybriden IOT analog zum EU-RME-Modell.

Die Nutzung der EU-RME-Koeffizienten für die Importe hat den Vorteil, dass sämtliche Informationen des EU-RME-Modells über die Produktionstechnologie innerhalb der EU und die zusätzlichen Informationen aus anderen Ländern über Strommixe etc. einfließen. Damit ist die Datenabdeckung der EU-RME-Koeffizienten höher im Vergleich zu einer direkten Berechnung basierend auf einer deutschen IOT. Für die Berechnung des Rohstoffgehalts der in Deutschland produzierten Güter, einschließlich der Exportgüter, wurde dagegen die deutsche IOT verwendet, damit die deutschen Produktionsbedingungen spezifisch und detailliert abgebildet werden konnten.

3.1.2.1 Aufgliederung der monetären IOT

Als Basis wurden die Destatis IOTs (Destatis 2020b) mit 72 Sektoren ohne Weiterverarbeitungsproduktion verwendet, die von Destatis auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden. Da die Veröffentlichung der IOT für 2019 von Destatis erst nach Durchführen der Berechnungen im Rahmen des Forschungsvorhabens geplant war, wurde die IOT 2019 mit Hilfe von Eckwerten aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung und der IOT von 2018 mit einem iterativen Verfahren geschätzt.

Mit Hilfe von zusätzlichen Informationen wurden die IOTs weiter untergliedert. Die wesentliche Grundlage für diese Disaggregation bildet die sehr detaillierte, interne Gütermatrix von Destatis (ca. 2.600 Gütergruppen), die auf Anfrage zur Verfügung gestellt wird. Diese Gütermatrix wird

von Destatis jährlich erstellt. Das derzeitige RME-Modell für Deutschland beschränkt sich aus Aufwandgründen auf die Nutzung der Gütermatrix für das Jahr 2010. Die daraus abgeleitete Basis-IOT nach 182 Gütergruppen für das Jahr 2010 wurde durch Nutzung zahlreicher, nachstehend aufgelisteter Datenquellen fortgeschrieben:

- ▶ Importe aus der EU nach 182 Gütergruppen;
- ▶ Importe aus Ländern außerhalb der EU nach 182 Gütergruppen;
- ▶ Exporte in die EU nach 182 Gütergruppen;
- ▶ Export in Nicht-EU-Länder nach 182 Gütergruppen;
- ▶ Produktionswerte/Output der inländischen Wirtschaft nach 182 Gütergruppen.

Die Ergebnisse der Forstschreibung wurden auf die Eckwerte der jährlich veröffentlichten IOT für Deutschland nach 64 Gütergruppen abgestimmt. Die Genauigkeit des Modells könnte in der Zukunft durch die Einbeziehung aktuellerer Versionen der Gütermatrix verbessert werden.

3.1.2.1.1 Zeitreihe der monetären Importe und Exporte nach 182 Gütergruppen

Für die Berechnung der Importe und Exporte wurden Daten aus der Comext-Datenbank (Eurostat 2021a) zum Außenhandel mit Waren verwendet (der Außenhandel mit Dienstleistungen wird von Comext nicht erfasst). Diese wurden in der Kombinierten Nomenklatur (KN) berichtet, einer EU-weit einheitlichen Warenklassifikation für den Außenhandel, die aktuell 13.540 verschiedene Zollnummern umfasst (Europäische Kommission 2020). Mit Hilfe eines von uns erstellten Konversionsschlüssels wurde jeder Zollnummer je eine der 182 Gütergruppen zugeordnet. Anschließend wurden die Daten zu 182 Gütergruppen aggregiert.

Zu jedem Datenpunkt für den Handel mit EU-Ländern liegen in Comext zwei Werte vor – ein Wert wird vom exportierenden Land und ein Wert vom importierenden Land berichtet. Diese Werte stimmen aufgrund unterschiedlicher Preiskonzepte und Unterschieden bei der Berichterstattung üblicherweise nicht überein. Da es sich beim RME-Modell Deutschland um ein nationales Modell mit Fokus auf Deutschland handelt, wurden die von Deutschland berichteten Daten zu Importen und Exporten verwendet.

Bei den Herkunfts- und Zielländern wurden EU-Länder und Nicht-EU-Länder unterschieden und die Daten entsprechend aggregiert. Die auf diese Weise erzeugten Vektoren wurden dann auf die Eckwerte der Eurostat IOT abgestimmt, d.h. die Werte wurden so skaliert, dass die auf 64 Gütergruppen aggregierten Werte mit den Import- und Exportvektoren aus der Eurostat IOT übereinstimmen. Im Ergebnis stehen Zeitreihen für Exporte und Importe in die EU, sowie für Exporte und Importe in Länder außerhalb der EU nach 182 Gütergruppen.

3.1.2.1.2 Zeitreihe der monetären Produktionswerte nach 182 Gütergruppen

Für die Ermittlung der Produktionswerte wurden verschiedene Datensätze herangezogen:

1. Verwendungs- und Aufkommenstabellen nach 85 Gütergruppen (Destatis 2020b);
2. Agrarstatistik („Agricultural Accounts“) für die landwirtschaftliche Produktion (Eurostat 2021c);
3. Strukturelle Unternehmensstatistiken (engl. „Structural Business Statistics“, SBS) mit Unterscheidung von ca. 500 Wirtschaftsbereichen (Eurostat 2021f);
4. Statistiken über die Produktion von Waren („Prodcom“) mit Unterscheidung von 4.450 Gütergruppen für Metallerzeugnisse (Eurostat 2021e).

Für all diese Datensätze wurden Konversionsschlüssel zur Umrechnung in die 182 Gütergruppen erstellt. Die Datensätze wurden in der Reihenfolge der obigen Aufzählung mit abfallender Priorität behandelt. Eine solche Priorisierung war notwendig, da teilweise für die Aufgliederung einer CPA⁹ 64-Gütergruppe Werte aus mehreren Datensätzen verwendet werden mussten und die Differenzierung einer Datenquelle in manchen Fällen nicht ausreichte, um das volle Disaggregationsniveau zu erreichen. Bei der Skalierung wurden die Werte falls notwendig zunächst auf den nächsthöheren aggregierten Wert skaliert, z.B. auf die 72 Gütergruppen von Destatis, und anschließend gemeinsam mit allen anderen Werten der RME182-Gütergruppe auf den Wert der übergeordneten CPA64-Gütergruppe.

Trotz der Vielzahl von Datenquellen mussten an einigen Stellen Datenlücken aufgrund von Vertraulichkeit oder aus anderen Gründen gefüllt werden. Dies geschah entweder mit Werten vorangegangener oder vorheriger Jahre oder anhand einer anderen bekannten Relation und deren Fortschreibung, z.B. wenn der Trend eines Wertes auf aggregierter Ebene bekannt war, so wurde dieser benutzt, um eine Datenlücke zu füllen. Auf diese Weise wurde eine Zeitreihe der Produktionswerte nach 182 Gütergruppen abgestimmt auf die Eckwerte der Eurostat IOT erstellt.

3.1.2.1.3 Trendfortschreibung der Vektoren von 2010

Die Gütermatrix für 2010 von Destatis ist die präziseste Datenquelle unter den verwendeten Datensätzen, da es sich um einen einheitlichen, sehr detaillierten Datensatz handelt. Bei den anderen Datenquellen dagegen mussten mehrere Quellen kombiniert werden, obwohl unterschiedliche Systemgrenzen und Preiskonzepte verwendet wurden.

Um die hohe Qualität der Gütermatrix auch für die anderen Jahre zu nutzen, wurden daher die Vektoren aus dem Jahr 2010 aus der Gütermatrix fortgeschrieben mit Hilfe der oben ermittelten Zeitreihe. Dabei wurden extreme Sprünge von einem Jahr zum nächsten auf plausible Werte korrigiert, die zum Beispiel aufgrund der Neuaufnahme der Produktion in einer Gütergruppe oder aufgrund von einer sehr starken Reduktion bei gleichzeitig sehr kleinen Werten entstehen.

Im Ergebnis stehen Vektoren für Importe und Exporte in EU-Länder und in Nicht-EU-Länder und Produktionswerte nach 182 Gütergruppen. Daraus wurde der Vektor der inländischen Verwendung (engl.: „Total Domestic Use“, TDU) abgeleitet. Dieser berechnet sich als die Summe der Importe und des Produktionswerts abzüglich der Exporte.

3.1.2.1.4 Schätzung der detaillierten monetären IOTs

Die bei der Trendfortschreibung ermittelten Vektoren wurden verwendet, um in einem nächsten Schritt die detaillierten monetären IOTs für die einzelnen Jahre zu schätzen. Dafür wurden zunächst Rohwerte für die Vorleistungen und die letzte Verwendung der IOT ohne Zuhilfenahme der Vektoren erstellt. Dabei wurde die IOT des Jahres 2010 als Strukturinformation genutzt, d.h. die Werte der detaillierten IOT von 2010 wurden auf die Eckwerte der Eurostat IOT für das jeweilige Jahr skaliert, um eine erste Schätzung für das jeweilige Jahr zu erhalten. Danach wurden die Rohwerte mit einem iterativen Skalierungsalgorithmus sowohl auf die inländische Verwendung (Zeilensumme aus Vorleistungen und inländischer letzter Verwendung) als erste Randbedingung als auch auf die Eckwerte der Eurostat IOT als zweite Randbedingung abgestimmt. Es wurden 300 Iterationen durchgeführt, was ausreicht, um ein konvergentes Ergebnis zu erzeugen. Nicht für alle Werte konnten beide Randbedingungen erfüllt werden – es verblieben kleine Abstimmungsreste, so dass es für einzelne Gütergruppen zu minimalen Abweichungen zur aggregieren Eurostat IOT kommen kann.

⁹ Classification of Products by Activity (Eurostat 2013b).

Im Ergebnis steht eine Zeitreihe monetärer IOTs mit 182 Sektoren vollständig abgestimmt auf die inländische Verwendung mit minimalen Abweichungen der Summen zur aggregierten Eurostat IOT.

3.1.2.2 Hybridisierung der IOTs

Gütergruppen, für welche physische Daten vorliegen und die eine hohe Bedeutung für die Rohstoffrechnung haben, werden in physische Einheiten umgerechnet. Dazu gehören pflanzliche Erzeugnisse, forstwirtschaftliche Erzeugnisse, Fischereierzeugnisse, nicht-metallische Mineralien (alle in kt) und Energieträger wie Kohle, Erdöl, Erdgas und Kernbrennstoff, Strom und Wärme (alle in ktoe) und Uran (in kt RME).¹⁰ Für die Umrechnung wurden zunächst Produktionswerte, Importe und Exporte in physischen Einheiten basierend auf folgenden Datenquellen ermittelt:

- ▶ Energiebilanzen für Energieträger, Strom und Wärme (Eurostat 2021b): Die Energiebilanzdaten werden in die RME182-Klassifikation umgerechnet und mit Daten zu Bunkerungen aus den Materialflussdaten ergänzt. Die Aufteilung der Importe und Exporte in Intra-EU und Extra-EU wird basierend auf den physischen (und falls keine physischen Daten vorhanden, auf den monetären) Comext-Relationen durchgeführt.
- ▶ Materialflussdaten (Eurostat 2021d) für Produktionswerte zu den restlichen Gütergruppen: Die Materialflussdaten werden in die RME182-Klassifikation umgerechnet.
- ▶ Comext (Eurostat 2021a) für Importe und Exporte der restlichen Gütergruppen: Die physischen Comext-Daten in Tonnen wurden ebenfalls in die RME-Klassifikation umgerechnet.

Basierend auf diesen Eckwerten werden die restlichen Werte der IOT-Zeilen anhand der monetären Relationen geschätzt. Im Ergebnis liegt eine Zeitreihe von hybriden IOTs in gemischt physischen und monetären Einheiten vor.

3.1.2.3 Berechnung der Importe in RME mit EU-RME-Koeffizienten

Die Importe wurden analog zum RME-Ländertool mit den EU-RME-Koeffizienten berechnet. Die RME Koeffizienten sind ein Ergebnis des EU-RME-Modells und geben den Rohstoffbedarf in kt RME pro Einheit importiertes Durchschnittsgut an.

Zur Berechnung der Importe in RME wurden die beiden hybriden Importvektoren (Intra-EU- und Extra-EU-Importe) mit den EU-RME-Koeffizienten multipliziert. Da mit der RME182-Klassifikation eine gemeinsame Klassifikation verwendet wird, sind keine weiteren Umrechnungsschritte notwendig. Für Intra-EU-Importe wurden dabei die EU-RME-Koeffizienten für Exporte, für Extra-EU-Importe die EU-RME-Koeffizienten für Importe verwendet.

Bei den EU-RME-Koeffizienten für Exporte handelt es sich um Durchschnittswerte für die gesamte EU. Die Energieträger, die zur Stromerzeugung genutzt werden, unterscheiden sich allerdings teilweise stark in den einzelnen Ländern. Um dieser Tatsache Rechnung zu tragen, wurde eine Anpassung der zunächst berechneten direkten und indirekten Stromimporte aus der EU vorgenommen. Aus den Daten zu Importen nach EU-Herkunftsländern und dem Strommix der EU-Länder wurden Korrekturfaktoren berechnet, die auf die Stromimporte angewandt werden.

¹⁰ Die Daten für Uran werden außerhalb des Modells berechnet und daher in der IOT direkt in kt RME dargestellt.

Das Ergebnis dieser Rechnung sind Importe in RME untergliedert nach 182 Gütergruppen und 52 Materialien.

3.1.2.4 Berechnung der Exporte in RME mit dem Leontief-Verfahren

Die Exporte in RME wurden analog zum EU-RME-Modell mit dem Leontief-Verfahren basierend auf der hybriden IOT berechnet. Dafür wurde zunächst die IOT um die Rohstoffflüsse in die Wirtschaft erweitert.

3.1.2.4.1 Erweiterung um Rohstoffe

Rohstoffe werden entweder im Inland selbst entnommen oder gelangen durch Importe ins Land. Die Daten zu inländischen Entnahme stammen aus den Materialflussdaten (Eurostat 2021d)¹¹. Mit Hilfe einer Zuordnungstabelle erfolgte die Verteilung der Materialflüsse auf die Gütergruppen, in denen die Rohstoffe erstmals in die Wirtschaft gelangen, bevor sie in anderen Sektoren weiterverarbeitet und als Endnachfragegüter konsumiert oder investiert werden. Das Ergebnis ist die inländische Verwendung in Form einer Matrix (52 Materialien x 182 Gütergruppen). Zur inländischen Entnahme wurden die Importe in RME (52 Materialien x 182 Gütergruppen) addiert.

3.1.2.4.2 Leontief-Verfahren

Im nächsten Schritt wurden mit Hilfe des Leontief-Verfahrens die Exporte in RME berechnet. Zunächst wurden die direkten Inputkoeffizienten und die direkten Rohstoffkoeffizienten berechnet. Dafür wurden die Vorleistungsverflechtungen und die Rohstofferverweiterung mit den Kehrwerten der Produktionswerte multipliziert. Danach wurde die Leontief-Inverse mit Hilfe der direkten Inputkoeffizienten berechnet. Die Leontief-Inverse bildet den Input ab, der erforderlich ist, um eine Einheit des Produktionswertes für die Endnachfrage herzustellen.

Nun wurden die direkten Rohstoffkoeffizienten mit der Leontief-Inversen multipliziert. Das Ergebnis sind die (kumulativen) RME-Koeffizienten. Multipliziert man diese mit den hybriden Exportvektoren, erhält man die Exporte in RME (52 Materialien x 182 Gütergruppen). Der Rohstoffeinsatz (RMI) ist die Summe aus inländischer Entnahme und Importen in RME. Um den Rohstoffkonsum (RMC) zu ermitteln, können die RME-Koeffizienten mit der letzten inländischen Verwendung multipliziert werden. Alternativ kann der Rohstoffkonsum auch als Rohstoffeinsatz (RMI) abzüglich der Exporte in RME berechnet werden.

3.2 Technische Umsetzung

Das RME-Modell wurde in der quelloffenen Programmiersprache Python¹² implementiert. Python wird häufig im Bereich der Datenanalyse verwendet und stellt spezialisierte Bibliotheken zur Datenmanipulation und -analyse bereit. Für das Modell wurden hauptsächlich die Pakete „Pandas“¹³ und „Numpy“¹⁴ genutzt. Im Vergleich zu Excel bietet Python einige Vorteile bei der Datenverarbeitung. So können Daten beispielsweise direkt über eine von Eurostat bereitgestellte API¹⁵-Schnittstelle in ihrer aktuellen Version geladen werden (Destatis stellt einen solchen Zugang leider nur für ausgewählte Datensätze bereit.) Zudem können sehr große Datenmengen, wie beispielsweise Außenhandelsdaten, gleichzeitig und strukturiert

¹¹ Die Daten stammen ursprünglich von Destatis und werden von Destatis an Eurostat berichtet. Eurostat veröffentlicht diese dann in einer EU-weit einheitlichen Klassifikation, die im RME-Modell verwendet wird. Destatis selbst veröffentlicht die Daten nur in seiner eigenen Klassifikation (Destatis 2020b).

¹² URL: <https://www.python.org/about/>

¹³ URL: <https://pandas.pydata.org/about/index.html>

¹⁴ URL: <https://numpy.org/doc/stable/>

¹⁵ Engl.: „Application Programming Interface“

verarbeitet werden. Algorithmen, wie beispielsweise die iterative Skalierung, können effizient implementiert werden. Durch eine einheitliche Datenstruktur können Verknüpfungs- und Formelfehler vermieden werden. Häufige Routineaufgaben, wie beispielsweise Umrechnungen zwischen Klassifikationen, können mit Funktionen automatisiert werden.

Das Modell selbst besteht aus rund 30 Python-Skripten. Ein Python-Skript lädt meist ein oder mehrere Datensätze, bearbeitet sie mit dem Paket „Pandas“ und speichert die Ergebnisse in einer neuen Datei. Modellübergreifende Funktionen wurden in einem separaten Python-Skript gespeichert. Im Datenordner des Modells finden sich Rohdaten (Excel, CSV), die für die Modellrechnung geladen werden, sowie prozessierte Daten im HDF-Datenformat. In Excel-Dateien wurden zusätzliche Informationen wie Konversionsschlüssel, Klassifikationen, Beschriftungen für die einzelnen Codes und Sortierreihenfolgen gespeichert. Modellergebnisse wurden in Excel-Berichten und in Plots ausgegeben.

3.3 Ergebnisse

Die mit dem RME-Modell Deutschland berechneten Ergebnisse liegen nach 182 Gütergruppen, 52 Materialien (davon 18 biotische Materialien bzw. Materialgruppen, 18 Metalle bzw. Metallgruppen, 9 nicht-metallische Mineralien und 7 fossile Rohstoffe bzw. Rohstoffgruppen) und 5 Kategorien der letzten inländischen Verwendung (Konsum der privaten Haushalte, Konsum des Staates, Konsum der privaten Organisation, Investitionen und Vorratsveränderungen) vor. Importe und Exporte können nach EU- und Nicht-EU-Ländern differenziert werden. Durch Zuhilfenahme zusätzlicher Daten konnten Auswertungen nach Bedürfnisfeldern (Konsumkategorien) erstellt werden. Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse sind exemplarisch und zeigen eine Auswahl möglicher Auswertungen.

Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf den aktualisierten EU-RME-Koeffizienten der Eurostat Modellrechnung des Sommers 2021. Da die Veröffentlichung der IOT für 2019 von Destatis nach den Berechnungen für dieses Forschungsvorhaben erfolgte, wurde die IOT 2019 mit Hilfe von Eckwerten aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung und der IOT von 2018 geschätzt. Damit liegt nun eine Zeitreihe von 2008 bis 2019 vor. Tabelle 5 bietet eine Übersicht über die Ergebnisse zu den Hauptindikatoren des RME-Modells nach den vier Materialgruppen Biomasse, Metallerze, nicht-metallische Mineralien und fossile Energieträger.

Tabelle 5: Ergebnisse des RME-Modells für Deutschland

Materialien	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Inländische Entnahme												
Insgesamt	1.041	995	971	1.046	1.019	1.005	1.021	941	948	1.015	954	908
Biomasse	213	215	198	212	214	205	234	210	209	214	190	205
Metallerze	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Nicht-metallische Mineralien	615	577	573	628	592	593	588	533	550	614	584	561
Fossile Energieträger	212	203	200	206	212	206	199	197	188	187	180	142

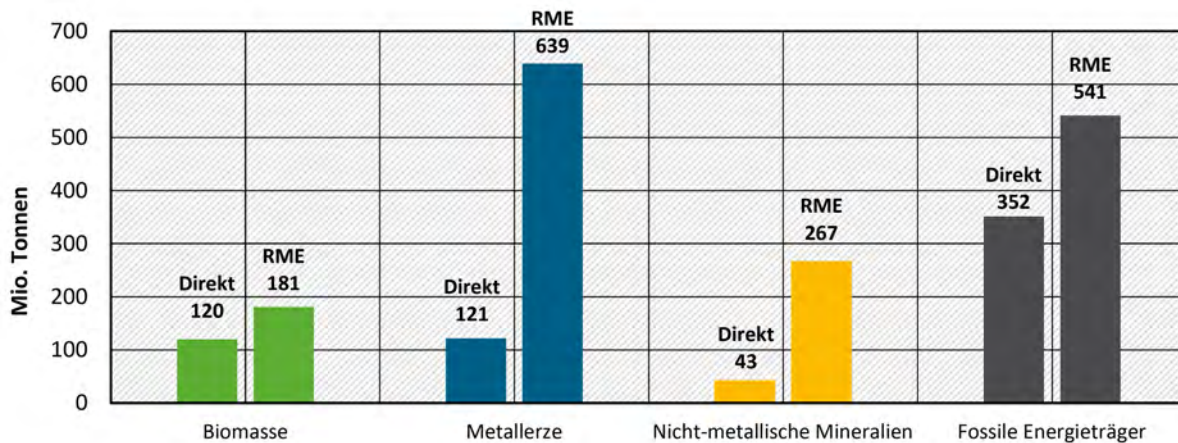
Materialien	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Exporte in RME												
Insgesamt	1.301	1.064	1.122	1.165	1.095	1.152	1.192	1.194	1.206	1.307	1.274	1.209
Biomasse	121	121	125	128	128	133	139	141	142	140	140	146
Metallerze	511	373	427	437	385	422	455	437	455	486	496	472
Nicht-metallische Mineralien	254	223	216	236	215	217	212	216	212	262	242	238
Fossile Energieträger	415	347	354	363	367	381	385	400	397	420	396	353
Importe in RME												
Insgesamt	1.635	1.374	1.457	1.492	1.360	1.456	1.497	1.523	1.537	1.689	1.681	1.628
Biomasse	163	155	161	165	159	172	172	173	178	182	183	181
Metallerze	660	480	574	581	502	547	589	590	591	654	678	639
Nicht-metallische Mineralien	226	225	197	215	187	190	199	206	205	270	258	267
Fossile Energieträger	586	514	525	531	512	547	537	554	562	583	562	541
Rohstoffeinsatz (RMI)												
Insgesamt	2.676	2.369	2.428	2.538	2.379	2.461	2.518	2.463	2.485	2.704	2.635	2.536
Biomasse	376	370	359	376	373	377	406	383	387	396	373	386
Metallerze	661	480	574	582	503	548	590	590	592	654	678	640
Nicht-metallische Mineralien	841	801	770	843	779	783	787	739	755	884	842	828
Fossile Energieträger	798	717	725	737	724	753	736	751	751	770	742	683
Rohstoffkonsum (RMC)												
Insgesamt	1.375	1.304	1.307	1.374	1.284	1.309	1.327	1.269	1.278	1.397	1.361	1.328
Biomasse	255	249	235	248	245	245	267	242	245	256	233	240
Metallerze	150	107	147	145	118	126	135	153	137	169	182	168
Nicht-metallische Mineralien	587	578	554	607	564	566	575	523	542	622	600	590
Fossile Energieträger	383	370	371	374	357	373	351	351	354	350	346	330

Quelle: eigene Ergebnisse ifeu/SSG

Handel

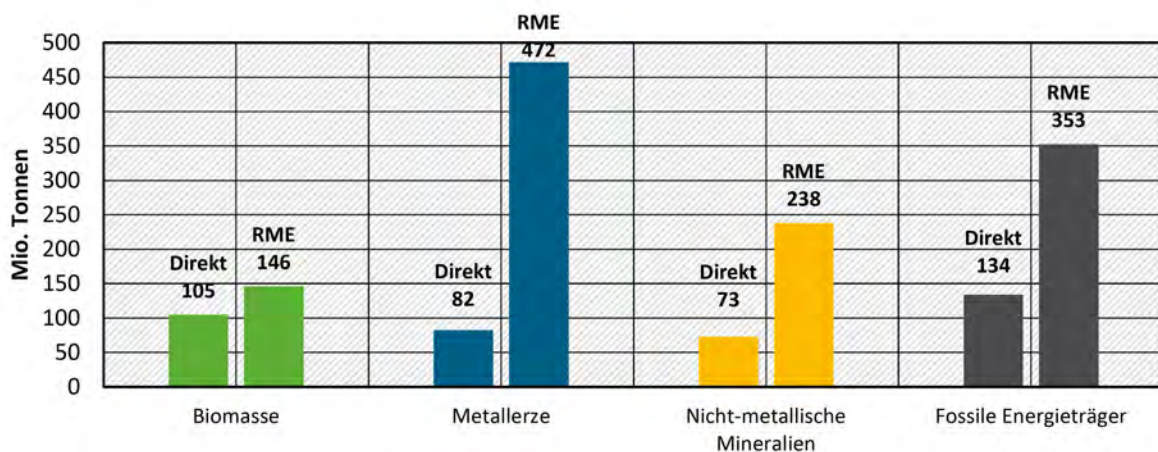
In Abbildung 15 und Abbildung 16 werden die Importe und Exporte in RME den Importen und Exporten aus der Materialflussstatistik gegenübergestellt. Wichtig ist an dieser Stelle anzumerken, dass die Ergebnisse nicht direkt vergleichbar sind, da in der Materialflussstatistik Importe und Exporte nach ihrem massenmäßig bestimmenden Bestandteil den Materialgruppen zugeordnet werden (Eurostat 2013a). Ein Auto wird beispielsweise der Materialgruppe Metalle zugerechnet.

Abbildung 15: Importe Deutschlands 2019, Gewicht nach EW-MFA versus Rohstoffäquivalente



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG

Abbildung 16: Exporte Deutschlands 2019, Gewicht nach EW-MFA versus Rohstoffäquivalente



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG

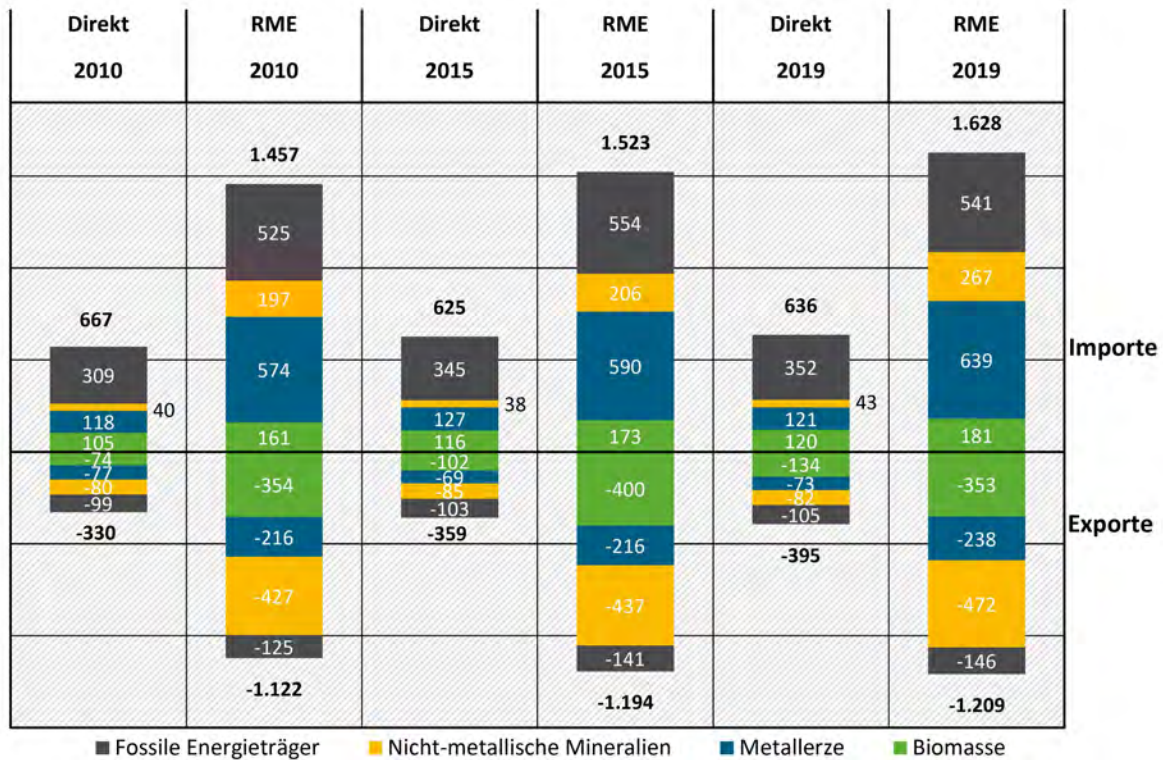
Dennoch lassen sich Tendenzen erkennen: bei den Metallerzen ist der Unterschied zwischen den direkten Exporten und den Exporten in RME am höchsten. Die Werte in RME liegen bei den Importen um das 5,3-fache, bei den Exporten um das 5,7-fache höher als die Werte aus der Materialflussstatistik. Dies liegt vor allem daran, dass für Metalle große Mengen Erz mit niedrigen Metallgehalten extrahiert werden müssen. Zudem ist die Produktion der Metalle mit energieintensiven und damit rohstoffintensiven Prozessen verbunden.

Interessant ist auch die Beobachtung, dass das Verhältnis zwischen den Werten in RME und den direkten Werten für die fossilen Energieträger bei den Exporten mit 2,6 deutlich höher ist als bei

den Importen mit 1,5. Dies ist dadurch zu erklären, dass Deutschland eine große Menge an wenig verarbeiteten Rohöl und Erdgas importiert, während fossile Energieträger vor allem in indirekter Form als Energieeinsatz bei der Produktion von Exportgütern exportiert werden.

Abbildung 17 bietet eine Übersicht über die Entwicklung der Importe und Exporte. Sowohl die Importe in RME als auch die Exporte in RME sind im Zeitraum von 2010 bis 2019 um 11,73 % bzw. um 7,75 % gestiegen. Die Importe und Exporte nach der Materialflussstatistik sind im Verhältnis dazu relativ konstant geblieben.

Abbildung 17: Entwicklung der Rohstoffimporte und -exporte in Deutschland, direkt und in RME



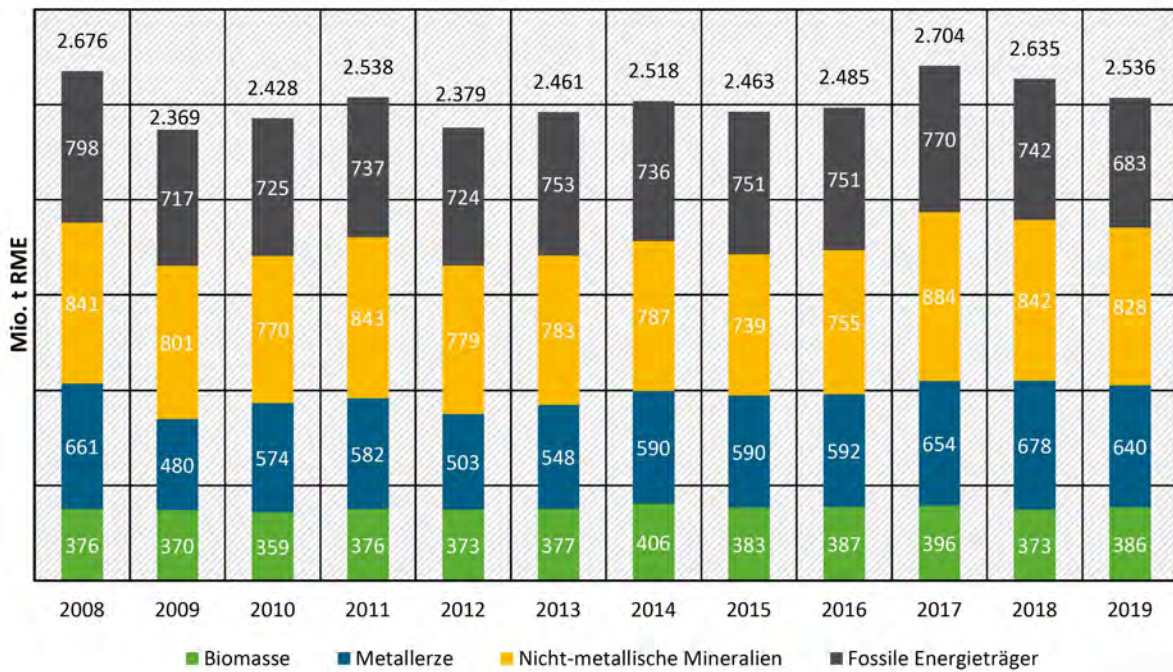
Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG (Daten in RME) und von Eurostat (env_ac_mfa)

Rohstoffeinsatz (RMI) und Rohstoffkonsum (RMC)

In Abbildung 18 und Abbildung 19 werden die Entwicklung des Rohstoffeinsatzes (RMI) und des Rohstoffkonsums (RMC) dargestellt. Die Entwicklung verläuft über die Jahre relativ konstant, in den Jahren 2011 und 2017 ist allerdings sowohl beim RMI als auch beim RMC ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Im Jahr 2011 ist dies überwiegend Aufholeffekten nach der Wirtschaftskrise beim Hoch- und Tiefbau zuzuschreiben, der Anstieg wird deutlich dominiert von den nicht-metallischen Mineralien. 2017 gab es eine deutliche Zunahme, die vor allem durch eine gesteigerte inländische Entnahme von Sand und Kies zu erklären ist.

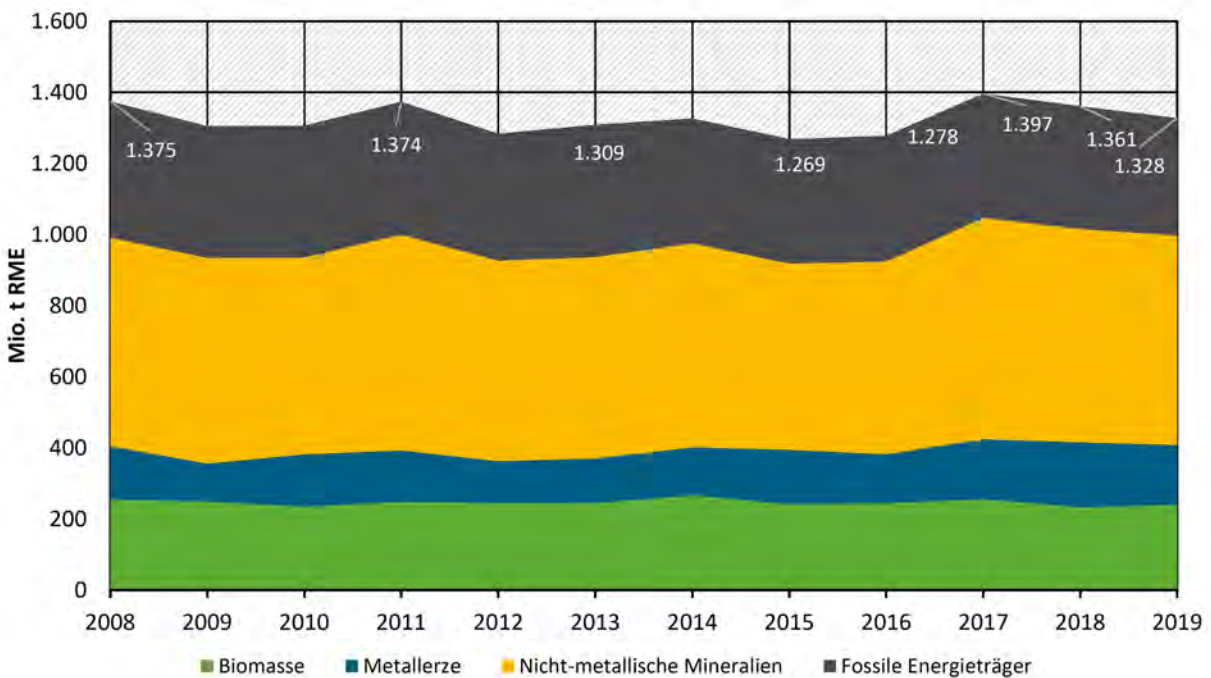
2019 haben die nicht-metallischen Mineralien mit 44,4 % den größten Anteil am RMC, danach folgen die fossilen Energieträger mit 24,9 % und die Biomasse mit 18,1 %. Den geringsten Anteil machen die Metallerze mit 12,6 % aus.

Abbildung 18: Rohstoffeinsatz (RMI) in Deutschland nach Materialgruppen, 2008–2019



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG

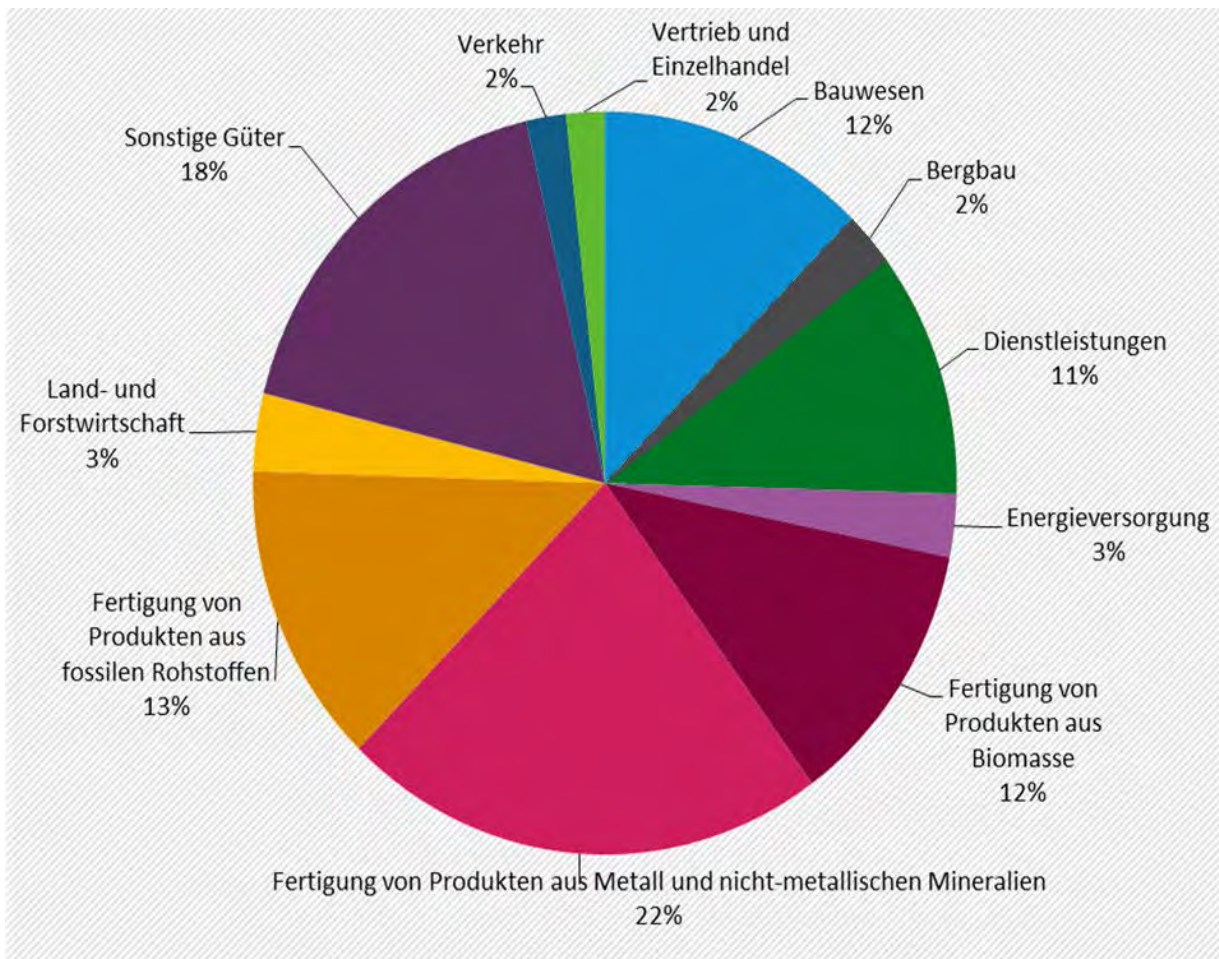
Abbildung 19: Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) in Deutschland nach Rohstoffgruppen



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG

In Abbildung 20 wird der Rohstoffeinsatz (RMI) nach Sektoren differenziert. Die Herstellung von Produkten aus Metallen und Mineralien verbraucht knapp ein Viertel des Rohstoffeinsatzes. Für Produkte aus fossilen Rohstoffen werden weitere 13 % benötigt.

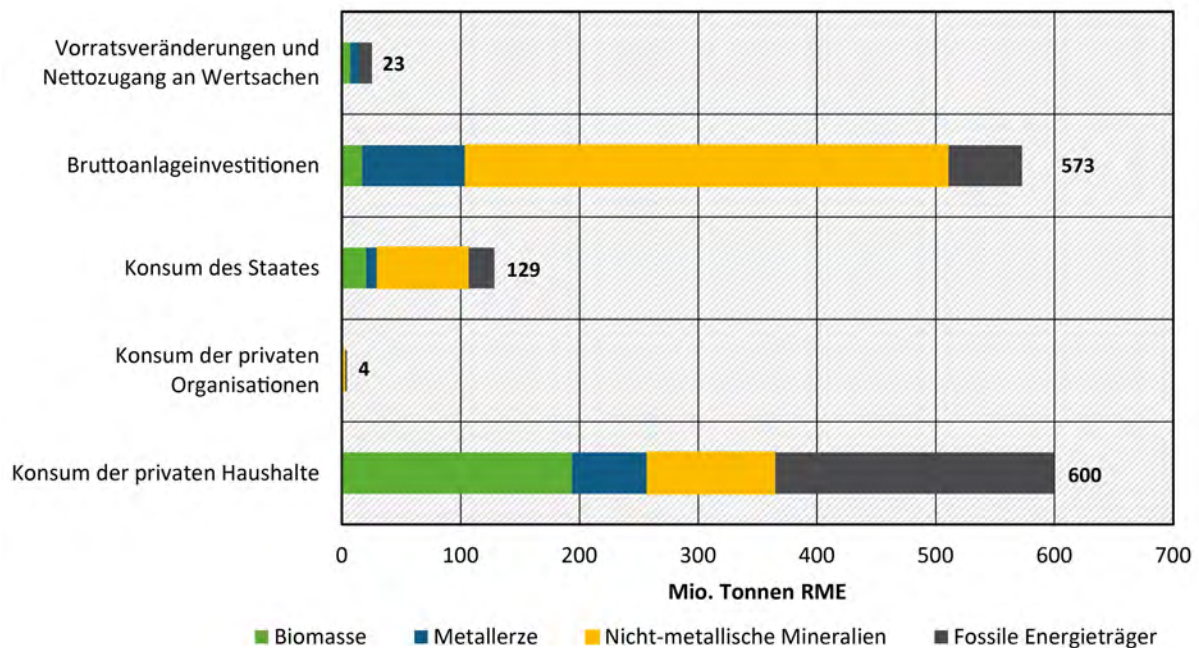
Abbildung 20: Rohstoffeinsatz (RMI) nach Gütergruppen, 2019



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG

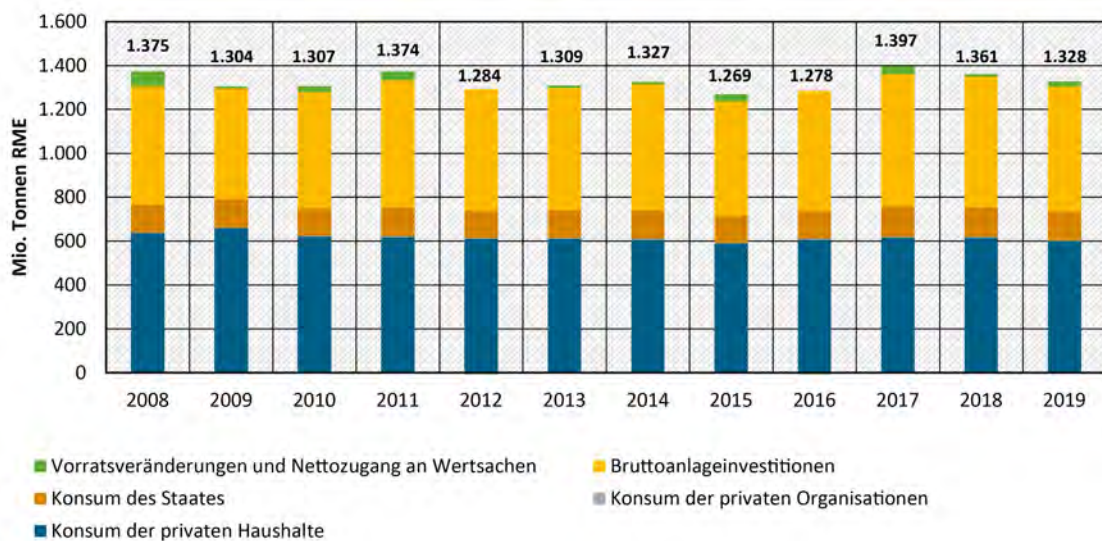
Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen die Zusammensetzung des Rohstoffkonsums (RMC) nach den Kategorien der letzten Verwendung. Im Jahr 2019 sind die privaten Haushalte für 45,1 % und die Bruttoanlageinvestitionen für 43,1 % des RMC verantwortlich. Der Konsum des Staates macht mit 9,7 % einen deutlich kleineren Teil aus. Kaum eine Rolle spielen die Vorratsveränderungen und der Konsum der privaten Organisationen.

Abbildung 21: Rohstoffkonsum (RMC) nach Art der letzten Verwendung, 2019



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG

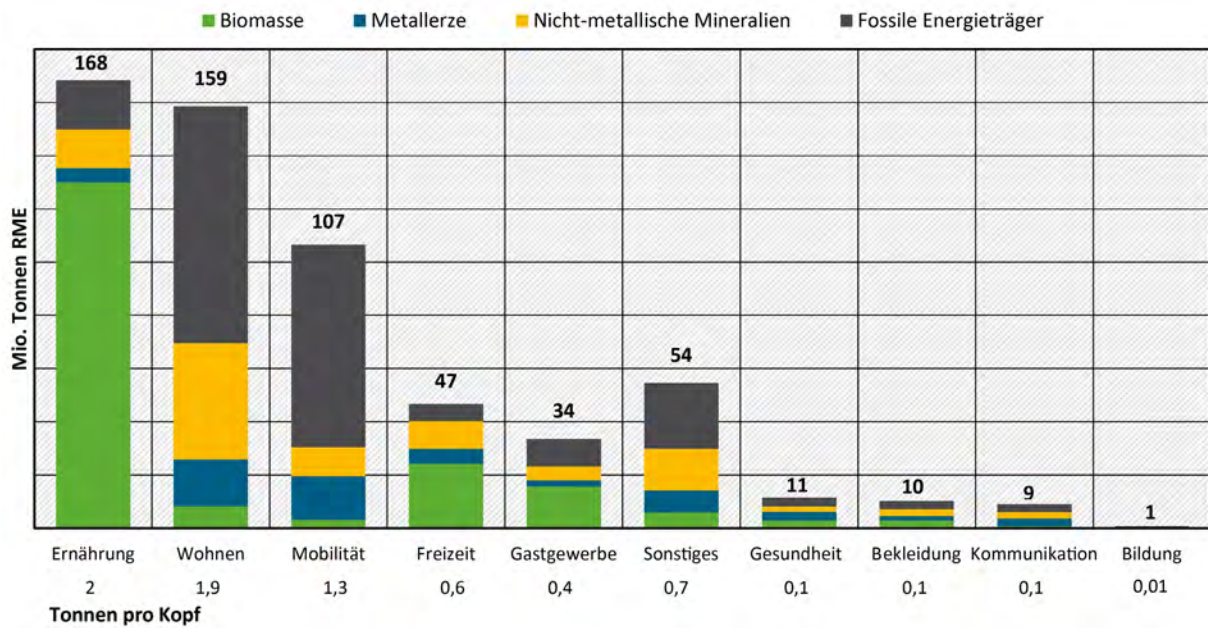
Abbildung 22: Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) nach Art der letzten Verwendung



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG

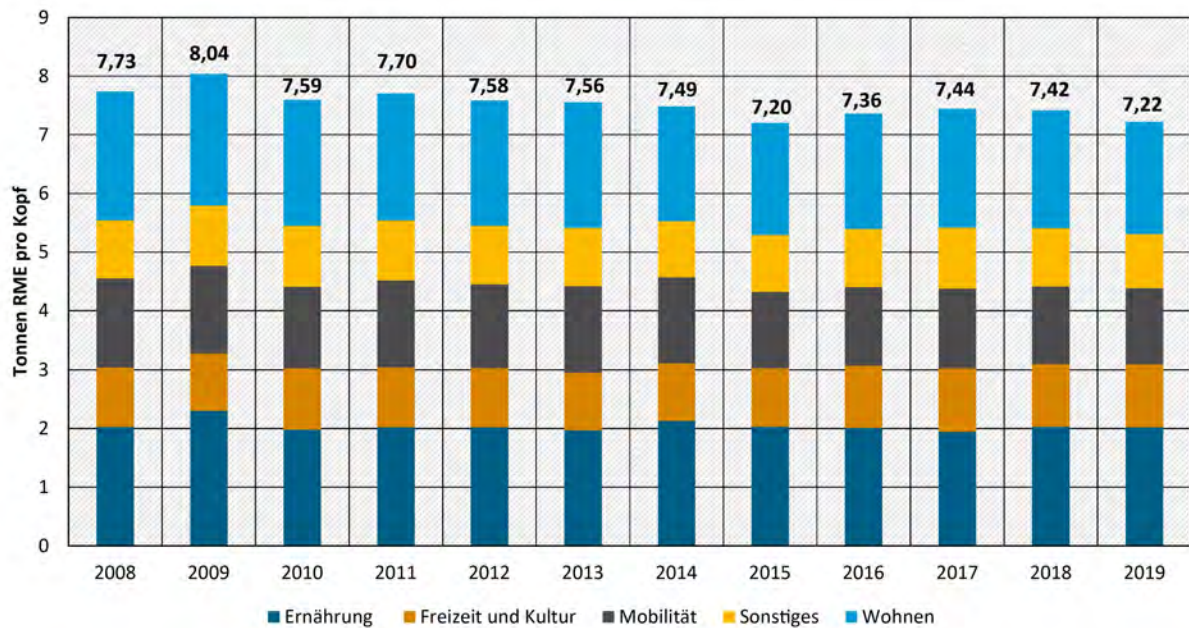
In Abbildung 23 und Abbildung 24 wird der Rohstoffkonsum (RMC) der privaten Haushalte untergliedert nach Bedürfnisfeldern betrachtet. Ernährung und Wohnen sind dabei mit 168,3 Mio. t RME (2 Tonnen pro Kopf) bzw. 158,6 Mio. t RME (1,9 Tonnen pro Kopf) für den Großteil des Rohstoffkonsums verantwortlich. An dritter Stelle folgt die Mobilität mit 111,3 Mio. t RME (1,3 Tonnen pro Kopf). Bei der Ernährung dominiert – nicht überraschend – die Biomasse, beim Wohnen und bei der Mobilität die fossilen Rohstoffe (das Gebäude selbst ist ein Investitionsgut und daher nicht im Bedürfnisfeld Wohnen enthalten). Pro Kopf beläuft sich der Rohstoffkonsum der privaten Haushalte auf insgesamt 7,22 Tonnen im Jahr 2019. 2008 lag der Wert noch bei 7,73 Tonnen, damit ist ein leichter Rückgang von etwa einer halben Tonne festzustellen.

Abbildung 23: Rohstoffkonsum der privaten Haushalte nach Bedürfnisfeldern, 2019



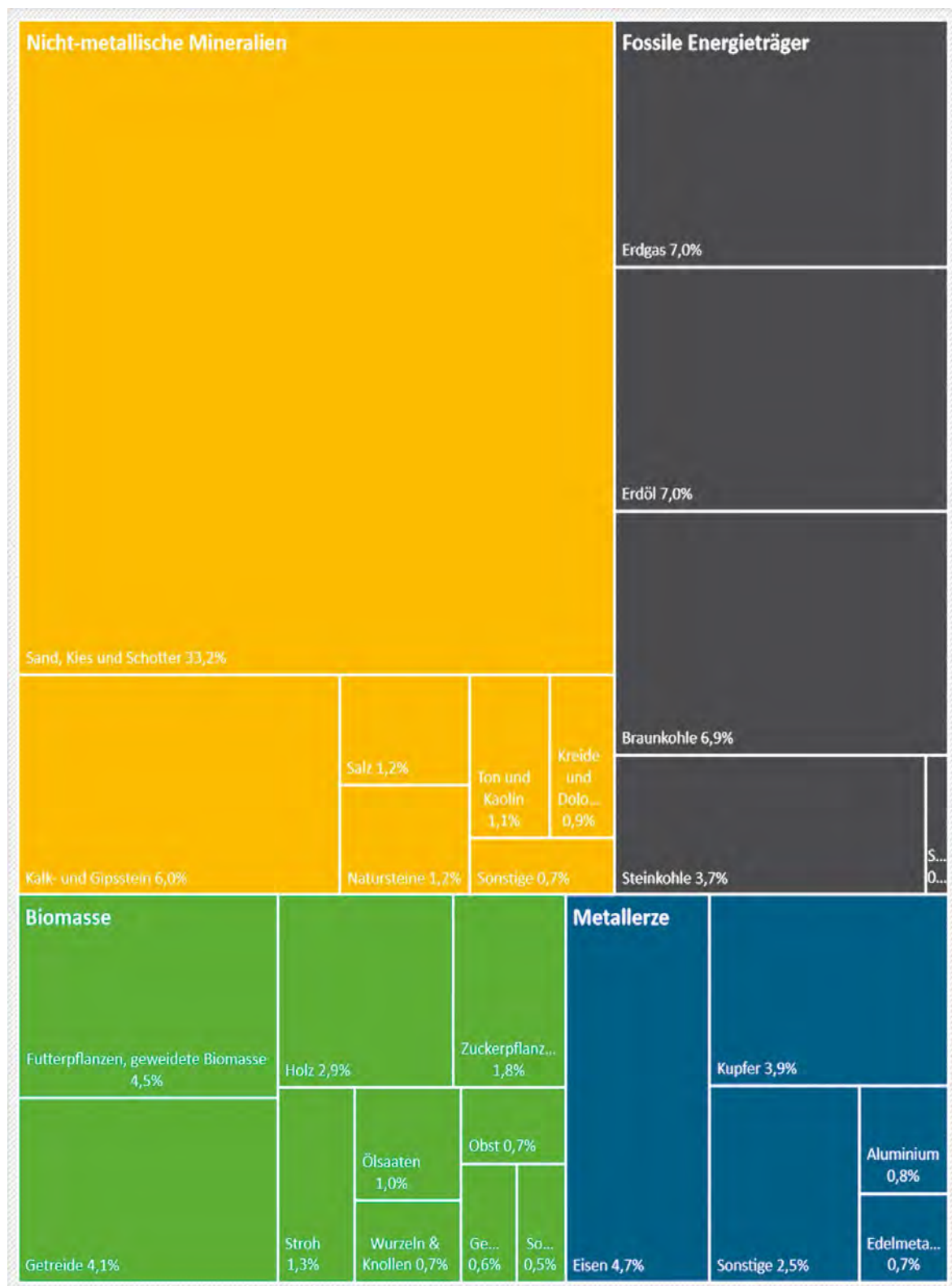
Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG

Abbildung 24: Entwicklung des Rohstoffkonsums der privaten Haushalte



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG

Abbildung 25: Rohstoffkonsum (RMC) nach Rohstoffen, 2019



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG

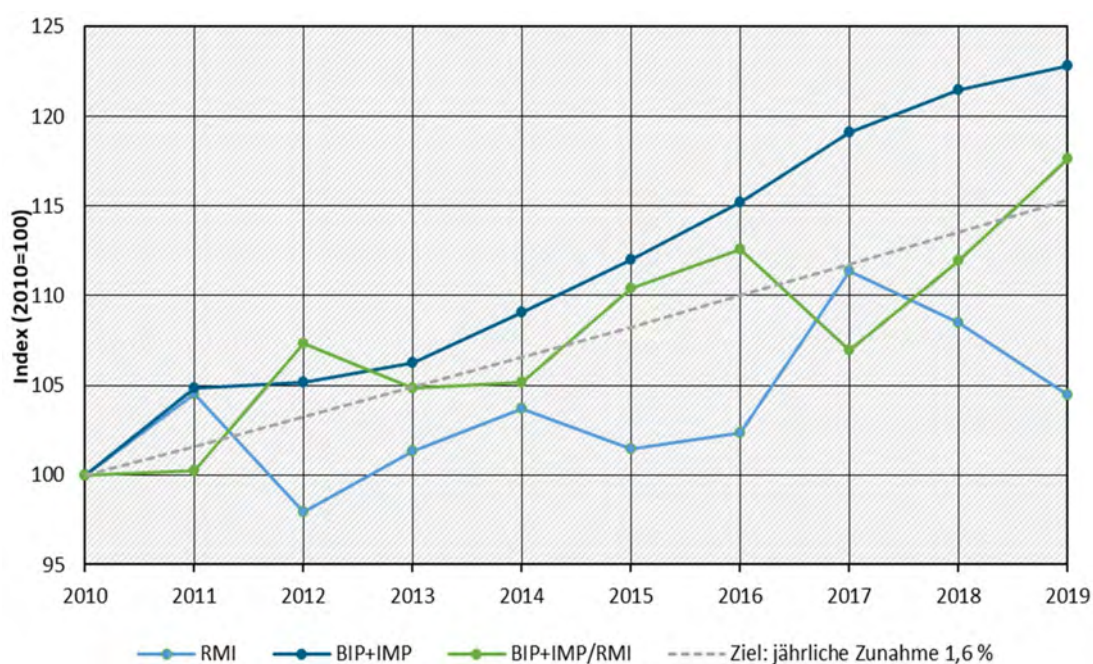
Betrachtet man den Rohstoffkonsum (RMC) unterteilt nach Rohstoffgruppen (Abbildung 25), wird deutlich, dass er mit 44,4 % von nicht-metallischen Mineralien, und darunter insbesondere von Sand und Kies (33,2 % des RMC), dominiert wird. Bei den fossilen Energieträgern

dominieren Braunkohle und Erdöl mit jeweils 7 %, bei der Biomasse die Futterpflanzen mit 4,5 % und bei den Metallerzen Eisen und Kupfer mit 4,7 % und 3,9 %.

Gesamtrohstoffproduktivität

Die Gesamtrohstoffproduktivität ist ein offizieller Indikator der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2021a) und Teil des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess I-III) (BMU 2020). Der Indikator ist das Verhältnis der Summe aus Bruttoinlandsprodukt und Importen (monetär) zum Rohstoffeinsatz (RMI in Tonnen RME). Politisches Ziel ist eine durchschnittliche jährliche Steigerung um 1,6 % bzw. eine Beibehaltung des Trends der 2000-2010 bis in das Jahr 2030¹⁶. Das Ziel wurde bis 2019 im Durchschnitt erreicht, im Jahr 2017 gab es allerdings einen deutlichen Rückgang aufgrund des Anstiegs des RMI (siehe Abbildung 26).

Abbildung 26: Entwicklung der Gesamtrohstoffproduktivität (2010-2019)



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse ifeu/SSG, BIP und Importe nach Destatis (2021b): VGR des Bundes (preisbereinigt, verkettete Volumenangaben), Ziel entsprechend der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie 2021 (Bundesregierung 2021a) und des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess) II (BMU 2016).

Weitere Detailauswertungen

Für den Ressourcenbericht wurden weitere Datenauswertungen zu den Themen Informations- und Kommunikationstechnologie, Ernährung und Wohnen bereitgestellt.

Der Rohstoffkonsum im Bereich **Digitalisierung** umfasst die Sektoren:

- ▶ Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse;
- ▶ Elektrische Ausrüstungen;
- ▶ Postdienstleistungen und private Kurier- und Expressdienstleistungen

¹⁶ Ziel entsprechend der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie 2021 (Bundesregierung 2021a) und des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess) II (BMU 2016). In der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie 2016 (Bundesregierung 2016b) und in ProgRess III (BMU 2020) wird als Zielwert rund 1,5 % genannt.

- ▶ Dienstleistungen des Verlagswesens
- ▶ Dienstleistungen der Herstellung, des Verleihs und Vertriebs von Filmen und Fernsehprogrammen, von Kinos und Tonstudios; Verlagsleistungen bezüglich Musik; Rundfunkveranstaltungsleistungen;
- ▶ Telekommunikationsdienstleistungen;
- ▶ Dienstleistungen der EDV-Programmierung und -Beratung und damit verbundene Dienstleistungen; Informationsdienstleistungen, sowie
- ▶ Reparaturarbeiten an Datenverarbeitungsgeräten und Gebrauchsgütern.

Tabelle 6 enthält die Ergebnisse für den Rohstoffkonsum (RMC) für die genannten Güter der Informations- und Kommunikationstechnologie nach Güter- und Rohstoffgruppen im Jahr 2019. Metallerze stellen mit 41 % den größten Anteil, gefolgt von fossilen Energieträgern mit 29 %.

Tabelle 6: Rohstoffkonsum (RMC) der privaten Haushalte in Bezug auf Güter und Dienstleistungen im Bereich Informations- und Kommunikationstechnologien nach Rohstoffgruppen, 2019

	Biomasse	Metallerze	Nicht-metallische Mineralien	Fossile Energieträger	Summe
Primärrohstoffgehalt in Mio. Tonnen RME	2,92	15,39	8,29	10,78	37,38
Anteil in %	7,8	41,2	22,2	28,8	100

Quelle: eigene Ergebnisse ifeu/SSG

In Tabelle 7 werden die Primärrohstoffgehalte (RMC) nach Sektoren aufgegliedert. Es zeigt sich, dass die Güter (Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse sowie elektrische Ausrüstungen) den dominanten Anteil von rund 78 % am RMC ausmachen, während die mit IKT-Gütern verbundene Dienstleistungen zusammen rund 22 % des Primärrohstoffkonsums stellen.

Tabelle 7: Primärrohstoffgehalt (RMC) der privaten Haushalte in Bezug auf Güter und Dienstleistungen im Bereich Informations- und Kommunikationstechnologien nach Sektoren, 2019

Sektor	Primärrohstoffgehalt in Mio. Tonnen RME	Anteil in %
Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse	14,72	39,4
Elektrische Ausrüstungen	14,48	38,7
Postdienstleistungen und private Kurier- und Expressdienstleistungen	0,31	0,8
Dienstleistungen des Verlagswesens	1,83	4,9
Dienstleistungen der Herstellung, des Verleihs und Vertriebs von Filmen und Fernsehprogrammen, von Kinos und Tonstudios; Verlagsleistungen bezüglich Musik; Rundfunkveranstaltungsleistungen	1,84	4,9
Telekommunikationsdienstleistungen	2,99	8,0
Dienstleistungen der EDV-Programmierung und -Beratung und damit verbundene Dienstleistungen; Informationsdienstleistungen	0,92	2,5
Reparaturarbeiten an Datenverarbeitungsgeräten und Gebrauchsgütern	0,28	0,7

Quelle: eigene Ergebnisse ifeu/SSG

Zum Bedarfsfeld **Ernährung** zählen die Nahrungsmittel, Getränke sowie Tabakwaren und Drogen. Die folgende Tabelle zeigt die Primärrohstoffgehalte des Konsums der privaten Haushalte zwischen 2008 und 2019. Über die Jahre hinweg zeigt sich, dass der Rohstoffkonsum im Bedarfsfeld Ernährung insgesamt recht konstant ist. Der inländische Anteil liegt im Jahr 2019 bei 45 %, während 55 % der Rohstoffe direkt oder indirekt aus dem Ausland bezogen werden.

Tabelle 8: Rohstoffkonsum der privaten Haushalte im Bedarfsfeld Ernährung und Anteil der Importe, 2008 – 2019

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RMC in Mio. Tonnen RME	166	189	162	162	163	159	173	166	166	161	169	168
Anteil der Importe in %	45,8	44,5	46,6	43,7	43,3	46,6	42,9	42,7	42,9	44,0	44,7	45,4

Quelle: eigene Ergebnisse ifeu/SSG

Über die Jahre hinweg ändert sich jedoch die Zusammensetzung der Primärrohstoffe. So steigt der Konsum in RME von pflanzlichen Lebensmitteln (Getreide, Knollen, Hülsenfrüchte und zuckerhaltige Pflanzen, Nüsse, Ölhaltige Früchte, Obst und Gemüse) zwischen 2010 und 2019

um rund 15 %, während der Konsum tierischer Produkte rückläufig ist (-2 %). Folgende Tabelle zeigt eine Aufschlüsselung nach Sub-Rohstoffgruppen im Jahr 2019.

Tabelle 9: Rohstoffkonsum der privaten Haushalte im Bedarfsfeld Ernährung nach Sub-Rohstoffgruppen, 2019

Rohstoffgruppe	Sub-Rohstoffgruppe	Primärrohstoffkonsum in Mio. Tonnen RME
Biomasse	Getreide	39,1
	Knollen, Hülsenfrüchte und Zuckerpflanzen	16,7
	Nüsse und ölhaltige Früchte	8,2
	Gemüse und Obst	11,5
	Tierische Produkte, einschl. Stroh und Futterpflanzen	50,2
	Sonstige Biomasse	4,3
Nicht-metallische Mineralien	Salze	3,0
	Kalk- und Gipsstein	4,1
	Sonstige nicht-metallische Mineralien	7,6
Fossile Rohstoffe	Kohle	7,5
	Erdöl	4,3
	Erdgas	5,6
	Sonstige fossile Rohstoffe	1,1

Quelle: eigene Ergebnisse ifeu/SSG

Der Konsum der privaten Haushalte im Bedarfsfeld Wohnen beinhaltet nicht den Bau des Wohngebäudes, dieser gehört entlang der Systematik der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen zu den Investitionen. Reparaturen und Sanierungen sind hingegen enthalten. Der Konsum umfasst

- ▶ Regelmäßige Instandhaltung und Mietzahlung;
- ▶ Wasserversorgung und andere Dienstleistungen im Zusammenhang mit der Wohnung;
- ▶ Strom, Gas, andere Brennstoffe und Fernwärme;
- ▶ Möbel, Innenausstattung und Heimtextilien;
- ▶ Haushaltsgeräte und Werkzeuge für Haus und Garten;
- ▶ Glaswaren, Tafelgeschirr und andere Gebrauchsgüter für die Haushaltsführung;
- ▶ Waren und Dienstleistungen für die Haushaltsführung.

Tabelle 10 zeigt den RMC der privaten Haushalte im Bedarfsfeld **Wohnen** zwischen 2008 und 2019. In der betrachteten Periode ist der Rohstoffkonsum rückläufig (-12 %).

Tabelle 10: Materialkonsum (RMC) der privaten Haushalte im Bedarfsfeld Wohnen, 2008 - 2019

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RMC in Mio. Tonnen RME	180	184	176	173	172	173	159	156	162	167	167	159

Quelle: eigene Ergebnisse ifeu/SSG

Nachfolgende Tabelle 11 zeigt die rohstoffliche Zusammensetzung des Konsums in diesem Bedarfsfeld für das Jahr 2019. Die fossilen Rohstoffe dominieren, die sowohl für die Wärmeerzeugung als auch für Strom genutzt werden. Die Massengüter Sand, Kies und Schotter bzw. Produkte daraus stellen eine weitere große Gruppe, gefolgt von Kalk- und Gipsstein. Diese Rohstoffe stecken in Gütern, die beispielsweise bei Badsanierungen oder für die Reparatur von Außenanlagen genutzt werden.

Tabelle 11: Materialkonsum im Bedarfsfeld Wohnen nach Sub-Rohstoffgruppen, 2019

Rohstoffgruppe	Sub-Rohstoffgruppe	Primärrohstoffkonsum in Mio. Tonnen RME
Biomasse	Holz und Holzprodukte	5,8
	Sonstige Biomasse	2,5
Metalle	Eisen	5,9
	Kupfer	5,3
	Aluminium	1,5
	Sonstige Metalle	4,8
Nicht-metallische Mineralien	Sand, Kies und Schotter	21,8
	Kalk- und Gipsstein	12,7
	Sonstige Mineralien	9,3
Fossile Rohstoffe	Kohle	41,9
	Erdöl	10,3
	Erdgas	36,5
	Sonstige fossile Rohstoffe	0,3

Quelle: eigene Ergebnisse ifeu/SSG

Ferner wurde der RMC für das Jahr 2020 fortgeschrieben. Da das Jahr 2020 aufgrund der Pandemie ungewöhnlich war, konnte keine Fortschreibung durchgeführt werden. Anstelle dessen wurden die Eckpunkte der Handelsdaten genutzt, um die RME der gehandelten Güter abzuschätzen. So wurden die Veränderungen der Im- und Exporte nach Gewicht (direkte Im- und Exporte) und differenziert für die vier Rohstoffgruppen zwischen 2019 und 2020 auf die RME-Berechnungen übertragen. Über alle Rohstoffgruppen hinweg sanken die Importe um 8,3 % und die Exporte um 7,7 % in 2020 gegenüber 2019. Die Ergebnisse für das Jahr 2020 zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 12: Geschätzte Rohstoffindikatoren für 2020 in Tausend Tonnen (RME)

	Heimische Entnahme	Importe (RME)	RMI	Exporte (RME)	RMC
Gesamt	855.789	1.493.575	2.349.364	1.115.581	1.233.784
Biomasse	201.171	177.706	378.876	153.155	225.721
Metallerze	588	561.117	561.705	422.737	138.968
Nicht-metallische Mineralien	537.632	243.922	781.555	215.774	565.780
Fossile Energieträger	116.398	510.830	627.228	323.914	303.314

Quelle: eigene Ergebnisse ifeu/SSG

3.4 Vergleich mit den Ergebnissen von Destatis

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse mit den Ergebnissen von Destatis verglichen. Die Datengrundlage für die Destatis-Werte ist die UGR-Veröffentlichung „Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten“ (Destatis 2021a), erschienen am 20. Mai 2021 (aktualisiert am 10. September 2021) und stellte zum Zeitpunkt der Erstellung der Daten die aktuellste Version dar.

Die Vergleiche wurden auf der Ebene Gesamtrohstoffe und Materialgruppen, jeweils für Extraktion, Importe, RMI, Exporte und RMC durchgeführt. Zunächst wurden die Jahre 2010 und 2018 betrachtet, anschließend wurde die Zeitreihe und dabei vor allem der Nachhaltigkeitsindikator Gesamtrohstoffproduktivität betrachtet.

Mangels Zugang zu den Details des Destatis-Modells, können nur allgemeine Erklärungen zu konzeptuellen Unterschieden auf der Ebene der vier Materialkategorien benannt werden, jedoch keine vollständige Erklärung für Unterschiede erfolgen.

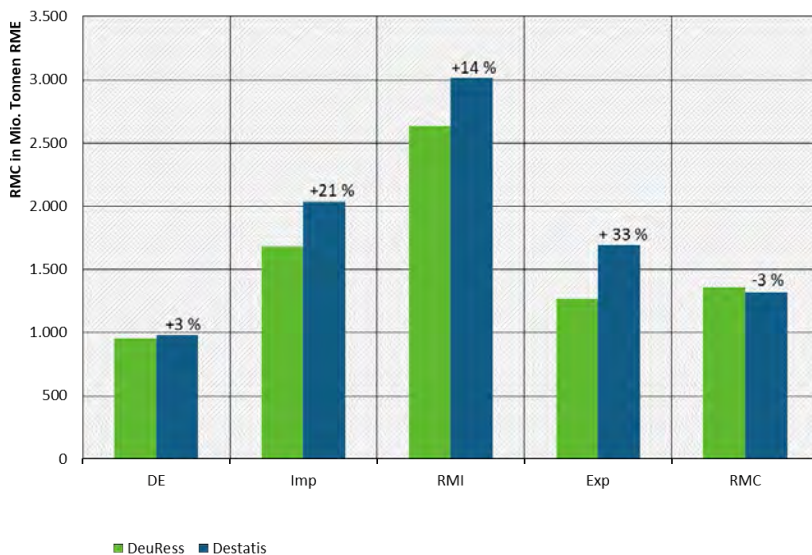
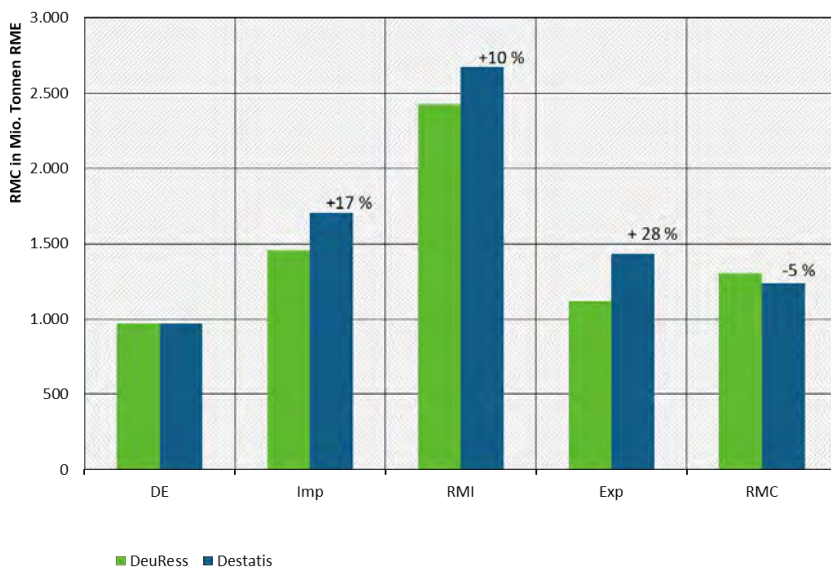
Zwei relevante Unterschiede sollen explizit benannt werden: (1) so werden in Deutschland genutzte Sekundärrohstoffe im Vorgehen von Destatis mit in Deutschland genutzten Primärrohstoffen verrechnet; Im- und Exporte werden in Primärrohstoffäquivalenten ausgewiesen. Das heißt, die Nutzung von Sekundärrohstoffen wird jeweils dem Land, in dem diese gesammelt und verarbeitet werden, zugerechnet (Maier 2018). Im DeuRess-Modell werden, den Standards von Eurostat folgend, ausschließlich Primärrohstoffe ausgewiesen; Sekundärrohstoffe, die in Im- oder Exporten verarbeitet sind, sind nicht in der Ausweisung der Rohstoffindikatoren (RMC, RMI, etc.) enthalten. Die Rohstoffindikatoren weisen ausschließlich die genutzten Primärrohstoffe aus. Eine zusätzliche Ausweisung von Sekundärrohstoffen (und erneuerbare Energien) wurde beispielsweise im Projekt RESCUE vorgenommen. Dabei wurden genutzte Sekundärrohstoffe in RME umgerechnet, die durch die Nutzung der Sekundärrohstoffe „eingespart“ wurden, so dass der Substitutionseffekt konsistent ausgewiesen werden konnte. (2) Das Modell von Destatis unterstellt die deutsche Produktionstechnologie für die Importe, und nutzt ergänzend Informationen für Rohstoffe und Halbzeuge, die nicht in Deutschland produziert werden (insb. bei den Metallen). Die Berechnungen zeigen somit die Rohstoffmengen, die genutzt werden müssten, wenn im Ausland wie in Deutschland produziert werden würde (Maier, 2018). Das DeuRess-Modell legt bei der Berechnung der RME der Importe sehr weitgehend die Produktionstechnologie der Herkunftsregion zugrunde. Die Ermittlung des RME-Gehalts der deutschen Importe aus EU-Ländern beruht auf der originären durchschnitt-

lichen Produktionstechnologie der EU und nicht auf der deutschen Produktionstechnologie. Bei der Schätzung des RME-Gehalts der Importe aus nicht EU-Ländern wird zwar grundsätzlich die EU Produktionstechnologie zugrunde gelegt. Diese ist allerdings wesentlich breiter ausgerichtet und dürfte somit die Produktionsverhältnisse in der übrigen Welt besser repräsentieren als die eher speziellere deutsche Produktionstechnologie. Für besonders rohstoffrelevante Importgüter werden zusätzlich regionalisierte Informationen genutzt, um die Produktionstechnologie der Herkunftsländer genauer zu approximieren bezüglich Energiemix bei der Stromerzeugung, RC-Rate bei Metallen und Energieintensität der Stahlproduktion. Hierbei wird eine – im Vergleich zum Modell von Destatis – höhere sektorale Differenzierung genutzt. Die Ergebnisse bilden somit ab, welche Rohstoffmengen in Europa bzw. im Rest der Welt im Durchschnitt bei der Produktion der Importgüter aufgewendet wurden.

3.4.1 Rohstoffindikatoren 2010 und 2018: gesamt

Die Höhe der Extraktionen ist in beiden Modellen nicht exakt gleich. Im RME-Modell wurden die Extraktionsdaten, die Eurostat veröffentlicht, genutzt. Sie gehen auf Datenlieferungen von Destatis zurück. Insbesondere bei den mineralischen Rohstoffen gibt es Abweichungen (s. Kap. 3.4.4). Sowohl in 2010 als auch in 2018 liegen die Importe und die Exporte in RME im Destatis-Modell deutlich höher als in der eigenen Rechnung mit dem RME-Modell. In Folge ist auch der RMI im Destatis-Modell höher. Die Unterschiede beim RMC sind mit 5 bzw. 3 % gering (Abbildung 27).

Abbildung 27: Rohstoffindikatoren 2010 (oben) und 2018 (unten) im Vergleich



DE = Inländische Rohstoffentnahme (engl.: „Domestic Extraction“), Imp = Importe, RMI = Primärrohstoffeinsatz (engl.: „Raw Material Input“), Exp = Exporte, RMC = Rohstoffkonsum (engl.: „Raw Material Consumption“);

Quelle: eigene Darstellung auf der Basis eigener Ergebnisse und Destatis 2021a

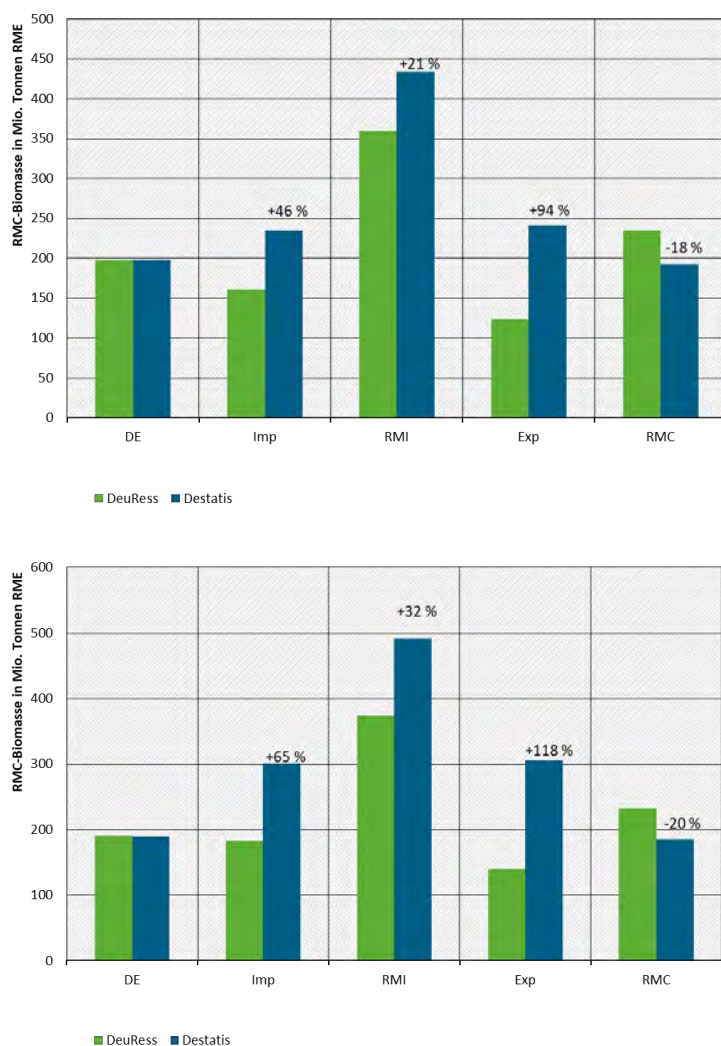
3.4.2 Rohstoffindikatoren 2010 und 2018: Biomasse

Die Unterschiede der Extraktionswerte zwischen beiden Modellrechnungen sind vernachlässigbar. Im Destatis-Modell liegen die Werte für die Importe und vor allem für die Exporte von Biomasse in RME deutlich höher als im RME-Modell; in keiner anderen Rohstoffkategorie sind die Unterschiede der Im- und Exporte in RME größer. In Folge ist auch der RMI im Destatis-Modell höher. Die Unterschiede beim RMC sind mit 18 % in 2010 und 20 % in 2018 hoch.

Es besteht ein großer Unterschied im Bereich Forstwirtschaftliche Produkte: Der RMC_{Forst} im Destatis-Modell liegt bei 9 Mio. Tonnen und im RME-Modell bei 45 Mio. Tonnen in 2018. Bezogen auf die Im- bzw. Exporte ist der Unterschied nochmals höher: Importe [Exporte] Forst bei Destatis liegen bei 163 [185] Mio. t, im RME-Modell bei 47 [33] Mio. t. Ein Teil der Erklärung

liegt in der unterschiedlichen Behandlung von biotischen Sekundärrohstoffen: im RME-Modell wird Altpapier nicht gesondert behandelt. Bei Destatis werden Im- und Exporte berechnet, als gäbe es keine Altpapieranteile; das in Deutschland genutzte Altpapier wird als Vorratsveränderung im inländischen Konsum verbucht und reduziert diesen (-22 Mio. Tonnen in 2018) (Maier 2018). Destatis verfolgt – nicht nur bei der Behandlung von Altpapier, sondern auch bei der Behandlung weiterer Sekundärrohstoffe wie Metallschrotte – ein eigenes Konzept. Gemäß dem international üblichen Konzept von Eurostat umfassen die RME der Im- und Exporte nur den Gehalt von Primärrohstoffen. Bei Destatis werden auch Sekundärrohstoffe – umgerechnet in Primärrohstoffäquivalente – einbezogen. Dies hat zur Folge, dass die Im- und Exporte höher sind als im Standardkonzept.

Abbildung 28: Rohstoffindikatoren Biomasse 2010 (oben) und 2018 (unten) im Vergleich



DE = Inländische Rohstoffentnahme (engl.: „Domestic Extraction“), Imp = Importe, RMI = Primärrohstoffeinsatz (engl.: „Raw Material Input“), Exp = Exporte, RMC = Rohstoffkonsum (engl.: „Raw Material Consumption“);
 Quelle: eigene Darstellung auf der Basis eigener Ergebnisse und Destatis 2021a

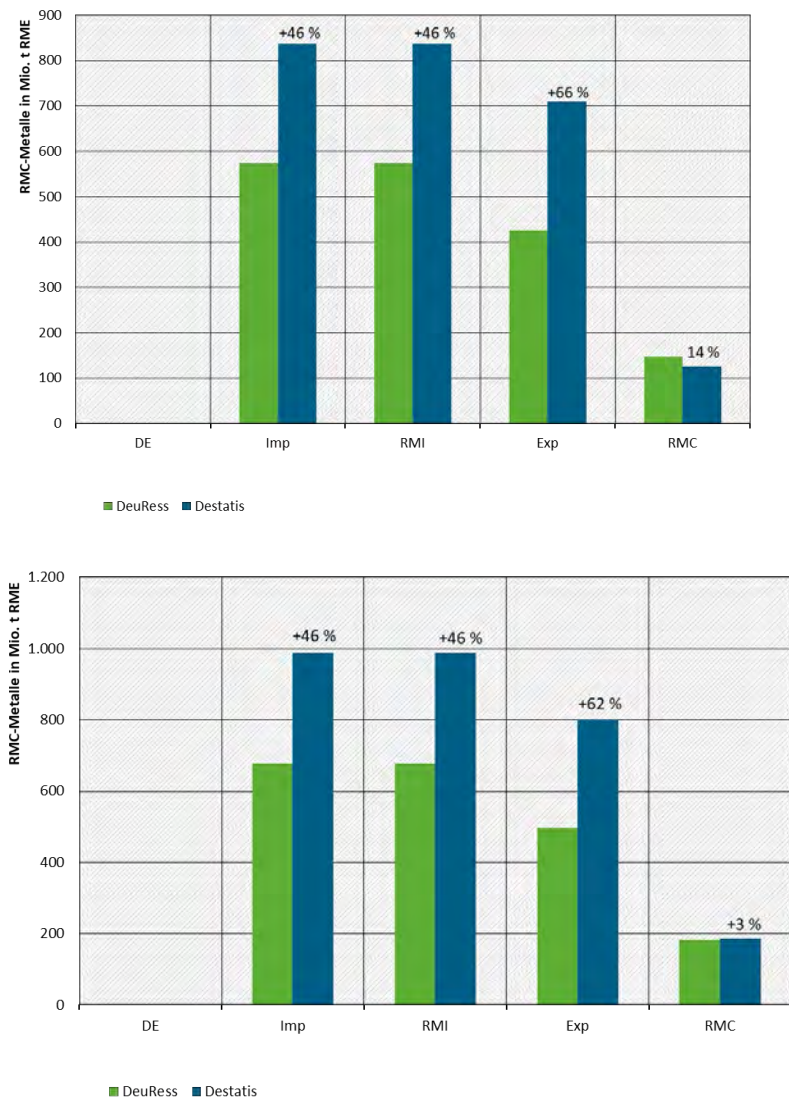
3.4.3 Rohstoffindikatoren 2010 und 2018: Metalle

Es werden nahezu keine Metalle in Deutschland gewonnen. Die Unterschiede der Extraktion von Metallen im Destatis- und im RME-Modell gehen auf Rundungsdifferenzen zurück und sind

vernachlässigbar. Die Metallgehalte der Importe und Exporte im RME sind im Destatis-Modell durchwegs höher als im RME-Modell. Wie bei der Biomasse ist die Differenz bei den Exporten größer als bei den Importen. Im Ergebnis ist im Destatis-Modell der RMI deutlich höher, und die Unterschiede beim RMC sind geringer (Abbildung 29).

Eine Erklärung liegt wie bei der Biomasse im Konzeptunterschied bei der Berücksichtigung der Sekundärmaterialien. Im RME-Modell werden wie im Eurostat-Standardkonzept importierte Schrotte und Recyclinganteile im Ausland auch in den Importen berücksichtigt und vom Gesamtmetallimport abgezogen, so dass nur tatsächlich importierte Primärmetallgehalte verrechnet werden. Ebenso werden die Recyclinganstrengungen in Deutschland in den Exporten anteilmäßig berücksichtigt. Dies ist nicht der Fall bei der Berechnung im Destatis-Modell, in dem werden in Deutschland gesammelte Schrotte bei den Vorratsveränderungen verbucht und dem Konsum in Deutschland zugerechnet werden. Die Importe (einschl. Schrotte) nach Deutschland wurden nach dem Destatis-Konzept in Primärmetalle umgerechnet (Maier 2018).

Abbildung 29: Rohstoffindikatoren Metalle 2010 (oben) und 2018 (unten) im Vergleich



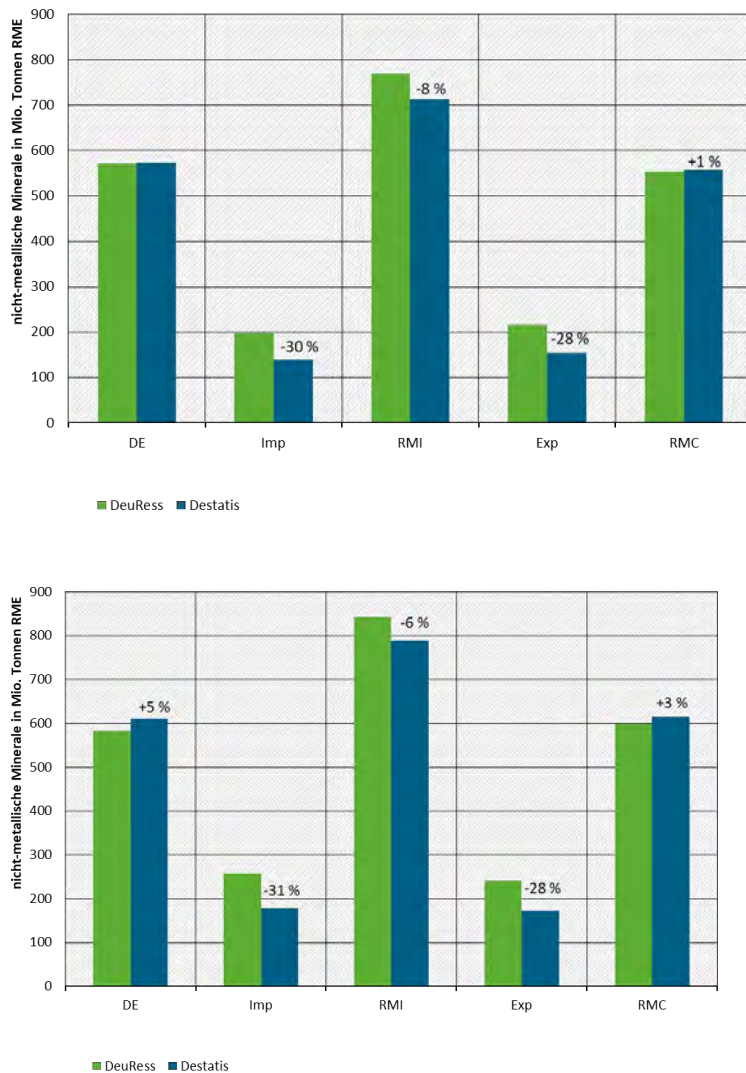
DE = Inländische Rohstoffentnahme (engl.: „Domestic Extraction“), Imp = Importe, RMI = Primärrohstoffeinsatz (engl.: „Raw Material Input“), Exp = Exporte, RMC = Rohstoffkonsum (engl.: „Raw Material Consumption“);

Quelle: eigene Darstellung auf der Basis eigener Ergebnisse und Destatis 2021a

3.4.4 Rohstoffindikatoren 2010 und 2018: nicht-metallische Mineralien

Die Nicht-metallischen Mineralien zeigen im Vergleich ein anderes Muster als die anderen Rohstoffgruppen: zunächst gibt es in den jüngeren Jahren Unterschiede bei der Höhe der Extraktionen. Weiterhin sind Im- und Exporte in RME im Destatis-Modell kleiner als im RME-Modell. In Folge ist der RMI im Destatis-Modell niedriger als im RME-Modell, der RMC dieser Rohstoffgruppe unterscheidet sich nur geringfügig.

Abbildung 30: Rohstoffindikatoren nicht-metallischer Mineralien 2010 (oben) und 2018 (unten) im Vergleich



DE = Inländische Rohstoffentnahme (engl.: „Domestic Extraction“), Imp = Importe, RMI = Primärrohstoffeinsatz (engl.: „Raw Material Input“), Exp = Exporte, RMC = Rohstoffkonsum (engl.: „Raw Material Consumption“);

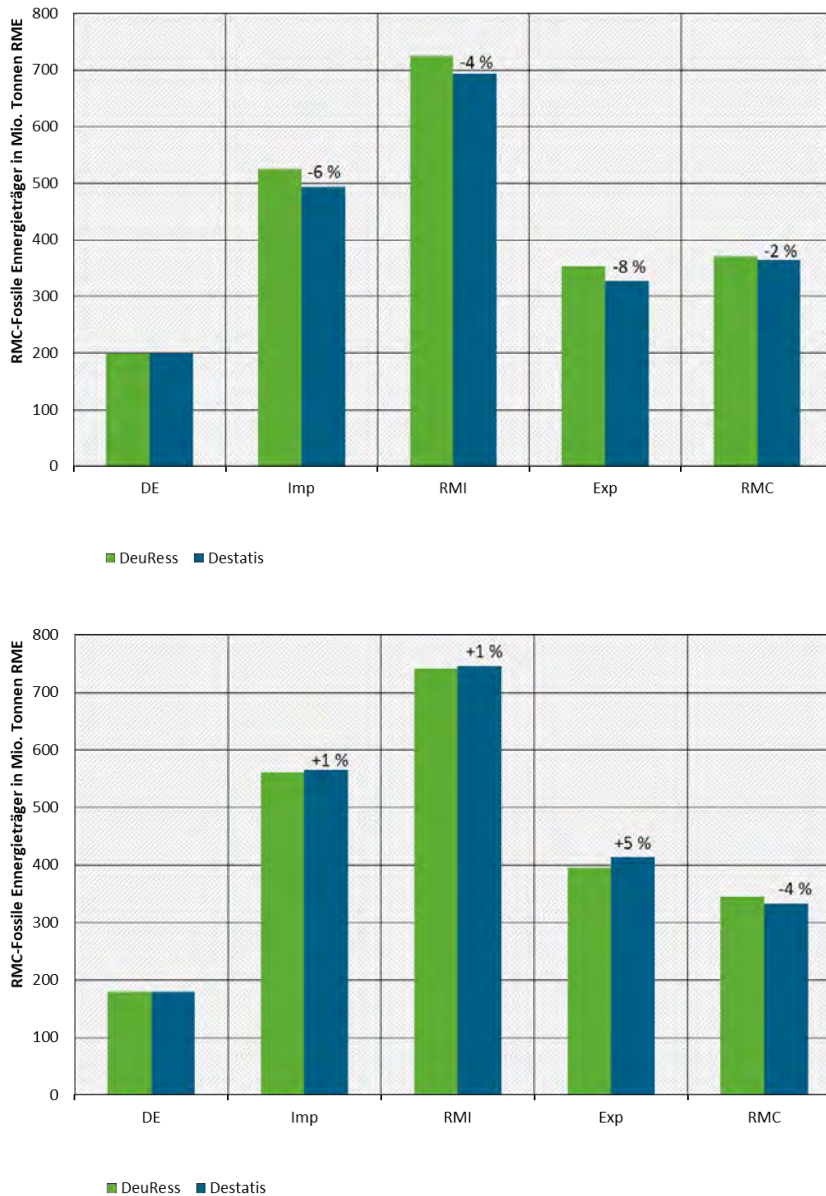
Quelle: eigene Darstellung auf der Basis eigener Ergebnisse und Destatis 2021a

3.4.5 Rohstoffindikatoren 2010 und 2018: fossile Energieträger

Die Unterschiede zwischen dem Destatis-Modell und dem RME-Modell sind bezogen auf die Rohstoffgruppe der fossilen Energieträger eher gering. Die Ausgangsdaten und die regionalen und sektoralen Differenzierungen sind identisch. Die Ergebnisunterschiede schwanken auch in

anderen Jahren zwischen 0 % und (eher in Ausnahmefällen) bis zu 10 %. Möglicherweise liegen die Unterschiede in den Konzeptunterschieden bei der Behandlung der Sekundärrohstoffe begründet, die andere Energieinputs bei der Verarbeitung aufweisen als Primärrohstoffe. Dies wäre weiter zu untersuchen.

Abbildung 31: Rohstoffindikatoren fossiler Energieträger 2010 (oben) und 2018 (unten) im Vergleich



DE = Inländische Rohstoffentnahme (engl.: „Domestic Extraction“), Imp = Importe, RMI = Primärrohstoffeinsatz (engl.: „Raw Material Input“), Exp = Exporte, RMC = Rohstoffkonsum (engl.: „Raw Material Consumption“);

Quelle: eigene Darstellung auf der Basis eigener Ergebnisse und Destatis 2021a

3.4.6 Zeitreihe und Gesamtrohstoffproduktivität

Insgesamt liegt der RMI, wie er von Destatis aktuell veröffentlicht ist, höher als der RMI aus dem RME-Modell, je nach Jahr zwischen 9,1 % und 19,5 %. Die Unterschiede bezogen auf den RMC sind hingegen geringer und liegen zwischen 0,4 und 5,6 %. Schwankungen und Trends sind bei

beiden Indikatoren grundsätzlich ähnlich, allerdings unterschiedlich stark ausgeprägt (Abbildung 32).

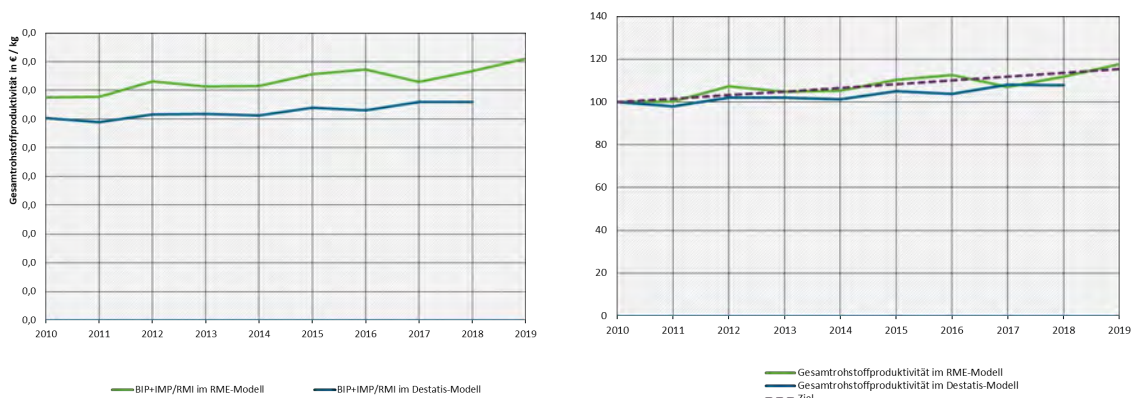
Abbildung 32: RMI und RMC im Vergleich im Zeitverlauf



Quelle: eigene Darstellung basierend auf eigenen Ergebnissen und Destatis 2021

Aufgrund des höheren RMI liegt die Gesamtrohstoffproduktivität im Destatis-Modell in allen Jahren unterhalb der Gesamtrohstoffproduktivität, die auf der Grundlage der Ergebnisse im RME-Modell berechnet wird. Der Unterschied liegt zwischen 9,3 % in 2010 und 16,3 % in 2016. Die Trends sind, wenn auch mit leichten Schwankungen in einzelnen Jahren, insgesamt sehr ähnlich, die kleineren Unterschiede werden in der indexierten Darstellung deutlich. Der RMI steigt zwischen 2010 und 2018 im Destatis-Modell um 12,6 %, im RME-Modell steigt der RMI zwischen 2010 und 2019 hingegen nur um 4,5 %. Dadurch liegt der Anstieg der Rohstoffproduktivität im Destatis-Modell unterhalb des angestrebten Ziels einer jährlichen Zunahme um 1,6 %, ausgehend vom Jahr 2010. Die Rohstoffproduktivität basierend auf dem RME-Modell, das internationalen Vorgehensweisen zur Verrechnung der Sekundärrohstoffe folgt, steigt stärker (einschließlich des starken Anstiegs nach 2017) und erreicht das angestrebte Ziel.

Abbildung 33: Gesamtrohstoffproduktivität 2010 – 2018/9, absolut und indexiert (2011=100), im Vergleich



Quelle: eigene Darstellung basierend auf eigenen Ergebnissen und Destatis 2021

3.5 Umsetzung im Ressourcenbericht 2022

Im dritten Ressourcenbericht wurde auf die Daten aus dem RME Modell für Deutschland zurückgegriffen. Es wurden nahezu alle oben vorgestellten Rohstoffindikatoren genutzt, und

zudem weitere Auswertungen, die ebenso oben vorgestellt wurden, zusätzlich angefragt und verwendet. Zentrale nationale Indikatoren, wie der Indikator Gesamtressourcenproduktivität, wurden sowohl aus diesem Modell als auch aus dem Destatis-Modell im Ressourcenbericht aufgenommen. Dies war insbesondere von Bedeutung als Zielwerte wie sie in ProgRes III oder der Nachhaltigkeitsstrategie definiert werden auf Destatis-Analysen beruhen. Gleichzeitig sind die in diesem Forschungsprojekt berechneten Werte präziser mit Blick auf die Bilanzierung der genutzten Primärrohstoffe, sie erlauben internationale Vergleiche beispielsweise mit der EU-27 und eine konsistente Analyse unterschiedlicher Aspekte des Ressourcenkonsums bzw. indirekter Flüsse im gesamten Ressourcenbericht 2022 – also auch in Abschnitten zu spezifischen Konsumfeldern (wie Ernährung, Wohnen oder im Bereich Informationstechnologien), sowie zur Analyse von Nexusfragen, etc. Die Unterschiede zwischen den beiden Methoden und deren Auswirkungen auf die Aussagekraft der Ergebnisse wurden sowohl ausführlich in der Methodenbeschreibung als auch beispielhaft im Fließtext des Ressourcenberichts thematisiert.

4 Analyse der Auswirkungen ausgewählter Faktoren, die den Rohstoffkonsum beeinflussen

Schoer, K., Limberger, S., Dittrich, M.

4.1 Hintergrund und Stand der Forschung

Rohstoffmodelle haben einen wichtigen Stellenwert, um die Effekte von politischen Entscheidungen und Maßnahmen auf die Rohstoffinanspruchnahme abzuschätzen und somit die Wirkungen verschiedener Entscheidungswege aufzuzeigen. In der Regel werden in Modellrechnungen diverse Politikmixe und strukturelle Änderungen zur Zielerreichung unterstellt. Für Deutschland wurde u.a. in den Projekten MaRes¹⁷, PolRes¹⁸, DeteRes¹⁹ und SimRes²⁰ oder RESCUE²¹ des Umweltbundesamtes die Wirkung verschiedener Politikmixe bzw. Maßnahmenbündel auf gesamtwirtschaftlicher Ebene untersucht (Dittrich et al. 2018; Hirschnitz-Garbers et al. 2018; Jacob et al. 2015; Kristof und Hennicke 2010; Dittrich et al. 2020g; Purr et al. 2019).

Auf internationaler Ebene werden Status und Trends der weltweiten Nutzung natürlicher Ressourcen unter anderem durch das International Resource Panel (IRP) des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) analysiert. Durch Szenario-Modellierung identifiziert das Panel vielversprechende politische Optionen zur Schonung von natürlichen Ressourcen und skizziert verschiedene Wege für Länder sowie Verflechtungen zwischen verschiedenen Politikbereichen (UNEP 2016; UNEP IRP 2020b).

Auf Länderebene (z.B. Australien, Chile, Japan, Australien, UK, China, und Tschechien) wird in diversen Studien der Einfluss verschiedener Faktoren auf den inländischen Materialeinsatz (DMI) (Munoz und Hubacek 2008; Wood et al. 2009) oder auf den Rohstoffkonsum (Hashimoto et al. 2008; Munoz und Hubacek 2008; Wang et al. 2014; Weinzettel und Kovanda 2011; Wiedmann et al. 2010) untersucht. In Japan beispielsweise, einem Land welches bereits seit mehreren Jahrzehnten Materialflussanalysen nutzt, werden von Hashimoto et al. (2008) Faktoren untersucht, die im Zeitraum 1995 bis 2002 den stärksten Einfluss auf die Rohstoffinanspruchnahme (RMC) hatten. Die Studie, wie viele weitere auch, untersucht jedoch nicht den isolierten Effekt (ceteris paribus, c.p. „unter sonst gleichen Bedingungen“) einzelner Faktoren, sondern Politikbündel und Maßnahmenmixe.

Der isolierte Effekt verschiedener Einflussfaktoren auf den Rohstoffkonsum weltweit wird beispielsweise in der Studie von (Plank et al. 2018) betrachtet (siehe Abbildung 34 und Abbildung 35). Plank et al. (2018) untersuchen die Auswirkungen von Veränderungen der internationalen Handelsmuster (c.p.) auf den RMC weltweit. Weiterhin zeigen die Autor*innen

¹⁷ Materialeffizienz und Ressourcenschonung: Untersuchung von Stoffströmen, Branchen, Bedürfnisfeldern sowie Entwicklung von Strategien und Instrumenten, FKZ: 3707 93 300, Link: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/4468/file/MaRes_final_de.pdf

¹⁸ Ressourcenpolitik; FKZ: 3715 11 110 0; Link: <https://www.ressourcenpolitik.de/>

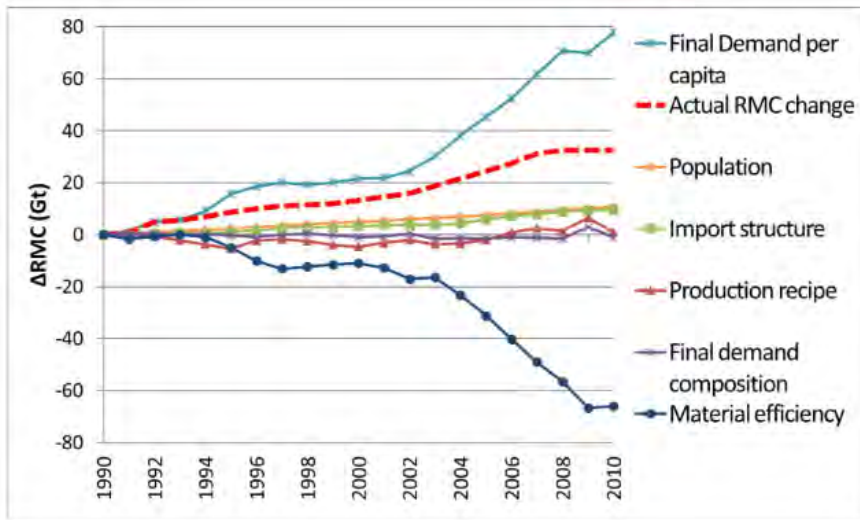
¹⁹ Strukturelle und produktionstechnische Determinanten der Ressourceneffizienz: Untersuchung von Pfadabhängigkeiten, strukturellen Effekten und technischen Potenzialen auf die zukünftige Entwicklung der Rohstoffproduktivität; FKZ: 3712 93 321; Link: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/strukturelle-produktionstechnische-determinanten>

²⁰ Modelle, Potentiale und Langfristszenarien für Ressourceneffizienz; FKZ: 3712 93 102; Link: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/potentiale-kernergebnisse-der-simulationen-von>

²¹ Transformationspfade zu einem treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland, RESCUE-Projekt; FKZ: 3715 41 115 0; Links: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/szenarien-konzepte-fuer-die-klimaschutz/rescue-wege-in-eine-ressourcenschonende#treibhausgasneutrales-deutschland-2050-als-ausgangspunkt>, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/transformationsprozess-treibhausgasneutrales-ressourcenschonendes-deutschland-greenee>

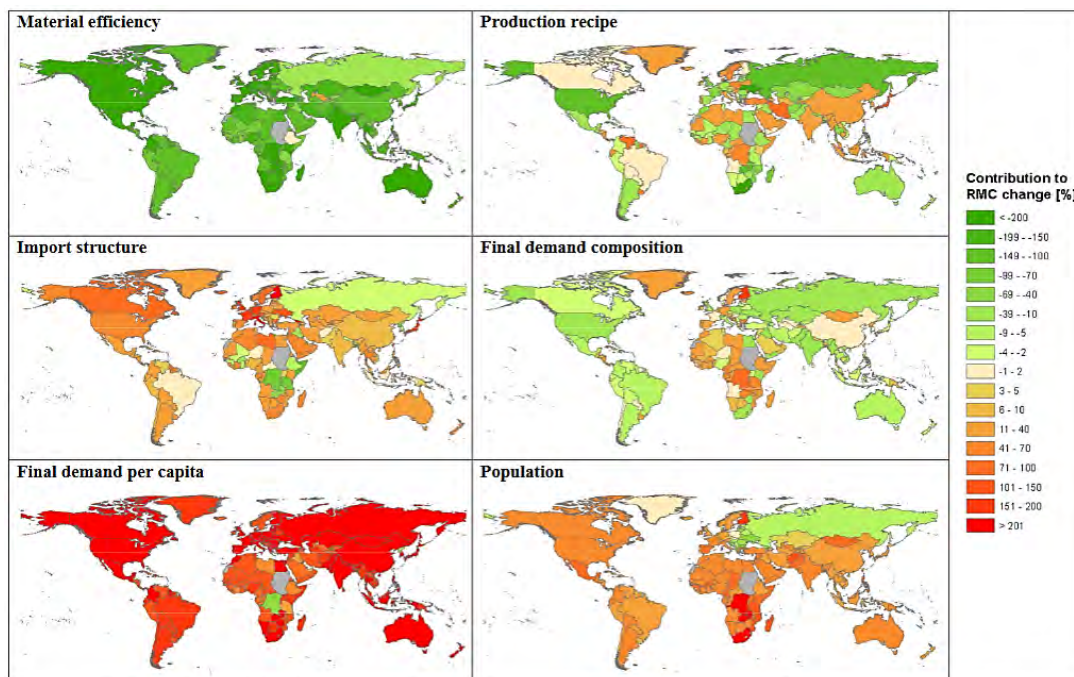
auf, welchen (isolierten) Beitrag die Faktoren Materialeffizienz (definiert als Materialintensität), sektorale Produktivität, die Importstruktur der Vorleistungsnachfrage, die Zusammensetzung der Endnachfrage, die Pro-Kopf-Endnachfrage, sowie die Bevölkerung zur Veränderung des Rohstoffkonsums leisten (c.p.) (Abbildung 34). Als methodische Grundlage der Studie wird das multi-regionale Input-Output (MRIO)-Modell EORA genutzt, welches Materialströme differenziert nach 26 Sektoren darstellt. Die Veränderung des Rohstoffkonsums wurde für den Zeitraum 1990 bis 2010 untersucht.

Abbildung 34: Beitrag der verschiedenen Faktoren (c.p.) auf die Entwicklung des globalen RMC (1990–2010)



Quelle: Plank et al. (2018) Copyright © American Chemical Society

Abbildung 35: Beitrag der verschiedenen Faktoren (c.p.) auf die Entwicklung des RMC (1990–2010) differenziert nach Ländern



Quelle: Plank et al. (2018) Copyright © American Chemical Society

Plank et al. (2018) stellen fest, dass die Endnachfrage pro Kopf der stärkste Treiber für den Anstieg des globalen RMC ist. Wäre nur die Endnachfrage pro Kopf gestiegen und alles andere konstant geblieben (c.p.), wäre der globale RMC im Untersuchungszeitraum um 240 % (78 Gt) gestiegen. Er hätte sich also mehr als verdreifacht. Real hat sich der globale RMC zwischen 1990 bis 2010 „nur“ fast verdoppelt (von 37 Gt auf 70 Gt, bzw. +87 %, siehe „actual RMC change“ in Abbildung 37). Die wachsende Weltbevölkerung ist der zweitwichtigste treibende Faktor, der 33 % (11 Gt) zum Anstieg des globalen RMC beiträgt. Auch der Wandel der Importstrukturen trägt in ähnlichem Umfang wie die Bevölkerung zum RMC-Wachstum bei (ca. 30 %, bzw. 10 Gt). Verbesserungen der Materialeffizienz kompensieren, so die Studie, diese Steigerungen nur teilweise, und hätten c.p. den globalen RMC im Untersuchungszeitraum um -203 % (-66 Gt) reduziert. Die sektorale Produktivität (hier: monetärer Input pro zusätzlicher Einheit Output für die Endnachfrage) trug c.p. von 1990 bis 2005 zur Verringerung des RMC bei (-6 %), zwischen 2005 bis 2010 dann zur Zunahme (+ 9 %). Gemäß Plank et al. (2018) haben Änderungen in der Zusammensetzung der Endnachfrage sowie die sektorale Produktivität keinen signifikanten Effekt auf den RMC, dieses Ergebnis kann gemäß den Autor*innen jedoch mit der hohen Aggregation (lediglich 26 Sektoren) des EORA Modells begründet werden und bedarf weiterer Untersuchungen. Der Einfluss der betrachteten Faktoren variiert zwischen Ländern (Abbildung 35) (Plank et al. 2018).

Eine ausreichend tiefe Aufgliederung verschiedener Sektoren, ist für die Analyse von Materialflüssen von großer Bedeutung (Schoer et al. 2021; Koning et al. 2015) und kann bei zu geringer Disaggregation, wie etwa Plank et al. (2018) anmerken, keine ausreichend genauen Aussagen zum Einfluss verschiedener Faktoren liefern.

Das Umweltökonomische Rohstoffmodell (URMOD), welches von ifeu und SSG entwickelt wurde, weist mit einer Disaggregation von 274x274 Sektoren, eine tiefe Gliederung auf und ermöglicht die Abbildung bzw. Modellierung einer Variation zahlreicher Politikmixe ebenso wie einer Variation struktureller und technischer Änderungen sowie Änderungen der Endnachfrage. Im Projekt RESCUE²² wurde URMOD zur Berechnung der deutschen Rohstoffnutzung unterschiedlich ambitionierter Transformationspfaden zur Treibhausgasreduzierung genutzt (Dittrich et al. 2020b; Dittrich et al. 2020c, 2020d, 2020f, 2020e, 2020g).

Im Projekt DeteRess (Strukturelle und produktionstechnische Determinanten der Ressourceneffizienz: Untersuchung von Pfadabhängigkeiten, strukturellen Effekten und technischen Potenzialen auf die zukünftige Entwicklung der Rohstoffproduktivität) des Umweltbundesamtes wurde untersucht, durch welche technologischen und strukturellen Veränderungen der Leitindikator Gesamtrohstoffproduktivität gesteigert werden kann. Genauer gesagt wurden im Projekt die Hebelwirkung einer technik-orientierten Dematerialisierungspolitik mit Hilfe des Modells URMOD untersucht, wobei über Szenarien die Veränderungen in den materialintensivsten Bereichen Energie, Bau und Verkehr bis 2030 abgeschätzt wurden (Dittrich et al. 2018)(Dittrich et al. 2018).

Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen die im Projekt untersuchten Stellschrauben und deren Einfluss auf den Rohstoffkonsum (RMC) im Jahr 2030 gegenüber dem Ausgangsjahr 2010. Das Szenario „Anzunehmende zukünftige Entwicklung (AZE)“ zeigt den Rohstoffbedarf, der sich auf der Basis gegenwärtig bereits beschlossener Politiken und Maßnahmen im Jahr 2030 ergeben wird. Das Szenario „Technischer Wandel (TW)“ zeigt zusätzliche Rohstoffeinsparungen, wenn ausgewählte innovative Technologien in 2030 Anwendung finden. Die Angaben für die einzelnen Faktoren stellen die Effekte jeweils ceteris paribus (c.p.) dar, während die Angabe „Insgesamt“

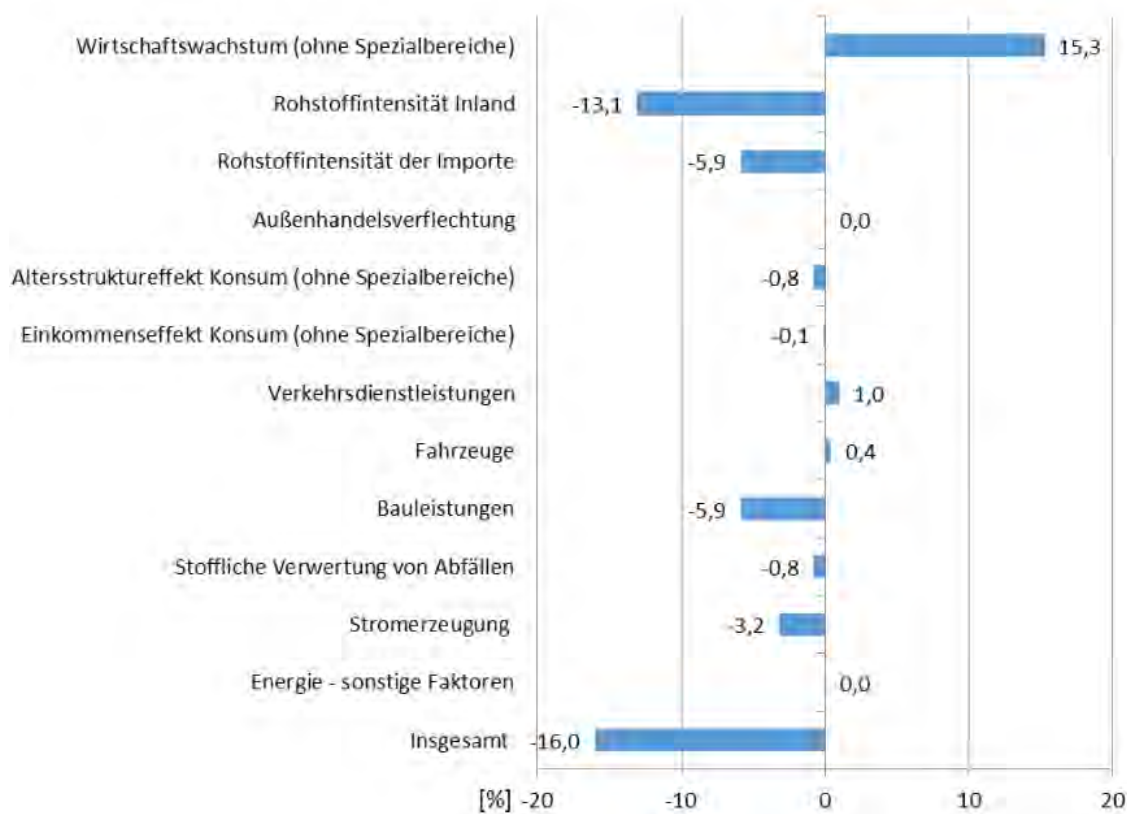
²² Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität; FKZ: 3715411150; Link: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/szenarien-konzepte-fuer-die-klimaschutz/rescue-wege-in-eine-ressourcenschonende#Ergebnisse>

das Ergebnis des simultanen Zusammenwirkens aller Faktoren repräsentiert. Die Ergebnisse zeigen, dass ein wesentlicher Faktor, der belastend auf die Entwicklung des RMC wirkt, das Wirtschaftswachstum ist. Entlastend hingegen wirken die Verminderung der Rohstoffintensität bei der Produktion im Inland, die Verringerung der Rohstoffintensität der Importe, der Rückgang der Bauaktivitäten und die Veränderung der Energieträgerstruktur bei der Stromerzeugung. Insgesamt ergibt sich für die Entwicklung des RMC ein entlastender Einfluss von -16,0 % (vgl. Abbildung 36).

Die im „TW30“ Szenario berücksichtigten Faktoren haben allesamt einen entlastenden Einfluss auf den RMC (-7 %), wie in Abbildung 37 zu erkennen. Besonders wirksame Stellschrauben sind (erneut) die Verminderung der Rohstoffintensität im TW30, die Veränderung der Energieträgerstruktur bei der Stromerzeugung, eine verbesserte Materialeffizienz beim Hochbau und ein erhöhtes Recycling von Baumaterialien (Dittrich et al. 2018).

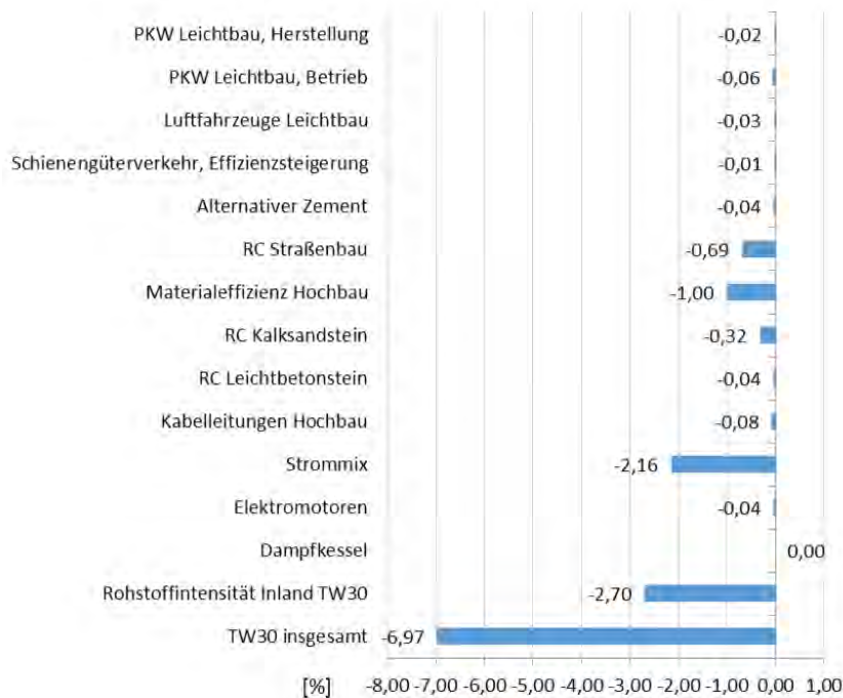
Die Kenntnis über den isolierten Einfluss einzelner Stellschrauben ist für die Entwicklung ressourcenschonender Politikmaßnahmen von großer Bedeutung. Wie gezeigt, werden bislang aber nur in wenigen Studien einzelne Faktoren durch Modellrechnungen differenziert auf ihre Hebelwirkung untersucht.

Abbildung 36: Beitrag der verschiedenen Einflussfaktoren (c.p.) auf den RMC – Veränderung "AZE30" gegenüber 2010 in Prozent



Quelle: Dittrich et al. 2018

Abbildung 37: Beitrag der verschiedenen Einflussfaktoren (c.p.) auf die Veränderung des RMC – Veränderung "TW30" gegenüber "AZE30" in Prozent des Basiswertes für 2010



Quelle: Dittrich et al. 2018

4.2 Methode des Simulationsmodells

Die Grundlage des Simulationsmodells ist das Umweltökonomische Rohstoffmodell URMOD. Zum Zeitpunkt der Durchführung der Simulationen lag die im Kap. 3 beschriebene Modellvariante noch nicht vor. Das Modell basiert auf einer hoch aufgelösten, umweltökonomischen Input-Output-Tabelle (IOT) für Deutschland, welche darauf ausgerichtet ist, die Rohstoffströme in der deutschen Volkswirtschaft vollständig und überschneidungsfrei abzubilden (siehe Infobox URMOD; Dittrich et al. 2018).

Infobox: Das umweltökonomische Rohstoffmodell URMOD

In URMOD werden Angaben über den Rohstoffinput in die deutsche Ökonomie mit den wirtschaftlichen Produktions- und Konsumaktivitäten verknüpft. Die inländische Rohstoffanspruchnahme (RMC) und der Primärrohstoffeinsatz (RMI) sind (neben weiteren Informationen) die beiden zentralen Rohstoffindikatoren, die mit Hilfe von URMOD abgeleitet werden. Die Basis für die Berechnung der Indikatoren in Rohstoffäquivalenten ist eine gesamtwirtschaftliche Input-Output-Tabelle (IOT), welche alle Produktionsketten in einer Volkswirtschaft und ihre Querbeziehungen einbezieht. Die für URMOD entwickelte IOT für das Basisjahr 2010 hat eine Gliederungstiefe von 274x274 Gütergruppen und 41 Kategorien der letzten Verwendung. Die Gliederungstiefe orientiert sich hauptsächlich daran, die in- und direkten Rohstoffströme so detailliert wie möglich abzubilden. Die Daten zur inländischen Entnahme von Rohstoffen basieren weitgehend auf den Ergebnissen des Statistischen Bundesamtes zur Materialflussrechnungen der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR). Der Rohstoffgliederung liegt die Klassifikation der Liefertabelle für Eurostat (EW-MFA, „Domestic Extraction“) zugrunde. Die originären Angaben werden vereinzelt durch weitere Informationen ergänzt und erweitert (tiefere Disaggregation nach Rohstoffarten). Die Output-Tabelle wird im Modell mit einer Matrix kombiniert, welche bestimmte Primärinputs in die Ökonomie Primärrohstoffe,

aber auch erneuerbare Energien und Sekundärrohstoffe) in physischen Einheiten abbildet (274 Gütergruppen x Primärinputarten). Die berücksichtigten Primärinputs in die Ökonomie werden lückenlos und ohne Überschneidungen den Gütern der letzten Verwendung zugeordnet. Das technische Zuordnungsverfahren von Rohstoffen zu Gütern folgt dem Leontief-Ansatz der Input-Output-Analyse. Mithilfe dieses Verfahrens werden in einer Abfolge von Matrizenoperationen, die Primärinputs (in diesem Fall die Primärrohstoffe) in einer Volkswirtschaft den Gütern der letzten Verwendung und den Importgütern zugerechnet. (Dittrich et al. 2018; Dittrich et al. 2020c)

Das genutzte Grundmodell stimmt weitgehend überein mit dem genutzten Basismodell im Projekt RESCUE, welches ebenfalls URMOD nutzt (siehe hierfür Dittrich et al. 2020c). Für das Simulationsmodell wurden im Vergleich zu RESCUE nur wenige kleine Aktualisierungskorrekturen an der hybriden Input-Output Tabelle vorgenommen²³. Ausgehend vom Grundmodell werden jeweils einzelne Parameter des komparativ-statischen Simulationsmodells variiert. Zentral ist die ceteris paribus (c.p.) Annahme „unter sonst gleichen Bedingungen“, um den isolierten Einfluss der Parameteränderung der jeweiligen Variationen (V1-22) auf den Rohstoffgehalt der Güter der letzten inländischen Verwendung (Final Demand Use, FDU) an Primärrohstoffen (RMC) im Vergleich zum Grundmodell für das Jahr 2010 zu berechnen.

4.3 Auswahl der Simulationen

Tabelle 13 zeigt eine Übersicht der verschiedenen Simulationen und Veränderungen des Grundmodells (Varianten V1-22). Bei den dargestellten Simulationen handelt es sich aus Sicht der Autor*innen um besonders bedeutsame Beispiele. Die Auswahl der Simulationsbeispiele deckt die im letzten Zwischenbericht vorgeschlagenen Parameter ab, und geht zudem darüber hinaus. Die zusätzlichen Simulationen helfen aus Sicht der Autor*innen, die wesentlichen Hebelwirkungen besser zu erfassen. Die Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln detailliert dargestellt.

Im **ersten Block (V1-9)** werden Parametervariationen der **Elemente der Endnachfragematrix** betrachtet. In **zweiten Block (V10-22)** wird der Einfluss verschiedener Variationen der **Produktionstechnologie** untersucht. Die Produktionstechnologie wird im Modell durch die Güterverflechtungsmatrix (Transaktionsmatrix FL) abgebildet. Bei allen Beispielen zur Variation der Produktionstechnologie werden grundsätzlich zwei Varianten betrachtet:

1. die isolierte Variation der **inländischen** Produktionstechnologie, d.h. es wird unterstellt, dass die Technologie zur Herstellung der Importgüter unverändert bleibt.
2. Es wird angenommen, dass sich die Produktionstechnologien **im Inland und in der übrigen Welt** gleichermaßen verändern. Hierfür wurde eine korrigierte Matrix für Importe, welche die kumulierten Rohstoffinputs je Einheit Produkt darstellt (F-Matrix) und die Änderungen der inländischen Produktionstechnologie berücksichtigt, abgeleitet.

Tabelle 13: Übersicht der Simulationen der Endnachfrage (V1-V9)

Variation

V1 – Erhöhung der gesamten Endnachfrage um 100 %

²³ Die Änderungen des Grundmodells im Vergleich zu RESCUE an der HIOT274 umfassen eine Korrektur des Mineralölinputs bei Elektroautos (wurde Null gesetzt). Für Industrieholz wurde die Holzstromtabelle aus der UGR übernommen, und der Eigenverbrauch der Holzindustriedahingehen korrigiert.

Variation
V2 – Erhöhung der Exporte um 100 %
V3 v Erhöhung der letzten inländischen Endnachfrage um 100 %
V4 – Erhöhung der Güterverwendung um 100 %
V4a – Erhöhung der inländischen Verwendung von Strom, Gas, Wärme, Bau- und Mobilitätsdienstleistungen um 100 %
V5 – Erhöhung der letzten inländischen Verwendung sonstiger Dienstleistungen um 100 %
V6 – Erhöhung der letzten inländischen Verwendung Ernährungsgütern um 100 %
V7 – Erhöhung der Anlageinvestitionen um 100 %
V8 – Erhöhung der Anlageinvestitionen für Wohnungsbauten um 100 %
V9 – Erhöhung der Anlageinvestitionen für Verkehrsinfrastruktur um 100 %

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 14: Übersicht der Simulationen der Produktionstechnologie (V10-V22)

Variation	
V10 – Reduktion der Inputintensitäten aller Produktionsaktivitäten um 50 %	Inland
	Inland + Rest der Welt
V11 – Senkung des Recyclingpapiers auf 0 %	Inland
	Inland + Rest der Welt
V12 – Erhöhung des Recyclingpapiers auf 100 %	Inland
	Inland + Rest der Welt
V13 – Erhöhung des Recyclingpapiers auf 90 %	Inland
	Inland + Rest der Welt
V14 – Senkung des Eisen Recycling auf 0 %	Inland
	Inland + Rest der Welt
V15 – Erhöhung des Eisen Recycling auf 100 %	Inland
	Inland + Rest der Welt
V16 – Erhöhung des Eisen Recycling auf 80 %	Inland
	Inland + Rest der Welt
V17 – Senkung des Aluminium Recycling auf 0 %	Inland
	Inland + Rest der Welt
V18 – Erhöhung des Aluminium Recycling auf 100 %	Inland
	Inland + Rest der Welt
V19 – Erhöhung des Aluminium Recycling auf 80 %	Inland

Variation	
	Inland + Rest der Welt
V20 – Senkung des Kupfer Recycling auf 0 %	Inland
	Inland + Rest der Welt
V21 – Erhöhung des Kupfer Recycling auf 100 %	Inland
	Inland + Rest der Welt
V22 – Erhöhung des Kupfer Recycling auf 90 %	Inland
	Inland + Rest der Welt

Quelle: eigene Darstellung

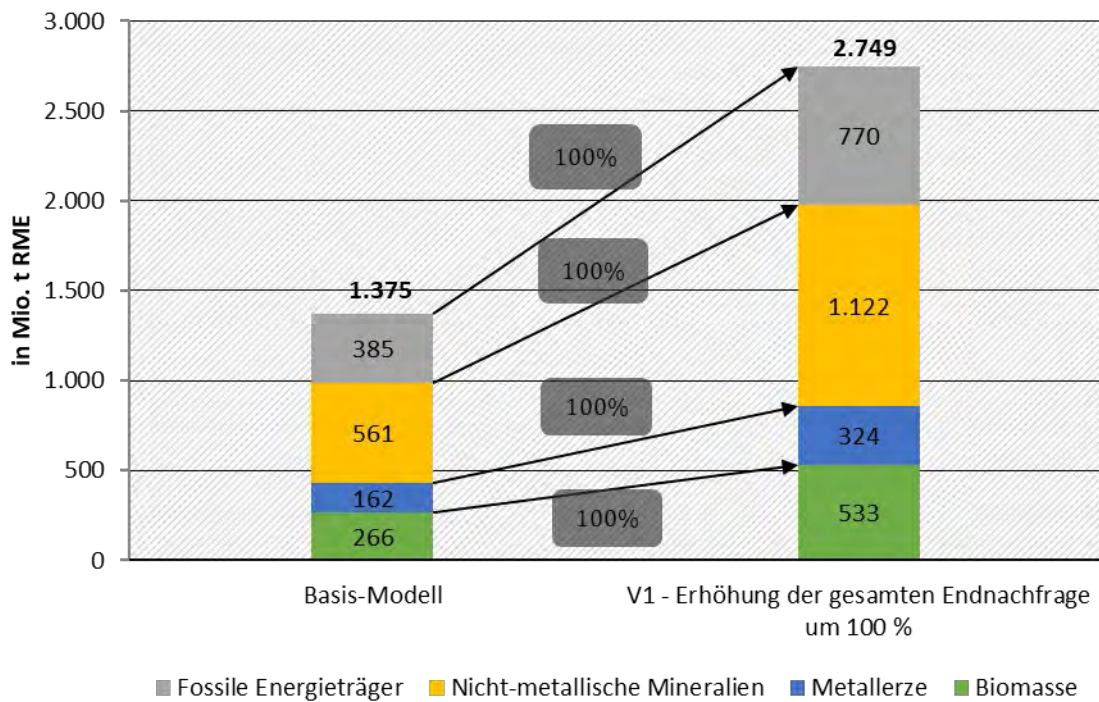
4.4 Ergebnisse des Simulationsmodells

Im Folgenden werden unterschiedliche Parameter auf ihren Einfluss auf den Rohstoffkonsum (i.e. Rohstoffanspruchnahme, RMC) für das Jahr 2010 untersucht. Wie zuvor erwähnt, sollen die Simulationen die Effekte von zentralen Stellschrauben ermitteln. Die (politische/wirtschaftliche) Plausibilität der Simulationsannahmen steht nicht im Fokus der Analyse. Die Untersuchung ist gegliedert nach (1) Parametern der Endnachfrage und (2) Parametern der Produktionstechnologie. Alle Parametervariationen unterliegen der *ceteris paribus* Annahme.

4.4.1 Parameter der Endnachfrage

V1 – Erhöhung der gesamten Endnachfrage um 100 %: Diese Annahme für die Endnachfrage umfasst, dass sämtliche Kategorien der Konsumausgaben (Haushalte, nicht-Regierungsorganisationen und Staatsausgaben) sowie Anlageinvestitionen für Ausrüstungen und Bauten und auch Exporte (für materielle Güter und Dienstleistungen) verdoppelt werden. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass sich der Rohstoffkonsum (RMC) proportional zur Parameterveränderung verhält (siehe Abbildung 38). Der RMC würde sich unter der Annahme eines 100 % Anstiegs der Endnachfrage auf 2.749 Mio. t RME erhöhen.

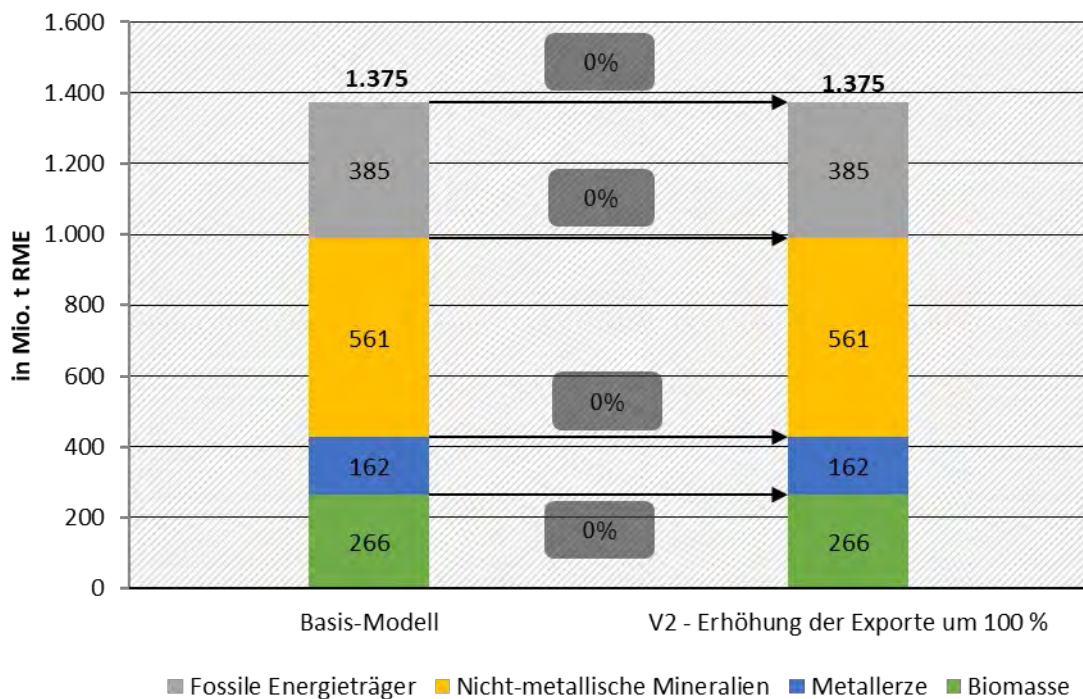
Abbildung 38: V1 – Erhöhung der gesamten Endnachfrage um 100 % (c.p.)



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V2 – Erhöhung der Exporte um 100 %: Die letzte inländische Verwendung (LIV) ergibt sich durch Subtraktion der Exporte von der gesamten Endverwendung (inkl. Exporte). Die RME der Exporte steigen zwar proportional zur Parametervariation, haben jedoch keinen Einfluss auf die LIV (siehe Abbildung 39).

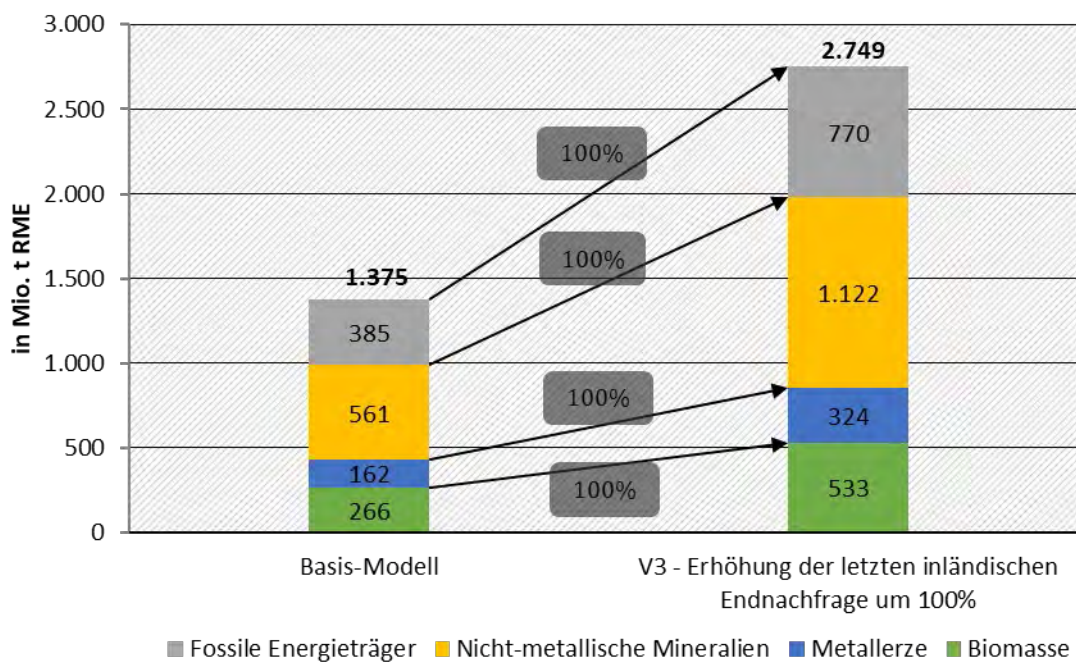
Abbildung 39: V2 – Erhöhung der Exporte um 100 % (c.p.)



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V3 – Erhöhung der letzten inländischen Endnachfrage um 100 %: Die Verdopplung der letzten inländischen Verwendung (für Güter und Dienstleistungen) führt zu einer proportionalen Veränderung des RMC (auf 2.749 Mio. t RME, siehe Abbildung 40). Diese Variante unterscheidet sich zur Variante 1 lediglich dadurch, dass die Exporte konstant bleiben. Dies hat jedoch keine Auswirkungen auf den RMC.

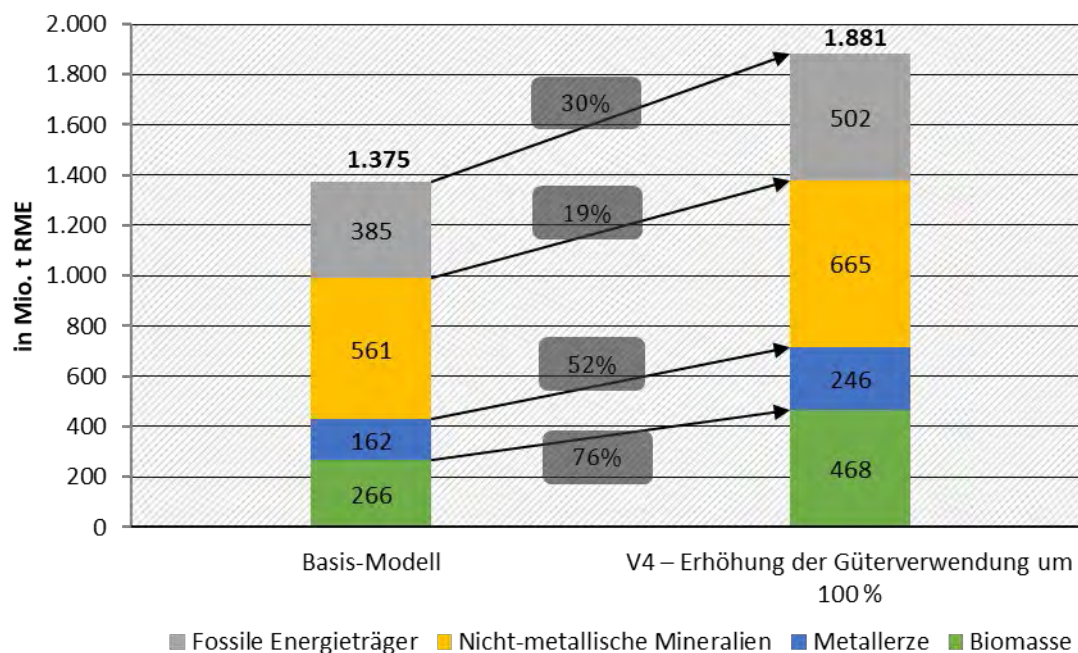
Abbildung 40: V3 - Erhöhung der letzten inländischen Endnachfrage um 100 % (c.p.)



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V4 – Erhöhung der Güterverwendung um 100 %: Die isolierte Variation der inländischen Endnachfrage nach Waren (materielle Güter ohne Dienstleistungen und ohne Exporte) verdeutlicht, dass diese Güterkategorie einen wesentlichen Einfluss auf die Veränderung des RMC hat. Der RMC steigt insgesamt um +37 % (+506,3 Mio. t RME); die prozentual größte Zunahme lässt sich für biotische (+ 76 %) und metallische Rohstoffe (+ 52 %) festmachen. (Abbildung 41)

Abbildung 41: V4 – Erhöhung der Güterverwendung um 100 % (c.p.)



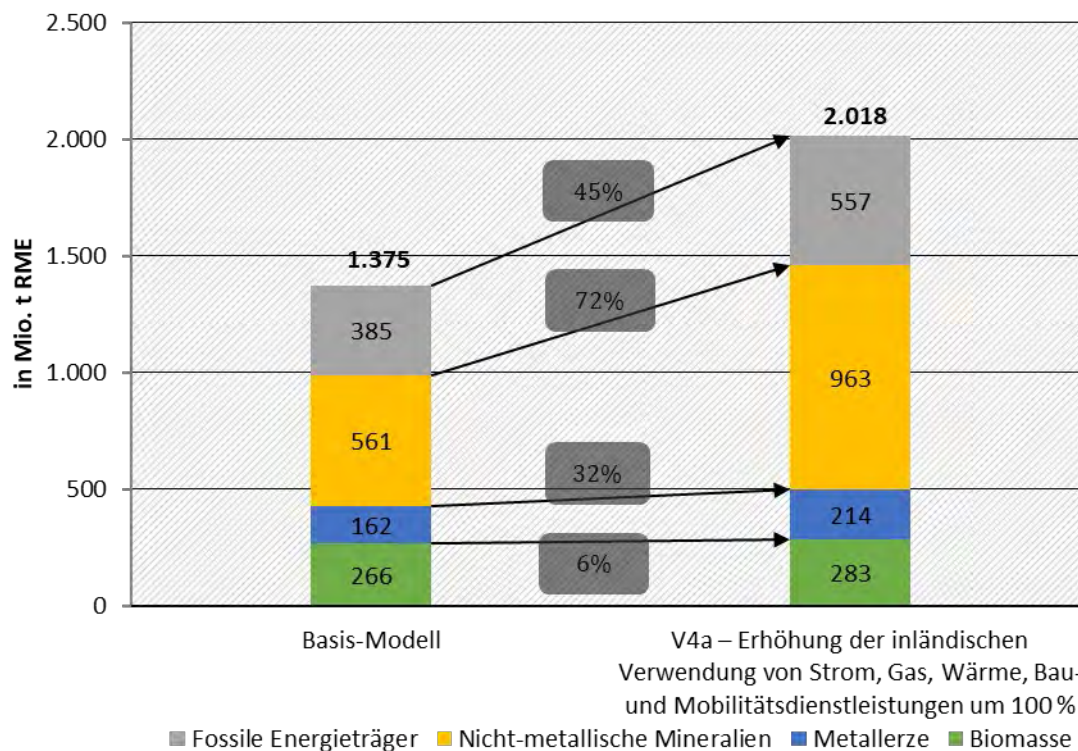
Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V4a – Erhöhung der inländischen Verwendung von Strom, Gas, Wärme, Bau- und Mobilitätsdienstleistungen um 100 %: Die Variante sieht im Detail die Verdopplung der Nachfrage der nachfolgenden Güterkategorien vor:

- ▶ Elektrische Energie (aus Wasser, Wind, Solar, sowie Gezeitenkraftwerken)
- ▶ Verarbeitetes Gas, Distributionsservice von Gas; Biogas
- ▶ Erzeugte Wärme (Solar und Geothermisch)
- ▶ Bausektor (Wohnungsbau, Straßenbau (Hoch und Tiefbau); Rohrleitungen, Kläranlagen und Brunnen, Kabelleitungen; sonstiges wie Elektroinstallationen, Abbrucharbeiten, sonstige Bauinstallationen etc.)
- ▶ Transport (Personenbeförderung und Güterbeförderung via Schiene, Straße, Luft, inkl. internationalem Transport)

Die zusammengefasste Betrachtung dieser Dienstleistungskategorien verdeutlicht den über-
ragenden Einfluss dieser Aktivitäten auf die Entwicklung des RMC, welcher c.p. um +47 %
anstiegt. Insbesondere die Verwendung nicht-metallischer Rohstoffe ist davon stark betroffen
und nimmt um +72 % (ca. 402 Mio. t RME) zu. Auch die Verwendung fossiler und metallischer
Rohstoffe steigt um +32 % bzw. +45 % (c.p.). Bei dieser Simulationsvariante ist anzumerken,
dass der Effekt gegenwärtig deutlich geringer wäre, weil sich der Strommix im Vergleich zu
2010 geändert hat und erneuerbare Energieträger weniger Rohstoffintensiv sind (siehe
Abbildung 42).

Abbildung 42: V4a – Erhöhung der inländischen Verwendung von Strom, Gas, Wärme, Bau- und Mobilitätsdienstleistungen um 100 % (c.p.)



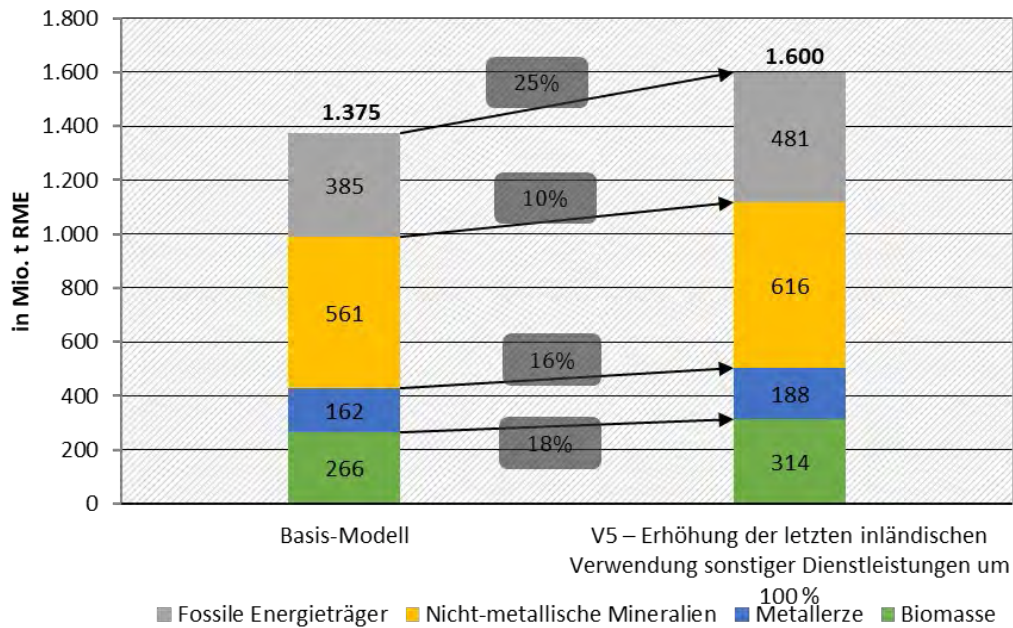
Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V5 – Erhöhung der letzten inländischen Verwendung sonstiger Dienstleistungen um 100 %: Die Verdopplung folgender Dienstleistungen sind in dieser Variante inkludiert, u.a.:

- ▶ Reparaturdienstleistungen für Maschinen und Equipment
- ▶ Wasseraufbereitung
- ▶ Der gesamte Abfallverwertungssektor (Plastik, biotische Rohstoffe, Industrieabfälle, Siedlungsabfälle, ...) für stoffliche und energetische Verwertung, inkl. Sammlungsinfrastruktur
- ▶ Handel und Reparaturservice z.B. für Automobile
- ▶ Sämtliche weiteren Dienstleistungen der CPA 52 (Warenhaus Service) bis CPA 97, 98 (Haushaltsdienstleistungen etc.)

Die Bedeutung dieser Güterkategorien für die Entwicklung des RMC (+ 16 %) ist vergleichsweise gering (siehe Abbildung 43). Die fossile Rohstoffverwendung steigt prozentual mit +25 % durch den erhöhten Energiebedarf am stärksten an.

Abbildung 43: V5 – Erhöhung der letzten inländischen Verwendung sonstiger Dienstleistungen um 100 % (c.p.)

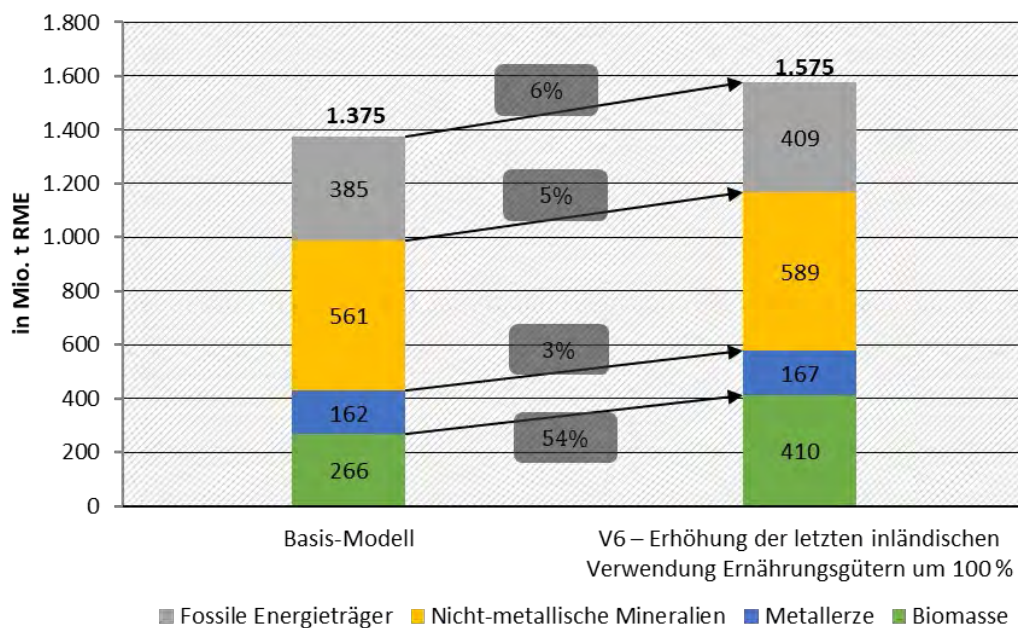


Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V6 – Erhöhung der letzten inländischen Verwendung von Ernährungsgütern um 100 %:

Diese Simulationsvariante sieht eine Verdopplung der konsumierten Ernährungsgüter vor. Der Beitrag dieser Endnachfragekategorie zur Entwicklung des RMC ist (c.p.) mit knapp 15 % durchaus relevant; die Verwendung biotischer Rohstoffe steigt logischerweise als Konsequenz am stärksten an (+ 54 %). (Abbildung 44)

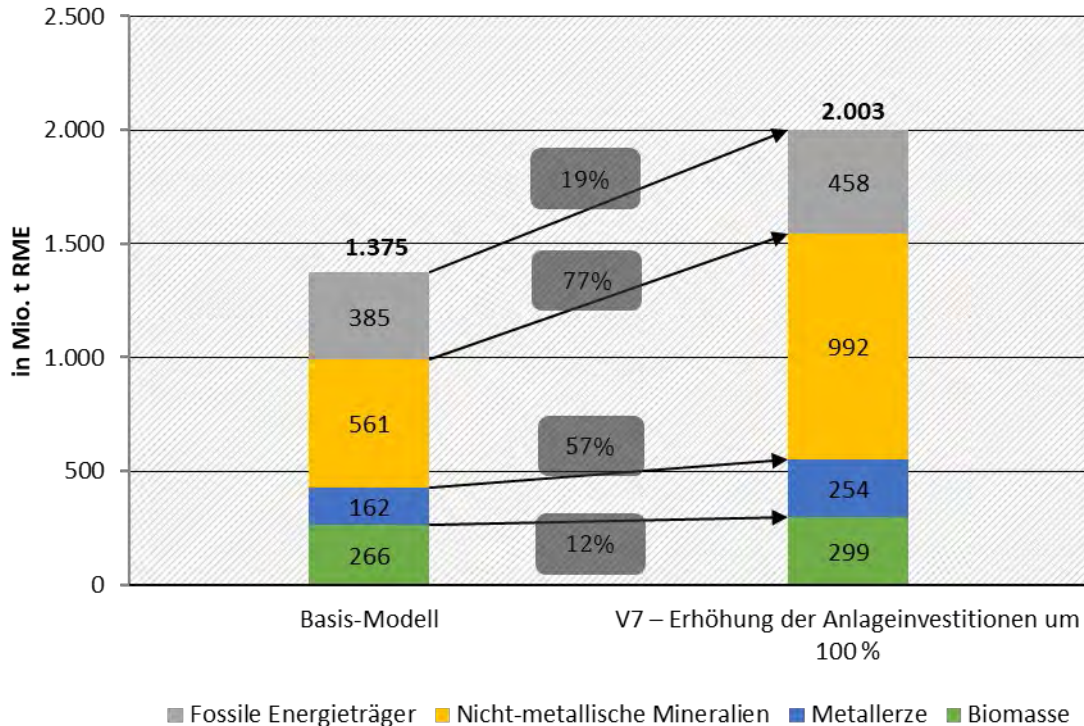
Abbildung 44: V6 – Erhöhung der letzten inländischen Verwendung Ernährungsgütern um 100 % (c.p.)



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V7 – Erhöhung der Anlageinvestitionen um 100 %: Diese Variante untersucht den Effekt der Verdopplung der Anlageinvestitionen für Ausrüstungen und Anlagen (z.B. PkW, Schiffe, Luftfahrt, sonstiges) und Bauten (z.B. Wohnungen, Nicht-Wohnbauten, Tiefbau, Infrastruktur (Brücken, Tunnel, Kabel) sowie Vorratsveränderungen + Nettozugang an Wertsachen. Die isolierte Betrachtung zeigt, dass diese Endnachfragekategorie besonders materialintensiv ist und deshalb mit +46 % einen großen Einfluss auf die Entwicklung des RMC haben kann (siehe Abbildung 45). Besonders der Anstieg der nicht-metallischen und metallischen Rohstoffe fällt ins Gewicht (+77 % bzw. +57 %).

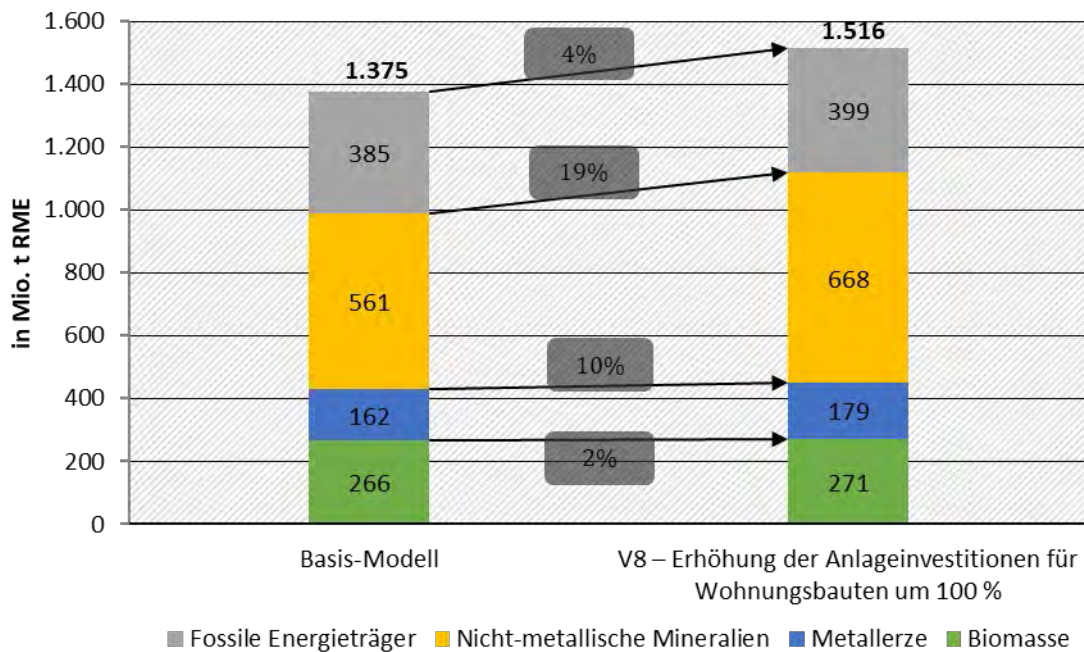
Abbildung 45: V7 – Erhöhung der Anlageinvestitionen um 100 % (c.p.)



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V8 – Erhöhung der Anlageinvestitionen für Wohnungsbauten um 100 %: Die Entwicklung der materialintensiven Unterkategorie Wohnungsbau kann einen bedeutsamen Einfluss auf die Entwicklung des RMC haben (+10,3 %). Gegenüber dem Basismodell würden c.p. etwa 107 Mio. t RME mehr an nicht-metallischen Mineralien verwendet werden. Auch bei metallischen Rohstoffen würde eine Verdopplung der Investitionen in den Wohnungsbau einen Anstieg von 17,0 Mio. t RME bewirken. Gleichmaßen geht diese Entwicklung auch mit einem erhöhten Energiebedarf (+13,6 Mio. t RME fossile Rohstoffe) einher (siehe Abbildung 46).

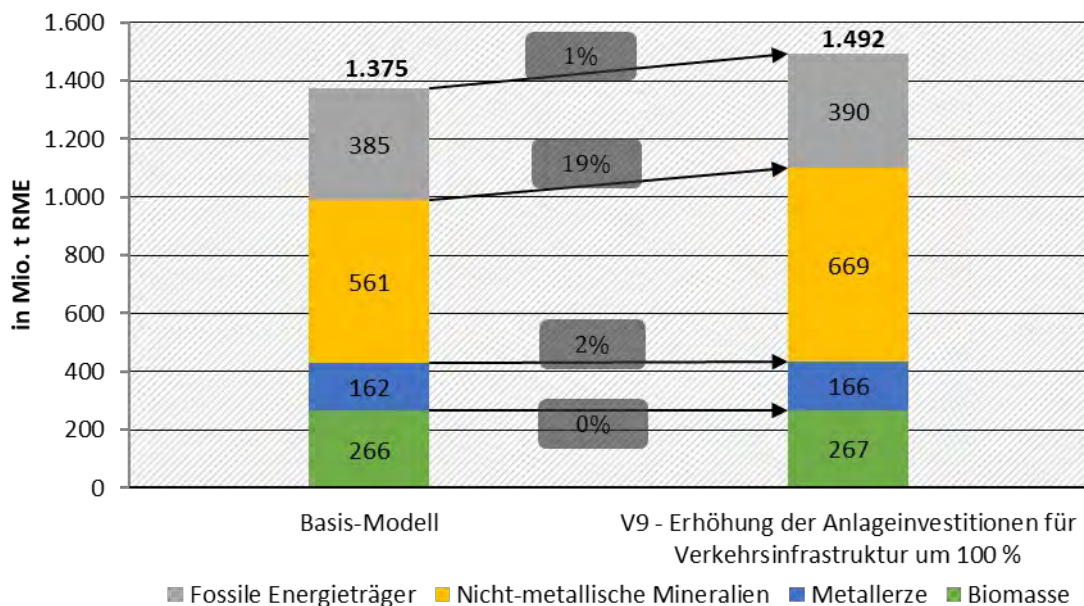
Abbildung 46: V8 – Erhöhung der Anlageinvestitionen für Wohnungsbauten um 100 % (c.p.)



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V9 – Erhöhung der Anlageinvestitionen für Verkehrsinfrastruktur um 100 %: Die Erhöhung umfasst eine Verdopplung der Anlageinvestitionen für Bauten, das sind Straßen und Wege, Gleise und Schienen, Brücken und Tunnel (im Vergleich zu den Investitionen in 2010). Das Simulationsergebnis zeigt, dass auch die Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur mit einer Erhöhung des RMC einhergeht (+9 %). Vor allem der Verbrauch nicht-metallischer Mineralien steigt verhältnismäßig stark an (+20 %). Fossile, metallische und biotische Rohstoffe sind weniger betroffen (siehe Abbildung 47).

Abbildung 47: V9 – Erhöhung der Anlageinvestitionen für Verkehrsinfrastruktur um 100 % (c.p.)



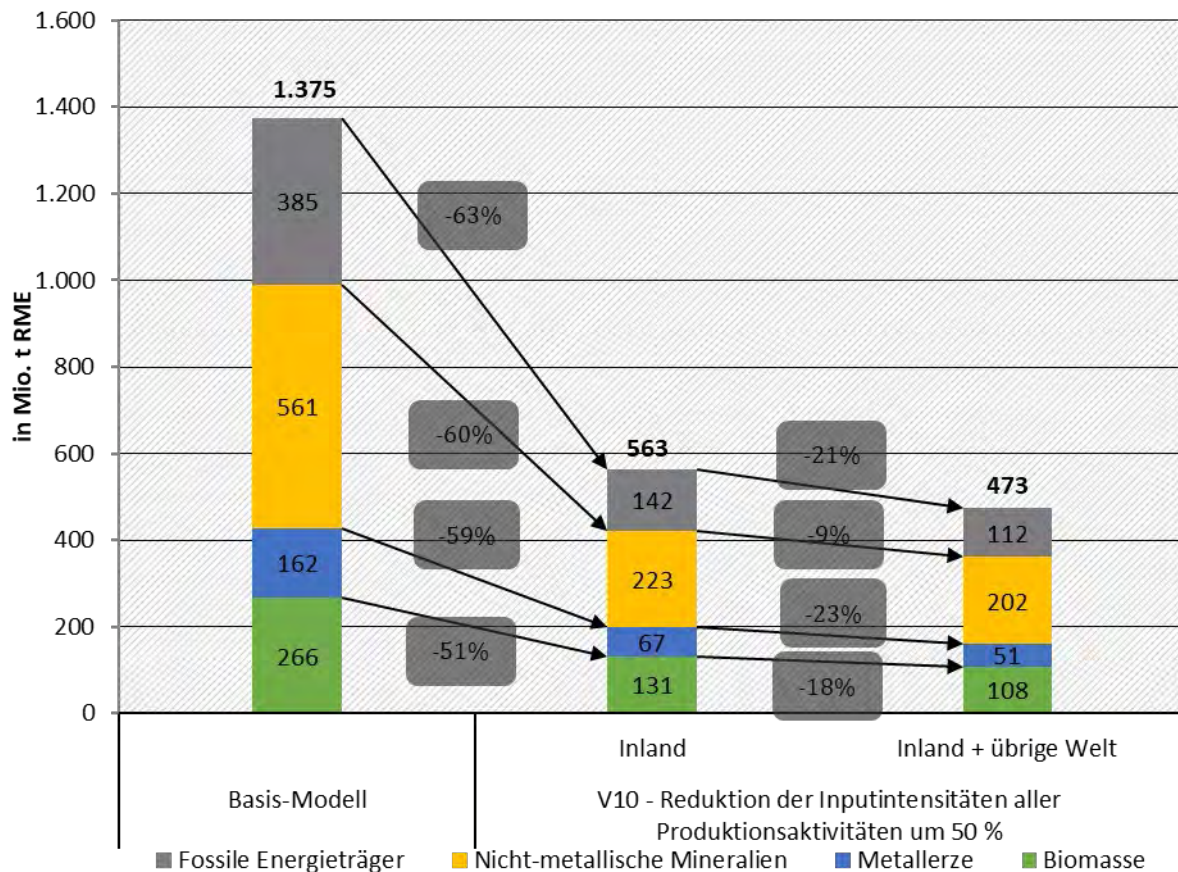
Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

4.4.2 Parameter der Produktionstechnologie

V10 – Reduktion der Inputintensitäten aller Produktionsaktivitäten um 50 %: Diese Parametervariation, wie auch die folgenden Simulationsvarianten, zählt zur Kategorie der Änderung der Produktionstechnologie. In Beispiel V10 wird angenommen, dass es zu einer generellen Reduktion der Materialintensitäten aller Produktionsaktivitäten um 50 % kommt. Bei dieser und den folgenden Parametervariationen werden Variationen nur im Inland von Variationen im In- und Ausland unterschieden. Die direkten Inputkoeffizienten (d.h. die Elemente der Technologiematrix A) bezeichnen die Beträge an Inputs, die erforderlich sind, um eine Einheit Output eines Sektors zu produzieren. Da in dieser Variation angenommen wird, dass die Reduktion gleichermaßen auf allen Produktionsstufen erfolgt (alle 274 Sektoren), kumulieren sich die einzelnen Reduktionen aufgrund der Produktionsverflechtungsbeziehungen.

Die Rohstoffverwendung in V10 sinkt c.p. in Folge stark; - 59 % wenn sich die inländische Produktionsintensität halbiert und sogar -66 % wenn auch im Rest der Welt (RoW) gleichermaßen Reduzierungen eintreten. Die Simulation führt mit Abstand zur stärksten Reduktion des RMC im Vergleich aller durchgeführten Simulationen. Der Rohstoffkonsum sinkt für alle vier Hauptmaterialgruppen auf einem ähnlich hohen Niveau (Abbildung 48). Es wird deutlich, dass die Inputintensität der Produktionsaktivitäten einen wesentlichen Einfluss auf die Rohstoffverwendung nimmt – Effizienzsteigerungen in der Produktion, durch welche bei gleichem Input ein höherer Output erzielt werden kann, sind ein wichtiger Hebel zur Senkung der Rohstoffverwendung. Diese Feststellung schließt sich an Erkenntnisse aus DeteRes an (Dittrich et al. 2018).

Abbildung 48: V10 – Reduktion der Inputintensitäten aller Produktionsaktivitäten um 50 % (c.p.)



Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

In Folge der inländischen Inputintensitätsreduzierung sinkt auch der Bedarf nach primären erneuerbaren Energieträgern (- 4,9 Mio. TOE), die Menge der stofflich verwerteten biotischen (- 12,6 Mio. t), metallischen (-55 Mio. t RME) und nicht-mineralischen (-17,3 Mio.t) Rohstoffe, sowie die energetische Verwertung von Abfällen (-9,2 Mio. TOE).

V11 – V13 – 0 %/ 90 %/ 100 %-Papier-Recycling: Bei diesen (V11-V13) und den nachfolgenden Simulationen (V14-V22) handelt es sich um Varianten, welche Recyclingvorgänge für ausgewählte Güter abbilden. Für jede dieser Güterarten werden jeweils drei Simulationen präsentiert: eine Null-Prozent Variante (kein Recycling), eine hundert Prozent Variante (ausschließlich Recycling) und eine dazwischenliegende Variante, die ein Recyclingrate präsentiert, welche höher als die aktuelle Rate im Jahr 2010 ist. Die Nullvariante zeigt an, wieviel Primärmaterial im Basismodell für 2010 bereits eingespart wurde. Die Maximalvariante zeigt, welche zusätzlichen Einsparungen theoretisch denkbar sind (*ceteris paribus*).

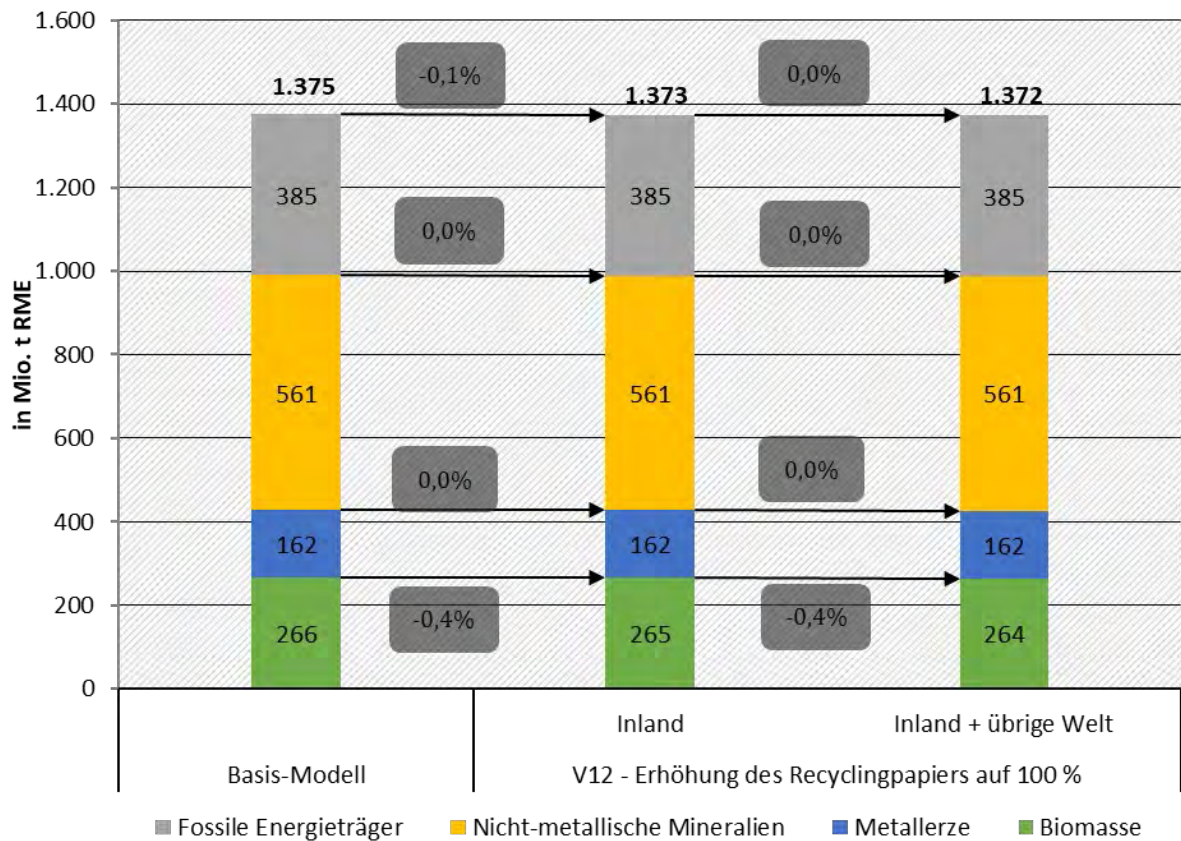
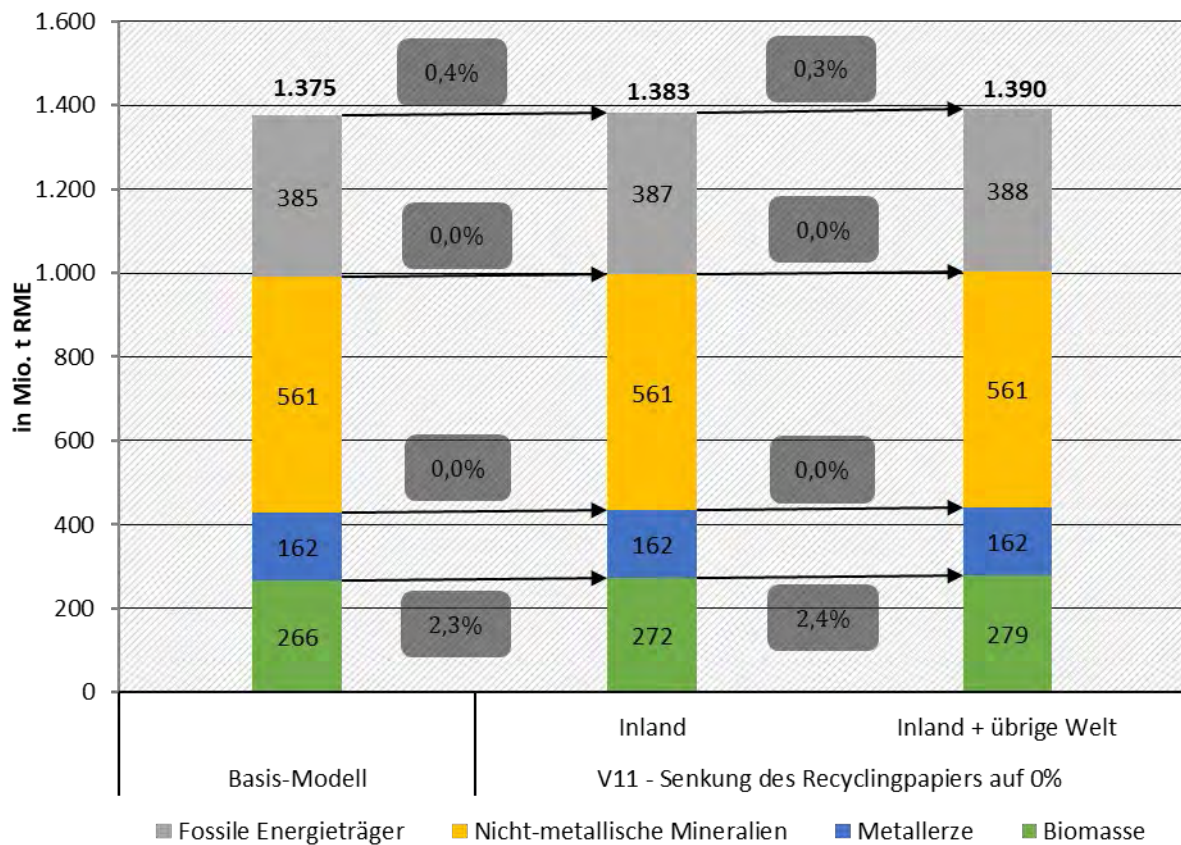
Die Nullvariante für Papierrecycling (V11) zeigt, dass der aktuelle Stand in der Inlandsvariante zu einer Einsparung von 8 Mio. t RME Primärmaterial geführt hat, darunter 6,2 Mio. t RME Holz und 1.7 Mio. t RME an fossiler Energie. Bei Einbeziehung von entsprechenden Einspareffekten in der übrigen Welt ergibt sich ein in etwa doppelt so hoher Effekt²⁴. (siehe V11 in Abbildung 49).

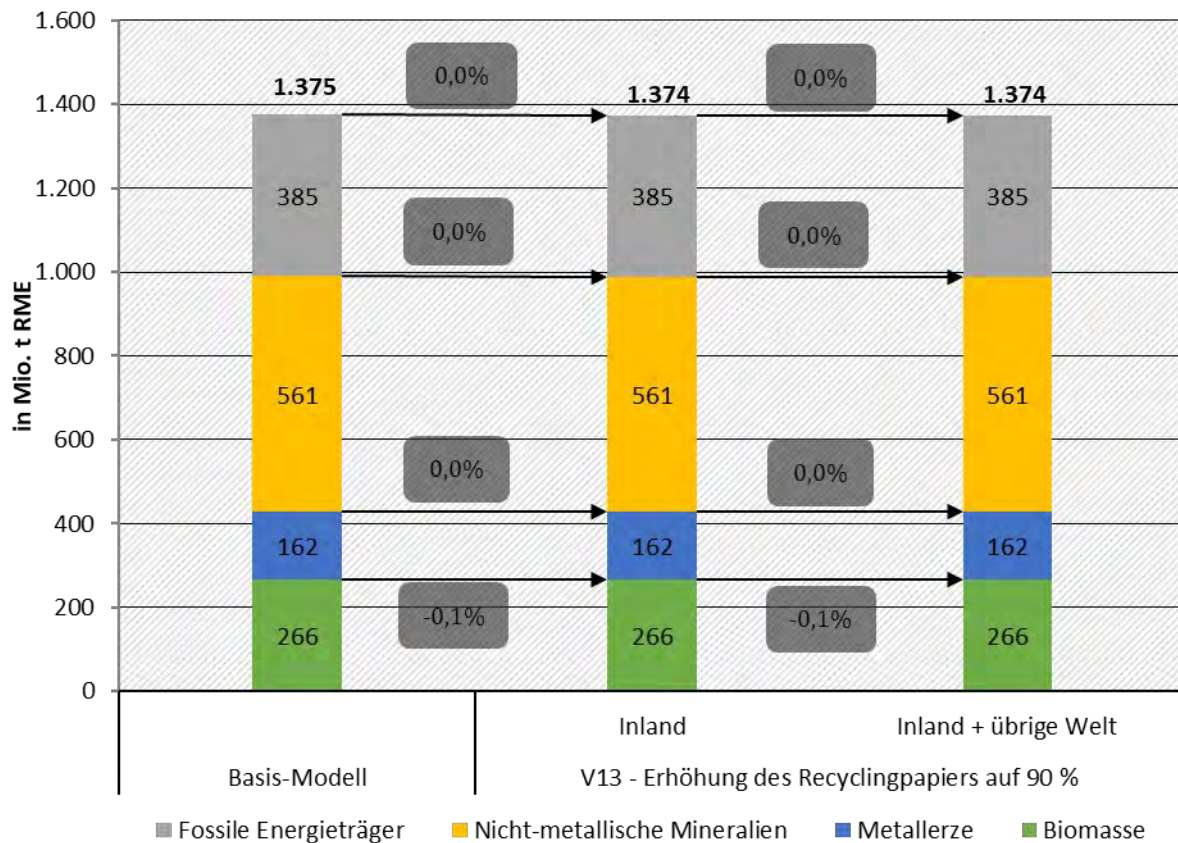
Bei der Erhöhung des Recyclinganteils bei Papier auf 100 % (V12) fällt die Verwendung des Papiersektors von Industrieholz auf null, und eine vollständige Verwertung der Papierabfälle wird unterstellt (dafür keine Holzverwertung mehr). Der (theoretisch maximale) Einspareffekt bei vollständigem Papierrecycling gegenüber dem aktuellen Stand fällt mit -1,4 Mio. t RME relativ gering aus (-0,1 %), da bereits im Basisjahr eine relativ hohe Recyclingrate (ca. 85 %) realisiert wurde. (siehe V12 in Abbildung 49)

Gegenüber dem Grundmodell wird bei einer leichten Erhöhung des Recyclinganteils bei Papier auf 90 % (V13) eine Verringerung der Industrieholznutzung und Erhöhung der Papierverwertung (stofflich) angenommen, wodurch u.a. der Energieeinsatz sinkt. Der Einspareffekt fällt mit -0,04 % Verminderung der Rohstoffverwendung gering aus (siehe V13 in Abbildung 49).

²⁴ Hinweis: hier wird nur der Effekt der Substitution der Primärpapier durch Sekundärpapier betrachtet. Nicht berücksichtigt als Recycling wurde die Tatsache, dass bei der Herstellung von Primärpapier nicht nur Neuholz sondern auch Abfallholz zum Einsatz kommt

Abbildung 49: V11 - V13 - 0 % (oben)/ 90 % (unten)/ 100 % (Mitte) -Papier-Recycling (c.p.)



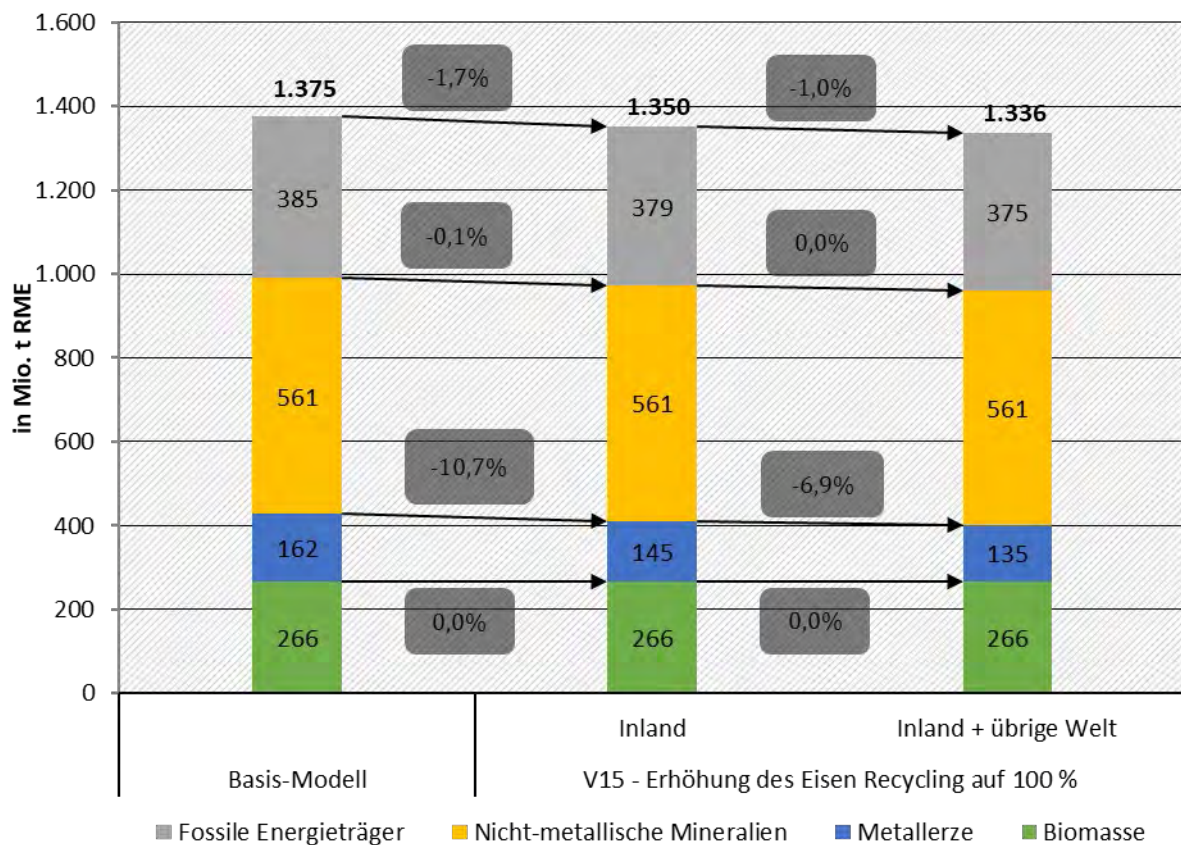
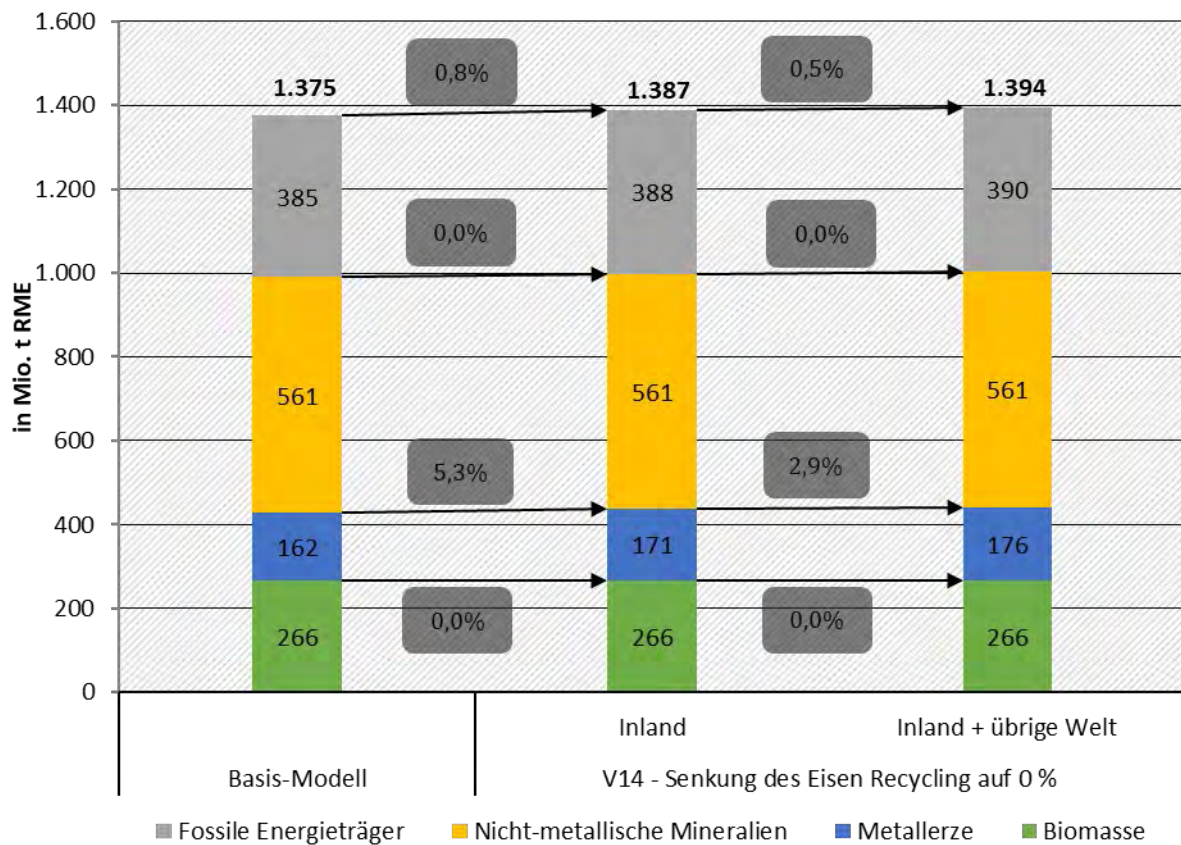


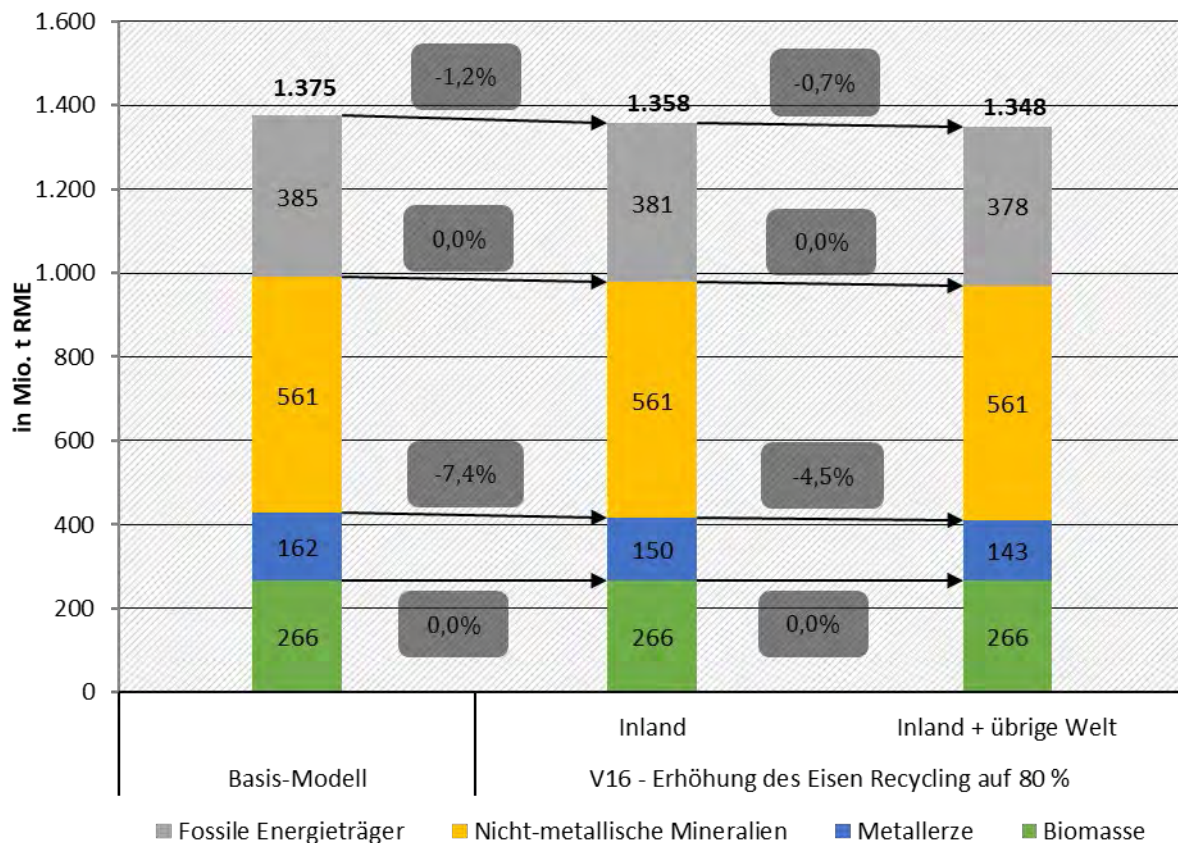
Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V14 – V16 – 0 %/ 80 %/ 100 %-Eisen Recycling: Im Grundmodell liegt der Anteil des Primäreisens bei 67 % und der Anteil des Sekundäreisens bei 33 %. Ein Anteil von 80 % Sekundäreisen wird als realistisch betrachtet. Ähnlich wie bei Papier (V11-13) wird nur der Effekt der Substitution von Primäreisen durch Sekundäreisen betrachtet. Nicht berücksichtigt als Recycling wurde die Tatsache, dass bei der Herstellung von Primäreisen aus technischen Gründen nicht ausschließlich Metallerz, sondern in erheblichem Umfang auch Schrott eingesetzt wird.

Bei Eisen sind Einspareffekte relativ hoch. V14 ermöglicht Rückschlüsse auf die (im Grundmodell) eingesparte Menge an Metallerzen durch etablierte Recyclingaktivitäten; diese beläuft sich auf etwa 8,7 Mio. t RME, weiterhin werden 3,2 Mio. t fossile Rohstoffe vermieden. Bei einem Eisen-Recycling von 80 % (V16) können deutliche Einspareffekte erzielt werden; der RMC vermindert sich c.p. um -1,2 %, in der Materialgruppe Metallerze sogar um -7,4 % (inländische Technologieänderung), etwa 4,6 Mio. t RME weniger als im Grundmodell. Eine Erhöhung auf 100 % (V15) würde eine weitere Verminderung der Rohstoffverwendung bewirken; -1,8 % (inländisch) bzw. -2,8 % wenn auch der Rest der Welt ein vollständiges Eisenrecycling umsetzt (Abbildung 50).

Abbildung 50: V14 – V16 – 0 % (oben) / 80 % (unten) / 100 % (Mitte) – Eisen Recycling (c.p.)

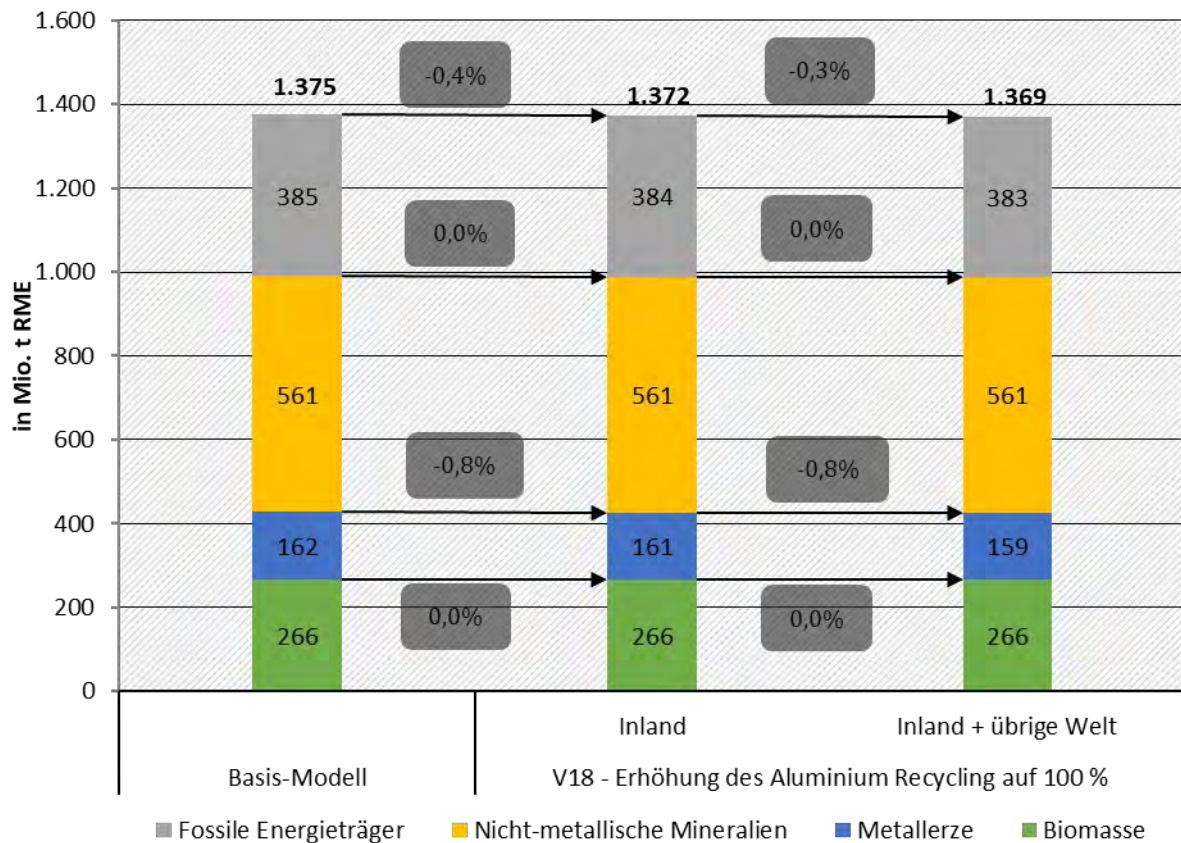
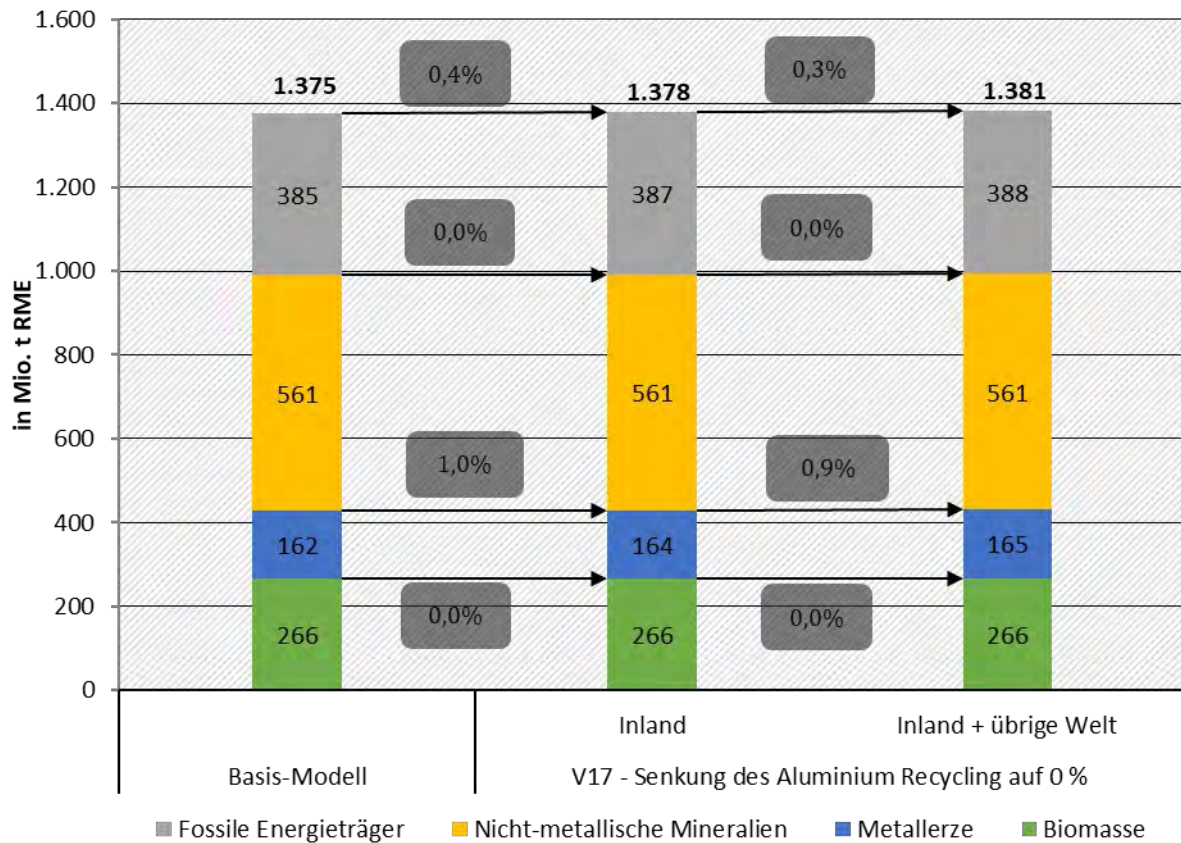


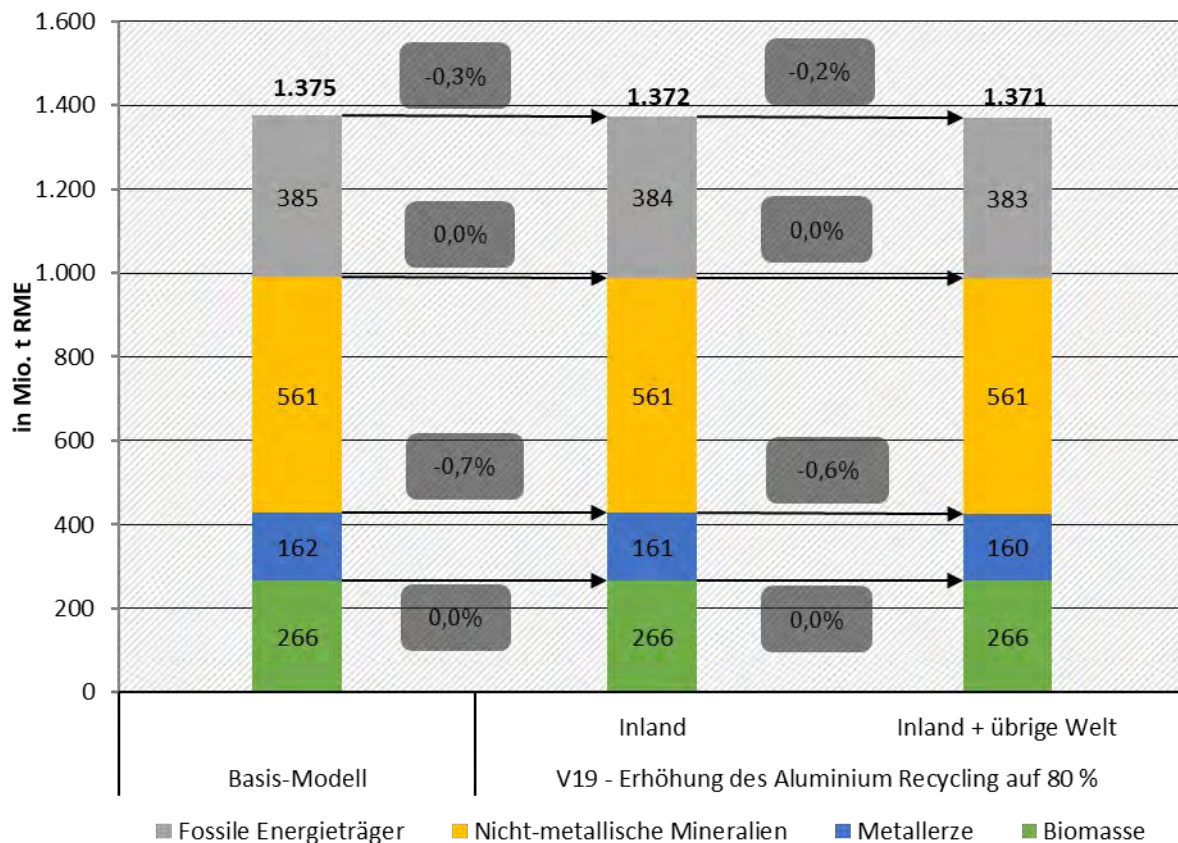


Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V17 - V19 - 0 %/ 80 %/ 100 %-Aluminium-Recycling: Im Grundmodell liegt der Anteil der Primäraluminiumnutzung bei 55,7 % die Sekundäraluminiumnutzung bei 54,3 %. Ein Anteil von 90 % Aluminiumschrott wird als realistisch betrachtet. Bei Aluminium sind die Einspareffekte durch Recycling deutlich geringer als bei Eisen. Bemerkenswert ist aber, dass bei einer verstärkten Nutzung von Sekundäraluminium nicht nur Erz, sondern in erheblichem Umfang auch Energie (fossile und erneuerbare) eingespart wird, da die Aluminiumherstellung besonders energieintensiv ist. V17 ermöglicht Rückschlüsse auf die (im Grundmodell) eingesparte Menge an Metallerzen durch etablierte Recyclingaktivitäten; diese beläuft sich auf etwa 1,6 Mio. t RME, ebenso werden 1,6 Mio. t fossile Rohstoffe weniger verbraucht. Bei einer Aluminiumschrotteinsatzquote von 90 % (V19) können leichte Einspareffekte erzielt werden; der RMC vermindert sich c.p. um -0,2 %, in der Materialgruppe Metallerze um -0,7 % (inländische Technologieänderung), etwa 1,1 Mio. t RME weniger als im Grundmodell. Eine Erhöhung auf 100 % (V18) würde eine weitere Verminderung der Rohstoffverwendung gegenüber dem Basisjahr bewirken; -0,2 % (inländisch) bzw. -0,4 % wenn auch der Rest der Welt nur noch Aluminiumschrotte nutzen würde (Abbildung 51).

Abbildung 51: V17 – V19 – 0 % (oben) / 80 % (unten) / 100 % (mitte) – Aluminium Recycling (c.p.)

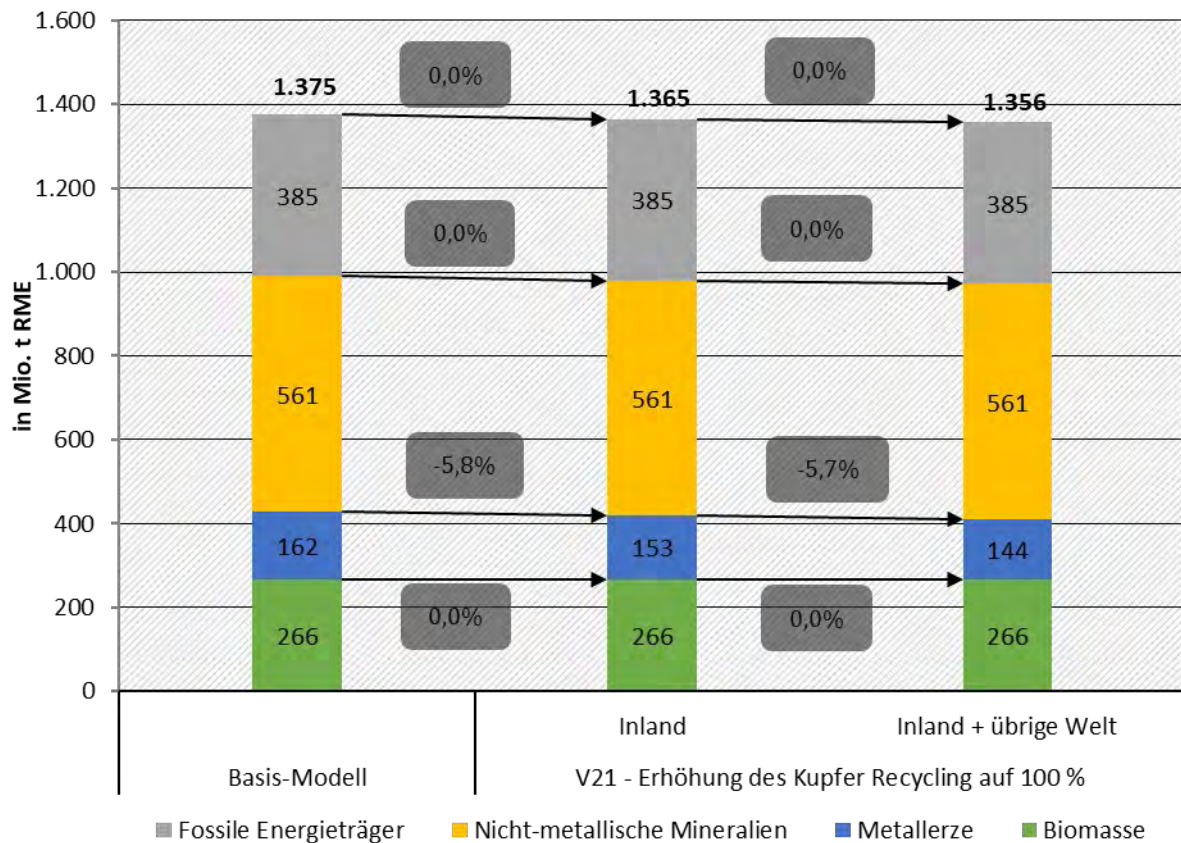
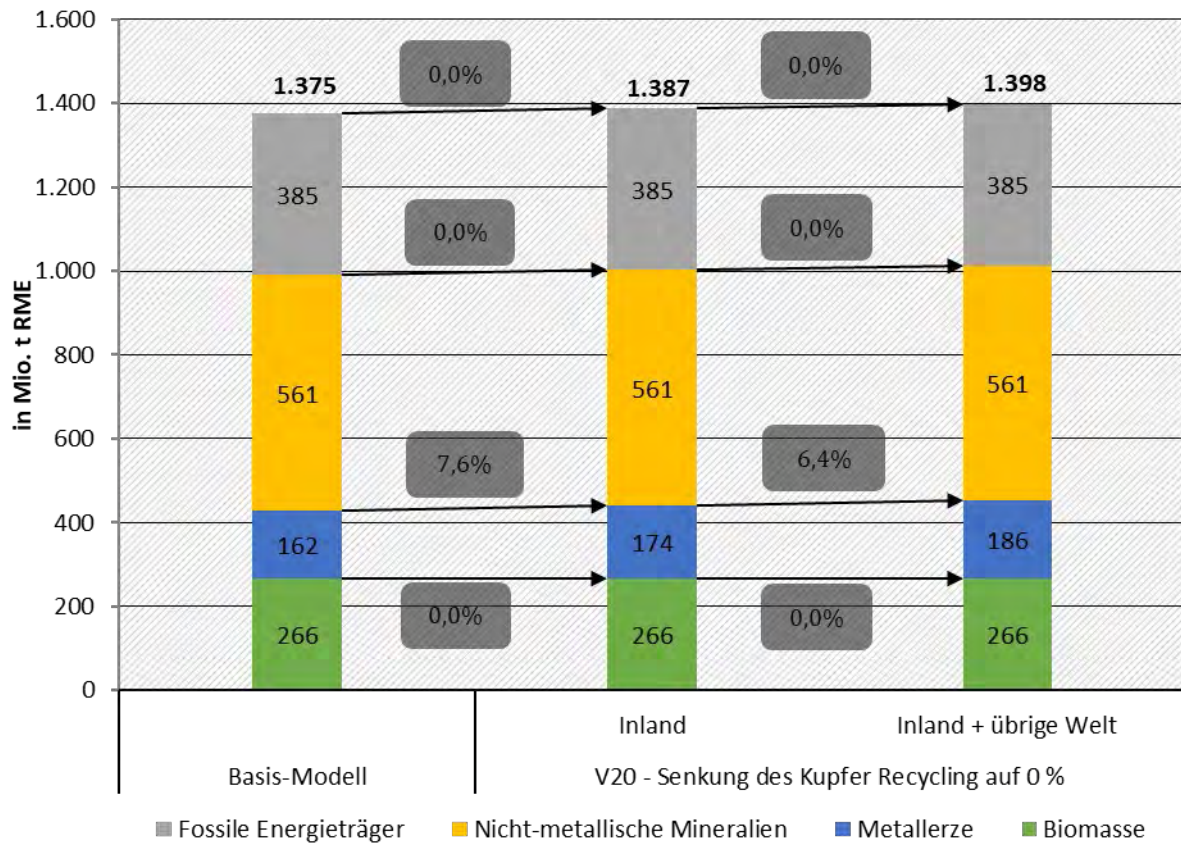


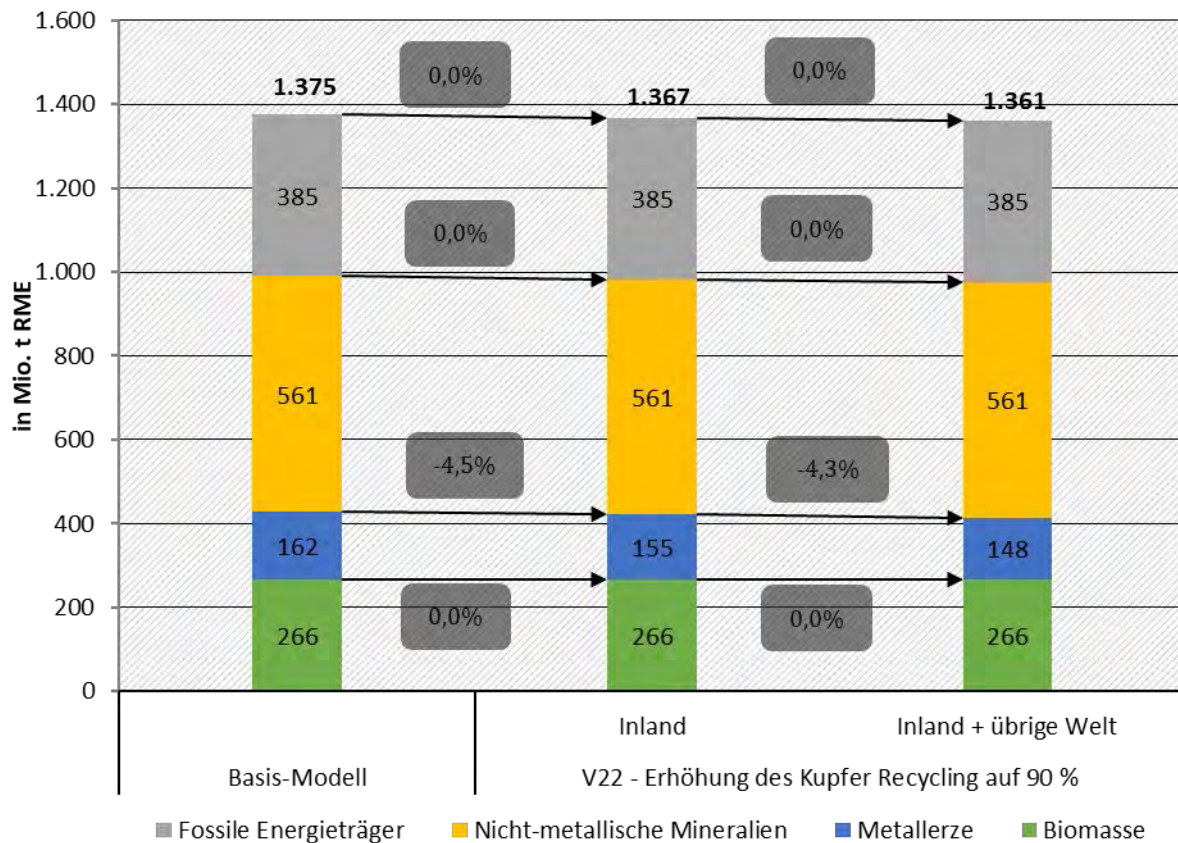


Quelle: Eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

V20 – V22 – 0 %/ 90 %/ 100 %-Kupfer-Recycling: 2010 lag der Anteil der Primärkupfer-nutzung bei 53,6 %, die Sekundärkupfer-nutzung bei 46,4 %. Eine Einsatzquote von 90 % Kupferschrotten wird als realistisch betrachtet. Bei Kupfer kommt es ähnlich wie bei Eisen (siehe V14–16) zu vergleichsweise deutlichen Einspareffekten durch Recycling. Die im Jahr 2010 etablierten Recyclingaktivitäten sparen 12,4 Mio. t RME (Inland) ein. Werden auch Recycling-aktivitäten im Rest der Welt betrachtet, liegt der Einspareffekt doppelt so hoch (ca. 23,7 Mio. t RME). Die Schonung von Ressourcen tangiert bei Kupfer hauptsächlich Metallerze. Würde der Anteil von Kupferschrotten im Inland auf 90 % gesteigert (V22), ließe sich der RMC um -0,5 % (-7,5 Mio. t RME) senken. Erhöht auch der Rest der Welt den Schrottanteil auf 90 %, würde die Rohstoffverwendung um -1 % sinken (-14,1 Mio. t RME). Bei einer vollständigen Kreislauf-führung von Kupfer im In- und Ausland (V21) lässt sich ein deutlicher Einspareffekt erreichen; im Vergleich zum Grundmodell liegt der RMC um -1,3 % (-18,1 Mio. t RME) und die Verwendung von Metallerzen um -11 % unter dem Basiswert (Abbildung 52).

Abbildung 52: V20 – V22 – 0 % (oben) / 90 % (unten) / 100 % (Mitte) – Kupfer Recycling (c.p.)





Quelle: Eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

4.5 Fazit und Umsetzung im DeuRes II-Bericht

4.5.1 Fazit

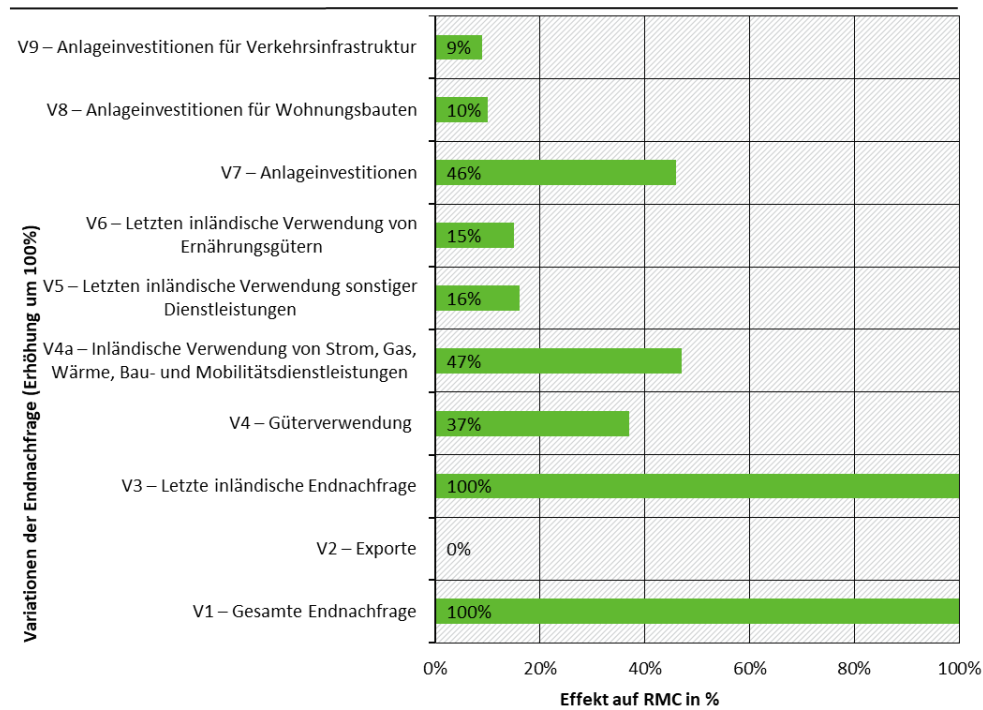
Ziel dieser Arbeiten war es, verschiedene Faktoren zu variieren und ihren isolierten Effekt (c.p.) auf den Rohstoffkonsum (RMC) zu untersuchen. Die getroffenen Annahmen hatten dabei nicht den Anspruch einer realistischen Umsetzung, sondern sollten die prinzipielle Hebelwirkung einzelner Faktoren verdeutlichen. In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der Simulationsvarianten V1 bis V22 und deren Einfluss auf den RMC bezogen auf das Ausgangsjahr 2010 zusammenfassend dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass eine Veränderung verschiedener Kategorien der Endnachfrage einen mittleren bis starken Effekt auf den RMC hat. Eine Erhöhung rohstoffintensiver Güterverwendungen wirkt sich deutlich stärker aus als eine Variation der Endnachfrage nach Dienstleistungen. Weitere Stellschrauben sind die Anlageinvestitionen, die materialintensiven Investitionen im Baubereich und in den Verkehrsinfrastrukturen (Abbildung 53 und Tabelle 15).

Die Einflussnahme durch die Produktionstechnologie ist vor dem Hintergrund noch nicht ausgenutzter Effizienzpotenziale interessant und kann wesentlich zur Minderung des Rohstoffkonsums beitragen. Eine verstärkte Nutzung von Sekundärrohstoffen, v. a. bei Metallen wie Eisen und Kupfer, ist im Sinne einer auf Ressourcenschonung ausgerichteten Politik ein wichtiger und sinnvoller Hebel (Abbildung 54 und Tabelle 15).

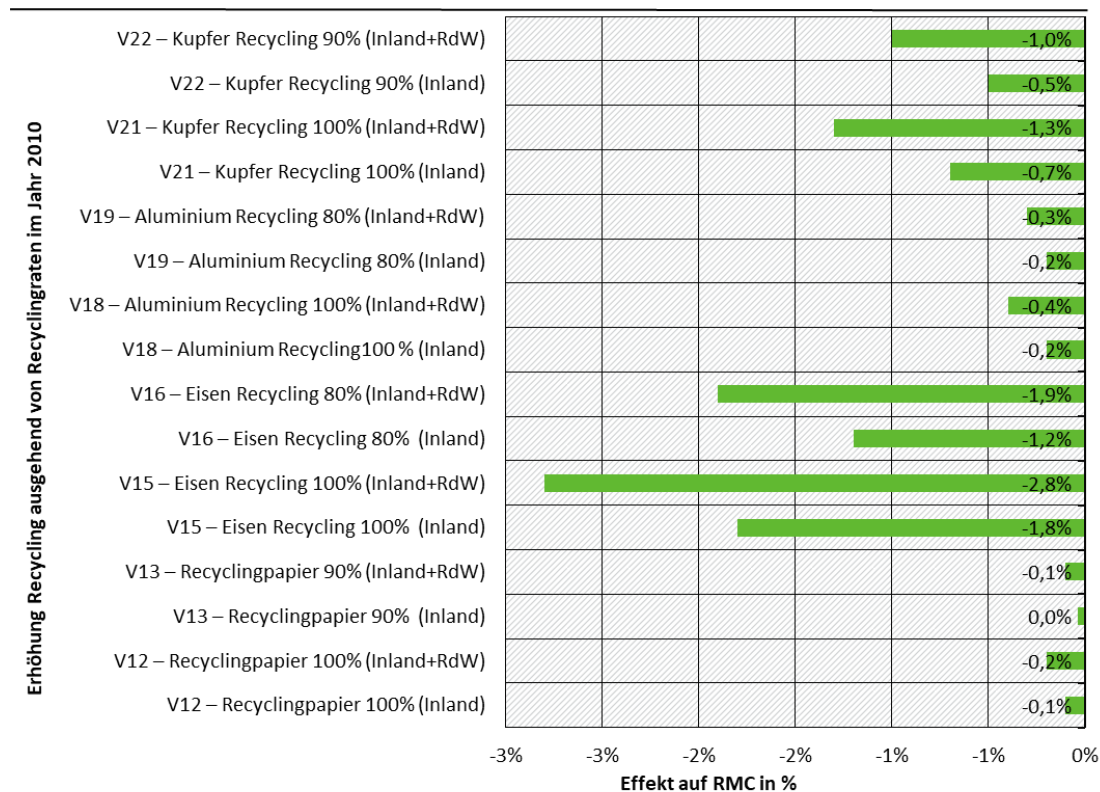
Abbildung 54 zeigt wiederum die Effekte der Erhöhung von Recyclingraten verschiedener Materialien auf den RMC ausgehend vom Basiswert (2010).

Abbildung 53: Auswirkungen der Erhöhung unterschiedlicher Parameter der Endnachfrage um 100% auf den Rohstoffkonsum (RMC) (für 2010)



Quelle: eigene Berechnungen, Ifeu/SSG

Abbildung 54: Auswirkungen der Erhöhung der Recyclingraten verschiedener Materialien auf den Rohstoffkonsum (RMC) (ausgehend von Recyclingraten im Jahr 2010)



Quelle: eigene Berechnungen, Ifeu/SSG; Anmerkung: RdW = Rest der Welt

Tabelle 15: Zusammenfassung der Simulationsvarianten V1 – V9 auf den RMC in % (für 2010)

Variation	Effekt auf RMC
Variation der Endnachfrage	
V1 – Erhöhung der gesamten Endnachfrage um 100 %	100%
V2 – Erhöhung der Exporte um 100 %	0%
V3 – Erhöhung der letzten inländischen Endnachfrage um 100%	100%
V4 – Erhöhung der Güterverwendung um 100 %	37%
V4a – Erhöhung der inländischen Verwendung von Strom, Gas, Wärme, Bau- und Mobilitätsdienstleistungen um 100 %	47%
V5 – Erhöhung der letzten inländischen Verwendung sonstiger Dienstleistungen um 100 %	16%
V6 – Erhöhung der letzten inländischen Verwendung Ernährungsgütern um 100%	15%
V7 – Erhöhung der Anlageinvestitionen um 100 %	46%
V8 – Erhöhung der Anlageinvestitionen für Wohnungsbauten um 100 %	10%
V9 – Erhöhung der Anlageinvestitionen für Verkehrsinfrastruktur um 100%	9%

Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

Tabelle 16: Zusammenfassung der Simulationsvarianten V10 – V22 auf den RMC in % (für 2010)

Variation der Produktionstechnologie		
V10 – Reduktion der Inputintensitäten aller Produktionsaktivitäten um 50 %	Inland	-59,0%
	Inland + Rest der Welt	-65,6%
V11 – Senkung des Recyclingpapiers auf 0%	Inland	0,6%
	Inland + Rest der Welt	1,1%
V12 – Erhöhung des Recyclingpapiers auf 100 %	Inland	-0,1%
	Inland + Rest der Welt	-0,2%
V13 – Erhöhung des Recyclingpapiers auf 90 %	Inland	-0,04%
	Inland + Rest der Welt	-0,1%
V14 – Senkung des Eisen Recycling auf 0 %	Inland	0,9%
	Inland + Rest der Welt	1,4%
V15 – Erhöhung des Eisen Recycling auf 100 %	Inland	-1,8%
	Inland + Rest der Welt	-2,8%
V16 – Erhöhung des Eisen Recycling auf 80 %	Inland	-1,2%
	Inland + Rest der Welt	-1,9%
V17 – Senkung des Aluminium Recycling auf 0 %	Inland	0,2%
	Inland + Rest der Welt	0,4%
V18 – Erhöhung des Aluminium Recycling auf 100 %	Inland	-0,2%
	Inland + Rest der Welt	-0,4%
V19 – Erhöhung des Aluminium Recycling auf 80 %	Inland	-0,2%
	Inland + Rest der Welt	-0,3%
V20 – Senkung des Kupfer Recycling auf 0 %	Inland	0,9%
	Inland + Rest der Welt	1,7%
V21 – Erhöhung des Kupfer Recycling auf 100 %	Inland	-0,7%
	Inland + Rest der Welt	-1,3%
V22 – Erhöhung des Kupfer Recycling auf 90 %	Inland	-0,5%
	Inland + Rest der Welt	-1,0%

Quelle: eigene Darstellung eigener Ergebnisse SSG/ifeu

4.5.2 Umsetzung im Ressourcenbericht 2022

Ausgewählte Ergebnisse aus den oben genannten Simulationen flossen in den Ressourcenbericht 2022 ein, und zwar im Spezialkapitel zur zukünftigen Rohstoffnutzung, vierte Doppelseite zu technischen Änderungen. So wurde beispielsweise ein Schaubild erstellt, das den Einfluss des erhöhten Recyclings von Kupfer, Eisen und Aluminium auf den RMC zeigt. Die eingesparten

Rohstoffe wurden zudem hinsichtlich der Einsparungen von Treibhausgas-Emissionen, von Süßwasser- und Landverbrauch umgerechnet. Basierend auf den Berechnungen wurden neue Grafiken für den Ressourcenbericht erstellt (s. Kap. 5).

5 Spezifische Aspekte der Ressourcennutzung in Deutschland

Dittrich, M., Limberger, S., Ewers, B.

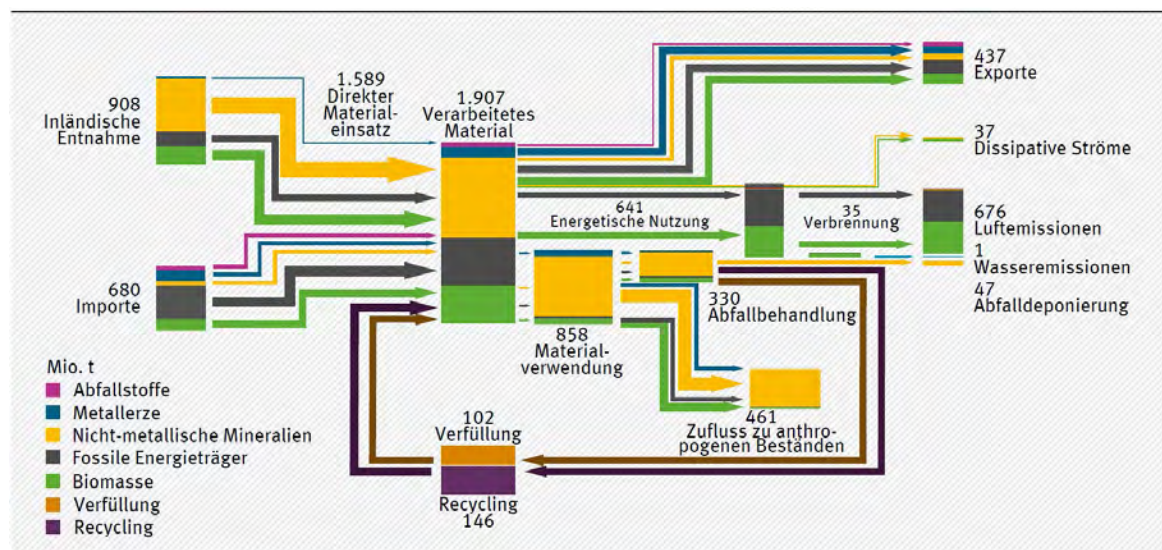
Auf Basis der Arbeiten an der Weiterentwicklung der Datengrundlagen wurden zahlreiche Abbildungen für den Ressourcenbericht 2022 erstellt. Im Folgenden werden die wichtigsten Abbildungen dokumentiert, die in den Ressourcenbericht übernommen wurden. Diese sind die Aktualisierung des Sankey-Diagramms für die Primär- und Sekundärflüsse in Deutschland nach Rohstoffgruppen, die vergleichende Darstellung der Umweltgefährdungspotenziale, Deutschlands Umweltinanspruchnahme im Vergleich zu den Planetaren Grenzen und eine vergleichende Aufbereitung der Ressourcenschonung durch Technologiewandel.

5.1 Kreislaufwirtschaft

Im Ressourcenbericht sollten die Rohstoffflüsse einschließlich der Sekundärflüsse dargestellt werden. Diese waren basierend auf den Daten und dem Verfahren von Eurostat²⁵ in der Publikation „Sekundärrohstoffe in Deutschland“ (Dittrich et al. 2021) für das Jahr 2017 publiziert. Für den Rohstoffbericht wurde das Schaubild in Absprache mit dem Umweltbundesamt auf das Jahr 2019 aktualisiert (siehe Abbildung 55).

Das Sankey-Diagramm zeigt die Materialflüsse in Deutschland (ohne Umrechnung der Importe und Exporte in Rohstoffäquivalente). Es wird deutlich, dass die stofflich genutzten Flüsse (Materialverwendung, Recycling, Verfüllung) sehr stark durch die nichtmetallischen Mineralien dominiert werden. Bei den Im- und Exporten dagegen spielen die nicht-metallischen Mineralien eine kleinere Rolle. Die Importe werden bei einer Betrachtung der reinen Massenflüsse von den fossilen Rohstoffen dominiert. Es zeigt sich, dass neben dem Recycling (146 Mio. Tonnen) die Verfüllung mit 102 Mio. t einen relevanten Strom der Wiederverwertung darstellt.

Abbildung 55: Direkte Rohstoffflüsse durch die deutsche Wirtschaft nach Rohstoffgruppen, 2019



Ergebnisse sind aufgrund unterschiedlicher Methodik nicht mit Abb. 33 vergleichbar. Daten wurden von Eurostat übernommen (Datenstand 2021).

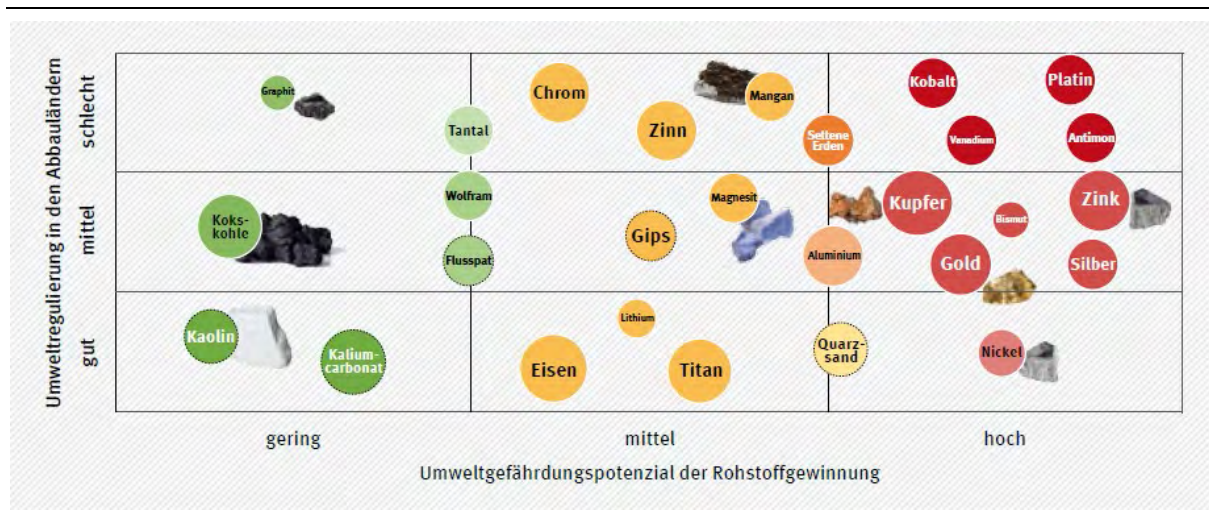
Quelle: eigene Darstellung

²⁵ https://ec.europa.eu/eurostat/cache/sankey/circular_economy/sankey.html

5.2 Umweltgefährdungspotenziale

Für den Ressourcenbericht wurde eine Doppelseite zu den Umweltgefährdungspotenzialen der bergbaulichen Rohstoffgewinnung entwickelt. Eine wichtige Quelle waren die Endberichte des Projekts ÖkoRess²⁶ (Dehoust et al. 2020), in der verschiedene Rohstoffe hinsichtlich ihres Umweltgefährdungspotenzials analysiert und systematisiert wurden. Für den Ressourcenbericht wurden Rohstoffe ausgewählt und in der im Folgenden dargestellten Abbildung verdichtet (siehe Abbildung 56).

Abbildung 56: Umweltgefährdungspotenzial und Umweltregulierung in Abbauländern nach Rohstoffen



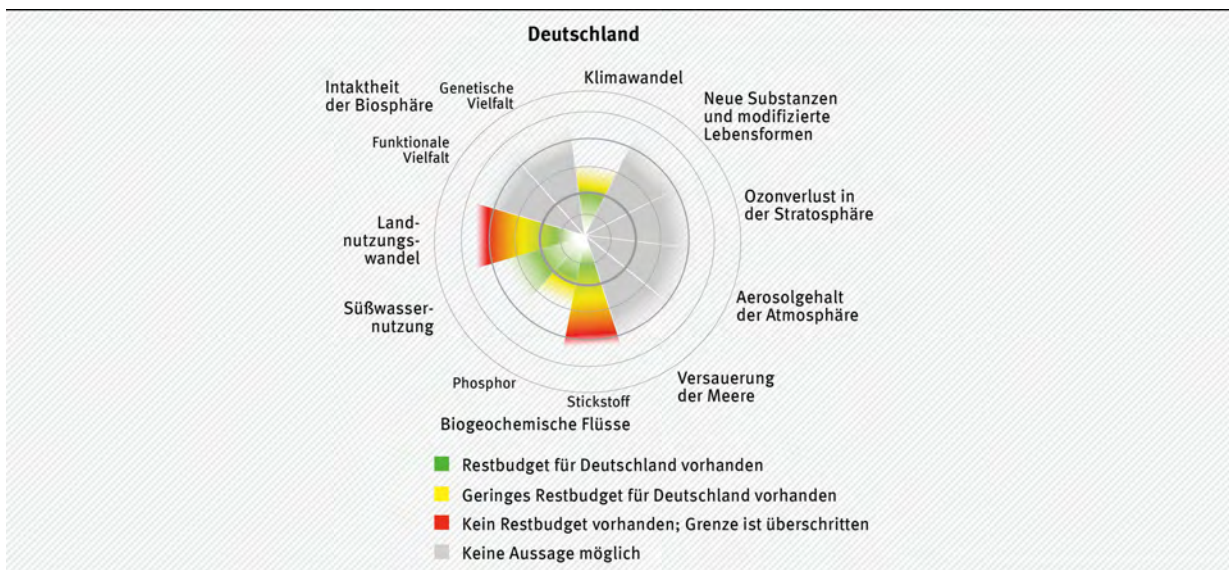
Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten von Dehoust et al. 2020; BGR 2020

5.3 Planetare Grenzen

Im Ressourcenbericht wurde eine Doppelseite zur Rohstoffnutzung innerhalb der Planetaren Grenzen gestaltet. Neben der adaptierten Graphik von Steffen et al. 2015), welche die Überschreitung der planetaren Grenzen auf globaler Ebene für neun unterschiedliche Dimensionen darstellt, wurde dieselbe Darstellung auch für Deutschland hergeleitet (Abbildung 57). Hierfür wurden Ergebnisse aus dem Bericht von Dittrich et al. 2021 herangezogen und das Gleichheitsprinzip zur Disaggregation der globalen Grenzwerte genutzt. Für die Dimensionen Klimawandel, Landnutzungswandel, sowie Biogeochemische Flüsse war auf Basis von Dittrich et al. 2021 eine Einordnung zum verbleibenden „Verschmutzungsbudget“ Deutschlands möglich, für die verbleibenden Dimensionen nicht, unter anderem weil zum Zeitpunkt der Erstellung die Belastbarkeitsgrenzen noch nicht definiert waren. Im Jahr 2022 wurden zusätzliche Belastungsgrenzen für neue Substanzen und eine Aktualisierung für Süßwassergrenzen formuliert, die jedoch nicht mehr berücksichtigt werden konnten (Wang-Erlandsson et al. 2022; Persson et al. 2022).

²⁶ <https://www.umweltbundesamt.de/umweltfragen-oekoress>

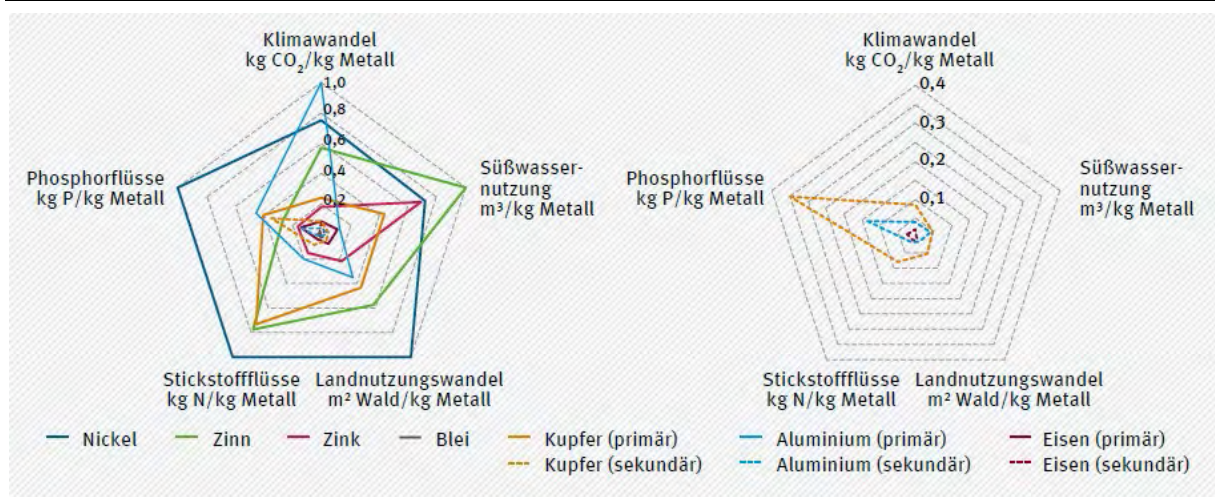
Abbildung 57: Das Konzept der planetaren Grenzen für Deutschland



Quelle: eigene Darstellung

Weiterhin wurde in Form eines Netzdiagramms die Verarbeitung unterschiedlicher Metalle auf deren Beitrag zu den Dimensionen der planetaren Grenzen untersucht (siehe Abbildung 58). Es wurde zudem eine Gegenüberstellung der Beiträge von Primär- und Sekundärmetallen vorgenommen, um die deutlich geringen Folgen der Metallverarbeitung der Sekundärmetalle auf die Dimensionen der Planetaren Grenzen zu verdeutlichen. Für die indizierten Werte wurden Sachbilanzen aus Ecoinvent 3.6 genutzt. Die genutzten Sachbilanzen umfassen für Primärmetalle weitestgehend die Prozessschritte bis zur Produktion des reinen Metalls, bei Sekundärmetallen die Aufbereitung der Schrotte. Die Weiterverarbeitung (z.B. zu Rohren, Drähten, etc.) wurde nicht berücksichtigt.

Abbildung 58: Folgen der Verarbeitung von Primär- und Sekundärmetallen für Dimensionen der planetaren Grenzen

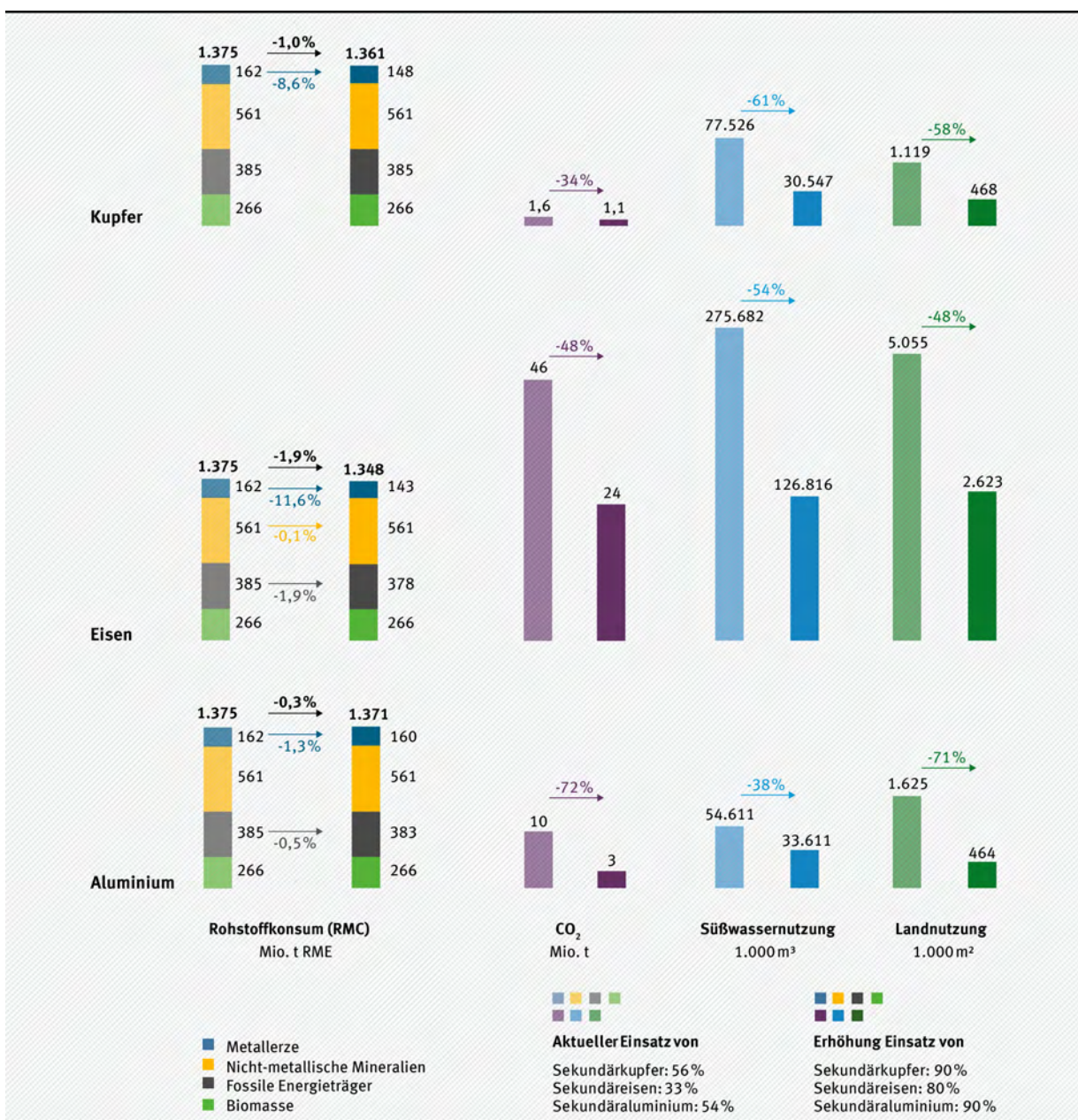


Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten aus Ecoinvent 3.6

5.4 Ressourcenschonung durch Technologiewandel

Basierend auf den Ergebnissen aus den Simulationen, die in Kapitel 4 vorgestellt werden, wurde das Schaubild in Abbildung 59 entworfen. Es zeigt fokussiert die Verbesserungen beim RMC, die sich ergeben, wenn die Anteile der Sekundärrohstoffe (Schrotte) bei der Produktion von Kupfer, Eisen bzw. Aluminium steigen. Zusätzlich wurden die Auswirkungen hinsichtlich der CO₂-Emissionen sowie der Süßwasser- und Landnutzung unter Nutzung der durchschnittlichen Wirkungen pro Rohstoff auf der Basis von Ecoinvent Version 3.6 ermittelt und dargestellt. Die genutzten Sachbilanzen umfassen für Primärmetalle weitestgehend die Prozessschritte bis zur Produktion des reinen Metalls, bei Sekundärmetallen die Aufbereitung der Schrotte. Die Weiterverarbeitung (zu Rohren, Drähten, etc.) wurde nicht berücksichtigt.

Abbildung 59: Auswirkung einer stärkeren Sekundärnutzung von Kupfer, Eisen und Aluminium auf den Rohstoffkonsum (RMC) sowie resultierende Umweltfolgen, Basisjahr 2010



Quelle: eigene Darstellung basierend auf eigenen Ergebnissen und Ecoinvent Version 3.6

6 Quellenverzeichnis

- BGR (2020): Deutschland – Rohstoffsituation 2019. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover. Online verfügbar unter https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
- BMU (2012): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess). Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz natürlicher Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf.
- BMU (2016): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf.
- BMU (2020): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III. 2020-2023. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Ressourceneffizienz/progress_iii_programm_bf.pdf, zuletzt geprüft am 01.07.2020.
- Bundesregierung (2016a): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II. Fortschrittsbericht 2012 – 2015 und Fortschreibung 2016 – 2019. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Berlin.
- Bundesregierung (2016b): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-neuauflage-2016-download-bpa-data.pdf?download=1>.
- Bundesregierung (2021a): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/7c0614aff0f2c847f51c4d8e9646e610/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-barrierefrei-data.pdf?download=1>.
- Bundesregierung (2021b): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021 – 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP). Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>, zuletzt geprüft am 16.08.2022.
- Defourny, J.; Thorbecke, E. (1984): Structural path analysis and multiplier decomposition within a social accounting matrix framework. In: *Economic Journal* 94, S. 111–136.
- Dehoust, G.; Manhart, A.; Möck, A.; Kießling, L.; Vogt, R.; Kämper, C. et al. (2020): Weiterentwicklung von Handlungsoptionen einer ökologischen Rohstoffpolitik - ÖkoRess II. Abschlussbericht. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 79/2020).
- Destatis (2020a): Gesamtwirtschaftliches Materialkonto. Berichtszeitraum 1994 - 2017. Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Statistisches Bundesamt (Destatis). Wiesbaden.
- Destatis (2020b): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Input-Output-Rechnung 2018 (Revision 2019, Stand: August 2020). Fachserie 18 Reihe 2. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden.

Destatis (2021a): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten. Berichtszeitraum 2000-2018. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden.

Destatis (2021b): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen des Bundes. Preisbereinigte Volumenangaben und Wachstumsbeiträge. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Inlandsprodukt/preisbereinigte-volumenangaben-jahr-pdf-5811111.html>, zuletzt geprüft am 28.03.2023.

Dittrich, M.; Auberger, A.; Limberger, S.; Ewers, B. (2020a): Monitoring internationale Ressourcenpolitik. Abschlussbericht. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 51/2020). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-03-12_texte_51-2020_monitoring-internationale-ressourcenpolitik.pdf.

Dittrich, M.; Dünnebeil, F.; Köppen, S.; Oehsen, A. von; Vogt, R.; Biemann, K. et al. (2020b): Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland - Vergleich der Szenarien. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 06/2020). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_28_cc_06-2020_endbericht_vergleich_szenarien.pdf.

Dittrich, M.; Gerhardt, N.; Schoer, K.; Dünnebeil, F.; Becker, S.; Oehsen, A. von et al. (2020c): Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland - GreenEe. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 01/2020).

Dittrich, M.; Gerhardt, N.; Schoer, K.; Dünnebeil, F.; Becker, S.; Oehsen, A. von et al. (2020d): Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland - GreenLate. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 02/2020).

Dittrich, M.; Gerhardt, N.; Schoer, K.; Dünnebeil, F.; Becker, S.; Oehsen, A. von et al. (2020e): Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland - GreenLife. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 04/2020).

Dittrich, M.; Gerhardt, N.; Schoer, K.; Dünnebeil, F.; Becker, S.; Oehsen, A. von et al. (2020f): Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland - GreenMe. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 03/2020). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_28_cc_03-2020_endbericht_greenme.pdf.

Dittrich, M.; Gerhardt, N.; Schoer, K.; Dünnebeil, F.; Becker, S.; Oehsen, A. von et al. (2020g): Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland - GreenSupreme. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 05/2020). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_28_cc_05-2020_endbericht_greensupreme.pdf.

Dittrich, M.; Limberger, S.; Doppelmayr, A.; Bischoff, M. (2023): Monitoring internationale Ressourcenpolitik (MoniRes II). Endbericht. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 05/2023). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_05-2023_monitoring_internationale_ressourcenpolitik.pdf.

Dittrich, M.; Limberger, S.; Ewers, B.; Stalf, M.; Knappe, F.; Vogt, R. (2021): Sekundärrohstoffe in Deutschland. im Auftrag des NABU. Heidelberg.

Dittrich, Monika; Kämper, Claudia; Ludmann, Sabrina; Ewers, Birte; Giegrich, Jürgen; Sartorius, Christian et al. (2018): Strukturelle und produktionstechnische Determinanten der Ressourceneffizienz: Untersuchung von Pfadabhängigkeiten, strukturellen Effekten und technischen Potenzialen auf die zukünftige Entwicklung der Rohstoffproduktivität (DeteRes). Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE,

29/2018). Online verfügbar unter

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-04-11_texte_29-2018_deteress.pdf.

ECORYS; CRI; CE (2013): Nowcasting of and target setting for resource efficiency indicators. ECORYS; Copenhagen Resource Institute; Cambridge Econometrics. Rotterdam. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/studies/RE%20indicators.pdf, zuletzt geprüft am 28.03.2023.

EEA (2020): Resource efficiency and the circular economy in Europe 2019 – even more from less. An overview of the policies, approaches and targetsof 32 European countries. European Environment Agency. Luxemburg (EEA Report, 26/2019).

Europäische Kommission (2019): Der europäische Grüne Deal. Europäische Kommission. Brüssel (COM(2019) 640 final). Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 17.06.2020.

Europäische Kommission (2020): Customs: Commission publishes the 2021 Combined Nomenclature. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter https://taxation-customs.ec.europa.eu/news/customs-commission-publishes-2021-version-combined-nomenclature-2020-10-30_en#:~:text=1%20January%202021.-,The%20European%20Commission%20has%20published%20the%20latest%20version%20of%20the,to%20intra%20Union%20trade%20statistics., zuletzt aktualisiert am 30.10.2020, zuletzt geprüft am 07.02.2023.

European Commission (2019): The European Green Deal. European Commission. Brüssel (COM(2019) 640 final). Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 17.06.2020.

European Commission (2020): Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe. European Commission. Brüssel, zuletzt geprüft am 27.04.2020.

Eurostat (2012): Estimates for Raw Material Consumption (RMC) and Raw Material Equivalents (RME) conversion factors. Statistical Office of the European Communities. Luxemburg.

Eurostat (2013a): Economy-wide material flow accounts (EW-MFA). Compilation Guide 2013. Luxemburg. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6191533/2013-EW-MFA-Guide-10Sep2013.pdf/54087dfb-1fb0-40f2-b1e4-64ed22ae3f4c>, zuletzt geprüft am 28.03.2023.

Eurostat (2013b): Glossary: Statistical classification of products by activity (CPA). Online verfügbar unter [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Statistical_classification_of_products_by_activity_\(CPA\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Statistical_classification_of_products_by_activity_(CPA)), zuletzt aktualisiert am 28.03.2023.

Eurostat (2019): Handbook for estimating raw material equivalents of imports and exports and RME-based indicators on the country level –based on Eurostat's EU RME model. Statistical Office of the European Communities. Luxemburg. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6874172/Handbook-country-RME-tool>.

Eurostat (2021a): COMEXT. International Trade Statistics. Statistical Office of the European Communities. Luxemburg. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/web/international-trade-in-goods/data/focus-on-comext>, zuletzt geprüft am 07.02.2023.

Eurostat (2021b): Complete energy balances (nrg_bal_c). Luxemburg. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/nrg_bal_c, zuletzt geprüft am 07.02.2023.

Eurostat (2021c): Economic accounts for agriculture - values at current prices (aact_eaa01). Luxembourg. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/aact_eaa01, zuletzt geprüft am 07.02.2023.

Eurostat (2021d): Material Flow Accounts (env_ac_mfa). Statistical Office of the European Communities. Luxembourg. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/view/env_ac_mfa, zuletzt geprüft am 07.02.2023.

Eurostat (2021e): Production of Manufactured Goods (Prodcom). Luxembourg. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/web/prodcom/overview>, zuletzt geprüft am 07.02.2023.

Eurostat (2021f): Structural Business Statistics (SBS). Luxembourg. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/web/structural-business-statistics>, zuletzt geprüft am 07.02.2023.

G20 (2019): Roadmap for the G20 Resource Efficiency Dialogue. Tokyo. Online verfügbar unter https://g20re.org/pdf/Roadmap_for_the_G20_Resource_Efficiency_Dialogue.pdf, zuletzt geprüft am 22.12.2022.

G7 (2022): G7 Berlin Roadmap on Resource Efficiency and Circular Economy (2022-2025). Online verfügbar unter <http://files.sitebuilder.name.tools/b4/81/b4818939-4864-4b51-9c59-93ac7a191b08.pdf>, zuletzt geprüft am 22.12.2022.

Giljum, Stefan; Wieland, Hanspeter; Lutter, Stephan; Eisenmenger, Nina; Schandl, Heinz; Owen, Anne (2019): The impacts of data deviations between MRIO models on material footprints: A comparison of EXIOBASE, Eora, and ICIO. In: *J Ind Ecol* 23 (3), S. 946–958. DOI: 10.1111/jiec.12833.

Hashimoto, S.; Matsui, S.; Matsuno, Y.; Nansai, K.; Murakami, S.; Moriguchi, Y... (2008): What Factors Have Changed Japanese Resource Productivity? A Decomposition Analysis for 1995 - 2002. In: *J Ind Ecol* 12 (5/6), S. 657–668.

Hirschnitz-Garbers, Martin; Distelkamp, Martin; Koca, Deniz; Meyer, Mark; Sverdrup, Harald (2018): Potentiale und Kernergebnisse der Simulationen von Ressourcenschonung(spolitik). Endbericht des Projekts „Modelle, Potentiale und Langfristszenarien für Ressourceneffizienz“ (Sim-Ress). Hg. v. Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt (FKZ 3712 93 102).

Jacob, K.; Werland, S.; Graaf, L.; Hirschnitz-Garbers, M.; Langsdorf, S.; Hinzmann, M. et al. (Hg.) (2015): Innovationsorientierte Ressourcenpolitik in planetaren Grenzen. Endbericht des Projekts Ressourcenpolitik: Analyse der ressourcenpolitischen Debatte und Entwicklung von Politikoptionen (PolRess). Online verfügbar unter https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6310/file/6310_PolRess.pdf.

Kaumanns, Sven; Lauber, Ursula (2016): Rohstoffe für Deutschland. Bedarfsanalyse für Konsum, Investition und Export auf Makro- und Mesoebene. Destatis im Auftrag des Umweltbundesamt. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (UBA Texte, 62/2016). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/rohstoffe_fur_deutschland.pdf.

Koning, Arjan de; Bruckner, Martin; Lutter, Stephan; Wood, Richard; Stadler, Konstantin; Tukker, Arnold (2015): Effect of aggregation and disaggregation on embodied material use of products in input–output analysis. In: *Ecological Economics* 116, S. 289–299. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2015.05.008.

Kristof, K.; Hennicke, P. (Hg.) (2010): Ergebnisse des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess). Wuppertal Institut für Klima, Energie und Umwelt. Wuppertal.

Lauber, Ursula; Schäfer, Dieter; Schoer, Karl (2004): Die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen als Grundlage der Diskussion von Umweltzielen und Umweltindikatoren. In: M. Huch (Hg.): Umweltziele und Indikatoren. Wissenschaftliche Anforderungen an Ihre Festlegung und Fallbeispiele. Unter Mitarbeit von Hubert

Wiggering, H. Geldmacher und Felix Müller. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg (Geowissenschaften und Umwelt Ser), S. 555–574.

Lenzen, Manfred; Geschke, Arne; Abd Rahman, Muhammad Daaniyall; Xiao, Yanyan; Fry, Jacob; Reyes, Rachel et al. (2017): The Global MRIO Lab – charting the world economy. In: *Economic Systems Research* 29 (2), S. 158–186. DOI: 10.1080/09535314.2017.1301887.

Lenzen, Manfred; Geschke, Arne; West, James; Fry, Jacob; Malik, Arunima; Giljum, Stefan et al. (2021): Implementing the material footprint to measure progress towards Sustainable Development Goals 8 and 12. In: *Nature Sustainability* 112, S. 6271. DOI: 10.1038/s41893-021-00811-6.

Lenzen, Manfred; Geschke, Arne; Wiedmann, Thomas; Lane, Joe; Anderson, Neal; Baynes, Timothy et al. (2014): Compiling and using input–output frameworks through collaborative virtual laboratories. In: *Science of The Total Environment* 485-486, S. 241–251. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.03.062.

Lutter, S.; Giljum, S.; Bruckner, M. (2016): A review and comparative assessment of existing approaches to calculate material footprints. In: *Ecological Economics* 127, S. 1–10. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2016.03.012.

Lutter, S.; Giljum, S.; Luckeneder, S. (2019): An update of demand-based material flow data using the new OECD ICIO database and benchmarking with national data from selected countries. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Paris.

Lutz, C.; Becker, L.; Meyer, B.; Nieters, A.; Distelkamp, M.; Flaute, M.; Lehr, U. (2019): Aktualität von Umweltdaten und Indikatoren erhöhen und die Nutzung für die Politikberatung verbessern. Abschlussbericht. Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 75/2019).

Maier, Lucia (2018): Rohstoffe weltweit im Einsatz für Deutschland. Berechnung von Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden (WISTA, 2/2018). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2018/02/rohstoffe-weltweit-022018.pdf?__blob=publicationFile.

Miller, Ronald E.; Blair, Peter D. (2009): *Input-Output Analysis. Foundations and Extensions*. Second edition: Cambridge University Press.

Munoz, P.; Hubacek, K. (2008): Material implication of Chile’s economic growth: Combining material flow accounting (MFA) and structural decomposition analysis (SDA). In: *Ecological Economics* 65, S. 136–144.

Persson, Linn; Carney Almroth, Bethanie M.; Collins, Christopher D.; Cornell, Sarah; Wit, Cynthia A. de; Diamond, Miriam L. et al. (2022): Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. In: *Environ. Sci. Technol.* 56 (3), S. 1510–1521. DOI: 10.1021/acs.est.1c04158.

Plank, Barbara; Eisenmenger, Nina; Schaffartzik, Anke; Wiedenhofer, Dominik (2018): International Trade Drives Global Resource Use: A Structural Decomposition Analysis of Raw Material Consumption from 1990-2010. In: *Environmental Science & Technology* 52 (7), S. 4190–4198. DOI: 10.1021/acs.est.7b06133.

Purr, K.; Günther, J.; Lehmann, H.; Nuss, p. (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE-Studie. Hg. v. UBA. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (Climate Change, 36/2019). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet_auflage2_juni-2021.pdf.

Schoer, K.; Dittrich, A.; Ewers, B.; Limberger, S.; Kovanda, J.; Weinzettel, J. et al. (2023): Handbook for estimating raw material equivalents of imports and exports and RME based indicators on the country level – based on Eurostat's EU RME model. Eurostat. Luxembourg. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6874172/Handbook-country-RME-tool>, zuletzt geprüft am 07.02.2023.

Schoer, K.; Dittrich, M.; Kovanda, J.; Weinzettel, J.; Ewers, B.; Limberger, S. et al. (2022): Documentation of the EU RME model. Eurostat. Luxembourg. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6874172/Documentation+of+the+EU+RME+model/>, zuletzt geprüft am 28.03.2023.

Schoer, K.; Dittrich, M.; Limberger, S.; Ewers, B.; Kovanda, J.; Weinzettel, Jan (2021): Disaggregating input-output tables for the calculation of raw material footprints. Minimum requirements, possible methods, data sources and a proposed method for Eurostat. Eurostat. Luxembourg.

Schoer, Karl (2004): Die Nutzung von Gesamtrechnungsdaten für eine integrierte Nachhaltigkeitsberichterstattung. In: Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung 73 (1), S. 63–76. DOI: 10.3790/vjh.73.1.63.

Schoer, Karl; Stahmer, Carsten (2004): "21 Indikatoren für das 21. Jahrhundert": Gesamtrechnungen und Nachhaltigkeitsberichterstattung (Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg, 4/2004). Online verfügbar unter https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag04_04_09.pdf, zuletzt geprüft am 22.12.2022.

Schoer, Karl; Wood, Richard; Arto, Iñaki; Weinzettel, Jan (2013): Estimating Raw Material Equivalents on a Macro-Level. Comparison of Multi-Regional Input–Output Analysis and Hybrid LCI-IO. In: Environmental Science & Technology 47 (24), S. 14282–14289. DOI: 10.1021/es404166f.

Stadler, Konstantin; Wood, Richard; Bulavskaya, Tatyana; Södersten, Carl-Johan; Simas, Moana; Schmidt, Sarah et al. (2018): EXIOBASE 3. Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables. In: Journal of Industrial Ecology 22 (3), S. 502–515. DOI: 10.1111/jiec.12715.

Stadler, Konstantin; Wood, Richard; Bulavskaya, Tatyana; Södersten, Carl-Johan; Simas, Moana; Schmidt, Sarah et al. (2021): EXIOBASE 3.

Steffen, W.; Richardson, K.; Rockstrom, J.; Cornell, S. E.; Fetzer, I.; Bennett, E. M. et al. (2015): Planetary boundaries. Guiding human development on a changing planet. In: Science 347 (6223).

UBA (2016a): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2016. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/deuress16_bericht_de_we_b_f.pdf.

UBA (2016b): The Use of Natural Resources. Report for Germany 2016. German Environment Agency. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/161025_ressourcenbericht_en.pdf.

UBA (2017): Daten zur Umwelt 2017. Indikatorenbericht. Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/daten-zur-umwelt-2017>.

UBA (2018a): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2018. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/deuress18_de_bericht_we_b_f.pdf.

UBA (2018b): The Use of Natural Resources. Report for Germany 2018. German Environment Agency. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/deuress18_en_report_we_b_f.pdf.

UBA (2022a): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Ressourcenbericht für Deutschland 2022. Spezial: Rohstoffnutzung der Zukunft. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/fb_die_nutzung_natuerliche_r_ressourcen_2022_0.pdf.

UBA (2022b): The Use of Natural Resources. Resources Report for Germany 2022. Special: Raw Material Use in the Future. German Environment Agency. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/fb_the_use_of_natural_resources_2022_0.pdf.

UN IRP (2017): Global Material Flows Database. Version 2017. International Resource Panel. Paris.

UNEP (2016): Global Material Flows and Resource Productivity. An Assessment Study of the UNEP International Resource Panel. H. Schandl, M. Fischer-Kowalski, J. West, S. Giljum, M. Dittrich, N. Eisenmenger, A. Geschke, M. Lieber, H. P. Wieland, A. Schaffartzik, F. Krausmann, S. Gierlinger, K. Hosking, M. Lenzen, H. Tanikawa, A. Miatto, and T. Fishman. United Nations Environment Programme. Paris.

UNEP IRP (2019): Global Resources Outlook 2019. Natural Resources for the Future We Want. A Report of the International Resource Panel. Unter Mitarbeit von B. Oberle und Bringezu, S., Hatfield-Dodds, S., Hellweg, S., Schandl, H., Clement, J., and Cabernard, L., Che, N., Chen, D., Droz-Georget, H., Ekins, P., Fischer-Kowalski, M., Flörke, M., Frank, S., Froemelt, A., Geschke, A., Haupt, M., Havlik, P., Hüfner, R., Lenzen, M., Lieber, M., Liu, B., Lu, Y., Lutter, S., Mehr, J., Miatto, A., Newth, D., Oberschelp, C., Obersteiner, M., Pfister, S., Piccoli, E., Schaldach, R., Schüngel, J., Sonderegger, T., Sudheshwar, A., Tanikawa, H., van der Voet, E., Walker, C., West, J., Wang, Z., Zhu, B. United Nations Environment Programme. Nairobi.

UNEP IRP (2020a): Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya.

UNEP IRP (2020b): Sustainable Trade in Resources: Global Material Flows, Circularity and Trade. Nairobi, Kenya. Online verfügbar unter <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34344/STR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, zuletzt geprüft am 17.12.2022.

UNEP IRP (2022): Global Material Flows Database. International Resource Panel. Online verfügbar unter <https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database>.

Wang, Heming; Tian, Xin; Tanikawa, Hiroki; Chang, Miao; Hashimoto, Seiji; Moriguchi, Yuichi; Lu, Zhongwu (2014): Exploring China's Materialization Process with Economic Transition. Analysis of Raw Material Consumption and Its Socioeconomic Drivers. In: *Environmental Science & Technology* 48 (9), S. 5025–5032. DOI: 10.1021/es405812w.

Wang-Erlandsson, Lan; Tobian, Arne; van der Ent, Ruud J.; Fetzer, Ingo; te Wierik, Sofie; Porkka, Miina et al. (2022): A planetary boundary for green water. In: *Nature Reviews Earth & Environment* 3 (6), S. 380–392. DOI: 10.1038/s43017-022-00287-8.

Weinzettel, Jan; Kovanda, Jan (2011): Structural Decomposition Analysis of Raw Material Consumption. In: *J Ind Ecol* 15 (6), S. 893–907. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00378.x.

Wiedmann, Thomas; Wood, Richard; Minx, Jan; Lenzen, Manfred; Guan, Dabo; Harris, Rocky (2010): A Carbon Footprint Time Series of the UK - Results from a Multi-Region Input-Output Model. In: *Economic Systems Research* 22 (1), S. 19–42. DOI: 10.1080/09535311003612591.

Wieland, Hanspeter; Giljum, Stefan; Bruckner, Martin; Owen, Anne; Wood, Richard (2017): Structural production layer decomposition: a new method to measure differences between MRIO databases for footprint assessments. In: *Economic Systems Research* (30), S. 61–84. DOI: 10.1080/09535314.2017.1350831.

Wood, Richard; Lenzen, Manfred; Foran, Barney (2009): A Material History of Australia. In: *J Ind Ecol* 13 (6), S. 847–862. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2009.00177.x.