

Die Nutzung natürlicher Ressourcen

Ressourcenbericht für Deutschland 2022

Spezial: Rohstoffnutzung der Zukunft



Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Fachgebiet I 1.1 „Grundsatzfragen, Nachhaltigkeitsstrategien und -szenarien, Ressourcenschonung“
Postfach 14 06
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de
 /umweltbundesamt
 /umweltbundesamt
 /umweltbundesamt

Autor*innen:

Wirtschaftsuniversität Wien (WU) – Institute for Ecological Economics:
Stephan Lutter, Julia Kreimel, Stefan Giljum

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (ifeu) und SSG:
Monika Dittrich, Sonja Limberger, Birte Ewers, Karl Schoer

Umweltbundesamt (UBA):
Christopher Manstein

Lektorat: Christiane Focking, Scapha Translations

Gestaltung: Gerda Palmeshofer

Bildquellen: Cover: Laura Ockel, unsplash; S. 12/13: Sebalos, istock; S. 24/25: RL Photography, istock; S. 34/35: Sjo, istock; S. 44/45: imaginima, istock; S. 54/55: Sjoerd van der Wal, istock; S. 56 v. r. o. n. l. u.: RHJ, istock; Alchemist-hp, wikimedia commons; HT-Pix, clu, ScottOrr, bagi1998, A_Pobedimskiy, scyther5, bagi1998, alle: istock; S. 60: Bosch & Partner; S. 64/65: CharlieChesvick, istock; S. 80/81: gremlin, istock.

Broschüren bestellen:

Umweltbundesamt
c/o GVP
Postfach 30 03 61, 53183 Bonn
Service-Telefon: 0340 2103-6688
Service-Fax: 0340 2104-6688
E-Mail: uba@broschuerenversand.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Diese Publikation ist kostenfrei zu beziehen beim Umweltbundesamt. Der Weiterverkauf ist untersagt. Bei Zuwiderhandlung wird eine Schutzgebühr von 15 Euro/Stück erhoben.

Diese Broschüre als Download:

<http://www.umweltbundesamt.de/ressourcenbericht2022>

Stand: November 2022

ISSN (Print) 2363-8311
ISSN (Online) 2363-832X

Die Nutzung natürlicher Ressourcen

Ressourcenbericht für Deutschland 2022

Spezial: Rohstoffnutzung der Zukunft



Liebe Leserinnen und Leser,

vor genau fünfzig Jahren begann mit dem Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome eine breite internationale Diskussion über die natürlichen Grenzen einer auf Wachstum ausgerichteten Wirtschaftsweise.

Zwar sind nicht alle Prognosen dieses Berichts eingetreten, aber es steht fest: Wir überschreiten bereits heute einzelne planetare Grenzen und schränken damit zukünftige Generationen in ihren Entwicklungsmöglichkeiten ein. Wie der vorliegende dritte „UBA-Ressourcenbericht“ veranschaulicht, steht die ausschweifende Nutzung von natürlichen Ressourcen damit in unmittelbarem Zusammenhang.

Die weltweite Rohstoffentnahme hat sich nach Angaben des „International Resource Panel“ (IRP) der Vereinten Nationen in den letzten fünf Jahrzehnten mehr als verdreifacht und wird ohne entsprechende Gegenmaßnahmen auch in Zukunft weiter rapide ansteigen. Globale Umweltprobleme wie Klimawandel, Bodendegradation, Wasserknappheit oder Biodiversitätsverlust werden verschärft durch die Rohstoffentnahme. In Deutschland gehen nach Berechnungen des IRP alleine 40 Prozent aller Treibhausgasemissionen auf die Entnahme und erste Verarbeitung von Rohstoffen zurück.

Der deutsche Rohstoffkonsum, also unser Rohstoffbedarf im In- und Ausland, ist in den letzten 10 Jahren zwar nahezu konstant geblieben, jedoch auf viel zu hohem Niveau. Im Jahr 2019 beanspruchten wir pro Kopf 30 Prozent mehr Rohstoffe als der globale Durchschnitt. Einzig in den ersten Jahren der

Corona-Pandemie ist ein geringfügiger Rückgang erkennbar. Um die Ressourceneffizienz zu verbessern und dem Ziel einer nachhaltigen Ressourcennutzung näher zu kommen, müssen wir ambitioniertere Politikmaßnahmen entwickeln und umsetzen.

Vor dem tragischen Hintergrund des Krieges in der Ukraine hat die Debatte um die zukünftige Energie- und Rohstoffversorgung und den Ausstieg aus den fossilen Energien wieder neu an Dynamik gewonnen. Wir wagen in diesem Bericht daher im Schlusskapitel einen Blick in die Rohstoffnutzung der Zukunft, mit dem Ziel, ein nachhaltiges und global gerechteres Niveau zu erreichen. Um bis 2050 die dafür notwendige absolute Reduktion unseres Rohstoffkonsums zu erreichen, braucht es eine ambitionierte Ressourcenpolitik im Zusammenspiel mit technologischen Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz sowie Lebensstiländerungen und nachhaltigen Konsum. Damit kann es uns gelingen den Rohstoffkonsum in Deutschland um bis zu 70 Prozent gegenüber 2010 zu verringern.

Ich wünsche eine informative Lektüre!

Prof. Dr. Dirk Messner
Präsident des Umweltbundesamtes

Inhalt

Fakten im Überblick	6
Einleitung	8
Methodische Grundlagen	9
 Inländische Rohstoffentnahme	12
Inländische Rohstoffentnahme: nicht-nachwachsende Rohstoffe	14
Inländische Rohstoffentnahme: nachwachsende Rohstoffe.....	16
Trends der Rohstoffentnahme	18
Rohstoffentnahme der Bundesländer	20
Inländische Entnahme: das Beispiel Sand	22
 Deutschlands Anteil am globalen Rohstoffhandel	24
Direkte Importe und Exporte.....	26
Rohstoffrucksäcke von gehandelten Gütern.....	28
Die Herkunft der Rohstoffe.....	30
Internationale Verflechtung: das Beispiel Plastik.....	32
 Rohstoffe für die Wirtschaft.....	34
Rohstoffeinsatz in der Wirtschaft	36
Entwicklung der Gesamtrohstoffproduktivität.....	38
Die Rolle von Abfall in der zirkulären Wirtschaft.....	40
Das anthropogene Lager in der zirkulären Wirtschaft	42
 Rohstoffe für den Konsum.....	44
Entwicklungen des Rohstoffkonsums	46
Zusammensetzung des Rohstoffkonsums.....	48
Rohstoffkonsum: das Beispiel Digitalisierung.....	50
Rohstoffkonsum: das Beispiel Mobilität	52

 Umweltauswirkungen der Rohstoffentnahme	54
Umweltgefährdungspotenziale der bergbaulichen Rohstoffgewinnung	56
Rohstoffnutzung und Klimawandel.....	58
Umweltauswirkungen von Rohstoffen: das Beispiel Stickstoff.....	60
Rohstoffnutzung innerhalb planetarer Grenzen.....	62
 Nexus: andere natürliche Ressourcen und ihre Verbindung zu Rohstoffen	64
Wassernutzung in Deutschland	66
Deutschlands Wasserfußabdruck	68
Flächennutzung in Deutschland	70
Deutschlands Flächenfußabdruck.....	72
Strömende Ressourcen.....	74
Energie und der Nexus zu Rohstoffen, Wasser und Fläche.....	76
Ernährung und der Nexus zu Rohstoffen, Wasser, Fläche und Emissionen	78
 Spezial: Rohstoffnutzung der Zukunft.....	80
Zukünftige Rohstoffnutzung	82
Zukünftige Rohstoffnutzung und Klimaschutz.....	84
Die Green-Szenarien.....	86
Ressourcenschonung durch Technologiewandel	88
Die Wende durch Lebensstiländerungen.....	90
Glossar	92
Datentabellen	94
Quellenverzeichnis	102

Fakten im Überblick



S. 12

Die **inländische Entnahme** von Rohstoffen ist seit 1994 insgesamt rückläufig. Es zeigen sich zwei gegensätzliche Trends: ein langfristiger Rückgang um 35 % bei nicht-nachwachsenden Rohstoffen und eine Zunahme um 15 % bei nachwachsenden Rohstoffen.

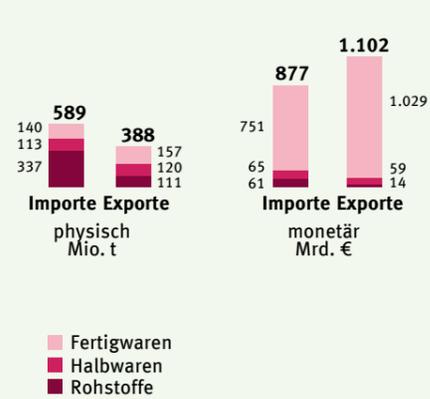
Genutzte Rohstoffentnahme, 2019



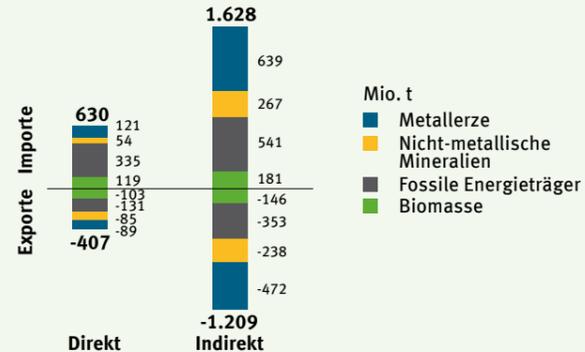
S. 24

Deutschland profitiert vom **globalen Handel**: Obwohl es sowohl direkt als auch indirekt mehr Rohstoffe und Güter importiert als exportiert, zeigt seine monetäre Handelsbilanz einen deutlichen Überschuss.

Direkter Handel, 2020



Direkter und indirekter Rohstoffhandel, 2019



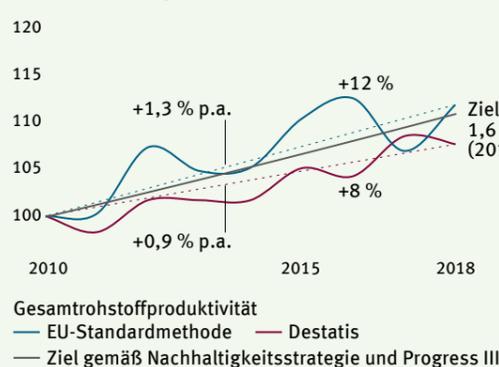
Quellen: Destatis, 2021 h; Dittrich et al., 2022 a



S. 34

Der **Rohstoffeinsatz der Wirtschaft** blieb in Deutschland zwischen 2010 und 2019 nahezu gleich und stabilisierte sich mit 2.536 Mio. Tonnen im Jahr 2019 auf hohem Niveau. Die Gesamtrohstoffproduktivität stieg bis 2018 um 12 % (Berechnungen Destatis: 8 %) an.

Gesamtrohstoffproduktivität



Rohstoffeinsatz (RMI) nach EU-Standardmethode



Quellen: Destatis, 2021 f, 2022 c; Dittrich et al., 2022



S. 44

Deutschlands **Rohstoffkonsum** betrug im Jahr 2019 1.328 Mio. Tonnen oder 16,0 Tonnen pro Kopf. Die privaten Haushalte konsumierten Rohstoffe vor allem in den Bereichen Ernährung, Wohnen und Mobilität.

Rohstoffkonsum (RMC)



Rohstoffkonsum (RMC) privater Haushalte, 2019



Quellen: Destatis, 2021 f, 2021 h; Dittrich et al., 2022 a



S. 54

Die Gewinnung und Nutzung von Rohstoffen ist häufig mit negativen **Umweltauswirkungen** verbunden. In Deutschland sind 40 % der Treibhausgasemissionen auf die Entnahme und erste Verarbeitung von Rohstoffen zurückzuführen.



Quellen: Destatis, 2021 h, 2021 g, 2021 f



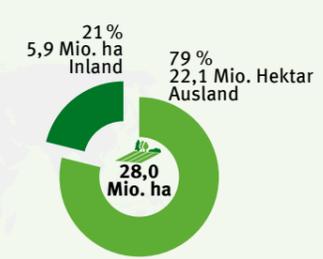
S. 64

Es besteht ein **Nexus (lat.: Verbindung) zwischen der Nutzung von Rohstoffen und anderen natürlichen Ressourcen**. Durch internationale Lieferketten ist Deutschland auch für die Ressourceninanspruchnahme in anderen Teilen der Welt verantwortlich.

Wasserfußabdruck Deutschlands, 2021



Flächenfußabdruck Deutschlands, 2018



Quellen: Bunsen, 2021; UN Life Cycle Initiative et al., 2022



S. 80

Die **Rohstoffnutzung der Zukunft** kann mit einer ambitionierten Rohstoffpolitik wesentlich nachhaltiger gestaltet werden. Bis zum Jahr 2030 ist in Deutschland ein Rückgang des Rohstoffkonsums um mehr als ein Drittel gegenüber 2019 möglich.

Rohstoffkonsum (RMC)



Quellen: Dittrich et al., 2020 b; Dittrich et al., 2022 a; UN IRP, 2022

Einleitung

Seit dem Jahr 2016 veröffentlicht das Umweltbundesamt einen regelmäßigen Bericht zur Lage der Nutzung natürlicher Ressourcen in Deutschland. Der vorliegende Ressourcenbericht 2022 ist die bereits die dritte Ausgabe dieser Reihe (UBA, 2016a, 2018).

Der UBA-Ressourcenbericht untersucht statistische Kennzahlen und Trends im Themenfeld Ressourcen- und Rohstoffnutzung, analysiert und diskutiert die vielfältigen Zusammenhänge und fasst einzelne Unterthemen zusammen. Im aktuellen Bericht werden rund 30 ressourcenrelevante Unterthemen modular, d. h. in Form von „Doppelseiten“, behandelt.

Der inhaltliche Fokus des dritten Ressourcenberichts liegt wie bei den beiden vorherigen Berichten in der Betrachtung und Analyse von nachwachsenden und nicht-nachwachsenden Rohstoffen. Dabei werden die vier Hauptrohstoffgruppen „nicht-metallische Mineralien“, „Biomasse“, „Metallerze“ und „fossile Energieträger“ behandelt und diskutiert. Ein weiteres Kapitel zum Thema „Nexus“ befasst sich u. a. mit der Nutzung der natürlichen Ressourcen Wasser und Fläche, aber auch mit der Betrachtung von Schnittstellen zwischen Ressourcenkategorien. Neu eingeführt wurden in diesen dritten Ressourcenbericht außerdem die Themen „Umweltauswirkungen der Rohstoffentnahme“ sowie ein Spezialthema „Rohstoffnutzung der Zukunft“.

Der Ressourcenbericht richtet sich an ein Fachpublikum und an fachlich interessierte Personen aus den Bereichen Wirtschaft, Zivilgesellschaft einschließlich Bildung sowie an Politik und Verwaltung. Der Bericht soll einerseits als Dateninformationsquelle und Nachschlagewerk dienen, andererseits liefert er wichtige Argumente für die wissenschaftliche Politikberatung und die Entwicklung von Maßnahmen für ein ökologisch nachhaltiges Ressourcenmanagement.

Die Arbeiten zum Ressourcenbericht 2022 wurden von Forschungsarbeiten begleitet, in denen wichtige wissenschaftliche Grundlagen erarbeitet wurden (Lutter et al. 2022). Das begleitende Forschungsvorhaben hat insbesondere die Datenbasis verbessert und entsprechende methodische Hintergründe untersucht. Bei wichtigen Kernindikatoren wird in diesem Bericht eine neue Methode angewendet (EU-Standardmethode) und mit den Zahlen der öffentlichen Statistik (Destatis) verglichen. Der Ressourcenbericht 2022 behandelt in der Regel die Jahre 2019 und 2020 als statistische Basisjahre, d. h. als diejenigen Jahre, zu denen die aktuellsten Informationen und statistischen Daten zu Redaktionsschluss (Dezember 2021) vorlagen.

Um den Vergleich der aktuellen Entwicklung der Ressourcennutzung in Deutschland mit den vorherigen Ressourcenberichten zu ermöglichen, werden im Folgenden – neben mittel- und langfristigen Trendanalysen – immer wieder auch statische Vergleiche mit Daten aus den Jahren 2014 und 2015 eingebaut und den aktuellen Zahlen gegenübergestellt. Dabei ist zu beachten, dass sich Datengrundlagen und Methoden ihrer statistischen Erfassung teilweise geändert haben und so Vergleiche in manchen Fällen nicht oder nur eingeschränkt möglich sind.

Dieser Bericht (in Deutsch und Englisch), die Ergebnisse des begleitenden Forschungsvorhabens sowie weitere Informationsmaterialien sind online verfügbar unter:

www.umweltbundesamt.de/ressourcenbericht2022

Methodische Grundlagen

Schwerpunkt des vorliegenden Ressourcenberichts 2022 ist die Nutzung von Rohstoffen. Als Grundlage dienen Daten insbesondere des statistischen Bundesamtes und des Umweltbundesamtes sowie Modellrechnungen der indirekten Rohstoffflüsse (nach EU-Standardmethode). Ein begleitender Forschungsbericht (Dittrich et al., 2022 a) dokumentiert diese Berechnungen. Basisjahr des Ressourcenberichts ist aufgrund der Datenverfügbarkeit das Jahr 2019; vereinzelt sind auch Daten für 2020 enthalten. Im Folgenden werden die wichtigsten Methoden und Datenquellen für verschiedene Indikatoren des Ressourcenberichts 2022 erläutert.

Direkte Rohstoffnutzung

Die direkte Rohstoffnutzung umfasst die Menge entnommener Rohstoffe und gehandelter Waren. Letztere werden je nach ihrem Hauptbestandteil einer der vier Hauptrohstoffgruppen (Biomasse, fossile Energieträger, Metallerze oder nicht-metallische Mineralien) zugeordnet.

Methode: In Deutschland erhebt das Statistische Bundesamt (Destatis) die Daten zur Rohstoffnutzung im Rahmen des gesamtwirtschaftlichen Materialkontos der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) – analog zu den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR), welche die Geldströme einer Wirtschaft abbilden.

Datenquellen: Die Daten für diesen Bericht stammen aus der jüngsten bei Redaktionsschluss vorliegenden Version der UGR (erschieden am 26. 11. 2021) (Destatis, 2021 h). Diese umfasst Daten zur inländischen Rohstoffentnahme bis zum Jahr 2019 und Daten zum direkten Handel bis zum Jahr 2020.

Daten zur Rohstoffnutzung nach Bundesländern werden in den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder (UGRdL) der statistischen Ämter des Bundes und der Länder veröffentlicht. Daten aus der UGRdL zur inländischen Entnahme liegen bei Redaktionsschluss bis 2019 vor, Daten zum Handel bis 2020. Sie stammen aus der Ausgabe vom November 2021 (Statistische Ämter der Länder, 2021).

Für Vergleiche mit Mitgliedstaaten der Europäischen Union (EU-27) wurden Daten zur inländischen Rohstoffentnahme von Eurostat herangezogen (Eurostat, 2021). Diese liegen bei Redaktionsschluss bis 2020 vor. Auch Destatis meldet an Eurostat Daten zur inländischen Entnahme bis zum Jahr 2020. Diese weichen aufgrund methodischer Unterschiede leicht von den in der UGR enthaltenen Werten ab,

erscheinen jedoch früher. Für die Prognose der inländischen Entnahme in Deutschland für das Jahr 2020 wurden daher die UGR-Werte für 2019 mit dem Trend der von Eurostat veröffentlichten Daten fortgeschrieben.

Hinweis: Aufgrund einer Methodenänderung meldet die UGR für alle Jahre rückwirkend neue Werte. Da also die Werte in den Ressourcenberichten 2016 und 2018 (UBA, 2016 a, 2018) auf einer älteren Version der UGR basieren, sind sie nicht ohne weiteres mit den Werten des Berichts 2022 vergleichbar.

Die UGR der Länder (Version 2021) hat die methodischen Anpassungen der bundesweiten UGR noch nicht übernommen. Daher weicht die Summe der inländischen Rohstoffentnahme in den Bundesländern von den bundesweiten Werten ab.

Indirekte Rohstoffnutzung (nach EU-Standardmethode)

Die Analyse der indirekten Rohstoffnutzung – der sogenannten „Rohstoffrucksäcke“ oder „Rohstoffäquivalente“ (RME; s. Glossar) – bezieht alle Rohstoffe mit ein, die entlang internationaler Handels- und Produktionsketten für die von Deutschland gehandelten, verarbeiteten beziehungsweise konsumierten Produkte in Deutschland oder in anderen Ländern entnommen wurden. Die Summe aller Rohstoffrucksäcke von in Deutschland konsumierten Gütern wird auch „Rohstoffkonsum“ oder „Materialfußabdruck“ genannt.

Methode: Zur Ermittlung der Rohstoffrucksäcke von international gehandelten Gütern werden diese in sogenannte „Rohstoffäquivalente“ umgerechnet, also in die Masse all jener Rohstoffe, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette zum Einsatz kamen (RME; siehe Glossar). Da international gehandelte Güter sehr heterogen und ihre Lieferketten komplex

sind, erfolgt diese Berechnung modellgestützt – mit Hilfe eines Input-Output-Ansatzes (s. S. 11).

Datenquellen: Die UGR (Destatis, 2021 f) enthält Daten zu Rohstoffäquivalenten für den Zeitraum 2010 bis 2018. Diese basieren jedoch auf einem methodischen und konzeptionellen Ansatz, der ausschließlich für Deutschland entwickelt wurde, was den Vergleich mit anderen Ländern erschwert. Der vorliegende Ressourcenbericht enthält daher eigene Modellrechnungen nach der sogenannten „EU-Standardmethode“ für den Zeitraum 2008–2019, die in einem zugehörigen Forschungsvorhaben durchgeführt wurden. (Dittrich et al., 2022 a). Bei wesentlichen Indikatoren werden in diesem Bericht die Ergebnisse der EU-Standardmethode mit den UGR-Zahlen von Destatis verglichen. Hochrechnungen für das Jahr 2020 beruhen ebenfalls auf der EU-Standardmethode.

Vergleiche mit EU-Mitgliedstaaten (EU-27) basieren auf Daten von Eurostat, internationale Vergleiche auf dem multi-regionalen Input-Output-Modell des International Resource Panel der Vereinten Nationen (GLORIA) (Lenzen et al., 2021), veröffentlicht im Online-Tool SCP-HAT (UN Life Cycle Initiative et al., 2022).

Andere natürliche Ressourcen

Zu den natürlichen Ressourcen zählen – abgesehen von Rohstoffen – der physische Raum (die Fläche), die Umweltmedien Wasser, Boden und Luft, strömende Ressourcen sowie alle lebenden Organismen. Der vorliegende Bericht behandelt in einem eigenen Kapitel die Nutzung von Fläche, Wasser und von strömenden Ressourcen. Die indirekte Nutzung wird für die Ressourcen Wasser und Fläche analysiert („Wasserfußabdruck“ und „Flächenfußabdruck“).

Methode: Destatis veröffentlicht eigene Fachserien zur Entnahme bzw. Nutzung von Wasser nach Sektoren sowie zur tatsächlichen Nutzung von Fläche (s. u.). Die indirekte Nutzung, also der Bedarf an Wasser und Fläche für die Herstellung von Gütern entlang aller Lieferketten, wird mit Hilfe von globalen Input-Output-Tabellen berechnet. Dabei werden die monetären Tabellen zur wirtschaftlichen Verflechtung von Produktion und Konsum um Daten zur Wasser- bzw. Flächennutzung erweitert.

Datenquellen: Daten zur direkten Wassernutzung stammen aus der jüngsten bei Redaktionsschluss vorliegenden Version der Fachserie 19 Reihe 2.1.1 (Destatis, 2019 a) und sind bis zum Jahr 2016 verfügbar. Daten zur Flächennutzung wurden aus der bei Redaktionsschluss jüngsten Version der Fachserie 3

Reihe 5.1 (erschieden 20.09.2021; Daten bis 2020) entnommen (Destatis, 2021 d). Die Grundlage für Werte zu den strömenden Ressourcen bilden die Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland (BMWI, 2021; Stand Februar 2021) und das Tool SHARES (Eurostat, 2019). Für Vergleiche mit anderen EU-Mitgliedstaaten wurden Daten von Eurostat (2021) und SHARES (2019) herangezogen.

Daten zum blauen und grünen Wasserfußabdruck im vorliegenden Ressourcenbericht wurden mit dem Input-Output-Modell EXIOBASE 3.8.1 im Rahmen des UBA-Projekts „Konzeptionelle Weiterentwicklung des Wasserfußabdrucks“ (Bunsen, 2021) berechnet. Der graue Wasserfußabdruck wird in diesem Bericht nicht dargestellt. Die präsentierten Werte für 2021 sind Prognosen basierend auf Daten von 2011.

Für den Flächenfußabdruck dienen Berechnungen basierend auf dem Input-Output-Modell des International Resource Panel der Vereinten Nationen (GLORIA) (Lenzen et al., 2021), veröffentlicht im Online-Tool SCP-HAT (UN Life Cycle Initiative et al., 2022). Der Flächenfußabdruck enthält keine Industrieflächen.

Exkurs: Indirekte Rohstoffnutzung – Vergleich zweier Methoden

Die indirekte Rohstoffnutzung in Deutschland (auch: „Rohstoffäquivalente“; RME) lässt sich mit verschiedenen methodischen Ansätzen berechnen: (1) mit Input-Output-Modellen, (2) mit Koeffizienten für die Ressourcenintensität einzelner Güter und (3) mit sogenannten „hybriden“ Ansätzen. Hybride Ansätze verwenden sowohl Input-Output-Modelle als auch Koeffizienten und ersetzen zudem monetäre Größen teilweise durch physische Informationen.

Für den Ressourcenbericht 2022 wurden RME-Berechnungen für Deutschland nach der EU-Standardmethode für den Zeitraum 2008 bis 2019 angestellt (Dittrich et al., 2022 a) (s. Box). Die Ergebnisse werden mit dem RME-Modell von Destatis (Maier, 2018) verglichen, veröffentlicht als Teil der UGR (Destatis, 2021f). Sowohl die EU-Standardmethode als auch das Destatis-Modell basieren auf hybriden Ansätzen. Wegen unterschiedlicher Annahmen und Konzepte beider Modelle weichen die Ergebnisse dennoch voneinander ab.

Wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Modellen bzw. Datenquellen

Die wichtigsten Unterschiede zwischen der indirekten Rohstoffnutzung nach EU-Standardmethode (Dittrich et al., 2022 a) und Destatis (Maier, 2018) sind (1) die Berücksichtigung von Sekundärrohstoffen und (2) Annahmen zur Produktionstechnologie für importierte Waren.

Modellrechnungen nach der EU-Standardmethode beziffern die Entnahme von Primärrohstoffen für den Konsum eines bestimmten Landes – den „Rohstoffkonsum“ oder „Materialfußabdruck“ (s. Glossar). Sekundärrohstoffe, die in Im- oder Exporten verarbeitet werden, sind in den Ergebnissen nicht enthalten. Je höher also der Anteil von Sekundärrohstoffen im Wirtschaftssystem, desto kleiner die Rohstoffrucksäcke. Während der Anteil von Sekundärrohstoffen in Deutschland bekannt ist, wird bei Importen eine globale Durchschnittsquote angenommen. Bei Exporten werden anteilmäßig die Importquoten und die inländischen Anteile unterstellt.

Destatis berechnet Sekundärrohstoffe anders: Auf die Importe werden deutsche Quoten für den Einsatz von Sekundärrohstoffen angewendet, und in Deutschland recycelte Rohstoffe werden ausschließlich dem Rohstoffkonsum in Deutschland gutgeschrieben. Somit weicht Destatis von der ursprünglichen Definition für Rohstoffäquivalente (RME) ab (Eurostat, 2022) und die RME der Importe und vor allem der Exporte fallen höher aus als nach EU-Standardmethode.

Auch die Annahmen zur Produktionstechnologie sind verschieden: Die EU-Standardmethode ermittelt die RME der Importe meist anhand der Produktionstechnologie in den Herkunftsregionen. Für Importe aus der Europäischen Union nimmt sie die durchschnittliche Produktionstechnologie der EU an. Und auch bei Importen aus Nicht-EU-Ländern legt sie die EU-Produktionstechnologie zugrunde. Für besonders rohstoff-intensive Importgüter nutzt sie zusätzlich regionalspezifische Informationen.

Im Unterschied dazu geht das Modell von Destatis bei Importen grundsätzlich von deutscher Produktionstechnologie aus, ergänzt um Informationen für einzelne Rohstoffe und Halbzeuge, die nicht in Deutschland produziert werden (z. B. bei Metallerzen). Es ermittelt also jene Rohstoffmengen, die nötig wären, wenn das Ausland so produzieren würde wie Deutschland.

Das RME-Modell für Deutschland (EU-Standardmethode)

Im Rahmen eines begleitenden Forschungsvorhabens wurden für den Ressourcenbericht Berechnungen mit einem Rohstoffäquivalente (RME)-Modell für Deutschland nach der sogenannten „EU-Standardmethode“ durchgeführt. Es handelt sich dabei um ein umwelt-ökonomisches Rohstoffmodell, das auf einem hybriden Ansatz beruht (Dittrich et al., 2022 a). Als nationales Modell bildet es die deutsche Volkswirtschaft einschließlich ihrer Importe und Exporte ab. Diese Methodik ist angelehnt an das RME-Modell für die EU von Eurostat (Schoer et al. 2020 b), das zur Berechnung von RME auf EU-Ebene dient, und an das RME-Ländertool (Schoer et al. 2020 a), das Eurostat den Ländern bereitstellt. Dadurch sind die RME-Daten für Deutschland und andere EU-Mitgliedstaaten direkt vergleichbar. Grundlage des Modells sind Input-Output-Tabellen (IOT) von Deutschland mit genauen monetären Werten für die wirtschaftliche Verflechtung von Produktion und Konsum. Sie zeigen, welche Wirtschaftssektoren untereinander Produkte austauschen und welche Produkte die Endnachfrage bedienen. Bei rohstoffintensiven Sektoren bzw. Gütergruppen (Landwirtschaft, Bergbau, Basisindustrien, Baustoffindustrien usw.) wurde das Modell erweitert und bildet die rohstofflichen Flüsse in der deutschen Volkswirtschaft sehr detailliert in physischen Einheiten ab. Die deutschen Importe aus der Europäischen Union werden mit den durchschnittlichen RME-Koeffizienten der EU-27 berechnet, die Importe aus Nicht-EU-Ländern mit den RME-Koeffizienten der EU-27-Importe aus dem europäischen Standard-Modell. Die Exporte wie auch die letzte inländische Verwendung werden auf der Basis der deutschen Verflechtungsmatrix unter Berücksichtigung der Importe mit dem Leontief-Verfahren ermittelt.



Inländische Rohstoffentnahme



978 Mio. Tonnen	945 Mio. Tonnen	Genutzte Rohstoffentnahme, 2015 und 2019
11,4 Tonnen pro Kopf		Genutzte Rohstoffentnahme in Deutschland, 2019
11,9 Tonnen pro Kopf		Genutzte Rohstoffentnahme im EU-Durchschnitt, 2019
22 Prozent	22 Prozent	Anteil nachwachsender Rohstoffe an der gesamten Entnahme, 2015 und 2019
78 Prozent	78 Prozent	Anteil nicht-nachwachsender Rohstoffe an der gesamten Entnahme, 2015 und 2019
194 Mio. Tonnen	139 Mio. Tonnen	Genutzte Rohstoffentnahme fossiler Energieträger, 2015 und 2019
1,2 Kilogramm pro Quadratmeter		Genutzte Rohstoffentnahme pro Flächeneinheit im Saarland, 2019
6,3 Kilogramm pro Quadratmeter		Genutzte Rohstoffentnahme pro Flächeneinheit in Nordrhein-Westfalen, 2019
16 Prozent		Anteil der Sande an gesamter genutzter Rohstoffentnahme, 2019

Quellen: s. S. 14–23



Inländische Rohstoffentnahme: nicht-nachwachsende Rohstoffe

Natürliche Rohstoffe sind die Grundlage unserer Wirtschaft und Gesellschaft. Sie werden entweder im Land selbst der Natur entnommen oder aber importiert. In Deutschland liegt die Entnahme bei jährlich knapp einer Milliarde Tonnen. Dies sind zum Großteil nicht-nachwachsende Rohstoffe, besonders Baumineralien.

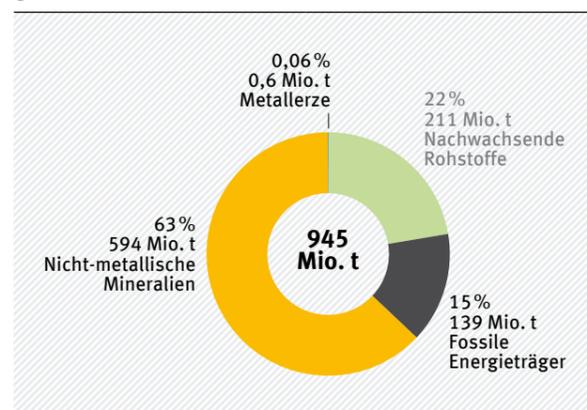
Im Jahr 2019 (Basisjahr dieses Berichts) wurden in Deutschland insgesamt 945 Mio. Tonnen Rohstoffe entnommen. Mit 733 Mio. Tonnen oder 78% hatten die nicht-nachwachsenden Rohstoffe wie in den Vorjahren den größten Anteil (Abb. 1). Von den nicht-nachwachsenden Rohstoffen entfielen 594 Mio. Tonnen (63%), also fast zwei Drittel, auf Mineralien, gefolgt von fossilen Energieträgern (139 Mio. t bzw. 15%) und Metallerzen (0,6 Mio. t bzw. 0,06%).

Der hohe Anteil nicht-metallischer Mineralien spiegelt den hohen Rohstoffbedarf der deutschen Bauindustrie für den Bau und Erhalt von Gebäuden und Infrastrukturen wider. Diese Mineralien kommen z. B. als Zuschlagsstoff für Baustoffe wie Beton zum Einsatz (s. S. 42/43). Die Entnahmemenge von Baumineralien wie Bausanden ist damit auch ein Indikator für die Bautätigkeit und Rohstoffsicherheit (s. S. 22/23).

Nach wie vor spielt in Deutschland der Abbau fossiler Energieträger eine große Rolle (15%), die jedoch stark abnimmt. Braunkohle hatte in dieser Gruppe einen Anteil von über 90%.

Abbildung 1

Anteil nicht-nachwachsender Rohstoffe an genutzter Rohstoffentnahme in Deutschland, 2019



Quelle: Destatis, 2021 h

Metalle werden für die deutsche Bauindustrie und andere Industriezweige benötigt (s. S. 36/37). Der Abbau von Metallerzen ist in Deutschland aber kaum von Bedeutung, da es wenig (rentable) Vorkommen gibt. Ähnlich wie die gesamte EU importiert Deutschland Metalle nahezu ausschließlich (s. S. 26/27 und 28/29).

Seit 2015 stieg die inländische Entnahme nicht-nachwachsender Rohstoffe insgesamt um 34 Mio. Tonnen (+ 3,5%).

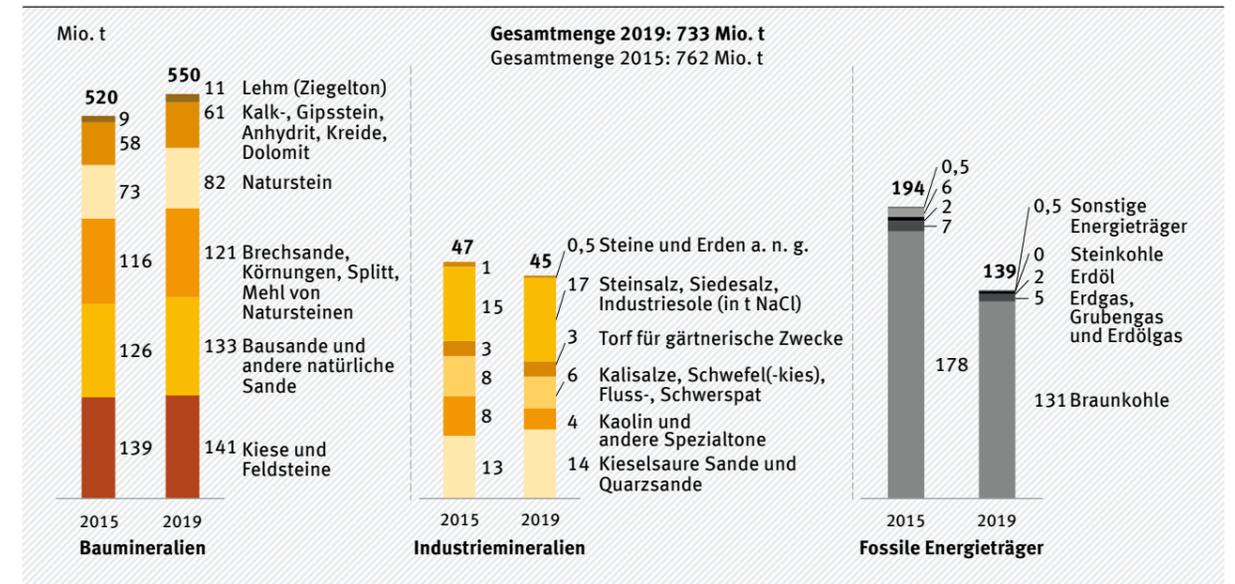
Dieser deutliche Anstieg geht vor allem auf nicht-metallische Mineralien zurück. Innerhalb der Rohstoffgruppen zeigen sich Ähnlichkeiten bei den Trends seit 2015. So stieg die Entnahme von Baumineralien um 6% auf 549 Mio. Tonnen überdurchschnittlich an (Abb. 2). Bausande, Kiese und Feldsteine sowie Brechsand, die zusammen 42% der gesamten inländischen Entnahme bilden, stiegen um 4% an. Die Entnahme der mengenmäßig weniger bedeutsamen Industriemineralien – beispielsweise von Spezialsand für die Herstellung von Glas – sank hingegen von 2015 bis 2019 um 6%.

Ein stark abnehmender Trend ist in Deutschland bei fossilen Energieträgern zu beobachten, die aber immer noch eine große Rolle spielen. Die Entnahme sank um 29% von 194 Mio. Tonnen im Jahr 2015 auf 139 Mio. Tonnen im Jahr 2019, vor allem durch die verringerte Braunkohleförderung. Allein auf die Jahre 2015 bis 2019 entfielen zwei Drittel des gesamten Rückgangs der Braunkohleförderung aus den letzten 25 Jahren. Diese überdurchschnittliche Abnahme verdeutlicht die Beschleunigung der Energiewende (s. S. 18/19).

Interessant ist ein Vergleich der Rohstoffentnahme in Europa (Abb. 3). Deutschland lag 2019 bei der Entnahme nicht-nachwachsender Rohstoffe pro Kopf etwas über dem europäischen Durchschnitt. Unter allen Mitgliedstaaten verzeichneten die Niederlande

Abbildung 2

Genutzte Entnahme nicht-nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, 2015 und 2019

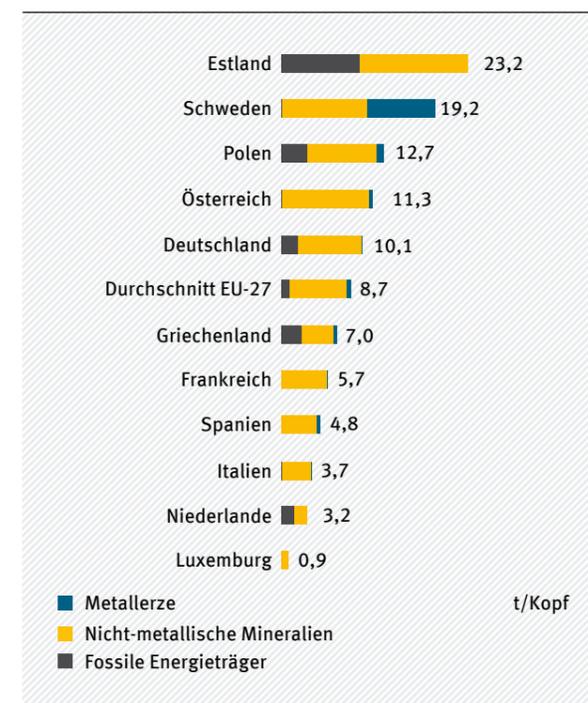


Zur deutlicheren Visualisierung der Einzelkategorien ist die Höhe der drei Säulenpaare nicht proportional zueinander. Daten basieren auf revidierter Version des Gesamtwirtschaftlichen Materialkontos vom November 2021. Direkte Vergleichbarkeit zu Ressourcenberichten 2016 (UBA, 2016a) und 2018 (UBA, 2018) nicht gegeben.

Quelle: Destatis, 2021 h

Abbildung 3

Vergleich der genutzten Entnahme nicht-nachwachsender Rohstoffe pro Kopf in Deutschland mit ausgewählten EU-Mitgliedstaaten sowie dem EU-Durchschnitt, 2019



Quellen: Destatis, 2021 c, 2021 h; Eurostat, 2021

und Luxemburg die niedrigste, Estland und Schweden die höchste Pro-Kopf-Entnahme.

Ähnlich wie in Deutschland hatten nicht-metallische Mineralien den größten Anteil an der gemeinsamen Pro-Kopf-Entnahme aller EU-Mitgliedstaaten. Bei der Entnahme fossiler Energieträger sind Estland (Ölschiefer) und Polen (Kohle) Spitzenreiter innerhalb der EU. Deutschland gehört zu den fünf EU-Ländern, in denen der Abbau fossiler Energieträger weiterhin eine größere Rolle spielt. In Schweden werden in hohem Maße Metallerze wie Kupfer, Zink und Silber entnommen – eine in Europa einzigartige Situation. Frankreich entnimmt fast ausschließlich nicht-metallische Mineralien. Der Abbau von fossilen Energieträgern oder Metallerzen spielt hier fast keine Rolle.

Bei nicht-nachwachsenden Rohstoffen sind die europäischen Mitgliedstaaten stark auf Importe angewiesen (s. S. 34–43). Dies betrifft vor allem fossile Energieträger und Metallerze. Erneuerbare Energien und andere Entwicklungen wie die Elektromobilität werden die Importabhängigkeit bei fossilen Energieträgern reduzieren, im Falle von Metallen oder kritischen Rohstoffen jedoch erhöhen.



Inländische Rohstoffentnahme: nachwachsende Rohstoffe

Die zweite wesentliche Kategorie für die inländische Entnahme in Deutschland sind nachwachsende Rohstoffe aus Land- und Forstwirtschaft sowie Jagd und Fischerei. Ihr Anteil beträgt rund ein Viertel der Gesamtentnahme. Verwendung finden sie als Futter- und Nahrungsmittel, Baustoffe, Papier oder Energiequelle.

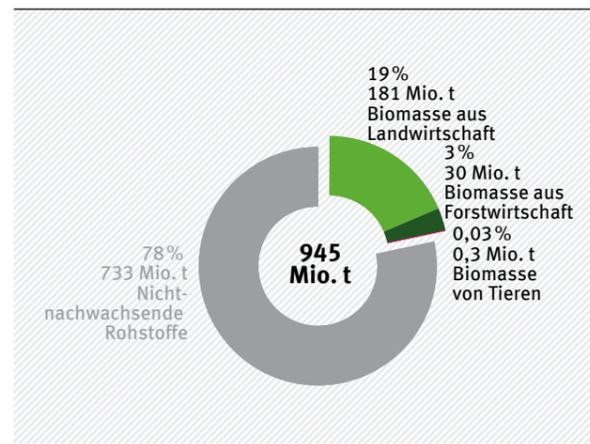
Die Gewinnung nachwachsender Rohstoffe betrug im Jahr 2019 insgesamt 211 Mio. Tonnen und damit 22 % der Gesamtentnahme (Abb. 4). Dabei entfielen 181 Mio. Tonnen auf die Landwirtschaft, 30 Mio. Tonnen auf die Forstwirtschaft und lediglich 0,3 Mio. Tonnen auf Fischerei und Jagd.

Die inländische Entnahme nachwachsender Rohstoffe sank in Deutschland im Zeitraum 2015 bis 2019 leicht um 2 %.

Diesen Trend erklärt hauptsächlich die landwirtschaftliche Entnahme: Sie sank von 2015 bis 2019 um 7 Mio. Tonnen bzw. 4 % (Abb. 5). Ursache waren trockenheitsbedingte Ernterückgänge bei Getreide von 85 auf 81 Mio. Tonnen und bei Zwischenfrüchten (von 56 auf 48 Mio. t). Doch der Zeitraum 2015 bis 2019 ist nur eine Momentaufnahme. Langfristig nimmt die Gewinnung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland stetig zu (s. S. 18/19).

Abbildung 4

Anteil der nachwachsenden Rohstoffe an der genutzten Rohstoffentnahme in Deutschland, 2019



Quelle: Destatis, 2021 h

Getreide hat den größten Anteil an der Entnahme nachwachsender Rohstoffe (37 %). Dies spiegelt auch die Bedeutung der Nutztierhaltung für die deutsche Landwirtschaft wider, da diese Kategorie auch Grünfütter und Futterpflanzen wie Mais enthält. Nach Spanien und Frankreich zählt Deutschland EU-weit zu den Ländern mit den meisten Schweinen bzw. Rindern (FAOSTAT, 2020; Heinrich-Böll-Stiftung et al., 2020). Vom insgesamt in Deutschland verfügbaren Getreide wurden im Wirtschaftsjahr 2018/2019 der größte Anteil (57 %) als Futtermittel, 19 % zur Energieerzeugung und industriellen Verwertung sowie lediglich 18 % direkt als pflanzliche Nahrungsmittel eingesetzt (BLE, 2020a).

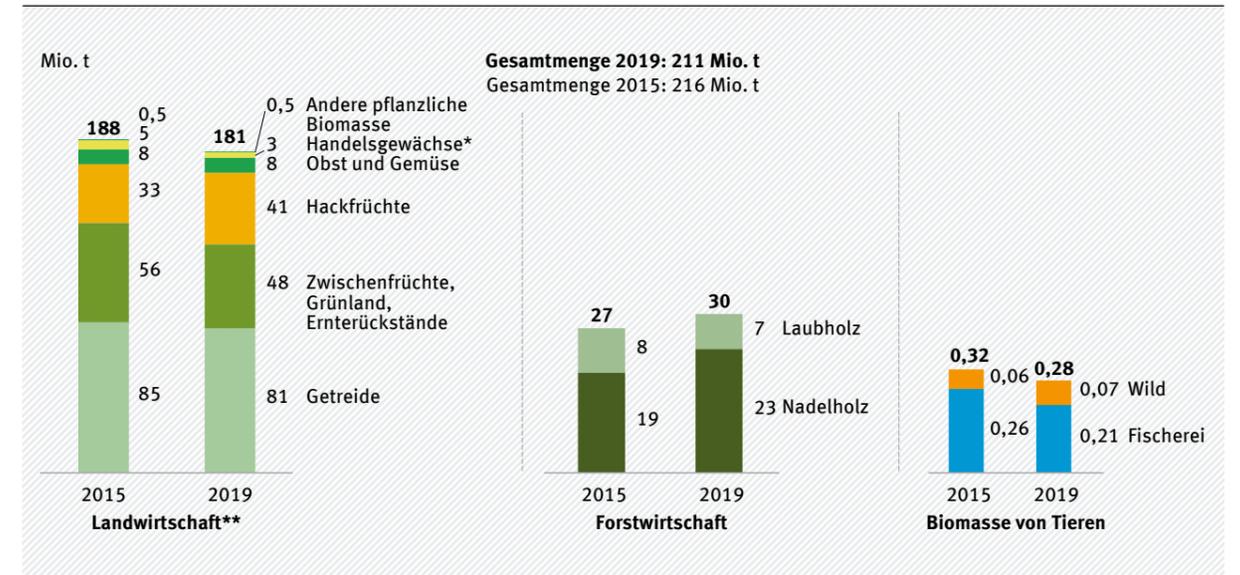
Hackfrüchte wie Zuckerrüben, Kartoffeln oder auch Futterhackfrüchte hatten den drittgrößten Anteil (19 %) an der landwirtschaftlichen Entnahme. Hier wurde ein Anstieg von 33 Mio. Tonnen auf 41 Mio. Tonnen verzeichnet.

Die inländische Nutztierhaltung verwendet neben Getreide auch Futter von Grünland. Kraftfutter für Schweine und Geflügel spielt nur eine untergeordnete Rolle (12 % der Futtermittel). Das Futter für inländisches Nutztier stammt fast ausschließlich aus dem Inland. Im Jahr 2017 standen 20 Mio. Tonnen Futtermittel aus inländischer Erzeugung (90 %) 2 Mio. Tonnen Importen gegenüber (10 %, größtenteils Kraftfutter) (Destatis, 2019 d). Die deutsche Viehwirtschaft greift also indirekt auf Flächen im Ausland zurück (s. S. 70/71).

Deutschlands Entnahme aus der Landwirtschaft sank von 2015 bis 2019 um 4 %, während die Entnahme aus der Forstwirtschaft um 10 % stieg. Diese entsprach jedoch nur 17 % der gesamten biotischen Entnahme. Der Anstieg kam durch den erhöhten Einschlag von Nadelholz zustande: Rund drei Viertel (76 %) der Nadelholzmengen aus dem Jahr 2019 fielen aufgrund von Waldschäden wie Insektenbefall an (Destatis, 2020).

Abbildung 5

Genutzte Entnahme nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, 2015 und 2019



Zur deutlicheren Visualisierung der Einzelkategorien ist die Höhe der drei Säulenpaare nicht proportional zueinander.
* Zu den Handelsgewächsen gehören Ölfrüchte wie Raps, Sonnenblumen und Soja, Hopfen, Tabak, Pflanzenfasern sowie Heil-, Duft- und Gewürzpflanzen.
** Daten basieren auf revidierter Version des Gesamtwirtschaftlichen Materialkontos vom November 2021. Direkte Vergleichbarkeit zu Ressourcenberichten 2016 (UBA, 2016 a) und 2018 (UBA, 2018) nicht gegeben, da Kategorien seit der UGR 2018 verändert wurden: Die Kategorien „Futterpflanzen und Grünland“ und „Stroh“ gibt es nicht mehr. Futterpflanzen wie Mais werden nun der Kategorie „Getreide“ zugeordnet. Die neue Kategorie „Zwischenfrüchte, Grünland, Ernterückstände“ beinhaltet Stroh und Rübenblätter sowie sämtliche erneuerbare Ressourcen, die durch Grasanbau oder auf Wiesen und Weiden einschließlich Almen, Hutungen, Heiden und Streuwiesen gewonnen werden.

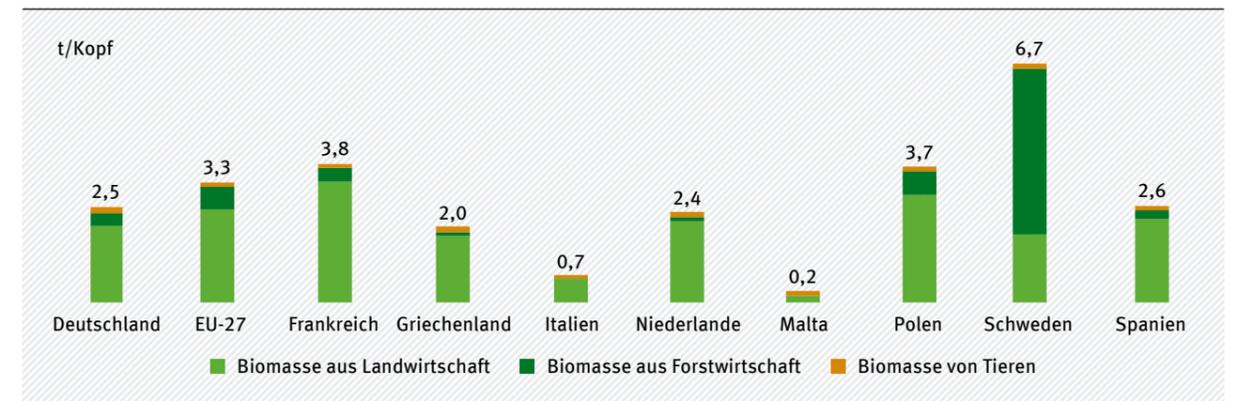
Quelle: Destatis, 2021 h

Pro Kopf betrachtet lag Deutschlands Entnahme von nachwachsenden Rohstoffen mit 2,5 Tonnen im Jahr 2019 unter dem europäischen Durchschnitt von 3,3 Tonnen (Abb. 6). Unter allen EU-Mitgliedstaaten wies Schweden den höchsten Pro-Kopf-Wert auf (6,7 t), hauptsächlich bedingt durch die Forstwirtschaft. In Malta hingegen war die Entnahme nachwachsender Rohstoffe am geringsten (0,2 t/Kopf).

Für die Dekarbonisierung der Wirtschaft im Sinne der Klimaschutzziele spielen nachwachsende Rohstoffe eine zunehmend wichtige Rolle. Doch auch sie stehen nicht in unendlichen Mengen bereit. Es gibt Zielkonflikte wie begrenzt verfügbare Anbauflächen oder mit dem Anbau verbundene Umweltauswirkungen (s. S. 54–63).

Abbildung 6

Vergleich der genutzten Entnahme nachwachsender Rohstoffe pro Kopf in Deutschland mit ausgewählten EU-Mitgliedstaaten sowie dem EU-Durchschnitt, 2019



Quellen: Destatis, 2021 c, 2021 h; Eurostat, 2021



Trends der Rohstoffentnahme

Analysen langfristiger Trends der Rohstoffentwicklung ermöglichen eine Aussage über die Effektivität der Rohstoffpolitik. In Deutschland sinkt die gesamte Rohstoffentnahme seit 1994 kontinuierlich. Der Abbau nicht-nachwachsender Rohstoffe ging stark zurück, während die Entnahme nachwachsender Rohstoffe zunahm.

Seit Beginn der Umweltgesamtrechnung 1994 sank die gesamte Rohstoffentnahme von 1.307 Mio. Tonnen auf 945 Mio. Tonnen in 2019 (Abb. 7) – eine Abnahme von 28%. Der langfristige Rückgang der gesamten Rohstoffentnahme setzte sich seit dem vorherigen Ressourcenbericht (UBA, 2018) fort. Die Gründe dafür sind vielfältig: einerseits die höhere Produktivität bei der Rohstoffnutzung (s. S. 40/41), aber auch die verstärkte Nutzung von Sekundärrohstoffen (s. S. 42/43) sowie die Verlagerung von Produktionsprozessen ins Ausland (s. S. 28/29).

Beim Vergleich der wichtigsten Rohstoffgruppen zeigen sich sehr deutliche Unterschiede. In der dominierenden Kategorie der nicht-nachwachsenden Rohstoffe ging allein die Entnahme nicht-metallischer Mineralien trotz Schwankungen um 250 Mio. Tonnen zurück (-35%), vor allem aufgrund der

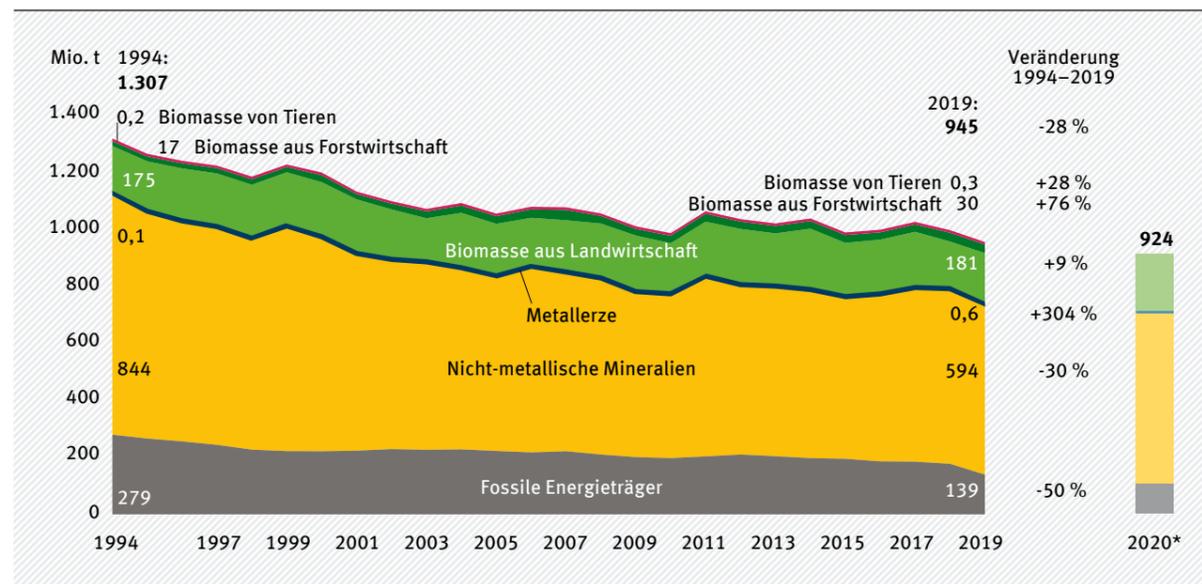
Baukonjunktur. Der Bau neuer Infrastruktur nach der politischen Wende in Deutschland verursachte eine enorme Nachfrage nach Baumineralien, die jedoch über die Jahre sukzessive gedeckt werden konnte (s. S. 22/23).

Die fossilen Energieträger wiederum verzeichneten seit 1994 infolge der Energiewende eine starke Abnahme um fast die Hälfte (von 279 Mio. t auf 139 Mio. t).

Im Unterschied dazu lässt sich für die nachwachsenden Rohstoffe über den gesamten Zeitraum ein steigender Trend beobachten. Hier unterliegt die Entnahme jedoch starken Schwankungen, da Witterungsbedingungen (z. B. Trockenheit, Hagel, Starkwind etc.) für Land- und Forstwirtschaft eine zentrale Rolle spielen.

Abbildung 7

Entwicklung der genutzten Rohstoffentnahme in Deutschland, 1994–2020

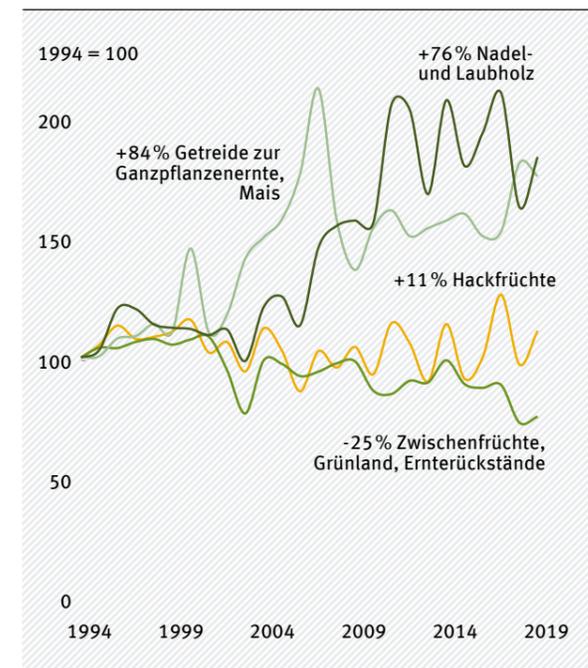


Daten basieren auf revidierter Version des Gesamtwirtschaftlichen Materialkontos vom November 2021. Direkte Vergleichbarkeit zu Ressourcenberichten 2016 (UBA, 2016) und 2018 (UBA, 2018) nicht gegeben. * Abschätzung anhand der Trends der Inländischen Entnahme nach Eurostat, 2021.

Quelle: Destatis, 2021 h

Abbildung 8

Entwicklung der genutzten Entnahme von einzelnen Unterkategorien nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, 1994–2019



Quelle: Destatis, 2021 h

Die Entnahme nachwachsender Rohstoffe stieg langfristig um 15%.

Von 1994 bis 2019 wuchs die Entnahme nachwachsender Rohstoffe von 184 Mio. Tonnen auf 211 Mio. Tonnen. Der Trend bei den nachwachsenden Rohstoffen geht zum Teil auf die steigende Entnahme in der Forstwirtschaft zurück. Die verstärkte Nutzung von Holz, insbesondere Nadelholz, führte zu einer Zunahme um 13 Mio. Tonnen (+76%).

Die Rohstoffentnahme der Landwirtschaft erhöhte sich um 11 Mio. Tonnen (+9%), wobei die geringe Ernte in den Jahren 2018 und 2019 den Anstieg dämpfte. Gründe für die Zunahme sind der steigende Futtermittelbedarf sowie die vermehrte stoffliche Verwendung von Biomasse als Alternative zu fossilen Energieträgern in Produktionsprozessen.

Die steigenden Entnahmemengen sind aber zum Teil auch auf die Verwendung von Biomasse in Biogasanlagen zurückzuführen. So ist die Entnahme von Getreide zur Ganzpflanzenernte (z. B. Mais, Weizen oder Winterraps) langfristig um 84% gestiegen (Abb. 8). Mit Folgen für die Flächennutzung – 35% der Anbau-

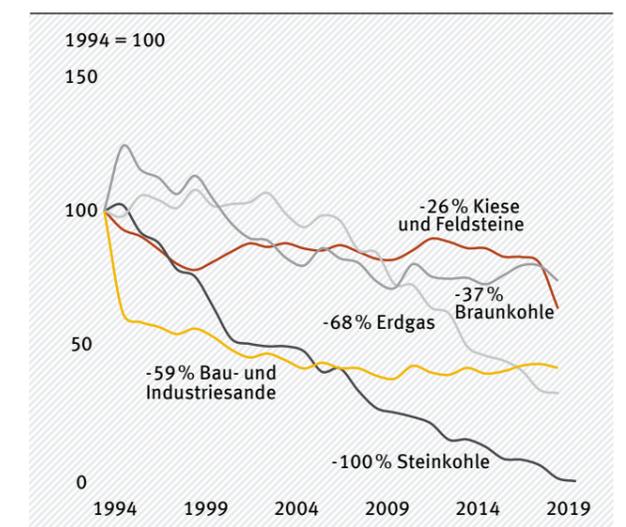
fläche für Mais dienen im Jahr 2019 der Biogasgewinnung (FNR, 2019). Die Konsequenz: Kommen in Biogasanlagen statt Gülle oder Bioabfall Energiepflanzen zum Einsatz, konkurrieren sie mit Nahrungsmitteln sowie Pflanzen zur stofflichen Nutzung um Anbauflächen. Als Folge werden bestehende Flächen intensiver genutzt und stärker gedüngt. Das wiederum kann Umweltwirkungen wie Nährstoffeinträge in das Grundwasser verschärfen (s. S. 62/63).

Der langfristig stark rückläufige Trend bei der Gewinnung fossiler Energieträger zeigt sich auch bei einzelnen Unterkategorien (Abb. 9). Der Rückgang war am stärksten bei Steinkohle, deren Förderung eingestellt wurde. Aber auch bei Erdgas (-68%) und bei Braunkohle (-37%) war er deutlich. Somit spielt Braunkohle zwar noch immer eine wichtige Rolle, nach dem Bundestagsbeschluss von Juli 2020 werden jedoch spätestens 2038 die letzten Braunkohlekraftwerke stillgelegt.

In den langfristigen Trends der Rohstoffentnahme spiegelt sich die industrielle und politische Entwicklung der deutschen Gesellschaft wider. In Zukunft dürften sich neben der Energiewende auch neue Mobilitätskonzepte sowie die Kreislaufwirtschaft bzw. der übergeordnete europäische Grüne Deal (Europäische Kommission, 2019) darin niederschlagen.

Abbildung 9

Entwicklung der genutzten Entnahme von einzelnen Unterkategorien nicht-nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, 1994–2019



Quelle: Destatis, 2021 h



Rohstoffentnahme der Bundesländer

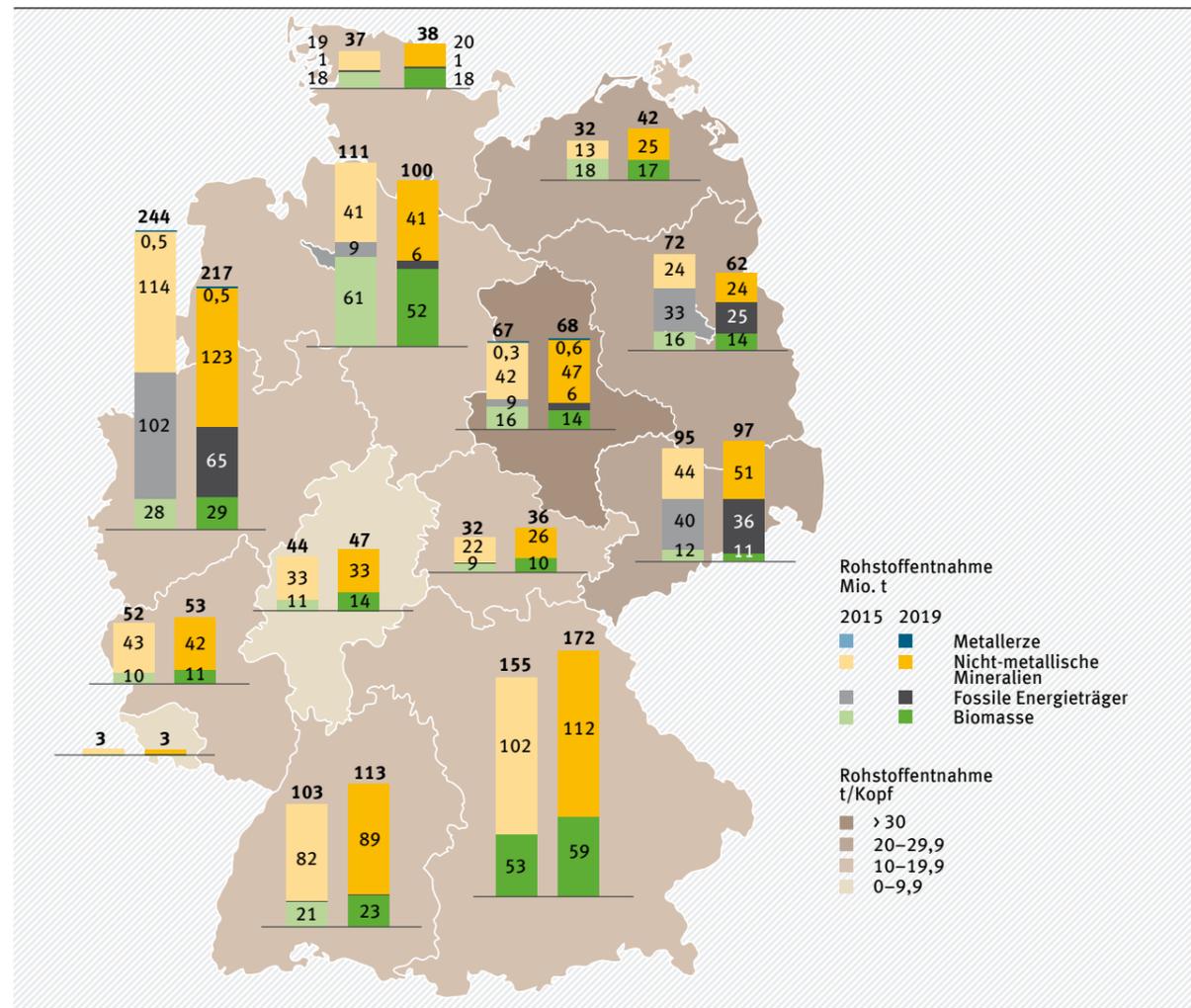
Die inländische Rohstoffentnahme ist unterschiedlich auf die deutschen Bundesländer verteilt. Große Mengen nicht-nachwachsender Rohstoffe werden nur in einigen wenigen Bundesländern gewonnen. Bestimmende Faktoren sind Fläche, geologische Gegebenheiten sowie Erschließbarkeit und Siedlungsdichte.

Nordrhein-Westfalen entnahm im Jahr 2019 mit 217 Mio. Tonnen mehr als ein Fünftel (21%) der Gesamtmenge, gefolgt von Bayern mit 172 Mio. Tonnen (16%) und Baden-Württemberg mit 113 Mio. Tonnen (11%). Auch in den kleinen Stadtstaaten

findet eine Rohstoffentnahme statt, wenngleich ihr gemeinsamer Beitrag zur deutschen Gesamtmenge nur 0,3% erreicht. Gerade für Stadtstaaten spielt die Versorgung aus dem Umland bzw. über den Handel eine große Rolle. Die niedrigste Entnahmemenge –

Abbildung 10

Genutzte Entnahme in den deutschen Bundesländern nach Rohstoffgruppen, 2015 und 2019



Ohne Stadtstaaten, da die Rohstoffentnahme dort sehr gering ist. Die statistischen Ämter der Länder haben die bundesweit vorgenommenen methodischen Anpassungen in den Daten zur Rohstoffnutzung nicht umgesetzt (s. S. 9–11). Die Summen der Bundesländer weichen daher um etwa 10% von den nationalen Werten ab.

unter Ausschluss der Stadtstaaten – verbuchte 2019 das Saarland mit 3 Mio. Tonnen (0,3% der gesamten Entnahme) (Abb. 10).

Alle drei Bundesländer mit der größten Rohstoffförderung entnehmen viele nicht-nachwachsende Rohstoffe. In Nordrhein-Westfalen (mit dem größten Bergbaurevier Europas, dem Rheinischen Braunkohlerevier) ist besonders der Abbau von fossilen Energieträgern wichtig. Hier wurde mit 65 Mio. Tonnen im Jahr 2019 etwa die Hälfte der bundesweiten Menge gefördert. Eine große Rolle spielen auch Sachsen und Brandenburg (36 und 25 Mio. t), vor allem durch das Lausitzer Braunkohlerevier.

Im Unterschied zu den fossilen Energieträgern ist die Entnahme von Biomasse in allen Bundesländern von Bedeutung. Das Ausmaß hängt von Flächenverfügbarkeit, Bodenqualität und Bewirtschaftungspraktiken ab. Besonders große Mengen wurden 2019 in Bayern (59 Mio. t), Niedersachsen (53 Mio. t) und Nordrhein-Westfalen (29 Mio. t) entnommen. Diese Länder haben einerseits eine große Gesamtfläche und andererseits (im Fall von Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen) auch weite Flächen mit einheitlichen Kulturen, was die Bewirtschaftung vereinfacht. Diese drei Bundesländer zusammen entnehmen rund die Hälfte der deutschen Gesamtmenge.

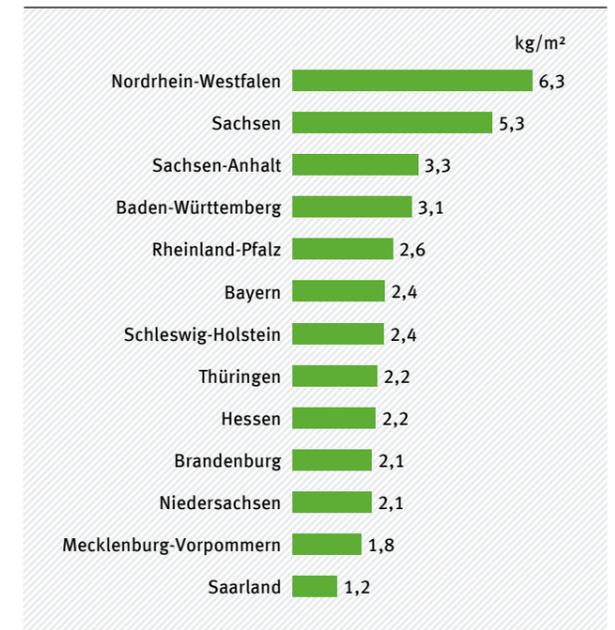
Langfristig legte die Entnahme nachwachsender Rohstoffe in allen Bundesländern zu. Zwischen 2015 und 2019 zeigte sich jedoch in vielen Fällen ein abnehmender Trend – zurückzuführen auf die Trockenheit in den Jahren 2018 und 2019 (s. S. 16/17). In Niedersachsen sank die Entnahme sogar um 13% von 61 Mio. Tonnen auf 53 Mio. Tonnen.

Zur Relativierung der absoluten Entnahmezahlen bietet sich die Entnahme pro Kopf an. Sachsen-Anhalt verzeichnete 2019 die höchste Pro-Kopf-Entnahme (31,0 t), mehr als das Doppelte des nationalen Durchschnitts von 15,9 Tonnen. Dies liegt nicht zuletzt in der niedrigen Bevölkerungsdichte dieses Bundeslandes begründet.

Die Pro-Kopf-Perspektive lässt sich um die Betrachtung der flächenbezogenen Rohstoffintensität ergänzen, indem man die gesamte Rohstoffentnahme in einem Bundesland in Bezug zu seiner Fläche setzt (Abb. 11). Hier stechen vor allem jene Bundesländer hervor, die große Mengen an nicht-nachwachsenden

Abbildung 11

Rohstoffentnahme der deutschen Bundesländer pro Flächeneinheit, 2019



Quelle: Statistische Ämter der Länder, 2021

Rohstoffen fördern. Bei der Entnahme von nicht-metallischen Mineralien ist die Intensität oft hoch: z. B. 27 Tonnen/m² bei Sand und Kies oder 14–45 Tonnen/m² bei Braunkohle (UBA, 2021 c). Daraus folgen vergleichsweise hohe Durchschnittswerte für Nordrhein-Westfalen (6,3 kg/m²) und Sachsen (5,3 kg/m²). Im Saarland und in Mecklenburg-Vorpommern mit der geringsten absoluten Entnahme wurden auch in Relation zur Fläche die geringsten Rohstoffmengen gewonnen (1,2 kg/m² bzw. 1,8 kg/m²).

Die regionale Versorgung rückt nicht zuletzt wegen der zunehmend fragilen globalen Lieferketten wieder in den Fokus. Gleichzeitig führen zunehmende Verstädterung sowie der Ausstieg aus der Kohleförderung in einigen Bundesländern bereits zu einem deutlichen Strukturwandel. Der Abschlussbericht der von der Bundesregierung eingesetzten Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ betont die Notwendigkeit regionaler Entwicklungskonzepte und definiert Grundsätze einer Strukturentwicklungsstrategie (Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“, 2019). Dies wird sich auch auf die Rohstoffentnahme der Bundesländer auswirken, beispielsweise durch die verstärkte Nutzung biotischer Rohstoffe.

Inländische Entnahme: das Beispiel Sand

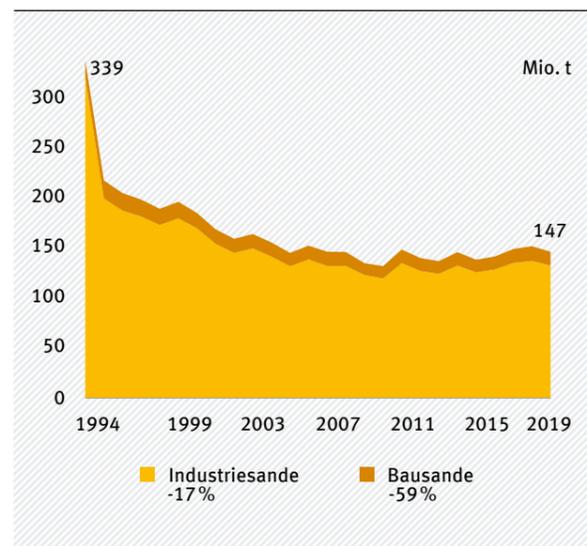
Sand ist ein Schlüsselrohstoff für die globale Wirtschaft, besonders für die Errichtung und den Erhalt von Infrastruktur und Bauwerken. Auch in Deutschland hat der Sandabbau einen großen Anteil an der gesamten Rohstoffentnahme. Wegen beschränkter lokaler Verfügbarkeit sowie negativer Umweltwirkungen werden jedoch Alternativen gesucht.

Die Nutzung von Sand in der Weltwirtschaft ist ein Phänomen des Anthropozäns – des aktuellen geologischen Zeitalters, in dem der Mensch zu einem der wichtigsten Einflussfaktoren für die natürlichen Prozesse auf der Erde geworden ist (Steffen et al., 2007). Inzwischen wird weltweit jährlich doppelt so viel Sand abgebaut, wie natürliche Erosionsprozesse und Flüsse nachliefern (UNEP, 2014).

Die Entnahme von Sand wird international zusammen mit Kiesen und gebrochenen Steinen gemessen, meist anhand von Schätzungen basierend auf dem Zementverbrauch. Sande, Kiese und gebrochene Steine hatten 2019 zusammen einen Anteil von etwa 45 % an der globalen Rohstoffentnahme (UN IRP, 2022). In Deutschland machten diese drei Materialgruppen 40 % der inländischen Rohstoffentnahme aus, wobei Sande allein für 18 % verantwortlich waren.

Abbildung 12

Abbau von Bau- und Industriesanden in Deutschland, 1994–2019



In Deutschland ist der Abbau von Sand langfristig stark rückläufig und sank von 1994 bis 2019 um 57%.

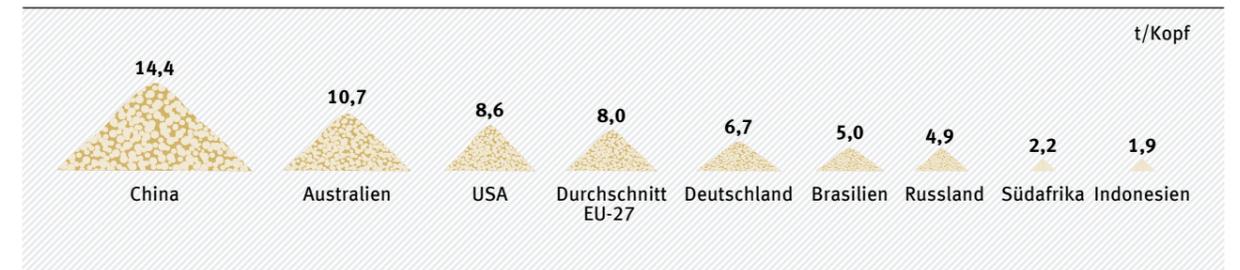
Grund für die hohen Mengen an abgebautem Sand bis 1994 waren der Aufbau von Infrastruktur sowie der Wohnungsbau im Zuge des „Aufbau Ost“ nach der Wiedervereinigung (Abb. 12). Auf diese Hochphase im Bausektor folgte ab dem Jahr 1995 eine konjunkturbedingte Abnahme (BKS, 1996; Die Naturstein-Industrie, 1996). Der rückläufige Trend des Sandabbaus setzte sich bis 2010 (133 Mio. t) fort. Danach stieg die Entnahme bis 2019 wieder leicht an.

Bausande dienen zusammen mit Kiesen als Zuschlagstoff bei der Zement- und Betonherstellung. Sie sind aber auch bei technischen Infrastrukturen zur Bettung von Rohren und Kabeln notwendig (s. S. 42/43). So wurden im Jahr 2018 rund zwei Drittel des in der deutschen Ostsee abgebauten Sandes (2,6 Mio. t) im Nordstream-2-Pipelinegraben eingesetzt (Elsner and Szurlies, 2020). Sande mit hohem Quarzanteil („Quarzsande“ oder „Industriesande“) werden für Glas und Halbleiter benötigt oder sind Bestandteil von Lacken, Solaranlagen und Computerchips (Elsner, 2016). Sie hatten 2019 mit 9 % jedoch nur einen sehr kleinen Anteil am deutschen Sandabbau. Deutschland lag im Jahr 2019 mit 6,7 Tonnen Sandentnahme pro Kopf unter dem EU-Durchschnitt von 8,0 Tonnen (Abb. 13). Zum Vergleich: China entnahm mit 14,4 Tonnen fast doppelt so viel. Dort herrscht weiter enormer Bedarf an neuer Infrastruktur. China hat daher weltweit mit Abstand die größte Zementproduktion und verzeichnet somit auch die größte Entnahme von Sand, Kies und gebrochenen Natursteinen (48 % der globalen Entnahme) (UNEP IRP, 2022).

Doch auch in anderen Ländern nimmt der Sandabbau mit Urbanisierung und Industrialisierung stetig zu, was manchmal bereits zu Knappheit führt (s. Box).

Abbildung 13

Vergleich der Pro-Kopf-Entnahme von Sand, Kies und gebrochenen Natursteinen in Deutschland mit ausgewählten Ländern, 2019



Für Deutschland wurden in dieser Darstellung wie für alle anderen Länder zur besseren Vergleichbarkeit Daten des UN IRP (Kategorie „non-metallic minerals – construction dominant“) herangezogen. Diese weichen aufgrund methodischer Unterschiede von jenen der UGR ab.

Quellen: UNEP IRP, 2022; Weltbank, 2021 a

Sand ist ein Massenrohstoff mit relativ geringem ökonomischem Wert. Da der Transport über lange Strecken wenig rentabel ist, wird Sand hauptsächlich regional gehandelt (BGR, 2019). 2020 exportierte Deutschland 8 Mio. Tonnen Sand. Der Großteil davon ging auf kurzem Wege in die Nachbarländer, wie Niederlande, Belgien und Schweiz. Den Sandexporten stehen 3 Mio. Tonnen Sandimporte gegenüber (Destatis, 2021 h). Auf globaler Ebene ist der Handel mit Sand jedoch bedeutender, vor allem in Ländern mit Knappheit sowie in Ländern mit übermäßiger Nachfrage. Zum Beispiel erweitert Singapur seine Landfläche laufend durch Aufschüttungen und importierte in den vergangenen 20 Jahren mehr als 500 Mio. Tonnen Sand (UNEP, 2019).

Je nach Verfahren hat der Sandabbau unterschiedliche ökologische Auswirkungen. Der Tagebau

zerstört Böden, Landschaften und somit Lebensräume. Auch die Entnahme aus Binnengewässern oder dem Meer hat direkte Folgen für die jeweiligen Ökosysteme, die verändert oder zerstört werden. Sandabbau kann zudem den Verlauf von Flüssen ändern, den Uferbereich erodieren oder den Grundwasserspiegel senken (s. S. 56/57).

Weltweit wird der meiste Sand von der Bauindustrie nachgefragt. In Deutschland wird Sand besonders aufgrund der Erneuerung bestehender Infrastruktur weiterhin eine bedeutende Rolle spielen. Und obwohl der Rohstoff Sand geologisch betrachtet nicht knapp ist, gibt es weltweit bereits viele Regionen, in denen Sand wegen des Baubooms nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung steht. Vor allem in diesen Fällen ist die Suche nach Alternativen für Sand als Zuschlagsstoff nötig (s. Box).

Alternativen zum Sand- und Kiesabbau

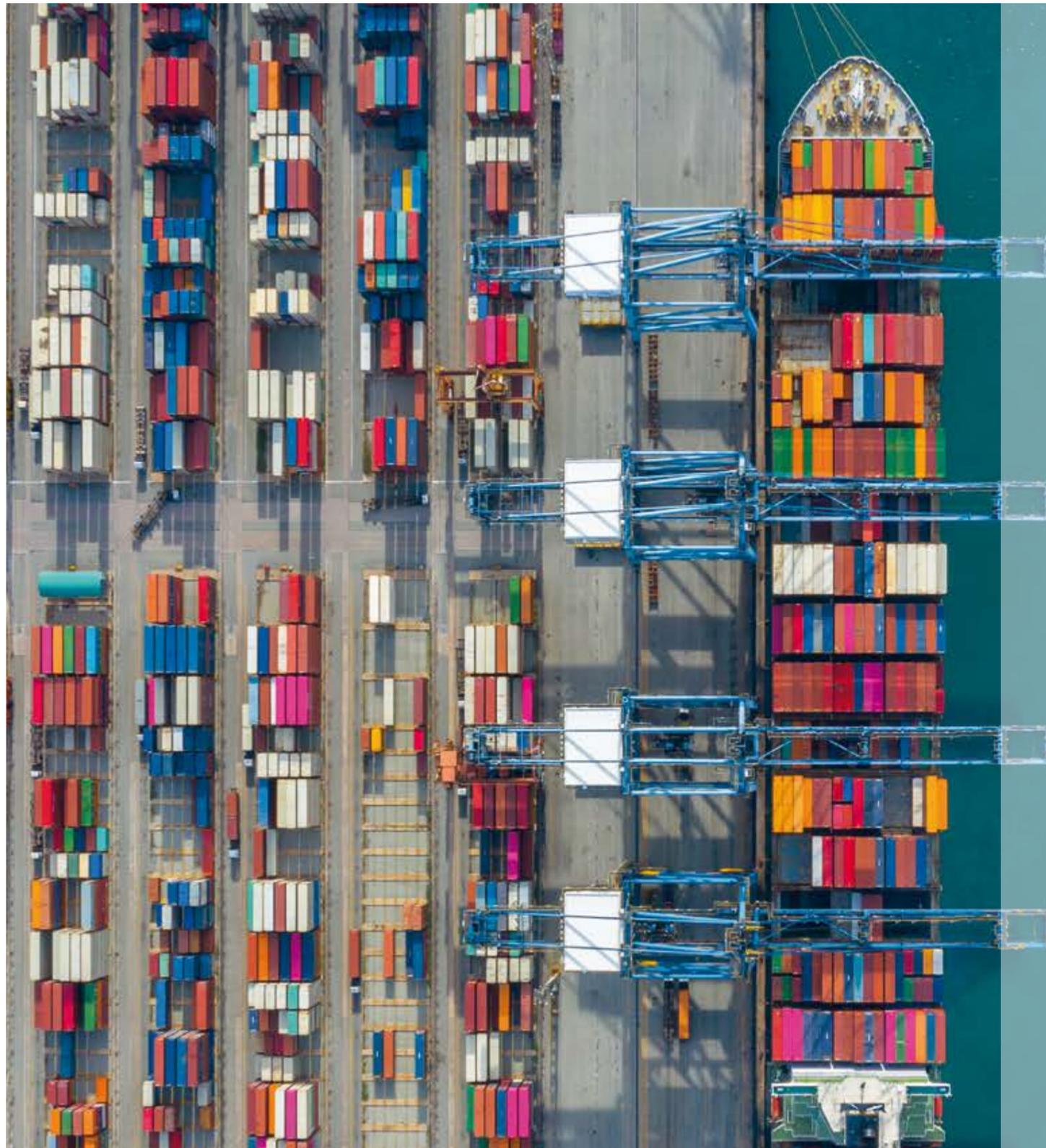
Nicht jede Art von Sand oder Kies kann in der Bauindustrie verwendet werden. Wüstensand beispielsweise eignet sich aufgrund seiner Form (noch) nicht für die Betonherstellung. Man arbeitet aber intensiv an Technologien, die ihn nutzbar machen.

Auch Kies wird immer öfter durch alternative Rohstoffe wie beispielsweise Flachs, Hanf oder Holz ersetzt. Zudem kommen öfter Sekundärbaustoffe wie recycelte Bauabfälle zum Einsatz, was einen wichtigen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten kann. Alternative Baustoffe wie Holz ermöglichen darüber hinaus eine Reduktion der Treibhausgasemissionen aus der Bauwirtschaft (s. S. 84/85).

In Deutschland wurden im Jahr 2018 etwa 81 % des Straßenaufbruchs und Bauschutts recycelt (UBA, 2021 a). Der Großteil des Rezyklats (Sekundärrohstoff) ersetzt Kies im Straßen-, Wege- oder Landschaftsbau für Bettungen oder Fugen von gepflasterten Wegen. Nur ein kleiner Teil wird als höherwertiger Recyclingbeton im Hochbau weiterverwendet (UBA, 2016 b). Somit birgt das Aufbereiten von Bauschutt in Deutschland noch großes Potenzial (Elsner und Szurlies, 2020).



Deutschlands Anteil am globalen Rohstoffhandel



243 Mio. Tonnen	202 Mio. Tonnen	Physischer Importüberschuss, 2015 und 2020
265 Mrd. Euro	225 Mrd. Euro	Monetärer Exportüberschuss, 2015 und 2020
620 Mio. Tonnen	630 Mio. Tonnen	Direkte Importe, 2015 und 2019
1.497 Mio. Tonnen	1.628 Mio. Tonnen	Importe inklusive Rohstoffrucksäcke, 2014 und 2019
376 Mio. Tonnen	407 Mio. Tonnen	Direkte Exporte, 2015 und 2019
1.192 Mio. Tonnen	1.209 Mio. Tonnen	Exporte inklusive Rohstoffrucksäcke, 2014 und 2019
64 Prozent		Anteil der Importe am Rohstoffeinsatz (RMI), 2019
27 Mio. Tonnen		Exporte von Kunststoff und Kunststoffgütern, 2019
1,1 Mio. Tonnen		Exporte von Kunststoffabfällen, 2019

Quellen: s. S. 26–33



Direkte Importe und Exporte

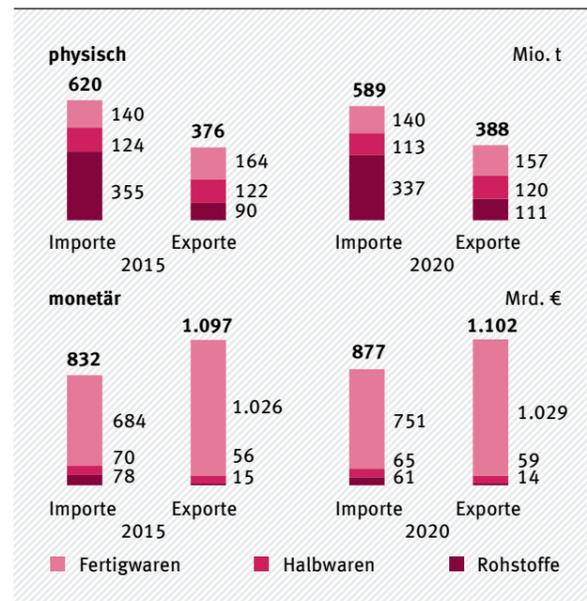
Die deutsche Wirtschaft ist eng in den internationalen Handel eingebunden: Zum einen ist Deutschland – gemessen am monetären Handelsvolumen – einer der größten Exporteure weltweit, zum anderen ist die Importabhängigkeit bei verschiedenen Metallen, fossilen Energieträgern und weiteren Rohstoffen sehr hoch.

Im Jahr 2020 wurden Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren mit einem Eigengewicht von 589 Mio. Tonnen im monetären Wert von 877 Mrd. Euro nach Deutschland importiert. Diesen direkten Importen standen 388 Mio. Tonnen direkte Exporte im Wert von 1.102 Mrd. Euro gegenüber (Abb. 14).

Deutschland importierte somit mehr Rohstoffe und Güter, als es exportierte. Der physische Importüberschuss betrug rund 200 Mio. Tonnen. Gleichzeitig erwirtschaftete der Export mehr als für den Import aufgewendet wurde, was einem monetären Exportüberschuss von 225 Mrd. Euro entsprach. Ursache ist der unterschiedliche Verarbeitungsgrad von Import- und Exportgütern: Deutschland importiert materialintensive Güter und exportiert höherwertige Güter.

Abbildung 14

Direkte Handelsströme Deutschlands in physischer und monetärer Betrachtung, 2015 und 2020



Angegebene Zahlen exklusive der Ernährungswirtschaft, für die keine Daten nach Warenart berichtet werden.

Quellen: Destatis, 2021 h; Dittrich et al., 2022 a

2020 wurden wie in den Jahren zuvor zum Großteil Rohstoffe importiert, gefolgt von Fertigwaren und Halbwaren. Exportiert wurden hingegen vor allem Fertigwaren, gefolgt von Halbwaren und Rohstoffen. Rohstoffe werden in Deutschland also zu höherwertigen Waren „veredelt“ (s. S. 36/37).

In den Statistiken zum physischen Handel werden Halb- und Fertigwaren jener Rohstoffgruppe zugeordnet, aus der sie zum Großteil bestehen. Rohstoffe und Güter basierend auf fossilen Energieträgern wie Erdgas und Erdöl machen die größte Menge aus: 2020 etwa die Hälfte der Importe. Sie dienen als Kraft- und Brennstoffe sowie als chemische Ausgangsstoffe für Kunststoff oder Düngemittel. Auch bei den Exporten dominierten die fossilen Energieträger.

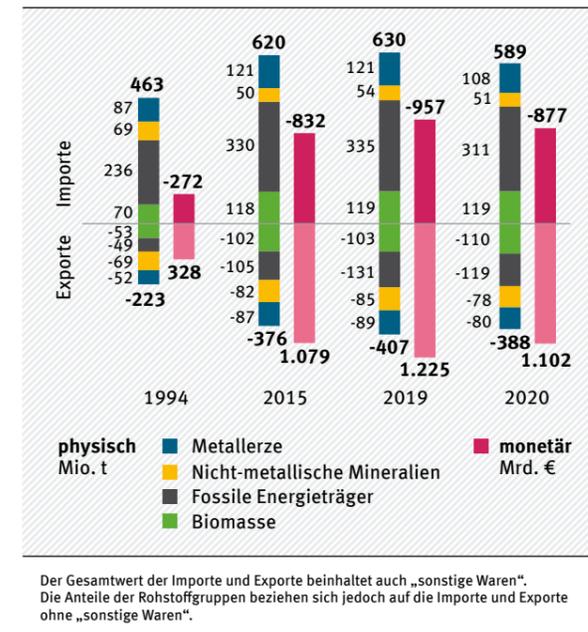
Rohstoffe und Güter basierend auf Biomasse wurden in ähnlichem Umfang importiert wie exportiert. Wichtigste Importgüter waren Rapssaaten, Holz und Altpapier. Exportiert wurden beispielsweise Weizen, Holz und Papier.

Bei Metallerzen ist die deutsche Wirtschaft nahezu vollständig von Importen abhängig. Auch Halb- und Fertigwaren wie Autoteile und Autos wurden importiert – im Jahr 2020 insgesamt 108 Mio. Tonnen. Für Ausfuhren von Metallerzen bzw. darauf basierenden Waren (80 Mio. t) spielt die Automobilindustrie ebenfalls eine wichtige Rolle. Monetär betrachtet waren Kraftwagen und Kraftwagenteile im Jahr 2020 sogar Deutschlands wichtigste Exportgüter (13 % der Exporte).

Seit 2015 verringerten sich die Importe insgesamt um 5 %, während die Exporte zwischen 2015 und 2020 um 3 % stiegen (Abb. 15). Langfristig gilt: Durch die Globalisierung vergrößert sich das physische Handelsvolumen in fast allen Rohstoffgruppen (insgesamt + 43 %) – bei den Exporten stärker als bei den Importen (+ 74 % versus + 27 %).

Abbildung 15

Entwicklung direkter Importe und Exporte in Deutschland – monetär und physisch nach Rohstoffgruppen, 1994–2020



Der Gesamtwert der Importe und Exporte beinhaltet auch „sonstige Waren“. Die Anteile der Rohstoffgruppen beziehen sich jedoch auf die Importe und Exporte ohne „sonstige Waren“.

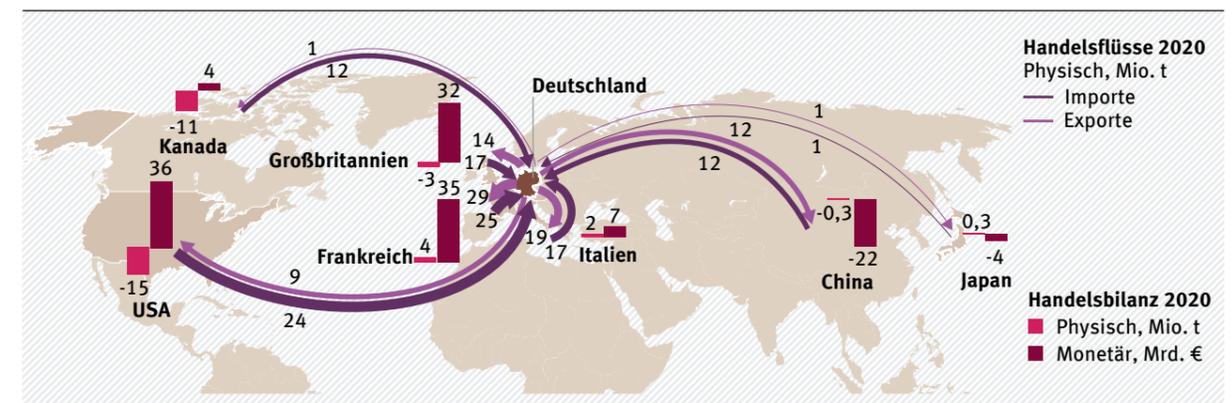
Quellen: Destatis, 2021 h; Dittrich et al., 2022 a

Monetär betrachtet verdoppelten sich Importe sowie Exporte, sodass das Handelsvolumen nun den vierfachen Wert erreicht.

Der Zeitraum 2019 bis 2020 fiel aufgrund der Coronapandemie aus der Reihe: Physische Importe von Rohstoffen, Halb- und Fertigwaren sanken von 2019 auf 2020 um 6 %, Exporte um 5 %. Dies spiegelte sich auch in den monetären Werten wider.

Abbildung 16

Physische und monetäre Handelsbilanz Deutschlands mit den G7-Ländern und China, 2020



Quelle: Destatis, 2022 a

Deutschland betreibt Handel mit vielen Ländern (s. S. 30/31). Mit 62 % am physischen Handelsvolumen Deutschlands spielt die Europäische Union die größte Rolle. Von den G7-Ländern ist Frankreich der wichtigste Handelspartner Deutschlands (Abb. 16). In dieser Ländergruppe übersteigen Deutschlands Exporte nur im Fall von Frankreich und Italien die Importe (Handelsüberschuss: 4 Mio. t bzw. 2 Mio. t). Die übrigen G7-Länder weisen ein physisches Handelsdefizit gegenüber Deutschland auf, allen voran die USA (15 Mio. t).

Neben der EU und den G7 ist auch Russland mit einem Anteil von 9 % am Handelsvolumen im Jahr 2020 ein wichtiger deutscher Handelspartner.

Bemerkenswert beim Handel mit Russland ist, dass die physischen Importe 25-mal größer sind, als die Exporte. Importiert wurden vor allem Erdgas-, Erdöl- und Steinkohle.

Gemessen am monetären Handelsvolumen ist China seit etwa fünf Jahren mit Abstand der wichtigste Handelspartner Deutschlands – mit einem Handelsbilanzdefizit von 22 Mrd. Euro im Jahr 2020. Die niedrigen physischen Mengen zeigen, dass Deutschland vor allem höherwertige Güter mit China austauscht.

Deutschland als Veredelungsstandort lagert die Rohstoffgewinnung sowie die entsprechenden Umweltauswirkungen aus. Berücksichtigt man die sogenannten „Rohstoffrucksäcke“ der Importe, ergibt sich ein vollständigeres Bild der hierzulande für Wirtschaft und Konsum verbrauchten Rohstoffe (s. S. 28/29).



Rohstoffrucksäcke von gehandelten Gütern

Gehandelte Güter basieren auf vielfältigen Vorleistungen. Dazu gehören auch all jene Rohstoffe, die entlang der vorgelagerten Lieferketten eingesetzt wurden. „Indirekte Rohstoffflüsse“ bilden diese Rohstoffaufwendungen ab, auch für gehandelte Waren mit höherem Verarbeitungsgrad.

Deutschland handelt mit vielen höherverarbeiteten Produkten. Deren Rohstoffbedarf lässt sich in sogenannten „Rohstoffäquivalenten“ (RME; s. Glossar) oder „indirekten Flüssen“ berechnen. Das ist die Summe aller Rohstoffe, die im Lebenszyklus eines Produkts bis zu seiner Verwendung zum Einsatz kommen. Dabei zeigt sich: Die Herstellung von Halb- und Fertigwaren erfordert weitaus mehr Rohstoffe, als es ihr Gewicht vermuten lässt. Zum Beispiel hat allein ein durchschnittlicher Pkw (Eigengewicht 1,5 Tonnen) einen Rohstoffrucksack von ca. 15 Tonnen (Müller et al., 2017).

Zu beachten ist, dass Importe und Exporte in Handelsstatistiken denjenigen Rohstoffgruppen zugeordnet werden, die die größte Masse daran ausmachen, zum Beispiel ein Auto den Metallerzen. Rohstoffäquivalente hingegen zeigen die tatsächlich entnommenen Menge an Metallerzen an, die für die Produktion eines Autos notwendig war. Die Ergebnisse beider

Methoden sind also nicht direkt vergleichbar, lassen jedoch Tendenzen erkennen.

Die direkten Importe (s. S. 26/27) beliefen sich 2019 auf 630 Mio. Tonnen, die Rucksäcke dieser Importe – also die indirekten Importe – auf 1.628 Mio. Tonnen (Abb. 17). Die Rucksäcke der Exporte waren sogar dreimal so groß wie die direkten Exporte.

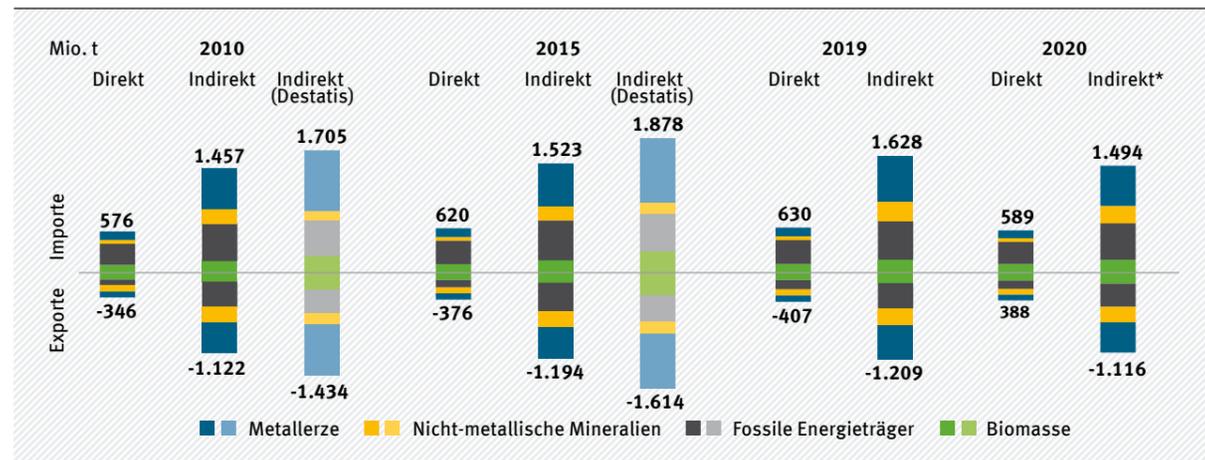
Berücksichtigt man die Rohstoffrucksäcke, vergrößert sich Deutschlands physisches Handelsvolumen um rund einen Faktor 3.

Dieser Unterschied nahm seit 2014 stark zu. Wie die direkte Handelsbilanz wiesen auch die Rohstoffrucksäcke im Jahr 2019 einen Überschuss auf (419 Mio. t).

Besonders große Rohstoffrucksäcke haben Metalle. Der Grund: Zu ihrer Herstellung werden große Mengen Erz mit niedrigem Metallgehalt extrahiert

Abbildung 17

Entwicklung von direkten und indirekten Rohstoffimporten und -exporten Deutschlands nach Rohstoffgruppen, 2010–2020

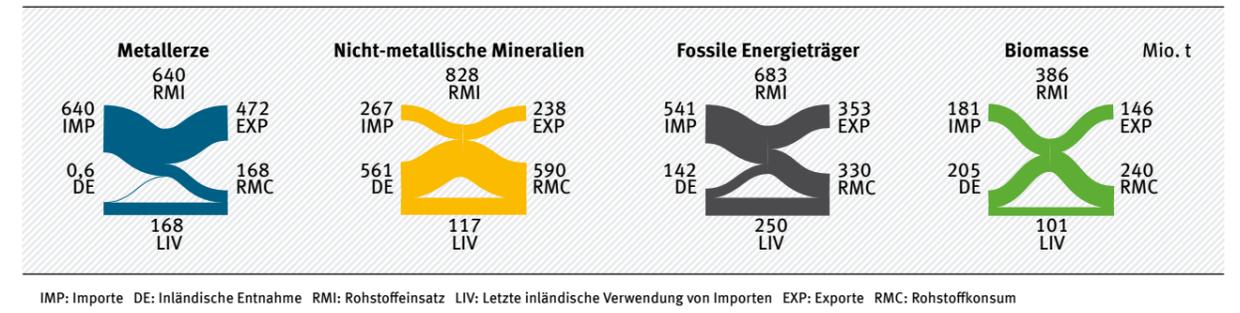


Die Berechnungen nach Destatis bzw. EU-Standardmethode im Vergleich zeigen aufgrund konzeptueller Unterschiede verschiedene Ergebnisse (s. S. 9–11). Der Gesamtwert der direkten Importe und Exporte beinhaltet auch „sonstige Waren“. Die Anteile der Rohstoffgruppen beziehen sich jedoch auf die Importe und Exporte ohne „sonstige Waren“.
* Vorläufige Schätzung anhand der Veränderungen der direkten Materialflüsse auf der Basis von Eurostat, 2021 (Dittrich et al., 2022 a).

Quellen: Destatis, 2021 h; Dittrich et al., 2022 a

Abbildung 18

Direkte und indirekte Rohstoffflüsse durch die deutsche Wirtschaft nach Rohstoffgruppen, 2019



Quelle: Dittrich et al., 2022 a

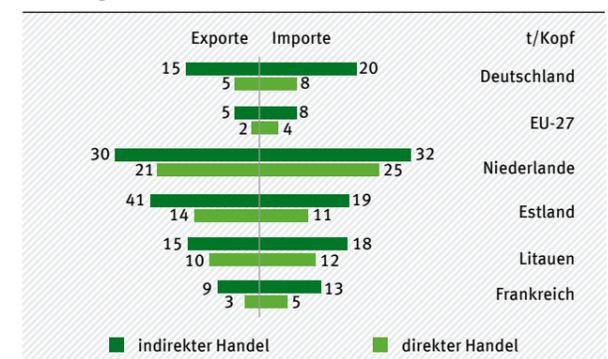
und aufwendig (energieintensiv) weiterverarbeitet. Die Rohstoffäquivalente von Ein- und Ausfuhren sind daher über fünfmal größer als das Eigengewicht.

Bei fossilen Energieträgern ist das Verhältnis zwischen direkten und indirekten Importen niedriger (1,6) als bei Exporten (2,7). Man importiert nämlich große Mengen an Rohöl und Erdgas, exportiert aber Güter, die im Inland mit den Energieträgern hergestellt wurden.

Indirekte Handelsflüsse lassen sich mit verschiedenen methodischen Ansätzen berechnen (s. S. 10/11). Nach der EU-Standardmethode fließen nur Primärrohstoffe in die berechneten Rohstoffäquivalente ein. Kommen hingegen die Sekundärrohstoffe dazu (Methode von Destatis), erhöhen sich Importe und Exporte.

Abbildung 19

Vergleich der direkten und indirekten Rohstoffimporte und -exporte Deutschlands mit ausgewählten EU-Mitgliedstaaten, 2018



Eurostat berichtet Daten zum Rohstoffhandel nach dem Inländerprinzip. Zur Vergleichbarkeit wurden auch für Deutschland Daten nach dem Inländerprinzip dargestellt. Diese Werte entsprechen nicht den anderweitig dargestellten Daten zum Rohstoffhandel (Territorialkonzept).

Quellen: Eurostat, 2021; Dittrich et al., 2022 a

Die Entwicklung in jüngerer Vergangenheit (2014 bis 2019) zeigt: Die Rohstoffrucksäcke der Importe (+9%) stiegen stärker als jene der Exporte (+1%). Das ist vor allem auf nicht-metallische Mineralien zurückzuführen.

Laut Schätzungen sollen sich im Jahr 2020 analog zu den direkten Handelsströmen auch die Rohstoffrucksäcke verkleinern. Zukünftig könnte die vermehrte Nutzung von nicht-physischen (digitalen) Gütern (s. S.50/51) zu Verlagerungseffekten führen, beispielsweise wenn digitale Dienstleister stärker auf Rechenzentren außerhalb Deutschlands zurückgreifen.

Bei den indirekten Rohstoffflüssen zeigt sich, dass drei Viertel der eingesetzten Metallerze nach der Verarbeitung zu Halb- oder Fertigwaren exportiert werden. Ähnliches gilt für fossile Energieträger: Etwa die Hälfte dient zur Produktion von Exportgütern (Abb. 18).

Im EU-Vergleich zeigt sich: Der Unterschied zwischen direktem Handel und Rohstoffrucksäcken ist in Deutschland besonders groß (Abb. 19). Die Niederlande haben (inklusive der Rohstoffrucksäcke) das größte physische Handelsvolumen, mit einem verhältnismäßig geringen Unterschied zwischen direkten und indirekten Flüssen. Das liegt daran, dass viele auf dem Seeweg transportierte Güter das europäische Festland über den niederländischen Hafen Rotterdam erreichen und dann in andere Länder weiterexportiert werden.

In einer globalisierten Wirtschaft mit internationalen Lieferketten sind die indirekten Handelsflüsse besonders relevant. Ein stark in internationale Lieferketten eingebundenes Land wie Deutschland – als Nettoimporteur von Rohstoffäquivalenten – ist indirekt für den Rohstoffabbau im Ausland mitverantwortlich (s. S. 30/31).

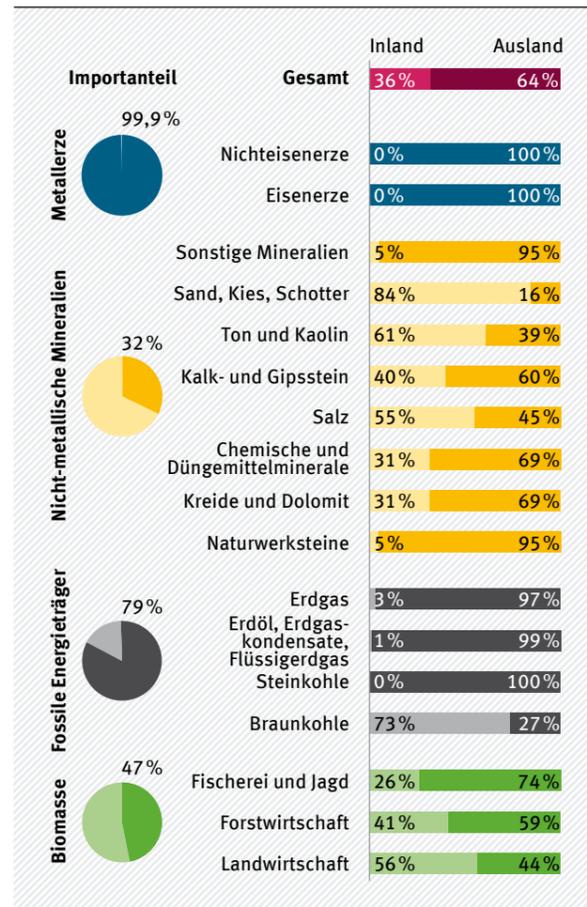
Die Herkunft der Rohstoffe

Deutschland ist durch seine Importe für die Rohstoffgewinnung und deren Folgen in vielen Teilen der Welt mitverantwortlich. Analysiert man die Rohstoffrucksäcke des heimischen Rohstoffbedarfs für Wirtschaft und Konsum, erkennt man, aus welchen Regionen besonders viele Rohstoffe indirekt beansprucht werden.

Unter Berücksichtigung der Rohstoffrucksäcke importiert Deutschland mehr, als es exportiert. Als Nettoimporteur ist Deutschland vom Ausland abhängig, um den heimischen Rohstoffbedarf zu decken (s. S. 28/29). Im Jahr 2019 stammten etwa zwei Drittel des deutschen Rohstoffeinsatzes (RMI; s. Glossar) aus Importen. Dieser Wert hat sich seit 2015 wenig geändert. Der Anteil der Importe variiert aber je nach Rohstoffgruppe (Abb. 20).

Abbildung 20

Anteil der Importe am Rohstoffeinsatz (RMI) Deutschlands nach Rohstoffgruppen, 2019



Quellen: Destatis, 2021 h; Dittrich et al., 2022 a

Bei Metallerzen ist Deutschlands Wirtschaft fast gänzlich (99,9%) auf Importe aus dem Ausland angewiesen.

Im Bereich der Baurohstoffe Kies und Schotter wurde der Bedarf im Jahr 2019 zum Großteil (84%) durch inländische Entnahme gedeckt. Der Transport von Massenrohstoffen mit verhältnismäßig geringem Wert wie Sanden ist nämlich im Vergleich zu anderen Rohstoffen meist wenig rentabel (s. S. 22/23).

Bei fossilen Energieträgern betrug der Importanteil am Rohstoffeinsatz 36% – mit deutlichen Unterschieden zwischen den Untergruppen. So stammte Braunkohle größtenteils (73%) aus inländischer Entnahme. Allerdings ist dieser Anteil aufgrund des Ausstiegs aus dem heimischen Kohleabbau stark rückläufig. Bei allen anderen fossilen Energieträgern hingegen dominierte der Importanteil. Zwar entwickelt sich der deutsche Energiemix seit einigen Jahren zugunsten erneuerbarer Energien, doch 2019 spielten fossile Energieträger noch immer die wichtigste Rolle in der Energieversorgung (AGEB, 2020).

Im Unterschied dazu weist die Rohstoffkategorie Biomasse ein ausgeglichenes Verhältnis von Importen (47%) und inländischer Entnahme (53%) auf.

Betrachtet man statt des Rohstoffeinsatzes für die Wirtschaft den inländischen Rohstoffkonsum (RMC; s. Glossar), erlauben Modellberechnungen eine differenzierte Analyse der Rohstoffrucksäcke nach Regionen. Das Ergebnis: Der Anteil von Rohstoffen deutscher Herkunft hat seit 1994 stark abgenommen. Im Jahr 2018 belief er sich auf lediglich 25% (Abb. 21).

Etwa die Hälfte der 2018 für den deutschen Konsum eingesetzten Rohstoffe stammte aus Ländern außerhalb der Europäischen Union.

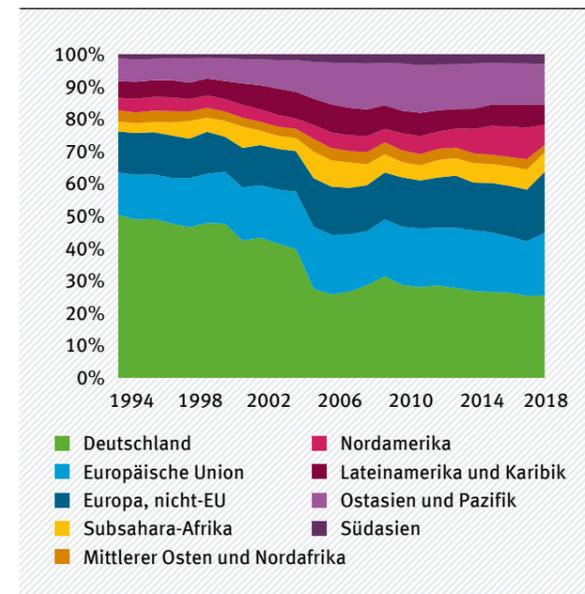
Insgesamt kamen zwei Drittel der 2018 für den deutschen Konsum eingesetzten Rohstoffe aus dem Ausland, vor allem aus der Europäischen Union (19%). Dabei lassen sich bestimmte Schwerpunkte feststellen: Aus dem Nachbarland Frankreich beispielsweise bezieht Deutschland zu einem großen Teil Produkte aus Biomasse – wie etwa Wein oder Käse.

Daneben spielen Ostasien und der Pazifik (12%) eine wichtige Rolle als Zulieferregion von Rohstoffen, allen voran von Metallerzen und fossilen Energieträgern. Die Region gewann vor allem seit dem Aufstieg Chinas zu einem der wichtigsten deutschen Handelspartner an Bedeutung. Aus Lateinamerika und der Karibik wiederum stammten 6% der Rohstoffe, insbesondere Metallerze. Wichtigste Ursprungsländer waren hier Brasilien und Chile.

Nicht nur in Deutschland, sondern auch in den anderen G7-Ländern und China haben Importe einen großen Anteil am Rohstoffkonsum (Abb. 22). Beispielsweise dient ein Großteil der aus Kanada exportierten fossilen Energieträger (in RME) (785 Mio. t) der Deckung des Rohstoffkonsums in den USA. Umgekehrt exportieren die USA nur 82 Mio. Tonnen fossile Energieträger nach Kanada. Dafür gelangen aus den USA große Mengen an Rohstoffen und Gütern mit fossilen Rohstoffrucksäcken in den Rest der Welt.

Abbildung 21

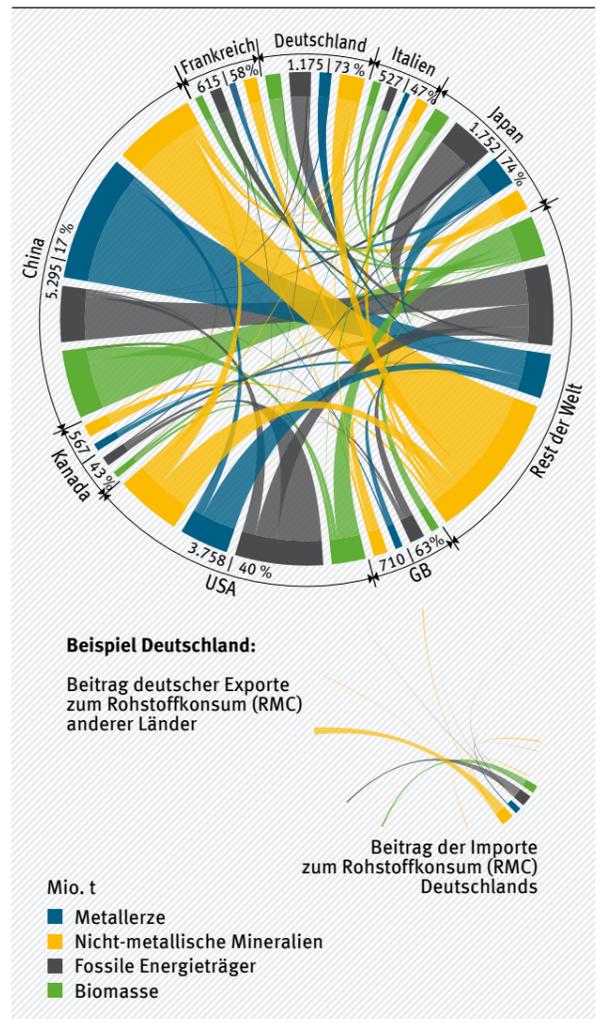
Ursprung des deutschen Rohstoffkonsums (RMC) nach Weltregionen, 1994–2018



Quelle: UN Life Cycle Initiative et al., 2022

Abbildung 22

Beitrag der Importe zum Rohstoffkonsum (RMC) in Deutschland, den G7-Ländern und China nach Rohstoffgruppen und Ursprung, 2018



Die dargestellten Handelsflüsse entsprechen 99% der Gesamtmenge. Handelsflüsse unter 14 Mio. Tonnen sind nicht enthalten. Die Werte in dieser Darstellung sind aufgrund unterschiedlicher Methoden nicht mit den Ergebnissen auf S. 28/29 vergleichbar.

Quelle: UN Life Cycle Initiative et al., 2022

Deutschland ist auf die Nutzung von ausländischen Rohstoffen angewiesen. Einige der wirtschaftlich besonders wichtigen Branchen, beispielsweise die metallverarbeitende oder die Kunststoffindustrie (s. S. 32/33), verarbeiten sogar fast ausschließlich Rohstoffe oder darauf basierende Halbwaren, die im Inland nicht oder nur selten vorkommen und aus verschiedenen Regionen der Welt importiert werden müssen. Gerade deshalb stehen Länder wie Deutschland in der Pflicht, auch im Ausland für ökologische und sozialverträgliche Bedingungen bei der Rohstoffgewinnung Sorge zu tragen (s. S. 56/57).



Internationale Verflechtung: das Beispiel Plastik

Kunststoff – umgangssprachlich „Plastik“ – wird meist aus Erdöl hergestellt. Aufgrund seiner Vielseitigkeit und Langlebigkeit wird er in vielen Anwendungen eingesetzt und weltweit gehandelt. Gelangt Kunststoff in die Umwelt, kann sich das negativ auf Ökosysteme auswirken.

Die Bedeutung von Kunststoff für die Weltwirtschaft nimmt seit den 1950er-Jahren stetig zu. Wurde 1950 noch etwa 1,7 Mio. Tonnen Kunststoff jährlich produziert, stieg die globale Produktion bis zum Jahr 2019 auf 368 Mio. Tonnen (exkl. PET-, PA- und Polyacryl-Fasern). Seit dem Jahr 2000 wurde etwa die Hälfte des gesamten bisher hergestellten Kunststoffs produziert. Rund ein Drittel der globalen Produktion stammte 2019 aus China, auf Europa entfielen 16% (PlasticsEurope, 2021).

Die Primärkunststoffproduktion in Deutschland entsprach im Jahr 2019 mit 18 Mio. Tonnen gut 30% der gesamten Produktion der Europäischen Union (58 Mio. t). Wesentliche Ausgangsstoffe sind Erdöl und Erdgas, bei denen Deutschland fast gänzlich auf Importe angewiesen ist (s. S. 30/31). Zwar wird auch Rezyklat (Sekundärkunststoff) produziert, doch die Mengen (2 Mio. t) sind im Vergleich zur Verarbeitung von Primärkunststoff noch gering (Abb. 23).

Ein Teil des im Inland produzierten Kunststoffs wird exportiert. 2019 betragen die Exporte 14,3 Mio.

Tonnen (Abb. 24). Demgegenüber standen 10,8 Mio. Tonnen Importe. Deutschland ist also ein Nettoexporteur von Kunststoff. Der Handel erfolgt zum Großteil mit Nachbarländern bzw. innerhalb der Europäischen Union. Sowohl die Einfuhren als auch die Ausfuhren nehmen seit 20 Jahren zu.

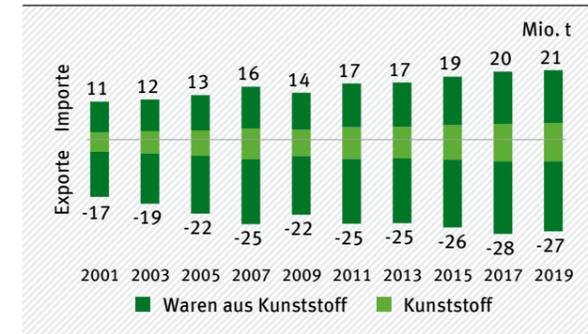
Deutschlands kunststoffverarbeitende Industrie stellt verschiedene Halb- bzw. Fertigwaren her. Der Großteil des Kunststoffs (31%) wurde 2019 zu Verpackungen weiterverarbeitet. Aber auch das Bauwesen (25%) ist ein wichtiger Abnehmer von Kunststoff.

Der Handel mit Kunststoffwaren nimmt seit 2001 ebenfalls zu: Die Exporte stiegen um 80%, die Importe sogar um 124%. Im Jahr 2019 wurden 7 Mio. Tonnen Kunststoffwaren exportiert und 5 Mio. Tonnen importiert (Abb. 24).

Insgesamt stieg das Handelsvolumen von Kunststoff und Kunststoffgütern zwischen 2001 und 2019 um 62%.

Abbildung 24

Deutschlands Importe und Exporte von Kunststoff und Kunststoffgütern, 2001–2019



Quelle: Destatis, 2020b

Mit der global steigenden Produktion von Kunststoff gibt es auch immer mehr Kunststoffabfälle. Allein von 1994 bis 2019 hat der Kunststoffmüll in Deutschland um mehr als das Doppelte zugenommen (UBA, 2021 e). Dies erklärt sich u. a. durch den zunehmenden Verbrauch von kurzlebigen Kunststoffzeugnissen wie Verpackungen oder Einwegprodukten, die sich bei nicht ordnungsgemäßer Entsorgung über verschiedene Wege in der Umwelt ansammeln können (s. Box). Aus diesem Grund verbot das EU-Parlament 2019 bestimmte Kunststoffeinwegprodukte, für die es Alternativen aus anderen Materialien gibt („Single-Use Plastics Directive“; Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2019).

Kunststoffe sind äußerst beständige Materialien, die nur sehr langsam bzw. nicht vollständig abgebaut werden (UBA, 2017). Ohne ordnungsgemäße Sammlung und Verwertung gelangen sie in die

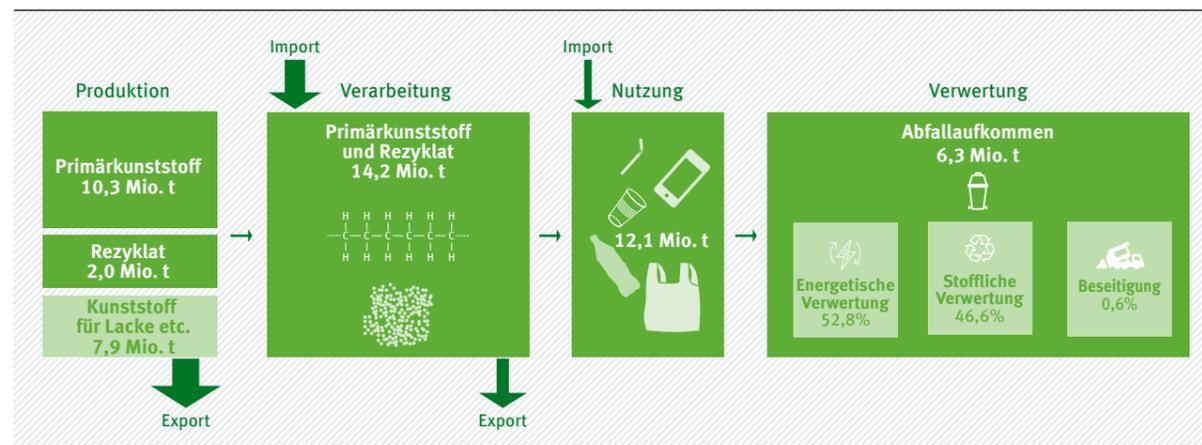
Umwelt und belasten Ökosysteme und Lebewesen. Weltweit ist ein unzureichendes Abfall- und Abwassermanagement Hauptursache für Kunststoffeinträge in die Umwelt. Weitere Quellen sind der Verkehr, der Bau und die Landwirtschaft sowie das achtlose Wegwerfen von Kunststoffprodukten (sog. „Littering“) (UBA, 2019 b). In Deutschland gelangen etwa 150.000 bis 266.000 Tonnen Kunststoff pro Jahr in Böden, Binnengewässer, das Meer und die Luft. Den mit Abstand größten Anteil hat Reifenabrieb (Jepsen et al., 2020).

Abfallvermeidung und -management ist entscheidend, damit die Produktion von Primärkunststoffen und der damit verbundene Rohstoffbedarf sinken und weniger Kunststoff in der Umwelt landet. Bisher wird jedoch nur weniger als die Hälfte (47%) der Kunststoffabfallmenge Deutschlands stofflich verwertet und gelangt – abzüglich der Verluste durch die Verwertung – in den Wirtschaftskreislauf zurück. Der überwiegende Anteil (53%) wird energetisch verwertet, also verbrannt. Das ist aus ökologischer Sicht problematisch, weil dabei Treibhausgase und andere umweltschädliche Stoffe entstehen. Daneben wird ein bedeutender Teil der Kunststoffabfälle exportiert (s. Box). Dadurch gehen Materialien für die werkstoffliche Verwertung (also unter Erhalt des Kunststoffmaterials) in Deutschland verloren. Es könnten viel größere Mengen Kunststoff werkstofflich verwertet werden, als es momentan tatsächlich geschieht (Maletz et al., 2018).

Eine stärkere Kreislaufführung von Kunststoff würde Primärrohstoffe einsparen und die Abhängigkeit von ausländischen Rohstoffen reduzieren. Gleichzeitig könnten CO₂-Emissionen eingespart werden.

Abbildung 23

Produktion, Verarbeitung, Nutzung und Verwertung von Kunststoff in Deutschland, 2019



Kunststoff für Lacke, Fasern, Kleber etc. ist nicht Teil der Angaben zu Verarbeitung, Nutzung und Verwertung.

Quellen: Conversio Market & Strategy GmbH, 2020; Destatis, 2020b; UBA, 2021 e

Kunststoffmüllexporte

Deutschland hatte im Jahr 2019 einen Anteil von 1,8% am weltweiten Aufkommen von Kunststoffabfällen (353 Mio. t). Es exportierte 1,1 Mio. Tonnen und importierte ca. 0,5 Mio. Tonnen (UBA, 2022 b). Der resultierende Exportüberschuss entsprach rund 9,4% aller deutschen Kunststoffabfälle (Conversio Market & Strategy GmbH, 2020). Gering verunreinigte Kunststoffabfälle dürfen im Ausland entsprechend der dort geltenden Regeln, aber ohne intensive Überwachung durch deutsche Behörden verwertet werden. Bei Ländern außerhalb der OECD gibt es daher keine absolute Gewissheit über die sachgemäße Verwertung. Aus wilden Deponien, durch Littering oder offene Verbrennung können Kunststoffabfälle in die Umwelt gelangen. Dieser unkontrollierte Verbleib wird weltweit auf 78 Mio. Tonnen oder 22% des globalen Aufkommens geschätzt (OECD, 2022). 2019 wurden aus Deutschland ca. 0,38 Mio. Tonnen Kunststoffabfälle in Nicht-OECD-Staaten verbraucht (UBA, 2022 b). Nach Schätzungen des Umweltbundesamtes beläuft sich der unkontrollierte Verbleib im ungünstigsten Fall auf ca. 10% dieser Menge. Maßnahmen gegen mögliche ökologische Folgen werden gerade auf EU-Ebene diskutiert.



Rohstoffe für die Wirtschaft



2.518
Mio. Tonnen

2.536
Mio. Tonnen

Rohstoffeinsatz (RMI) der deutschen Wirtschaft, 2014 und 2019

8
Prozent

Anstieg der Gesamtrohstoffproduktivität nach Destatis, 2010–2018

12
Prozent

Anstieg der Gesamtrohstoffproduktivität nach EU-Standardmethode, 2010–2018

1,7
Euro/Kilogramm

Gesamtrohstoffproduktivität in Deutschland (EU-Standardmethode), 2018

2,2
Euro/Kilogramm

Gesamtrohstoffproduktivität im EU-Durchschnitt (EU-Standardmethode), 2018

16
Prozent

Reduktion des Rohstoffeinsatzes durch Sekundärrohstoffe (DIERec), 2013

820
Mio. Tonnen

Jährlicher Zuwachs des anthropogenen Lagers in Deutschland

Quellen: s. S. 36–43



Entwicklung der Gesamtrohstoffproduktivität

Die Gesamtrohstoffproduktivität ist ein wichtiger Indikator für die effiziente Nutzung von Rohstoffen. Sie stellt die Summe aus Bruttoinlandsprodukt und Importen geteilt durch den Primärrohstoffeinsatz dar und zeigt an, ob eine Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Rohstoffeinsatz stattfindet.

In Deutschland ist die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Rohstoffnutzung bereits seit der ersten Nachhaltigkeitsstrategie aus dem Jahr 2002 als politisches Ziel festgesetzt (Die Bundesregierung, 2002). Seit 2012 ist dieses Ziel auch im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) verankert (BMU, 2012). Als Kennzahl diente zunächst die „Rohstoffproduktivität“ (s. S. 36/37 im Ressourcenbericht 2018; UBA, 2018). Sie wurde dann um den weiter gefassten Indikator „Gesamtrohstoffproduktivität“ ergänzt und schließlich durch diesen ersetzt.

Die Gesamtrohstoffproduktivität berücksichtigt neben der Wertschöpfung (BIP) den Wert der Importe und den Primärrohstoffeinsatz (RMI) – also den Rohstoffeinsatz der gesamten in- und ausländischen Produktionskette (einschließlich Rohstoffrucksäcke). Damit trägt sie den zunehmenden globalen Verflechtungen der deutschen Wirtschaft Rechnung.

Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie (Deutsche Bundesregierung, 2021) sowie ProgRess III (BMU, 2020 a) haben ein Ziel festgelegt: Die im Zeitraum 2000 bis

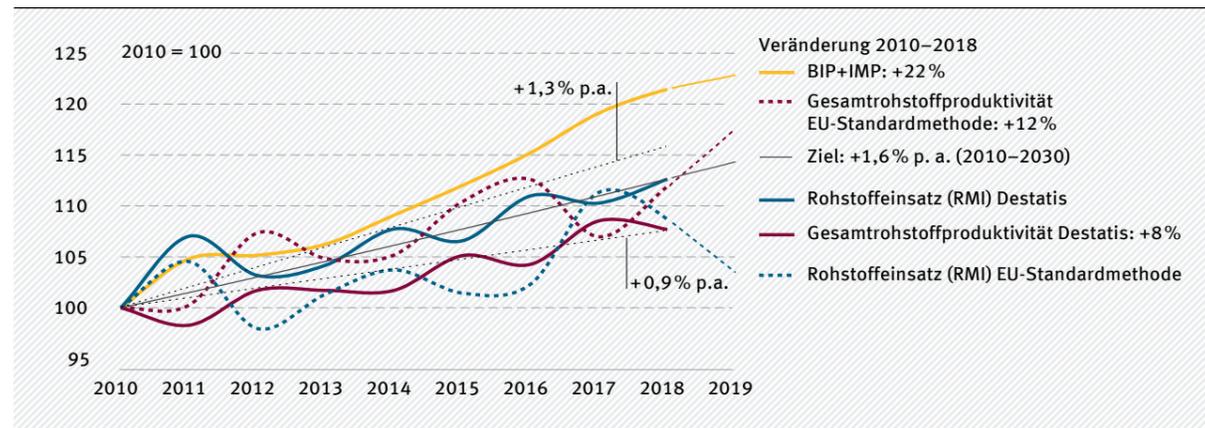
2010 beobachtete Wachstumsrate der Gesamtrohstoffproduktivität von durchschnittlich 1,6 % pro Jahr soll sich bis zum Jahr 2030 fortsetzen. Für den Gesamtzeitraum 2010 bis 2030 entspricht das einer Zunahme um 30%. Das tatsächliche jährliche Wachstum der Gesamtrohstoffproduktivität liegt bisher mit 0,9 % von 2010 bis 2018 unter dem angestrebten Ziel von 1,6 % pro Jahr (Destatis; Abb. 27).

Insgesamt erhöhte sich die Gesamtrohstoffproduktivität im Zeitraum 2010 bis 2018 um 8%.

Für das bis 2030 definierte Ziel müsste die Gesamtrohstoffproduktivität also um weitere 22 % steigen. Werden jedoch – wie in den Modellrechnungen basierend auf der EU-Standardmethode – ausschließlich Primärrohstoffe verrechnet (s. S. 10/11), dann fällt der RMI deutlich geringer aus. Somit wäre die Gesamtrohstoffproduktivität von 2010 bis 2018 sogar um 12 % gestiegen – ein Wachstum von 1,3 % pro Jahr. Bei einem solchen Methodenvergleich ist jedoch zu beachten, dass das Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie auf der Methode von Destatis beruht.

Abbildung 27

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

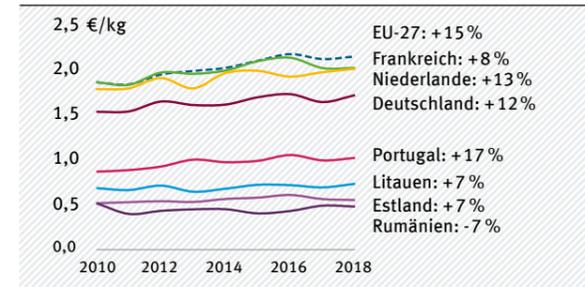


Die Berechnungen nach Destatis bzw. EU-Standardmethode im Vergleich zeigen aufgrund konzeptueller Unterschiede verschiedene Ergebnisse (s. S. 9–11).

Quellen: Destatis, 2021 f, 2022 d; Dittrich et al., 2022 a

Abbildung 28

Entwicklung der Gesamtrohstoffproduktivität im EU-Vergleich, 2010–2018



Daten zur Berechnung der Gesamtrohstoffproduktivität von 2010–2018 lagen bei Redaktionsschluss nur für die dargestellten Mitgliedstaaten vor.

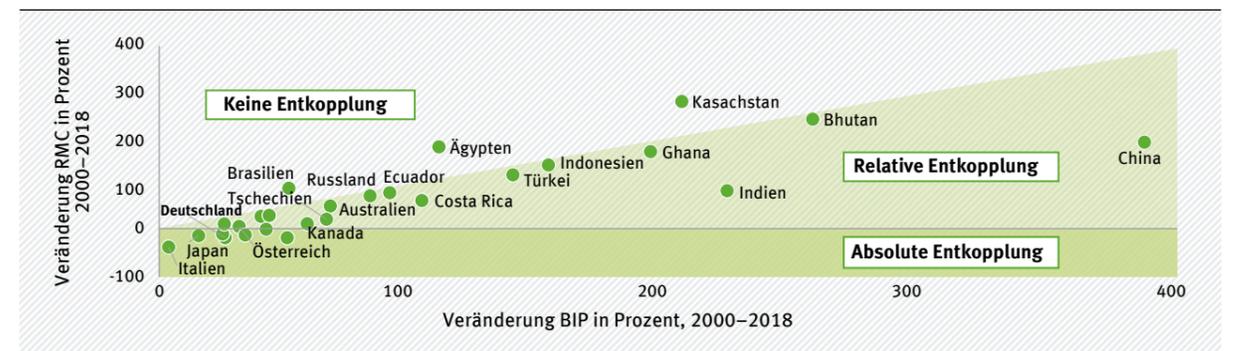
Quellen: Eurostat, 2021; Dittrich et al., 2022 a

Der Anstieg der Gesamtrohstoffproduktivität ist grundsätzlich positiv zu bewerten. Er allein bedeutet aber noch nicht, dass der Druck auf die Umwelt tatsächlich abgenommen hat. In Deutschland zeigt sich nämlich, dass die Zunahme der Gesamtrohstoffproduktivität vor allem auf das Wachstum von BIP und Importen (+ 22 %) zurückging. Der Rohstoffeinsatz nahm ebenfalls zu, wenn auch etwas weniger stark (+ 9 % nach EU-Standardmethode). Erreicht wurde also eine relative, aber keine absolute Entkopplung.

Der EU-Vergleich zeigt: Deutschland lag 2018 mit einer Gesamtrohstoffproduktivität von 1,7 Euro pro Kilogramm (EU-Standardmethode) unter dem EU-Durchschnitt von 2,2 Euro pro Kilogramm. Höhere Werte erreichten Frankreich oder die Niederlande (jeweils 2,0 €/kg). Gemeinsam mit den Niederlanden und Portugal gehört Deutschland zu den Ländern mit den größten Produktivitätszuwächsen seit 2010 (Abb. 28).

Abbildung 29

Trend der Entkopplung von Rohstoffkonsum (RMC) und Bruttoinlandsprodukt (BIP) im internationalen Vergleich, 2000–2018



Quelle: UN Life Cycle Initiative et al., 2021

Auf internationaler Ebene – und besonders hinsichtlich der Ziele für nachhaltige Entwicklung (UN SDG) – geht man anders vor, um Entkopplungstrends zu ermitteln. Man vergleicht nämlich die Wirtschaftsleistung (BIP) u. a. mit dem Rohstoffkonsum (RMC). Analog gilt auch hier: Wenn der Rohstoffkonsum langsamer steigt als das BIP, handelt es sich um eine relative Entkopplung. Sinkt der Rohstoffkonsum hingegen bei steigendem BIP, liegt eine absolute Entkopplung vor.

Im Zeitraum 2000 bis 2018 kam es in zahlreichen Ländern zu einer relativen Entkopplung, beispielsweise in China, Indien, Australien und Kroatien (Abb. 29). Seltener wurde eine absolute Entkopplung erreicht. Beispiele hierfür sind Deutschland, Südafrika oder Japan.

Demzufolge hätten Länder wie Deutschland den Druck auf die Umwelt gesenkt. Man muss jedoch auch die absoluten Größen der Indikatoren betrachten. Dabei zeigt sich, dass Deutschland und viele andere europäische Länder trotz relativer oder absoluter Entkopplung weiterhin deutlich über dem globalen Durchschnitt für Rohstoffkonsum bzw. Rohstoffeinsatz liegen.

Vor diesem Hintergrund werden zunehmend politische Strategien diskutiert, die neben höherer Produktivität auch einen absolut geringeren Rohstoffkonsum anstreben, wie beispielsweise im aktuellen Koalitionsvertrag der Regierungsparteien in Deutschland (SPD, Bündnis 90/die Grünen und FDP, 2021) oder in den Niederlanden (Langsdorf und Duin, 2021; Ressourcenwende-Netzwerk, 2021).

Die Rolle von Abfall in der zirkulären Wirtschaft

Geschlossene Stoffkreisläufe in Produktion und Konsum sind ein wichtiger Bestandteil von Strategien für Ressourcenschonung und Klimaschutz. Eine zirkuläre Wirtschaft zielt auf die Kreislaufführung und das Vermeiden und Recycling von Abfällen ab, damit der Bedarf an Primärrohstoffen sinkt.

Kreislaufwirtschaft findet in Deutschland seit Langem Anwendung, vor allem im Kontext der Abfallwirtschaft. Im deutschen Ressourceneffizienzprogramm (BMU, 2012, 2016b, 2019) ist der sektorübergreifende Umbau zur Kreislaufwirtschaft zusätzlich zur Abfallbehandlung seit Beginn als Leitidee verankert. Wichtige Bestandteile geschlossener Kreisläufe sind demnach das Design langlebiger und reparierbarer Produkte sowie alternative Geschäftsmodelle wie Leasing und Sharing. Diesen Ansatz verfolgt auf EU-Ebene auch der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (Europäische Kommission, 2020).

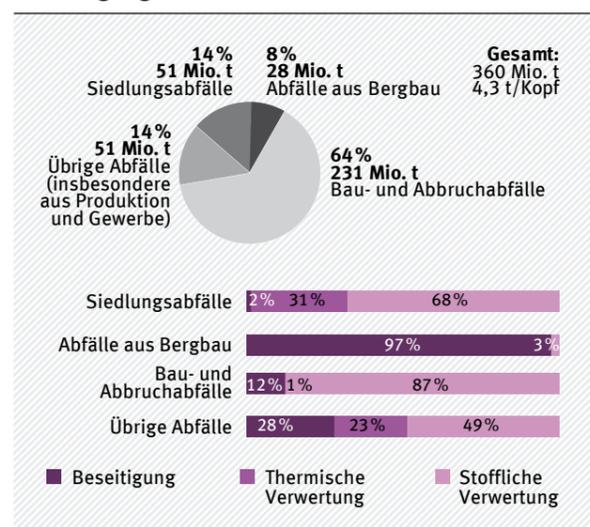
Im Kontext der Kreislaufwirtschaft misst der Indikator „Gesamtnettoabfallaufkommen“ (kurz: Abfallaufkommen) die tatsächlichen Abfallmengen. In Deutschland zeigt sich beim Abfallaufkommen für den Zeitraum 1996 bis 2019 ein Rückgang von 6 % auf 360 Mio. Tonnen (Abb. 30). Seit 2009 ist aller-

dings ein steigender Trend zu beobachten. Ein Grund dafür ist die verstärkte Nutzung des Onlinehandels (s. S. 50/51) und damit einhergehend die Zunahme von Verpackungsmüll. 2019 lag Deutschland mit einem Abfallaufkommen von 4,3 Tonnen pro Kopf im europäischen Mittelfeld (Eurostat, 2021). Den größten Teil (64 %) machten Bau- und Abbruchabfälle wie Bauschutt, Straßenaufbruch oder Bodenaushub aus.

Will man den Erfolg der zirkulären Wirtschaft bewerten, sind u. a. sogenannte „Substitutionsquoten“ hilfreich. Zu deren Ermittlung existieren unterschiedliche Ansätze, auf europäischer Ebene beispielsweise der Indikator „Circular Material Use Rate“ (zirkuläre Nutzungsrate). Er misst den Anteil von im Kreislauf geführten Materialien an der Gesamtmenge der genutzten Materialien und betrug 2019 12 %.

Abbildung 30

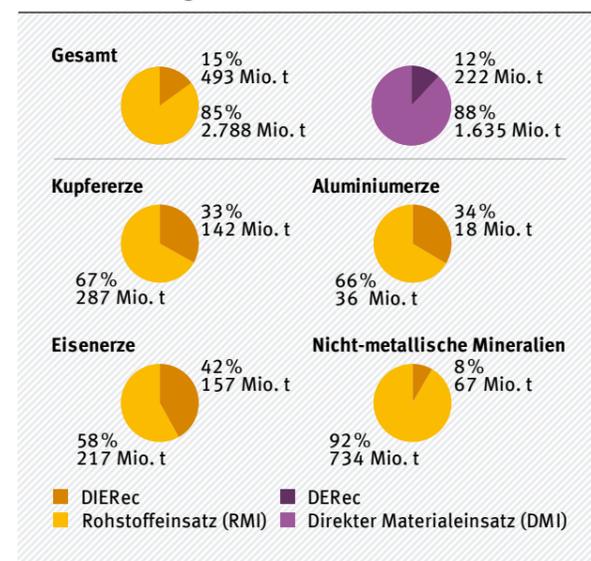
Netto- Abfallaufkommen in Deutschland nach Abfallarten sowie Abfallarten nach Anteilen thermischer und stofflicher Abfallverwertung und -beseitigung, 2019



Quelle: Destatis, 2021e

Abbildung 31

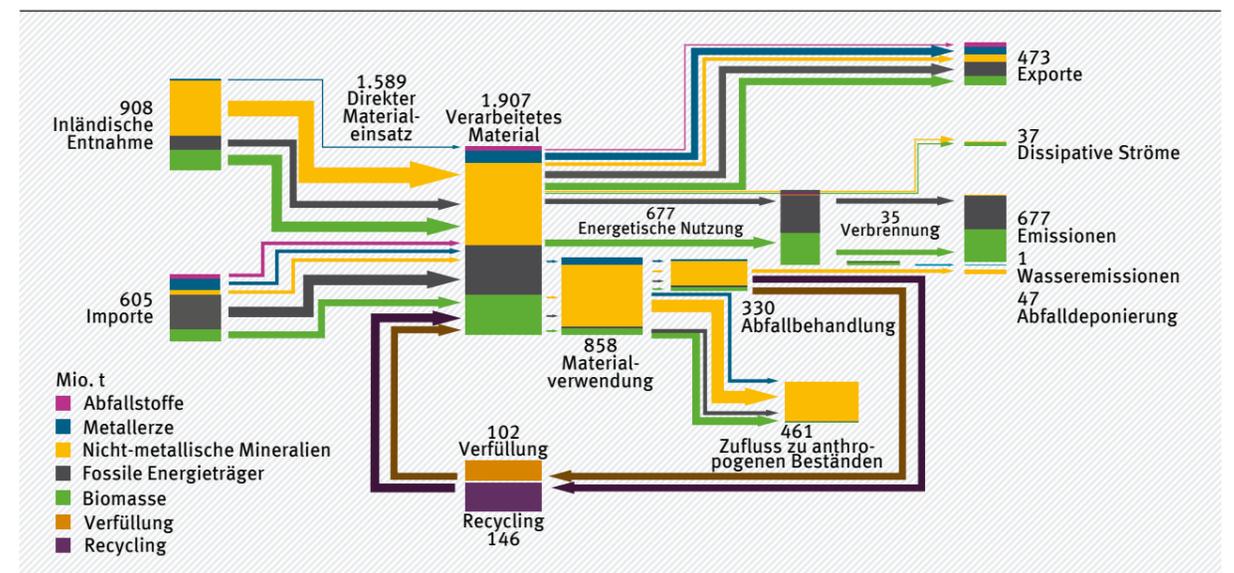
Beitrag von Sekundärrohstoffen zur Deckung des direkten und indirekten Rohstoffbedarfs (DERec und DIERec) für ausgewählte Materialien, 2013



Quelle: Steger et al., 2019

Abbildung 32

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: Dittrich et al., 2022b

Die in Deutschland entwickelten Indikatoren „DERec“ (Direct Effects of Recovery) und „DIERec“ (Direct and Indirect Effects of Recovery) hingegen bilden die Schonung von Primärrohstoffen durch Recycling und energetische Verwertung ab. Der DERec berechnet, wie viele Primärrohstoffe durch Sekundärrohstoffe direkt (also ohne Vorketten) eingespart werden. Der DIERec wiederum betrachtet auch die eingesparten Primärrohstoffe entlang globaler Wertschöpfungsketten (s. S. 28/29).

Der Einsatz von Sekundärrohstoffen sparte 2013 in Deutschland rund 12 % des direkten Rohstoffeinsatzes (222 Mio. t) ein.

Betrachtet man zudem die Rohstoffe entlang globaler Lieferketten, reduzierte sich der Rohstoffeinsatz (RMI; s. Glossar) durch Recycling 2013 sogar um 15 %. Besonders ins Gewicht fallen Massemetalle wie Eisen, aber auch bei Kupfer ist der Beitrag von Sekundärrohstoffen zur Deckung des Materialbedarfs hoch. Der RMI trägt dem nur implizit Rechnung. Beispielsweise hätte sich der RMI ohne den Einsatz von Stahl- und Edelstahl-schrotten im Jahr 2013 um 157 Mio. Tonnen erhöht. Die Einsparungen bei nicht-metallischen Materialien, beispielsweise durch den Einsatz von Recycling-Gesteinskörnung und Asphaltgranulat, sind hingegen geringer (Abb. 31).

Manche Materialien eignen sich jedoch nicht für eine Kreislaufführung: So werden fossile Rohstoffe zur Energiegewinnung verbrannt, nachwachsende Rohstoffe dienen als Nahrung oder Futtermittel. Etwa die Hälfte der stofflich genutzten Materialien fließt in das anthropogene Lager (Abb. 32). Solche Materialien, die in Form von Bauwerken oder Konsumgütern längerfristig gebunden sind, sind nicht unmittelbar verwertbar und stehen erst nach sehr langer Zeit – am Ende des Lebenszyklus – wieder als Sekundärrohstoffe zur Verfügung (s. S. 42/43).

Zur Schonung von Primärrohstoffen reichen Recycling bzw. der Schwerpunkt auf dem Abfallsektor allerdings nicht aus. Vielmehr sind zusätzliche Konzepte wie eine Verlängerung der Produktnutzung und ein verändertes Konsumverhalten notwendig (s. S. 82/83). Außerdem bezieht ein erweitertes Verständnis von Kreislaufwirtschaft alle Phasen der Material- und Produktlebenszyklen mit ein (Müller et al., 2020). Für die deutsche Wirtschaft mit starker internationaler Arbeitsteilung bedeutet dies: Auch Umweltwirkungen entlang der Wertschöpfungsketten von Importgütern sowie die Entsorgungsanforderungen von Exportgütern sind zu betrachten. Zudem werden in Zukunft für den Ausbau einer zirkulären Wirtschaft hin zu Klimaneutralität neue Strategien wie Urban Mining eine größere Rolle spielen (s. S. 42/43).

Das anthropogene Lager in der zirkulären Wirtschaft

Ein Großteil der in Deutschland eingesetzten Rohstoffe bleibt langfristig in Gebäuden, Infrastrukturen und langlebigen Gütern gebunden – dem sogenannten „anthropogenen Lager“. Über die Jahrzehnte ist so ein erheblicher Materialbestand gewachsen. Urban Mining soll diese Rohstoffe nach der Nutzung zurückgewinnen.

Das anthropogene Lager oder der sogenannte „Materialbestand“ ist ein wichtiger Faktor für die Rohstoffnutzung: Zunächst ist dieses Lager ein zentraler Treiber für den Abbau von Rohstoffen, die in langlebigen Güternbeständen wie Infrastrukturen langfristig gebunden bleiben. Nach ihrer Errichtung benötigen diese Güternbestände weitere Materialien sowie Energie und Wasser für ihre Nutzung, Erhaltung und Erneuerung.

Für Deutschland ergab die Abschätzung des anthropogenen Lagers für das Jahr 2010 die beeindruckende Masse von 52 Mrd. Tonnen (Abb. 33). Mehr als 80% davon kamen allein im Zeitraum 1960 bis 2010 hinzu.

In Deutschland wächst der materielle Bestand an Gebäuden, Infrastruktur und Gebrauchsgütern jährlich um rund 820 Mio. Tonnen oder 10 Tonnen pro Person.

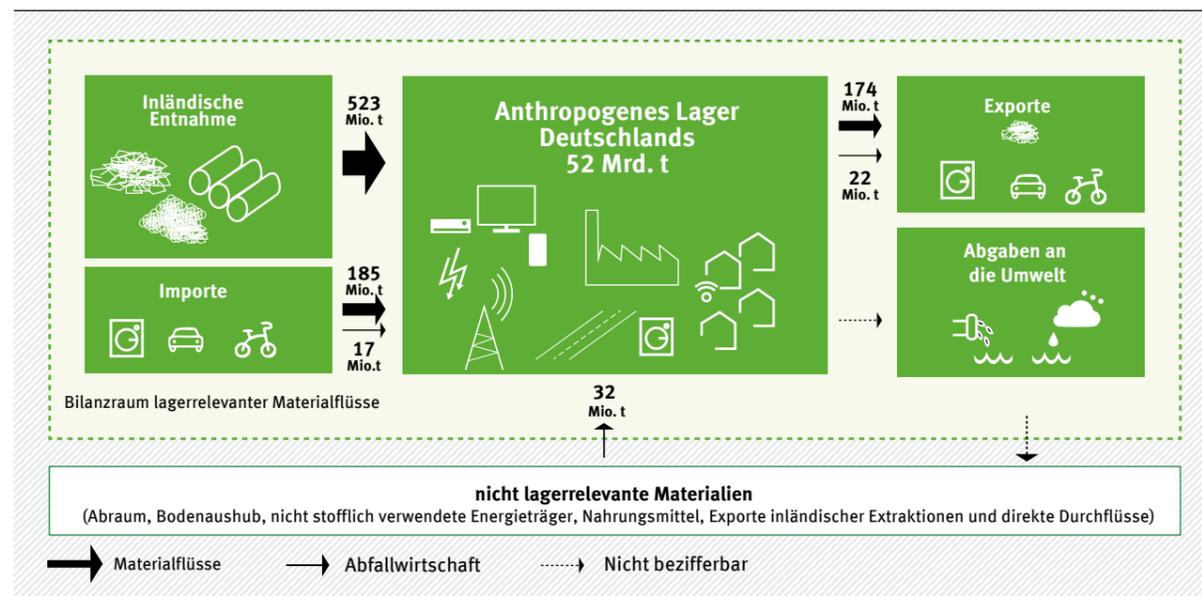
Zur Größe des anthropogenen Lagers liegen Schätzungen vor. Rechnerisch bestimmt man den Saldo aus Input- und Output-Materialströmen über einen sehr langen Zeitraum. Eingang finden ausschließlich Ströme und Bestände, die „lagerrelevant“, also in langlebigen Gütern gebunden sind. Input- und Output-Ströme z. B. in Form von Lebensmitteln und Energieträgern (sogenannte „Durchflussgrößen“) werden hingegen nicht berücksichtigt.

Zum Vergleich: Die Entnahme von abiotischen Rohstoffen im Jahr 2019 betrug 733 Mio. Tonnen (s. S. 70/71). Der jährliche Bestandszuwachs und die jährliche Rohstoffentnahme im Inland sind also ähnlich groß.

Das anthropogene Lager ist eine wichtige Quelle für Sekundärrohstoffe. Seine integrale Bewirtschaftung wird „Urban Mining“ genannt und zielt darauf ab,

Abbildung 33

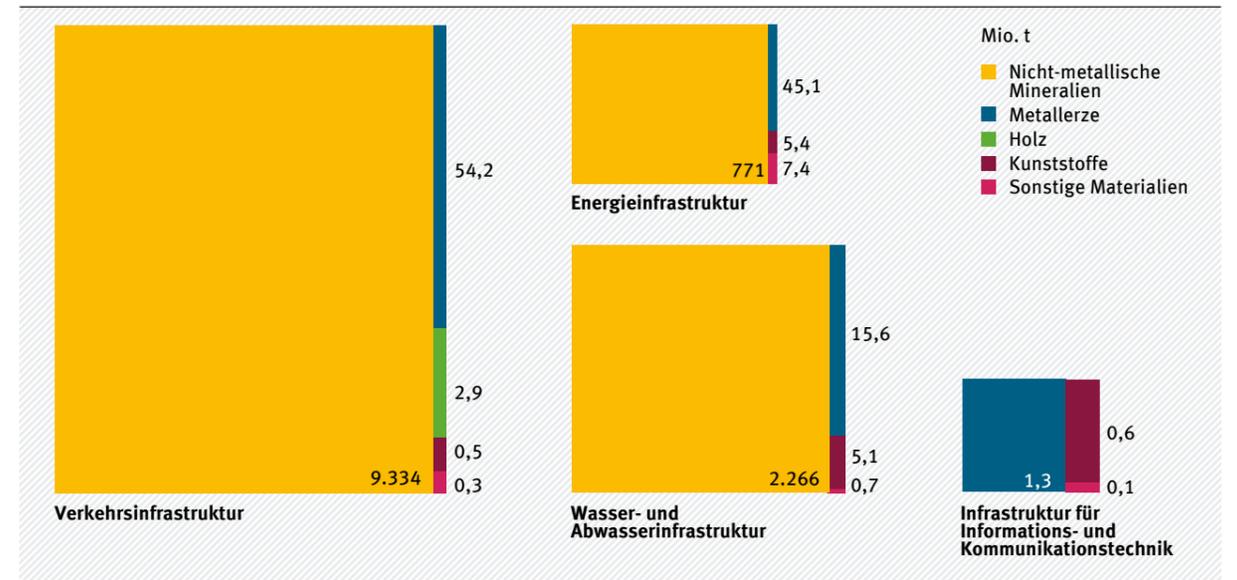
Input- und Output-Materialflüsse des anthropogenen Lagers in Deutschland, 2010



Quelle: adaptiert von Schiller et al., 2015

Abbildung 34

Vergleich der Materiallager verschiedener Infrastrukturen in Deutschland, 2010



Beim Materiallager der Informations- und Kommunikationstechnikinfrastruktur wurden keine Rohstoffe für Gebäude sowie für Sandbettungen miteingerechnet.

Quelle: Schiller et al., 2015

aus langlebigen Gütern Sekundärrohstoffe zu gewinnen. Doch nur mit rechtzeitig entwickelten technischen, rechtlichen und logistischen Strategien ist eine hochwertige Verwertung möglich. Daher sollten die Materialmengen möglichst früh geschätzt werden – bevor sie zu Abfällen werden.

Urban Mining bietet einige Vorteile gegenüber der Gewinnung von primären Rohstoffen: Viele metallische Rohstoffe sind in Deutschland geologisch gar nicht oder nur sehr eingeschränkt verfügbar. Bei anderen wurde der traditionelle Primärbergbau eingestellt, weil er sich nicht (mehr) lohnte. Zudem fallen Sekundärrohstoffe wie Abbruchmaterialien überwiegend dort an, wo sie auch am stärksten nachgefragt sind, was Transportwege spart – etwa in Ballungsgebieten mit hoher Bau- und Wirtschaftsaktivität. Nicht zuletzt haben Rohstoffe, die in anthropogenen Strukturen verbaut sind, dort meist eine deutlich höhere Konzentration als Vorkommen in der natürlichen Umwelt. Das reduziert in der Regel den Aufwand für die Aufbereitung und ist daher ökologisch sehr vorteilhaft.

Das Potenzial von Urban Mining in Deutschland zeigt sich beim Blick auf die Materiallager verschiedener technischer Infrastrukturen. Diese bestehen meist aus mineralischen Rohstoffen in Form von Beton oder

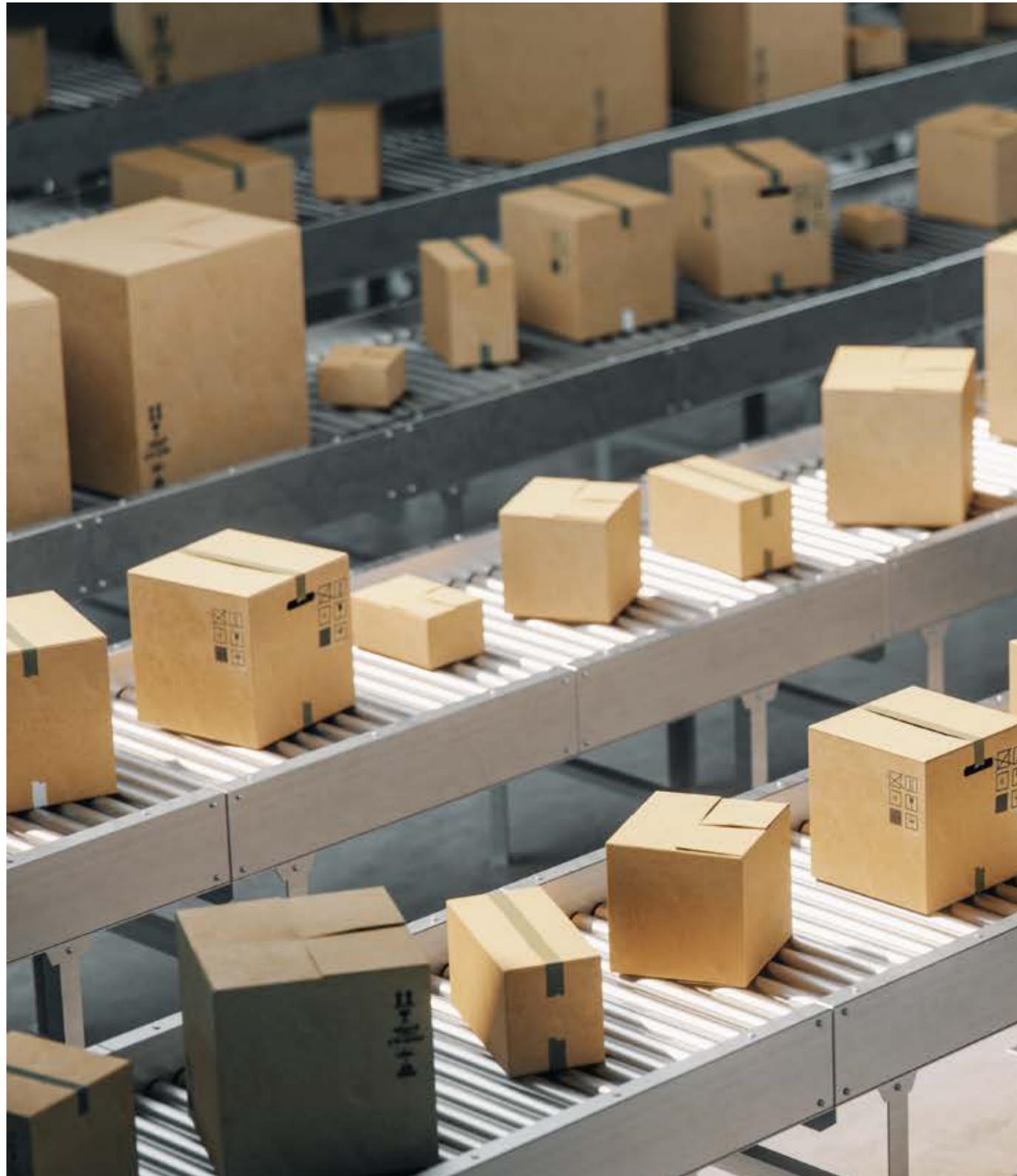
Bettungen für Rohre und Kabel (Abb. 34). Das größte Materiallager im Tiefbau ist mit Abstand die Verkehrsinfrastruktur mit fast 10 Mrd. Tonnen. Von großer Bedeutung ist auch die Infrastruktur in den Bereichen Energie, Wasser und Abwasser sowie bei Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Mit zunehmender Errichtung von Infrastrukturen werden auch deren Lager entsprechend wachsen.

Urban Mining lohnt sich derzeit insbesondere für metallische Rohstoffe. Doch auch weniger werthaltige Materialfrachten wie mineralische Abbruchmaterialien sowie kleinere technisch bedeutsame Metallstofffrachten (sogenannte „kritische Rohstoffe“) stehen schon im Fokus: Die Rahmenbedingungen für eine bessere Rückgewinnung werden zunehmend angepasst und verbessert.

Für die Zukunft ist zu erwarten, dass Output-Ströme aus dem anthropogenen Lager vor allem im Bereich der Baumaterialien zunehmen. Bei deren Nutzung als Sekundärrohstoffe kann zum Beispiel die Erstellung von Materialinventaren und Materialkatastern helfen (Schiller et al., 2022). Beschaffungsrichtlinien sollten zukünftig sicherstellen, dass die bei der Errichtung von Gebäuden eingesetzten Komponenten im Falle eines Abbruchs voneinander trennbar und wiederverwendbar sind.



Rohstoffe für den Konsum



1.277 Mio. Tonnen	1.186 Mio. Tonnen	Inländischer Materialkonsum (DMC) in Deutschland, 2014 und 2019
1.327 Mio. Tonnen	1.328 Mio. Tonnen	Rohstoffkonsum (RMC) in Deutschland, 2014 und 2019
- 10 Prozent	Entwicklung des inländischen Materialkonsums pro Kopf, 2008–2019	
- 5 Prozent	Entwicklung des Rohstoffkonsums pro Kopf, 2008–2019	
16,4 Tonnen pro Kopf	14,5 Tonnen pro Kopf	Rohstoffkonsum in Deutschland und im EU-Durchschnitt, 2018
28 Prozent	Anteil des Bedarfsfeldes Ernährung am Rohstoffkonsum privater Haushalte, 2019	
26 Prozent	Anteil des Bedarfsfeldes Wohnen am Rohstoffkonsum privater Haushalte, 2019	
18 Prozent	Anteil des Bedarfsfeldes Mobilität am Rohstoffkonsum privater Haushalte, 2019	

Quellen: s. S. 46–53



Entwicklungen des Rohstoffkonsums

Die Herstellung der in Deutschland konsumierten Güter und Dienstleistungen benötigt große Mengen an Rohstoffen. Diese werden an verschiedenen Stellen entlang nationaler wie internationaler Lieferketten entnommen. Im internationalen Vergleich hat Deutschland einen gleichbleibend hohen Pro-Kopf-Rohstoffkonsum.

Der Rohstoffkonsum eines Landes lässt sich mit zwei unterschiedlichen Indikatoren beschreiben. Erstens mit dem inländischen Materialkonsum (DMC; s. Glossar), der sich aus der inländischen Entnahme sowie direkten Handelsströmen zusammensetzt (s. S. 26/27). 2019 betrug er für Deutschland 1.186 Mio. Tonnen bzw. 14,3 Tonnen pro Kopf (Abb. 35). Zweitens mit dem Rohstoffkonsum (RMC, s. Glossar), der ein umfassenderes Bild des Materialverbrauchs liefert: Er berücksichtigt die internationalen Handelsströme nicht mit ihrem Eigengewicht, sondern übersetzt diese in ihre Rohstoffrucksäcke (Rohstoffäquivalente, RME; s. Glossar).

Nach der in diesem Bericht genutzten EU-Standardmethode (s. S. 10), die ausschließlich Primärrohstoffe erfasst, belief sich der deutsche Rohstoffkonsum 2019 auf 1.328 Mio. Tonnen oder 16,0 Tonnen pro Kopf (2014: 1.327 Mio. t bzw. 16,4 t/cap). Im Vergleich dazu berücksichtigen Berechnungen von Destatis auch Sekundärrohstoffe (s. S. 10/11). Sie weisen für 2018 einen 3 % niedrigeren Rohstoffkonsum aus.

Nach beiden Berechnungsmethoden liegt der Rohstoffkonsum über dem inländischen Materialkonsum.

Der Unterschied zeigt, dass die in Deutschland konsumierten Güter auch auf Rohstoffentnahmen im Ausland basieren. Die Importe haben insgesamt höhere Rohstoffrucksäcke als die Exporte.

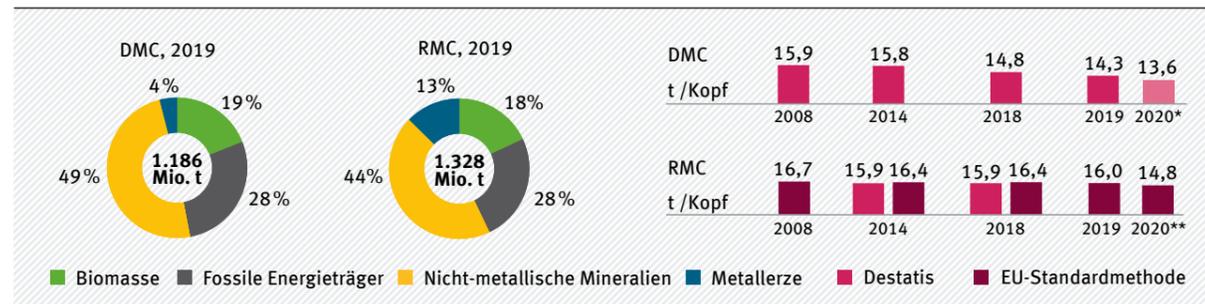
Ein weiterer Unterschied zwischen DMC und RMC sind die Anteile der einzelnen Rohstoffgruppen. Zwar machen Metallerze bei beiden Indikatoren den kleinsten Anteil aus, aber ihr Anteil am inländischen Materialkonsum ist mit 4 % deutlich kleiner als am Rohstoffkonsum (13 %). Der Grund: Auf Metallerzen basierende Güter haben verhältnismäßig große Rohstoffrucksäcke, da der Metallgehalt in den abgebauten Erzen häufig sehr gering ist. Verglichen mit der Gesamtmenge des abgebauten Erzes ist das Gewicht der Metalle in den damit hergestellten Produkten gering.

Die Entwicklung beider Konsumindikatoren verlief unterschiedlich: Bei den Pro-Kopf-Werten zwischen 2008 und 2019 zeigt der inländische Materialkonsum einen stärkeren Rückgang als der Rohstoffkonsum (- 10 % bzw. - 5 %).

Deutschlands Rohstoffkonsum sank zwischen 2008 und 2019 von 16,7 auf 16,0 Tonnen pro Kopf.

Abbildung 35

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 (s. S. 9–11).
 * Fortschreibung basierend auf dem Trend gemäß Eurostat, 2021.
 ** Vorläufige Schätzung anhand der Veränderungen der direkten Materialflüsse auf der Basis von Eurostat, 2021 (Dittrich et al., 2022 a).

Quellen: Destatis, 2021 f, 2021 h; Dittrich et al., 2022 a

Damit spiegeln beide Indikatoren den seit 2000 sinkenden Trend wider, der schon in den Ressourcenberichten 2016 und 2018 beschrieben wurde (UBA 2016, 2018). Diese Entwicklung verschärfte sich von 2019 bis 2020: Schätzungen zufolge sank der Pro-Kopf-Rohstoffkonsum bedingt durch die Corona-Pandemie in nur einem Jahr um 8 %.

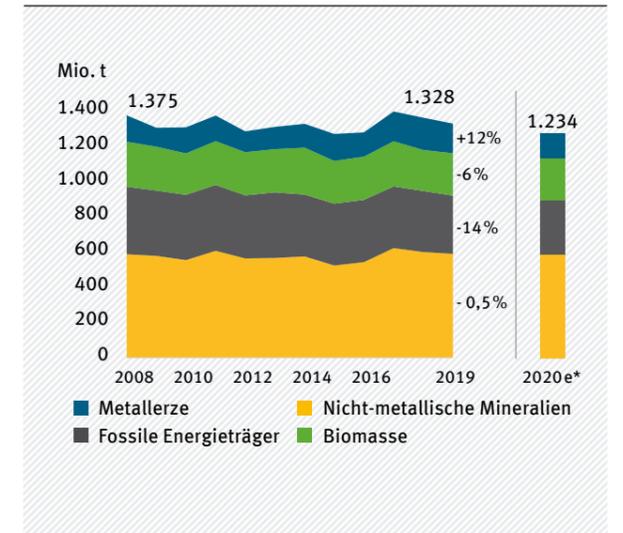
Die Konsumtrends der einzelnen Rohstoffgruppen verliefen durchwegs unterschiedlich. Besonders auffällig ist der starke Rückgang des Rohstoffkonsums bei fossilen Energieträgern seit 2008 (- 14 %) durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien (s. S. 74/75) (Abb. 36). Auch der Rohstoffkonsum bei Biomasse sank um 6 %. Im Unterschied dazu ist bei den Metallerzen ein Anstieg um 12 % zu beobachten. Nicht-metallische Mineralien blieben nahezu unverändert.

In den zehn Jahren vor der Corona-Pandemie (2010–2019) verringerte sich der Rohstoffkonsum im EU-Durchschnitt genau wie in Deutschland nur geringfügig. Allerdings lag der Rohstoffkonsum Deutschlands im Jahr 2018 mit 16,4 Tonnen pro Kopf 13 % über dem EU-Durchschnitt von 14,5 Tonnen pro Kopf (Abb. 37).

In den Mitgliedstaaten verlief die Entwicklung des Rohstoffkonsums unterschiedlich. In den Niederlanden, Malta und Portugal sank der Rohstoffkonsum um bis zu - 40 %. Andere Länder wie Estland, Litauen und Rumänien hingegen verzeichneten einen Anstieg. Am stärksten ausgeprägt war die Zunahme mit 68 % in Rumänien. Grund dafür war

Abbildung 36

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



* Vorläufige Schätzung anhand der Veränderungen der direkten Materialflüsse auf der Basis von Eurostat, 2021 (Dittrich et al., 2022 a).

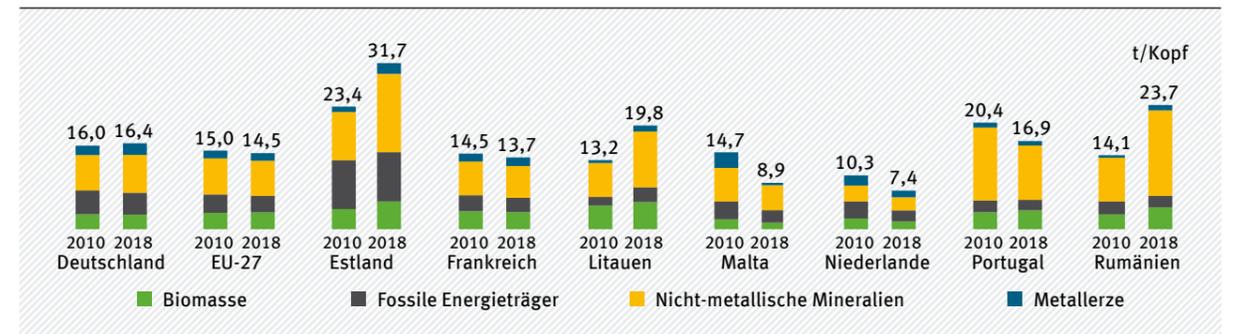
Quelle: Dittrich et al., 2022 a

hauptsächlich der steigende Verbrauch nicht-metallischer Mineralien aufgrund der stark zunehmenden Aktivitäten im Bausektor.

Der überdurchschnittliche Rohstoffkonsum in Deutschland ließe sich mit Maßnahmen senken, die Anreize für ressourcenschonendes Produzieren und Konsumieren schaffen. Eine detaillierte Analyse der Endnachfrage und der einzelnen Bedarfsfelder kann die genaue Ausgestaltung erleichtern und Einsparpotentiale aufdecken (s. S. 48/49).

Abbildung 37

Vergleich des Rohstoffkonsums (RMC) pro Kopf in Deutschland mit ausgewählten Mitgliedstaaten der Europäischen Union sowie dem EU-Durchschnitt, 2010 und 2018



Zum Redaktionsschluss lagen die Eurostat-Daten zum RMC einzelner Mitgliedstaaten bis 2018 vor.

Quellen: Eurostat, 2021; Dittrich et al., 2022 a



Zusammensetzung des Rohstoffkonsums

Der Rohstoffkonsum Deutschlands verteilt sich auf unterschiedliche Bereiche der Endnachfrage. Private Haushalte tragen mit ihren Aktivitäten den größten Teil dazu bei. Die meisten Rohstoffe werden für Ernährung, Wohnen und Mobilität benötigt.

Der Rohstoffkonsum setzt sich aus dem Rohstoffbedarf der Endnachfragekategorien Investitionen, Konsum und Vorratsveränderungen zusammen. Investitionen erfolgen in Gebäude, Infrastrukturen oder Ausrüstung wie Maschinen (573.000 t im Jahr 2019). Der Konsum umfasst Ausgaben durch den Staat, die privaten Haushalte und private Organisationen ohne Erwerbszweck (insgesamt 733.000 t im Jahr 2019). Vorratsveränderungen (23.000 t im Jahr 2019) spielen eine vergleichsweise geringe Rolle.

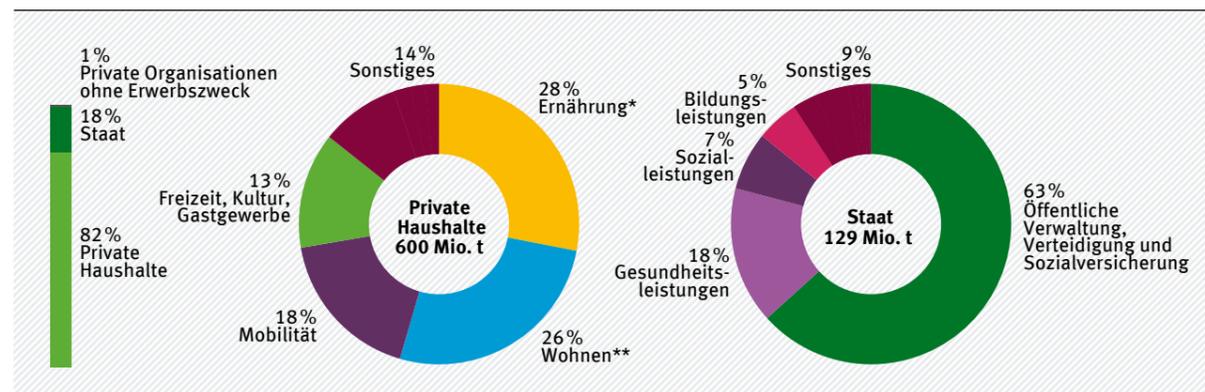
Innerhalb der Endnachfragekategorie Konsum wurden 2019 mehr als drei Viertel (81,9%) des Rohstoffkonsums durch private Haushalte verursacht (Abb. 38).

Die Bedarfssfelder Ernährung, Wohnen und Mobilität verursachen etwa drei Viertel des Rohstoffkonsums durch private Haushalte.

Die Bedarfssfelder Ernährung und Wohnen haben mit 28% bzw. 26% den größten Anteil am privaten Konsum. An dritter Stelle folgt das Bedarfssfeld Mobilität mit 18% (Abb. 38)

Abbildung 38

Rohstoffkonsum (RMC) nach Unterkategorien sowie Rohstoffkonsum privater Haushalte und des Staates nach Bedarfssfeldern, 2019

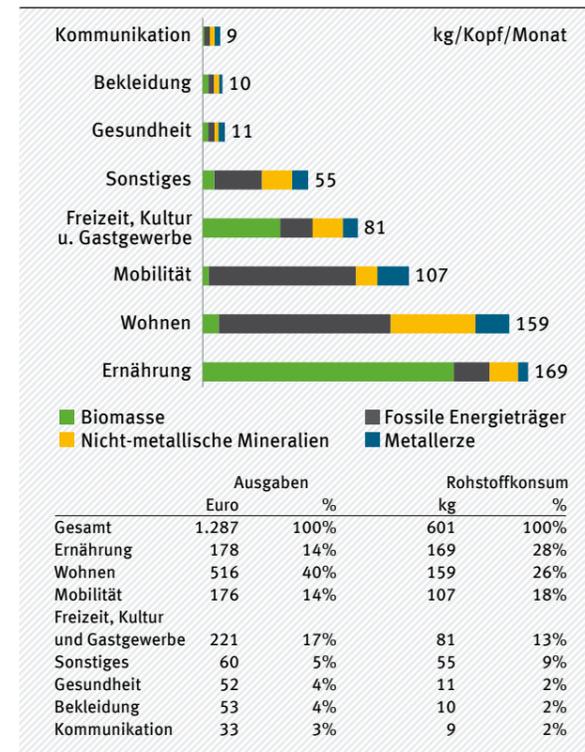


In der Statistik wird zusätzlich zu Investitionen und Konsum die Kategorie Vorratsveränderungen (23.000 t) bilanziert. Sie spielt jedoch eine vergleichsweise geringe Rolle.
 * Rohstoffe für Lebensmittel, die in der Gastronomie oder in staatlichen Einrichtungen wie Kantinen konsumiert werden, sind nicht enthalten.
 ** Der Bau von Gebäuden ist hier nicht inbegriffen, anders als die Gebäudeunterhaltung (Sanierungen), die Nutzung (insbesondere Wärme, Strom), die Einrichtung sowie Vermietungsdienstleistungen und Ähnlichem.

Quelle: Dittrich et al., 2022a

Abbildung 39

Monatlicher Rohstoffkonsum und Ausgaben pro Kopf in Deutschland nach Bedarfssfeldern und Rohstoffgruppen, 2019



Ein direkter Vergleich mit Abb. 37 aus dem Ressourcenbericht 2018 (UBA, 2018) ist aufgrund unterschiedlicher methodischer Ansätze nicht möglich.

Quellen: Destatis, 2020a; Dittrich et al., 2022a

Nicht-metallische Mineralien wiederum kommen als Düngemittel oder für die Haltbarmachung von Lebensmitteln zum Einsatz. Im Bedarfssfeld Wohnen (monatlich 159 kg Rohstoffe pro Kopf) entfiel etwa die Hälfte des Verbrauchs auf fossile Rohstoffe, vor allem für das Heizen und die Stromversorgung. Mineralische Rohstoffe hingegen spielen eine untergeordnete Rolle, da der Bau von Gebäuden hier nicht inbegriffen ist. Die genutzten Rohstoffe im Bereich Mobilität (monatlich 107 kg pro Kopf) bestehen sogar zu drei Vierteln aus fossilen Energieträgern. Dazu trägt maßgeblich der Bedarf an Kraftstoffen für den motorisierten Individualverkehr bei (s. S. 52/53).

Der Rohstoffkonsum und die Ausgaben in den unterschiedlichen Bedarfssfeldern privater Haushalte zeigen nur zum Teil Parallelen (Abb. 39). Ressourcenintensiv und zugleich kostspielig ist etwa der Bereich Wohnen: Er verschlingt den größten Teil der Ausgaben (40%) sowie einen großen Teil des Pro-Kopf-Rohstoffkonsums (26%) der privaten Haushalte.

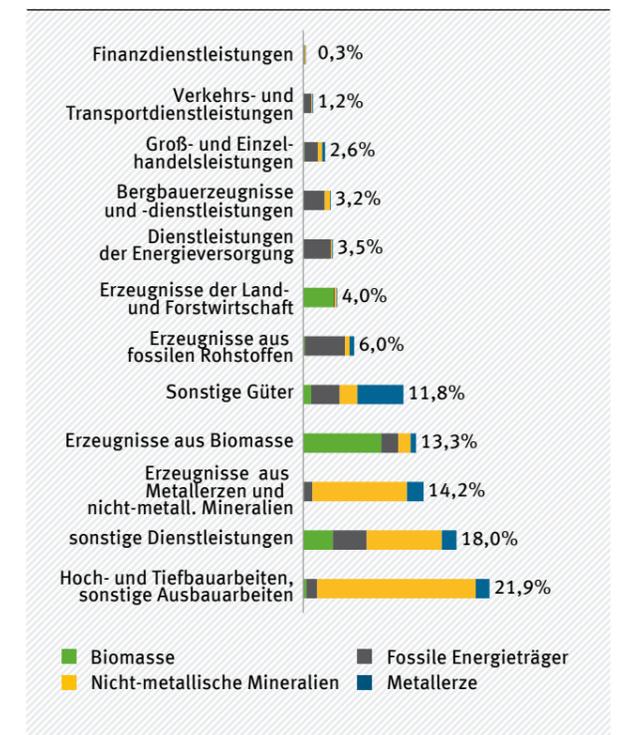
Mit Maßnahmen wie einer Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche ließen sich demnach gleichzeitig Rohstoffe und Ausgaben einsparen (s. S. 90/91).

Beim Vergleich der Beiträge von Gütergruppen zum Rohstoffkonsum zeigt sich: Rohstoffe für Hoch- und Tiefbauarbeiten, allen voran jene aus nicht-metallischen Mineralien (z. B. Bausande, Zement), hatten mit 21,9% den größten Anteil am Rohstoffkonsum (Abb. 40). Dienstleistungen verursachten insgesamt 18% des Rohstoffkonsums. Sie sind zwar weniger materialintensiv als das produzierende Gewerbe, aber aufgrund von Vorleistungen – beispielsweise Kommunikationstechnologien oder Strom und Raumwärme – haben auch sie große Rohstoffrucksäcke.

Diese Analyse von „Hotspots“ des Rohstoffkonsums zeigt gleichzeitig Ansatzpunkte für Einsparungen auf. Da die entsprechenden Bedarfssfelder (z. B. Mobilität) oft mehrere Ressourcen betreffen (Mobilität braucht nicht nur Kraftstoffe, sondern produziert auch Emissionen), ergeben sich beim Sparen positive Synergien.

Abbildung 40

Anteile der Gütergruppen am Rohstoffkonsum der Endnachfrage in Deutschland nach Rohstoffgruppen, 2019



Quelle: Dittrich et al., 2022a



Rohstoffkonsum: das Beispiel Digitalisierung

Die Digitalisierung verändert nahezu alle Bereiche des Lebens, so auch Produktions- und Konsummuster: In manchen Bereichen spart sie Ressourcen ein, in anderen führt der rasante technologische Ausbau zu einem neuen Ressourcenkonsum.

Die Digitalisierung ist die Umstellung von analogen auf digitale Prozesse (UBA, 2019). Der digitale Wandel begann bereits Mitte des 20. Jahrhunderts und hat in den letzten Jahren und Jahrzehnten erheblich an Fahrt aufgenommen. Auch der Konsum erfolgt zunehmend digital, z. B. über Onlinehandel oder Streaming-Aktivitäten. Durch die Digitalisierung werden vermehrt Dienstleistungen in Anspruch genommen, deren physische Grundlage sich häufig im Ausland befindet (z. B. Rechenzentren).

Nicht nur in Deutschland werden ökologische Chancen und Risiken der Digitalisierung debattiert (WBGU, 2019). Unter dem Stichwort „Dematerialisierung“ kommen einerseits Möglichkeiten zur Ressourcenschonung zur Sprache; beispielsweise ersetzt das Streaming von Musik und Filmen physische Datenträger wie CDs und DVDs. Andererseits steigt mit der Digitalisierung der Bedarf an Rohstoffen und Energie für Produktion und Betrieb von internetfähigen Geräten (Kassenböhmer et al., 2019).

Die Anzahl digitaler Endgeräte wie Smartphones oder Laptops hat in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. Beispielsweise besaß im Jahr 1998 in Deutschland nur jede*r Fünfte einen Computer (PC) und jede*r Zehnte ein Mobiltelefon. 2018 hatte im Durchschnitt jede*r Deutsche einen PC und ein Mobiltelefon (Abb. 41).

Zeitalter Digitalisierung: Der Internetverkehr im Mobilfunk nahm zwischen 2010 und 2020 von 65,4 auf 3.972 Mio. Gigabyte zu – also um das 60-Fache.

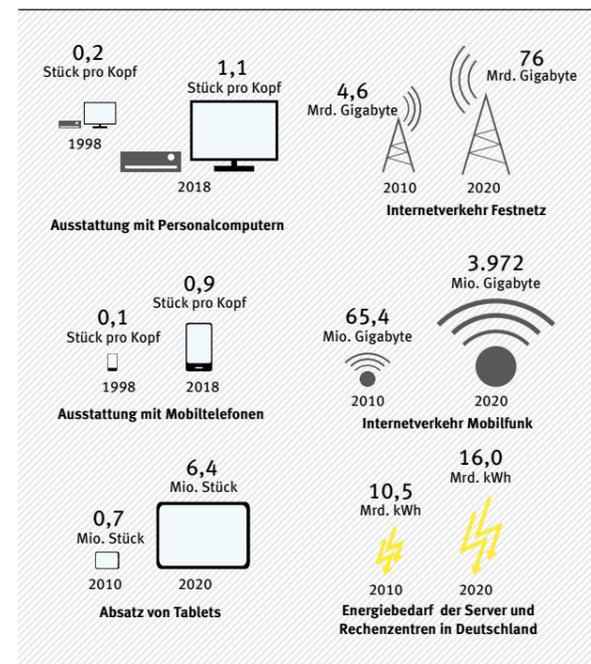
Der Ressourcenbedarf der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) hängt u. a. von der Art und Anzahl der genutzten Geräte und der Nutzungsintensität ab. Für Analysen der Rohstoffintensität des statistisch schwer abgrenzbaren IKT-Sektors fehlen aber noch geeignete Methoden. Relevant sind nämlich zum einen die Produktion der digitalen Technik. Zum anderen trägt auch die Nutzungsphase

der digitalen Geräte – besonders der Energieverbrauch – zum Rohstoffbedarf bei. Erste Schätzungen nach der EU-Standardmethode (s. S. 10) besagen: 2019 gingen in Deutschland etwa 37 Mio. Tonnen Rohstoffe auf das Konto des Konsums ITK-relevanter Gütergruppen und Dienstleistungen (Abb. 42) – 3% des gesamten Rohstoffkonsums. Die Nutzungsphase ist darin nicht enthalten.

Der IKT-Bereich enthält verschiedene Gütergruppen. Der größte Anteil an Rohstoffen (Abb. 42) entfiel mit 39% auf „Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse“ (z. B. Smartphones, Laptops, Fernseher) sowie auf elektrische Ausrüstungen wie Kabel und Akkus. Die Rohstoffe für IKT-Güter waren zu 41% Metallerze. Ein durchschnittliches Smartphone besteht zu 37% aus Aluminium, Stahl und Kupfer (Abb. 41) (Rizos et al., 2019). Andere

Abbildung 41

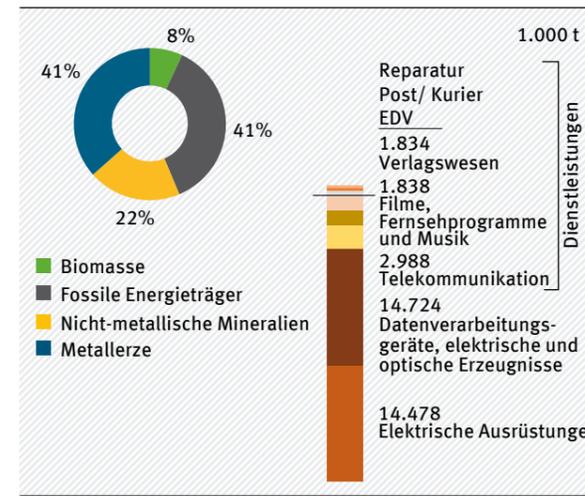
Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologie in Deutschland



Quellen: IDC et al., 2020; Bundesnetzagentur, 2021; Destatis, 2021 b; Hintermann, 2021

Abbildung 42

Rohstoffkonsum (RMC) für Güter der Informations- und Kommunikationstechnologie nach Güter- und Rohstoffgruppen, 2019



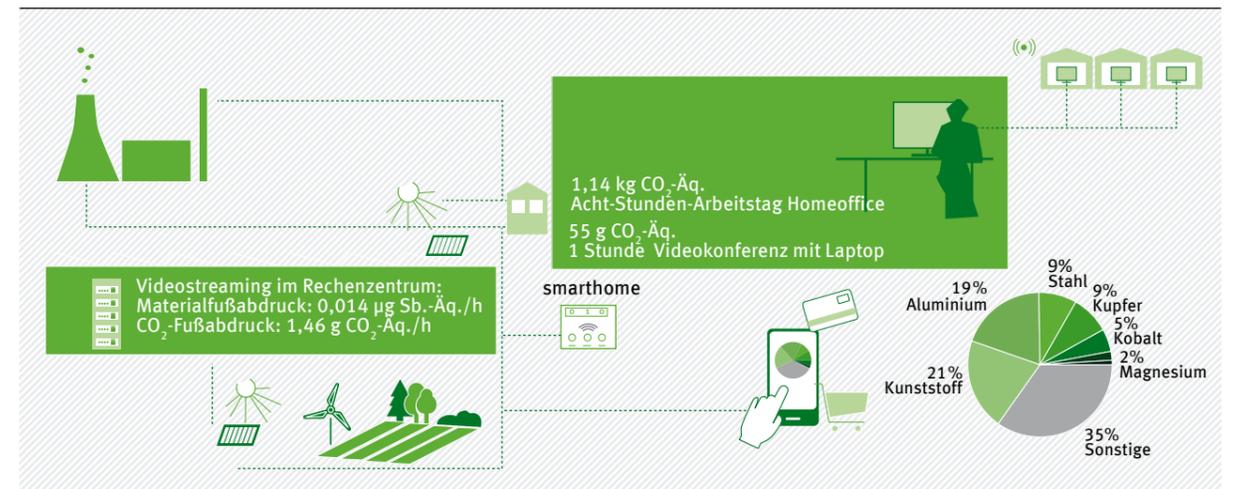
Quelle: Dittrich et al., 2022a

Metalle wie Gold, Kobalt oder Koltan sind zwar nur in geringen Mengen enthalten, haben aber meist große ökologische Rucksäcke und oft ein höheres Umweltgefährdungspotenzial (s. S. 56/57).

Viele Studien zum Thema Digitalisierung konzentrieren sich auf einzelne Produkte oder Prozesse bzw. den Energiebedarf oder die CO₂-Emissionen. Bei letzteren hat vor allem die Wahl der Energiequelle starken Einfluss auf den Rohstoffeinsatz. So verursacht ein Rechenzentrum für das Streamen eines

Abbildung 43

Ausgewählte Beispiele zum Ressourcenbedarf der Digitalisierung



Quellen: Rizos et al., 2019; Gröger et al., 2021



Rohstoffkonsum: das Beispiel Mobilität

Mobilität ist eine Grundvoraussetzung für die tägliche Versorgung, Beschäftigung, Bildung und die gesellschaftliche Teilhabe. Zunehmender Wohlstand sowie die Globalisierung steigern das Verkehrsaufkommen in Deutschland seit Jahren. Das hat eine Zunahme von Rohstoffbedarf und Emissionen zur Folge.

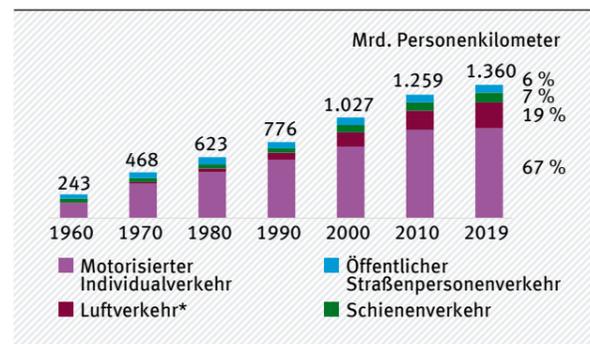
Die Kenngröße für die Mobilität von Personen heißt „Personenverkehrsleistung“. Sie ergibt sich aus der Anzahl der transportierten Personen multipliziert mit der zurückgelegten Strecke. Die Personenverkehrsleistung in Deutschland hat sich in knapp 60 Jahren (1960 bis 2019) beinahe verfünffacht (Abb. 44). Dafür war vor allem der motorisierte Individualverkehr verantwortlich, besonders das Auto.

Auch der „Modal Split“, also die Verteilung der Verkehrsleistung auf die Verkehrsmittel, veränderte sich im Lauf der Zeit. Zunehmend dominiert der motorisierte Individualverkehr den deutschen Personenverkehr: Im Jahr 2019 erreichte er 67%. Schienenverkehr und öffentlicher Straßen-Personenverkehr haben hingegen einen Anteil von unter 10%. Der Luftverkehr – 1960 noch ohne Bedeutung – machte 2019 bereits 19% aus.

Die zunehmende Mobilität verursacht nicht nur Treibhausgasemissionen, sondern benötigt auch große Rohstoffmengen. So ist die Mobilität nach Ernährung und Wohnen das Bedarfswelt mit dem größten Rohstoffkonsum (s. S. 48/49).

Abbildung 44

Verkehrsleistung des Personenverkehrs nach Verkehrsmitteln in Deutschland, 1960–2019



* Abgehende Flüge bis zur ersten Landung

Quellen: BMVI, 2021; TREMOD, 2021

Etwa ein Fünftel des Rohstoffkonsums privater Haushalte entfiel 2019 auf das Bedarfswelt Mobilität.

Von den 107 Mio. Tonnen Rohstoffkonsum privater Haushalte für Mobilität gingen 84% auf den Individualverkehr zurück (Abb. 45). Dabei ist zu beachten: Der Rohstoffkonsum für Mobilität enthält Rohstoffe für den Erhalt, nicht aber für den Bau von Infrastruktur. Der größte Teil des Rohstoffkonsums entfiel sowohl beim Individualverkehr (70%) als auch beim öffentlichen Verkehr (80%) auf Kraftstoffe, d. h. auf fossile Energieträger. Im Zeitraum 2008 bis 2019 verringerte sich der Rohstoffkonsum für Mobilität privater Haushalte insgesamt um 14%.

Auch bei den Rohstoffrucksäcken einzelner Mobilitätsformen (einschließlich Infrastruktur) zeigen sich Unterschiede zwischen dem öffentlichen und dem Individualverkehr (Allekotte et al., 2020). Pkw hatten mit 85 g/Pkm den höchsten kumulierten Rohstoffaufwand (KRA; s. Glossar), vor allem in Form fossiler Rohstoffe für die Energiebereitstellung und die Infrastruktur (Abb. 46). Daneben spielen metallische Rohstoffe für die Fahrzeugproduktion sowie mineralische Rohstoffe für die Infrastruktur eine wichtige Rolle (je rund 51 g/Pkm). Ein Beispiel: Im Straßenoberbau für deutsche Bundesautobahnen kommen pro Kilometer 27.659 Tonnen Baumaterial zum Einsatz (Knappe et al., 2015) – ein großer Beitrag zum „anthropogenen Lager“ (s. S. 42/43).

Der Schienenverkehr hat vor allem eine materialintensive Infrastruktur und somit den größten Anteil an mineralischen Rohstoffen (zwischen 96 g/Pkm für Straßenbahnen und 122 g/Pkm für den Schienennahverkehr).

Der Flugverkehr hingegen hat einen hohen kumulierten Energieaufwand (KEA; s. Glossar). Der Inlandsflugverkehr benötigt mit 2,8 Megajoule die meiste

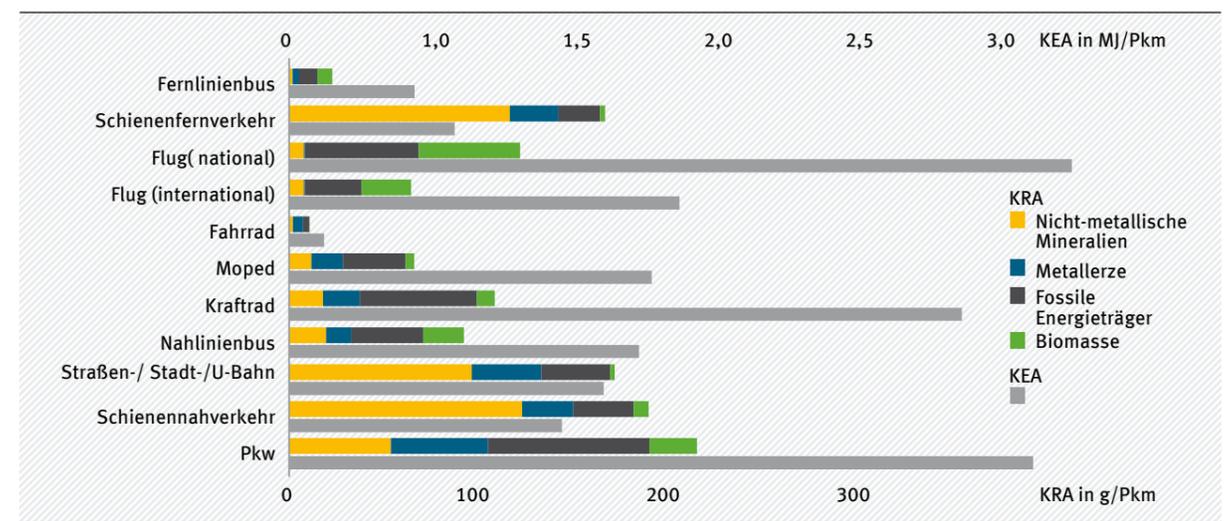
Primärenergie pro Personenkilometer. Wegen des hohen Treibstoffverbrauchs sind Flugzeuge und Pkw entsprechend klimawirksamer als die Bahn. Bei der relativen Betrachtung des KRA pro Personenkilometer schneidet der Flugverkehr hingegen meist besser ab als andere öffentliche Verkehrsmittel – er nutzt weder Schienen noch Straßen. Da mit dem Flugzeug aber in der Regel längere Strecken zurückgelegt werden, schneidet das Flugzeug auch beim KRA bei einem absoluten Vergleich von z.B. Urlaubsreisen meist schlechter ab. Den geringsten Rohstoffverbrauch und die geringsten Treibhausgasemissionen verursacht der Radverkehr.

Die Verkehrsmittelnutzung ist in Deutschland ungleich verteilt: je höher das Einkommen, desto stärker die Nutzung rohstoffintensiver und klimawirksamer Verkehrsmittel wie Pkw und Flugzeug – mit nahezu linearem Zusammenhang. Haushalte mit höheren Einkommen verursachen durch ihr Mobilitätsverhalten deutlich mehr Umweltbelastungen (Oehlmann et al., 2021).

Nicht nur der Personenverkehr, sondern auch der Güterverkehr nimmt insgesamt zu – mit einem hohen Anteil an Lkw-Transporten. Lastwagen haben die höchste Rohstoffintensität pro Tonnenkilometer, wobei größere Last- und Sattelzüge gegenüber kleineren Lkw im Vorteil sind (Allekotte et al., 2020).

Abbildung 46

Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) und kumulierter Energieaufwand (KEA) im Personenverkehr in Deutschland nach Verkehrsarten, 2017

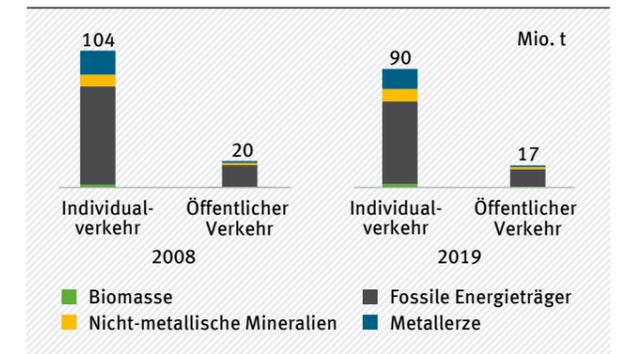


Pkm: Personenkilometer

Quelle: Allekotte et al., 2020

Abbildung 45

Rohstoffkonsum (RMC) privater Haushalte für das Bedarfswelt Mobilität in Deutschland, 2008 und 2019



Quelle: Dittrich et al., 2022a

Energie- und Rohstoffeinsatz (Abb. 46) sind jedoch nur zwei wichtige Kennzahlen. Für einen umfassenden ökologischen Vergleich müssen weitere Detailanalysen angestellt werden.

Für eine nachhaltige Mobilität sind mehrere Aspekte wichtig, etwa die Umstellung auf nachhaltige Antriebe sowie Verkehrskonzepte mit einem geringeren Anteil an motorisiertem Individualverkehr bzw. Frachttransport auf der Straße. Politische Maßnahmen wie die Bepreisung von Emissionen oder die Streichung umweltschädlicher Subventionen (z. B. Dieselprivileg) können eine solche Transformation beschleunigen.



Umweltauswirkungen der Rohstoffentnahme



- 40**
Prozent **Beitrag von Entnahme und erster Verarbeitung von Rohstoffen zu gesamten Treibhausgasemissionen**
- 14**
Prozent **Verringerung der Treibhausgasemissionen zwischen 2010 und 2019**
- 16,5**
Prozent **Verringerung des Verbrauchs von fossilen Energieträgern zwischen 2010 und 2019**
- + 4**
Prozent **Anstieg des Stickstoffdüngereinsatzes zwischen 2010 und 2018**
- 17**
Prozent **Anteil der Grundwassermessstellen, die den Grenzwert für Nährstoffeinträge 2015–2017 überschritten**
- 10**
Prozent **Überschreitung des Zielwerts für Stickstoffüberschuss pro Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche (2015–2017)**
- 2** **Anzahl der weltweit überschrittenen planetaren Grenzen – Stickstoff-/Phosphorkreisläufe und Verlust der genetischen Vielfalt**
- 2** **Anzahl der in Deutschland überschrittenen planetaren Grenzen – Landnutzungswandel und Stickstoffkreisläufe**

Quellen: s. S. 56–63



Umweltgefährdungspotenziale der bergbaulichen Rohstoffgewinnung

Die Gewinnung von Rohstoffen im Bergbau geht unweigerlich mit Eingriffen in natürliche Systeme sowie häufig mit negativen ökologischen und sozialen Folgen einher. Das betrifft insbesondere Länder mit schwacher Regierungsführung, aus denen ein Teil der Rohstoffe für den deutschen Markt stammt.

Abbau und Nutzbarmachung mineralischer Rohstoffe aus natürlichen Lagerstätten für unser Wirtschaftssystem können der Umwelt schaden. Bekannte Folgen sind beispielsweise sinkende Grundwasserspiegel, die Bodenbelastung durch Schwermetalle und die teils irreversible Zerstörung von Ökosystemen. Bei Störfällen treten auch Extremereignisse mit vielen Toten und weitreichenden überregionalen Schäden (etwa Giftschlamm Lawinen in Folge von Dammbrüchen) auf. Art und Ausmaß der Schäden hängen von vielen Faktoren ab. Dazu gehören die Art der gewonnenen Rohstoffe und der Lagerstätten, die Abbau- und Aufbereitungstechnologien, die lokalen Umweltbedingungen und nicht zuletzt die Wirksamkeit der Umweltregulierung vor Ort (Abb. 47).

Für einen Großteil (zwei Drittel) der derzeit benötigten Rohstoffe ist Deutschland auf Importe aus dem Ausland angewiesen.

Bei Energieträgern sind es sogar rund 80% der verwendeten Mengen. Und Metallerze werden nahezu zu 100% importiert (s. S. 26/27). Während Deutschland den Umweltrisiken beim Abbau heimischer Rohstoffe durch entsprechende nationale Vorschriften (wie z. B. das Bundesberggesetz) entgegenwirkt, kann es auf importierte Rohstoffe nur indirekten Einfluss ausüben (s. Box).

Zur Beurteilung der Umweltgefahren beim Abbau verschiedener Rohstoffe entwickelten Dehoust et al. (2020) ein Verfahren, das das sogenannte „Umweltgefährdungspotenzial“ (UGP) ermittelt. Berücksichtigt werden unter anderem die Gefahr der Bildung von sauren Grubenwässern, der Freisetzung von Schwermetallen oder radioaktiven Stoffe sowie von Störfällen durch Naturereignisse (Tab. 1).

Ergänzend bewertet das Verfahren für jeden Rohstoff folgende Faktoren: die Umweltregulierung in den

Tabelle 1

Indikatoren zum Umweltgefährdungspotenzial (UGP) für Kaolin, Eisen, Lithium und Kupfer

Indikator	Kaolin	Eisen	Lithium	Kupfer
Saure Grubenwässer	gering	mittel	gering	hoch
Schwermetalle	gering	mittel	gering	hoch
Radioaktive Stoffe	gering	mittel	mittel	mittel
Gewinnungsmethode	mittel	mittel	hoch	mittel
Hilfsstoffe	gering	mittel	mittel	hoch
Störfallgefahr	gering	mittel	hoch	hoch
Wasserknappheit	mittel	hoch	mittel	hoch
Biodiversität	gering	hoch	gering	mittel
Aggregiertes UGP	gering	mittel	mittel	hoch

Quelle: Dehoust et al., 2020

Förderländern, die Relevanz für den Kleinbergbau, den Nebenproduktcharakter sowie den Umfang der globalen Stoff- und Energieströme zur Abschätzung des Ausmaßes der Umweltgefahren.

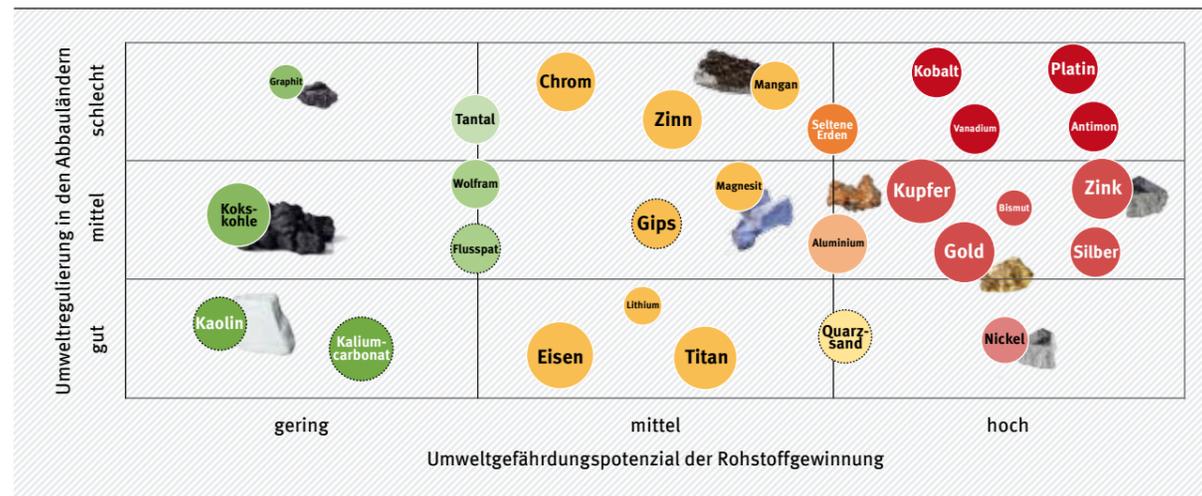
Beispiel Kupfer: Gerade für die deutsche Energiewende spielt Kupfer wegen seiner hohen Leitfähigkeit eine zentrale und systemrelevante Rolle. Deutschland benötigt als bedeutendster europäischer Hersteller von Kupferprodukten die drittgrößten Kupfermengen weltweit – nach China und den USA. Dabei ist Deutschland aber nahezu vollständig auf Rohstoffimporte aus anderen Ländern angewiesen.

Kupfer ist ein Rohstoff mit einem hohen UGP (Tab. 1). Beim Kupfererzabbau müssen nämlich enorme Gesteinsmassen bewegt werden: Für eine Tonne Kupfer werden bis zu 150 Tonnen Kupfererz abgebaut. Der Kupfergehalt beträgt je nach Mine 1,5% oder weniger. Beim Abbau entstehen gewaltige Mengen an Abraum, nicht selten bis zu 500 Tonnen je Tonne Kupfer oder mehr (BGR 2020 b). Oftmals sind diese Bergbauabfälle derart mit Schwermetallen und Chemikalien belastet, dass sie als giftig gelten. Zusätzlich können schwefelhaltige Erze bei Kontakt mit Wasser und Sauerstoff saure Grubenwässer bilden, die die Umwelt durch Säure und die Mobilisierung von gebundenen Schwermetallen schädigen. Außerdem kommt es beim Abbau zu erheblichen Eingriffen in den lokalen Wasserhaushalt: Gruben und Stollen müssen entwässert werden, und die Erzaufbereitung ist häufig sehr wasserintensiv. Daher kann der Kupferabbau – insbesondere in Gebieten mit hoher Wasserknappheit – eine Nutzungskonkurrenz mit Landwirtschaft, Trinkwasserversorgung oder Naturschutz auslösen.

Für Deutschland, einen global bedeutenden Rohstoffimporteur, ergeben sich aus den Analysen des UGP einzelner Rohstoffe eine Reihe von Konsequenzen. So sollte die Verwendung von Rohstoffen mit hohem UGP weitestmöglich reduziert werden, z. B. durch Recycling oder eine effizientere Produktion. Wenn solche Materialien unverzichtbar sind – insbesondere bei technischen Anwendungen für die Energiewende –, sollten Schutzmaßnahmen in den Abbauländern intensiver unterstützt werden. Ein Schritt in diese Richtung ist das sogenannte Lieferkettengesetz (s. Box).

Abbildung 47

Umweltgefährdungspotenzial (UGP) und Umweltregulierung in den Abbauländern, nach Rohstoffen



Die Größe richtet sich nach der Höhe der mit dem Rohstoff verbundenen Stoff- und Energieströme weltweit (dreistufige Skala). Schwarz umrandete Rohstoffe werden in relevanter Menge auch in Deutschland abgebaut.

Quellen: Dittrich et al., 2022 b basierend auf Daten von BGR, 2020 a; Dehoust et al., 2020

Lieferkettengesetz

Wie kann Deutschland dafür Sorge tragen, dass der hiesige Rohstoffkonsum nicht zu ökologischen und sozialen Problemen in den Abbauländern führt? Direkten politischen Einfluss auf die Vorschriften in den Abbauländern hat Deutschland nicht. Doch das Lieferkettengesetz, das der Bundestag am 11. Juni 2021 beschlossen hat, ist ein erster Schritt. Es verpflichtet deutsche Unternehmen, entlang ihrer Lieferketten auf Umwelt- und Menschenrechte zu achten und sich dabei kontinuierlich zu verbessern.

Umweltaspekte regelt das Gesetz allerdings nur in eingeschränktem Maße. Die Bedingung dafür lautet: Sie müssen entweder in unmittelbarem Zusammenhang mit einer Menschenrechtsverletzung stehen oder spezifische internationale Abkommen (zu Quecksilber und zu persistenten organischen Schadstoffen) betreffen.

Daher steht zu befürchten, dass das Gesetz die Rohstoffgewinnung nur wenig positiv beeinflusst – insbesondere, da es die Sorgfaltspflicht auf den direkten Zulieferer beschränkt, während die Rohstoffgewinnung meist schon früher in der Wertschöpfungskette stattfindet. Hier müssen Unternehmen bislang nur tätig werden, wenn sie Kenntnis von möglichen Verstößen haben (BMZ, 2021).



Rohstoffnutzung und Klimawandel

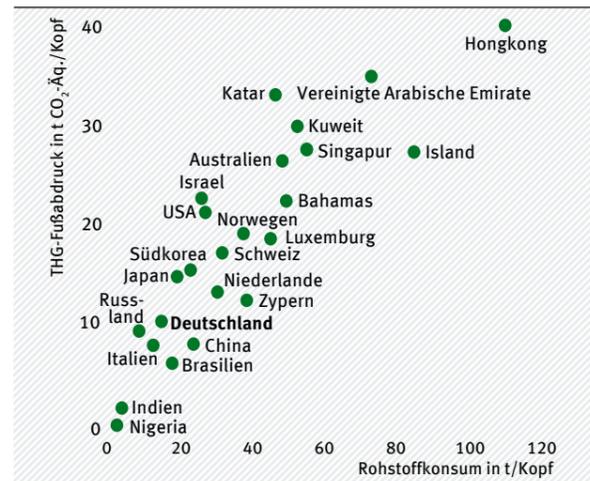
Der fortschreitende Klimawandel, verursacht durch große Mengen menschlicher Treibhausgasemissionen, ist eines der drängendsten Umweltprobleme unserer Zeit. Nachhaltiges Rohstoffmanagement ist wichtig für den Klimaschutz, denn Rohstoffnutzung hat eine starke Klimawirkung.

Mit zunehmendem Wohlstand sind weltweit sowohl die Rohstoffentnahme als auch der Ausstoß von Treibhausgasen stark angestiegen – auf neue globale Höchstwerte (UNEP IRP, 2019; IPCC, 2022). Rohstoffkonsum und Treibhausgasausstoß der Länder sind dabei häufig proportional zueinander (Abb. 48). Indien etwa, ein Land mit einem Primärrohstoffkonsum von nur rund 5 Tonnen pro Kopf und Jahr, emittiert weniger als 5 Tonnen CO₂-Äquivalente jährlich pro Kopf. Die Menschen in den Vereinigten Arabischen Emiraten hingegen konsumieren durchschnittlich rund 76 Tonnen Rohstoffe und emittieren 37 Tonnen CO₂-Äquivalente.

Der Zusammenhang zwischen Rohstoffkonsum und Treibhausgasemissionen ist jedoch nicht immer gleich. So kann derselbe Rohstoffkonsum mit unterschiedlich hohen Treibhausgasemissionen einhergehen, wie der Ländervergleich (Abb. 48) zeigt. Oder ähnlich hohe Treibhausgasemissionen können mit einem unterschiedlich hohen Rohstoffkonsum zusammenfallen, wie etwa bei Island und Singapur.

Abbildung 48

Treibhausgas-Fußabdruck und Rohstoffkonsum (RMC) pro Kopf in verschiedenen Ländern, 2017



Deutschland: nur CO₂-Emissionen

Quellen: Destatis, 2021 g, 2021 f; UN IRP, 2022

Ein zentraler Faktor für den Zusammenhang zwischen Rohstoffkonsum und Treibhausgasemissionen ist die Art und Weise, wie Energie gewonnen wird. Noch dominieren weltweit die fossilen Energieträger. So verbraucht im globalen Durchschnitt jeder Mensch pro Jahr rund 2 Tonnen Erdöl, Erdgas oder Kohle. In wohlhabenden Ländern ist der Verbrauch höher. In den Vereinigten Arabischen Emiraten oder in den USA werden jährlich rund 26 bzw. 10 Tonnen fossile Rohstoffe pro Kopf verbraucht, in Indien oder Bolivien sind es nur 0,8 bzw. 1 Tonne(n) pro Kopf. In China, dem weltweit größten Emittenten von Treibhausgasen, liegt der Verbrauch bei 3 Tonnen pro Kopf, in Deutschland bei 4 Tonnen (Dittrich et al., 2022 a; UN IRP 2022; UN Life Cycle Initiative et al. 2022).

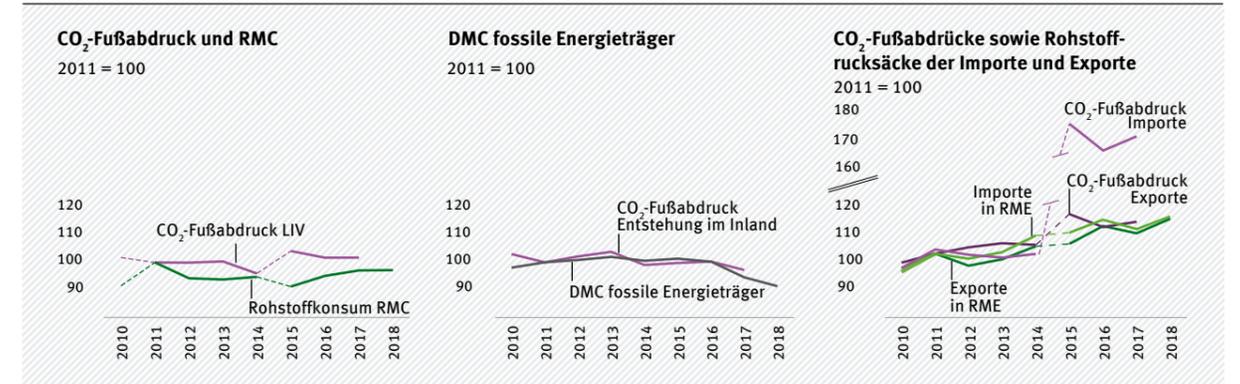
In Deutschland verliefen die Trends bei Rohstoffkonsum und Treibhausgasemissionen in den letzten Jahren unterschiedlich (Abb. 49, links). Warum? Zum einen zeigen sich die Wirkungen der Energiewende. So ging der Verbrauch von fossilen Rohstoffen in Deutschland zwischen 2010 und 2019 um 16,5 % (von 396 auf 330 Mio. t) zurück, wodurch die inländischen CO₂-Emissionen sanken (Abb. 49, Mitte). Zum anderen veränderte sich das Verhältnis zwischen Importen und Exporten: Während der CO₂-Fußabdruck der Exporte bis 2014 größer war als jener der Importe, kehrte sich dies im Zeitraum 2015 bis 2017 um (Abb. 49, rechts). Hierbei ist zu beachten, dass die Zahlen nur eingeschränkt vergleichbar sind, weil die Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) ab 2015 aktualisiert wurden.

Etwa 40 % aller Treibhausgasemissionen sind auf die Entnahme und Verarbeitung von Rohstoffen in Deutschland zurückzuführen.

Im globalen Durchschnitt waren es 2015 knapp 55 % (UN IRP, 2019 a; 2019 b). Neben fossilen Energieträgern werden auch bei der Gewinnung und Aufbereitung anderer Rohstoffe Treibhausgasemissionen verursacht. So wird beispielsweise für die Produktion von Zement Kalkstein entsäuert, wobei CO₂ entsteht. Bei der Stahl-

Abbildung 49

Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC), des inländischen Materialkonsums (DMC) und des CO₂-Fußabdrucks in Deutschland sowie Darstellung nach Komponenten, 2010–2017/2018



RME: Rohstoffäquivalente (s. Glossar); LIV: Letzte inländische Verwendung von Gütern. Gestrichelte Linien zeigen eine VGR-Revision an.

Quellen: Destatis, 2021 f, 2021 g, 2021 h

herstellung wird Eisen reduziert, auch hier bildet sich CO₂. Bei Gewinnung und Transport von Erdgas, aber auch beim Reisanbau und bei der Viehzucht entweicht Methan. Dieses Treibhausgas ist weniger langlebig, aber 25-mal klimawirksamer als CO₂. Lachgas – ein 298-mal stärkeres Treibhausgas als CO₂ – entsteht in der Landwirtschaft und bei der Produktion von Düngemitteln.

Folglich lässt sich der Treibhausgasausstoß erheblich verringern, wenn weniger Primärrohstoffe genutzt werden. Gangbare Wege wären erstens eine geringere Produktnachfrage, z. B. mithilfe langlebigerer Produkte, zweitens der Ersatz treibhausgasintensiver Rohstoffe durch andere Rohstoffe, beispielsweise im Bausektor (s. Box), oder drittens eine verstärkte Kreislaufführung von Rohstoffen. Etwa bei Metallen ist die Kreislaufführung schon weitgehend etabliert. Der Vorteil: Recycelter Sekundärstahl verursacht

zwischen 62 und 90 % weniger Treibhausgasemissionen als Primärstahl. Bei Aluminium sind es sogar 80 bis 96,5 %.

Die UBA-Studie „RESCUE“ (Purr et al., 2019) hat die Zusammenhänge zwischen Rohstoffkonsum und Treibhausgasemissionen untersucht. Im Szenario GreenSupreme zeigt sie: Bis 2050 lassen sich durch geeignete Maßnahmen 97 % der Treibhausgasemissionen (gegenüber 1990) und 70 % des Rohstoffeinsatzes (gegenüber 2010) gleichzeitig einsparen (s. S. 84/85). Die Kombination von Ressourcenschutz und Klimaschutz ist also unabdingbar für eine zeitnahe Treibhausgasneutralität Deutschlands. Neben der Energiewende trägt auch eine Ressourcenwende zum Klimaschutz bei: mit Kreislaufwirtschaft, Rohstoffeffizienz, dem Ersatz emissionsintensiver Rohstoffe sowie suffizientem (genügsamem) Wirtschaften.

Rohstoff- und Klimarelevanz des Bausektors

Der Bau von Gebäuden und Infrastruktur benötigt große Mengen Rohstoffe – allein in Deutschland jährlich rund 500 Mio. Tonnen (Destatis, 2021 h). Das sind etwa 38 % des gesamten Rohstoffkonsums. 14 % der Metalle, 75 % der nicht-metallischen Mineralien und 7 % der fossilen Rohstoffe werden direkt oder indirekt vom Bausektor beansprucht. Da nicht-metallische Mineralien weniger treibhausgasintensiv sind als andere Rohstoffe, trägt der Bausektor mit 50 Mio. Tonnen CO₂ (2017) „nur“ 5,6 % zum gesamten deutschen CO₂-Fußabdruck bei. Dabei sind die wichtigsten CO₂-Quellen Energie sowie Stahl und Zement. 2018 verbaute die Branche 29 Mio. Tonnen Zement und 14 Mio. Tonnen Stahl. Eine Tonne Zement verursacht etwa 745 Gramm CO₂. Davon sind 400 Gramm prozessbedingte Emissionen, stammen also direkt aus der chemischen Reaktion bei der Entsäuerung von Kalkstein (VDZ, 2019). Jede Tonne Stahl wiederum bewirkt ca. 1,74 Tonnen CO₂-Äquivalente. Eine umweltfreundlichere Alternative ist Holz aus zertifiziertem Anbau. Bei langfristiger Nutzung von Holz als Baustoff wird CO₂ in Gebäuden gespeichert, während der nachwachsende Wald weiteren Kohlenstoff bindet (Schütze et al., 2016).



Umweltauswirkungen von Rohstoffen: das Beispiel Stickstoff

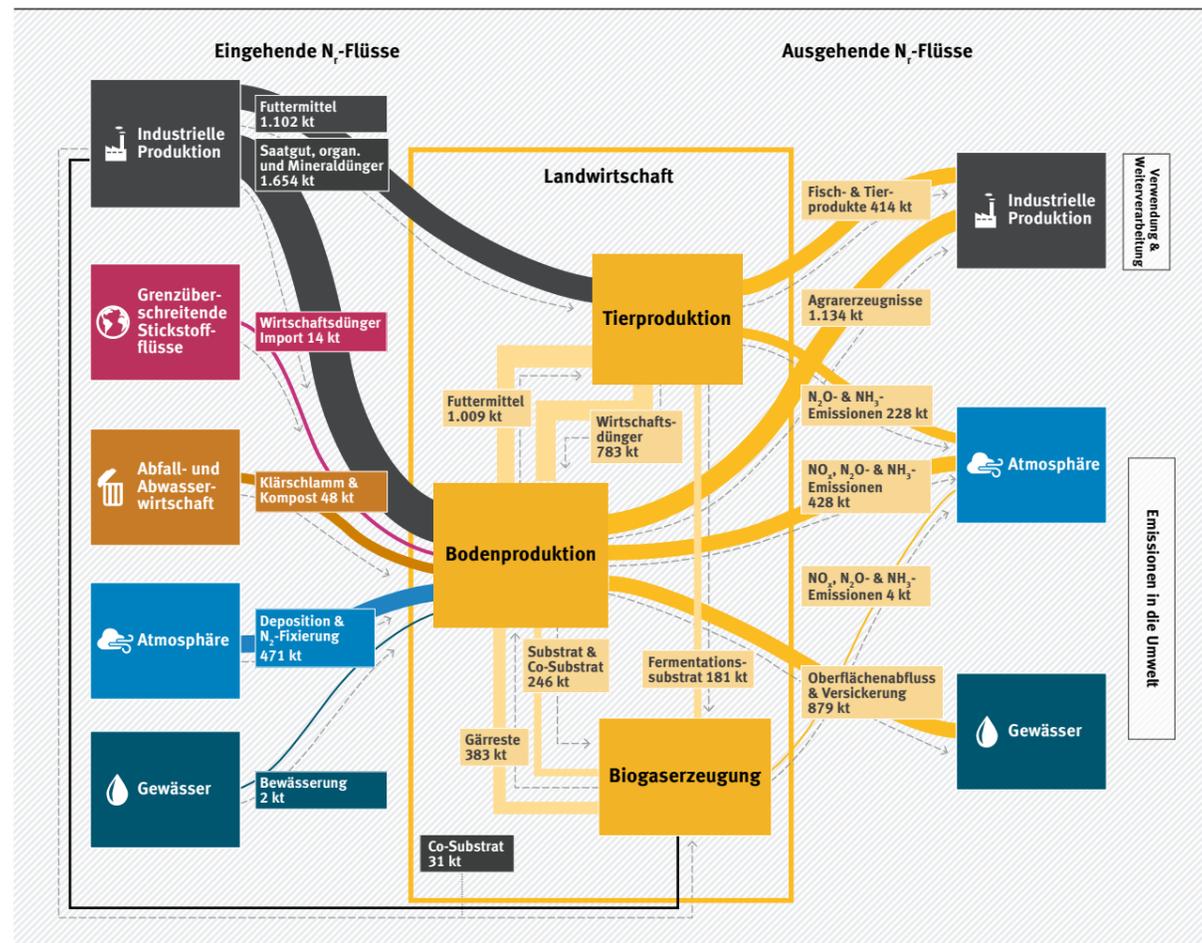
Stickstoff ist in der landwirtschaftlichen Produktion ein unerlässlicher Rohstoff für die Erzeugung von pflanzlichen und tierischen Produkten. Durch ineffizienten Umgang mit der wertvollen Ressource gelangt reaktiver Stickstoff jedoch auch in die Umwelt. Die negativen Auswirkungen sind zum Teil gravierend.

Um Stickstoff (Elementsymbol N) nutzen zu können, muss er aus der elementaren Form als Bestandteil der Luft in reaktiven Stickstoff überführt werden. Dann kann er beispielsweise von Pflanzen aufgenommen werden. In Form unterschiedlicher Verbindungen wird Stickstoff neben der Landwirtschaft auch in der Energiewirtschaft und der Industrie eingesetzt. Von den durch Umsetzungsprozesse entstandenen Verbindungen (Nitrat, Stickstoffdioxid, Ammoniak

und Lachgas) können aber auch negative Umweltauswirkungen ausgehen. Etwa 1,6 Mio. Tonnen reaktiver Stickstoff werden in Deutschland im Mittel pro Jahr (2010–2014) als Emissionen freigesetzt. Allein aus der Landwirtschaft stammen knapp zwei Drittel dieser Emissionen; das restliche Drittel aus Energiewirtschaft und Industrie, Verkehr sowie Abwasser und Oberflächenablauf (Regenwasser).

Abbildung 50

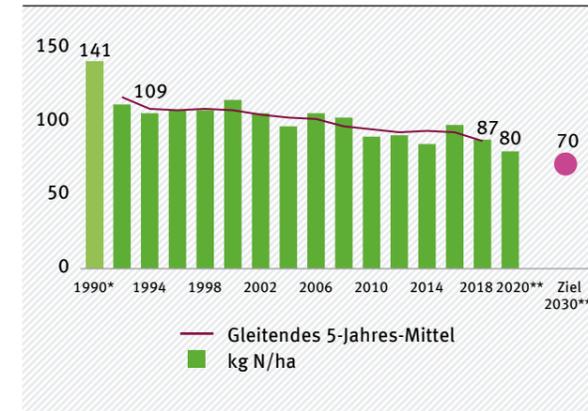
Bereich „Landwirtschaft“ des nationalen Stickstoffinventars: ein- und ausgehende Stickstoffflüsse in Tausend Tonnen Stickstoff (kt N) pro Jahr im Mittel der Jahre 2010–2014



Quellen: UBA, 2022e; überarbeitete grafische Aufbereitung von Bosch & Partner und kopfarbyte basierend auf Daten von Bach et al., 2020

Abbildung 51

Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft, 1990–2020



Jährlicher Überschuss bezogen auf das mittlere Jahr des 5-Jahres-Zeitraums (aus gerundeten Jahreswerten berechnet).
 * Daten zum Teil unsicher, nur eingeschränkt vergleichbar mit Folgejahren.
 ** Vorläufige Daten
 *** Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuauflage 2016: 70 kg N/ha

Quelle: BMU, 2022b

Die Stickstoffeinträge durch den Menschen beeinflussen Ökosysteme im Wasser und an Land, verändern deren Biodiversität sowie das Klima und beeinträchtigen die menschliche Gesundheit. Gelangt reaktiver Stickstoff ins Grundwasser und dann in Flüsse oder Meere, kann dies in Küstenökosystemen eine Eutrophierung (Nährstoffanreicherung) bewirken. Das darauffolgende Algenwachstum führt zu sauerstoffarmen Meereszonen und entsprechenden Gefahren für die Meeresfauna.

Das weltweite Wachstum der Bevölkerung und des Wohlstands erhöht den Bedarf an Nahrungsmitteln erheblich. Zur Sicherung der Erträge ist Stickstoff für die Landwirtschaft ein wichtiger Roh- und Nährstoff, der über Futter- und Düngemittel in die Produktionskette gelangt. In Wirtschaftsdüngern kommt Stickstoff zudem als wiederverwertbare Ressource aus der Tierproduktion (Gülle, Mist) für den Anbau von Nutzpflanzen zum Einsatz. Bei der Tier- und Pflanzenproduktion entstehen jedoch hohe Stickstoffüberschüsse, die als Ammoniakemission oder Nitratreinträge in die Umwelt gelangen (UBA, 2021 g).

Mit Futtermitteln aus industrieller Produktion und Importen gelangen in Deutschland rund 1,1 Mio. Tonnen Stickstoff in die Tierproduktion. Dazu kommen rund eine Million Tonnen Stickstoff aus

Grundfuttermitteln, die innerhalb der Landwirtschaft erzeugt werden (Abb. 50). Etwas mehr, nämlich 1,7 Mio. Tonnen, sind in Mineraldüngern für den Anbau von Nutzpflanzen enthalten. Dieser Fluss konnte in den letzten Jahren deutlich auf 1,3 Mio. Tonnen gesenkt werden (Destatis, 2022 c). Dazu kommen 0,7 Mio. Tonnen Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und Gärresten aus Biogasanlagen (UBA, 2022 c). Insgesamt ist in Deutschland die Stickstoffzufuhr über mineralische und organische Düngemittel in der vergangenen Dekade (2010 bis 2019) im Vergleich zu den vorherigen beiden Dekaden um 4 % gestiegen (BMU, 2022 a).

Entscheidend für das Ausmaß der Umweltbelastungen, z. B. zu hohe Nitratgehalte im Grundwasser, sind die aus dem Saldo der Stickstoffzufuhr und Abfuhr resultierenden Stickstoffüberschüsse. Für den Zeitraum 2016 bis 2020 lag der durchschnittliche Stickstoffüberschuss bei 87 Kilogramm pro Hektar (Abb. 51). Durch unterschiedliche Viehbesatzdichten und den daraus resultierenden Anfall von Wirtschaftsdünger können die Zahlen regional und zwischen einzelnen Betrieben stark variieren. Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, den Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft bis 2030 auf 70 Kilogramm pro Hektar zu reduzieren. Trotz eines Rückgangs seit 1990 wird bei Beibehaltung des Trends der vergangenen zehn Jahren der Zielwert für 2030 wahrscheinlich nicht erreicht.

Angesichts der zahlreichen Umweltauswirkungen wird deutlich: Ein sorgsamer Umgang mit dem Rohstoff Stickstoff ist unverzichtbar. Um die Stickstoffverluste der Landwirtschaft weiter zu reduzieren, ist eine konsequente Umsetzung und Kontrolle der bestehenden ordnungsrechtlichen Vorgaben entscheidend. Ebenso ist es wichtig, einen breiten Mix an technischen und effizienzfördernden Maßnahmen im Pflanzenbau und der Tierhaltung, aber auch in anderen Verursacherebenen, wie der Energiewirtschaft, Industrie und Verkehr umzusetzen. Auch Bürger*innen können direkt Einfluss nehmen, etwa über eine Reduktion des Konsums tierischer Produkte oder weniger Lebensmittelverschwendung, denn ein Großteil des individuellen Stickstofffußabdrucks geht auf die Ernährung zurück (UBA, 2022 c).



Rohstoffnutzung innerhalb planetarer Grenzen

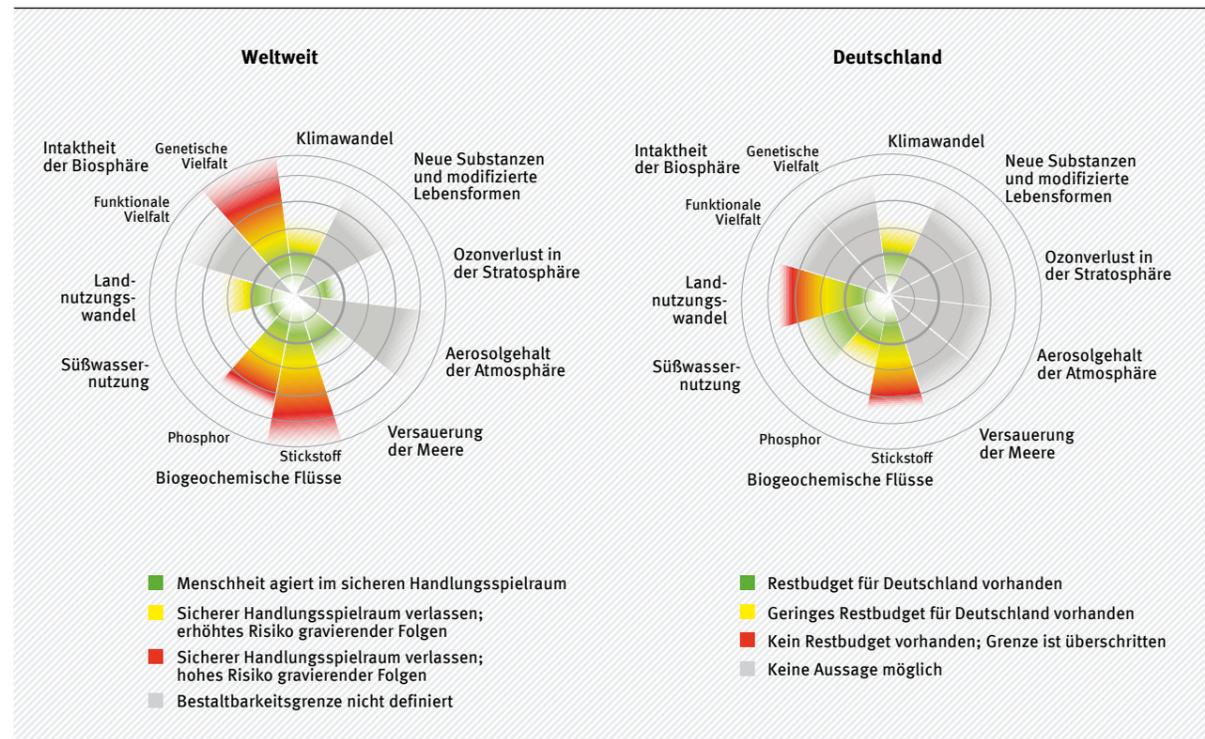
Das Konzept der planetaren Grenzen zeigt Schranken für globale Umweltbelastungen auf. Werden die Grenzen überschritten, können sich die stabilen Bedingungen für menschliches Leben irreversibel ändern. Die meisten der neun definierten planetaren Grenzen sind direkt oder indirekt mit der Rohstoffnutzung verbunden.

Das Konzept der planetaren Grenzen (Steffen et al., 2015; Rockström et al., 2009) definiert sichere Handlungsspielräume, in denen nachhaltiges Leben möglich ist. Es legt für neun ökologische Dimensionen Belastungsgrenzen bzw. Kippunkte fest. Werden diese überschritten, können sich die Widerstands- und Funktionsfähigkeit des Erdsystems irreversibel ändern. Damit droht eine grundlegende Einschränkung der menschlichen Lebensgrundlagen. Zu den neun Dimensionen gehören der Klimawandel, die Integrität der Biosphäre, der Landnutzungswandel und die Versauerung der Meere (Abb. 52).

Auf globaler Ebene wurden für sechs davon bereits konkrete Grenzwerte formuliert, weitere Grenzwerte werden diskutiert. Bei mindestens zwei Dimensionen sind diese Grenzwerte gegenwärtig überschritten: bei den globalen Stickstoff- und Phosphorkreisläufen und dem Verlust der genetischen Vielfalt. Neuere Forschungen deuten darauf hin, dass auch Grenzwerte für Süßwassernutzung und für neue Substanzen überschritten sein könnten (Persson et al., 2022; Wang-Erlandsson et al., 2022). Die im Konzept definierten Grenzwerte der Dimensionen Klimawandel und Landnutzungswandel sind zwar

Abbildung 52

Das Konzept der planetaren Grenzen weltweit und für Deutschland

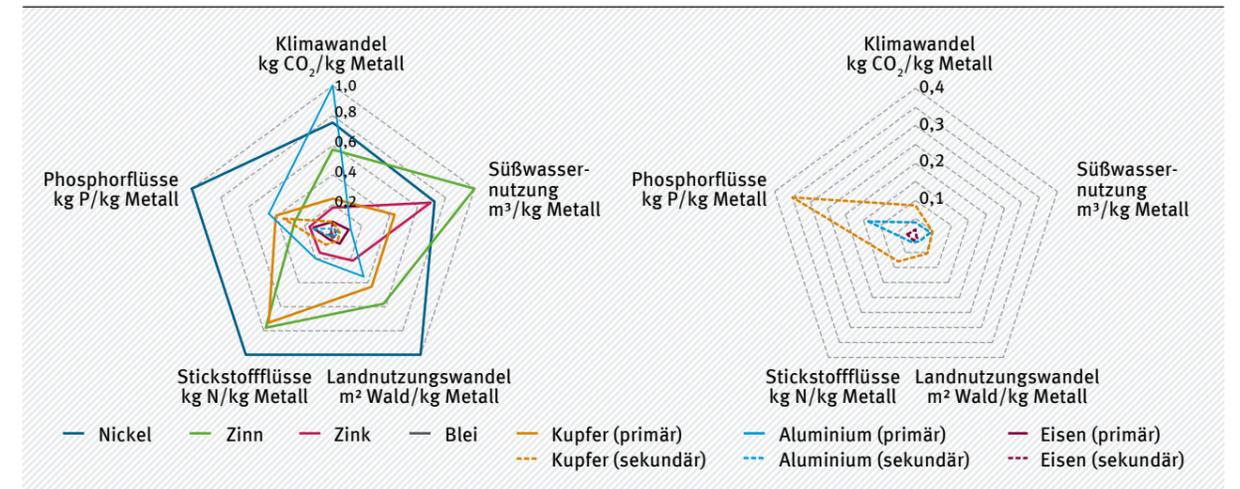


Die globale Ebene wurde nach dem Gleichheitsprinzip für Deutschland disaggregiert, wonach Grenzwerte auf alle lebenden Menschen gleich verteilt werden. Alternativ kann eine Verteilung u. a. nach dem Prinzip der historischen Verantwortung erfolgen: Länder, die bereits in der Vergangenheit natürliche Ressourcen stärker in Anspruch genommen und den Planeten „verschmutzt“ haben, erhalten demnach weniger Verschmutzungsrechte. Möglich ist auch eine Verteilung nach dem Recht auf Entwicklung und nach dem Souveränitätsprinzip. Je nach Prinzip der Disaggregation variieren die bereits überschrittenen Grenzen und Restbudgets für Deutschland.

Quellen: Weltweit: adaptiert von Steffen et al., 2015; Deutschland: Dittrich et al., 2022

Abbildung 53

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



Das Netzdiagramm zeigt spezifische Umweltwirkungen pro Kilogramm Metall bei der Verarbeitung von Metallen zu reinem Metall („cradle-to-gate“). Die Achsen jeder Kategorie sind normiert; der höchste Wert jeder Kategorie (Umweltwirkungen der Primär- und Sekundärverarbeitung) ist auf 1 festgelegt.

Quelle: Dittrich et al., 2022b

noch nicht überschritten – der sichere Handlungsspielraum wurde aber bereits verlassen, womit das Risiko einer Überschreitung stark steigt.

es wiederum zur Veränderung von Stickstoff- oder Phosphorkreisläufen und zur Emission von Treibhausgasen (s. S. 58/59 und 60/61).

In Deutschland sind nach dem Gleichheitsprinzip derzeit bei zwei Dimensionen die Grenzwerte bereits überschritten: bei den Stickstoffkreisläufen und beim Landnutzungswandel. Für den Landnutzungswandel wurde die globale Grenze auf den Erhalt von 75 % der ursprünglichen Waldfläche festgelegt. Bei Einbeziehung regionaler Vegetationszonen variiert diese Grenze. In einer gemäßigten Zone wie in Deutschland liegt die Grenze bei 50 % der ursprünglichen Waldfläche (Steffen et al., 2015). Das ehemals stark bewaldete Deutschland ist heute jedoch nur noch zu einem Drittel mit Wald bedeckt, der sich fast nirgends in ursprünglichem Zustand befindet (Abb. 52).

Mit der Schonung von Rohstoffen und dem Aufbau der zirkulären Wirtschaft lässt sich das Überschreiten der globalen Belastungsgrenzen verhindern. So kann z. B. die Nutzung von Abfällen erheblich dazu beitragen, die Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen zu reduzieren – genau wie die entsprechenden Umweltbelastungen durch Extraktion, Aufbereitung und Produktion von Halbwaren und Gütern. Dies betrifft insbesondere Basismetalle, die sich ohne funktionelle Einbußen theoretisch nahezu unendlich oft wiederverwenden lassen. So belastet die Aufbereitung von Eisen-, Kupfer- und Aluminiumschrotten die Umwelt weniger als die Herstellung von Eisen, Kupfer und Aluminium aus Erzen (Abb. 53): Die Gewinnung von Kupfer aus Kupfererz verursacht pro Kilogramm Metall rund 3,7 kg CO₂ und verbraucht 0,23 m³ Süßwasser, bei der Aufbereitung von Kupferschrotten sind es nur 1,3 kg CO₂ bzw. 0,02 m³ Süßwasser (Ecoinvent, 2021).

Bei den Dimensionen Phosphorkreislauf und Klimawandel besteht die Gefahr, dass Deutschland die Grenzen überschreitet. So bleibt nur noch ein geringes Treibhausgasbudget, wenn das verbliebene globale Budget auf alle Menschen gleich verteilt wird.

Die Rohstoffnutzung steht in direkter und indirekter Verbindung mit den Dimensionen der planetaren Grenzen. Zur Extraktion, Aufbereitung, Verarbeitung, Nutzung und Entsorgung von Rohstoffen bzw. daraus hergestellten Gütern braucht man unter anderem Wasser, Landflächen und Energie. Dadurch kommt

Die Rohstoffpolitik kann somit zu einem Wirtschaften innerhalb der planetaren Grenzen beitragen. Jedoch gilt es abzuwägen, welche der planetaren Dimensionen maßgeblich sind. Nach dem Vorsorgeprinzip ist die Antwort eindeutig: Es gilt diejenige Grenze, die am ehesten überschritten wird bzw. bereits überschritten ist.



Nexus: andere natürliche Ressourcen und ihre Verbindung zu Rohstoffen



850 Liter	796 Liter	Wasserentnahme in Deutschland pro Kopf und Tag, 2013 und 2016
6.152 Liter	6.633 Liter	Wasserfußabdruck Deutschlands pro Kopf und Tag, 2011 und 2021
52 Hektar pro Tag	Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV), 2019	
< 30 Hektar pro Tag	Ziel für die SuV-Flächenzunahme gemäß der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie für 2030	
75 Prozent	75 Prozent	Anteil ausländischer Flächen am Flächenfußabdruck Deutschlands, 2010 und 2018
572 Petajoule	789 Petajoule	Primärenergiegewinnung aus strömenden Ressourcen, 2015 und 2019
99 Gramm pro Kilowattstunde	Durchschnittlicher Rohstoffeinsatz für Windkraftanlagen an Land über den gesamten Lebenszyklus	
55 Prozent	32 Prozent	37 Prozent
Ausländischer Anteil von Rohstoffkonsum, Flächen- und Wasserfußabdruck für in Deutschland konsumierte Lebensmittel		

Quellen: s. S. 66–79



Wassernutzung in Deutschland

Neben Rohstoffen spielt Wasser eine wichtige Rolle bei der Ressourcennutzung in Deutschland. Die Wassernutzung privater Haushalte macht davon nur einen kleinen Teil aus. Größter Nutzer in Deutschland ist die Energieversorgung. Die Wasserentnahme in Deutschland insgesamt ist seit 1991 rückläufig.

In Deutschland sind im Durchschnitt ausreichende Wasserressourcen verfügbar. Allerdings sind sie regional unterschiedlich verteilt und unterliegen witterungsbedingt starken Schwankungen – sowohl im Jahresverlauf als auch im jährlichen Durchschnitt (UBA, 2020b). Im Jahr 2018 betrug das Wasserdargebot (Grund- und Oberflächenwasser) nur 119 Mrd. Kubikmeter (2013: 181 Mrd. m³), während das langjährige Mittel bei 188 Mrd. Kubikmetern liegt (Bfg, 2016).

Wasser wird in Deutschland vor allem durch den Energiesektor zur Kühlung von Wärmekraftwerken (53%), im Bergbau und verarbeitenden Gewerbe (24%), von der öffentlichen Wasserversorgung (22%) sowie für die Bewässerung in der Landwirtschaft (1%) entnommen (Abb. 54). Ein entscheidendes Kriterium für eine nachhaltige Wassernutzung ist der Anteil der gesamten Entnahme am langjährigen Wasserdargebot, auch „kritischer Wassernutzungsindex“ (s. Glossar) genannt. Dieser Index lag im Jahr 2016 für Deutschland bei 13% und blieb somit unter

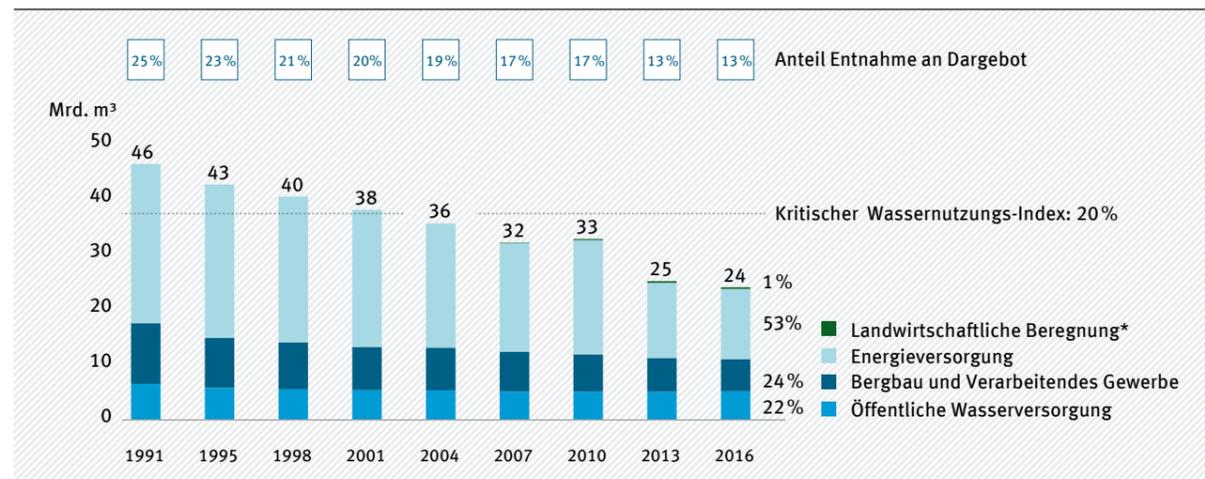
dem Grenzwert für Wasserstress von 20%. 1991 lag der Wassernutzungsindex in Deutschland noch bei 25%. Grund für diese Verbesserung ist die rückläufige Wassernutzung in sämtlichen Bereichen, allen voran im Energiesektor. Dabei spielt der geringere Bedarf an Kühlwasser durch den Atomausstieg eine bedeutende Rolle.

Zwischen 1991 und 2016 halbierte sich die Wassergewinnung aus dem Grundwasser und Oberflächengewässern in Deutschland.

Insgesamt sank die Wassergewinnung von 1991 bis 2016 um 48% auf 24 Mrd. Kubikmeter. Diese Werte bilden die gemittelte Wasserentnahme über ein Jahr für ganz Deutschland ab. Die Arten der Wassernutzung sowie Niederschlag, Verdunstung und damit die Grundwasserneubildung sind sowohl regional als auch saisonal unterschiedlich. Spitzen verursacht beispielsweise der zusätzliche Wasserbedarf für die Bewässerung in trockenen Sommermonaten.

Abbildung 54

Wassergewinnung nach Wirtschaftsbereichen in Deutschland sowie Anteil am gesamten Wasserdargebot, 1991–2016



* Daten erst ab 2007 verfügbar. Daten zu Wassergewinnung und Wasserdargebot lagen bei Redaktionsschluss bis 2016 vor.

Quellen: Destatis, 2019c; Bfg, 2020

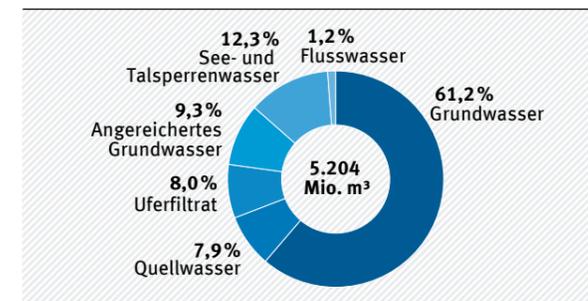
Im Jahr 2019 nutzte jede Person in Deutschland täglich rund 128 Liter Trinkwasser im Haushalt (inklusive der Verwendung im Kleingewerbe). Der Großteil wurde für Körperpflege (36%) und die Toilettenspülung (27%) verwendet (Bdew, 2021).

Das von der öffentlichen Wasserversorgung entnommene Trinkwasser (5 Mrd. m³) speist sich zu knapp 70% aus Grund- und Quellwasser. Der Rest stammt aus Oberflächenwasser, Uferfiltrat und angereichertem Grundwasser (Abb. 55).

Die Menge Wasser und die Verteilung auf die verschiedenen Sektoren, umgerechnet als Pro-Kopf-Wasserentnahme, hängen von mehreren Faktoren ab – unter anderem von der Industrie- und Agrarstruktur eines Landes sowie den klimatischen Bedingungen. Deutschland gehörte 2016 innerhalb der Europäischen Union zu jenen Ländern, die einen großen Anteil des entnommenen Wassers für die

Abbildung 55

Wassergewinnung der öffentlichen Wasserversorgung in Deutschland nach Wasserarten, 2016

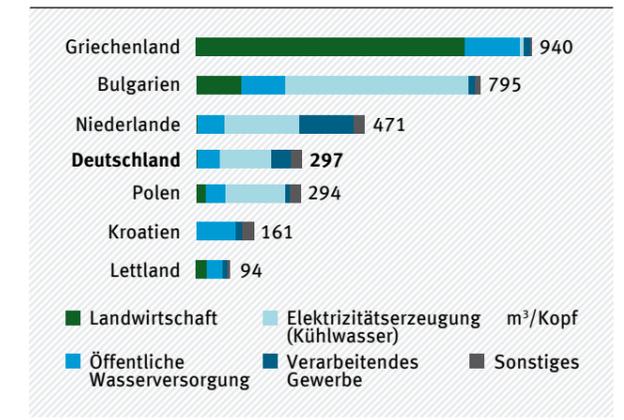


Die Wassergewinnung der öffentlichen Wasserversorgung schließt jene Wassermenge mit ein, die durch Unternehmen gewonnen wird, die Wasser ausschließlich weiterverteilen.

Quellen: Destatis, 2019a; Bdew, 2021

Abbildung 56

Vergleich der Wassergewinnung pro Kopf nach Wirtschaftsbereichen in Deutschland mit ausgewählten EU-Mitgliedsstaaten, 2016



Die Daten für „Elektrizitätserzeugung (Kühlwasser)“ von Eurostat weichen aufgrund unterschiedlicher Systemgrenzen geringfügig von jenen für „Energieversorgung“ von Destatis ab.

Quellen: Destatis, 2019a, 2019b; Eurostat, 2021

Elektrizitätserzeugung einsetzen (143 m³/Kopf, Abb. 56), während relativ wenig Wasser zur Bewässerung in der Landwirtschaft diente (4 m³/Kopf). In südeuropäischen Ländern zeigt sich ein anderes Bild: Griechenland etwa entnahm im selben Jahr 752 Kubikmeter pro Kopf oder 80% seiner Gesamtmenge zwecks landwirtschaftlicher Bewässerung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Zahlen auch den Wasserbedarf für landwirtschaftliche Exportgüter enthalten. Es ist davon auszugehen, dass sich der Klimawandel in Zukunft deutlich auf den inländischen Wasserhaushalt auswirken wird. In der Folge könnte sich eine bestehende regionale bzw. saisonale Wasserknappheit verschärfen (s. Box). Ein sorgsamer Umgang mit der Ressource Wasser bleibt daher unverzichtbar.

Wassernutzung und Klimawandel

Der Klimawandel hat vielfältige Folgen, auch für den Wasserhaushalt und die Wasserwirtschaft. So verstärken langfristig höhere Lufttemperaturen die Verdunstung. Die Wahrscheinlichkeit für Dürreperioden oder Starkregenereignisse steigt – wie sich an Anzahl und Ausmaß der Extremereignisse in den letzten Jahren zeigt (UBA, 2021 i). Da Grundwasser auch von Niederschlag gespeist wird, führt langanhaltende Trockenheit zu geringerer Grundwasserneubildung – weil sich die Grundwasserspeicher im Herbst und Winter nicht mehr füllen. Mögliche Folgen sind Wassernutzungskonkurrenzen zwischen einzelnen Sektoren (Landwirtschaft, Industrie und Trinkwasserversorgung) sowie dem Umweltschutz. Der Entwurf der ersten nationalen Wasserstrategie des BMU untersucht diese Herausforderungen für die Wasserwirtschaft. Drohende Nutzungskonflikte und die Definition von Nutzungsprioritäten kommen dabei ebenso zur Sprache wie die Notwendigkeit einer frühzeitigen Anpassung der Wasserwirtschaft an den Klimawandel (BMU, 2020 b).



Deutschlands Wasserfußabdruck

Neben den direkt in Deutschland genutzten Wassermengen ist auch der deutlich größere Wasserfußabdruck eine wichtige Kennzahl. Er beinhaltet zusätzlich jenes Wasser, das in den globalen Wertschöpfungsketten für in Deutschland konsumierte Güter verbraucht wird – der Großteil davon im Ausland.

Wasser kommt einerseits für die Herstellung von Gütern zum Einsatz und wird andererseits von Pflanzen für ihr Wachstum und das Ausbilden von Feldfrüchten benötigt. Bei der Berechnung des Wasserfußabdrucks eines Landes wird nach der Art des eingesetzten Wassers unterschieden. Sogenanntes „blaues Wasser“ umfasst entnommenes Oberflächenwasser oder Grundwasser – beispielsweise für Bewässerung. „Grünes Wasser“ ist Regenwasser, das in der obersten Bodenschicht gespeichert ist, durch Pflanzen aufgenommen wird und verdunstet. „Graues Wasser“ wiederum ist die fiktive Wassermenge, die zur ausreichenden Verdünnung von verschmutztem Wasser benötigt würde. Im Jahr 2021 betrug die Summe aus dem blauen und grünen

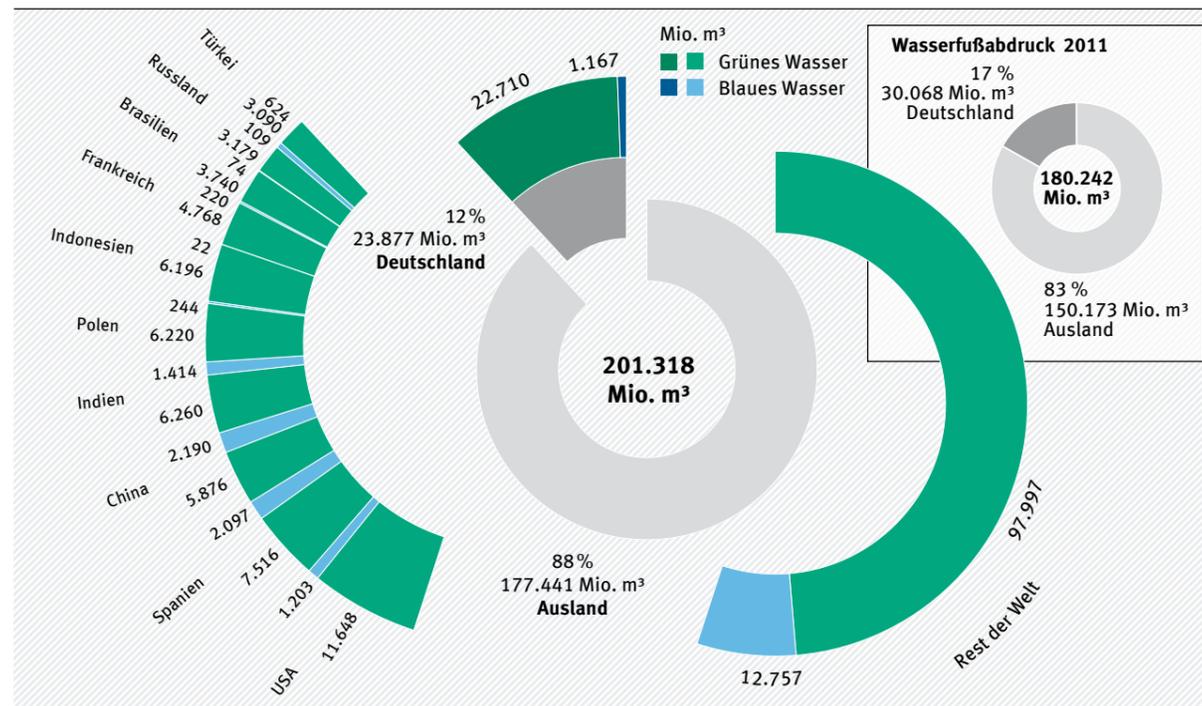
Wasserfußabdruck Deutschlands 201 Mrd. Kubikmeter – ein Plus von 21 Mrd. seit 2011 (Abb. 57).

Deutschland beansprucht durch seinen Konsum einen Wasserfußabdruck, der mehr als viermal dem Inhalt des Bodensees entspricht.

Mit 6.633 Litern pro Kopf und Tag war der Fußabdruck für blaues und grünes Wasser im Jahr 2021 um ein Vielfaches höher als die direkte heimische Wassernutzung in deutschen Haushalten (123 Liter pro Kopf und Tag im Jahr 2016). Der Großteil (88%) des deutschen Wasserfußabdrucks ging auf den Verbrauch im Ausland zurück (indirekter Import), während nur 12% einen inländischen Ursprung hatten.

Abbildung 57

Deutschlands Wasserfußabdruck nach Herkunft und Wasserarten, 2021





Flächennutzung in Deutschland

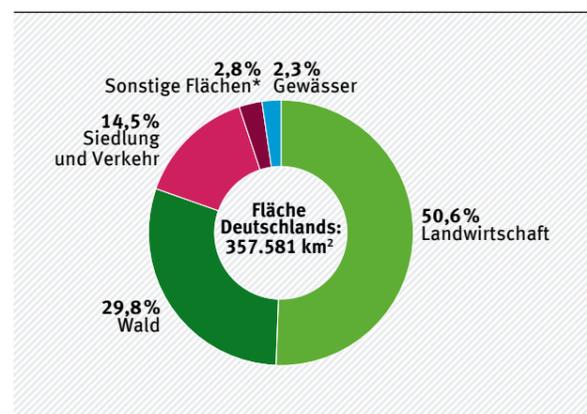
Die Belegung von Landflächen ist eine weitere Art der Ressourcennutzung. In Deutschland werden die größten Flächen von der Land- und Forstwirtschaft beansprucht. Siedlungs- und Verkehrsflächen wiederum gehen zu Lasten von landwirtschaftlichen Flächen – mit weitreichenden Folgen für die Umwelt.

Im Jahr 2020 betrug Deutschlands Fläche rund 357.581 Quadratkilometer. Damit leben durchschnittlich 233 Menschen auf jedem Quadratkilometer. Die Struktur der Flächennutzung hat sich im Vergleich zum Jahr 2015 nicht maßgeblich verändert (s. S. 54/55 im Ressourcenbericht 2018; UBA, 2018). Etwa die Hälfte der Fläche (50,6 %) oder 180.934 Quadratkilometer dienten 2020 landwirtschaftlichen Zwecken (Abb. 59). An zweiter Stelle folgte der Wald mit 29,8 % (106.666 km²). Verkehrs- und Siedlungsflächen belegten 51.693 Quadratkilometer – immerhin 14,5 % des deutschen Territoriums. Gewässer (2,3 %), ungenutzte Vegetationsflächen und sogenanntes „Unland“ wie Felsen (2,8 %) spielten eine untergeordnete Rolle.

Die Nutzung der Flächen ist je nach Bundesland unterschiedlich verteilt (Abb. 60). Zwar macht die Landwirtschaft in allen Bundesländern (außer in den Stadtstaaten) den größten Anteil an der jeweiligen Gesamtfläche aus, doch zwischen den Bundesländern ist ihr Anteil sehr verschieden: von 41 % (8.087 km²) in Rheinland-Pfalz bis hin zu 68 % (10.821 km²) in Schleswig-Holstein.

Abbildung 59

Flächennutzung in Deutschland nach Nutzungsarten, 2020

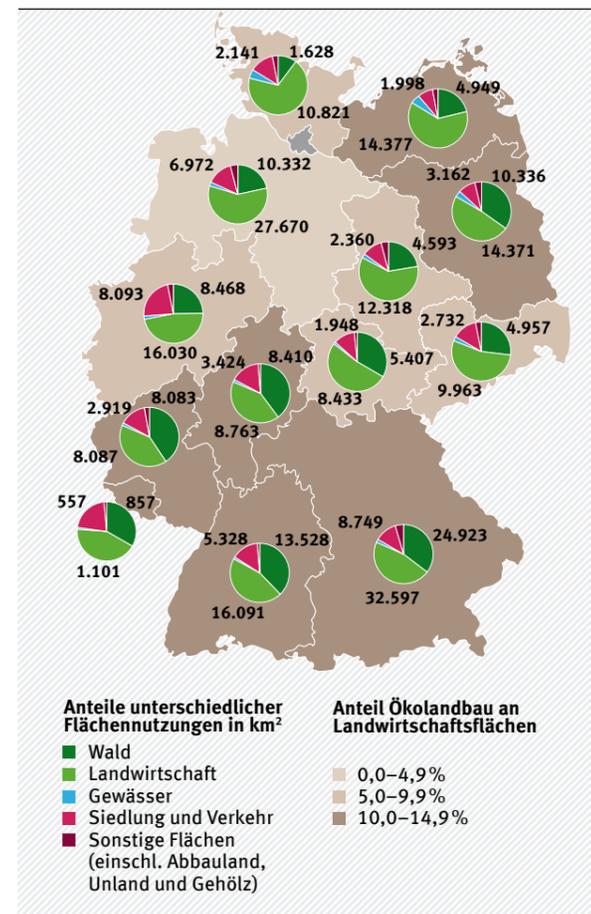


* einschließlich Abbauland, Unland und Gehölz

Quelle: Destatis, 2021 d

Abbildung 60

Flächennutzung der Bundesländer nach Nutzungsarten, sowie Anteil des ökologischen Landbaus an den landwirtschaftlichen Flächen, 2020



Quellen: Destatis, 2021 d; BLE, 2020 b

Die Art der Bewirtschaftung hat Einfluss auf Umweltbelastungen – etwa den Rückgang der biologischen Vielfalt auf den Flächen (UBA, 2021 h). Für eine nachhaltige Nutzung landwirtschaftlicher Flächen wird vermehrt auf den Ökolandbau gesetzt. Auch dessen Anteil ist bundesweit unterschiedlich. So hatten Hessen (14 %), das Saarland und Brandenburg (jeweils 12 %) im Jahr 2020 die höchsten Anteile. Niedersachsen mit 4 %, Nordrhein-Westfalen und

Thüringen mit jeweils 6 % wiesen die geringsten Anteile auf. Insgesamt ist Deutschland mit knapp 10 % Ökolandbau noch weit vom EU-Spitzenreiter Österreich (23 %) entfernt. Der Koalitionsvertrag der Bundesregierung sieht allerdings bis zum Jahr 2030 eine Steigerung auf 30 % vor (SPD, Bündnis 90/die Grünen und FDP, 2021).

Den zweitgrößten Anteil an der Flächennutzung hatte außer in den Stadtstaaten und Schleswig-Holstein überall der Wald. 2020 lag Rheinland-Pfalz mit 41 % vorn, während der Wald in Schleswig-Holstein nur 10 % der Fläche einnahm. In absoluten Werten hatte Bayern bundesweit die größten Landwirtschafts- bzw. Waldflächen (32.587 km² bzw. 24.923 km²).

Über einen längeren Zeitraum betrachtet nehmen Deutschlands Agrarflächen zugunsten von Flächen für Siedlung und Verkehr ab. Die Ausweitung der Siedlungs- und Verkehrsflächen hat zahlreiche negative Folgen, beispielsweise Zersiedelung, Verfall von Ortskernen, steigendes Verkehrsaufkommen sowie Bodenversiegelung. Schätzungsweise 45 % der Siedlungs- und Verkehrsflächen sind mit Bauwerken belegt, betoniert oder anderweitig befestigt und gelten daher als „versiegelt“ (UBA, 2021 b). Die Versiegelung von Flächen steht in engem Zusammenhang mit hohem Rohstoffaufwand. Außerdem beeinträchtigt sie

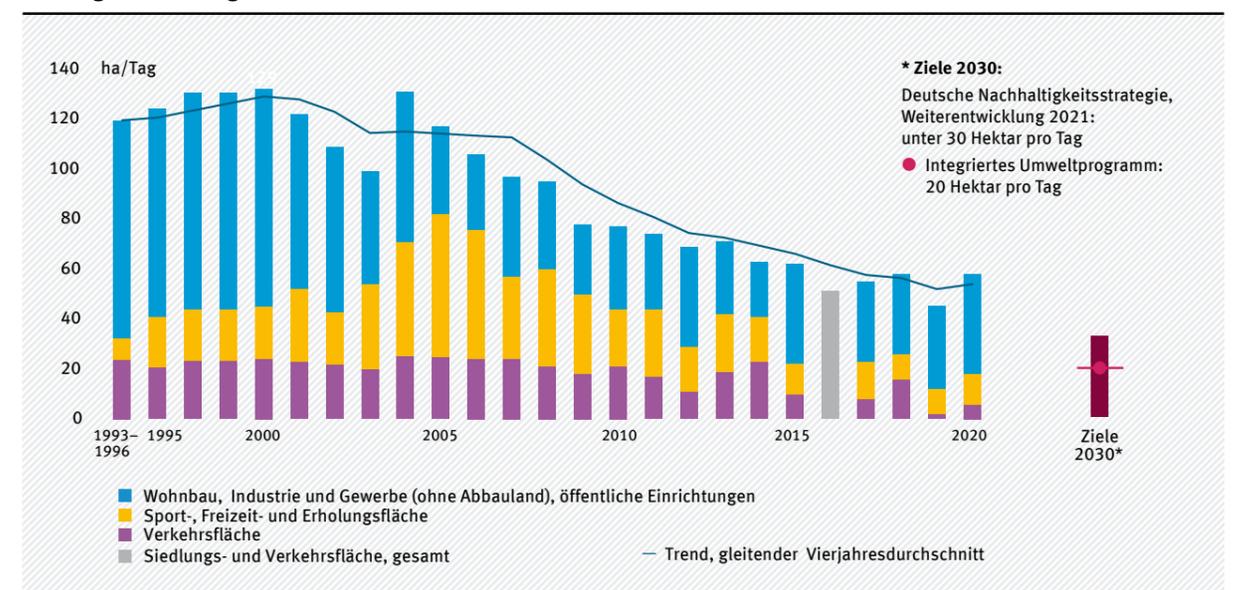
die Grundfunktionen des Bodens: Der Boden kann weniger Wasser speichern, sodass Starkregenereignisse häufiger zu Überschwemmungen führen; es gibt keinen kühlenden Effekt durch Pflanzenbewuchs, sodass sich in Städten verstärkt Hitze-Zellen bilden.

Die Inanspruchnahme neuer Siedlungs- und Verkehrsflächen geht zurück, bleibt aber mit 58 Hektar pro Tag (im Jahr 2020) zu hoch.

Trotz eines Rückgangs um 6 % seit 2015 (62 ha pro Tag) wurde der im Klimaschutzplan (BMU, 2016 c) für das Jahr 2020 festgelegte Grenzwert von 30 Hektar pro Tag überschritten. Für 2030 setzte sich die Bundesregierung im Rahmen der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie 2016 das Ziel, die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen auf unter 30 Hektar pro Tag zu senken (Deutsche Bundesregierung, 2016). Das integrierte Umweltprogramm des Umweltministeriums geht einen Schritt weiter und definiert den Grenzwert für 2030 mit nur noch 20 Hektar pro Tag (BMU, 2016 a). Der Mittelwert von 2017 bis 2020 liegt mit 54 Hektar pro Tag noch weit über den Vorgaben (Abb. 61). Für den nachhaltigen Umgang mit Flächen ist ein ganzes Bündel an politischen Maßnahmen nötig. Dazu zählen fiskalische Instrumente wie die Grundsteuer oder eine gezielte Raumordnungsplanung, die den Neubau außerhalb von Siedlungen reduziert.

Abbildung 61

Anstieg an Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland, 1993–2020



Details zur Flächenerhebung und Berechnung des Indikators zu finden unter: www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-siedlungs-verkehrsflaeche#die-wichtigsten-fakten

Quellen: Destatis, 2021 a, 2022 b



Deutschlands Flächenfußabdruck

Analog zum Wasserfußabdruck zeigt der Flächenfußabdruck die indirekte Ressourcennutzung durch den globalen Handel. Er beinhaltet Flächen, die im In- und Ausland für in Deutschland konsumierte Güter verwendet werden. Vor allem importierte Produkte aus der Land- und Forstwirtschaft erhöhen den Flächenfußabdruck.

Deutschland importiert viele nachwachsende Rohstoffe sowie Produkte, die daraus hergestellt werden (s. S. 26/27): Nahrungsmittel, Fasern, pflanzliche Kunststoffe, Holzprodukte etc. Dafür sind im Ausland Flächen notwendig. Weltweit ergaben im Jahr 2018 alle Landwirtschafts-, Weide- und Waldflächen für in Deutschland konsumierte Güter einen Flächenfußabdruck von 74 Mio. Hektar.

Der deutsche Flächenfußabdruck ist mehr als doppelt so groß wie die Fläche Deutschlands.

Mit einem durchschnittlichen Flächenfußabdruck von 0,9 Hektar pro Kopf lag Deutschland unter dem globalen und dem EU-Durchschnitt von je 2,1 Hektar pro Kopf. Einen besonders hohen Flächenfußabdruck haben Länder wie Australien (9,6 ha/Kopf) oder Kasachstan (10,6 ha/Kopf), was der extensiven Viehwirtschaft geschuldet ist. Kleinere Flächen-

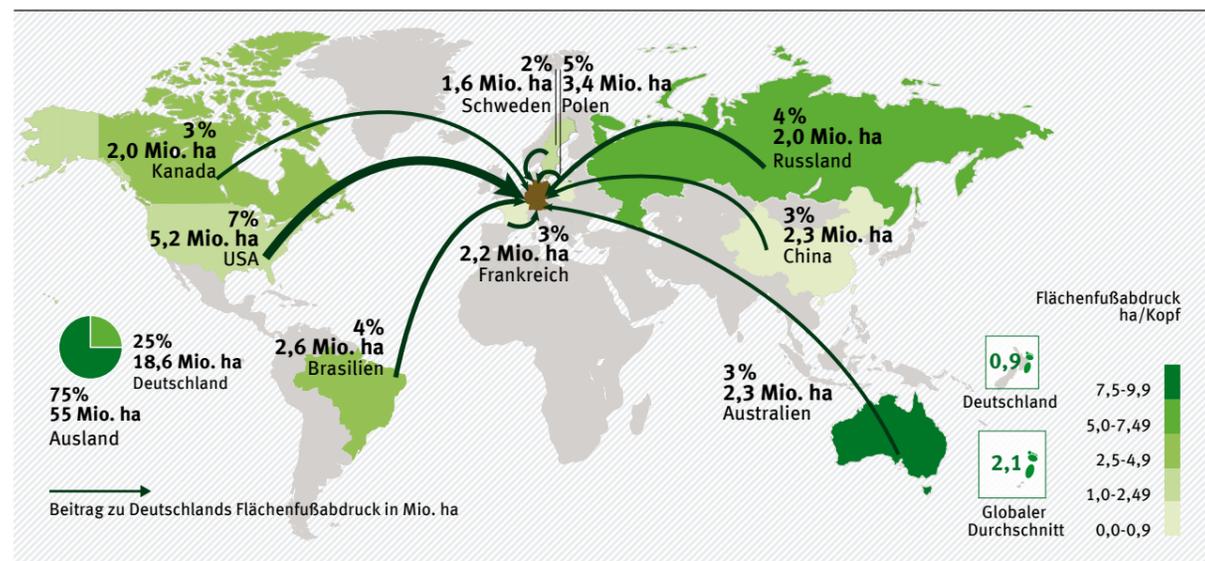
fußabdrücke haben hingegen Länder wie Indien (0,2 ha/Kopf) oder Ägypten (0,1 ha/Kopf).

Analysiert man den deutschen Flächenfußabdruck hinsichtlich seines Ursprungs, so zeigt sich: Insgesamt drei Viertel (75 %) der Flächen lagen im Ausland und nur 25 % im Inland. Die mit Abstand größten Flächen für Deutschlands Konsum wurden in den USA benutzt (5,2 Mio. ha, Abb. 62). Weitere Länder, in denen Deutschland maßgeblich zur Flächenbelegung beitrug, waren Polen (3,4 Mio. ha) und Brasilien (2,6 Mio. ha). Bei den Flächen in Brasilien handelt es sich zum Großteil um Waldflächen (63 %) beispielsweise für die Produktion von Zellstoff für die deutsche Papierindustrie.

Waldflächen hatten 2018 mit 28 Mio. Hektar immer noch den größten Anteil am gesamten deutschen Flächenfußabdruck, obwohl zwischen 1990 und

Abbildung 62

Beitrag der zehn größten Herkunftsländer zum Flächenfußabdruck Deutschlands sowie internationaler Vergleich des Pro-Kopf Flächenfußabdrucks, 2018



Quelle: UN Life Cycle Initiative et al., 2022

2018 ein Rückgang um 22 % zu verzeichnen war (Abb. 63). Auch der Grünlandfußabdruck ging auf etwa die Hälfte (18 Mio. ha) zurück. Eine mögliche Ursache dafür ist die Intensivierung der Nutztierhaltung im Ausland auf weniger Fläche. Der Ackerlandfußabdruck (25 Mio. ha) veränderte sich im selben Zeitraum nur geringfügig (-9 %).

Diese drei Landnutzungskategorien unterscheiden sich nicht nur nach Größe und Tendenz, sondern auch nach dem inländischen Anteil des Fußabdrucks. Bei der Grünlandnutzung gingen lediglich 16 % auf inländische Bewirtschaftung zurück, beim Waldfußabdruck mit 21 % ein ähnlicher Anteil. Für die Produktion von Agrargütern hingegen wurden zu 29 % inländische Flächen beansprucht, aber die Verlagerung aus dem Inland ins Ausland ist im Vergleich zum Jahr 1990 (44 %) besonders stark. Ursache dafür sind neue Konsumgewohnheiten in Deutschland. Beispielsweise beansprucht die verstärkte Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen für Bioenergie zusätzliche Flächen. Auch der Konsum von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft ist für den zunehmenden ausländischen Flächenfußabdruck von Bedeutung (s. S. 78/79).

Die Verlagerung der Agrarproduktion ins Ausland zeigt sich in ähnlicher Weise auch am Wasserfußabdruck. Werden nämlich ausländische Lebensmittel mithilfe von Bewässerung produziert und nach Deutschland importiert, spiegelt sich dies in Deutschlands Wasserfußabdruck wider (s. S. 68/69).

Die Inanspruchnahme von Flächen im Ausland ist folgeschwer. Besonders der Anbau von Zuckerrohr, Palmöl und Kaffee geht häufig mit einem weitreichenden Verlust der ökologischen Vielfalt in

Abbildung 63

Entwicklung des Ackerland-, Grünland- und Waldfußabdrucks von Deutschland, 1990–2018



Aufgrund methodischer Unterschiede sind die Werte in dieser Darstellung nicht mit jenen im Ressourcenbericht 2018 (UBA, 2018) vergleichbar.

Quelle: UN Life Cycle Initiative et al., 2022

den Ursprungsländern einher (Baan et al., 2013). Importländer wie Deutschland tragen somit indirekt zum Landnutzungswandel und zu Umweltwirkungen in den Exportländern bei (Bringezu et al., 2020). Zur qualitativen Bewertung der potentiellen Auswirkungen der Herstellung von Gütern eignet sich der Indikator „Flächenrucksack“ (s. Box).

Indikatoren wie der Flächenrucksack oder der Flächenfußabdruck berücksichtigen neben der Flächennutzung in Deutschland auch die durch den Konsum verursachte Landnutzung im Ausland und deren lokale Konsequenzen. Sie liefern somit eine wichtige Grundlage für politische Entscheidungen hin zu einer nachhaltigen Landnutzung.

Der Flächenrucksack

Der „Flächenfußabdruck“ trifft eine rein quantitative Aussage zur Flächeninanspruchnahme im In- und Ausland. Er bleibt jedoch Informationen über die Auswirkungen der Flächennutzung schuldig. Im Unterschied dazu ermöglicht es der „Flächenrucksack“, die Flächennutzung qualitativ zu bewerten und die potenziellen Umweltwirkungen von Gütern aufzuzeigen. Dieser Indikator quantifiziert sowohl die temporäre Flächenbelegung als auch die Flächennutzungsänderung. Zusätzlich bewertet er die Auswirkungen des menschlichen Eingriffs im Vergleich zum ursprünglichen Ökosystem (die sogenannte „Naturnähe“ oder „Hemerobie“). Aus dieser Hemerobie-Bewertung ergibt sich der Indikator „Naturfernepotenzial“, der potenzielle Umweltwirkungen von Produkten über den gesamten Lebenszyklus hinweg beurteilt (Fehrenbach et al., 2021). Im Kapitel auf Seite 76/77 werden mit den Indikatoren Flächenbelegung und Naturfernepotenzial verschiedene Energiequellen verglichen.



Strömende Ressourcen

Wind, Sonne und Wasser, sogenannte „strömende Ressourcen“, leisten als Alternative zu fossilen Energiequellen einen wichtigen Beitrag zur Energiewende in Deutschland. Ihre Nutzung entlastet die Umwelt, ist aber immer auch mit dem Einsatz von Rohstoffen bzw. natürlichen Ressourcen verbunden.

Deutschland gestaltet im Hinblick auf die im Klimaschutzgesetz verankerte Treibhausgasneutralität bis 2045 sein Energiesystem um. Den strömenden Ressourcen kommt dabei eine zentrale Rolle zu: Die mit ihnen gewonnene Energie verursacht keine direkten klimaschädlichen Treibhausgase und beansprucht auch über den gesamten Lebenszyklus hinweg weniger Rohstoffe und Wasser als andere Energiequellen (s. S. 76/77). Im Jahr 2019 betrug die Primärenergiegewinnung aus strömenden Ressourcen in Deutschland 789 Petajoule – ein Plus von 38 % seit 2015, dem letzten Berichtsjahr (Abb. 64).

Die Primärenergiegewinnung aus strömenden Ressourcen stieg in Deutschland seit 1990 um mehr als das Zehnfache.

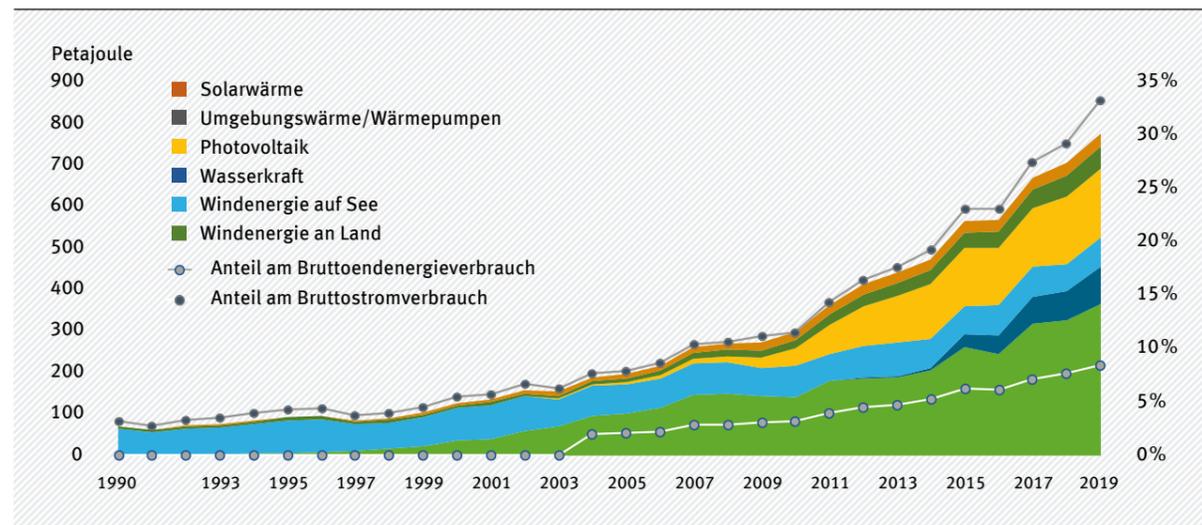
Die wichtigste strömende Ressource für Deutschland ist die Windenergie. Hierzulande hat sie einen Anteil von 57 % an der Primärenergiegewinnung aus strömenden Ressourcen. Allein zwischen 2015 und 2019

stieg die jährlich aus Windkraft gewonnene Energie von 290 Petajoule auf 453 Petajoule. Den größten Anteil hatten mit 80 % Windenergieanlagen an Land („onshore“). Anlagen auf See („offshore“) holen aber wegen der höheren Windgeschwindigkeiten und der somit größeren Energieausbeute auf. Außerdem ist ihre Produktion konstanter, was mit dem steigenden Anteil von strömenden Ressourcen im Energiesystem immer wichtiger wird (s. Box). Mit dem Ausbau von Offshore-Windparks erhöhte sich deren jährliche Primärenergiegewinnung zwischen 2009 und 2019 von 0,1 Petajoule auf 89 Petajoule. Der Ausbau an Land hingegen war seit 2017 stark rückläufig. Dennoch stieg auch hier die Primärenergiegewinnung kontinuierlich auf 362 Petajoule im Jahr 2019 – unter anderem dank dem windreichen Jahr 2019 (Deutsche WindGuard, 2020b, 2020a).

Energie aus Photovoltaik-Anlagen hatte 2019 mit 167 Petajoule den zweitgrößten Anteil an den strömenden Ressourcen. Auch hier zeigt sich zwischen

Abbildung 64

Primärenergiegewinnung aus strömenden Ressourcen in Deutschland sowie Anteile am Bruttostromverbrauch und am Bruttoendenergieverbrauch, 1990–2019



Quellen: Eurostat, 2019; BMWI, 2021

2015 und 2019 ein deutlicher Anstieg (+ 20 %). Ein Vergleich der installierten Leistung mit den wirtschaftlichen Potenzialen zeigt noch bedeutende Spielräume für den weiteren (umweltverträglichen) Ausbau – möglicherweise um das Zehnfache (Purr et al., 2019).

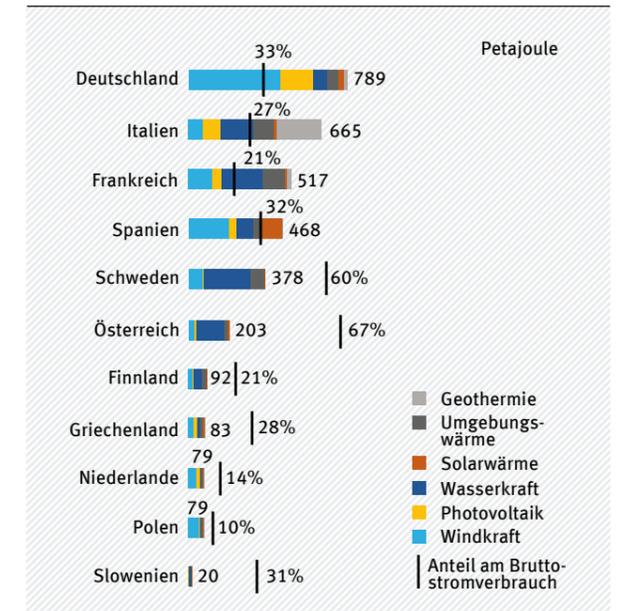
Strömende Ressourcen liefern in Deutschland vor allem Strom; für Wärme und Verkehr haben sie nur eine geringe Bedeutung. Dementsprechend war im Jahr 2019 ihr Anteil am Bruttostromverbrauch mit 33 % bedeutend höher als am Bruttoendenergieverbrauch (8 %).

Innerhalb der EU und der Mitgliedstaaten hängt die Primärenergiegewinnung aus strömenden Ressourcen von Flächenverfügbarkeit, Siedlungsdichte, Topografie sowie technischen und politischen Möglichkeiten ab. Außerdem ist der Anteil der strömenden Ressourcen am Stromverbrauch stark unterschiedlich (Abb. 65). Mit 789 Petajoule war Deutschland 2019 sowohl bei der gesamten Primärproduktion aus strömenden Ressourcen als auch bei Wind- und Solarstrom EU-Spitzenreiter. Schweden hingegen zählte mit Frankreich, Italien und Österreich zu den Vorreitern bei Wasserkraft.

Klimaneutralität lässt sich nur mit einem grundlegenden Umbau der Energieversorgung erreichen. Dieser Umbau ist bereits seit einigen Jahren im Gange. Wind-, Sonnen- und Wasserenergie sind gegenüber fossilen Energien klimaneutraler, weniger ressourcenintensiv und somit ökologisch vorteilhafter. Mit dem Ersatz fossiler durch erneuerbare Energie reduziert sich auch die Abhängigkeit von fossilen Importen aus anderen Ländern (z. B. Erdgas).

Abbildung 65

Vergleich der Primärenergieproduktion aus strömenden Ressourcen sowie deren Anteil am Bruttostromverbrauch in Deutschland mit ausgewählten EU-Mitgliedstaaten, 2019



Quellen: Eurostat, 2019, 2021

Aber auch strömende Ressourcen bringen Probleme mit sich. Diese Probleme sind zum einen technischer Natur (s. Box), zum anderen haben auch erneuerbare Systeme einen ökologischen Fußabdruck: in Form von Rohstoffen für die Energieinfrastruktur, von Flächen (für Leitungen, Anlagen) oder von seltenen Rohstoffen für die Technik (z. B. Neodym für Magnetrotoren), die größtenteils importiert wird. Der Fußabdruck von erneuerbaren Systemen ist allerdings deutlich kleiner als der von fossilen Systemen (s. S. 76/77).

Strömende Ressourcen in der Zukunft

Wind- und Sonnenenergie spielen derzeit die tragende Rolle beim Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland – und dank ihrem wirtschaftlichen Potenzial werden sie diese Rolle auch in Zukunft beibehalten. Allerdings werden mit der zunehmend dezentralen Energieerzeugung die Energieflüsse komplexer. Daher muss die Netzkapazität ausgebaut werden. Außerdem produzieren Wind und Sonne nicht konstant die gleiche Menge an Strom. Somit muss überschüssige Energie für Zeiten mit geringerer Produktion gespeichert werden. Dies übernehmen derzeit Pumpspeicherkraftwerke (UBA, 2021 d). In Zukunft werden auch synthetische Brennstoffe und Kohlenstoffträger, die mit erneuerbarer Energie hergestellt werden, eine wichtige Rolle spielen – denn manche Industriesektoren benötigen weiterhin flüssige oder gasförmige Energieträger und Rohstoffe. Mit Techniken wie „Power to Gas“ (PtG) und „Power to Liquid“ (PtL) lassen sich speicherbare Energie- und Kohlenstoffträger wie Wasserstoff und Methan bzw. flüssige Kraftstoffe aus Strom herstellen. Allerdings können diese Prozesse auch unerwünschte Umweltwirkungen haben (Liebich et al., 2020).



Energie und der Nexus zu Rohstoffen, Wasser und Fläche

Bei der Nutzung von Ressourcen wie Rohstoffen, Wasser oder Fläche treten enge Verknüpfungen zutage. Im Fall von Energiegewinnung und -bereitstellung werden diese Zusammenhänge (der „Nexus“) zwischen den einzelnen Ressourcenkategorien besonders deutlich.

Der Begriff „Nexus“ („Verknüpfung“ oder „Verbindung“) bezeichnet in umweltpolitischen Debatten die Wechselwirkungen zwischen Ressourcenkategorien, Wirtschaftssektoren oder verschiedenen Politikfeldern. Die Analyse des Nexus hat zum Ziel, Synergien zu finden und Nutzungskonflikte frühzeitig zu entschärfen.

Ein Beispiel: Klimaschutzmaßnahmen sollten nicht zulasten der Ressourceneffizienz gehen und umgekehrt. Tatsächlich leistet eine höhere Ressourceneffizienz meist einen positiven Beitrag zum Klimaschutz (Purr et al., 2019). Und der Vergleich des kumulierten Rohstoffeinsatzes für verschiedene Stromquellen zeigt, dass erneuerbare Energieträger über den gesamten Lebenszyklus in der Regel wesentlich weniger Rohstoffe benötigen als fossile Energieträger. Anders ausgedrückt: Sie weisen geringere Materialintensitäten auf (Abb. 66). Grund dafür ist, dass die fossile Stromerzeugung einen relativ hohen Bedarf an Betriebsstoffen hat (Kohle, Erdgas, Erdöl). Dieser erübrigt sich bei den meisten erneuerbaren Energien. Allerdings fallen hier die benötigten Materialien für Bau und Infrastruktur stärker ins Gewicht (Beton, Stahl etc.). Zum Teil kommen auch Materialien mit hohem Umweltgefährdungspotenzial zum Einsatz, etwa Kupfer, Selen oder Neodym (s. S. 56/57).

Verglichen mit Windstrom benötigt Strom aus Braunkohle über den gesamten Lebenszyklus einen zehnmal höheren Rohstoffeinsatz.

Braun- und Steinkohlekraftwerke brauchen lebenszyklusweit die meisten Rohstoffe pro erzeugter Kilowattstunde. Unter den erneuerbaren Energien hat Photovoltaik die höchste Rohstoffintensität, die aber immer noch fast viermal kleiner ist als bei einem Steinkohlekraftwerk. Hinzu kommt, dass sich bei erneuerbaren Energien – anders als bei verbrannten fossilen Energieträgern wie Steinkohle – die eingesetzten Rohstoffe zum Teil recyceln lassen. Bei den verschiedenen Stromquellen fallen die Intensitäten

von Rohstoff-, Wasser- und Flächennutzung teilweise sehr unterschiedlich aus (Abb. 66).

Die höchste Flächenintensität pro produzierter Stromeinheit haben unter allen betrachteten Energiequellen Photovoltaik-Anlagen. Die benutzten Flächen müssen aber auch je nach ihrer qualitativen Veränderung bewertet werden (s. Box, S. 69). Freiflächen-Photovoltaikanlagen fallen hier besonders ins Gewicht. Es kommt jedoch auch darauf an, auf welcher Art von Freiflächen die PV-Anlagen errichtet werden. Die Installation auf Ackerflächen etwa verringert die Naturnähe im Vergleich zur Ausgangssituation. Anders verhält es sich hingegen, wenn die PV-Anlagen auf bereits naturfernen Flächen wie beispielsweise Deponien entstehen.

Der Wasserverbrauch der erneuerbaren Energien geht zum Teil direkt auf den Betrieb, vor allem aber auf Vorprozesse zurück. Globale Analysen zeigen, dass erneuerbare Energien (mit Ausnahme von Biomasse) eine geringere Wasserintensität aufweisen als fossile Energieträger (Terrapon-Pfaff et al., 2020). Es gibt jedoch große Unterschiede. Besonders wasserintensiv sind Atomenergie (8.693 kg/MWh) sowie Energie aus Braun- und Steinkohle (10.329 kg/MWh bzw. 3.273 kg/MWh). Grund dafür ist der direkte Wasserbedarf der Kühlprozesse. Zum Teil spielen auch hydraulische Prozesse in Vorketten eine Rolle (z. B. das Abpumpen beim Kohleabbau).

Bei der Nexus-Betrachtung können außerdem qualitative Aspekte in die Analyse einfließen, zum Beispiel die Entnahme und Rückleitung von Kühlwasser oder die Regulierung von Flussläufen zur Wasserkraftnutzung. Aber auch das Absinken des Wasserspiegels flussabwärts der Entnahme sowie der Rückfluss von erwärmtem Kühlwasser verändern die lokalen Lebensräume für Flora und Fauna (Kauertz et al., 2020).

Für einen umfassenden ökologischen Vergleich müssen weitere Detailanalysen angestellt werden.

Abbildung 66

Vergleich von Durchschnittswerten zu Rohstoffeinsatz, Flächenbelegung und Wassereinsatz über den Lebenszyklus verschiedener Energiequellen

	ROHSTOFFEINSATZ g/kWh	FLÄCHENBELEGUNG m ² *a/MWh Strom		WASSEREINSATZ kg/MWh
		Temporäre Flächenbelegung	Naturfernepotenzial	
WINDENERGIE				
an Land	99	1,4	0,7	4 ^(V)
auf See	121	**	**	4 ^(V)
PHOTOVOLTAIK				
Freifläche	228*	22,5	7,9	421 ^(V)
Dach	228*	0,0	0,0	421 ^(V)
WASSERKRAFT				
Speicher- und Pumpwasser	25	**	**	32.810 ^(M)
Laufwasser	94	**	**	42 ^(M)
FOSSILE ENERGIETRÄGER				
Braunkohle	1.181	6,3	5,7	10.329 ^(M)
Steinkohle	827	3,2	1,5	3.273 ^(M)
Erdöl	263	0,8	0,4	4.075 ^(M)
Erdgas	187	0,8	0,2	2.219 ^(M)
KERNKRAFT ohne Entsorgung/Endlagerung				
	35	1,5	1,0	8.693 ^(M)

* Durchschnittlicher Wert des Rohstoffeinsatzes von Photovoltaikmodulen verschiedener Sub-Technologien für Photovoltaikanlagen auf Freiflächen bzw. Dachflächen.
 ** Wasserkraft sowie Windkraft offshore wurden mangels geeigneter Ansätze zur Bewertung der Flächenbelegung und des Naturfernepotenziales auf Wasserflächen (Binnengewässer wie Meer) aus der Betrachtung ausgeschlossen.

Die hier dargestellten Werte stammen aus unterschiedlichen Studien. Die Berechnung erfolgte zum Teil mit unterschiedlicher Methodik:

Rohstoffeinsatz: Daten beziehen den gesamten Lebenszyklus (Herstellung, Wartung und Reparaturen sowie Entsorgung) der Stromerzeugungsanlage mit ein.

Auch die Übertragungsverluste bis zum Netzanschlusspunkt wurden berücksichtigt.

Quelle: Wiesen et al., 2017 (Bezugsjahr 2013)

Flächenbelegung: Daten enthalten Flächen zur Rohstoffgewinnung der Energieträger sowie Infrastrukturen (thermische Kraftwerksanlagen sowie Übertragungsnetze).

Quelle: Fehrenbach et al., 2021 (Bezugsjahr 2017)

Wassereinsatz: Daten sind durchschnittliche Werte bezogen auf die Energieproduktion in der EU.

Sie enthalten blaues und grünes Wasser und berücksichtigen den gesamten Lebenszyklus (Bau und Betrieb des Kraftwerks, Brennstoffversorgung sowie Energieerzeugung).

(V) Quelle: Vanham et al., 2019 (Bezugsjahr 2015)

(M) Quelle: Manstein, 1996 (Bezugsjahr 1991)



Ernährung und der Nexus zu Rohstoffen, Wasser, Fläche und Emissionen

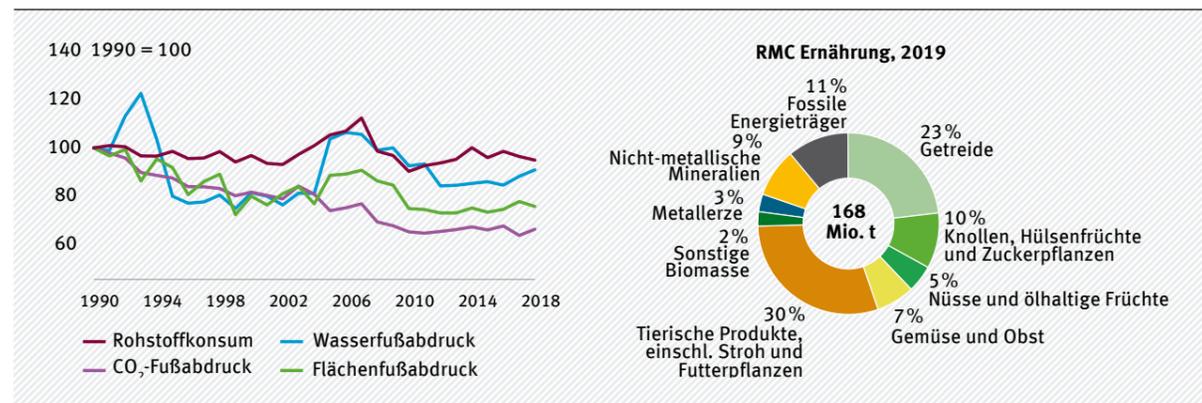
Das Bedarfsfeld Ernährung steht mit unterschiedlichen Ressourcenkategorien in Verbindung. Herstellung und Bereitstellung von Lebensmitteln benötigen große Mengen an nachwachsenden und nicht-nachwachsenden Rohstoffen. Auch Wasser und Fläche werden beansprucht sowie CO₂-Emissionen freigesetzt.

Steigender Wohlstand, veränderte Sozialstrukturen, Globalisierung und Verstädterung führen zu neuen Lebensstilen und Ernährungsgewohnheiten. In Deutschland hat sich seit der Nachkriegszeit ein ressourcenintensiver Ernährungsstil mit hohem Fleischkonsum etabliert (Schrode et al., 2019). In letzter Zeit ist Deutschlands ernährungsbezogener Rohstoffkonsum immerhin um 5 % gesunken (Abb. 67). Gründe dafür können Effizienzsteigerungen in der Produktion oder auch neue Ernährungsgewohnheiten sein. Das Bedarfsfeld „Ernährung“ verursacht aber nach wie vor den größten Teil (28%) am Rohstoffkonsum privater Haushalte (s. S. 48/49).

Der Großteil (77%) der Rohstoffe für Ernährung entfällt auf Biomasse, vor allem auf die Herstellung von Getreide und tierischen Produkten (Abb. 67). Aber auch fossile Energieträger und mineralische Rohstoffe sind für die Lebensmittelproduktion indirekt notwendig: etwa für den Betrieb von Maschinen in der Landwirtschaft, für die Errichtung von Gebäuden oder in den Lieferketten des Lebensmittelsektors.

Abbildung 67

Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) sowie des CO₂-, Flächen- und Wasserfußabdrucks, 1990–2018 (links) sowie Rohstoffkonsum der privaten Haushalte nach Rohstoff- und Produktgruppen, 2019 (rechts) für das Bedarfsfeld Ernährung



Ebenso wie der Rohstoffkonsum sank auch der Flächen- und Wasserfußabdruck der Ernährung seit 1990 deutlich (-24% bzw. -9%). Die Treibhausgasemissionen, die bei der Herstellung, Verarbeitung und dem Transport von in Deutschland konsumierten Lebensmitteln entstehen, verringerten sich im gesamten Zeitraum um 34% (Abb. 67).

Indirekt beansprucht Deutschland für die Ernährung viele Ressourcen im Ausland: Gut die Hälfte der Rohstoffe für in Deutschland verzehrte Lebensmittel stammte im Jahr 2019 aus dem Ausland (Abb. 69). Auch 68% des ernährungsbezogenen Wasserfußabdrucks entfielen auf das Ausland (Werte für 2014). Hinsichtlich der Anbauflächen zeigt sich ein ähnliches Bild: Nur 37% der Anbauflächen für Lebensmittel lagen im Jahr 2017 im Inland.

In Deutschland konsumierte Lebensmittel wurden 2017 zu knapp zwei Drittel auf Flächen im Ausland produziert.

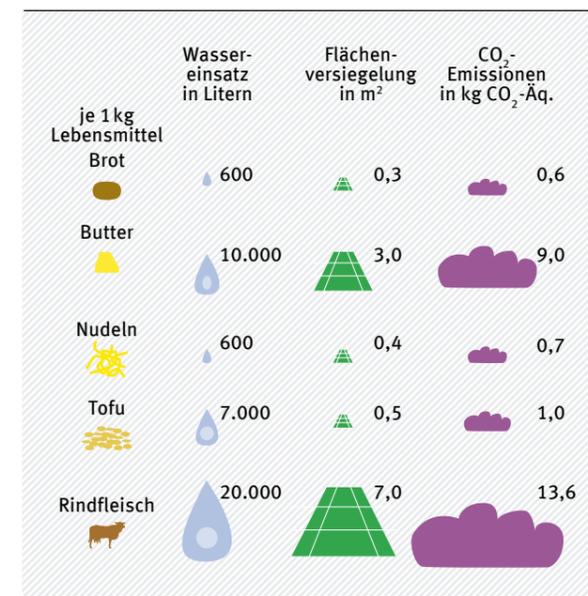
Es gibt vor allem zwei Gründe dafür, dass bei Wasser und Fläche der ausländische Anteil höher ist als bei Rohstoffen: Erstens stammen landwirtschaftliche Importe oft aus bewässertem Anbau. Zweitens sind in Deutschland die Erträge pro Flächeneinheit vergleichsweise hoch, unter anderem weil hier Stallhaltung, im Ausland jedoch Weidehaltung vorherrscht.

Der absolute Bedarf an Ressourcen für die Ernährung, aber auch der Importanteil stehen in engem Zusammenhang mit den Ernährungsgewohnheiten. Wie bereits der Ressourcenbericht 2018 (UBA, 2018; Abb. 39, S. 47) zeigte, unterscheiden sich verschiedene Lebensmittel deutlich in ihrer Ressourcenintensität.

Insbesondere tierische Lebensmittel benötigen oft einen höheren Ressourceneinsatz. Während ein Kilogramm Nudeln über den gesamten Lebenszyklus mit durchschnittlich 600 Litern Wasser, einer versiegelten Fläche von 0,4 m² pro Jahr und 0,7 kg CO₂-Emissionen zu Buche schlägt, sind die Werte für die gleiche Menge Rindfleisch deutlich höher: 20.000 Liter Wasser, 7 m² Fläche und 13,6 kg CO₂-Emissionen. Abb. 68 und Abb. 70 zeigen ausgewählte Kennzahlen zum Ressourceneinsatz für die Herstellung verschiedener Lebensmittel.

Abbildung 68

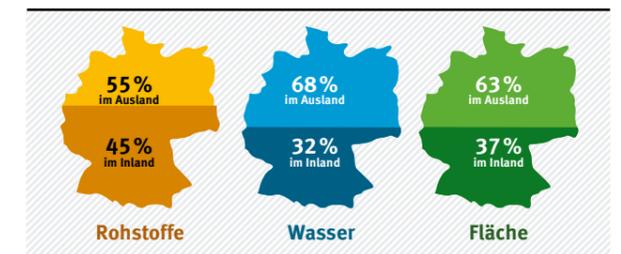
Wassereinsatz, CO₂-Emissionen und Flächenversiegelung unterschiedlicher Lebensmittel (über den gesamten Lebenszyklus)



Quelle: Reinhardt et al., 2020

Abbildung 69

Inländischer und ausländischer Anteil an ausgewählten Ressourcen-Fußabdrücken von in Deutschland konsumierten Lebensmitteln.



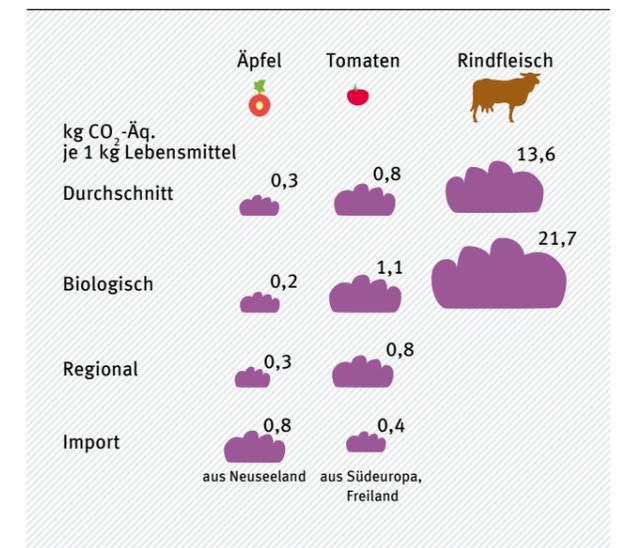
Die hier dargestellten Zahlen stammen aus unterschiedlichen Studien. Die Berechnung erfolgte zum Teil mit unterschiedlicher Methodik.

Quellen: Rohstoffe (Ergebnisse für 2019): Dittrich et al., 2022 a; Wasser (Ergebnisse für 2014): Jungmichel et al., 2021; Fläche (Ergebnisse für 2017): Destatis, 2019 d

Neben der Art der Lebensmittel spielen aber auch die Produktionsweise, die Verpackung und der Transport eine wichtige Rolle. So ist der CO₂-Fußabdruck eines aus Neuseeland importierten Apfels etwa doppelt so groß wie der eines deutschen Apfels. Neben diesen ausgewählten Ressourcen-Kategorien müssen für einen umfassenden ökologischen Vergleich weitere Detailanalysen angestellt werden. Gerade aus Sicht einer Nexus-Analyse bildet der Ernährungsstil aber jedenfalls eine wichtige Stellschraube für den Ressourcen- und Klimaschutz (s. S. 86/87).

Abbildung 70

Vergleich des CO₂-Fußabdrucks unterschiedlicher Lebensmittel je nach Herkunft und Produktionsweise



Fußabdrücke sind Durchschnittswerte von in Deutschland verkauften Lebensmitteln, gewichtet nach Eigenproduktions- bzw. Importanteil (Zusammensetzung aus unterschiedlichen Ländern), Anbaumethoden und Transportart.

Quelle: Reinhardt et al., 2020



Spezial: Rohstoffnutzung der Zukunft



Szenarien für die Entwicklung des Rohstoffkonsums Potenzieller Rückgang des Rohstoffkonsums bis 2050 gegenüber 2010, wenn

- 68**
Prozent alle bekannten technologischen Optionen zur Steigerung der Materialeffizienz umgesetzt werden
- 63**
Prozent alle Menschen ihren Lebensstil nachhaltig gestalten
- 70**
Prozent sowohl technologische Optionen als auch Lebensstiländerungen umgesetzt werden

Stellschraube Technologiewandel Potenzieller Rückgang des Rohstoffkonsums (Basisjahr 2010), wenn

- 1,9**
Prozent 80 % (statt 33 %) der Eisen- und Stahlproduktion mit Eisen- und Stahlschrotten abgedeckt werden
- 1,0**
Prozent 90 % (statt 56 %) der Kupferproduktion mit Kupferschrotten abgedeckt werden
- 0,3**
Prozent 90 % (statt 54 %) der Aluminiumproduktion mit Aluminiumschrotten abgedeckt werden

Stellschraube Klima- und Rohstoffpolitik

Potenzieller Rückgang des Rohstoffkonsums von 2019 bis 2050 unter ehrgeiziger Klima- und Rohstoffpolitik in einzelnen Bedarfsfeldern:

- | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| - 37
Prozent | - 84
Prozent | - 92
Prozent |
| Ernährung | Wohnen | Mobilität |

Quellen: s. S. 82–91



Zukünftige Rohstoffnutzung

Die Rohstoffnutzung muss sich zukünftig noch stärker am Prinzip der Nachhaltigkeit orientieren. Mit einer ehrgeizigen Ressourcenpolitik kann Deutschland seinen Rohstoffkonsum mittelfristig auf rund zehn Tonnen pro Kopf und somit auf ein nachhaltigeres und global gerechteres Niveau senken.

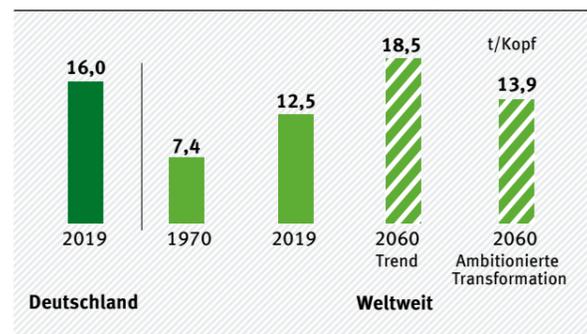
Seit 1970 hat sich die Rohstoffnutzung weltweit mehr als verdreifacht. Gründe sind vor allem die rohstoffintensivere Lebensweise und die wachsende Weltbevölkerung, die sich im selben Zeitraum verdoppelt hat. Der weltweit durchschnittliche jährliche Rohstoffkonsum pro Person (RMC; s. Glossar) hat zwischen 1970 und 2019 von 8,4 Tonnen auf 12,5 Tonnen zugenommen – um rund 50%. In den kommenden Jahrzehnten werden Weltbevölkerung und Wohlstand langfristig weiterwachsen, genau wie der Bedarf an Rohstoffen und anderen natürlichen Ressourcen (UNEP IRP, 2019 a).

Setzen sich die Trends der letzten Jahrzehnte fort, steigt der durchschnittliche Rohstoffkonsum pro Person weltweit laut Prognosen auf 18,5 Tonnen im Jahr 2060. Gegenüber 2019 wäre das ein Anstieg um weitere rund 50%, gegenüber 1970 sogar um 120% (UNEP IRP, 2019 a). Dringend erforderlich wäre aber ein Rückgang des Rohstoffkonsums, auch angesichts der Pariser Klimaziele. Denn der Umgang mit natürlichen Rohstoffen hat maßgeblichen Einfluss auf die Treibhausgasemissionen (s. S. 84/85).

Das International Resource Panel des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) hat ein globales Szenario für mehr Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung entworfen („Towards

Abbildung 71

Rohstoffkonsum (RMC) pro Kopf im Vergleich



Quellen: UNEP IRP, 2019a, 2022; Dittrich et al., 2022a

Sustainability“). Mit ehrgeizigem Klimaschutz, Innovationen, Rohstoffsteuern und einheitlich hohen Standards bei der Rohstoffnutzung hält es einen Rohstoffkonsum im Jahr 2060 von „nur“ 13,9 Tonnen pro Person für möglich (Abb. 71).

Soll der heutige deutsche Rohstoffkonsum von 16 Tonnen pro Person deutlich sinken, ist eine Kombination vieler verschiedener Maßnahmen notwendig. Nur so lässt sich der Rohstoffkonsum auf ein global gerechteres und nachhaltigeres Niveau verringern.

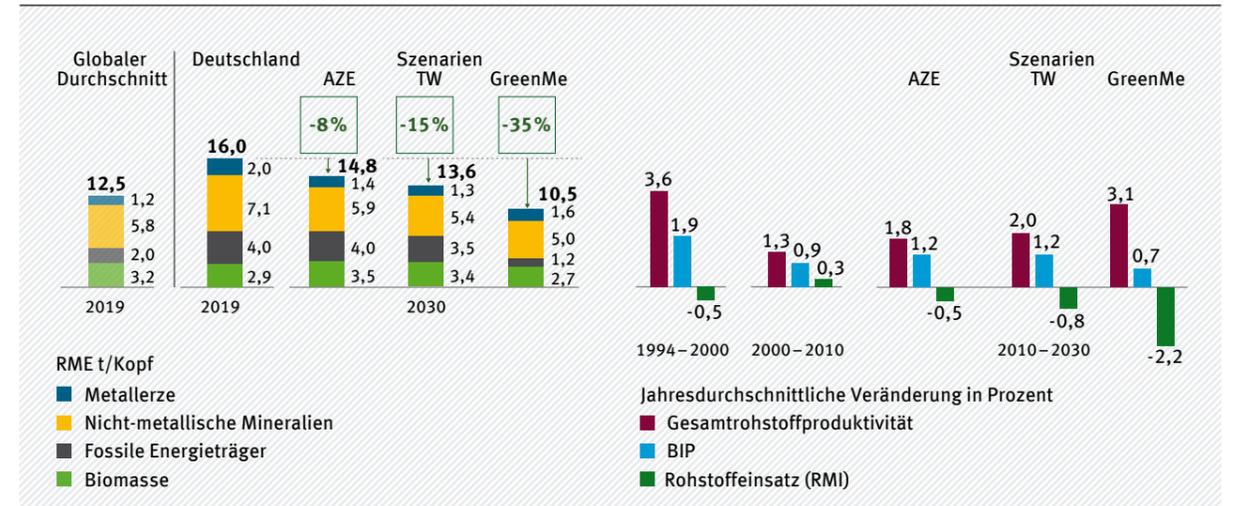
Für die zukünftige Rohstoffnutzung in Deutschland gibt es verschiedene Szenarien, die aber keine exakten Prognosen oder Vorhersagen der Zukunft darstellen. Mit Szenarien untersucht die Wissenschaft vielmehr mögliche Entwicklungen sowie Methoden der frühzeitigen Einflussnahme.

Laut diesen Szenarien kann der Rohstoffkonsum in Deutschland in den kommenden Jahrzehnten sinken: zum einen, weil mittelfristig die Bevölkerungsgröße zurückgeht, zum anderen durch Energiewende und technologischen Fortschritt. Drei unterschiedliche Szenarien (AZE und TW aus dem Projekt „DeteRes“, „GreenMe“ aus dem Projekt „RESCUE“) dienen als Beispiele für die Folgen einer mehr oder weniger ehrgeizigen Rohstoffpolitik (Tab. 2).

Im Unterschied zum Szenario „anzunehmende zukünftige Entwicklung (AZE)“ könnte mit einer mäßig ehrgeizigen Rohstoffpolitik und Energiewende der Rohstoffkonsum pro Kopf bis 2030 um 15% (statt 8%) gegenüber 2019 sinken und die Gesamtrohstoffproduktivität um jährlich 2,0% (statt 1,8%) steigen (Szenario „technischer Wandel (TW)“). Wichtige Einflussfaktoren sind die Stromerzeugung mit weniger Kohle, mehr Recycling im Hoch- und Tiefbau sowie Leichtbauweisen im Fahrzeug- und Bausektor. Dadurch sinkt insbesondere der Verbrauch von fossilen Rohstoffen und nicht-metallischen Mineralien.

Abbildung 72

Deutschlands Rohstoffkonsum (RMC) pro Kopf, 2019 und 2030 sowie jahresdurchschnittliche Veränderung der Gesamtrohstoffproduktivität in unterschiedlichen Szenarien



Quellen: Dittrich et al., 2018; Dittrich et al., 2020b; Dittrich et al., 2022a; UN IRP, 2022

Mit ehrgeiziger Rohstoff- und Klimapolitik kann Deutschland seinen Rohstoffkonsum mittelfristig um mehr als ein Drittel senken.

Bei sehr ehrgeiziger Rohstoffpolitik und Energiewende wie im Szenario „GreenMe“ könnte der deutsche Rohstoffkonsum sogar um bis zu 35% gegenüber 2019 auf 10,5 Tonnen pro Kopf sinken – unter den derzeitigen globalen Durchschnitt. Die Gesamtrohstoffproduktivität nähme um 3,1% pro Jahr zu. Durch eine ehrgeizige Energiewende würde der Verbrauch von fossilen Rohenergieträgern

deutlich abnehmen. Da zudem Primärbiomasse nicht mehr zu energetischen Zwecken dienen würde, ginge der Biomassekonsum stärker als in den anderen Szenarien zurück. Im Gegensatz dazu wäre der Rohstoffkonsum von Metallen durch die stark steigende Zahl an Windkraft- und Photovoltaikanlagen höher als in den anderen Szenarien. Bleibt der zukünftige Ressourcenverbrauch in Deutschland über dem weltweiten Durchschnitt? Oder wird sogar weniger konsumiert? Das hängt wesentlich von der Innovationskraft der Unternehmen, vom privaten Konsumverhalten und nicht zuletzt vom Mut der Politik ab.

Tabelle 2

Übersicht der wichtigsten Annahmen unterschiedlicher Szenarien

	Anzunehmende zukünftige Entwicklung (AZE)	Technischer Wandel (TW)	„GreenMe“
Bevölkerung im Jahr 2030	79 Mio.	79 Mio.	79 Mio.
durchschnittliche BIP-Entwicklung ab 2010	1,2% p.a.	1,2% p.a.	0,7% p.a.
Transformation des Energiesektors	langsam; z. B. Braunkohle- bzw. EE-Anteil im Strommix: 21 bzw. 58%	mittel; z. B. Braunkohle- bzw. EE-Anteil im Strommix: 13 bzw. 61%	ehrgeizig; z. B. Braunkohle- bzw. EE-Anteil im Strommix: 1,5 bzw. 73% und keine energetische Nutzung von Primärbiomasse
Materialeffizienzsteigerung (ohne Struktureffekte)	stabil (1,0% p. a.)	hoch (1,2% p. a.)	hoch (1,2% p. a.)
Recycling	mäßig steigend	stark steigend	sehr stark steigend
Substitution/Leichtbau	Trendfortsetzung, z. B. beim Anstieg der Holzbauweise	stärkere Substitutionsanstrengungen bei Leicht- und Holzbau	sehr hohe Substitutionsanstrengungen bei Leicht- und Holzbau und in weiteren Sektoren

Quellen: Dittrich et al., 2018; Dittrich et al., 2020b

Zukünftige Rohstoffnutzung und Klimaschutz

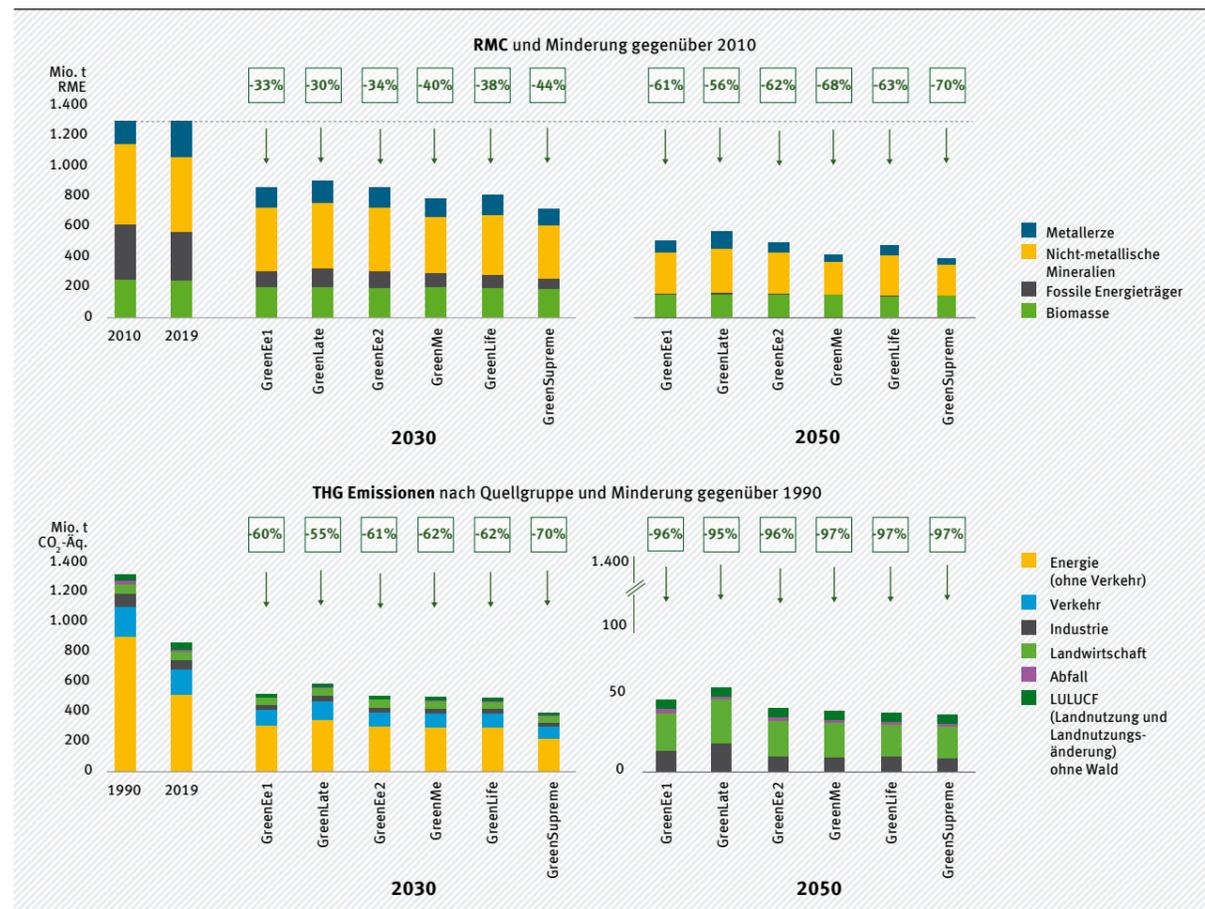
Ambitionierter Klimaschutz und eine effiziente Nutzung von Rohstoffen befördern sich gegenseitig. Minderungen der Treibhausgasemissionen um 97 % und des Rohstoffkonsums um 70 % sind langfristig bis zum Jahr 2050 möglich.

Um den Klimawandel zu begrenzen, muss die Menschheit den Ausstoß von Treibhausgasemissionen konsequent, drastisch und zügig reduzieren. Dies betrifft auch die Rohstoffnutzung: Beispielsweise muss die Verbrennung von fossilen Rohstoffen vollständig aufhören. Statt fossiler Rohstoffe benötigen klimaschonende Zukunftstechnologien wie Windkraft- oder Photovoltaikanlagen, aber auch Speicher, jedoch andere Ressourcen. Gleichzeitig trägt eine effiziente Nutzung von Rohstoffen dazu bei, die Treibhausgasemissionen zu senken.

Diese Zusammenhänge wurden für Deutschland im Forschungsvorhaben „RESCUE“ (Purr et al., 2019) anhand von sechs unterschiedlich ehrgeizigen Transformationspfaden (s. S. 86/87) detailliert untersucht. Alle Transformationspfade mindern die Treibhausgasemissionen um mindestens 95 % gegenüber 1990. Ebenso wird die energetische und stoffliche Nutzung in allen Pfaden umgestellt, so dass fossile Rohstoffe durch biotische Rohstoffe bzw. solche, die mit erneuerbaren Energien erzeugt werden, substituiert werden. Die Transformationspfade unterscheiden sich

Abbildung 73

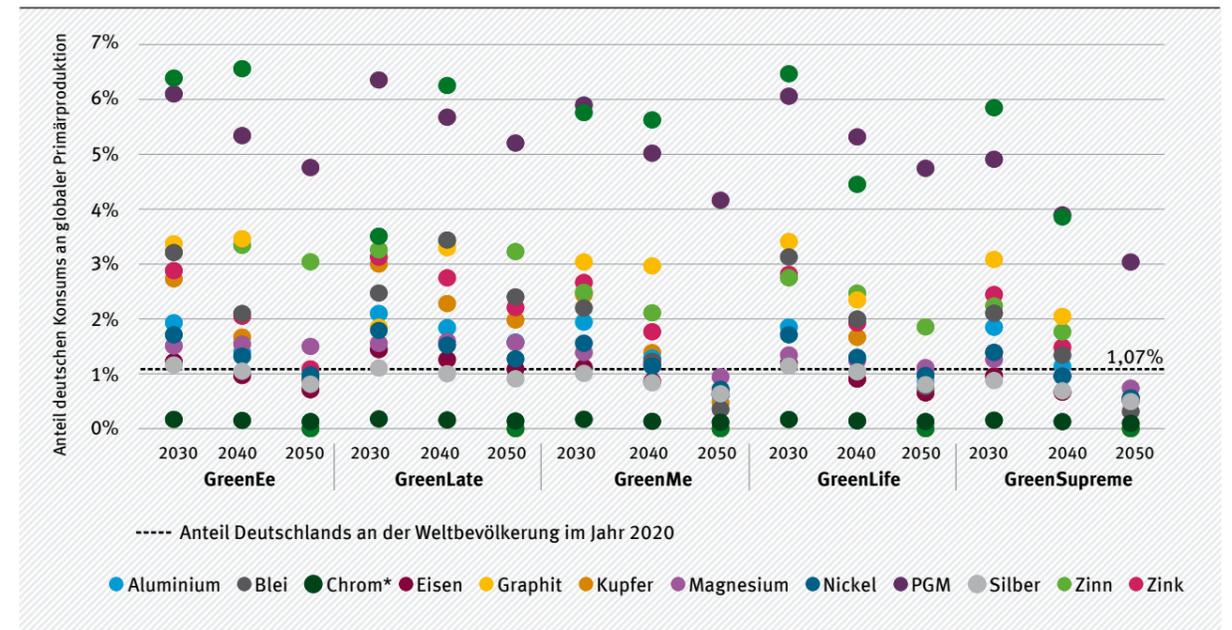
Minderung der Treibhausgasemissionen und des Rohstoffkonsums (RMC) in Deutschland gegenüber 1990 bzw. 2010 unter verschiedenen Szenarien



Quellen: Purr et al., 2019; UBA, 2021 f; Dittrich et al., 2022 a

Abbildung 74

Entwicklung des Anteils des deutschen Konsums (RMC) ausgewählter Rohstoffe an der globalen Primärproduktion (Referenzjahr 2018) unter verschiedenen Szenarien



* Bedarf nur für Batterien in Mobilität berücksichtigt. | Eine Beschreibung der Szenarien findet sich auf S. 86/87.

Quelle: Purr et al., 2019; Dittrich et al., 2020 a

jedoch in ihrem Ambitionsniveau bei der Ausschöpfung von Energie- und Materialeffizienz sowie Innovationen. Außerdem unterstellen sie abweichende Transformationsgeschwindigkeiten im In- und Ausland sowie ein unterschiedlich stark nachhaltiges Handeln (s. S. 90/91).

Wenn der Klimawandel begrenzt werden soll, müssen die Treibhausgasemissionen in den kommenden Jahren schnell und stark zurückgehen. Mit einer zügigen Transformation, wie im Szenario „GreenSupreme“ beschrieben, lassen sich sowohl die Treibhausgasemissionen als auch der Rohstoffkonsum bereits bis 2030 signifikant mindern. So sinken im Szenario „GreenSupreme“ die Treibhausgasemissionen um 70 % gegenüber 1990 und der Rohstoffkonsum um 44 % gegenüber 2010 (Abb. 73).

Eine Win-win-Situation: Klima- und Rohstoffpolitik fördern einander gegenseitig.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich Treibhausgasemissionen und Primärrohstoffbedarf nicht nur gleichzeitig reduzieren lassen, sondern sich die Minderungen sogar gegenseitig fördern (Abb. 74). Eine effizientere Nutzung von Rohstoffen spart Energie,

die sonst für Gewinnung, Verarbeitung, Transport und Entsorgung zusätzlicher Rohstoffe nötig wäre. Im Gegenzug erfordert die Umstellung der Mobilität von Kraftstoffen auf direkte Stromnutzung Batterien, die Rohstoffe wie Lithium, Kobalt, Graphit oder Nickel enthalten. Windkraftanlagen enthalten je nach Bauart Neodym oder Dysprosium, Photovoltaikanlagen laufen mit Siliziummetall und Silber. Und auch Kupfer ist in vielen Anwendungen kaum zu ersetzen.

Der Kampf gegen den Klimawandel ist eine globale Herausforderung. Nicht nur in Deutschland, sondern überall auf der Welt erfordert die Transformation Rohstoffe für Schlüsseltechnologien wie Batterien, Windkraft- und Photovoltaikanlagen. Die steigende Nachfrage nach diesen Rohstoffen belastet wiederum die Umwelt (s. S. 54–63). Die Weiterentwicklung von ressourcensparenden Technologien und der Aufbau von geschlossenen Rohstoffkreisläufen – einschließlich effizienter Recyclingsysteme – sind daher wichtige Bausteine der Transformation. Eine sehr effiziente Rohstoffnutzung und ein sehr ehrgeiziger Klimaschutz können die Nachfrage nach knappen bzw. umweltbelastenden Rohstoffen signifikant senken, wie insbesondere das Szenario „GreenSupreme“ zeigt (Abb. 74).



Die Green-Szenarien

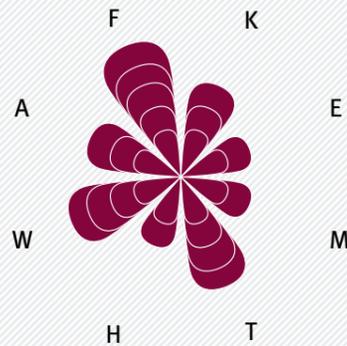
Sechs „Green-Szenarien“ beschreiben Transformationspfade hin zu einem treibhausgasneutralen, ressourcenschonenden Deutschland. Die Pfade sind unterschiedlich ambitioniert. Der ehrgeizigste Transformationspfad, „GreenSupreme“, bringt Deutschland dem 1,5-Grad-Ziel am nächsten und weist die höchsten Einsparungen von Primärrohstoffen auf.

Abbildung 75 a

RESCUE-Green-Szenarien zur Erreichung eines klimaneutralen und ressourcenschonenden Deutschland

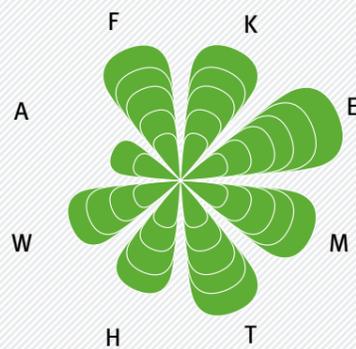
GreenLate Germany resource efficient and GHG neutral Late transitiony

beschreibt einen Transformationspfad, auf dem die notwendigen Klimaschutzmaßnahmen erst spät intensiviert werden und Energie- und Materialeffizienzpotenziale nur teilweise ausgeschöpft werden. Daher ist der Energiebedarf von Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Privathaushalten höher als in den anderen Szenarien. Zudem sind im Jahr 2050 für Wärmeerzeugung und Mobilität viele synthetische Rohstoffe nötig. Der Rohstoffkonsum sinkt langsamer und liegt in allen Jahren höher als in den anderen Green-Szenarien.

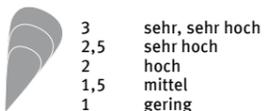


GreenEe1 und GreenEe2 Germany resource efficient and greenhouse gas neutral Energy efficiency

basiert auf dem Projekt „Treibhausgasneutrales Deutschland 2050“. Der Schwerpunkt liegt darauf, Energieeffizienzpotenziale bei allen Anwendungen zu erschließen, zum Beispiel bei Strom- und Wärmeerzeugung und -nutzung, Industrieprozessen und Mobilität. Folglich sinkt der Energieverbrauch. Die Bevölkerung ernährt sich nachhaltig und gesund. Während in „GreenEe1“ die Industrie insgesamt ihre Produktionskapazitäten kontinuierlich steigert und die Exporte weiter zunehmen, ist in „GreenEe2“ der Handel eher ausgeglichen, sodass die nationalen Produktionskapazitäten in verschiedenen Wirtschaftssektoren sinken.



Ambitionsniveau



E Energieeffizienz
M Materialeffizienz
T Technikinnovation
H Nachhaltiges Handeln

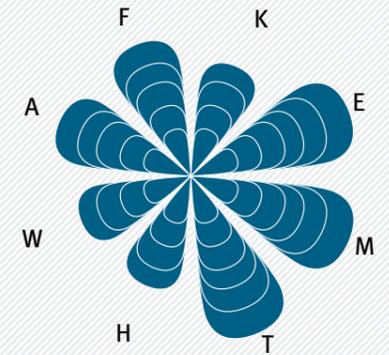
W Wachstumsbefreiung
A Ausgleich des globalen Technologieniveaus
F Verringerung der Flächeninanspruchnahme im Pfad
K Klimaschutzbestrebungen im Pfad

Abbildung 75 b

RESCUE-Green-Szenarien zur Erreichung eines klimaneutralen und ressourcenschonenden Deutschland

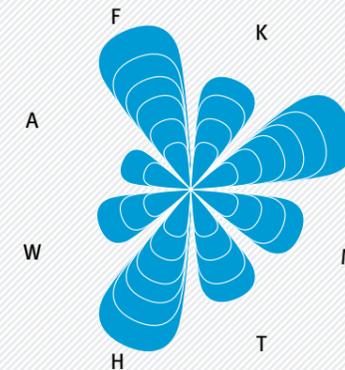
GreenMe Germany resource efficient and GHG neutral Material efficiency

baut auf „GreenEe2“ auf. Dieser Pfad geht in allen Bereichen von hoher Materialeffizienz aus, etwa durch Material sparende Technologien und Produkte, Sekundärrohstoffe, Leichtbauweisen bei Bau und Verkehr, langlebigere Produkte sowie die Substitution von material- und emissionsintensiven durch vorteilhaftere Rohstoffe. Außerdem kommen weltweit zunehmend ressourcenschonende und treibhausgasneutrale Technologien zum Einsatz, sodass sich die Material- und CO₂-Rucksäcke der Importe stark verkleinern.



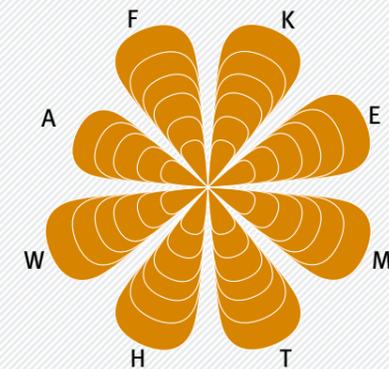
GreenLife Germany resource efficient and GHG neutral Lifestyle changes

analysiert, welchen Beitrag zu Treibhausgasminderung und Ressourcenschonung Verhaltensänderungen leisten können, wenn sie „GreenEe2“ ergänzen. Dazu werden Trends und umweltbewusste Verhaltensweisen, die bereits heute in Ansätzen zu beobachten sind, in stärkerem Maße fortgeschrieben, zum Beispiel Carsharing, Mitfahrdienste oder Radfahren. Inlandsflüge werden zunehmend durch Bus und Bahn, Fernreisen durch Reisen zu näheren Zielen ersetzt. Die Menschen wohnen auf kleinerer Fläche und nutzen reparierbare, langlebige Produkte. Die nachhaltige und gesunde Ernährungsweise konzentriert sich auf saisonale und regionale Produkte.



GreenSupreme Germany resource efficient and GHG neutral Minimizing future greenhouse gas emissions and raw material consumption

kombiniert die ehrgeizigen technischen Änderungen von „GreenMe“ mit den nachhaltigen Lebensstilen aus „GreenLife“. Dieser Pfad verdeutlicht zudem die positiven Auswirkungen einer sehr schnellen Transformation auf die gesamten Treibhausgasemissionen und die Rohstoffinanspruchnahme bis 2050. Eine zügige und tiefgreifende Umstellung von Technologien und Lebensstilen sowie eine gesamtwirtschaftliche Wachstumsbefreiung spart besonders viele Treibhausgasemissionen ein und kommt dadurch dem 1,5-Grad-Ziel am nächsten.





Ressourcenschonung durch Technologiewandel

Auf dem Weg hin zu einer nachhaltigen Rohstoffnutzung muss sich die Art und Weise, wie Produkte und Dienstleistungen bereitgestellt und genutzt werden, weitreichend ändern. Mit Hilfe technologischer Entwicklungen können Produktgestaltung und Produktionsprozesse Rohstoffe schonen.

Besonders die Veränderung von Produktionstechnologien kann den Rohstoffeinsatz mindern und damit eine bessere Materialeffizienz erzielen. Die Folge: Die Menge der genutzten Materialien entkoppelt sich von den negativen sozialen und ökologischen Konsequenzen. In diesem Sinne nennt das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes I, II, III; (BMU, 2012, 2016 b, 2020 a) seit 2012 Ziele, Leitideen und Handlungsansätze zum Schutz der natürlichen Ressourcen und fördert u. a. material- und energieeffiziente Produktionsverfahren (s. S. 36–39).

Das verarbeitende Gewerbe schätzt die durch Ressourceneffizienz möglichen Materialeinsparungen auf mindestens 7 % (Jacob et al., 2021). Es gibt verschiedene Ansatzpunkte, beispielsweise Produktgestaltung, Prozesstechnologien und Kreislaufführung.

Der Ansatzpunkt Produktgestaltung zielt darauf ab, dass Unternehmen bereits beim Produktdesign Materialintensität, Reparatur- und Recyclingfähigkeit berücksichtigen. So stützt sich der Konzeptleichtbau auf Leichtbau als konstruktives Prinzip und reduziert dadurch den Werkstoffeinsatz (Hackfort et al., 2019). Die Bionik nutzt die Natur als Vorbild für technische Lösungen. Ein Beispiel sind Wölbstrukturen, die Bienenwaben nachahmen und neben Materialeinsparungen auch bessere Eigenschaften wie Hitzeresistenz, Formstabilität und Langlebigkeit erzielen (Hackfort et al., 2019): In den Bereichen Bau, Automobil und Lichttechnik ermöglichen sie Materialeinsparungen von 30 bis 40 % (Dr. Mirtsch Wölbstrukturierung GmbH, o. J.; VDI ZRE, 2017).

Ansatzpunkte der Prozesstechnologie zielen vor allem darauf ab, durch einen erhöhten Automatisierungsgrad geringere Ausschussquoten und eine konstante Qualitätskontrolle zu garantieren. Technologien wie der 3D Druck ermöglichen komplexe, aber material-schonende Produktgestaltungen (Hackfort et al., 2019).

Der Ansatzpunkt Kreislaufführung bezieht sich auf Produktionssysteme, die geschlossene Kreisläufe mit Sekundärrohstoffen bilden. Die Kreislaufführung mindert den Druck auf Primärrohstoffe und damit auch auf Ökosysteme deutlich (s. S. 40/41). In der Regel gehen mit der Produktion von recycelten Rohstoffen geringere Umweltauswirkungen einher, wie im Folgenden das Beispiel der Metallverarbeitung zeigt.

Ein höherer Anteil an Sekundärrohstoffen reduziert oftmals auch Treibhausgasmissionen sowie den Einsatz von Wasser und Bedarf an Fläche.

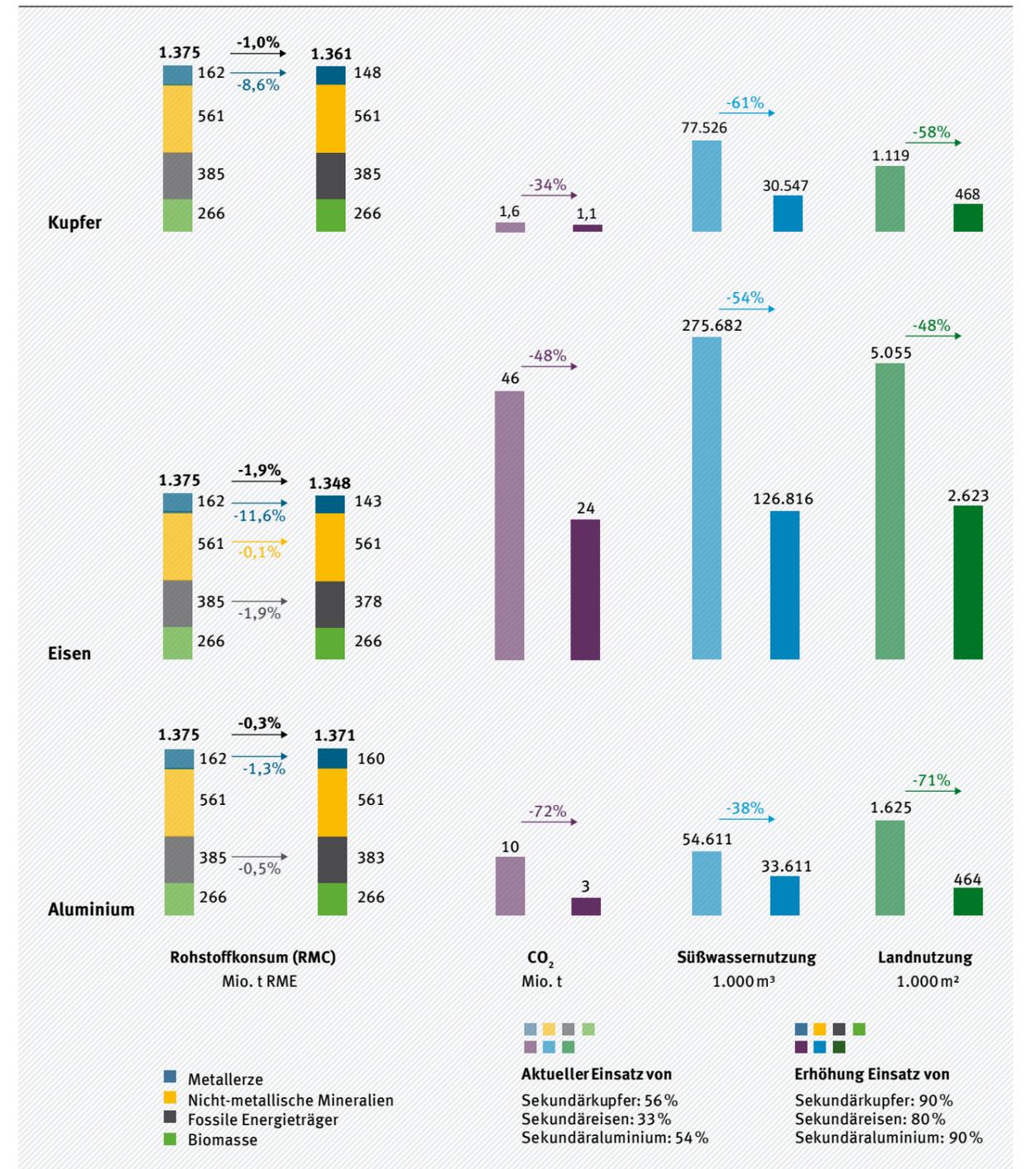
Bereits heute schon in Deutschland die Kreislaufführung z. B. von Basismetallen große Mengen Primärrohstoffe. Ein Ausbau der Sekundärkupferproduktion von aktuell rund 56 % auf beispielsweise 90 % hätte c. p. rund 0,4 Mio. Tonnen weniger CO₂-Emissionen zur Folge. Mehr Kupferrecycling weltweit würde den Verbrauch metallischer Rohstoffe um bis zu 8,6 % senken.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Eisen und Aluminium: Eine deutliche Erhöhung der Sekundärmaterialanteile auf 80 % (bzw. auf 90 % bei Aluminium) würde unter sonst gleichen Bedingungen zu einem um bis zu 11,6 % (bzw. 1,3 %) geringeren Verbrauch metallischer Rohstoffe führen. Auch die Ressourcen Wasser und Fläche würden geschont (Abb. 76).

Für ausreichend Sekundärrohstoffe in allen Sektoren ist weiterer Wandel nötig, z. B. hin zu effizienten Sortier- und Trenntechniken in der Recyclingindustrie. Wichtig ist auch die Einbeziehung der Stadt als anthropogenes Rohstofflager – das sogenannte „Urban Mining“ (s. S. 42/43).

Abbildung 76

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



Quelle: Ditttrich et al. 2022b

An all dem wird deutlich: Die Schonung von Rohstoffen lässt sich nicht mit einer einzelnen Technologie erreichen. Vielmehr ist eine ganze Reihe von technologischen Änderungen nötig. Die Rohstoff-

politik muss dabei Rückkopplungen durch neue Technologien (etwa einen höheren Bedarf an kritischen Rohstoffen) sowie mögliche Rebound-Effekte ausreichend berücksichtigen.

Die Wende durch Lebensstiländerungen

Für Ressourcenschonung und Treibhausgasneutralität müssen sich auch Lebensweise und Konsum ändern. Dabei können die Konsument*innen den Weg in eine nachhaltige Zukunft aktiv mitgestalten. Die Art und Weise, wie die Menschen heute essen, wohnen und sich bewegen, wird die Gesellschaft der Zukunft prägen.

Die Konsument*innen können über Verhalten und Kaufentscheidungen in den Bereichen Ernährung, Wohnen, Haushalt und Mobilität besonders wirksam Einfluss auf den Rohstoffverbrauch nehmen (Abb. 77). Auch die Art und Weise, wie sie ihre Freizeit gestalten, wie sie reisen und sich kleiden, wirkt sich auf den Bedarf an Rohstoffen und die entsprechenden klimawirksamen Emissionen aus.

Im Bereich Ernährung muss die Menge der Lebensmittelabfälle deutlich sinken. Zudem hätte der Verzehr von mehr pflanzlichen und weniger tierischen Produkten große Vorteile – für die Umwelt, aber auch für die Gesundheit. Für die Ernährung zu Hause, unterwegs oder in Gaststätten kommen in Deutschland jährlich rund 202 Mio. Tonnen Rohstoffe bzw. 2,4 Tonnen pro Kopf zum Einsatz. Der Lebensmittelkonsum, insbesondere von Fleisch und tierischen Produkten, verursacht viele

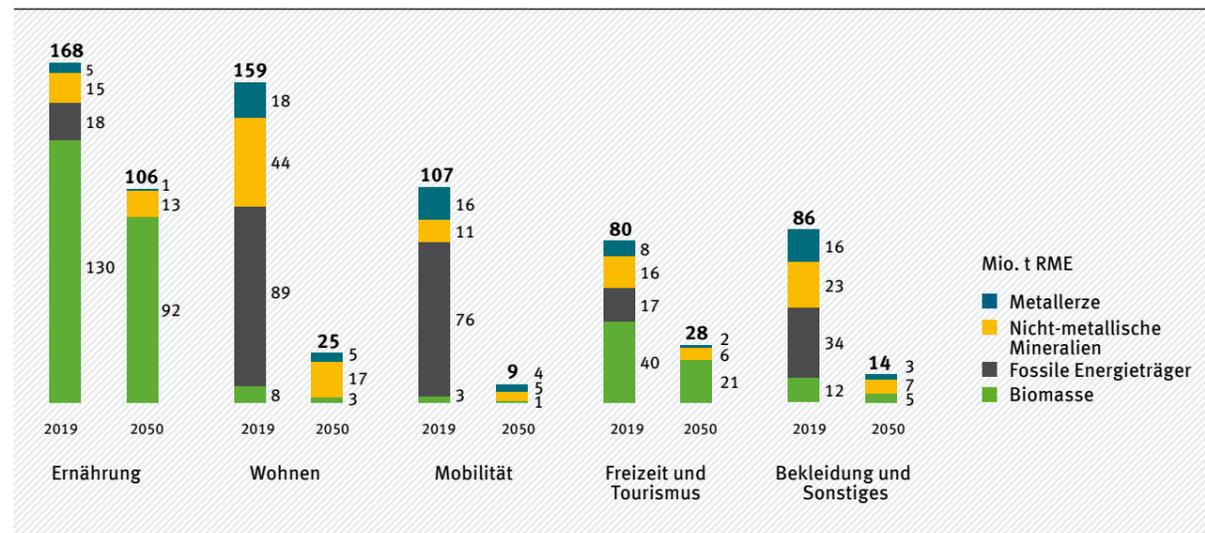


Quelle: Mundhenke et al., 2020

Treibhausgasemissionen und verbraucht große Flächen (s. S. 78/79). Und zwar ohne Not, denn laut den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung reichen wöchentlich 300 Gramm Fleisch bzw. tierische Produkte für ein gesundes Leben aus. Würde gleichzeitig die landwirtschaftliche Produktion

Abbildung 77

Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) nach Bedürfnisfeldern im Szenario „GreenSupreme“, 2019 und 2050



Mengen unter 5 Mio. Tonnen werden nicht angezeigt.

Quellen: Dittrich et al., 2020c; Dittrich et al., 2022a

verbessert und würden die Konsument*innen regionale und saisonale Produkte bevorzugen, läge in einem treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland der jährliche Rohstoffbedarf für Nahrungsmittel bei nur noch rund 105 Mio. Tonnen insgesamt bzw. bei 1,9 Tonnen pro Kopf.

Verbesserungen sind auch möglich, wenn Menschen anders wohnen: in Gebäuden mit hohen energetischen Standards, mit entsprechender Haustechnik sowie mit Materialien, die das Raumklima verbessern und gleichzeitig Rohstoffe und Treibhausgasemissionen einsparen. Beispielsweise können hohe Sanierungsraten sowie Wärmepumpen bzw. Fernwärme den Energiebedarf von durchschnittlich 84 auf nur noch 24,4 Kilowattstunden pro Quadratmeter senken. Mehr Recyclingbaustoffe, Leicht- bzw. Holzbau und auch flexiblere, modulare Bauweisen können den Rohstoffkonsum und die Treibhausgasemissionen ebenfalls verringern. Wird Primärholz nicht mehr verbrannt, sondern vorrangig als Baustoff verwendet, gelangt das im Holz gebundene CO₂ erst sehr verzögert wieder in die Atmosphäre – damit werden Häuser zu Kohlenstoffsinken.



Quelle: Mundhenke et al., 2020

Zurzeit liegt die durchschnittliche Wohnfläche in Deutschland pro Person bei 47,7 Quadratmetern, oftmals in ressourcenintensiven Einfamilienhäusern (UBA, 2021 j). Die privaten Haushalte nutzen jährlich rund 159 Mio. Tonnen Rohstoffe (bzw. rund 1,9 t/Kopf) für das Wohnen. Dies umfasst Rohstoffe für Heizen, Strom, Reparaturen und Sanierungen sowie Möbel. Nicht eingerechnet sind die Rohstoffe für den Bau der Gebäude selbst. Mit technischen Verbesserungen, einer durchschnittlichen Wohnfläche beispielsweise von 41 Quadratmetern und einem höheren Anteil an Mehrfamilienhäusern ließe

sich der Rohstoffkonsum der privaten Haushalte fürs Wohnen um 85 % auf 25 Mio. Tonnen insgesamt bzw. 0,35 Tonnen pro Kopf verringern.

Auch in anderen Konsumbereichen können Bürger*innen Einfluss auf Rohstoffverbrauch und Treibhausgasemissionen nehmen. So bildet bei der Mobilität die verstärkte Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln, Fahrrad und Carsharing einen zentralen Stellhebel für geringeren Rohstoffkonsum und weniger Treibhausgasemissionen. Bis zum Jahr 2050 könnte geändertes Mobilitätsverhalten die Anzahl der Pkw je 1.000 Stadtbewohner*innen auf ein Drittel verringern (und im PKW-Bestand könnte der Anteil mit Verbrennungsmotoren auf 10 % sinken). Dies würde nicht nur Klimaschutz und Luftqualität fördern, sondern auch neue Nutzungsarten für Parkplätze ermöglichen. Zuvor versiegelte Flächen könnten begrünt werden und z. B. als Spielzonen dienen – mit neuem Raum für Begegnungen.

Jede*r Einzelne kann auch beispielsweise mit Urlaubszielen, die per Bus und Bahn erreichbar sind, weitere Rohstoffe und Treibhausgase einsparen.



Quelle: Mundhenke et al., 2020

Kombiniert mit technischen Änderungen (s. S. 88/89) kann ein nachhaltiger Lebensstil in allen Konsumbereichen den Bedarf an Rohstoffen deutlich senken. Ein ressourcenschonendes Leben bedeutet dabei keineswegs, dass auf die Erfüllung von Bedürfnissen verzichtet werden muss. Vielmehr geht es um neue Möglichkeiten, Bedürfnisse zukünftig im Rahmen der Belastungsgrenzen der Erde zu erfüllen. Aufgabe der Politik ist es, zentrale Voraussetzungen zu schaffen, die die erforderlichen Verhaltensänderungen in der Breite der Gesellschaft ermöglichen und unterstützen.

Glossar

Dieses Glossar beruht unter anderem auf dem Glossar des zweiten Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (BMU, 2016b) und auf dem Glossar zum Ressourcenschutz des Umweltbundesamtes (UBA, 2012) mit entsprechenden Aktualisierungen.

Biomasse: Kategorie der Materialflussanalyse; umfasst die gesamte organische Substanz, die durch Pflanzen und Tiere anfällt oder erzeugt wird. Ausgenommen sind fossile Rohstoffe und Torf. Dient Biomasse zur Energieerzeugung, unterscheidet man zwischen nachwachsenden Rohstoffen (Energiepflanzen wie Raps, Mais oder Getreide) sowie organischen Reststoffen und Abfällen.

CO₂-Fußabdruck: Summe der Kohlenstoffdioxidemissionen, die im In- und Ausland entlang der Wertschöpfungsketten aller Waren und Dienstleistungen entstehen, die in einem Land in den Endkonsum fließen. Gemäß ISO 14067 (ISO, 2018) sind neben Kohlenstoffdioxid (CO₂) auch Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) zu zählen und mithilfe von Umrechnungsfaktoren als CO₂-Äquivalente anzugeben (IPCC, 2013).

Dekarbonisierung: Umstellung eines Wirtschaftssystems oder einer Wirtschaftsweise (insbesondere des Energiesystems) mit dem Ziel, den Ausstoß von fossilem Kohlenstoffdioxid (CO₂) zu reduzieren bzw. zu stoppen.

Direkter Materialeinsatz (DMI): Materialflussindikator für die Masse der Rohstoffe, die in einem Land weiterverarbeitet oder genutzt werden. Berechnung: Summe der Massen der inländisch verwerteten Entnahme sowie der importierten Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren (vgl. „Direkte Rohstoffflüsse“).

Direkte Rohstoffflüsse: Die Masse entnommener Rohstoffe und gehandelter Waren. Letztere werden je nach ihrem Hauptbestandteil einer der vier Hauptrohstoffgruppen (Biomasse, fossile Energieträger, Metallerze oder nicht-metallische Mineralien) zugeordnet.

DMC: Materialflussindikator: vgl. „Inländischer Materialkonsum (DMC)“.

DMI: Materialflussindikator: vgl. „Direkter Materialeinsatz (DMI)“.

Effizienz: Verhältnis eines bestimmten Nutzens, Produkts oder einer Dienstleistung zum dafür nötigen Aufwand bzw. Rohstoffeinsatz.

Endnachfrage: Güter, die in der Volkswirtschaft nicht weiterverarbeitet werden, also nicht weiter zirkulieren. Darunter fallen Güter für den Konsum, Anlageinvestitionen, Vorratsveränderungen und Exporte in andere Länder.

Entkopplung – relativ/absolut: Aufhebung oder Verringerung einer mengenbezogenen Abhängigkeit zwischen verknüpften Entwicklungen. Entkopplung beschreibt im Kontext von Nachhaltigkeitsdebatten die schwächer als das Wirtschaftswachstum steigende Nutzung natürlicher Ressourcen (relative Entkopplung). Bei absoluter Entkopplung nehmen Ressourcennutzung und entsprechende Umweltauswirkungen bei steigendem Wirtschaftswachstum sogar ab.

Entnahme: Materialflussindikator: Gewinnung von Rohstoffen aus der Umwelt oder deren räumliche Verlagerung innerhalb der Umwelt durch menschliche Aktivitäten. Berechnet als Gesamtwert von (1) geernteter Biomasse, (2) abgebauten nicht-metallischen Mineralien und Metallerzen und (3) geförderten fossilen Energieträgern. Man unterscheidet zwischen verwerteter (oder genutzter) und nicht verwerteter (oder ungenutzter) Entnahme. Als verwertet gelten Entnahmen, wenn das entnommene Material wirtschaftlich genutzt wird. Bei nicht verwerteter Entnahme bleibt das Material in der Umwelt, z. B. deponierter Abraam bei der Kohlegewinnung. Häufige Synonyme: „inländische Entnahme“ oder „Extraktion“.

Erneuerbare Energien: Energieformen, die auf erneuerbare Ressourcen zurückgreifen, wie zum Beispiel Biomasse, Wasser, Geothermie, Wind oder Solarenergie. Fossile Rohstoffe und Torf gehören nicht dazu (vgl. „Primärrohstoffe“).

Flächenfußabdruck: Summe aller Landflächen, die im In- oder Ausland für die Wertschöpfungsketten aller Waren und Dienstleistungen benötigt werden, die in einem Land in den Endkonsum fließen. Dieser Indikator für den Flächenbedarf von land- und forstwirtschaftlichen Produkten ist in drei große Kategorien unterteilt: Ackerland, Grünland und Waldfläche.

Fossile Energieträger: Kategorie der Materialflussanalyse; umfasst in geologischen Lagerstätten vorkommende Energierohstoffe tierischer oder pflanzlicher Herkunft wie Kohle, Rohöl und Erdgas. Fossile Energieträger gelten als nicht erneuerbare Rohstoffe (vgl. „Primärrohstoffe“).

Gesamtrohstoffproduktivität: Produktionsbezogener Indikator für die Rohstoffeffizienz der deutschen Volkswirtschaft. Teil der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie sowie des deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess III). Berechnung: preisbereinigtes Bruttoinlandsprodukt zuzüglich preisbereinigter Ausgaben für Importe (BIP+IMP), geteilt durch den Rohstoffeinsatz (RMI).

Handelsbilanz: Volumen der Importe abzüglich Volumen der Exporte. Zeigt den Handelsüberschuss (Exporte größer als Importe) bzw. das Handelsdefizit (Importe größer als Exporte) einer Volkswirtschaft an. Im Unterschied zu dieser monetären Sichtweise haben bei der physischen Handelsbilanz Importe ein positives und Exporte ein negatives Vorzeichen.

Indirekte Rohstoffflüsse: Die Masse aller Rohstoffe, die entlang der gesamten Wertschöpfungsketten von gehandelten Waren zum Einsatz kommen. Gehandelte Güter werden umgerechnet in sogenannte „Rohstoffrucksäcke“ oder „Rohstoffäquivalente“ (RME). Die Summe aller in- und ausländischen Rohstoffentnahmen für Güter, die in den inländischen Endkonsum einfließen, heißt auch „Rohstoffkonsum“ oder „Materialfußabdruck“ (vgl. „Rohstoffkonsum (RMC)“).

Inländischer Materialkonsum (DMC): Materialflussindikator: Masse der Rohstoffe, die in einem Land direkt genutzt werden. Berechnung: Summe aus inländisch verwerteter Entnahme zuzüglich der Masse direkt importierter Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren abzüglich der Masse direkt exportierter Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren (vgl. „Direkte Rohstoffflüsse“).

KEA: Vgl. „Kumulierter Energieaufwand (KEA)“.

KRA: Vgl. „Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA)“.

Kumulierter Energieaufwand (KEA): Gesamte Primärenergie, die für Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines Produkts notwendig ist. Neben energetischer Nutzung werden nichtenergetischer Verbrauch (z. B. Erdöl für die Herstellung von Kunststoffen) sowie stoffgebundener Energieinhalt berücksichtigt.

Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA): Alle zur Bereitstellung (einschließlich Herstellung und Transport) eines Produkts eingesetzten Rohstoffmengen entlang der Wertschöpfungskette, inklusive Energierohstoffe. Nicht wirtschaftlich verwendete Stoffe und Stoffgemische (etwa nicht verwertete Entnahme) bleiben unberücksichtigt.

Kreislaufwirtschaft: Wirtschaftsweise, in der Ressourceneinsatz und Abfallproduktion, Emissionen und Energienutzung durch das Schließen, Verlangsamen und Verkleinern von Energie- und Materialkreisläufen minimiert werden. Ein wichtiger Aspekt ist das Produktdesign mit Schwerpunkt auf Langlebigkeit, Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit. Auch neue Geschäftsmodelle, die auf die gemeinsame Nutzung von Waren (Sharing) sowie auf den Kauf von Dienstleistungen statt von Waren abzielen, sollen eine effizientere Produktion und Nutzung sicherstellen.

Metallerze: Kategorie der Materialflussanalyse; umfasst alle metallischen Mineralien.

Nicht-metallische Mineralien: Kategorie der Materialflussanalyse; umfasst Industriemineralien wie Tonminerale, Quarz oder Kaolin sowie Baumineralien wie Sand, Schotter usw.

Natürliche Ressource: Mittel, das die Natur bereitstellt und das für den Menschen einen Nutzen stiftet. Zu den natürlichen Ressourcen zählen die erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Primärrohstoffe, der physische Raum (oder die Fläche), die strömenden Ressourcen (z. B. Wind, Geothermie, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie die Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft) und Ökosysteme (VDI 2016).

Primärrohstoffe: Rohstoffe, die durch Entnahme aus der Natur gewonnen werden. Zu unterscheiden sind erneuerbare und nicht-erneuerbare Primärrohstoffe. Ab welchem Zeitraum ein Rohstoff nicht mehr als erneuerbar gilt, ist nicht einheitlich festgelegt. Die Grenze zwischen „erneuerbar“ und „nicht-erneuerbar“ liegt üblicherweise zwischen 100 und 1.000 Jahren.

Planetare Grenzen: Wissenschaftliches Konzept, das neun Dimensionen bzw. Umweltprozesse definiert, die für die Stabilität des globalen Erdsystems fundamental sind. Umwelteinwirkungen durch den Menschen können dazu führen, dass diese Grenzen und damit kritische Kippunkte überschritten werden. In diesem Fall drohen grundlegende Einschränkungen für das menschliche Leben auf der Erde (Rockström et al., 2009 b).

Recycling: Jedes stoffliche Verwertungsverfahren, bei dem Abfälle zu Materialien, Stoffen oder Erzeugnissen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Dazu zählt die Aufbereitung organischer Materialien, nicht aber die energetische Verwertung und

die Aufbereitung zu Materialien, die als Brennstoff oder zur Verfüllung dienen (KrWG, 2021).

RMC: Materialflussindikator: vgl. „Rohstoffkonsum (RMC)“.

RMI: Materialflussindikator: vgl. „Rohstoffeinsatz (RMI)“.

Rohstoffe: Stoffe oder Stoffgemische in nicht oder gering bearbeitetem Zustand, die in einen Produktionsprozess eingehen. Man unterscheidet Primär- und Sekundärrohstoffe (vgl. entsprechende Glossar-Einträge).

Rohstoffäquivalente (RME): Materialflussindikator: vgl. „Indirekte Rohstoffflüsse“.

Rohstoffeinsatz (RMI): auch: Primärrohstoffeinsatz; Materialflussindikator: Masse der Rohstoffe, die entlang der Wertschöpfungsketten von Waren und Dienstleistungen zum Einsatz kommen, die in einem Land verarbeitet bzw. konsumiert werden. Berechnung: Summe aus inländisch verwerteter Entnahme zuzüglich direkten und indirekten Importen (vgl. „Indirekte Rohstoffflüsse“).

Rohstoffkonsum (RMC): Materialflussindikator: Masse der Rohstoffe, die entlang der Wertschöpfungsketten aller Waren und Dienstleistungen zum Einsatz kommen, die in einem Land in den Endkonsum fließen. Häufig auch als „Materialfußabdruck“ bezeichnet. Berechnung: Gesamtmasse der im Inland entnommenen Primärrohstoffe sowie der – in Rohstoffäquivalente (RME) umgerechneten – importierten Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren abzüglich der – in RME umgerechneten – exportierten Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren (vgl. „Indirekte Rohstoffflüsse“).

Rohstoffnutzung: Überbegriff für die Verwendung von Rohstoffen durch die Gesellschaft. Umfasst sowohl die Produktions- als auch die Konsumperspektive.

Sekundärrohstoffe: Rohstoffe, die durch stoffliche Verwertungsverfahren (Recycling) aus Abfällen gewonnen werden.

Strömende Ressourcen: Umfassen Wind-, Wasser-, Gezeiten- und Solarenergie sowie geothermische Energie. Diese Ressourcen können sich nicht erschöpfen, werden aber immer mithilfe endlicher Ressourcen nutzbar gemacht. Beispielsweise sind Energie, Rohstoffe und Land nötig, um Windturbinen oder Solarzellen herzustellen und zu installieren.

Wasserfußabdruck: Gesamte Menge an Wasser, das im In- und Ausland entlang der Wertschöpfungsketten aller Waren und Dienstleistungen zum Einsatz kommt, die in einem Land in den Endkonsum fließen. Der Wasserfußabdruck wird in einen blauen (Oberflächen- und Grundwasser), einen grünen (Regenwasser) und einen grauen Teil (zur Verdünnung von verschmutztem Wasser) aufgeschlüsselt (Hoekstra et al., 2011).

Wassernutzungs-Index: Vergleicht die Wasserentnahme mit dem Wasserdargebot. Dient der Einschätzung, ob ein Land unter Wasserknappheit/-stress leidet (engl.: Water Exploitation Index, WEI). Liegt der Wert über 20%, so leidet ein Gebiet unter Wasserstress; mehr als 40% entsprechen akutem Wasserstress.

Datentabellen

Tabelle A 1

Genutzte inländische Entnahme von Rohstoffen							
	1994	2000	2005	2010	2015	2019	1994 – 2019
Gesamt (1.000 t)	1.307.217	1.188.215	1.044.383	975.782	978.240	945.095	-28%
Pro Kopf (t)	16,1	14,6	12,8	12,2	12,0	11,4	-29%
Abiotische Rohstoffe (1.000 t)							
Fossile Energieträger	278.796	220.939	221.508	196.626	194.428	138.759	-50%
Steinkohle	52.406	33.591	24.907	12.900	6.223	0	-100%
Braunkohle	207.086	167.691	177.907	169.403	178.065	131.314	-37%
Erdöl	2.988	3.069	3.573	2.516	2.428	1.927	-36%
Erdgas, Grubengas und Erdölgas	15.796	16.073	14.828	11.456	7.244	5.031	-68%
Sonst. fossile Energieträger	519	515	292	351	468	487	-6%
Metallerze	146	462	362	394	496	588	304%
Nicht-metallische Mineralien	844.349	751.191	613.043	575.592	567.738	594.400	-30%
Baumineralien	780.495	691.853	550.431	511.407	520.384	549.799	-30%
Industriemineralien	63.854	59.337	62.612	64.184	47.353	44.601	-30%
Gesamt	1.123.290	972.592	834.912	772.612	762.662	733.747	-35%
Biotische Rohstoffe (1.000 t)							
... aus der Landwirtschaft	166.903	190.858	182.582	176.931	188.304	181.441	9%
Getreide	55.967	66.686	69.648	74.410	84.781	81.362	45%
Getreide zur Körnerernte (ohne Mais)	33.883	41.947	41.898	39.827	44.894	40.638	20%
Getreide zur Ganzpflanzen-ernte, Mais	22.084	24.738	27.751	34.582	39.887	40.725	84%
Hackfrüchte	36.442	42.214	37.507	33.874	33.180	40.527	11%
Gemüse	2.416	3.407	3.511	3.513	3.802	4.401	82%
Obst	4.873	6.087	4.520	4.238	4.595	4.099	-16%
Handelsgewächse	3.288	3.765	5.213	5.878	5.174	3.030	-8%
Zwischenfrüchte, Grünland, Ernterückstände	63.366	68.155	61.629	54.493	56.239	47.562	-25%
Zierpflanzen, andere pflanzliche Biomasse	551	543	554	526	534	460	-16%
... aus der Forstwirtschaft	16.802	24.503	26.572	25.955	26.954	29.621	76%
Nadelholz	12.413	18.497	20.255	18.748	18.688	23.093	86%
Laubholz	4.389	6.006	6.317	7.207	8.267	6.528	49%
... von Tieren	222	262	316	284	319	285	28%
Gesamt	183.926	215.623	209.470	203.170	215.577	211.347	15%

Nicht-metallische Mineralien entsprechen der Kategorie „sonstige mineralische Rohstoffe“ der UGR.

Datenquelle: Destatis, 2021: Umweltökonomische Gesamtrechnung, Gesamtwirtschaftliches Materialkonto, Berichtszeitraum 1994 – 2019/2020, erschienen am 26. 11. 2021

Tabelle A 2 a

Genutzte inländische Entnahme von Rohstoffen nach Bundesländern

1.000 t	1994	2000	2005	2010	2015	2019	1994 – 2019
Baden-Württemberg	140.829	147.051	106.763	102.137	103.448	112.545	-20%
Fossile Energieträger	384	340	294	352	469	487	27%
Nicht-metallische Mineralien	119.989	118.252	86.385	81.146	81.976	88.865	-26%
Biomasse	20.456	28.459	20.084	20.639	21.002	23.192	13%
Bayern	193.012	180.835	148.927	148.396	155.064	171.873	-11%
Fossile Energieträger	179	98	90	35	49	46	-74%
Nicht-metallische Mineralien	142.829	127.454	94.592	94.472	101.583	112.505	-21%
Biomasse	50.003	53.284	54.245	53.889	53.431	59.322	19%
Brandenburg	84.323	78.944	78.491	76.491	72.332	62.330	-26%
Fossile Energieträger	47.692	40.329	40.378	37.996	32.514	24.786	-48%
Nicht-metallische Mineralien	27.388	27.568	25.196	25.062	24.099	23.578	-14%
Biomasse	9.243	11.047	12.918	13.433	15.719	13.966	51%
Hessen	54.783	54.860	43.751	42.967	44.035	46.503	-15%
Fossile Energieträger	151	156	0	0	0	0	-100%
Nicht-metallische Mineralien	44.744	43.960	33.484	31.829	32.966	33.127	-26%
Biomasse	9.887	10.744	10.267	11.138	11.069	13.377	35%
Mecklenburg-Vorpommern	32.121	27.746	28.256	27.410	31.615	42.433	32%
Fossile Energieträger	27	12	8	5	4	5	-80%
Nicht-metallische Mineralien	22.173	13.802	14.226	12.318	13.342	25.282	14%
Biomasse	9.921	13.932	14.022	15.087	18.269	17.146	73%
Niedersachsen	119.466	118.987	105.147	100.678	110.983	99.620	-17%
Fossile Energieträger	18.786	20.109	15.617	12.859	9.170	5.573	-70%
Nicht-metallische Mineralien	61.166	52.980	42.157	38.412	41.265	41.288	-32%
Biomasse	39.514	45.898	47.372	49.408	60.548	52.759	34%
Nordrhein-Westfalen	320.086	281.409	274.755	249.094	243.432	216.465	-32%
Fossile Energieträger	145.091	119.496	117.454	102.492	101.604	64.919	-55%
Nicht-metallische Mineralien	150.591	135.177	131.007	121.225	113.709	122.822	-18%
Biomasse	24.404	26.737	26.294	25.376	28.118	28.724	18%
Rheinland-Pfalz	58.554	63.356	52.831	54.025	52.459	52.605	-10%
Fossile Energieträger	121	78	46	104	204	150	23%
Nicht-metallische Mineralien	49.566	53.640	43.181	43.092	42.597	41.619	-16%
Biomasse	8.867	9.638	9.603	10.829	9.657	10.836	22%
Saarland	14.581	10.853	8.289	4.899	3.176	3.047	-79%
Fossile Energieträger	8.676	6.018	5.128	1.452	107	95	-99%
Nicht-metallische Mineralien	5.256	4.062	2.433	2.591	2.252	2.244	-57%
Biomasse	649	772	728	856	817	707	9%

Nicht-metallische Rohstoffe entsprechen der Kategorie „mineralische Rohstoffe“ der UGRdL.

Datenquelle: Statistische Ämter der Länder, 2021: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder, Indikatoren und Kennzahlen, Tabellenband Ausgabe 2021, Tabellen 7.1 – 7.5, 11.6

Fortsetzung auf nächster Seite

Fortsetzung von vorheriger Seite

1.000 t	1994	2000	2005	2010	2015	2019	1994–2019
Sachsen	140.460	93.969	98.040	88.716	94.975	97.373	-31 %
Fossile Energieträger	43.680	23.429	31.916	31.736	39.930	35.622	-18 %
Nicht-metallische Mineralien	87.656	60.199	54.975	46.317	43.500	50.820	-42 %
Biomasse	9.124	10.340	11.149	10.663	11.545	10.931	20 %
Sachsen-Anhalt	84.696	80.429	67.652	65.989	67.340	67.970	-20 %
Fossile Energieträger	12.468	9.010	6.891	7.374	9.255	6.345	-49 %
Nicht-metallische Mineralien	60.535	57.677	46.862	43.593	42.208	47.439	-22 %
Biomasse	11.693	13.743	13.898	15.023	15.877	14.185	21 %
Schleswig-Holstein	23.933	28.164	28.611	32.106	36.750	38.205	60 %
Fossile Energieträger	448	1.345	3.013	1.623	1.389	1.072	139 %
Nicht-metallische Mineralien	14.309	15.484	13.411	15.878	18.636	19.522	36 %
Biomasse	9.176	11.336	12.187	14.605	16.725	17.610	92 %
Thüringen	49.198	44.884	38.319	35.410	31.944	36.303	-26 %
Fossile Energieträger	53	41	26	21	16	14	-73 %
Nicht-metallische Mineralien	40.980	36.145	28.984	26.254	22.478	26.425	-36 %
Biomasse	8.165	8.698	9.309	9.134	9.450	9.864	21 %
Stadtstaaten	4.218	2.154	2 644	2 653	2 563	2 974	-29 %

Nicht-metallische Rohstoffe entsprechen der Kategorie „mineralische Rohstoffe“ der UGRdL.

Datenquelle: Statistische Ämter der Länder, 2021: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder, Indikatoren und Kennzahlen, Tabellenband Ausgabe 2021, Tabellen 7.1 – 7.5, 11.6

Tabelle A 2 b

Genutzte inländische Entnahme von Rohstoffen nach Bundesländern pro Kopf

t/Kopf	1994	2000	2005	2010	2015	2019	1994–2019
Baden-Württemberg	13,8	14,2	10,1	9,7	9,6	10,2	-26 %
Bayern	16,3	14,9	12,1	12,0	12,1	13,1	-19 %
Brandenburg	33,3	30,6	31,0	31,0	29,3	24,8	-26 %
Hessen	9,2	9,1	7,3	7,2	7,2	7,4	-19 %
Mecklenburg-Vorpommern	17,5	15,7	16,7	16,9	19,7	26,4	51 %
Niedersachsen	15,6	15,2	13,3	12,9	14,1	12,5	-20 %
Nordrhein-Westfalen	18,1	15,8	15,4	14,2	13,7	12,1	-33 %
Rheinland-Pfalz	14,9	15,7	13,0	13,5	13,0	12,9	-14 %
Saarland	13,5	10,2	8,0	4,9	3,2	3,1	-77 %
Sachsen	30,7	21,3	23,2	21,8	23,3	23,9	-22 %
Sachsen-Anhalt	30,7	30,8	27,6	28,6	30,1	30,9	1 %
Schleswig-Holstein	8,9	10,2	10,2	11,5	12,9	13,2	48 %
Thüringen	19,5	18,5	16,5	16,1	14,8	17,0	-13 %

Datenquelle: Statistische Ämter der Länder, 2021: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder, Indikatoren und Kennzahlen, Tabellenband Ausgabe 2021, Tabellen 7.1 – 7.5, 11.6

Tabelle A 3

Direkter Handel

1.000 t	1994	2000	2005	2010	2015	2019	1994–2019
Importe							
Gesamt	463.150	521.179	563.542	592.545	645.170	613.232	32 %
Rohstoffe	277.268	305.522	326.431	322.829	354.773	336.575	21 %
Fossile Energieträger	172.460	194.532	227.715	214.058	244.059	232.617	35 %
Metallerze	47.030	51.851	47.025	47.850	47.381	39.499	-16 %
Nicht-metallische Mineralien	35.689	34.110	25.516	25.588	22.143	22.351	-37 %
Biomasse	22.089	25.029	26.175	35.334	41.191	42.108	91 %
Halbwaren von ...	105.324	112.063	107.016	120.292	124.367	113.364	8 %
... fossilen Energieträgern	48.410	53.453	49.238	54.207	55.312	46.718	-3 %
... Metallerzen	9.551	12.973	16.221	17.010	16.300	13.544	42 %
... nicht-metallischen Mineralien	27.783	22.956	15.856	17.665	17.548	16.421	-41 %
... Biomasse	19.580	22.680	25.702	31.410	35.208	36.681	87 %
Fertigwaren, vorwiegend von ...	79.944	102.946	114.520	132.447	140.424	139.544	75 %
... fossilen Energieträgern	15.425	20.159	23.685	27.696	31.019	31.571	105 %
... Metallerzen	30.461	42.052	45.514	54.136	57.340	55.215	81 %
... nicht-metallischen Mineralien	5.230	7.509	8.219	10.331	10.710	12.479	139 %
... Biomasse	28.828	33.226	37.101	40.284	41.355	40.280	40 %
Exporte							
Gesamt	223.181	289.251	357.022	365.296	398.125	406.752	82 %
Rohstoffe	55.357	74.397	78.087	80.492	90.136	110.645	100 %
Fossile Energieträger	4.967	13.424	15.120	14.996	29.638	48.375	874 %
Metallerze	171	215	147	192	292	998	483 %
Nicht-metallische Mineralien	34.768	37.881	41.340	44.306	36.400	32.437	-7 %
Biomasse	15.451	22.877	21.479	20.999	23.807	28.835	87 %
Halbwaren von ...	86.005	98.357	126.719	112.233	121.502	119.628	39 %
... fossilen Energieträgern	23.967	26.880	36.645	25.843	37.652	33.002	38 %
... Metallerzen	14.943	14.697	14.841	17.665	16.331	16.453	10 %
... nicht-metallischen Mineralien	28.483	31.284	45.354	34.339	31.975	2.020	-93 %
... Biomasse	18.613	25.497	29.879	34.385	35.545	39.363	111 %
Fertigwaren, vorwiegend von...	81.388	115.898	144.936	153.252	164.439	157.365	93 %
... fossilen Energieträgern	20.382	26.670	33.828	35.399	37.752	37.817	86 %
... Metallerzen	36.669	52.392	62.409	63.945	70.836	62.469	70 %
... nicht-metallischen Mineralien	5.510	9.162	11.369	12.916	13.469	15.126	175 %
... Biomasse	18.827	27.674	37.329	40.992	42.383	41.953	123 %

Datenquelle: Destatis, 2021: Umweltökonomische Gesamtrechnung, Gesamtwirtschaftliches Materialkonto, Berichtszeitraum 1994 – 2019/2020, erschienen am 26.11.2021

Tabelle A 4

Indirekter Handel (Rohstoffäquivalente, RME) nach EU-Standardmethode							
	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2019
Importe (1.000 t)							
Gesamt	1.635.158	1.456.943	1.359.816	1.497.108	1.536.991	1.680.708	1.628.002
Biomasse	163.102	160.924	158.816	172.224	177.934	182.934	180.908
Metallerze	660.039	573.589	502.412	589.344	591.283	677.739	639.228
Nicht-metall. Mineralien	226.085	197.349	187.008	198.755	205.322	257.764	266.756
Fossile Energieträger	585.932	525.080	511.580	536.785	562.452	562.272	541.110
Exporte (1.000 t)							
Gesamt	1.300.819	1.121.648	1.094.517	1.191.666	1.206.452	1.273.727	1.208.671
Biomasse	120.770	124.531	128.095	139.348	142.336	140.306	146.071
Metallerze	510.736	426.614	384.964	454.918	454.622	495.841	472.022
Nicht-metall. Mineralien	254.248	216.031	214.850	212.084	212.476	241.832	238.078
Fossile Energieträger	415.064	354.473	366.609	385.316	397.019	395.748	352.500
Importe in Prozent (2008 = 100)							
Gesamt	100	89	83	92	94	103	100
Biomasse	100	99	97	106	109	112	111
Metallerze	100	87	76	89	90	103	97
Gesamt	100	89	83	92	94	103	100
Biomasse	100	99	97	106	109	112	111
Metallerze	100	87	76	89	90	103	97
Nicht-metall. Mineralien	100	87	83	88	91	114	118
Fossile Energieträger	100	90	87	92	96	96	92
Exporte in Prozent (2008 = 100)							
Gesamt	100	86	84	92	93	98	93
Biomasse	100	103	106	115	118	116	121
Metallerze	100	84	75	89	89	97	92
Nicht-metall. Mineralien	100	85	85	83	84	95	94
Fossile Energieträger	100	85	88	93	96	95	85

Vergleich von RME-Werten nach EU-Standardmethode und Destatis: siehe Tabelle A 8

Datenquelle: Dittrich et al., 2022: Dokumentation des RME-Modells für Deutschland. In: Lutter et al., 2022: Ressourcennutzung in Deutschland – Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts (DeuRes II)

Tabelle A 5 a

Rohstoffeinsatz (RMI) nach EU-Standardmethode									
	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2019	2008–2018	2010–2019
Gesamt (1.000 t)	2.675.817	2.428.267	2.378.593	2.518.443	2.484.649	2.635.104	2.536.421	-5%	-5%
Pro Kopf (t)	32,6	29,7	29,6	31,1	30,2	31,8	30,5	-6%	-6%
Biomasse	376.100	359.201	373.217	405.883	387.366	373.311	386.000	3%	3%
Metallerze	660.502	573.983	502.863	589.805	591.797	678.257	639.816	-3%	-3%
Nicht-metall. Mineralien	841.060	770.050	778.534	786.666	754.866	841.753	827.693	-2%	-2%
Fossile Energieträger	798.155	725.033	723.979	736.089	750.620	741.784	682.910	-14%	-14%

Vergleich von Werten nach EU-Standardmethode und Destatis: siehe Tabelle A 8

Datenquelle: Dittrich et al., 2022: Dokumentation des RME-Modells für Deutschland. In: Lutter et al., 2022: Ressourcennutzung in Deutschland – Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts (DeuRes II)

Tabelle A 5 b

Rohstoffeinsatz (RMI) nach Gütergruppen nach EU-Standardmethode					
2019 1.000 t	Biomasse	Metallerze	Nicht-metall. Mineralien	Fossile Energieträger	Gesamt
Bauwesen	4.844	21.699	270.347	17.150	314.040
Bergbau	171	3.756	19.620	35.790	59.337
Dienstleistungen	51.005	26.362	129.624	59.603	266.595
Energieversorgung	435	1.866	3.014	64.393	69.709
Fertigung von Produkten aus Biomasse	196.302	15.962	36.740	49.820	298.824
Fertigung von Produkten aus Metallerzen und nicht-metallischen Mineralien	3.271	294.925	204.120	64.479	566.794
Fertigung von Produkten aus fossilen Rohstoffen	16.955	59.372	65.124	192.543	333.993
Finanzdienstleistungen	610	850	2.047	2.291	5.798
Land- und Forstwirtschaft	77.169	1.543	4.251	2.995	85.958
Sonstige Güter	29.798	204.403	80.435	129.585	444.221
Verkehr	2.724	2.771	3.547	37.261	46.303
Vertrieb und Einzelhandel	2.716	6.307	8.825	26.999	44.848
Gesamt	386.000	639.816	827.693	682.910	2.536.421

Datenquelle: Dittrich et al., 2022: Dokumentation des RME-Modells für Deutschland. In: Lutter et al., 2022: Ressourcennutzung in Deutschland – Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts (DeuRes II)

Tabelle A 6 a

Rohstoffkonsum (RMC) nach EU-Standardmethode

	2010	2012	2014	2016	2018	2019	2008–2018	2010–2019
Gesamt (1.000 t)	770.050	778.534	786.666	754.866	841.753	827.693	827.693	-2 %
Pro Kopf (t)	9,4	9,7	9,7	9,2	10,2	10,0	10,0	-3 %
Biomasse	725.033	723.979	736.089	750.620	741.784	682.910	682.910	-14 %
Metallerze	1.306.618	1.284.076	1.326.777	1.278.197	1.361.378	1.327.750	1.327.750	-3 %
Nicht-metall. Mineralien	234.670	245.122	266.534	245.031	233.004	239.929	239.929	-6 %
Fossile Energieträger	147.369	117.900	134.887	137.175	182.417	167.795	167.795	12 %

Datenquelle: Dittrich et al., 2022: Dokumentation des RME-Modells für Deutschland.
In: Lutter et al., 2022: Ressourcennutzung in Deutschland - Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts (DeuRes II)

Tabelle A 6 b

Rohstoffkonsum (RMC) nach Kategorien der letzten Verwendung nach EU-Standardmethode

2019 1.000 t	Biomasse	Metallerze	Nicht- metallische Mineralien	Fossile Energieträger	Gesamt
Konsum der privaten Haushalte	193.810	63.450	107.676	234.828	599.764
Konsum der privaten Organisationen	1.194	505	944	1.597	4.240
Konsum des Staates	20.723	9.221	76.900	21.749	128.592
Bruttoanlageinvestitionen	17.051	87.172	406.639	61.643	572.505
Vorratsveränderungen und Netto- zugang an Wertsachen	7.152	7.446	-2.544	10.594	22.648
Gesamt	239.929	167.795	589.615	330.410	1.327.750

Datenquelle: Dittrich et al., 2022: Dokumentation des RME-Modells für Deutschland.
In: Lutter et al., 2022: Ressourcennutzung in Deutschland - Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts (DeuRes II)

Tabelle A 7

Gesamtrohstoffproduktivität nach EU-Standardmethode und Destatis

	2010 = 100	2010	2012	2014	2016	2018	2019	2008–2018	2010–2019
EU-Standardmethode									
RMI	100	98	104	102	109	104	104	9 %	4 %
BIP+IMP	100	105	109	115	121	123	123	21 %	23 %
(BIP+IMP)/RMI	100	107	105	113	112	118	118	12 %	18 %
Destatis									
RMI	100	103	108	111	113	113	113	13 %	
BIP+IMP	100	105	109	115	121	121	121	21 %	
(BIP+IMP)/RMI	100	102	101	104	108	108	108	8 %	

RMI: Rohstoffeinsatz; BIP+IMP: Bruttoinlandsprodukt + Importe; (BIP+IMP)/RMI: Gesamtrohstoffproduktivität (s. Glossar)
Vergleich von Werten nach EU-Standardmethode und Destatis: siehe Tabelle A 8

Datenquellen: Destatis, 2022: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/Tabellen/gesamtrohstoffproduktivitaet-Index.html>
Dittrich et al., 2022: Dokumentation des RME-Modells für Deutschland.
In: Lutter et al., 2022: Ressourcennutzung in Deutschland - Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts (DeuRes II)

Tabelle A 8

Indikatorenvergleich für EU-Standardmethode und Destatis

1.000 t	2008		2018	
	Destatis	EU-Standardmethode	Destatis	EU-Standardmethode
Indirekte Importe (Rohmaterialäquivalente, RME)				
Biomasse	174.000	163.102	301.000	182.934
Metallerze	780.000	660.039	987.000	677.739
Nicht-metallische Mineralien	144.000	226.085	178.000	257.764
Fossile Energieträger	580.000	585.932	566.000	562.272
Gesamt	1.677.000	1.635.158	2.033.000	1.680.708
Indirekte Exporte (Rohmaterialäquivalente, RME)				
Biomasse	178.000	120.770	306.000	140.306
Metallerze	705.000	510.736	801.000	495.841
Nicht-metallische Mineralien	180.000	254.248	174.000	241.832
Fossile Energieträger	367.000	415.064	414.000	395.748
Gesamt	1.430.000	1.300.819	1.695.000	1.273.727
Rohstoffeinsatz (RMI)				
Biomasse	437.000	376.100	492.000	373.311
Metallerze	780.000	660.502	988.000	678.257
Nicht-metallische Mineralien	739.000	841.060	789.000	841.753
Fossile Energieträger	792.000	798.155	746.000	741.784
Gesamt	2.748.000	2.675.817	3.014.000	2.635.104
Rohstoffkonsum (RMC)				
Biomasse	259.000	255.330	186.000	233.004
Metallerze	75.000	149.766	187.000	182.417
Nicht-metallische Mineralien	559.000	586.811	615.000	599.921
Fossile Energieträger	425.000	383.090	332.000	346.035
Gesamt	1.318.000	1.374.997	1.319.000	1.361.378

Werte von Destatis 2008 basieren auf der VGR-Revision 2011 und Werte von 2018 auf der VGR-Revision 2018.

Datenquellen: Destatis, 2021: Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten. 2000 bis 2018
Destatis, 2022: Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Gesamtrohstoffproduktivität und ihre Komponenten:
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/Tabellen/gesamtrohstoffproduktivitaet-Index.html>
Dittrich et al., 2022: Dokumentation des RME-Modells für Deutschland. In: Lutter et al., 2022: Ressourcennutzung in Deutschland - Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts (DeuRes II)

Quellenverzeichnis

AGEB, 2020. Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2019. AG Energiebilanzen e.V.

Allekotte, M., Bergk, F., Biemann, K., Deregowski, C., Knörr, W., Althaus, H.-J., Sutter, D., Bergmann, T., 2020. Ökologische Bewertung von Verkehrsarten: Abschlussbericht. TEXTE 156. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_156-2020_oekologische_bewertung_von_verkehrsarten_0.pdf (12. 07. 2021).

Baan, L. de, Alkemade, R., Koellner, T., 2013. Land use impacts on biodiversity in LCA: a global approach. Int J Life Cycle Assess 18 (6), 1216–1230.

Bach, M., Knoll, L., Häußermann, U., Breuer, L., 2020. Nitratbelastung des Grundwassers in Deutschland – Ist das Messnetz Schuld? Wasserwirtschaft 6/2020.

Bdew, 2021. Trinkwasserverwendung im Haushalt 2020. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/trinkwasserverwendung-im-haushalt/> (12. 07. 2021).

Bfg, 2016. Mitteilung vom 09. 12. 2016, übernommen aus Daten zur Umwelt: Wassernutzungs-Index. Anteil der Wassernutzung am Wasserdargebot. <https://www.umweltbundesamt.de/bild/wassernutzungs-index> (12. 07. 2021).

Bfg, 2020. Mitteilung vom 9. 4. 2020, übernommen aus Daten zur Umwelt: Änderung der erneuerbaren Wasserressourcen in Deutschland. <https://www.umweltbundesamt.de/bild/aenderung-der-erneuerbaren-wasserressourcen-in> (12. 07. 2021).

BGR, 2019. Deutschland – Rohstoffsituation 2018. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (12. 07. 2021).

BGR, 2020 a. Deutschland – Rohstoffsituation 2019. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (12. 07. 2021).

BGR, 2020 b. Kupfer: Informationen zur Nachhaltigkeit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/kupfer.pdf;jsessionid=34D3A6899E2E3C53939FA578A38596BF.1_cid321?__blob=publicationFile&v=3 (16. 08. 2022).

BKS, 1996. Geschäftsbericht 95/96. Bundesverband der Deutschen Kies- und Sandindustrie e.V.

BLE, 2020 a. Bericht zur Markt- und Versorgungslage: Getreide 2020. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn. https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Getreide_Getreideerzeugnisse/2020BerichtGetreide.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (16. 08. 2022).

BLE, 2020 b. Strukturdaten zum Ökologischen Landbau in Deutschland; Stand 31. 12. 2019. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Oekologischer-Landbau/ZahlenOekolandbau2020.pdf;jsessionid=F187293E9292A214C82CE516051FC5E0.2_cid325?__blob=publicationFile&v=6 (16. 08. 2022).

BMU, 2012. Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess). Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz natürlicher Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin.

BMU, 2016 a. Den ökologischen Wandel gestalten: Integriertes Umweltprogramm 2030. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/integriertes_umweltprogramm_2030_bf.pdf (16. 08. 2022).

BMU, 2016 b. Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin.

BMU, 2016 c. Klimaschutzplan 2050: Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Berlin. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutzplan_2050_en_bf.pdf (16. 08. 2022).

BMU, 2019. Nationales Programm für nachhaltigen Konsum: Gesellschaftlicher Wandel durch einen nachhaltigen Lebensstil. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Berlin. https://nachhaltigerkonsum.info/sites/default/files/medien/dokumente/nachhaltiger_konsum_broschuere_bf.pdf (26. 05. 2020).

BMU, 2020 a. Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III: 2020–2023. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Berlin. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Ressourceneffizienz/progress_iii_programm_bf.pdf (01. 07. 2020).

BMU, 2020 b. Kernbotschaften des Nationalen Wasserdialogs. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Bonn. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/nationaler_wasserdialog_kernbotschaften_bf.pdf (01. 07. 2020).

BMU, 2022 a. Statistischer Monatsbericht des Bundesministeriums für Landwirtschaft und Ernährung, Kapitel A. Landwirtschaft: MBT-0111160-0000. Flächenbilanz von 1990 bis 2020. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn.

BMU, 2022 b. Statistischer Monatsbericht des Bundesministeriums für Landwirtschaft und Ernährung, Kapitel A. Landwirtschaft. Nährstoffbilanzen und Düngemittel: MBT-0111260-0000. Nährstoffbilanz insgesamt von 1990 bis 2020. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn.

BMVI, 2021. Verkehr in Zahlen 2020/2021: 49. Jahrgang (und ältere Jahrgänge). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.

BMWI, 2021. Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland: unter der Verwendung der Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbarer Energien-Statistik (AGEE-Stat). Stand Februar 2021. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

BMZ, 2021. Menschenrechte schützen: Das Lieferkettengesetz. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. <https://www.bmz.de/de/entwicklungspolitik/lieferkettengesetz> (22. 01. 2022).

Bringezu, S., Banse, M., Ahmann, L., Bezama, A., Billig, E., Bischof, R., Blanke, C., Brosowski, A., Brüning, S., Borchers, M., Budzinski, M., Cyffka, K.-F., Distelkamp, M., Egenolf, V., Flaute, M., Geng, N., Giesekeing, L., Graß, R., Hennenberg, K., Hering, T., Iost, S., Jochem, D., Krause, T., Lutz, C., Machmüller, A., Mahro, B., Majer, S., Mantau, U., Meisel, K., Moesenfechtel, U., Noke, A., Raussen, T., Richter, F., Schaldach, R., Schweinle, J., Thrän, D., Ugluk, M., Weimar, H., Wimmer, F., Wydra, S., Zeug, W., 2020. Pilotbericht zum Monitoring der deutschen Bioökonomie. Center for Environmental Systems Research (CESR), Universität Kassel, Kassel. <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/11591> (16. 08. 2022).

Bundesnetzagentur, 2021. Jahresbericht 2020: Märkte im digitalen Wandel. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Bonn. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Jahresberichte/JB2020.pdf;jsessionid=D0EA68107B43538DB12DB5A6FF9AEABA?__blob=publicationFile&v=7 (16. 08. 2022).

Bunsen, J., 2021. Berechnungen basierend auf EXIOBASE 3.8.1 im Rahmen des UBA Projekts „Konzeptionelle Weiterentwicklung des Wasserfußabdrucks“.

Conversio Market & Strategy GmbH, 2020. Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019: Kurzfassung der Conversio Studie.

Dehoust, G., Manhart, A., Möck, A., Kießling, L., Vogt, R., Kämper, C., Giegrich, J., Auberger, A., Priester, M., Reclin, A., Dolega, P., 2020. Weiterentwicklung von Handlungsoptionen einer ökologischen Rohstoffpolitik – ÖkoRess II: Abschlussbericht. TEXTE 79/2020. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Destatis, 2019 a. Fachserie 19 Reihe 2.1.1: Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung – Öffentliche Wasserversorgung. 2016. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis, 2019 b. Fachserie 19 Reihe 2.2: Nichtöffentliche Wasserversorgung und nichtöffentliche Abwasserentsorgung. 2016. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis, 2019 c. Fachserie 19, Reihe 2.1.1 und 2.2, verschiedene Jahrgänge; übernommen aus Daten zur Umwelt 2021. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. <https://www.umweltbundesamt.de/bild/wassergewinnung-der-oeffentlichen-wasserversorgung> (16. 08. 2022).

Destatis, 2019 d. Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Ein- und Ausfuhr und Flächenbelegung von Erzeugnissen pflanzlichen und tierischen Ursprungs. Berichtszeitraum 2008–2017. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis, 2020 a. Fachserie 15 Reihe 1: Wirtschaftsrechnungen. Laufende Wirtschaftsrechnungen. Einkommen, Einnahmen und Ausgaben privater Haushalte. 2019. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis, 202 b. Fachserie 7 Reihe 1. Außenhandel: Zusammenfassende Übersichten für den Außenhandel (Endgültige Ergebnisse). Jahrgänge 2003–2020. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis, 2021 a. Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche in ha pro Tag; übernommen aus Daten zur Umwelt. Statistisches Bundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaechen-boden-land-oekosysteme/flaechen/siedlungs-verkehrsflaechen#-das-tempo-des-flaechen-neuverbrauchs-geht-zurueck> (14. 03. 2022).

Destatis, 2021 b. Ausstattung privater Haushalte mit Informations- und Kommunikationstechnik – Deutschland. Statistisches Bundesamt. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/liste-infotechnik-d.html> (22. 11. 2021).

Destatis, 2021 c. Datenbank GENESIS-Online. Fortschreibung des Bevölkerungsstandes. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (16. 08. 2022).

Destatis, 2021 d. Fachserie 3, Reihe 5.1: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung. 2020. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis, 2021 e. Umwelt: Abfallbilanz (Abfallaufkommen/-verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen). 2019. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis, 2021 f. Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Aufkommen und Verwendung in Roh-stoffäquivalenten. Berichtszeitraum 2000–2018. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis, 2021 g. Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Direkte und indirekte Energieflüsse und CO₂-Emissionen. Berichtszeitraum 2000–2017. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis, 2021 h. Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Gesamtwirtschaftliches Materialkonto. Berichtszeitraum 1994–2019/2020. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis, 2022 a. Datenbank GENESIS-Online: Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Länder.

Destatis, 2022 b. Erläuterungen zum Indikator „Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche“: Nachhaltigkeitsindikator über die Inanspruchnahme zusätzlicher Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke. 2020. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Methoden/anstieg-suv.pdf?__blob=publicationFile (16. 08. 2022).

Destatis, 2022 c. Fachserie 4 Reihe 8.2: Produzierendes Gewerbe. Düngemittelversorgung. Wirtschaftsjahr 2020/2021. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis, 2022 d. Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Gesamtrohstoffproduktivität und ihre Komponenten. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/Tabellen/gesamtrohstoffproduktivitaet-Index.html> (22. 02. 2022).

Deutsche Bundesregierung, 2016. Nationale Nachhaltigkeitsstrategie: Neuauflage 2016, Berlin. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-neuauflage-2016-download-bpa-data.pdf?download=1> (16. 08. 2022).

Deutsche Bundesregierung, 2021. Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Weiterentwicklung 2021, Berlin. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/7c0614aff0f2c847f51c4d8e9646e610/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-barrierefrei-data.pdf?download=1> (16. 08. 2022).

Deutsche WindGuard, 2020 a. Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland: Jahr 2019. https://www.windguard.de/jahr-2019.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/windenergiestatistik/2019/Status%20des%20Offshore-Windenergieausbaus%20%E2%80%93%20Jahr%202019.pdf (16. 08. 2022).

Deutsche WindGuard, 2020 b. Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland: Jahr 2019. https://www.windguard.de/jahr-2019.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/windenergiestatistik/2019/Status%20des%20Windenergieausbaus%20an%20Land%20%E2%80%93%20Jahr%202019.pdf (16. 08. 2022).

Die Bundesregierung, 2002. Perspektiven für Deutschland: Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung.

Die Naturstein-Industrie, 1996. Geschäftsbericht 95/96. Bundesverband der Deutschen Kies- und Sandindustrie e.V.

Dittrich, M., Dünnebeil, F., Köppen, S., Oehsen, A. von, Vogt, R., Biemann, K., Fehrenbach, H., Evers, B., Gerhardt, N., Becker, S., Böttger, D., Frischmuth, F., Schoer, K., 2020a. Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland – Vergleich der Szenarien. TEXTE 06/2020. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_28_cc_06-2020_endbericht_vergleich_szenarien.pdf (16. 08. 2022).

Dittrich, M., Ewers, B., Schoer, K., 2022 a. Dokumentation des RME-Modells für Deutschland, in: Lutter, S., Kreimel, J., Giljum, S., Dittrich, M., Limberger, S., Ewers, B., Schoer, K., Manstein, C., Palmethofer, G. (Eds.), Ressourcennutzung in Deutschland – Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts (DeuRess II). Abschlussbericht, Wien/Heidelberg/Berlin.

Dittrich, M., Gerhardt, N., Schoer, K., Dünnebeil, F., Becker, S., Oehsen, A. von, Vogt, R., Köppen, S., Biemann, K., Böttger, D., Ewers, B., Limberger, S., Frischmuth, F., Fehrenbach, H., 2020 b. Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland – GreenMe. TEXTE 03/2020. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_28_cc_03-2020_endbericht_greenme.pdf (16. 08. 2022).

Dittrich, M., Gerhardt, N., Schoer, K., Dünnebeil, F., Becker, S., Oehsen, A. von, Vogt, R., Köppen, S., Biemann, K., Böttger, D., Ewers, B., Limberger, S., Frischmuth, F., Fehrenbach, H., 2020 c. Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland – GreenSupreme. TEXTE 05/2020. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_28_cc_05-2020_endbericht_greensupreme.pdf (16. 08. 2022).

Dittrich, M., Kämper, C., Ludmann, S., Ewers, B., Giegrich, J., Sartorius, C., Hummen, T., Marscheider-Weidemann, F., Schoer, K., 2018. Strukturelle und produktionstechnische Determinanten der Ressourceneffizienz: Untersuchung von Pfadabhängigkeiten, strukturellen Effekten und technischen Potenzialen auf die zukünftige Entwicklung der Rohstoffproduktivität (DeteRess): Abschlussbericht. TEXTE 29/2018, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-04-11_texte_29-2018_deteress.pdf (16. 08. 2022).

Dittrich, M., Limberger, S., Ewers, B., 2022 b. Spezifische Aspekte der Ressourcennutzung in Deutschland, in: Lutter, S., Kreimel, J., Giljum, S., Dittrich, M., Limberger, S., Ewers, B., Schoer, K., Manstein, C., Palmethofer, G. (Eds.), Ressourcennutzung in Deutschland – Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts (DeuRess II). Abschlussbericht, Wien/Heidelberg/Berlin.

Dr. Mirtsch Wölbstrukturierung GmbH, o. J. Entwicklung & Industrieaufträge: Innovative Beispiele. <https://woelbstruktur.de/beispiele.php> (16. 02. 2022).

Ecoinvent, 2021. Ecoinvent Datenbank, Version 3.6.

Elsner, H., 2016. Quarz: Quarzrohstoffe in Deutschland, Hannover. https://www.bgr.bund.de/DERA/DE/Downloads/studie-quarz-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (16. 08. 2022).

Elsner, H., Szurlies, M., 2020. Kies – Der wichtigste heimische Baurohstoff! Commodity TopNews 62, Hannover. https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/62_kies.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (16. 08. 2022).

Europäische Kommission, 2019. Europäischer Grüner Deal COM(2019) 640 final, Brüssel.

Europäische Kommission, 2020. Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa: COM(2020) 98 final.

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2019. Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt.

Eurostat, 2019. SHARES Tool: Short Assessment of Renewable Energy Sources. Stand 2019.

Eurostat, 2021. Datenbank des statistischen Amtes der Europäischen Union, Luxemburg. <https://ec.europa.eu/eurostat/de/home> (16. 08. 2022).

Eurostat, 2022. 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. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6874172/Handbook-country-RME-tool> (16. 08. 2022).

FAOSTAT, 2020. Datenbank der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen. <http://faostat.fao.org> (16. 08. 2022).

Fehrenbach, H., Busch, M., Reinhardt, J., Bischoff, M., Bürck, S., Blömer, J., Theis, S., Grahl, B., 2021. Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen: Ermittlung und Verifizierung von Datenquellen und Datengrundlagen für die Berechnung der Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen für Ökobilanzen – Teilberichte I, II und III. TEXTE 168,169,179/2021. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

FNR, 2019. Basisdaten Bioenergie Deutschland 2019. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/broschuere_basisdaten_bioenergie_2019_web.pdf (16. 08. 2022).

Frick, V., Gossen, M., 2019. Digitalisierung von Märkten und Lebensstilen: Neue Herausforderungen für nachhaltigen Konsum: Stand der Forschung und Handlungsempfehlungen Zwischenbericht. TEXTE 124/2019. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-10-16_texte_124-2019_digitalisierung-von-maerkten-und-lebensstilen.pdf (16. 08. 2022).

Gröger, J., Lui, R., Stobbe, L., Druschke, J., Richter, N., 2021. Green Cloud Computing: Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing. Abschlussbericht. TEXTE 94/2021. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_94-2021_green-cloud-computing.pdf (16. 08. 2022).

Hackfort, S., Degel, M., Göll, E., Neumann, K., 2019. Die Zukunft im Blick: Technologie-Trends im Nexus von Ressourceneffizienz und Klimaschutz. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/uba_klirex_fachbroschuere.pdf (16. 08. 2022).

Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Le Monde diplomatique, 2020. Agrar-Atlas: Daten und Fakten zur EU-Landwirtschaft. 2019. https://www.boell.de/sites/default/files/2022-01/Boell_agraratlas2019_III_V01_kommentierbar_0.pdf (16. 08. 2022).

Hintermann, R., 2021. Rechenzentren 2020: Cloud Computing profitiert von der Krise. Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an. Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH. https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep_Rechenzentren2020_20210301_final.pdf (16. 08. 2022).

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., 2011. The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. Earthscan, London & Washington D.C.

IDC, EITO, Bitkom Research, 2020. Absatz von Tablets in Deutschland von 2010 bis 2020: zitiert nach de.statista.com. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157928/umfrage/absatz-von-tablet-pcs-in-deutschland/> (10. 06. 2021).

IPCC, 2022. Summary for Policymakers, in: Shukla, P.R., Skea, J., Slade, R., Khourdajie, A.A., van Diemen, R., McCollum, D., Pathak, M., Some, S., Vyas, P., Fradera, R., Belkacemi, M., Hasija, A., Lisboa, G., Luz, S., Malley, J. (Eds.), Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York.

ISO, 2018. ISO 14067:2018 Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification. International Organization for Standardization.

Jacob, K., Postpischil, R., Graaf, L., Ramezani, M., Ostertag, K., Pfaff, M., Reuster, L., Zerzawy, F., 2021. Handlungsfelder zur Steigerung der Ressourceneffizienz: Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen. TEXTE 32/2021. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-02-25_texte_32-2021_handlungsfelder_ressourceneffizienz.pdf (16. 08. 2022).

Jepsen, D., Zimmermann, T., Spengler, L., Rödig, L., Bliklen, R., Wagner, J., Struck, K., Hiestermann, L., Schulz, H., 2020. Kunststoffe in der Umwelt – Erarbeitung einer Systematik für erste Schätzungen zum Verbleib von Abfällen und anderen Produkten aus Kunststoffen in verschiedenen Umweltmedien: Abschlussbericht. TEXTE 198/2020. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_11_24_texte_198_2020_kunststoffe_in_der_umwelt.pdf (16. 08. 2022).

Jungmichel, N., Nill, M., Wick, K., 2021. Von der Welt auf den Teller: Kurzstudie zur globalen Umweltinanspruchnahme unseres Lebensmittelkonsums. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/uba_210121_kurzstudie_nahrung_barr.pdf (16. 08. 2022).

Jungmichel, N., Scholz, J., Nill, M., 2020. Die globale Umweltinanspruchnahme des deutschen Maschinenbaus: Fallstudie zu den weltweiten Wertschöpfungsketten. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_maschinenbau_bf.pdf (16. 08. 2022).

Kahlenborn, W., Keppner, B., Uhle, C., Richter, S., Jetzke, T., 2018. Die Zukunft im Blick: Konsum 4.0: Wie Digitalisierung den Konsum verändert. Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fachbroschuere_konsum_4.0_barrierefrei_190322.pdf (16. 08. 2022).

Kassenböhmer, C., Graaf, L., Postpischil, R., Jacob, K., 2019. Digitalisierung und Ressourcenpolitik: Analyse des Diskurses zu Potenzialen und Risiken der Digitalisierung für die Ressourcenpolitik. Debattenanalyse im Projekt Ressourcenpolitik 2 (PolRes 2).

Kauertz, B., Dittrich, M., Fehrenbach, H., Franke, B., 2020. Ableitung eines Indikatorensets zur Umweltverträglichkeit der Energiewende: Endbericht. TEXTE. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_03_texte_222-2020_indikatoren_umweltvertraeglichkeit_energiewende.pdf (16. 08. 2022).

Knappe, F., Reinhardt, J., Bergmann, T., Mottschall, M., 2015. Substitution von Primärrohstoffen im Straßen und Wegebau durch mineralische Abfälle und Bodenaushub; Stoffströme und Potenziale unter Berücksichtigung von Neu-, Aus- und Rückbau sowie der Instandsetzung. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3712_33_324_primaerrohstoffe_strassenbau_bf.pdf (16. 08. 2022).

Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“, 2019. Abschlussbericht. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin.
https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf?__blob=publicationFile (16. 08. 2022).

Kosmol, J., Kanthak, J., Herrmann, F., Golde, M., Alsleben, C., Penn-Bressel, G., Schmitz, S., Gromke, U., 2012. Glossar zum Ressourcenschutz. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4242.pdf> (16. 08. 2022).

KrWG, 2021. Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 20 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist: KrWG § 3 (25).

Langsdorf, S., Duin, L., 2021. Absolute Reduktion der Ressourcennutzung: Vorreiter Niederlande – Ein Vorbild für Deutschland? Ecologic Institut, Berlin.
https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2021/Langsdorf_Duin_Reduktion-Ressourcennutzung-NL.pdf (16. 08. 2022).

Lenzen, M., Geschke, A., West, J., Fry, J., Malik, A., Giljum, S., Milà i Canals, L., Piñero, P., Lutter, S., Wiedmann, T., Li, M., Sevenster, M., Potocnik, J., Teixeira, I., van Voore, M., Nansai, K., Schandl, H., 2021. Implementing the material footprint to measure progress towards Sustainable Development Goals 8 and 12. Nature Sustainability 112, 6271.

Liebich, A., Fröhlich, T., Münter, D., Fehrenbach, H., Giegrich, J., Köppen, S., Dünnebeil, F., Knörr, W., Biemann, K., Simon, S., Maier, S., Albrecht, F., Pregger, T., Schillings, C., Moser, M., Reißner, R., Hosseiny, S., Jungmeier, G., Beermann, M., Frieden, D., Bird, N., 2020. Systemvergleich speicherbarer Energieträger aus erneuerbaren Energien. TEXTE 68/2020. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_2020_68_systemvergleich_speicherbarer_energetraeger_aus_erneuerbaren_energien.pdf (16. 08. 2022).

Lutter, S., Kreimel, J., Giljum, S., Dittrich, M., Limberger, S., Ewers, B., Schoer, K., Manstein, C., Palmethofer, G. (Eds.), 2022. Ressourcennutzung in Deutschland – Weiterentwicklung des deutschen Ressourcenberichts (DeuRes II): Abschlussbericht, Wien/Heidelberg/Berlin.

Maier, L., 2018. Rohstoffe weltweit im Einsatz für Deutschland: Berechnung von Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten. WISTA 2/2018. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2018/02/rohstoffe-weltweit-022018.pdf?__blob=publicationFile (16. 08. 2022).

Maletz, R., Perschau N., Dornack, C., 2018. Ermittlung von Substitutionsquoten durch Recyclingmaterial für verschiedene Verpackungsmaterialien mit besonderer Berücksichtigung der Kunststoffe, in: Thiel, S., Thomé-Kozmiensky, E., Goldmann, D. (Eds.), Recycling und Rohstoffe, 363–376.

Manstein, C., 1996. Das Elektrizitätsmodul im MIPS-Konzept: Materialintensitäts-Analyse der bundesdeutschen Stromversorgung (öffentliches Netz) im Jahr 1991. Wuppertal Papers Nr. 51.

Müller, F., Kohlmeyer, R., Krüger, F., Kosmol, J., Krause, S., Dorer, C., Röhreich, M., 2020. Leitsätze einer Kreislaufwirtschaft. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_04_27_leitlinie_kreislaufwirtschaft_bf.pdf (16. 08. 2022).

Müller, F., Lehmann, C., Kosmol, J., Keßler, H., Bolland, T., 2017. Urban Mining: Ressourcenschonung im Anthropozän. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/uba_broschuere_urbanmining_rz_screen_0.pdf (16. 08. 2022).

Mundhenke, R., Rott, L., Körner, C., 2020. Wie wir leben: Unser Weg in eine treibhausgasneutrale und ressourcensparende Zukunft. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/uba_rescue_broschuere_barrierefrei.pdf (16. 08. 2022).

OECD, 2022. Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options, Paris.
<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/de747aef-en.pdf?expires=1660660360&id=id&accname=ocid177428&checksum=C64490B550B016024C474F82564EABC5> (16. 08. 2022).

Oehlmann, M., Linsenmeier, M., Kahlenborn, W., Götting, K., Klaas, K., Ciroth, A., Bunsen, J., Rossbach, M., 2021. Wirkung veränderter Einkommen auf den Ressourcenverbrauch: Abschlussbericht. TEXTE 4/2021. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2021_12_08_texte_04-2021_einkommen_ressourcenverbrauch.pdf (16. 08. 2022).

Persson, L., Carney Almroth, B.M., Collins, C.D., Cornell, S., Wit, C.A. de, Diamond, M.L., Fantke, P., Hassellöv, M., MacLeod, M., Ryberg, M.W., Sjøgaard Jørgensen, P., Villarrubia-Gómez, P., Wang, Z., Hauschild, M.Z., 2022. Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. Environ. Sci. Technol. 56 (3), 1510–1521.

Piñero, P., Bruckner, M., Wieland, H., Pongrácz, E., Giljum, S., 2019. The raw material basis of global value chains: allocating responsibility based on value generation. Economic Systems Research 31 (2).

PlasticsEurope, 2021. Plastics – the Facts 2021: An analysis of European plastics production, demand and waste data.
<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/> (16. 08. 2022).

Purr, K., Günther, J., Lehmann, H., Nuss, P., 2019. Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität: RESCUE-Studie. Climate Change 36/2019. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet_aufgabe2_juni-2021.pdf (16. 08. 2022).

Reinhardt, G., Gärtner, S., Wagner, T., 2020. Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland, Heidelberg.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/6232/dokumente/ifeu_2020_oekologische-fussabdruecke-von-lebensmitteln.pdf (16. 08. 2022).

Ressourcenwende-Netzwerk, 2021. Policy Brief: Ressourcenschutzziele zur absoluten Reduktion des Ressourcenverbrauchs, Berlin.
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_Policy_Brief_Ressourcenschutzziel.pdf (16. 08. 2022).

Rizos, V., Bryhn, J., Alessi, M., Campmas, A., Zarra, A., 2019. Identifying the impact of the circular economy on the Fast-Moving Consumer Goods Industry: Opportunities and challenges for busi-nesses, workers and consumers – mobile phones as an example. The European Economic and Social Committee. <https://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/files/qe-03-19-510-en-n.pdf> (16. 08. 2022).

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., Wit, C.A. de, Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sorlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J.A., 2009a. A safe operating space for humanity. Nature 461 (7263).

Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P.K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, Foley, J., 2009b. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. Ecology and Society 14 (2), art. 32.

Schiller, G.; Lehmann, I., Gruhler, K., Hennesdorf, J., Lützkendorf, T., Mörmann, K., Knappe, F., Muchow, N., Reinhardt, J., 2022. Abschlussbericht: Kartierung des anthropogenen Lagers IV: Erarbeitung eines Gebäudepass- und Gebäudekatasterkonzepts zur regionalisierten Erfassung des Materialhaushaltes mit dem Ziel der Optimierung des Recyclings. Konzepte für Materialinventare und -kataster. TEXTE 05/2022. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_05-2022_kartierung_des_anthropogenen_lagers_iv_0.pdf (16. 08. 2022).

Schiller, G., Ortlepp, R., Krauß, N., 2015. Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. TEXTE 83/2015. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_83_2015_kartierung_des_anthropogenen_lagers.pdf (16. 08. 2022).

Schrode, A., Mueller, L.M., Wilke, A., Fesenfeld, L.P., Ernst, J., 2019. Transformation des Ernährungssystems: Grundlagen und Perspektiven. TEXTE 84/2019. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-08-15_texte_84-2019_transfern-ap1_0.pdf (16. 08. 2022).

Schütze, G., Günther, J., Fee, E., Klatt, A., Döring, U., Heidler, D., Behnke, A., Reichart, A., Nowack, A., Brozowski, F., Fischer, J., Güth, M., 2016. Umweltschutz, Wald und nachhaltige Holznutzung in Deutschland. Hintergrund. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/umweltschutz_wald_und_nachhaltige_holznutzung_in_deutschland_web.pdf (16. 08. 2022).

SPD, Bündnis 90/die Grünen und FDP, 2021. 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).
<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1> (16. 08. 2022).

Statistische Ämter der Länder, 2021. Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder: Indikatoren und Kennzahlen. Tabellenband. <https://www.statistikportal.de/de/ugrdl/veroeffentlichungen> (16. 08. 2022).

Steffen, W., Crutzen, P.J., McNeill, J.R., 2007. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? *Ambio* 36 (8), 614–621.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Car-penter, S.R., Vries, W. de, Wit, C.A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Rayers, B., Sörlin, S., 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347 (6223), 1259855.

Steger, S., Ritthof, M., Bulach, W., Schüler, D., Korinska, I., Degreif, S., Dehoust, G., Bergmann, T., Krause, P., Oetjen-Dehne, R., 2019. Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität: Abschlussbericht. TEXTE 34/2019. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-27_texte_34-2019_sekundaerrohstoffwirtschaft.pdf (16. 08. 2022).

Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), 2013. *Climate Change 2013: The physical science basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.

Terrapon-Pfaff, J., Ortiz, W., Viebahn, P., Kynast, E., Flörke, M., 2020. Water Demand Scenarios for Electricity Generation at the Global and Regional Levels. *Water* 12 (9), 2482.

TREMODO, 2021. TREMOD 6.21: Datenbereitstellung durch das Umweltbundesamt.

UBA (Hg.), 2016 a. Lutter, S.; Giljum, S.; Lieber, M.; Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2016. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/deuress16_bericht_de_web_f.pdf (16. 08. 2022).

UBA, 2016 b. Stoffstrommanagement im Bauwesen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining/stoffstrommanagement-im-bauwesen#verwertung-von-baurestmassen> (05. 05. 2020).

UBA, 2017. Verrottet Plastik gar nicht oder nur sehr langsam? Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/verrottet-plastik-gar-nicht-nur-sehr-langsam> (17. 02. 2022).

UBA, 2018. Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Lutter, S.; Giljum, S.; Gözet, B.; Wieland H.; Bericht für Deutschland 2018. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/deuress18_de_bericht_web_f.pdf (16. 08. 2022).

UBA, 2019 a. Digitalisierung nachhaltig gestalten: Ein Impulspapier des Umweltbundesamtes. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/uba_fachbroschuere_digitalisierung_nachhaltig_gestalten_0.pdf (16. 08. 2022).

UBA, 2019 b. Kunststoffe in der Umwelt. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/190515_uba_fb_kunststoffe_bf.pdf (16. 08. 2022).

UBA, 2021 a. Bauabfälle. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/bauabfaelle#mineralische-bauabfaelle> (07. 01. 2022).

UBA, 2021 b. Bodenversiegelung. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung> (12. 07. 2021).

UBA, 2021 c. Flächenverbrauch für Rohstoffabbau. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/flaechenverbrauch-fuer-rohstoffabbau#inlandische-rohstoffentnahme> (02. 07. 2021).

UBA, 2021 d. Häufige Fragen zur Energiewende. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/haeufige-fragen-zur-energiewende#ziele-wege-und-instrumente> (18. 02. 2022).

UBA, 2021 e. Kunststoffabfälle. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle#kunststoffe-produktion-verwendung-und-verwertung> (18. 02. 2022).

UBA, 2021 f. Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990–2019. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.umweltbundesamt.de%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fmedien%2F361%2Fdokumente%2F2020_12_08_em_entwicklung_in_d_trendtabelle_thg_v0.9.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK (22. 01. 2022).

UBA, 2021 g. Stickstoff – Element mit Wirkung: Ein integrierter Zielwert setzt einen neuen Rahmen. Hintergrund. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_hgp_stickstoff-element_mit_wirkung_bf.pdf (16. 08. 2022).

UBA, 2021 h. Struktur der Flächennutzung. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#die-wichtigsten-flaechennutzungen> (01. 03. 2022).

UBA, 2021 i. Trockenheit in Deutschland – Fragen und Antworten. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/trockenheit-in-deutschland-fragen-antworten> (23. 07. 2021).

UBA, 2021 j. Wohnfläche. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche#zahl-der-wohnungen-gestiegen> (16. 02. 2022).

UBA, 2022 a. Digitalisierung und natürliche Ressourcen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcenschonung-in-produktion-konsum/digitalisierung-natuerliche-ressourcen> (22. 01. 2022).

UBA, 2022 b. Grenzüberschreitende Abfallstatistik. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/grenzüberschreitende-abfallverbringung/grenzüberschreitende-abfallstatistik> (11. 04. 2022).

UBA, 2022 c. Umweltatlas: Reaktiver Stickstoff. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/umweltatlas/reaktiver-stickstoff/reaktiver-stickstoff> (22. 01. 2022).

UBA, 2022 d. Umweltatlas: Welche Rolle spielt die Landwirtschaft in der deutschen Stickstoffbilanz? Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/umweltatlas/reaktiver-stickstoff/einfuehrung/gestatten-reaktiver-stickstoff/welche-rolle-spielt-die-landwirtschaft-in-der> (22. 01. 2022).

UN, 2015. Sustainable Development Goals: 17 goals to transform our world. United Nations, New York. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> (16. 08. 2022).

UN Life Cycle Initiative, International Resource Panel, One Planet Network, UNEP, 2022. Sustainable Consumption and Production Hotspots Analysis Tool (SCP-HAT), Paris. <http://scp-hat.lifecycleinitiative.org/> (16. 08. 2022).

UNEP, 2014. Sand, rarer than one thinks. United Nations Environment Programme, Global Environmental Alert Service (GEAS). <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8665> (16. 08. 2022).

UNEP, 2019. Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources. GRID-Geneva, United Nations Environment Programme, Genf. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/28163> (16. 08. 2022).

UNEP IRP, 2019 a. Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. A Report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi. <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook> (16. 08. 2022).

UNEP IRP, 2019 b. Natural Resource Use in the Group of 20: Status, Trends, and Solutions. Germany. United Nations Environment Programme. International Resource Panel. <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook> (16. 08. 2022).

UNEP IRP, 2022. Global Material Flows Database. United Nations Environment Programme International Resource Panel, Paris. <https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database> (16. 08. 2022).

Vanham, D., Medarac, H., Schyns, J.F., Hogeboom, R.J., Magagna, D., 2019. The consumptive water footprint of the European Union energy sector. *Environmental Research Letters* 14 (10), 104016.

VDI ZRE, 2017. Bionische Wölbstrukturen Die Natur als Vorbild für Ressourceneffizienz. VDI Zentrum Ressourceneffizienz. https://www.youtube.com/watch?v=_7lqldseHhs (16. 02. 2022).

VDZ, 2019. Zementindustrie im Überblick 2019/2020. Verein Deutscher Zementwerke e.V., Berlin. https://www.vdz-onli-ne.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/zementindustrie_ueberblick/VDZ_Zementindustrie_im_Ueberblick_2019_2020.pdf (16. 08. 2022).

Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., van der Ent, R.J., Fetzer, I., te Wierik, S., Porkka, M., Staal, A., Jaramillo, F., Dahmann, H., Singh, C., Greve, P., Gerten, D., Keys, P.W., Gleeson, T., Cornell, S.E., Steffen, W., Bai, X., Rockström, J., 2022. A planetary boundary for green water. *Nature Reviews Earth & Environment* 3 (6), 380–392.

WBGU, 2019. Unsere gemeinsame digitale Zukunft. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Berlin. https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2019/pdf/wbgu_hg2019.pdf (16. 08. 2022).

Weltbank, 2021 a. World Development Indicators. <https://data.worldbank.org/> (02. 07. 2021).

Weltbank, 2021 b. Water in Agriculture. <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture> (12. 07. 2021).

Wiesen, K., Teubler, J., Saurat, M., Samandi, S., Kiefer, S., Soukup, O., 2017. Analyse des Rohstoffaufwandes der Energieinfrastruktur in Deutschland: Sachverständigen Gutachten. Wuppertal Institut für Klima, Energie und Umwelt.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Anteil nicht-nachwachsender Rohstoffe an genutzter Rohstoffentnahme in Deutschland, 2019.....	14
Abbildung 2	Genutzte Entnahme nicht-nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, 2015 und 2019.....	15
Abbildung 3	Vergleich der genutzten Entnahme nicht-nachwachsender Rohstoffe pro Kopf in Deutschland mit ausgewählten EU-Mitgliedstaaten sowie dem EU-Durchschnitt, 2019	15
Abbildung 4	Anteil der nachwachsenden Rohstoffe an der genutzten Rohstoffentnahme in Deutschland, 2019	16
Abbildung 5	Genutzte Entnahme nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, 2015 und 2019	17
Abbildung 6	Vergleich der genutzten Entnahme nachwachsender Rohstoffe pro Kopf in Deutschland mit ausgewählten EU-Mitgliedstaaten sowie dem EU-Durchschnitt, 2019	17
Abbildung 7	Entwicklung der genutzten Rohstoffentnahme in Deutschland, 1994–2020	18
Abbildung 8	Entwicklung der genutzten Entnahme von einzelnen Unterkategorien nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, 1994–2019	19
Abbildung 9	Entwicklung der genutzten Entnahme von einzelnen Unterkategorien nicht-nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, 1994–2019	19
Abbildung 10	Genutzte Entnahme in den deutschen Bundesländern nach Rohstoffgruppen, 2015 und 2019.....	20
Abbildung 11	Rohstoffentnahme der deutschen Bundesländer pro Flächeneinheit, 2019	21
Abbildung 12	Abbau von Bau- und Industriesanden in Deutschland, 1994–2019	22
Abbildung 13	Vergleich der Pro-Kopf-Entnahme von Sand, Kies und gebrochenen Natursteinen in Deutschland mit ausgewählten Ländern, 2019	23
Abbildung 14	Direkte Handelsströme Deutschlands in physischer und monetärer Betrachtung, 2015 und 2020	26
Abbildung 15	Entwicklung direkter Importe und Exporte in Deutschland – monetär und physisch nach Rohstoffgruppen, 1994–2020.....	27
Abbildung 16	Physische und monetäre Handelsbilanz Deutschlands mit den G7-Ländern und China, 2020.....	27
Abbildung 17	Entwicklung von direkten und indirekten Rohstoffimporten und -exporten Deutschlands nach Rohstoffgruppen, 2010–2020.....	28
Abbildung 18	Direkte und indirekte Rohstoffflüsse durch die deutsche Wirtschaft nach Rohstoffgruppen, 2019.....	29
Abbildung 19	Vergleich der direkten und indirekten Rohstoffimporte und -exporte Deutschlands mit ausgewählten EU-Mitgliedstaaten, 2018	29
Abbildung 20	Anteil der Importe am Rohstoffeinsatz (RMI) Deutschlands nach Rohstoffgruppen, 2019	30
Abbildung 21	Ursprung des deutschen Rohstoffkonsums (RMC) nach Weltregionen, 1994–2018	31
Abbildung 22	Beitrag der Importe zum Rohstoffkonsum (RMC) in Deutschland, den G7-Ländern und China nach Rohstoffgruppen und Ursprung, 2018.....	31
Abbildung 23	Produktion, Verarbeitung, Nutzung und Verwertung von Kunststoff in Deutschland, 2019	32
Abbildung 24	Deutschlands Importe und Exporte von Kunststoff und Kunststoffgütern, 2001–2019	33
Abbildung 25	Rohstoffeinsatz (RMI) in Deutschland nach Rohstoffgruppen, 2010–2020	36
Abbildung 26	Rohstoffeinsatz (RMI) in Deutschland nach Gütergruppen, 2019	37
Abbildung 27	Entwicklung der Gesamtrohstoffproduktivität in Deutschland im Vergleich zweier Methoden, 2010–2019	38
Abbildung 28	Entwicklung der Gesamtrohstoffproduktivität im EU-Vergleich, 2010–2018	39
Abbildung 29	Trend der Entkopplung von Rohstoffkonsum (RMC) und Bruttoinlandsprodukt (BIP) im internationalen Vergleich, 2000–2018	39
Abbildung 30	Netto- Abfallaufkommen in Deutschland nach Abfallarten sowie Abfallarten nach Anteilen thermischer und stofflicher Abfallverwertung und -beseitigung, 2019	40
Abbildung 31	Beitrag von Sekundärrohstoffen zur Deckung des direkten und indirekten Rohstoffbedarfs (DERec und DIERec) für ausgewählte Materialien, 2013	40

Abbildung 32	Direkte Rohstoffflüsse durch die deutsche Wirtschaft nach Rohstoffgruppen, 2019.....	41
Abbildung 33	Input- und Output-Materialflüsse des anthropogenen Lagers in Deutschland, 2010	42
Abbildung 34	Vergleich der Materiallager verschiedener Infrastrukturen in Deutschland, 2010	43
Abbildung 35	Inländischer Materialkonsum (DMC) und Rohstoffkonsum (RMC) in Deutschland absolut nach Rohstoffgruppen, 2019, sowie pro Kopf, 2008–2020.....	46
Abbildung 37	Vergleich des Rohstoffkonsums (RMC) pro Kopf in Deutschland mit ausgewählten Mitgliedstaaten der Europäischen Union sowie dem EU-Durchschnitt, 2010 und 2018.....	47
Abbildung 36	Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) in Deutschland nach Rohstoffgruppen, 2008–2020.....	47
Abbildung 38	Rohstoffkonsum (RMC) nach Unterkategorien sowie Rohstoffkonsum privater Haushalte und des Staates nach Bedarfsfeldern, 2019.....	48
Abbildung 39	Monatlicher Rohstoffkonsum und Ausgaben pro Kopf in Deutschland nach Bedarfsfeldern und Rohstoffgruppen, 2019	49
Abbildung 40	Anteile der Gütergruppen am Rohstoffkonsum der Endnachfrage in Deutschland nach Rohstoff-gruppen, 2019.....	49
Abbildung 41	Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologie in Deutschland	50
Abbildung 42	Rohstoffkonsum (RMC) für Güter der Informations- und Kommunikationstechnologie nach Güter- und Rohstoffgruppen, 2019	51
Abbildung 43	Ausgewählte Beispiele zum Ressourcenbedarf der Digitalisierung	51
Abbildung 44	Verkehrsleistung des Personenverkehrs nach Verkehrsmitteln in Deutschland, 1960–2019	52
Abbildung 46	Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) und kumulierter Energieaufwand (KEA) im Personenverkehr in Deutschland nach Verkehrsarten, 2017	53
Abbildung 45	Rohstoffkonsum (RMC) privater Haushalte für das Bedarfsfeld Mobilität in Deutschland, 2008 und 2019.....	53
Abbildung 47	Umweltgefährdungspotenzial (UGP) und Umweltregulierung in den Abbauländern, nach Rohstoffen.....	56
Abbildung 48	Treibhausgas-Fußabdruck und Rohstoffkonsum (RMC) pro Kopf in verschiedenen Ländern, 2017	58
Abbildung 49	Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC), des inländischen Materialkonsums (DMC) und des CO ₂ -Fußabdrucks in Deutschland sowie Darstellung nach Komponenten, 2010–2017/2018	59
Abbildung 50	Bereich „Landwirtschaft“ des nationalen Stickstoffinventars: ein- und ausgehende Stickstoffflüsse in Tausend Tonnen Stickstoff (ktN) pro Jahr im Mittel der Jahre 2010–2014	60
Abbildung 51	Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft, 1990–2020.....	61
Abbildung 52	Das Konzept der planetaren Grenzen weltweit und für Deutschland.....	62
Abbildung 53	Folgen der Verarbeitung von Primär- und Sekundärmetallen für Dimensionen der planetaren Grenzen	63
Abbildung 54	Wassergewinnung nach Wirtschaftsbereichen in Deutschland sowie Anteil am gesamten Wasserdargebot, 1991–2016	66
Abbildung 55	Wassergewinnung der öffentlichen Wasserversorgung in Deutschland nach Wasserarten, 2016	67
Abbildung 56	Vergleich der Wassergewinnung pro Kopf nach Wirtschaftsbereichen in Deutschland mit ausgewählten EU-Mitgliedsstaaten, 2016	67
Abbildung 57	Deutschlands Wasserfußabdruck nach Herkunft und Wasserarten, 2021	68
Abbildung 58	Beiträge einzelner Flusseinzugsgebiete zum blauen Wasserfußabdruck Deutschlands sowie deren Auswirkungen auf lokalen Wasserstress, 2021	69
Abbildung 59	Flächennutzung in Deutschland nach Nutzungsarten, 2020	70
Abbildung 60	Flächennutzung der Bundesländer nach Nutzungsarten, sowie Anteil des ökologischen Landbaus an den landwirtschaftlichen Flächen, 2020	70
Abbildung 61	Anstieg an Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland, 1993–2020	71
Abbildung 62	Beitrag der zehn größten Herkunftsländer zum Flächenfußabdruck Deutschlands sowie internationaler Vergleich des Pro-Kopf Flächenfußabdrucks, 2018	72
Abbildung 63	Entwicklung des Ackerland-, Grünland- und Waldfußabdrucks von Deutschland, 1990–2018	73

Abbildung 64	Primärenergiegewinnung aus strömenden Ressourcen in Deutschland sowie Anteile am Bruttostromverbrauch und am Bruttoendenergieverbrauch, 1990–2019	74
Abbildung 65	Vergleich der Primärenergieproduktion aus strömenden Ressourcen sowie deren Anteil am Bruttostromverbrauch in Deutschland mit ausgewählten EU-Mitgliedstaaten, 2019.....	75
Abbildung 66	Vergleich von Durchschnittswerten zu Rohstoffeinsatz, Flächenbelegung und Wassereinsatz über den Lebenszyklus verschiedener Energiequellen	77
Abbildung 67	Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) sowie des CO ₂ -, Flächen- und Wasserfußabdrucks, 1990–2018 (links) sowie Rohstoffkonsum der privaten Haushalte nach Rohstoff- und Produktgruppen, 2019 (rechts) für das Bedarfsfeld Ernährung.....	78
Abbildung 68	Wassereinsatz, CO ₂ -Emissionen und Flächenversiegelung unterschiedlicher Lebensmittel (über den gesamten Lebenszyklus)	79
Abbildung 69	Inländischer und ausländischer Anteil an ausgewählten Ressourcen-Fußabdrücken von in Deutschland konsumierten Lebensmitteln.....	79
Abbildung 70	Vergleich des CO ₂ -Fußabdrucks unterschiedlicher Lebensmittel je nach Herkunft und Produktionsweise	79
Abbildung 71	Rohstoffkonsum (RMC) pro Kopf im Vergleich	82
Abbildung 72	Deutschlands Rohstoffkonsum (RMC) pro Kopf, 2019 und 2030 sowie jahresdurchschnittliche Veränderung der Gesamtrohstoffproduktivität in unterschiedlichen Szenarien	83
Abbildung 73	Minderung der Treibhausgasemissionen und des Rohstoffkonsums (RMC) in Deutschland gegenüber 1990 bzw. 2010 unter verschiedenen Szenarien	84
Abbildung 74	Entwicklung des Anteils des deutschen Konsums (RMC) ausgewählter Rohstoffe an der globalen Primärproduktion (Referenzjahr 2018) unter verschiedenen Szenarien	85
Abbildung 75 a	RESCUE-Green-Szenarien zur Erreichung eines klimaneutralen und ressourcenschonenden Deutschland	86
Abbildung 75 b	RESCUE-Green-Szenarien zur Erreichung eines klimaneutralen und ressourcenschonenden Deutschland	87
Abbildung 76	Auswirkungen einer stärkeren Sekundärnutzung von Kupfer, Eisen und Aluminium auf den Rohstoffkonsum (RMC) sowie resultierende Umweltfolgen, Basisjahr 2010.....	89
Abbildung 77	Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) nach Bedürfnisfeldern im Szenario „GreenSupreme“, 2019 und 2050.....	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Indikatoren zum Umweltgefährdungspotenzial (UGP) für Kaolin, Eisen, Lithium und Kupfer	57
Tabelle 2	Übersicht der wichtigsten Annahmen unterschiedlicher Szenarien	83
Tabelle A 1	Genutzte inländische Entnahme von Rohstoffen.....	94
Tabelle A 2 a	Genutzte inländische Entnahme von Rohstoffen nach Bundesländern.....	95
Tabelle A 2 b	Genutzte inländische Entnahme von Rohstoffen nach Bundesländern pro Kopf	96
Tabelle A 3	Direkter Handel.....	97
Tabelle A 4	Indirekter Handel (Rohstoffäquivalente, RME) nach EU-Standardmethode	98
Tabelle A 5 a	Rohstoffeinsatz (RMI) nach EU-Standardmethode	
Tabelle A 5 b	Rohstoffeinsatz (RMI) nach Gütergruppen nach EU-Standardmethode	99
Tabelle A 6 a	Rohstoffkonsum (RMC) nach EU-Standardmethode	100
Tabelle A 6 b	Rohstoffkonsum (RMC) nach Kategorien der letzten Verwendung nach EU-Standardmethode	100
Tabelle A 7	Gesamtrohstoffproduktivität nach EU-Standardmethode und Destatis	100
Tabelle A 8	Indikatorenvergleich für EU-Standardmethode und Destatis	101



► **Unsere Broschüren als Download:**
www.umweltbundesamt.de/ressourcenbericht2022

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt
 www.youtube.com/user/umweltbundesamt
 www.instagram.com/umweltbundesamt/