



Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-Erden-Industrie bis 2040 in Deutschland

Studie „Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2040 in Deutschland“

Aktualisierung 2022

Auftraggeber:

Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.



Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.
German Building Materials Association

Bearbeitet von:

Prof. Dr.-Ing. Stoll & Partner
Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen
Dr.-Ing. Fritz Schwarzkopp
Sebastian Loyen, M.Sc.

DIW Econ

Prof. Dr. Jürgen Blazejczak

Prof. Dr. Martin Gornig



Das Consulting-Unternehmen des DIW Berlin

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Studie ist die Abschätzung der Nachfrage nach Steine-Erden-Rohstoffen bis 2040. Hierfür werden – analog zu den Voraufgaben – zwei Szenarien zur Entwicklung der volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen gebildet sowie das Substitutionspotenzial durch Sekundärrohstoffe untersucht. Hintergrund des Gutachtens sind unter anderem die Rohstoffstrategien auf europäischer und nationaler Ebene einschließlich der Sicherung heimischer Rohstoffe sowie die Debatte um die Steigerung der Ressourceneffizienz.

Die Studie zeigt, dass die Nachfrage nach primären Steine-Erden-Rohstoffen im Jahr 2040 bei einer relativ geringen wirtschaftlichen Dynamik (Durchschnittswachstum des BIP: real +0,7 % pro Jahr im Zeitraum 2019 bis 2040) bei 482 Mio. t liegt. Bei stärkerem wirtschaftlichen Wachstum (BIP: +1,6 % pro Jahr) steigt die Nachfrage nach primären Steine-Erden-Rohstoffen mit 599 Mio. t leicht über das Niveau des Basisjahres. Trotz weiterhin anziehender Baunachfrage wird das hohe Niveau der 90er Jahre von teilweise deutlich über 700 Mio. t in keinem Fall mehr erreicht. Vielmehr setzt sich die Entkoppelung von Rohstoffentnahme und Wachstum im Trend fort: Aufgrund von Produktinnovationen und Strukturwandel fällt die mengenmäßige Entwicklung der Rohstoffnachfrage geringer aus als die der wertmäßigen Produktion.

Der Einsatz von Sekundärrohstoffen leistet einen wichtigen Beitrag zur Substitution primärer Rohstoffe und trägt damit aktiv zur Ressourcenschonung bei. Im Betrachtungszeitraum sinkt in der oberen Variante – bei weiterhin hoher Verwertungsquote – die relative Bedeutung der Sekundärrohstoffe (Substitutionsquote) von 14,8 % im Jahr 2019 auf 14,4 % im Jahr 2040, da die auslaufende Kohleverstromung zu einem Wegfall der

Kraftwerksnebenprodukte REA-Gips und Steinkohlenflugasche führt. Durch die Dekarbonisierung der Stahlindustrie sinkt zudem das Aufkommen an Hochofenschlacken. In der unteren Variante steigt die Substitutionsquote auf 15,7 % im Jahr 2040, da insgesamt weniger Rohstoffe nachgefragt werden. Dem rückläufigen Aufkommen an industriellen Nebenprodukten steht ein steigendes Aufkommen an RC-Baustoffen gegenüber. Letzteres wird in Abhängigkeit von der Abbruchtätigkeit und einer verbesserten Aufbereitung je nach Szenario bis 2040 um rund 5 bis 17 % steigen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die hohe Verwertungsquote bei den mineralischen Bauabfällen, die bereits heute bei rund 90 % liegt, nur noch in begrenztem Umfang zu steigern sein wird. Gleichwohl arbeitet die Baustoff-Steine-Erden-Branche konsequent an der Stärkung des Baustoffrecyclings, etwa durch eine umfassendere Nutzung der Fraktion Boden und Steine.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Hintergrund und Zielsetzung des Gutachtens	6
2.	Abschätzung der volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen	8
2.1	Szenarien der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung	8
2.1.1	Demographischer Wandel	9
2.1.2	Leitgedanken der wirtschaftlichen Entwicklung	11
2.1.3	Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsproduktes	13
2.2	Entwicklung der industriellen Produktion	15
2.3	Entwicklungstrends des Bauvolumens	17
2.3.1	Konzeptionelle Vorüberlegungen	17
2.3.2	Wohnungsneubau	18
2.3.3	Neubau von Nichtwohngebäuden	19
2.3.4	Maßnahmen im Gebäudebestand	20
2.3.5	Tiefbau	22
3.	Methodisches Vorgehen sowie Trends bei Primär- und Sekundärrohstoffen	24
3.1	Methodisches Vorgehen	24
3.2	Determinanten der langfristigen Primärrohstoffnachfrage und Modellierung von Preis-Mengen-Anpassungsfaktoren	24
3.3	Bestimmungsfaktoren des Sekundärrohstoffaufkommens und Auswirkungen der Dekarbonisierung auf industrielle Prozesse	25
4.	Gewinnung und Verwendung mineralischer Primärrohstoffe von 2005 bis 2019 sowie Ableitung der Rohstoffnachfrage bis 2040	27
4.1	Bedeutung der Rohstoffförderung	27
4.2	Entwicklung der Nachfrage nach Primärrohstoffen	28
4.2.1	Sand und Kies	28
4.2.2	Spezialkies/-sand	29
4.2.3	Naturstein	30
4.2.4	Naturwerkstein	31
4.2.5	Kalk- und Dolomitstein	31

4.2.5.1	Kalk- und Dolomitstein für ungebrannte Produkte	32
4.2.5.2	Kalk- und Dolomitstein für die Branntkalk- und Dolomitkalkherstellung	33
4.2.5.3	Kalkstein für die Zementherstellung.....	34
4.2.6	Tonige Rohstoffe	35
4.2.6.1	Spezialton und Kaolin.....	35
4.2.6.2	Ziegelton	36
4.2.6.3	Ton für die Zementherstellung	36
4.2.7	Gips- und Anhydritstein	37

5. Aufkommen und Verwendung mineralischer Sekundärrohstoffe von 2005 bis 2019 sowie Ableitung des Aufkommens bis 2040 39

5.1	Bedeutung der Sekundärrohstoffe	39
5.2	Rückgewinnung („Recovery“).....	39
5.3	Entwicklung des Sekundärrohstoffaufkommens und Auswirkungen auf die Nachfrage nach Primärrohstoffen	40
5.3.1	Recyclingbaustoffe	40
5.3.2	Industrielle Nebenprodukte	42
5.3.2.1	Schlacken.....	42
5.3.2.1.1	Hochofenschlacken	42
5.3.2.1.2	Stahlwerksschlacken	43
5.3.2.2	Aschen	44
5.3.2.2.1	Steinkohlenflugaschen.....	44
5.3.2.2.2	Sonstige (Rost-) Aschen aus der Müllverbrennung und der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen.....	45
5.3.2.3	REA-Gips.....	46
5.3.2.4	Gießereialtsande.....	47

6. Aggregierte Primär- und Sekundärrohstoffmengen bis 2040 einschließlich Substitutions- und Verwertungsquote 49

Literatur 52

Impressum, Fotonachweis 56

1. HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG DES GUTACHTENS

Bei diesem Gutachten handelt es sich um die vierte aktualisierte Auflage der Studie zur langfristigen Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine- und-Erden-Industrie in Deutschland, die das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung Berlin (DIW) und die SST Ingenieurgesellschaft Aachen erstmals 2012 im Auftrag des Bundesverbandes Baustoffe – Steine und Erden erarbeitet haben, damals noch mit dem Betrachtungszeitraum für die langfristige Rohstoffnachfrage bis 2030.

Die Studie schätzt auf Basis der bis 2019 vorliegenden empirischen Verbrauchsmengen mineralischer Primär- und Sekundärrohstoffe sowie deren Einsatz in den relevanten Wirtschaftszweigen im Jahr 2019 unter Zugrundelegung zweier Szenarien zur wirtschaftlichen Entwicklung die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen in Deutschland bis zum Jahr 2040 ab. Dabei gilt es auch die Frage zu klären, inwieweit die Gewinnung mineralischer Primärrohstoffe in Zukunft durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen¹ in den relevanten Wirtschaftsbereichen substituiert werden kann. Die ökonomischen Szenarien wurden von der DIW Econ erstellt und die Auswirkungen auf die Rohstoffverbräuche auf Basis der sektoralen Verteilung 2019 von der SST Ingenieurgesellschaft Aachen berechnet.

Damit ist diese Studie in folgende Teile untergliedert:

1. Analyse der volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Formulierung von Szenarien der zukünftigen Wirtschaftsentwicklung in relevanten Abnehmersektoren;
2. Übertragung der in den Szenarien beschriebenen volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen auf die

künftige Rohstoffnachfrage unter Einbeziehung von Anpassungsfaktoren zur Umrechnung von Wertpfaden in Mengenpfade;

3. Darstellung der Produktionsmengen (Zeitreihen und Diagramme) der in Deutschland gewonnenen mineralischen Primärrohstoffe (Kies und Sand, Spezialkies und -sand, Naturstein, Naturwerkstein, Kalkstein, Gipsstein, Kaolin, Ton) und deren Verwendung im Jahr 2019 sowie Ableitung der zukünftigen Nachfrage bis 2040;
4. Darstellung der Mengen (Zeitreihen und Diagramme) in Deutschland erzeugter Sekundärrohstoffe und deren Verwendung im Jahr 2019 nach Abnehmersektoren sowie angebotsseitige Berechnung der Sekundärrohstoffmengen bis 2040.

Der Hintergrund der in diesem Gutachten vorgenommenen Analyse der künftigen Rohstoffnachfrage besteht darin, dass Deutschland als eines der führenden Industrieländer auf die bedarfsgerechte Versorgung mit mineralischen Rohstoffen angewiesen ist. Dabei kann die Deckung der Nachfrage nach nichtmetallischen mineralischen Rohstoffen weitgehend aus heimischen Lagerstätten erfolgen, während bei Metallen und einzelnen Industriemineralien Importe erforderlich sind.

Bei der bis 2040 in beiden Szenarien abgeschätzten Primärrohstoffnachfrage ist zu berücksichtigen, dass es sich dabei um den unter den gegebenen volkswirtschaftlichen Annahmen bestehenden Bedarf handelt. Er ist zu unterscheiden von der tatsächlichen künftigen Rohstoffgewinnung. Diese ist abhängig von der Verfügbarkeit von

¹ Als „Sekundärrohstoffe“ werden im Folgenden alle Stoffe bezeichnet, die nicht wie Primärrohstoffe aus natürlichen Ressourcen gewonnen werden, sondern durch die Aufarbeitung mineralischer Bauabfälle zu Recyclingbaustoffen sowie als Nebenprodukte in industriellen Prozessen (Beispiel: REA-Gips) entstehen.

Rohstoffen, d.h. insbesondere von der vorausschauenden Genehmigung von Abbauflächen.

In der Rohstoffinitiative der Europäischen Kommission und der Rohstoffstrategie der Bundesregierung sind – über die internationalen Herausforderungen hinaus – die dauerhafte Versorgung mit heimischen Rohstoffen sowie die Steigerung der Ressourceneffizienz als wichtige politische Handlungsfelder definiert worden. Die 2020 verabschiedete Fortschreibung der Rohstoffstrategie der Bundesregierung zeigt, dass das Thema nach wie vor von hoher Bedeutung ist (BMWi 2020a). Die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen steht dabei nicht nur auf der wirtschaftspolitischen, sondern auch auf der umweltpolitischen Agenda. So hat die Bundesregierung bereits im Jahr 2012 das Ressourceneffizienzprogramm „ProgRess“ beschlossen, das neben einer nachhaltigen stofflichen Nutzung abiotischer Rohstoffe (Erze, Industrie- und Baumineralien) und biotischer Rohstoffe (vor allem Holz) u.a. auf den Einsatz von Sekundärrohstoffen zur Substitution primärer Ressourcen abstellt. Die Fortschreibung erfolgte 2016 durch „ProgRess II“ und 2020 durch „ProgRess III“. Mit letztgenanntem Bericht wird die deutsche Ressourceneffizienzstrategie bis 2023 fortgeführt (BMU 2020).

Auch von den Unternehmen und Verbänden der Baustoff-Steine-Erden-Industrie werden seit Langem Projekte verfolgt, die sich neben der Rohstoffsicherung auf eine nachhaltige Rohstoffförderung, einen ökologisch wie wirtschaftlich sinnvollen Einsatz von Sekundärrohstoffen sowie den Naturschutz und die Artenvielfalt in den Abbaustätten der Branche beziehen. Ein wichtiges Beispiel ist die Gemeinsame Erklärung des Bundesverbandes Baustoffe – Steine und Erden (bbs), des Naturschutzbunds Deutschland (NABU) sowie der Industriegewerkschaften Bauen-Agrar-Umwelt (IG BAU) und Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE) zur Rohstoffnutzung in Deutschland, die in ähnlicher Form auch für die meisten Bundesländer vorliegt (Rohstoffnutzung in Deutschland 2004). Ein weiteres Beispiel sind die Monitoring-Berichte der Bauwirtschaft zur Verwertung von mineralischen Bauabfällen, die federführend vom bbs betreut werden (Kreislaufwirtschaft Bau 2021).

Die Baustoff-Steine-Erden-Industrie leistet entlang der gesamten Wertschöpfungskette Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung. Ihre Produkte sind unverzichtbar zur Umsetzung wichtiger politischer Ziele. Hierzu gehören z.B. der Umbau der Energieversorgung, die Modernisierung der Verkehrsinfrastruktur oder die Sanierung und der Neubau bezahlbaren Wohnraums. Darüber hinaus ist die industrielle Produktion in Deutschland auf heimische Rohstoffe angewiesen: Rund 80 % der Steine-Erden-Güter werden – bezogen auf den Produktionswert – in der Bauwirtschaft eingesetzt; etwa 20 % werden an industrielle Abnehmer wie die Chemie-, Stahl- oder Glasindustrie geliefert.

Bei der Interpretation der Daten ist zu berücksichtigen, dass einige Abweichungen im Vergleich zu den Vorgängerstudien bestehen. So wurden neben leichten empirischen Korrekturen z.B. in den Zeitreihen oder der Verwendungsstruktur der Rohstoffe die Annahmen des Modells modifiziert. Die beiden Szenarien, auf denen die Entwicklung in den Verbrauchssektoren fußt, wurden an die aktuelle volkswirtschaftliche Entwicklung angepasst, wobei die kurzfristigen Abschätzungen auch Sondereffekte im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie berücksichtigen. Bei den Sekundärrohstoffen sind im Zeitraum bis 2040 durch den eingeschlagenen Dekarbonisierungspfad der Volkswirtschaft tiefgreifende Änderungen zu erwarten. Mit dem Ausstieg aus der Kohleverstromung fallen bis Anfang der 30er Jahre die Kraftwerksnebenprodukte REA-Gips und Steinkohlenflugasche weg. Um das Aufkommen entsprechend berechnen zu können, greift die Studie auf die Annahmen aus dem Papier „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021) zurück, in dem, anders als im Rahmen des Kohleausstiegsgesetzes beschlossen, ein Ausstieg aus der Kohlverstromung bereits Anfang der 30er Jahre angenommen wird.² Erhebliche Auswirkungen auf das Sekundärrohstoffaufkommen sind auch mit Blick auf die Umstellung auf eine CO₂-neutrale Eisen- und Stahlindustrie zu erwarten: So wird bis 2045 auch das Aufkommen an Hochofenschlacken auf null sinken. Ebenfalls modifiziert wurden die Anpassungsfaktoren zur Umrechnung der Nachfrageentwicklung von Wertpfaden in Mengenpfade (vgl. Abschnitt 3.2).

² Das auf der Grundlage des Gutachtens „Wirtschaft, Strukturwandel und Beschäftigung“ (Kohlekommission; BMWi 2019) beschlossene Kohleausstiegsgesetz sieht eine Beendigung der Kohleverstromung spätestens 2038 vor. Vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele scheint ein früherer Kohleausstieg wahrscheinlich. Die amtierende Bundesregierung strebt einen Ausstieg „idealerweise bis 2030“ an (SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN UND FDP 2021).

2. ABSCHÄTZUNG DER VOLKSWIRTSCHAFTLICHEN RAHMENBEDINGUNGEN

Entscheidender Bestimmungsgrund für die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen ist die wirtschaftliche Entwicklung in den wichtigen Verbrauchssektoren. Über einen Zeitraum von fast 20 Jahren ist diese nicht im Sinne einer Prognose eines wahrscheinlichsten Pfades vorzuschätzen. Sinnvoll ist aber eine Orientierung an plausiblen Konstellationen der zukünftigen volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen in Form von alternativen Szenarien.

Die im Folgenden vorgestellten beiden Szenarien decken einen relevanten Bereich möglicher zukünftiger Konstellationen wirtschaftlicher Variablen ab, ohne jedoch die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung prognostizieren zu wollen und zu können. Keines der Szenarien ist also durch eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit herausgehoben. Auch sind Entwicklungen denkbar, bei denen die Wirtschaftsentwicklung außerhalb des mit den Szenarien abgegriffenen Bereichs verläuft.

Zur Erstellung der Szenarien wird in drei Schritten vorgegangen: Zunächst werden – ausgehend von der Beschreibung der demografischen Trends und der Darstellung von Leitgedanken der wirtschaftlichen Entwicklung – gesamtwirtschaftliche Szenarien formuliert, dabei ist die Entstehungsrechnung des Bruttoinlandsprodukts (BIP) mit der Verwendungsrechnung abgestimmt. In einem zweiten Schritt werden mit der gesamtwirtschaftlichen Verwendungsrechnung konsistente Szenarien der sektoralen Produktionsstruktur entwickelt; im dritten Schritt wird die Bauwirtschaft, deren Entwicklung die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen entscheidend bestimmt, schwerpunktmäßig betrachtet.

2.1 Szenarien der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung

Die Szenarien der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung gehen von Vorstellungen über den demographischen Wandel und das Arbeitskräfteangebot sowie den Produktivitätsfortschritt aus. Arbeitskräfteangebot und Arbeitsproduktivität bestimmen gemeinsam das Produktionspotenzial der Volkswirtschaft. Während die Vorstellungen über den demographischen Wandel aus vorliegenden Vorausschätzungen des Statistischen Bundesamtes übernommen werden, richten sich die Annahmen über die Entwicklung der Arbeitsproduktivität nach den Leitgedanken, die die beiden vorgestellten Szenarien prägen.

Die wesentlichen Treiber der Entwicklung der Arbeitsproduktivität sind die Kapital- und Infrastrukturausstattung der Volkswirtschaft, ihre Ausstattung mit Humankapital, der technische Fortschritt und die Gestaltung der Rahmenbedingungen.

- Der Anstieg der Arbeitsproduktivität wird zu einem guten Teil durch eine Erhöhung der Kapitalintensität³ erreicht (capital deepening). Das bedeutet, dass die in den Szenarien unterschiedliche Entwicklung der Investitionen Bedeutung für die Produktivitätsentwicklung hat. Auch die Infrastrukturausstattung und damit die Investitionen der öffentlichen Hand spielen für die Produktivitätsentwicklung eine wichtige Rolle.
- In quantitativer Hinsicht wird die Humankapitalausstattung der Volkswirtschaft auf der einen Seite durch das Arbeitskräfteangebot und die geleistete Arbeitszeit bestimmt. Auf der anderen Seite hängt das Humankapital von Qualitätsaspekten des Arbeitskräfteangebots,

³ Kapitalintensität = Kapitaleinsatz je Erwerbstätigen

insbesondere dem Qualifikationsniveau, ab. Schon heute herrschen auf dem Arbeitsmarkt Ungleichgewichte bei den Qualifikationsniveaus (insbesondere ein Mangel an Fachkräften), die auch in der Zukunft bestehen bleiben (Maier u.a. 2020). Aufgrund dieser Ungleichgewichte wird die Produktivitätsentwicklung tendenziell gedämpft.

- Deutschland hat gute Voraussetzungen dafür, die Arbeitsproduktivität durch Innovationen wie in der Vergangenheit zu steigern. Innovationsaktivitäten und ihr Erfolg hängen aber auch von der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung ab, die sich zwischen den Szenarien unterscheidet.

Es wird davon ausgegangen, dass die institutionellen Rahmenbedingungen wie die Wettbewerbsordnung so angepasst und weiterentwickelt werden, dass von daher keine Hemmnisse für die Produktivitätsentwicklung entstehen.

2.1.1 Demographischer Wandel

Die Entwicklung der Bevölkerungszahl und der Altersstruktur sind wesentliche Bestimmungsfaktoren der wirtschaftlichen Entwicklung. Auf der einen Seite bestimmen sie das Arbeitskräfteangebot und sind damit mitentscheidend für die Entwicklung des Produktionspotenzials. Auf der anderen Seite hängen auch die Höhe und Struktur der Nachfrage nicht zuletzt in Bereichen, die wie die Bauaktivität die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen bestimmen, von demographischen Entwicklungen ab.

Vorausschätzungen demographischer Entwicklungen können sich auf vergleichsweise stabile Trends von Geburtenraten und Lebenserwartung stützen, müssen aber auch schwer vorhersehbare Wanderungsbewegungen berücksichtigen.

Zum Jahresende 2020 lebten 83,2 Millionen Menschen in Deutschland (destatis 2021a). Seit 2011 bis 2019 hatte die Bevölkerung Deutschlands von 80,3 Millionen Personen auf 83,2 Millionen Personen zugenommen; im Jahr 2020 ist sie zum ersten Mal seit 2011 nicht gewachsen. Dafür ist zu einem Teil ein höherer Überschuss der Sterbefälle über die Zahl der Geburten, andererseits aber auch ein Rückgang der Nettozuwanderung (auf 209.000 Personen gegenüber

490.000 Personen im Durchschnitt 2011 bis 2019) ursächlich.

Die jüngste (14.) Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes stammt aus dem Jahr 2019; sie beruht auf dem Informationsstand des Jahres 2018 (destatis 2019a). Sie zeigt in einer Vielzahl von Varianten auf, wie sich die Bevölkerung in Abhängigkeit von den Geburtenraten, der Lebenserwartung und dem Wanderungssaldo entwickeln könnte.

Für die obere Variante der hier vorgelegten Szenarien wird eine moderate Entwicklung von Fertilität und Lebenserwartung angenommen, und der Zuwanderungssaldo beträgt durchschnittlich 221.000 Personen pro Jahr. Die Bevölkerung nimmt dann bis zum Jahr 2025 noch einmal um gut 300.000 Personen zu und geht danach zurück (Tabelle 1a). Im Jahr 2030 entspricht der Bevölkerungsstand annähernd dem des Jahres 2020, bis 2040 sinkt die Bevölkerungszahl auf unter 82 Millionen Personen, rund 1,3 Millionen weniger als 2020. Der Anteil der Bevölkerung im Erwerbsalter von 20 bis 67 Jahren geht kontinuierlich zurück. Von 63,3 % im Jahr 2020 sinkt er auf knapp 60 % im Jahr 2030 und auf knapp 57 % im Jahr 2040; das entspricht gegenüber 2020 einem Rückgang um 2,9 Millionen Personen bis 2030 und um weitere 3,2 Millionen Personen bis 2040.

Tabelle 1a: Bevölkerung - Obere Variante (in 1.000 Personen am Jahresende)

	2020	2025	2030	2035	2040
Bevölkerung insges.	83.155	83.464	83.104	82.585	81.881
Nachr.: Anteil 20-67-jährige	63,3 %	62,0 %	59,9 %	57,5 %	56,9 %

Quelle: destatis und eigene Schätzungen der DIW Econ

Tabelle 1b: Haushalte - Obere Variante (Anzahl in 1.000)

	2020	2025	2030	2035	2040
Privathaushalte	41.786	42.154	42.400	42.570	42.646
Nachr.: Anteil 1-Personen-Haushalte	42,1 %	42,7 %	43,4 %	44,3 %	45,3 %
Nachr.: Durchschnittliche Haushaltsgröße in Personen	1,99	1,98	1,96	1,94	1,92

Quelle: destatis und eigene Schätzungen der DIW Econ

Tabelle 1c: Erwerbspersonen - Obere Variante (in 1.000 Personen)

	2020	2025	2030	2035	2040
Erwerbspersonen	47.403	47.420	46.538	45.422	44.994

Quelle: destatis und eigene Schätzungen der DIW Econ

Es kann angenommen werden, dass bei einer weniger günstigen Wirtschaftsentwicklung in Deutschland der für das Arbeitskräfteangebot relevante Zuwanderungssaldo geringer ausfällt. Deshalb wird für die untere Variante der Szenarien eine schwächere Bevölkerungsentwicklung zugrunde gelegt. Bei demselben Geburtenverhalten und derselben Lebenserwartung wie in der oberen Variante beträgt der durchschnittliche jährliche Zuwanderungssaldo nur 147.000 Personen pro Jahr. Die Bevölkerungszahl sinkt dann schon bis 2030 unter den Stand des Jahres 2020 und geht bis 2040 weiter auf dann 80,5 Millionen Personen zurück; gegenüber dem Stand des Jahres 2020 sind das 2,6 Millionen Personen weniger (Tabelle 2a). Die geringeren Zuwanderungen bedeuten auch eine stärkere Alterung der Bevölkerung; der Anteil der Bevölkerung im Erwerbsalter (20 bis 67 Jahre) geht etwas stärker als in der oberen Variante auf 56,5 % im Jahr 2040 zurück. Dieser geringere Anteil und das niedrigere Bevölkerungswachstum führen dazu, dass die Bevölkerung im Erwerbsalter noch stärker zurückgeht als in der oberen Variante, nämlich um 3,1 Millionen Personen bis 2030 und um weitere 4 Millionen Personen bis 2040.

Vor allem für die Wohnungsbaunachfrage kommt es aber nicht nur auf die Entwicklung der Bevölkerungszahl an, sondern eher auf die Zahl der Haushalte. Hierbei wirkt sich ein langfristiger Trend zu kleineren Haushalten aus: Aufgrund steigender Lebenserwartung und späterer Familiengründung leben immer mehr jüngere und ältere Menschen allein.

Ausgehend von der Variante 2 der 14. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung hat das Statistische Bundesamt eine aktualisierte Haushaltsvorausschätzung vorgelegt, die zeigt, wie sich Zahl und Struktur der Privathaushalte zwischen 2019 und 2040 entwickeln könnten (destatis 2020a). Dabei werden eine Status-Quo-Variante mit unverändertem Haushaltsbildungsverhalten, wie es sich im Durchschnitt der Jahre 2016 bis 2018 darstellte,

und eine Trendvariante vorgestellt, welche die bisher beobachteten Trends in die Zukunft fortschreibt und bei der die Zahl der kleineren Haushalte weiter steigt.

Tabelle 2a: Bevölkerung - Untere Variante (in 1.000 Personen am Jahresende)

	2020	2025	2030	2035	2040
Bevölkerung insges.	83.155	83.462	82.878	81.801	80.512
Nachr.: Anteil 20-67-jährige	63,3 %	62,0 %	59,8 %	57,3 %	56,5 %

Quelle: destatis und eigene Schätzungen der DIW Econ

Tabelle 2b: Haushalte - Untere Variante (Anzahl in 1.000)

	2020	2025	2030	2035	2040
Privathaushalte	41.786	42.153	42.285	42.165	41.933
Nachr.: Anteil 1-Personen-Haushalte	42,1 %	42,7 %	43,4 %	44,3 %	45,3 %
Nachr.: Durchschnittliche Haushaltsgröße in Personen	1,99	1,98	1,96	1,94	1,92

Quelle: destatis und eigene Schätzungen der DIW Econ

Tabelle 2c: Erwerbspersonen - Untere Variante (in 1.000 Personen)

	2020	2025	2030	2035	2040
Erwerbspersonen	47.403	47.420	46.330	45.050	44.216

Quelle: destatis und eigene Schätzungen der DIW Econ

Für beide hier vorgelegten Szenarien wird von der durchschnittlichen Haushaltsgröße der Trendvariante ausgegangen. Sie sinkt von 1,99 Personen pro Haushalt im Jahr 2020 auf 1,96 Personen pro Haushalt im Jahr 2030 und auf 1,92 Personen pro Haushalt im Jahr 2040. Damit steigt in der oberen Variante der hier vorgelegten Szenarien die Zahl der Haushalte kontinuierlich von rund 41,8 Millionen im Jahr 2020 auf 42,4 Millionen im Jahr 2030 und auf 42,6 Millionen im Jahr 2040 an (Tabelle 1b). Davon sind im Jahr 2020 42,1 % Ein-Personen-Haushalte, im Jahr 2030 sind es 43,4 %, im Jahr 2040 45,3 %.

In der unteren Variante der hier vorgelegten Szenarien geht die Bevölkerungszahl stärker zurück als in der

oberen Variante (Tabelle 2b). Dementsprechend ist auch die Zahl der Haushalte geringer. Den Verlauf bis zum Jahr 2030 dominiert der Effekt der sinkenden Haushaltsgröße, die Zahl der Haushalte steigt und beträgt 2030 knapp 42,3 Millionen. Danach überwiegt die Wirkung des Rückgangs der Bevölkerung, und die Zahl der Haushalte geht bis zum Jahr 2040 auf rund 41,9 Millionen zurück.

Das zukünftige Arbeitskräfteangebot ergibt sich aus der Entwicklung der Bevölkerung und der Erwerbsbeteiligung der einzelnen Bevölkerungsgruppen. Auch hierzu liegen Vorausberechnungen des Statistischen Bundesamtes vor (destatis 2020b). Sie gehen ebenfalls von der 14. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung aus und berücksichtigen unterschiedliche Annahmen zu den Wanderungen und zum Erwerbsverhalten. Für die hier vorgelegte obere Szenarienvariante wird – wie bei der Bevölkerungsvorausberechnung – eine Modellrechnung der Erwerbspersonen mit moderater Entwicklung von Fertilität und Lebenserwartung und einem Zuwanderungssaldo von durchschnittlich 221.000 Personen pro Jahr zu Grunde gelegt. Für die Erwerbsbeteiligung wird angenommen, dass sie entsprechend den Trends der letzten Jahre weiter ansteigt. Die untere Variante der hier vorgelegten Szenarien unterscheidet sich davon – ebenfalls in Übereinstimmung mit der entsprechenden Bevölkerungsvorausberechnung – nur durch einen niedrigeren Wanderungssaldo, für die Erwerbsquoten wird dieselbe Entwicklung angenommen wie in der oberen Variante.

Nach der Erwerbstätigenvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes steigt die Zahl der Erwerbspersonen von 2020 bis 2025 bei hohem Zuwanderungssaldo noch geringfügig an, danach geht sie kontinuierlich zurück, und zwar bis zum Jahr 2030 um fast 0,9 Millionen Personen, bis 2035 um weitere 1,1 Millionen Personen und schließlich bis zum Jahr 2040 noch einmal um mehr als 0,4 Millionen Personen; im Jahr 2040 ist also die Zahl der Erwerbspersonen um 2,4 Millionen Personen niedriger als im Ausgangsjahr 2020 (Tabelle 1c). Bei niedrigerem Zuwanderungssaldo sinkt die Zahl der Erwerbspersonen noch stärker: von 2025 bis 2030 um 1,1 Millionen Personen, dann bis 2035 weiter um fast 1,3 Millionen Personen und im Jahrfünft danach noch einmal um gut 0,8 Millionen Personen, von 2020 bis 2040 beträgt der Rückgang fast 3,2 Millionen Personen (Tabelle 2c). Jüngst vorgelegte

Szenarienrechnungen des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit kommen zu dem Ergebnis, dass das Arbeitskräfteangebot erst mit einer Nettozuwanderung von 400.000 Personen pro Jahr stabilisiert werden kann (Fuchs u.a. 2021).

2.1.2 Leitgedanken der wirtschaftlichen Entwicklung

Die Unsicherheiten über die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung in Folge der Coronavirus-Pandemie sind immer noch groß. Die Maßnahmen zu ihrer Eindämmung haben im Jahr 2020 einen gravierenden Einbruch der Wirtschaftsaktivitäten in Deutschland und weltweit zur Folge gehabt. Die wirtschaftspolitischen Programme zur Stützung der Wirtschaft haben zudem zu gravierenden Veränderungen bisher stabiler Strukturrelationen zwischen ökonomischen Variablen geführt. Darüber, wie der weitere Weg aus dieser Krise verlaufen wird, herrscht Uneinigkeit.

Für die kurze Frist bis 2022 stützen sich die beiden hier vorgelegten Szenarien gleichermaßen auf die zum Zeitpunkt der Erstellung aktuelle Konjunkturprognose des DIW Berlin vom Sommer 2021 (DIW 2021). Für die Zeit danach wird angenommen, dass die Wirtschaft – je nach Szenario schneller oder langsamer – auf einen Pfad zurückkehrt, der den Leitlinien des jeweiligen Szenarios entspricht.

Schon vor der Coronavirus-Pandemie war zu erkennen, dass das in der Vergangenheit erfolgreiche exportorientierte Wachstumsmodell Deutschlands erheblichen Risiken ausgesetzt ist. Zu diesen Risiken gehören verschärfte Handelskonflikte, aber auch eine Re-Regionalisierung des Welthandels bei gleichzeitiger Gewichtsverlagerung nach Asien. Schon seit der Weltfinanzkrise nimmt das Wachstum des Welthandels im Verhältnis zur weltweiten Wirtschaftsleistung ab (UNCTAD 2021). Die in der Pandemie sichtbar gewordene Fragilität von Lieferketten könnte eine Rückverlagerung von Produktionsprozessen befördern. Weitere Risiken der weltwirtschaftlichen Entwicklung ergeben sich aus Konflikten auf nationaler und internationaler Ebene etwa aufgrund von Ungleichheiten bei der Einkommensverteilung und zunehmender Umweltprobleme.

Mit dem Klimaschutzgesetz 2021 hat Deutschland sich auf eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 46 % gegenüber 2019 und auf Klimaneutralität bis 2045 festgelegt. Es wird geschätzt, dass dafür bis 2030 Investitionen von rund 100 Mrd. Euro pro Jahr zu Preisen von 2019 - entsprechend 2,5 % des Bruttoinlandsprodukts - erforderlich sind; für die öffentliche Hand entsteht durch die Umsetzung des Klimaschutzgesetzes im Jahr 2030 ein zusätzlicher Finanzierungsbedarf von annähernd 50 Mrd. Euro (BCG 2021).

In einer oberen Variante der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung bleiben negative Entwicklungen des Welthandels begrenzt und Deutschland kann nach der schnellen Überwindung der Folgen der Pandemie aufgrund seiner günstigen Wirtschaftsstruktur mit leistungsfähigem industriellem Kern unter Nutzung der Chancen der Digitalisierung einen im Außenhandel positiven Wachstumsbeitrag erzielen, wenn dieser auch schwächer ausfällt als in der Vergangenheit. Die schwächeren Wachstumsimpulse aus dem Export werden durch ein höheres Gewicht der Binnennachfrage ausgeglichen. Die Klimaschutzpolitik ist international koordiniert, sodass die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen nicht beeinträchtigt wird und sie durch zusätzliche Exportchancen profitieren können (Banning u.a. 2021).

Für die wirtschaftlichen Akteursgruppen bedeutet dies:

- Die privaten Haushalte weiten bei stabiler wirtschaftlicher Entwicklung und hoher Beschäftigung und damit einhergehenden Reallohnsteigerungen sowie angesichts innovativer Produkte ihre Konsumausgaben etwa im Gleichschritt mit dem Bruttoinlandsprodukt aus.
 - Auf der Basis einer günstigen Einnahmeentwicklung können die Gebietskörperschaften ihre Investitionen ausweiten, den Nachhol- und Erweiterungsbedarf bei der Infrastruktur einschließlich der digitalen Infrastruktur decken und dabei zu einem ausgeglichenen Haushalt zurückkehren.
 - Die Unternehmen investieren bei hoher Kapazitätsauslastung kräftig in Erneuerung und Erweiterung ihrer Produktionsanlagen. Sie nutzen die Chancen der Digitalisierung. Die Innovationsrate ist hoch. Das stärkt die Position im Qualitätswettbewerb und führt zu kräftigen Produktivitätssteigerungen.
 - Die Importe steigen schneller als die Exporte, der geringere Außenhandelsüberschuss verringert den internationalen Druck auf Deutschland zur Dämpfung seiner Exporte.
- Eine kontrastierende untere Variante ist durch verschärfte Handelskonflikte und erneute Wirtschaftskrisen bestimmt. Das bedeutet:
- Die Globalisierung verliert an Dynamik und das Wachstum der Schwellenländer verläuft gedämpft. Die weltwirtschaftliche Entwicklung ist in den kommenden Jahren wieder durch Krisen geprägt, bei eingeschränkten Interventionsmöglichkeiten der Geldpolitik. Die verlangsamte Welthandelsentwicklung dämpft die Entwicklung der deutschen Exporte. Zudem verliert Deutschland im schärfer werdenden internationalen Wettbewerb Welt handelsanteile.
 - Die gedämpfte Wirtschaftsentwicklung führt dazu, dass die Staatseinnahmen nur langsam wachsen. Um das Finanzierungsdefizit allmählich zu verringern, müssen die Staatsausgaben eingeschränkt werden. Das führt zu einer weiteren Abnutzung und eingeschränkten Leistungsfähigkeit der Infrastruktur und dämpft die wirtschaftliche Entwicklung weiter. Zudem leidet die Leistungsfähigkeit des Bildungs- und Ausbildungssystems.
 - Die Investitionstätigkeit der Unternehmen ist gering: Erweiterungsinvestitionen unterbleiben, Ersatzinvestitionen werden vernachlässigt. Auch die Innovationsaktivität ist niedrig. Ergebnis sind eine gedämpfte Produktivitätsentwicklung und ein niedriger Wachstumspfad.
 - Deutschland kann die Chancen seiner ambitionierten Klimaschutzpolitik nicht ausreichend nutzen; die finanziellen Belastungen hemmen private und öffentliche Investitions- und Innovationsanstrengungen.
 - Entsprechend dem geringen Wirtschaftswachstum bleibt die Entwicklung der Lohn- und Transfereinkommen schwach. Trotz des knapper werdenden Arbeitskräfteangebots können die Arbeitnehmer ihren Einkommensanteil nicht wesentlich steigern. Die Schwäche der Auslandsnachfrage wird nicht durch eine stärkere Binnennachfrage kompensiert.

2.1.3 Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsproduktes

Der Schlüssel zum hohen und stetigen Wirtschaftswachstum in der oberen Variante ist ein kräftiger Anstieg der Produktivität pro Arbeitsstunde; hinzu kommen ein Abbau der Arbeitslosigkeit und eine – moderate – Ausweitung der durchschnittlich geleisteten Arbeitszeit, die das Arbeitsvolumen, das zur Verfügung steht, erhöhen.

Die Arbeitsproduktivität je Erwerbstätigenstunde hat von 1991 bis 2020 um durchschnittlich 1,2 % pro Jahr zugenommen; bis vor der Finanzkrise (2007) betrug der Anstieg seit 1991 fast 1,7 % pro Jahr, danach (2007 bis 2020) schwächte sich der Produktivitätsfortschritt auf 0,6 % pro Jahr ab (destatis 2021c). Dafür werden zahlreiche Gründe diskutiert, darunter neben inter- und intrasektoralen Struktureffekten prominent die in Deutschland geringen Produktivitätsgewinne aufgrund der Vernachlässigung der Digitalisierung (ifw 2017). Ob die Corona-Krise nach ihrer Überwindung einen Produktivitätsschub auslösen kann, ist offen (BMWi 2020).

Für die obere Variante wird angenommen, dass die Zunahme der Stundenproduktivität in der Zukunft infolge verstärkter Innovationen durch Nutzung der Chancen der Digitalisierung – auch in Dienstleistungsbereichen – bei hohen privaten und öffentlichen Investitionen an die Entwicklung bis zur Weltfinanzkrise anknüpft und pro Jahr zwischen 1,7 % und 1,8 % beträgt; für die Jahre bis 2022 sind aktuelle Prognosen (DIW 2021) berücksichtigt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Entstehung des Bruttoinlandsproduktes - Obere Variante (durchschnittliche jährliche Veränderungsraten in %)

	2025/ 2020	2030/ 2025	2035/ 2030	2040/ 2035
Erwerbspersonen	0,0	-0,4	-0,5	-0,2
Erwerbstätige	0,2	-0,1	-0,2	-0,1
BIP	2,6	1,7	1,7	1,6
Personenproduktivität	2,4	1,9	1,9	1,8
Durchschnittliche Arbeitszeit	0,7	0,1	0,1	0,1
Arbeitsvolumen	0,9	0,0	-0,1	-0,1
Stundenproduktivität	1,7	1,8	1,8	1,7

Quelle: Szenarienrechnungen der DIW Econ

Die durchschnittlich geleistete Arbeitszeit ist in der Vergangenheit stetig zurückgegangen: von 1991 bis 2019 um fast 173 Stunden pro Jahr, das sind insgesamt gut 11 % oder knapp 0,6 % pro Jahr. Von 2019 auf 2020 sanken durch die massive Ausweitung der Kurzarbeit in der Pandemie die durchschnittlich geleisteten Arbeitsstunden je Erwerbstätigen um 57,3 Stunden (4,1 %) (destatis 2021c). Eine bedeutende Rolle hat bei der langfristigen Abnahme der durchschnittlichen Arbeitszeit die Ausweitung der Teilzeitarbeit gespielt. Etwa die Hälfte der berufstätigen Frauen arbeiten in Teilzeit; dadurch liegt ihre durchschnittliche Wochenarbeitszeit um fast ein Viertel unter der von Männern. Ein Fünftel aller Zeitarbeitskräfte gibt an, die Arbeitszeit ausweiten zu wollen (Fuchs u.a. 2019), dieser Wunsch ist bei Frauen stärker verbreitet als bei Männern (Blömer u.a. 2021).

Für die Zukunft wird angenommen, dass – auch aufgrund verbesserter Möglichkeiten zur Vereinbarkeit von Beruf und Familie – die durchschnittliche Arbeitszeit nicht weiter abnimmt. In der oberen Variante erreicht sie bis 2025 wieder den Wert, den sie vor der Pandemie hatte, danach steigt sie unter dem Druck der stärkeren Anspannung auf dem Arbeitsmarkt mit 0,1 % pro Jahr moderat an und liegt 2040 um 20 Stunden pro Jahr über dem Wert des Jahres 2025.

Die Arbeitslosigkeit geht in der oberen Variante bis 2025 zunächst nur langsam, danach – bei zunehmender Anspannung auf dem Arbeitsmarkt – kräftig zurück; im Jahr 2030 sind 1,8 Millionen Personen arbeitslos, das entspricht einer Arbeitslosenquote von 5 %. Im Jahr 2040 gibt es 1 Million Arbeitslose und eine Arbeitslosenquote von 2,3 %. Für eine Aktivierung von Arbeitslosen in diesem Umfang sind Qualifizierungsmaßnahmen in erheblicher Größenordnung Voraussetzung.

Die dargestellte Entwicklung von Arbeitsvolumen und Stundenproduktivität ermöglicht – nach einem realen Wirtschaftswachstum von 1,9 % pro Jahr im Zeitraum von 2010 bis 2019 (destatis 2021c) – auch bei schrumpfendem Arbeitskräfteangebot nach der Überwindung der Corona-Krise im darauffolgenden 15-Jahreszeitraum eine Wachstumsrate in einer ähnlichen Größenordnung zwischen 1,7 % und 1,8 % pro Jahr.

Wie bei der Entstehung des Bruttoinlandsprodukts kommen auch bei seiner Verwendung bis zum Jahr 2025 Nachholeffekte nach der Corona-Pandemie zum Tragen. Der private Verbrauch in realer Rechnung steigt in der oberen Variante zu Beginn der 2020er Jahre deutlich schneller, danach etwas weniger schnell als das Bruttoinlandsprodukt (Tabelle 4); da die Bevölkerung schrumpft, liegt der Anstieg des Pro-Kopf-Konsums aber etwas über der BIP-Wachstumsrate.

Tabelle 4: Verwendung des realen Bruttoinlandsprodukts - Obere Variante (durchschnittliche jährliche Veränderungsrate in %)

	2025/ 2020	2030/ 2025	2035/ 2030	2040/ 2035
Privater Verbrauch	2,9	1,6	1,6	1,6
Staatsverbrauch	1,6	1,6	1,6	1,6
Anlageinvestitionen	3,5	2,3	1,9	1,7
Exporte	5,2	3,2	3,2	3,2
Importe	6,2	3,4	3,3	3,3
BIP	2,6	1,7	1,7	1,6

Quelle: Szenarienrechnungen der DIW Econ

Der Staatsverbrauch, der im Zusammenhang mit der Bekämpfung der Folgen des Lockdowns kräftig gestiegen ist, wird danach mit einer Rate ausgeweitet, die in etwa der des privaten Verbrauchs und dem Wachstumstrend entspricht.

Die Entwicklung der Anlageinvestitionen ist entsprechend den Leitgedanken dieses Szenarios durch eine hohe Dynamik gekennzeichnet. Die Investitionsquote liegt im Jahr 2030 mit 23,3 % um fast zwei Prozentpunkte über dem Wert vor Ausbruch der Pandemie und verbleibt auch danach auf diesem Niveau. Damit wird dem hohen Erneuerungs- und Erweiterungsbedarf bei der Infrastruktur Rechnung getragen.

Nach den Annahmen der oberen Variante wird Deutschland von einer raschen Wiederbelebung des internationalen Handels profitieren und die krisenbedingten Rückgänge bei den Exporten in der ersten Hälfte der 2020er Jahre wieder ausgleichen. Danach behauptet Deutschland mit einer realen Wachstumsrate der Exporte von 3,2 % pro Jahr seinen Anteil am Welthandel.

Stärker als in der Vergangenheit werden die Exporterlöse

für den Kauf ausländischer Waren und Dienstleistungen verwendet: Die Importe nehmen in realer Rechnung schneller zu als die Exporte. Der reale Außenbeitrag sinkt deswegen in Relation zum BIP von 4,9 % im Jahr 2020 auf 3 % ab 2030.

In der unteren Variante geht aufgrund des geringeren Zuwanderungssaldos das Arbeitskräfteangebot stärker zurück als in der oberen Variante (Tabelle 5). Zudem wird die durchschnittlich geleistete Arbeitszeit weniger stark ausgeweitet, weil der Druck von der Nachfrageseite des Arbeitsmarktes geringer ist. Schließlich können auch Arbeitskräfte aus der Arbeitslosigkeit nicht im selben Umfang mobilisiert werden wie in der oberen Variante; die Arbeitslosigkeit verharrt trotz des zurückgehenden Arbeitskräfteangebots im Jahr 2030 bei über zwei und im Jahr 2040 noch bei über 1,5 Millionen Personen. Hinzu kommt, dass mit nur schwach steigenden Staatsausgaben auch Qualifizierungsdefizite entstehen. Insgesamt werden die Wachstumsaussichten in der unteren Variante durch eine unzureichende Humankapitalausstattung der Volkswirtschaft gedämpft.

Tabelle 5: Entstehung des Bruttoinlandsprodukts - Untere Variante (durchschnittliche jährliche Veränderungsrate in %)

	2025/ 2020	2030/ 2025	2035/ 2030	2040/ 2035
Erwerbspersonen	0,0	-0,5	-0,6	-0,4
Erwerbstätige	0,0	-0,2	-0,3	-0,3
BIP	2,0	0,8	0,7	0,6
Personenproduktivität	2,0	1,1	1,0	1,0
Durchschnittliche Arbeitszeit	0,6	0,1	0,1	0,1
Arbeitsvolumen	0,6	-0,2	-0,2	-0,3
Stundenproduktivität	1,4	1,0	1,0	0,9

Quelle: Szenarienrechnungen der DIW Econ

Die Investitions- und Innovationsaktivitäten fallen in der unteren Variante schwach aus, das dämpft den Produktivitätsfortschritt. Der Anstieg der Produktivität pro Arbeitsstunde liegt in der Größenordnung von einem Prozent pro Jahr; er liegt damit zwar deutlich über der Rate des Produktivitätsfortschritts von durchschnittlich 0,6 % pro Jahr, die von 2007 bis 2020 erreicht wurde, kann aber anders als in der oberen Variante nicht an die Rate vor der Finanzkrise von 1,7 % pro Jahr anknüpfen.

Auf der Nachfrageseite wirken sich die in der unteren Variante stärkeren Hemmnisse beim internationalen Handel dämpfend auf die Entwicklung der deutschen Exporte aus (Tabelle 6). Aber auch das Wachstum der Importe verläuft schwächer als in der oberen Variante; der Anteil des Außenbeitrags am – in der unteren Variante niedrigeren – BIP liegt 2030 in realer Rechnung in einer ähnlichen Größenordnung wie in der oberen Variante, geht danach aber noch weiter zurück.

Tabelle 6: Verwendung des realen Bruttoinlandsprodukts - Untere Variante (durchschnittliche jährliche Veränderungsrate in %)

	2025/ 2020	2030/ 2025	2035/ 2030	2040/ 2035
Privater Verbrauch	2,4	0,9	0,8	0,7
Staatsverbrauch	1,3	0,9	0,8	0,7
Anlageinvestitionen	2,4	0,8	0,6	0,5
Exporte	4,8	2,1	1,9	1,7
Importe	5,9	2,3	2,0	1,8
BIP	2,0	0,8	0,7	0,6

Quelle: Szenarienrechnungen der DIW Econ

Dem geringeren Gewicht des Außenhandels steht – wie in der oberen Variante – ein höheres der inländischen Nachfrage gegenüber; der Anteil der inländischen Verwendungskomponenten (privater Verbrauch, Staatsverbrauch, Anlageinvestitionen) nimmt bis 2040 gegenüber 2019 in dem Maße (um 3 Prozentpunkte) zu, wie das Gewicht des Außenbeitrags zurückgeht. Dabei stabilisieren die öffentlichen Ausgaben und der private Verbrauch mit Zuwachsraten über der des BIP die Nachfrage, während sich die Unternehmen angesichts gedämpfter Absatzerwartungen bei den Anlageinvestitionen zurückhalten.

2.2 Entwicklung der industriellen Produktion

Seit der Wiedervereinigung ist die Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes an der deutschen Wirtschaft zurückgegangen. Im Jahr 1991 machte die Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes 27,3 % der gesamten Wertschöpfung aus, im Jahr 2019 waren es 21,5 % (destatis 2021c). Spiegelbildlich dazu ist die Bedeutung der Dienstleistungsbereiche gestiegen (von 61,9 % im Jahr 1991 auf 69,2 % im Jahr 2019). Im internationalen Vergleich hat Deutschland aber immer

noch einen starken industriellen Sektor. Mit einem Anteil von 19,4 % der Wertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes am BIP rangiert Deutschland 2019 vor anderen vergleichbaren Ländern; der entsprechende Anteil Schwedens z.B. liegt bei 12,8 %, der Anteil Frankreichs bei 9,4 % und der des Vereinigten Königreichs bei 8,7 % (World Bank 2021).

Der Erhalt eines starken Industriesektors auch in Zukunft gilt als eine entscheidende Voraussetzung für den Wohlstand in Deutschland (Belitz, Gornig 2021). Dabei ist die Anpassung der Industriestruktur an neue Herausforderungen wie demographische Veränderungen, Strukturverschiebungen des internationalen Handels, die Einhaltung der internationalen und nationalen Verpflichtungen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und die Notwendigkeit zu einer beschleunigten umfassenden Digitalisierung erforderlich. Dafür bietet die deutsche Industrie mit ihrer Ausrichtung auf forschungsintensive Güter gute Voraussetzungen. Die Szenarien implizieren deshalb für die Zukunft eine weiterhin hohe und sogar wieder etwas steigende Bedeutung der Industrie; das betrifft aber nicht alle industriellen Sektoren gleichmäßig.

Die Entwicklung der Produktion in den Wirtschaftssektoren kann aus der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung der Verwendungskomponenten des BIPs mit Hilfe der Input-Output-Rechnung konsistent abgeleitet werden. Sie zeigt, welche Produktion in den inländischen Wirtschaftsbereichen erforderlich ist, um die gesamtwirtschaftliche Nachfrage – wie sie in den Verwendungskomponenten des BIPs zum Ausdruck kommt – zu befriedigen. Die Entwicklung der Produktion kann dann zur Abschätzung der Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen verwendet werden.

Allerdings werden in der vorliegenden Studie die sektoralen Lieferstrukturen der Endnachfrage und die Struktur der intraindustriellen Vorleistungsverflechtung des Jahres 2017 beibehalten. Unberücksichtigt bleiben damit mögliche Strukturänderungen, etwa Präferenzänderungen der Endnachfrager, Tendenzen der De-Materialisierung der Produktion oder eine veränderte internationale Arbeitsteilung. Um solche Veränderungen zu erfassen, werden die Ergebnisse der Input-Output-Rechnung mit Hilfe von Elastizitäten der sektoralen Produktionswerte in Bezug auf die gesamte Bruttoproduktion aller Sektoren, die aus der Vergangenheitsentwicklung abgeleitet sind, angepasst.

Für die zukünftige Nachfrage nach Steine-Erden-Gütern ist die wirtschaftliche Entwicklung in den jeweiligen Abnehmersektoren relevant. Rund 80 % der jährlich gewonnenen Steine-Erden-Rohstoffe werden – großteils nach ihrer Verarbeitung zu Baustoffen – in der Bauwirtschaft eingesetzt. Aber auch für zahlreiche Industriesektoren ist die Steine-Erden-Industrie als Zulieferer von Bedeutung:

- Ein wichtiger Abnehmer von Steine-Erden-Rohstoffen ist die Eisen- und Stahlindustrie. Dort werden Kalkstein und Branntkalk u.a. zum Stückigmachen des Erzes und im Hochofen zum Binden von Nebenbestandteilen des Erzes eingesetzt; die dabei entstehenden Schlacken werden im Wesentlichen in der Zementindustrie verwendet und können in Teilen Zementklinker ersetzen. Die Gießerei-Industrie ist ein wichtiger Abnehmer von Sand für Gießformen.
- In der chemischen Industrie werden Steine-Erden-Rohstoffe in zahlreichen Anwendungen eingesetzt, u.a. als Füllstoffe etwa bei der Herstellung von Farben, Lacken und Leimen, kosmetischen und pharmazeutischen Produkten sowie Kunststoffen. Außerdem werden dort Kalk- und Kalkstein sowie Gips, aber auch Industriemineralien wie Bentonit und Kiesel Erde verwendet.
- Die Glasindustrie verwendet als Grundstoff vor allem Quarzsand, aber in geringen Mengen auch Kalk- und Dolomitstein.
- Daneben verwenden zahlreiche weitere Industriezweige Steine-Erden-Rohstoffe in unterschiedlichen Mengen, z.B. die Papier-, Elektro- und Ernährungsindustrie. Außerhalb der Industrie werden etwa in der Landwirtschaft Kalk- und Kalkstein zur Neutralisierung saurer Böden und als Düngemittel verwandt. Auch kalkhaltige Schlacken aus der Stahlherstellung finden dafür Verwendung.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Studie ist – neben der Entwicklung des Bauvolumens (siehe Kapitel 2.3) – deshalb vor allem die mengenmäßige Produktion folgender

Gütergruppen relevant: Eisen/Stahl, chemische Erzeugnisse, landwirtschaftliche Erzeugnisse, mineralische Bau- und Rohstoffe sowie Glas.

Insgesamt steigt die Bruttoproduktion aller Wirtschaftsbereiche in der oberen Variante stärker an als das Bruttoinlandsprodukt (Tabelle 7).⁴ Unter den für die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen besonders bedeutenden Gütergruppen entwickelt sich aufgrund der überdurchschnittlich stark steigenden Baunachfrage die Produktion vor allem von Glas, aber auch von Eisen und Stahl überproportional, während die Produktion von chemischen Erzeugnissen etwas unterdurchschnittlich zunimmt. Die landwirtschaftliche Produktion steigt nur langsam an.

Tabelle 7: Entwicklung der Bruttoproduktion - Obere Variante (zu konstanten Preisen, durchschnittliche jährliche Veränderungsrate in %)

	2025/ 2020	2030/ 2025	2035/ 2030	2040/ 2035
Eisen/Stahl	3,2	2,1	2,0	2,0
Chemische Erzeugnisse	2,3	1,5	1,5	1,5
Landwirtschaftliche Erzeugnisse	1,0	0,6	0,6	0,6
Mineralische Bau- und Rohstoffe	3,2	2,2	1,9	1,8
Glas	3,8	2,4	2,4	2,4
Erzeugnisse/Leistungen übriger Bereiche	2,9	1,9	1,9	1,9
Insgesamt	2,9	1,9	1,9	1,8

Quelle: Szenarienrechnungen der DIW Econ

In der unteren Variante wächst die Bruttoproduktion entsprechend der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung deutlich schwächer als in der oberen Variante, insgesamt aber auch hier etwas schneller als das Bruttoinlandsprodukt (Tabelle 8). Die Wachstumsunterschiede zwischen den ausgewiesenen Sektoren zeigen bei etwas geringerer Spreizung ein ähnliches Muster wie in der oberen Variante.

⁴ Die Bruttoproduktion setzt sich von der Aufkommenseite aus der Wertschöpfung, die in der Summe der Sektoren dem BIP entspricht, und den inländischen und importierten Vorleistungen zusammen. Wenn aufgrund zunehmender Arbeitsteilung der Vorleistungsanteil steigt, wächst die Bruttoproduktion schneller als die Wertschöpfung.

Tabelle 8: Entwicklung der Bruttonproduktion - Untere Variante (zu konstanten Preisen, durchschnittliche jährliche Veränderungsrate in %)

	2025/ 2020	2030/ 2025	2035/ 2030	2040/ 2035
Eisen/Stahl	2,4	1,1	1,0	0,9
Chemische Erzeugnisse	2,1	0,9	0,9	0,8
Landwirtschaftliche Erzeugnisse	0,9	0,4	0,3	0,3
Mineralische Bau- und Rohstoffe	2,2	0,9	0,8	0,7
Glas	2,9	1,3	1,2	1,1
Erzeugnisse/Leistungen übriger Bereiche	2,4	1,1	1,0	0,8
Insgesamt	2,4	1,0	0,9	0,8

Quelle: Szenarienrechnungen der DIW Econ

Die zukünftige Nachfrage nach Steine-Erden-Rohstoffen in Mengeneinheiten kann nicht unmittelbar aus der wertmäßigen Veränderung der Bruttonproduktion, wie sie oben dargestellt worden ist, abgeleitet werden, da ein Teil des Wachstums auf Qualitätssteigerungen und intrasektorem Strukturwandel sowie Steigerungen der Materialeffizienz einzelner Prozesse beruht. In Kapitel 3.2 werden daher Anpassungsfaktoren abgeleitet, die den daraus resultierenden Anstieg der Materialproduktivität widerspiegeln.

2.3 Entwicklungstrends des Bauvolumens

2.3.1 Konzeptionelle Vorüberlegungen

Die Nachfrage nach Steine-Erden-Rohstoffen wird in hohem Maße durch die Bauwirtschaft bestimmt. Die möglichen Entwicklungstrends der Bauwirtschaft sollen daher hier gesondert analysiert werden. Dabei bezieht sich die Analyse nicht allein auf die Entwicklungstrends des Sektors Baugewerbe, sondern auf das viel weiter gefasste Bauvolumen⁵.

Das DIW Berlin führt zudem seit längerem im Hochbau jährliche Berechnungen durch, mit denen die Entwicklung

im Neubaubereich gesondert betrachtet werden kann (zuletzt: Gornig et al. 2021a). Kern der Berechnungen sind Informationen aus der Bautätigkeitsstatistik. Die zentralen Ausgangsgrößen sind Angaben zu den veranschlagten reinen Baukosten der im jeweiligen Jahr genehmigten und der fertiggestellten Bauten. Unterschieden wird dabei zwischen Wohnungsneubau und Neubau im gewerblichen und öffentlichen Hochbau.

Aus den beschriebenen Berechnungen zur Neubautätigkeit im Hochbau lässt sich indirekt auf den Umfang der Bauleistungen an vorhandenen Gebäuden schließen. Da im Hochbau konzeptionell das Neubauvolumen genauso definiert ist wie das gesamte Bauvolumen, errechnen sich die Maßnahmen am Gebäudebestand aus der Differenz zwischen gesamtem Bauvolumen und Neubauvolumen. Diese Bestandsleistungen umfassen sowohl Um- und Ausbaumaßnahmen als auch Modernisierungen und Instandsetzungen von vorhandenen Gebäuden.

Für die Szenarien können somit folgende vier Bereiche des Bauvolumens gesondert abgebildet werden:

- Neubau im Wohnungsbau,
- Neubau von Nichtwohngebäuden,
- Maßnahmen im Gebäudebestand,
- Tiefbaumaßnahmen.

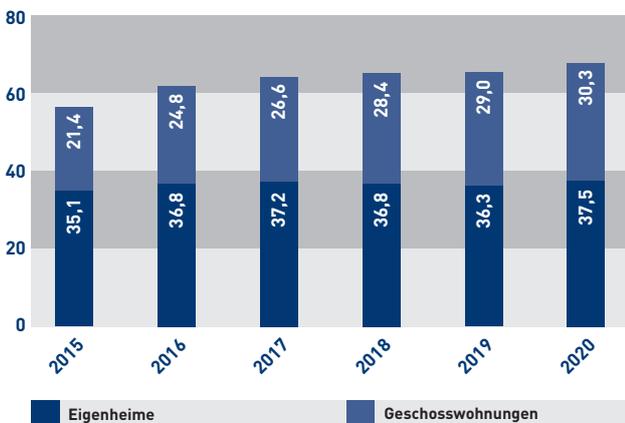
Die im Folgenden dargestellten Projektionen schließen an die derzeitige Entwicklung an und schreiben sie bis 2023 fort. Die Fortschreibung basiert auf den aktuellen Konjunkturprognosen des DIW Berlin für die Gesamtwirtschaft (DIW 2021) und das Bauvolumen (Gornig et al. 2021b). Ab 2023 werden die Entwicklungen in den vier genannten Baubereichen auf der Basis von Leitindikatoren zur gesamtwirtschaftlichen und demographischen Entwicklung abgeschätzt. Unterschieden wird dabei entsprechend den unterschiedlichen Rahmendaten zwischen einer unteren und einer oberen Variante.

⁵ Das Bauvolumen ist definiert als die Summe aller Leistungen, die auf die Herstellung oder Erhaltung von Gebäuden und Bauwerken gerichtet sind. Insofern geht der Nachweis über die vom Statistischen Bundesamt berechneten Bauinvestitionen hinaus, denn bei den Investitionen bleiben konsumtive Bauleistungen unberücksichtigt – dies sind vor allem nicht werterhöhende Reparaturen (d. h. Instandsetzungsleistungen des Bauhaupt- und Ausbaugewerbes). Das Bauvolumen umfasst auf der Entstehungsseite Leistungen des Bauhauptgewerbes und des Ausbaugewerbes sowie alle übrigen baurelevanten Produktionsbeiträge anderer Wirtschaftsbereiche.

2.3.2 Wohnungsneubau

Das Neubauvolumen im Wohnungsbau in Deutschland war nach dem Vereinigungsboom in den 1990er Jahren stark rückläufig. Besonders stark war der Rückgang der Neubautätigkeit im Eigenheimbau. Auch im Geschosswohnungsbau ist der Trend insgesamt negativ gewesen. Ab 2010 allerdings nahm die Neubautätigkeit wieder deutlich zu. Getragen wurde die Aufwärtsbewegung durch den Geschosswohnungsneubau (bbs 2019).

Abb. 1: Wohnungsneubau (in Mrd. Euro; in Preisen von 2015)



Quelle: Bauvolumensrechnung des DIW Berlin

Der Geschosswohnungsneubau erreichte dann 2015 ein Volumen von mehr als 21 Mrd. Euro. Bis 2018 nahm er noch dynamisch zu, in Preisen von 2015 auf nahe 29 Mrd. Euro. 2020 liegt das Neubauvolumen bei real gut 30 Mrd. Euro. Beim Neubau von Eigenheimen war seit 2015 die Dynamik deutlich geringer - 2020 lag das Neubauvolumen dort bei 37,5 Mrd. Euro und damit real um nur 2,4 Mrd. Euro höher als 2015.

Das DIW Berlin rechnet auch in den nächsten Jahren mit einer Steigerung der Neubautätigkeit im Wohnungsbau (Gornig et al. 2021b). Insbesondere der Zuzug in die Metropolen in den vergangenen Jahren sorgt trotz der Corona-Krise für aktuell immer noch steigende Mieten und Immobilienpreise (Kholodilin/Michelsen 2020). Aber auch die günstigen Finanzierungsbedingungen stützen die Wohnungsbautätigkeit weiterhin.

Die Überlegungen zur langfristigen Entwicklung der Neubautätigkeit im Wohnungsbau hängen wesentlich von

der erwarteten Veränderung des Bevölkerungsniveaus und der Zahl der Haushalte ab (N-Bank 2021). Bei der in den gesamtwirtschaftlichen Projektionen verwendeten aktualisierten Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes steigt die Bevölkerungszahl zunächst noch an. Zwischen 2025 und 2040 nimmt das Bevölkerungsvolumen dann ab: bei geringeren Zuwanderungen in der unteren Variante auf 80,5 Mio. Personen und in der oberen Variante auf knapp 82 Mio. Personen.

Die Zahl der Haushalte allerdings dürfte in beiden Fällen aufgrund von Veränderungen im Altersaufbau der Bevölkerung und fortgesetzter sozioökonomischer Einflüsse auch dann zunächst weiter steigen. Unter den Bedingungen der genannten oberen Variante der Bevölkerungsprognose würde die Zahl der Haushalte in Deutschland mit 42,6 Mio. sogar 2040 noch höher liegen als 2020 mit 41,8 Mio. In der unteren Variante würde ab 2030 dagegen die Zahl der Haushalte wieder auf das Ausgangsniveau 2020 zurückgehen.

Tabelle 9: Bauvolumen im Wohnungsneubau

	2020	2025	2030	2035	2040
Untere Variante					
Mrd. Euro real in Preisen von 2015	67,8	71,7	72,9	73,1	73,3
Veränderung zu 2020 in %		5,7	7,4	7,7	8,0
- Euro je Einwohner	816	859	879	893	910
- Euro je Haushalt	1.624	1.702	1.723	1.733	1.748
- in % des BIP	2,20	2,11	2,06	1,99	1,94
Obere Variante					
Mrd. Euro real in Preisen von 2015	67,8	74,0	79,6	82,7	85,8
Veränderung zu 2020 in %		9,1	17,3	21,9	26,1
- Euro je Einwohner	816	887	958	1.001	1.044
- Euro je Haushalt	1.624	1.756	1.877	1.942	2.005
- in % des BIP	2,20	2,12	2,09	2,00	1,91

Quelle: Szenarienrechnung der DIW Econ

Untere Variante:

Auch unter den ungünstigeren Rahmenbedingungen des pessimistischen Szenarios wird die Neubautätigkeit im Wohnungsbau zunächst weiter spürbar zunehmen. In den folgenden Perioden wird damit gerechnet, dass das Volumen auf hohem Niveau verbleibt. Je Haushalt gerechnet wird ab diesem Zeitpunkt aber kaum mehr in den Neubau investiert. Ein Grund hierfür liegt in der erwarteten

Hinwendung zum Geschosswohnungsbau. Die verwendeten Investitionssummen steigen aufgrund verringerter Wohnungsgrößen in dieser Variante unterproportional zu den Wohneinheiten. Es wird davon ausgegangen, dass wegen der schwachen Einkommensentwicklung ein Teil des Neubaubedarfs nicht realisiert wird.

Obere Variante:

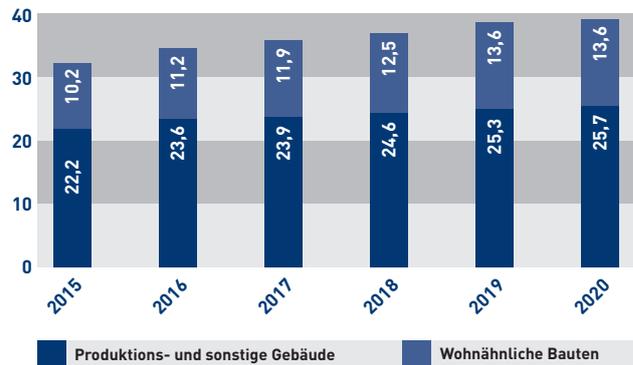
Die Zunahme der Wohnungsbauinvestitionen bis 2025 ist etwas größer als im Vergleichsszenario. Im Unterschied zur unteren Variante verharrt das Neubauvolumen aber nicht auf diesem Niveau, sondern nimmt noch spürbar zu. 2040 liegt es um gut ein Viertel höher als 2020. Je Kopf der Wohnbevölkerung gerechnet nehmen die Investitionssummen stetig zu. Dies ist vor allem Ausdruck verbesserter Wohnstandards und -qualitäten. Die jährlichen Zuwächse beim Neubauvolumen liegen aber etwas unter dem Wachstum der Wirtschaftsleistung insgesamt.

2.3.3 Neubau von Nichtwohngebäuden

Die Entwicklung der Neubautätigkeit im gewerblichen und öffentlichen Hochbau weist über viele Jahre tendenziell wenige Schwankungen auf. Lediglich in Folge der Finanz- und Wirtschaftskrise 2009 musste ein Rückgang des Neubauvolumens in diesem Segment verzeichnet werden. Betroffen war zunächst der Bereich von Produktionsstätten, Handels- und Lagergebäuden. Es folgte ein Rückgang der Neubautätigkeit in den Bereichen Büro- und Verwaltungsgebäude sowie Hotels, Gaststätten und Anstaltsgebäude. In den Folgejahren erholte sich das Neubauvolumen im Nichtwohnungsbau wieder rasch (bbs 2019).

Modellrechnungen des DIW Berlin weisen für 2015 ein Neubauvolumen im Bereich des Nichtwohnungsbaus für Deutschland insgesamt von gut 32 Mrd. Euro aus. In den Jahren bis 2019 legte dann zunächst der Neubau von Produktions- und Logistikgebäuden kräftig zu, in Preisen von 2015 um fast 15 %. Bei den wohnähnlichen Gebäudetypen wie Büro- oder Hotelbauten folgte der Wachstumsschub etwas später. Aber auch hier lag das reale Neubauvolumen 2019 um mehr als 13 % höher als 2015. Mit Ausbruch der Corona-Krise stagnierte dann der Nichtwohn-Neubau.

Abb. 2: Neubau Nichtwohngebäude (in Mrd. Euro; in Preisen von 2015)



Quelle: Bauvolumensrechnung des DIW Berlin

Das Jahr 2020 hat die Bewertung des Arbeitens von zu Hause bzw. der Anwesenheit am außerhäuslichen Arbeitsplatz verändert. Sowohl private Unternehmen als auch öffentliche Institutionen haben die Möglichkeiten des Home-Office ausgebaut. Somit steht die längerfristige Rentabilität neuer Büro- und Verwaltungsgebäude immer mehr in Frage. Welche Auswirkungen dies mittelfristig auf den Büroimmobilienmarkt haben wird, ist noch unklar (Poleg 2021).

Umfassende Studien, die sich gezielt mit den längerfristigen Perspektiven des Neubaus im sonstigen Hochbau befassen, sind nicht bekannt. Der Neubau- und insbesondere Ersatzbedarf im öffentlichen Hochbau wird allerdings generell hoch eingeschätzt. Ein wesentlicher Grund hierfür ist der aufgestaute Investitionsbedarf der Kommunen. Das Deutsche Institut für Urbanistik (DIfU) schätzt den aufgelaufenen Bedarf der Gemeinden auf fast 150 Mrd. Euro (KfW 2021). Mehr als 46 Mrd. Euro entfallen dabei auf Schulen und mehr als 16 Mrd. Euro auf Verwaltungsgebäude.

Tabelle 10: Neubauvolumen im Nichtwohnungshochbau

	2020	2025	2030	2035	2040
Untere Variante					
Mrd. Euro real in Preisen von 2015	39,3	41,6	41,8	42,6	42,9
Veränderung zu 2020 in %		5,8	6,5	8,4	9,2
- Euro je Einwohner	472	498	505	521	533
- Euro je Haushalt	940	986	989	1.010	1.023
- in % des BIP	1,28	1,22	1,18	1,16	1,14
Obere Variante					
Mrd. Euro real in Preisen von 2015	39,3	44,8	49,1	53,7	57,1
Veränderung zu 2020 in %		13,9	25,0	36,6	45,3
- Euro je Einwohner	472	536	591	650	697
- Euro je Haushalt	940	1.062	1.158	1.260	1.339
- in % des BIP	1,28	1,28	1,29	1,30	1,28

Quelle: Szenarienrechnung der DIW Econ

Untere Variante:

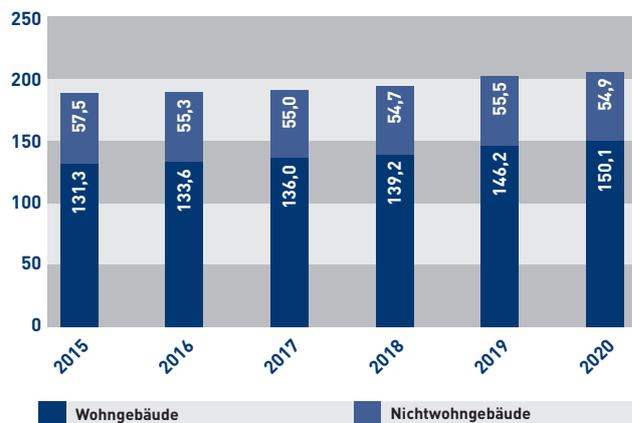
Die schwache wirtschaftliche Entwicklung im pessimistischen Szenario gibt kaum Impulse für Kapazitätsausweitungen im gewerblichen Hochbau. Gleichzeitig dürfte die Anspannung der öffentlichen Haushalte wenig Spielraum für zusätzliche Neubauaktivitäten lassen. Lediglich im Vergleich zum Krisenjahr 2020 dürfte es noch einen nennenswerten Zuwachs des realen Neubauvolumens im Nichtwohnungshochbau geben. Gegenüber 2025 werden die Neubauaktivitäten im gesamten Projektionszeitraum nahezu unverändert bleiben. Die Anteile des Neubauvolumens im Nichtwohnungsbau an der gesamten Wirtschaftsleistung nehmen bis 2040 kontinuierlich ab.

Obere Variante:

Bei der hohen Wachstumsdynamik im optimistischen Szenario gewinnt der Neubau im sonstigen Hochbau deutlich an Wachstumstempo. Hierzu beitragen dürfte gerade auch der öffentliche Hochbau. In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass sich schrittweise die Finanzierungsbedingungen insbesondere für die Kommunen verbessern. Sie dürften daher den aufgestauten Investitionsbedarf Stück für Stück abbauen. Bis 2040 wird sich das Neubauvolumen im sonstigen Hochbau real von knapp 40 Mrd. Euro 2020 auf mehr als 57 Mrd. Euro stark ausweiten. Pro Kopf der Bevölkerung nehmen die Investitionsvolumina deutlich zu. Der Anteil an der Wirtschaftsleistung bleibt konstant.

2.3.4 Maßnahmen im Gebäudebestand

Bestandsmaßnahmen im Wohnungsbau sowie im öffentlichen und gewerblichen Hochbau konnten vor allem in der zweiten Hälfte der 2000er Jahre eine sehr dynamische Entwicklung verzeichnen. Ihren zwischenzeitlichen Höhepunkt erreichten in realer Rechnung die Bestandsmaßnahmen 2011. Hierzu trugen auch die damaligen Konjunkturprogramme bei (bbs 2019).

Abb. 3: Maßnahmen am Gebäudebestand (in Mrd. Euro; in Preisen von 2015)

Quelle: Bauvolumensrechnung des DIW Berlin

Nach den Berechnungen des DIW belaufen sich 2015 die Bestandsmaßnahmen im Wohnungsbau auf über 131 Mrd. Euro. Die Bestandsmaßnahmen bei sonstigen Gebäuden erreichen im gleichen Jahr nach den Hochrechnungen des DIW gut 57 Mrd. Euro. Seither sind die Maßnahmen im Wohnungsbestand kontinuierlich weiter gestiegen. Im Nichtwohnungshochbau sind die Ausgaben dagegen rückläufig. Insgesamt stieg in Preisen von 2015 das Bauvolumen bei Bestandsmaßnahmen dennoch auf 205 Mrd. Euro im Jahr 2020. Die Maßnahmen im Gebäudebestand machen demnach insgesamt das Gros der Bauleistungen im Hochbau aus. Rund zwei Drittel des Bauvolumens im Hochbau entfallen auf Maßnahmen im Bestand.

Die Bautätigkeit an bestehenden Wohngebäuden wurde allerdings von der Corona-Pandemie deutlich stärker beeinträchtigt als die Neubautätigkeit. Die unsichere wirtschaftliche Lage sorgte dafür, dass nicht dringend notwendige Ausbaurbeiten wohl zunächst zurückgestellt wurden. Mit der gesamtwirtschaftlichen Erholung und zusätzlichen Entlastungen für Haushalte dürften aber wieder

stimulierende Effekte wirken. Grundsätzlich stützen dürften die neuen Möglichkeiten zur Abschreibung energetischer Sanierungsvorhaben für Besitzer von Eigenheimen (BMF 2020).

Im Wirtschaftsbau dürften zunächst die Ausbaumaßnahmen auf Ersatzinvestitionen fokussiert sein. Die geringere Kapazitätsauslastung bietet zwar Raum für Modernisierungsarbeiten, in Anbetracht der wirtschaftlichen Unsicherheit wären sie jedoch für viele Unternehmen ein zu großes Geschäftsrisiko. Die Bestandsmaßnahmen dürften sich somit noch eine Weile auf den Erhalt der Substanz konzentrieren.

Mit Blick auf die möglichen langfristigen Perspektiven im Bereich der Bestandsmaßnahmen ist zu beachten, dass Maßnahmen zur energetischen Sanierung einen wesentlichen Anteil an der hohen Bedeutung der Bauleistungen an bestehenden Gebäuden besitzen. In das Berechnungsschema der Bauvolumenrechnung des DIW integriert, entfielen 2020 auf energetische Sanierungen knapp 28 % der Maßnahmen im Bestand (Gornig et al. 2021a). Rund 70 % der Ausgaben gingen in die energetische Sanierung von Wohngebäuden, der andere Teil in die von Nichtwohngebäuden. Sollen allerdings die Ziele des Klimaschutzgesetzes 2021 erreicht werden, sind deutliche Steigerungen der Energieeffizienz im Gebäudebestand notwendig. Nach aktuellen Szenariorechnungen muss die jährliche energetische Sanierungsrate⁶ über alle Gebäudetypen von 1,1 % im Jahr 2019 bis zum Jahr 2030 auf 1,9 % und bis zum Jahr 2045 weiter auf 2,1 % gesteigert werden, gleichzeitig muss die Sanierungstiefe erhöht werden⁷ (BCG 2021). Daraus würde sich ein beachtlicher Investitionsbedarf in die energetische Sanierung ableiten (WI 2020).

Der Umfang von investiven und nichtinvestiven Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden wird zudem auch durch viele andere Faktoren bestimmt. Im Wohnungsbau dominiert als Motiv die Qualitätsverbesserung (N-Bank 2021). Ihre Umsetzbarkeit ist vor allem durch die Höhe des verfügbaren Einkommens bestimmt. Im Nichtwohnungsbau induzieren insbesondere Nutzungsveränderungen Maßnahmen im Bestand. Im öffentlichen Sektor kommt hinzu, dass die Finanzierungsbedingungen der öffentlichen

Haushalte die Realisierung von Sanierungs- und Umstrukturierungsbedarfen stark mitbestimmen.

Tabelle 11: Bauvolumen im Gebäudebestand

	2020	2025	2030	2035	2040
Untere Variante					
Mrd. Euro real in Preisen von 2015	205,0	231,7	247,5	263,7	273,7
Veränderung zu 2020 in %		13,0	20,7	28,6	33,5
- Euro je Einwohner	2.465	2.776	2.986	3.223	3.399
- Euro je Haushalt	4.906	5.497	5.853	6.253	6.525
- in % des BIP	6,66	6,82	7,00	7,19	7,24
Obere Variante					
Mrd. Euro real in Preisen von 2015	205,0	242,6	282,3	322,6	358,2
Veränderung zu 2020 in %		18,3	37,7	57,3	74,7
- Euro je Einwohner	2.465	2.907	3.397	3.906	4.375
- Euro je Haushalt	4.906	5.756	6.658	7.577	8.400
- in % des BIP	6,66	6,94	7,41	7,80	8,00

Quelle: Szenarienrechnung der DIW Econ

Untere Variante:

Die notwendigen Steigerungen der Energieeffizienz und der hohe Bedarf an Umstrukturierungen im Gebäudebestand führen wieder zu einer deutlicheren Ausweitung der Ausgaben für Sanierung und Modernisierung. 2025 dürfte das Bauvolumen im Bestand gegenüber 2020 insgesamt um 13 % höher liegen. Trotz geringer Zuwächse der verfügbaren Einkommen und der nur wenig verbesserten Kassenlage der öffentlichen Haushalte steigen die Bestandsmaßnahmen auch nach 2025 weiter an. Die energetische Sanierung verdrängt teilweise andere Bestandsmaßnahmen und wird zum dominanten Investitionsmotiv. Die realen Aufwendungen je Kopf der Bevölkerung und je Anzahl an Haushalten nehmen zu. Bezogen auf die ohnehin schwache wirtschaftliche Entwicklung insgesamt sind die Zuwächse jedoch nur leicht überdurchschnittlich.

Obere Variante:

Das Bauvolumen im Gebäudebestand legt in diesem Szenario kräftig zu. Die günstige ökonomische Entwicklung motiviert zu energetischen Maßnahmen, Qualitätsverbesserungen und Nutzungsänderungen (z.B. altersgerechtes Wohnen). Insbesondere dürften auch öffentliche Auftrag-

⁶ Jährliche sanierte Gebäudefläche umgerechnet in Vollsanierungsäquivalente bezogen auf die Fläche des gesamten Gebäudebestandes.

⁷ Von gegenwärtig durchschnittlich rund 100 kWh pro m² und Jahr auf 70 kWh pro m² und Jahr bis 2030.

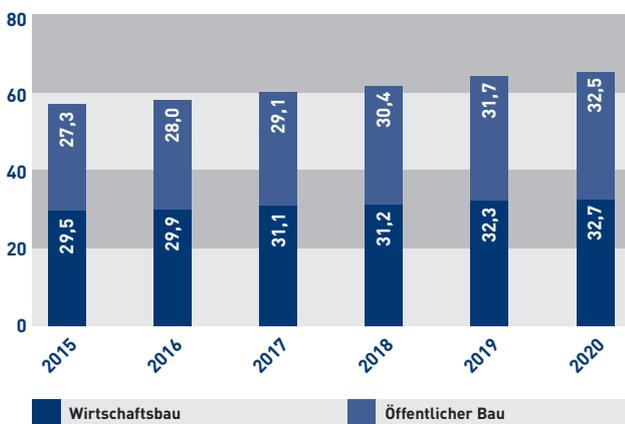
geber wieder größere finanzielle Spielräume besitzen, um in solche Bestandsmaßnahmen selbst zu investieren oder sie zu unterstützen. Die Ausgaben für Maßnahmen im Gebäudebestand steigen von 205 Mrd. Euro 2020 auf über 358 Mrd. Euro 2040. Die Maßnahmen dürften auch stärker wachsen als das BIP insgesamt. 2040 gehen 8 % des Inlandsproduktes in die Modernisierung und Erhaltung des Gebäudebestandes. Je Kopf der Bevölkerung wird 2040 real gut 75 % mehr für die Gebäudesanierung ausgegeben als 2020.

2.3.5 Tiefbau

Die realen Bauleistungen im Tiefbau bewegten sich viele Jahren auf nahezu unverändertem Niveau (bbs 2019). Wenig verändert hatte sich dabei das Verhältnis zwischen öffentlichem und gewerblichem Sektor. Knapp 50 % entfallen auf den öffentlichen Tiefbau. Die Abgrenzung zwischen beiden Bereichen fällt allerdings immer schwerer. Gleichartige Objekte werden sowohl in gewerblicher als auch in öffentlicher Regie erstellt oder in sogenannten öffentlich-privaten Partnerschaften projektiert und umgesetzt.

Nach Berechnungen des DIW beläuft sich 2015 das Tiefbauvolumen im Wirtschaftsbau auf knapp 30 Mrd. Euro und das im öffentlichen Sektor auf gut 27 Mrd. Euro. Seither ist in beiden Bereichen das Bauvolumen real stetig gestiegen. Selbst im Krisenjahr 2020 erzielte der Tiefbau noch einen Zuwachs und liegt bei einem Niveau von über 65 Mrd. Euro.

Abb. 4: Tiefbau (in Mrd. Euro; in Preisen von 2015)



Anmerkung: Zuordnung Bahn und Post zum Wirtschaftsbau
 Quelle: Bauvolumensrechnung des DIW Berlin

Die Baumaßnahmen im Tiefbau dienen insbesondere dem Erhalt und dem Ausbau der wirtschaftlichen Infrastruktur. Die lange schwache Investitionstätigkeit im Tiefbau wird allerdings nicht als Ausdruck eines geringer werdenden Bedarfs an solchen Bauleistungen, sondern als Folge der Finanzierungsschwierigkeiten von Infrastruktureinrichtungen angesehen (BMW 2015). Auch die Reduktion von öffentlichen Planungs- und Genehmigungskapazitäten wirkt negativ auf die Investitionszahlen (Gornig/Michelsen 2017). Entsprechend werden beispielsweise im kommunalen Straßenbau auch erhebliche künftige Investitionsbedarfe bzw. Nachholbedarfe ausgemacht (KfW 2021). Im Zuge der Klimawende und Digitalisierungsstrategien beziehen sich darüber hinaus die größten Neubauprojekte auf den Ausbau erneuerbarer Energien und der dazugehörigen Netze und den Ausbau der Breitbandnetze in der Telekommunikation.

Tabelle 12: Bauvolumen im Tiefbau

	2020	2025	2030	2035	2040
Untere Variante					
Mrd. Euro real in Preisen von 2015	65,3	73,0	77,2	79,8	82,2
Veränderung zu 2020 in %		11,8	18,3	22,3	26,0
- Euro je Einwohner	785	874	932	975	1.021
- Euro je Haushalt	1.562	1.731	1.826	1.892	1.961
- in % des BIP	2,12	2,15	2,18	2,18	2,18
Obere Variante					
Mrd. Euro real in Preisen von 2015	65,3	75,4	85,5	94,6	101,4
Veränderung zu 2020 in %		15,5	31,1	45,0	55,4
- Euro je Einwohner	785	903	1.029	1.145	1.239
- Euro je Haushalt	1.562	1.789	2.017	2.222	2.378
- in % des BIP	2,12	2,16	2,25	2,29	2,27

Quelle: Szenarienrechnung der DIW Econ

Untere Variante:

Die angekündigten Klimaziele und Ausbaupläne bei der Digitalisierung schaffen einen enormen Investitionsbedarf bei der Modernisierung der Infrastruktur. Die gewünschten weiteren Ausbau- und Sanierungsmaßnahmen werden sich angesichts klammer öffentlicher Kassen und schwacher Entwicklung der Haushaltseinkommen nur langsam umsetzen lassen. Das Volumen der Tiefbaumaßnahmen wird 2040 zwar um 26 % über dem Niveau von 2020 liegen, eine Investitionsoffensive aber bleibt aus. Die

Relation zum BIP verändert sich nahezu nicht. Die realen Aufwendungen für den Tiefbau je Einwohner und Haushalt steigen insgesamt nur langsam.

Obere Variante:

Bei der hohen Wachstumsdynamik im optimistischen Szenario erhöht sich langfristig nicht nur die Zahlungsbereitschaft der Haushalte und Unternehmen, auch die Einnahmebedingungen des Staates verbessern sich spürbar. Die Beschränkungen öffentlicher Ausgaben durch institutionelle Regelungen wie der Schuldenbremse nehmen ab. Die gewünschten Ausbau- und Sanierungsmaßnahmen werden rascher umgesetzt. Das Volumen der Tiefbaumaßnahmen nimmt insbesondere nach 2025 deutlich stärker zu. Mit 101 Mrd. Euro werden die Tiefbaumaßnahmen im Jahr 2040 preisbereinigt um mehr als 50 % höher liegen als 2020. Die Aufwendungen pro Kopf der Bevölkerung steigen um fast 60 %. Der Anteil am Inlandsprodukt nimmt deutlich zu.

3. METHODISCHES VORGEHEN SOWIE TRENDS BEI PRIMÄR- UND SEKUNDÄRROHSTOFFEN

3.1 Methodisches Vorgehen

Als Basis für die Abschätzung der in den folgenden Kapiteln dargestellten künftig nachgefragten Primär- bzw. der zur Verfügung stehenden Sekundärrohstoffen wurden von den Fachverbänden des bbs die Mengen der geförderten Rohstoffe 2019 und deren Verteilung auf die einzelnen Abnehmerzweige ermittelt (vgl. ab Kapitel 4.2 und 5.3.1).

Ausgehend von den Szenarien zur Wirtschaftsentwicklung lässt sich die Nachfrage nach den einzelnen Rohstoffen auf Basis der Verteilung im Jahr 2019 ermitteln. Es werden dazu die folgenden Marktsegmente betrachtet:

- Wohnungsneubau,
- Sonstiger Hochbau (neu),
- Bestandsbau,
- Tiefbau,
- Mineralische Bau- und Rohstoffe,
- Eisen- und Stahlindustrie,
- Chemische Industrie,
- Landwirtschaft,
- Glasherstellung,
- Export,
- Sonstige Abnehmer, insbesondere aus der Industrie.

Für die Abschätzung der künftigen Nachfrage werden die erwarteten Veränderungen zum jeweiligen Betrachtungszeitpunkt in Prozentsätzen angegeben. Die Ausgangsgröße ist dabei die Nachfrage im Jahr 2019 (=100 %). Um von den betrachteten Marktsegmenten einen Rückschluss auf die einzelnen Rohstoffe ziehen zu können, ist es notwendig, die Verteilung auf die einzelnen vorgelagerten Segmente zu bestimmen und die angegebenen Werte auf die tatsächliche Nachfrage umzurechnen. Zu diesem Zweck wurden für alle relevanten Rohstoffe Massenflussdiagramme erstellt, welche anschließend zu einer Berechnungsmatrix

zusammengefasst wurden. Mit dieser Matrix steht ein Instrument zur Verfügung, um den zukünftigen Rohstoffbedarf bei sich ändernden Rahmenbedingungen zu ermitteln.

3.2 Determinanten der langfristigen Primärrohstoffnachfrage und Modellierung von Preis-Mengen-Anpassungsfaktoren

Die in Kapitel 2 aufgestellten Szenarien zur künftigen Produktion basieren – wie in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung üblich – auf monetären Größen. Eine direkte Übertragung der abgeschätzten Veränderungs-raten auf die künftige mengenmäßige Rohstoffgewinnung ist nicht realistisch, da das monetäre Produktionswachstum nicht allein auf Mengensteigerungen, sondern z.B. auch auf Produktinnovationen und dem Absatz höherwertiger Produkte beruht. Mit solchen Entwicklungsprozessen gehen üblicherweise Preissteigerungen einher, die in die monetäre Betrachtung einfließen, ohne einen Mehrverbrauch an Rohstoffen zu generieren. Als Beispiel lässt sich etwa für die Stahlindustrie die Entwicklung hochpreisiger Spezialstähle anführen. Es ist in vielen Branchen davon auszugehen, dass die zur Dekarbonisierung der Volkswirtschaft bis 2045 erforderlichen Investitionen zum großen Teil in Form höherer Preise weitergegeben werden.

Ein weiterer Aspekt, der zur teilweisen Entkoppelung von Produktionswert und Rohstoffnachfrage beiträgt, betrifft den allgemeinen Strukturwandel im Baubereich, der sich etwa in geringeren Neubau- und steigenden Erhaltungsinvestitionen im Tiefbau sowie einem steigenden Anteil der technischen Gebäudeausrüstung im Hochbau widerspiegelt; entsprechend nimmt die Rohstoffintensität des Bauens ab. Der vergangenheitsbezogene Vergleich der Wachstumsraten von Baurohstoffproduktion und Bauinvestitionen ergibt eine jahresdurchschnittliche

Abweichung von rund 1 bis 1,5 Prozentpunkten. Abb. 5 verdeutlicht die seit 2007 abnehmende Materialintensität im Baubereich. Dieser Trend dürfte sich in bisheriger Größenordnung auch künftig fortsetzen bzw. verstärken. So gewinnt angesichts begrenzter Ressourcen und dem Ziel der Verringerung des Flächenverbrauchs das Bauen im Bestand etwa durch Aufstockungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden weiter an Bedeutung. Ebenso wird sich voraussichtlich der Trend vom Einfamilien- zum (bezogen auf den spezifischen Baustoffeinsatz) weniger materialintensiven Mehrfamilienhausbau fortsetzen; hier schlagen sich auch die hohen Grundstückspreise nieder. Auch im Bereich des öffentlichen Baus wird die spezifische Rohstoffnachfrage weiter abnehmen, da die (weniger materialintensiven) Erhaltungsmaßnahmen insbesondere bei der Straßeninfrastruktur Vorrang vor dem Neu- und Ausbau haben.

Abb. 5: Reale Bauinvestitionen und Baustoffproduktion (jeweils 1995=100)



Quelle: destatis 2021e und 2021f

Um den beschriebenen Änderungen der Rohstoffnachfrage in der Bauwirtschaft⁸ und den relevanten Wirtschaftssektoren (Chemische Industrie, Eisen- und Stahlindustrie, Glasindustrie, Landwirtschaft, Sonstige) Rechnung zu tragen, wurde bei der Abschätzung der zukünftigen Steine-Erden-Nachfrage ein Anpassungsfaktor in Höhe von -1,75 Prozentpunkten jährlich festgelegt. Dieser beinhaltet die Differenz der Veränderung des realen Produktionswertes bzw. der Produktionsmenge (Tonnage). Er wird mit dem in Kapitel 2.2 geschätzten monetären

jährlichen Produktionswachstum verrechnet, um auf die resultierende mengenmäßige Nachfrageentwicklung nach Steine-Erden-Rohstoffen schließen zu können. Zusätzlich zum oben genannten Anpassungsfaktor sind bei einigen Steine-Erden-Branchen Sondereffekte zu berücksichtigen. So können zum Beispiel durch den Einsatz von Carbon- oder Gradientenbeton besonders schlanke und material-effiziente Konstruktionen erstellt werden, wodurch sich Einsparungen bei Zement und Zuschlagstoffen ergeben. Diese Effekte sind bei den jeweiligen Rohstoffen einbezogen.

3.3 Bestimmungsfaktoren des Sekundärrohstoffaufkommens und Auswirkungen der Dekarbonisierung auf industrielle Prozesse

Unter Sekundärrohstoffen⁹ sind Nebenprodukte aus industriellen Prozessen und mineralische Bauabfälle, die direkt verwertet oder zu Recyclingbaustoffen (RC-Baustoffen) aufbereitet werden, zu verstehen. Das Aufkommen an Sekundärrohstoffen ist nicht unmittelbar steuerbar, da es direkt an die Entstehungsprozesse gekoppelt ist. Diese Prozesse sind eigenständig – die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen kann solche Entstehungsprozesse nicht beeinflussen, insbesondere nicht das Angebot vergrößern. Damit lassen sich Nachfrageschwankungen nicht beliebig auffangen: Als Regulativ für Nachfrageüberhänge kann letztlich nur der Einsatz von primären Rohstoffen oder anderen Substituten dienen.

Das Aufkommen an industriellen Nebenprodukten hängt von der Industriestruktur und deren künftiger Entwicklung ab. Zahlreiche industrielle Prozesse werden sich vor dem Hintergrund der bis 2045 angestrebten Dekarbonisierung der Volkswirtschaft grundlegend verändern. Dies führt zu einer Verschiebung des Aufkommens an industriellen Sekundärrohstoffen. Nebenprodukte aus der Kohleverstromung (Steinkohlenflugasche, REA-Gips) oder aus der Stahlerzeugung im Hochofen (Hüttensand) werden vollständig wegfallen und müssen in den Produktionsprozessen der Baustoff-Steine-Erden-Industrie durch andere Primär- oder Sekundärrohstoffe ersetzt werden.

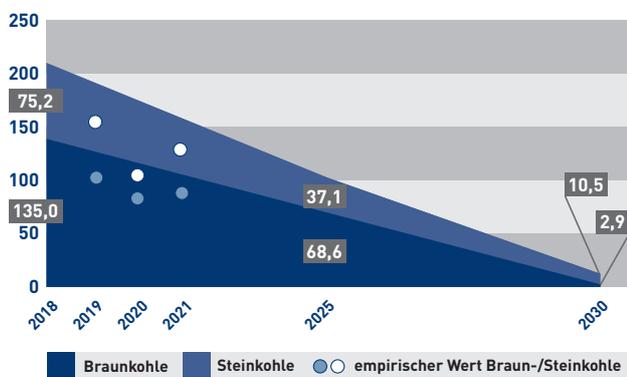
⁸ Die Bauwirtschaft umfasst die Sparten Wohnungsneubau, sonstiger Hochbau (neu), Bestandsbau sowie Tiefbau (vgl. 2.3.1).

⁹ Die hier betrachteten Sekundärrohstoffmengen umfassen nicht diejenigen Mengen, die aufgrund ihrer Qualität von vornherein nicht für eine Weiterverwendung zur Verfügung stehen und damit unmittelbar nach ihrem Anfall zur Deponierung ausgeschleust werden.

Für die Berechnungen in dieser Studie wird von einer Rückführung der Kohleverstromung auf null bis Anfang der 30er Jahre ausgegangen. Dies erscheint angesichts der Notwendigkeit der CO₂-Reduktion und der Koalitionsvereinbarung für die 20. Legislaturperiode realistisch, auch wenn der Kohleausstieg entsprechend des Anfang 2019 vorgelegten Abschlussberichts der Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ („Kohlekommission“) ursprünglich erst für 2038 vorgesehen war (BMWi 2019).

Abbildung 6 zeigt die in dieser Studie zugrunde gelegte künftige Entwicklung der Nettostromerzeugung aus Braun- und Steinkohle. Der Ausstiegspfad orientiert sich, basierend auf der Nettostromerzeugung 2018, an der Abschätzung „Klimaneutrales Deutschland 2045“ im Auftrag von Agora Energiewende (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021). Demnach wird die Nettostromerzeugung aus Kohle im Jahr 2030 nur noch bei rund 13 TWh liegen. Das Ziel der Bundesregierung, den Kohleausstieg auf 2030 vorzuziehen, wird demnach annähernd erreicht.¹⁰

Abb. 6: Nettostromerzeugung aus Braun- und Steinkohle bis 2030 (in TWh; modellhafter Verlauf)

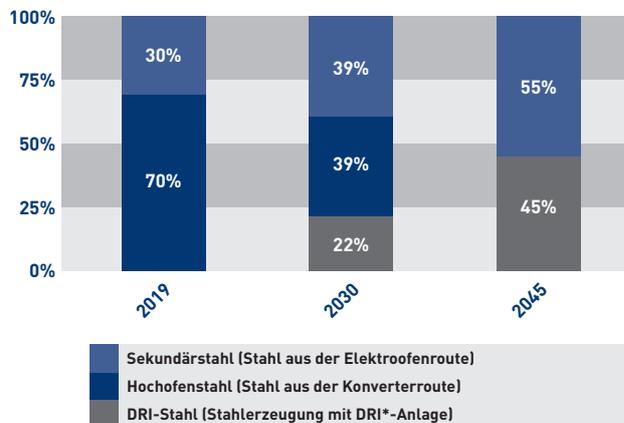


Quelle: 2018 und 2030: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021; 2025: Berechnungen anhand der zuvor genannten Studie; 2019, 2020: destatis 2022a; 2021: Fraunhofer-ISE 2022

Bei der Eisen- und Stahlerzeugung ist von der vollständigen Dekarbonisierung bis 2045 auszugehen; dabei dürfte die CO₂-intensive Hochofenroute, die für rund 70 % der deutschen Stahlerzeugung steht, sukzessive durch die Stahlerzeugung mittels Direktreduktion unter Einsatz von Wasserstoff sowie die bereits heute gebräuchliche Stahlerzeugung im Elektroofen ersetzt werden. Die sich ergebenden Auswirkungen auf das Aufkommen an Sekundärrohstoffen (z.B. Hüttensand) und auf die Primärrohstoffnachfrage (z.B. nach Kalk für die Stahlerzeugung) ist in den jeweiligen Abschnitten dargestellt.

Um die Umstellung der Stahlerzeugung berücksichtigen zu können, orientiert sich die vorliegende Studie an der Studie „Klimapfade 2.0 – Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft“ (BCG 2021). Die Abbildung 7 zeigt den in der BCG-Studie beschriebenen Pfad zur Reduktion der Hochofenroute und die entsprechende Ausweitung der alternativen Erzeugungsverfahren. Demnach wird die Erzeugung von Stahl aus der Hochofenroute bis 2045 auf null gesunken sein. Daraus folgt, dass die Menge an Hochofenschlacken ebenfalls auf null sinkt.

Abb. 7: Umstellung der Stahlproduktion bis 2045



Anmerkung:
* DRI = direct reduced iron
Quelle: BCG 2021

¹⁰Abbildung 6 stellt einen modellhaften Verlauf der Nettostromerzeugung durch die Energieträger Braun- und Steinkohle dar. Dies verdeutlichen auch die dargestellten empirischen Werte der Jahre 2019 bis 2021. Der Verlauf ist mit Unsicherheiten verknüpft und hängt u.a. vom Ausbaufortschritt der Erneuerbaren Energien ab.

4. GEWINNUNG UND VERWENDUNG MINERALISCHER PRIMÄRROHSTOFFE VON 2005 BIS 2019 SOWIE ABLEITUNG DER ROHSTOFFNACHFRAGE BIS 2040

4.1 Bedeutung der Rohstoffförderung

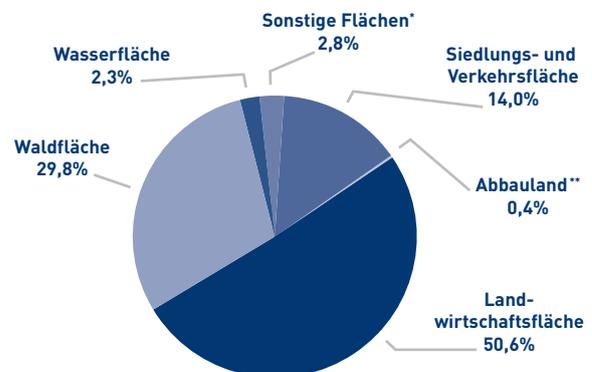
Die Versorgung mit mineralischen Rohstoffen ist eine Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit der wirtschaftlichen Wertschöpfungsketten und damit von hoher Bedeutung für die Leistungsfähigkeit einer Volkswirtschaft. Die Deckung der Rohstoffnachfrage in Deutschland erfolgt aus der Gewinnung aus heimischen Lagerstätten, dem Einsatz von Sekundärrohstoffen aus der Verwertung und dem Recycling von Bauabfällen und aus industriellen Prozessen sowie durch den Import. Bei Metall- und bestimmten Energierohstoffen besteht eine weitgehende Abhängigkeit von ausländischen Produzenten. Die Versorgung mit mineralischen Rohstoffen, die insbesondere im Baubereich Anwendung finden, erfolgt dagegen – bis auf wenige Ausnahmen – praktisch vollständig aus eigenen Vorkommen.

Der weit überwiegende Teil der in Deutschland benötigten nichtenergetischen mineralischen Rohstoffe fällt unter den Oberbegriff der Primärrohstoffe, deren Gewinnung aus natürlichen Lagerstätten erfolgt. Ihr Anteil an der Deckung der Gesamtnachfrage nach mineralischen Rohstoffen (primär und sekundär) liegt bei rund 85 % (2019).

Der für die mittel- und langfristige Rohstoffsicherung erforderliche Flächenbedarf wird nach Untersuchungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) auf etwas über 1 % der Fläche Deutschlands geschätzt (BGR 2021). Das Statistische Bundesamt ordnet 0,4 % der Landesfläche der Kategorie Abbauland zu (destatis 2022b, vgl. Abb. 8), wobei der jährlich tatsächlich

im Abbau stehende Flächenanteil unter 0,01 % liegt (BGR 2021).¹¹ Auf die zur Steine-Erden-Gewinnung benötigte Fläche entfallen dabei rund 0,004 %.¹² Diese Flächen werden außerdem nicht auf Dauer in Anspruch genommen, sondern abbaubegleitend oder spätestens nach Einstellung der Abbautätigkeit im Zuge der gesetzlich vorgeschriebenen Rekultivierung oder Renaturierung einer Folgenutzung zugeführt. Die Steine-Erden-Industrie greift durch die Rohstoffgewinnung zwar in den Naturhaushalt ein, allerdings entstehen nach Ende der Förderung andere und häufig höherwertigere Lebensräume auch für den Schutz seltener Tier- und Pflanzenarten (Tränkle/Röhl 2001, Tränkle et al. 2003).

Abb. 8: Flächennutzung in Deutschland 2020



Anmerkung:

* u.a. Gehölz, vegetationslose Flächen

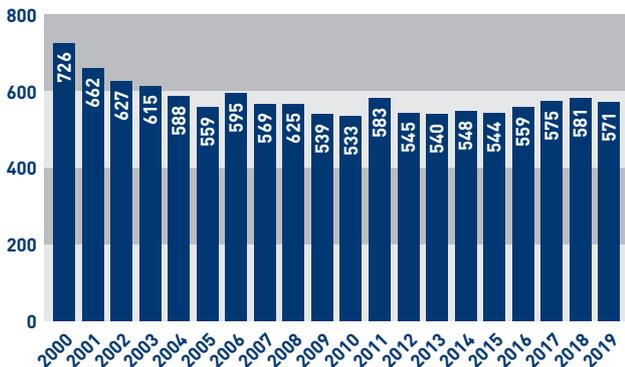
** Summe aus Bergbaubetrieb, Tagebau, Grube, Steinbruch

Quelle: destatis 2022b

¹¹ Bei der Interpretation der Daten in Abbildung 8 ist zu berücksichtigen, dass Siedlungs- und Verkehrsflächen nicht mit versiegelten Flächen gleichzusetzen sind. So zählen auch Grünanlagen, Sportflächen, Hausgärten und andere unversiegelte Flächen zu dieser Kategorie.

¹² Die Zahl 0,004 % bezieht sich auf Baurohstoffe und Industriemineralien.

Abb. 9: Gewinnung nichtenergetischer mineralischer Primärrohstoffe* in Deutschland 2000 bis 2019 (in Mio. t)



Anmerkung:

* ohne Gips- und Anhydritstein

Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Die Gesamtförderung an nichtenergetischen mineralischen Primärrohstoffen lag 2019 bundesweit bei rund 570 Mio. t (Angabe ohne Naturgips- und Anhydritstein).¹³ Abbildung 9 zeigt die Entwicklung der Gewinnungsmenge im Zeitraum 2000 bis 2019. In dieser Zeit sank die Produktion von 726 Mio. t auf unter 600 Mio. t ab dem Jahr 2004. Seitdem werden durchschnittlich rund 560 Mio. t Primärrohstoffe pro Jahr gewonnen. Der Pro-Kopf-Verbrauch lag 2019 bundesweit bei rund 6,9 t pro Jahr und Einwohner (Vergleich 1995: 9,3 t pro Jahr und Einwohner).

85 % (2019) der bundesweit geförderten Mengen nicht-energetischer mineralischer Rohstoffe entfallen auf Sand und Kies (inkl. Speziandsand) sowie Natursteine (einschließlich Naturwerkstein) für die Produktion von Baustoffen.

Die in diesem Gutachten genannten Daten beruhen größtenteils auf der Auswertung von Verbandserhebungen und können von den amtlichen Statistiken abweichen. Dies liegt an der Praxis des Statistischen Bundesamtes, in der Produktionsstatistik alle Unternehmen unterhalb der Abschneidengrenze (<20 Beschäftigte, bei einigen rohstoffgewinnenden Wirtschaftszweigen <10 Beschäftigte) unberücksichtigt zu lassen. Gerade in der Rohstoffindustrie gibt es aber eine Vielzahl von Unternehmen, die unter diese Grenze fallen, jedoch durch ihren hohen Automatisierungsgrad mit erheblichen Mengen zur Rohstoffversorgung beitragen.¹⁴ Insofern bilden die gewählten Verbandsauswertungen die Realität besser ab.

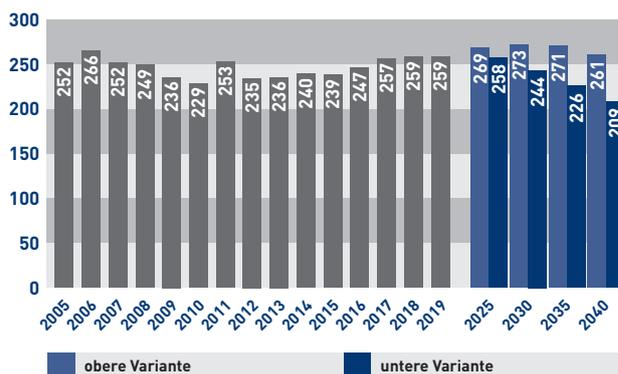
4.2 Entwicklung der Nachfrage nach Primärrohstoffen

4.2.1 Sand und Kies

Die Fördermenge von Sand und Kies betrug im Zeitraum von 2005 bis 2019 durchschnittlich 247 Mio. t pro Jahr. Im Basisjahr der Studie 2019 wurden 259 Mio. t gewonnen.

Bausande und -kiese werden entsprechend der in Abb. 11 aufgeführten Einsatzbereiche benötigt. Die bedeutendsten Mengen werden zur Herstellung von Drainage-, Frostschutz- und Tragschichten im Tiefbau (36,6 %) sowie als Gesteinskörnung zur Erzeugung von Beton (48,3 %) verwendet. Darüber hinaus kommen sie zur Herstellung von Mörtel, Kalksandstein, Estrich oder Asphalt zum Einsatz.

Abb. 10: Produktionsmenge von Sand und Kies (in Mio. t)

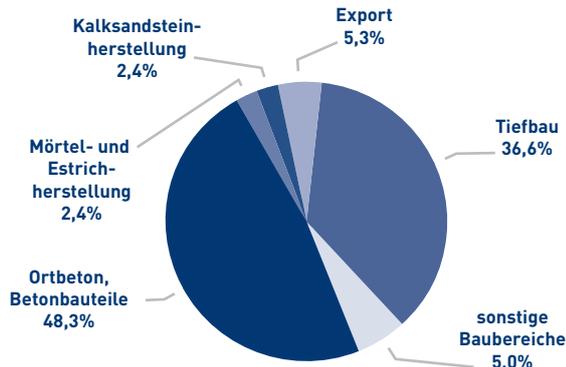


Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

¹³ In die Berechnung zur Gewinnung von Primärrohstoffen ab 2025 (Kapitel 6) wurde Naturgips- und Anhydritstein einbezogen.

¹⁴ So liegt die durchschnittliche Beschäftigtenzahl in der Kies-/Sand-Industrie bei 7 und in der Naturstein-Industrie bei 11 [BV MIRO 2021].

Abb. 11: Verwendung von Sand und Kies 2019



Quelle: Verbandsangaben, BGR 2020, destatis 2021g, Berechnungen SST

Obere Variante:

Insbesondere vor dem Hintergrund der positiven Entwicklung im Tiefbau erreicht die Nachfrage nach Sand und Kies bis 2030 rund 273 Mio. t (2030/2019: 5,4 %). Danach geht die Nachfrage konjunkturbedingt bis 2040 leicht auf 261 Mio. t zurück.

Untere Variante:

In der unteren Variante sinkt die Nachfrage nach Sand und Kies bis 2040 sukzessive auf 209 Mio. t. Gegenüber dem Basisjahr entspricht dies einem Rückgang von 19,2 %. Die Nachfrage folgt damit der verhaltenen Baukonjunktur des Szenarios.

Sowohl in der oberen als auch in der unteren Variante wurde angenommen, dass durch eine optimierte Aufbereitung künftig mehr RC-Baustoffe zur Verfügung stehen werden (vgl. Kapitel 5.3.1), was mindernd auf die Nachfrage nach Sand und Kies wirkt. Darüber hinaus wurden Effizienzgewinne beim Bauen angenommen (vgl. Kapitel 3.2), die sich ebenfalls mindernd auf die Nachfrage auswirken.

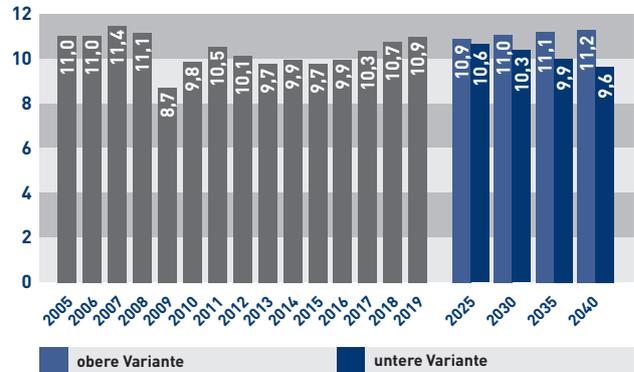
4.2.2 Spezialkies/-sand

Im Zeitraum von 2005 bis 2019 wurden pro Jahr durchschnittlich 10,3 Mio. t Spezialsand und -kies gewonnen. Der deutliche Einbruch der Produktion im Jahr 2009 beruht auf der Wirtschaftskrise, von der u.a. die Gießerei-Industrie als wichtiger Abnehmer betroffen war.

Spezialsande werden vor allem als Glassand, Gießereisand, als Füllstoffe in chemischen und bauchemischen Produkten und in der Porenbetonherstellung eingesetzt.

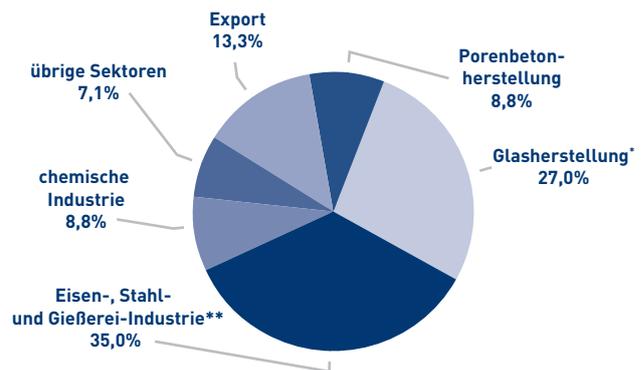
Die Spezialkiese werden für Filter- und Zierkiese sowie als Siliziumträger in der Elektroindustrie genutzt (Abb. 13).

Abb. 12: Produktionsmenge von Spezialkies/-sand (in Mio. t)



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Abb. 13: Verwendung von Spezialkies/-sand 2019



Anmerkung:
* inkl. Keramik, ** inkl. Feuerfest
Quelle: BGR 2020, Berechnungen SST

Obere Variante:

In der oberen Variante nimmt die Nachfrage im Vergleich zum Basisjahr 2019 zu. Ausgehend von 10,9 Mio. t steigt sie im Zuge der dynamischen Konjunktorentwicklung um 2,8 % auf 11,2 Mio. t im Jahr 2040. Ursächlich hierfür ist die positive Wachstumsdynamik in der Glas- und Gießerei-Industrie.

Untere Variante:

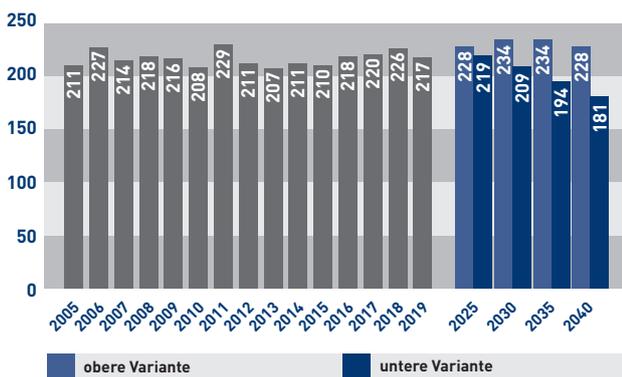
Im unteren Szenario nimmt die Nachfrage nach Spezialkies/-sand ausgehend vom Basisjahr 2019 um -12,2 % ab (2040: 9,6 Mio. t). Grund für den starken Rückgang ist eine nachlassende Wachstumsdynamik in sämtlichen Abnehmerbranchen (chemische Industrie, Gießerei- und Glasindustrie).

4.2.3 Naturstein¹⁵

Unter die Rohstoffgruppe Naturstein fallen alle gewonnenen Festgesteine wie beispielsweise Granit, Grauwacke, Sandstein, Basalt, Diabas oder Kalkstein und Dolomit.¹⁶ Das Produktionsniveau von Naturstein lag im Zeitraum von 2005 bis 2019 bei einer durchschnittlichen Größenordnung von 216 Mio. t pro Jahr (Abb. 14). Die jährliche Produktionshöhe unterliegt konjunkturellen Schwankungen, so dass Werte von 207 bis 229 Mio. t zu verzeichnen waren.

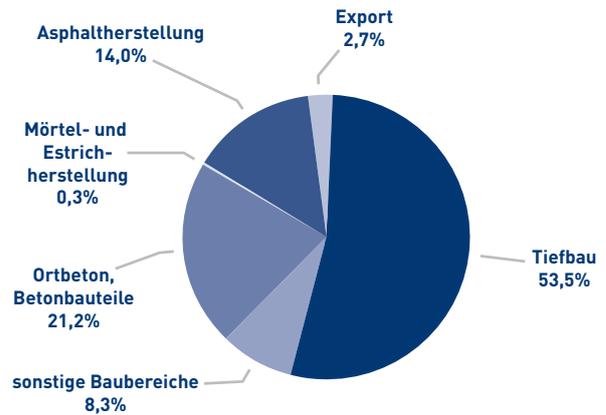
Die Natursteine werden überwiegend als gebrochene bzw. gemahlene Produkte eingesetzt. Typische Einsatzgebiete für diesen Rohstoff sind die Herstellung von Trag- und Deckschichten, Gleisschotter, Wasserbausteinen, Asphalt, Beton und Mörtel (Abb. 15).

Abb. 14: Produktionsmenge von Naturstein (in Mio. t)



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Abb. 15: Verwendung von Naturstein 2016*



* Anmerkung: aktuellster verfügbarer Wert

Quelle: Verbandsangaben, destatis 2019b, Berechnungen SST

Obere Variante:

Über 50 % der gewonnenen Natursteinmenge fließen direkt in den Tiefbau. In der oberen Variante entwickelt sich dieses Nachfragesegment dynamisch – Grund hierfür die positive gesamtwirtschaftliche Entwicklung, die mit steigenden Steuereinnahmen und einer verbesserten Kassenlage der öffentlichen Haushalte einhergeht. Bund, Länder und Kommunen investieren stärker in den Erhalt und Ausbau der Infrastruktur. Infolge dessen erhöht sich die Nachfrage nach Natursteinen (Abb. 14); sie steigt bis zum Jahr 2035 auf 234 Mio. t an. Gegenüber dem Basisjahr 2019 beträgt der Zuwachs damit 8,0 %.

Untere Variante:

Bei einer verhaltenen Wirtschaftsentwicklung fließen nur begrenzt öffentliche und private Mittel in den Erhalt und Ausbau der Infrastruktur. In diesem Szenario sinkt die Nachfrage nach Naturstein bis 2040 auf 181 Mio. t. Dies entspricht einem Minus von 16,8 % gegenüber 2019.

Sowohl in der oberen als auch in der unteren Variante wurde angenommen, dass durch eine optimierte Aufbereitung künftig mehr RC-Baustoffe zur Verfügung stehen werden (vgl. Kapitel 5.3.1), was mindernd auf die Nachfrage nach Naturstein wirkt. Darüber hinaus wurden Effizienzgewinne beim Bauen angenommen (vgl. Kapitel 3.2), die sich ebenfalls mindernd auf die Nachfrage auswirken.

¹⁵ Inklusive Kalkstein, der im **Tiefbau** verwendet wird.

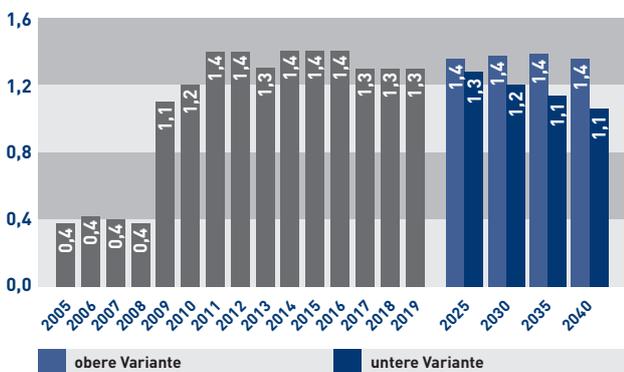
¹⁶ Kalkstein und Dolomit kommt hierbei insofern eine Sonderstellung zu, als dass die weitere Rohstoffveredelung und die sich damit ausweitenden Anwendungsmöglichkeiten weiter unten gesondert betrachtet werden. Daher werden zur Rubrik Naturstein lediglich die Kalkstein- und Dolomitmengen gezählt, die ungebrannt in den **Tiefbau** abgegeben werden.

4.2.4 Naturwerkstein

Naturwerkstein findet sich als Baustoff nahezu fertig in der Natur und umfasst die verschiedensten Gesteinsarten. In der Regel werden Platten oder Blöcke unterschiedlichen Formats für die vorgesehene Endverwendung aus den im Steinbruch gewonnenen Blöcken gesägt. Abbildung 16 zeigt die Entwicklung der Produktionsmenge von Naturwerksteinen von 2005 bis 2019. Nach einem Bruch in der Statistik¹⁷ werden für die Jahre ab 2009 Fördervolumina in Höhe von 1,1 bis 1,4 Mio. t ausgewiesen (Durchschnitt 2009 bis 2019: 1,3 Mio. t). Für die heimische Rohstoffindustrie ist eine starke Importkonkurrenz zu berücksichtigen.

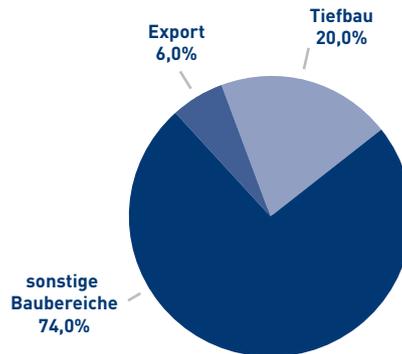
Die gewonnenen Naturwerksteinplatten werden als Fassadenbekleidung, Boden-, Treppen- oder Wandbelag eingesetzt. Darüber hinaus finden sie als Küchenarbeitsplatten oder Grabmäler Verwendung. Die bei der Rohstoffgewinnung und der Bearbeitung anfallenden Gesteinsmengen, die nicht als Naturwerkstein verwendet werden können, werden für den Garten- und Landschaftsbau, für Mauerwerk, zum Belegen von Terrassen, für den Wasserbau sowie zur Herstellung von Schotter genutzt.

Abb. 16: Produktionsmenge von Naturwerkstein (in Mio. t)



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Abb. 17: Verwendung von Naturwerkstein 2019



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Obere Variante:

Die Nachfrage nach Naturwerkstein wird neben der Baukonjunktur unter anderem von Ausbautrends im Wohnbereich bestimmt. In der oberen Variante erhöht sich die nachgefragte Menge von 1,3 Mio. t im Jahr 2019 auf rund 1,4 Mio. t im Jahr 2040. Im Vergleich der Jahre 2040/2019 stellt dies eine Steigerung von 4,4 % dar.

Untere Variante:

Ausgehend von der allgemein schlechteren Baukonjunktur sinkt der Absatz von Naturwerkstein im unteren Szenario bis 2040 auf 1,1 Mio. t. Dies entspricht einen Rückgang von 18,3 % gegenüber dem Basisjahr 2019.

4.2.5 Kalk- und Dolomitstein

Die Kalksteinproduktion untergliedert sich in:

- Kalk- und Dolomitstein für ungebrannte Produkte (Baustoffe und industrielle Anwendungen),
- Kalk- und Dolomitstein für die Branntkalk- und Dolomitmalkherstellung,
- Kalkstein für die Zementherstellung.

¹⁷ Die Zahlenreihe in Abbildung 14 basiert auf Daten des Statistischen Bundesamtes. Insofern sei hier angemerkt, dass alle Werte der Problematik der Abschneidegrenze von 20 Beschäftigten unterliegen und die in dieser Industrie vielfach vertretenen Klein- und Kleinstbetriebe nicht erfasst werden. Die 2008 erfolgte Änderung in den zugeordneten Gütergruppen hat zur Folge, dass ein Massenproduzent zusätzlich in die Statistik aufgenommen wurde. Für die Berechnung des zukünftigen Absatzes werden die Werte ab 2009 mit dem Basisjahr 2019 herangezogen.

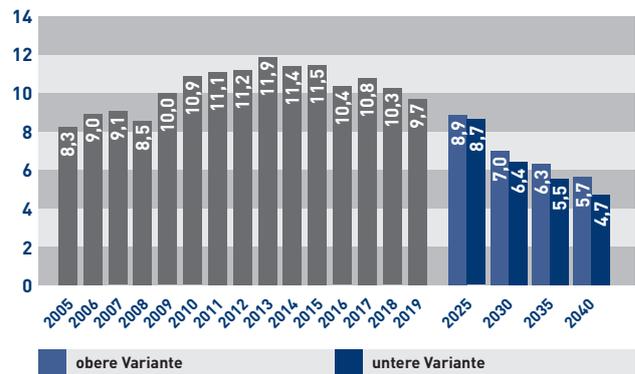
4.2.5.1 Kalk- und Dolomitstein für ungebrannte Produkte¹⁸

Kalk- und Dolomitstein, der in ungebrannten Produkten Anwendung findet, wird nach der Gewinnung mechanisch aufbereitet und zum Teil getrocknet. In Abhängigkeit von der Verwendung wird der Kalk- und Dolomitstein gebrochen, gesiebt und gemahlen. Zu den Erzeugnissen zählen z.B. Schotter, Edelsplitt, Brechsande und Steinmehl. Kalk- und Dolomitstein hat eine sehr große Anwendungsvielfalt (Abb. 19). Zu den Abnehmern gehört insbesondere die Eisen- und Stahlindustrie; darüber hinaus wird der Rohstoff u.a. im Umweltschutz, als Düngemittel oder in der Baustoffherstellung eingesetzt. Der im Umweltschutz zur Anwendung kommende ungebrannte Kalkstein wird größtenteils zur Entschwefelung der bei der Verstromung von Braun- und Steinkohle entstehenden Rauchgase eingesetzt.

Um den künftigen Pfad der Kohleverstromung abbilden zu können, wurden in dieser Studie die Annahmen des Papiers „Klimaneutrales Deutschland 2045“ im Auftrag von Agora Energiewende (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021) zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 3.3). Demnach wird die Kohleverstromung, anders als im Kohleausstiegsgesetz beschlossen, Anfang der 30er Jahre auslaufen, um die Klimaziele im Energiesektor zu erfüllen. Dieser Aspekt und die Dekarbonisierung der Stahlindustrie bis 2045 führen zu einem deutlich sinkenden Bedarf an Kalk- und Dolomitstein für ungebrannte Erzeugnisse.

Die Produktionsmenge von Kalk- und Dolomitstein für ungebrannte Produkte weist über den Betrachtungszeitraum relativ starke zyklische Schwankungen auf. Im Basisjahr 2019 lag die gewonnene Menge bei 9,7 Mio. t; durchschnittlich wurden im Zeitraum von 2005 bis 2019 10,3 Mio. t des Rohstoffs gewonnen.

Abb. 18: Produktionsmenge von Kalk- und Dolomitstein für ungebrannte Produkte* (in Mio. t)

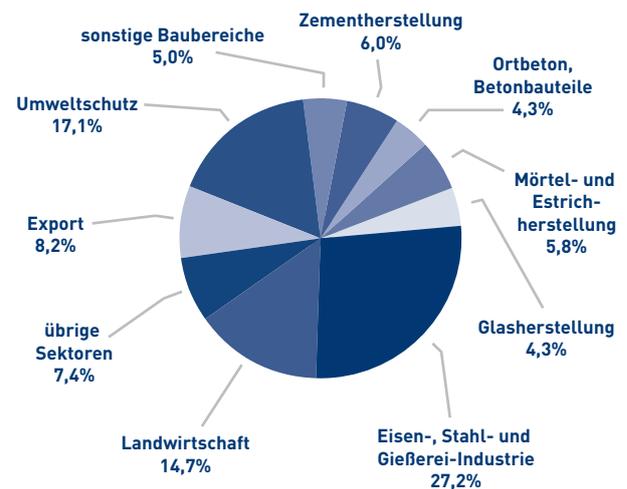


Anmerkung:

* Ohne Kalkstein, der im Tiefbau verwendet wird.

Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Abb. 19: Verwendung von Kalk- und Dolomitstein für ungebrannte Produkte, Steine/Steinmehl* 2019



Anmerkung:

* Ohne Kalkstein, der im Tiefbau verwendet wird.

Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Obere Variante:

In der oberen Variante sinkt die Nachfrage nach Kalk- und Dolomitstein für ungebrannte Produkte von 9,7 Mio. t im Basisjahr 2019 auf 5,7 Mio. t im Jahr 2040 – ein Rückgang von 41,7 %. Insbesondere die Umstellung der Stahlerzeugung, aber auch der Wegfall des Einsatzes von Kalkstein bei der Rauchgasentschwefelung schlagen sich hier nieder.

¹⁸ Der direkt im **Tiefbau** eingesetzte Kalkstein wird nicht an dieser Stelle, sondern unter der Rubrik Naturstein [Kapitel 4.2.3] berücksichtigt.

Untere Variante:

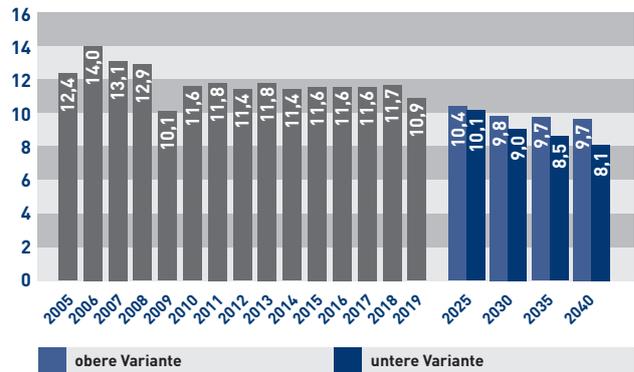
Die Nachfragemenge von Kalk- und Dolomitstein für ungebraunte Produkte nimmt in der unteren Variante bis 2040 um 5 Mio. t ab. Ausgehend vom Basisjahr 2019 stellt dies einen Rückgang von 51,4 % dar. Zusätzlich zu den genannten Struktureffekten trägt die verhaltene gesamtwirtschaftliche Lage zur rückläufigen Nachfrage bei.

4.2.5.2 Kalk- und Dolomitstein für die Branntkalk- und Dolomitmalkherstellung

Bei gebranntem Kalk wird der im Steinbruch gewonnene Kalkstein nach der mechanischen Zerkleinerung und Aufbereitung weiter veredelt. In Schacht- oder Drehrohröfen wird der zerkleinerte Kalkstein bei Temperaturen über 900°C zu Branntkalk umgewandelt. Die Abnehmerstruktur der gebrannten Produkte zeigt Abb. 21. Über 60 Prozent des gesamten Branntkalks werden in der Eisen- und Stahlindustrie, der chemischen Industrie sowie im Umweltschutz eingesetzt. Während der Einsatz von Branntkalk in der Rauchgasentschwefelung nach 2030 durch den Ausstieg aus der Kohleverstromung weitestgehend wegfallen wird, hängt der künftige Einsatz in der Eisen- und Stahlindustrie u.a. von den einzusetzenden Erzqualitäten und von dem der Wasserstoff-Direktreduktion nachgeschalteten Stahlerzeugungsverfahren (Konverter oder Lichtbogenofen) ab. Die Nachfrageentwicklung für Branntkalk in der Stahlindustrie unterliegt damit großen Unsicherheiten. Hier wird unterstellt, dass sich der spezifische Branntkalkbedarf bei der künftigen Stahlerzeugung gegenüber dem heutigen Bedarf nicht wesentlich ändern wird.

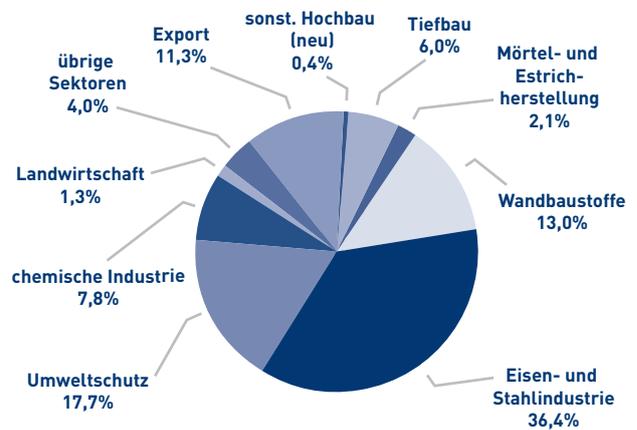
Die Produktionsmenge von Kalk- und Dolomitstein für die Branntkalk- und Dolomitmalkherstellung zeigt sich relativ stabil über den betrachteten Zeitraum. Die durchschnittlich produzierte Menge lag in den Jahren von 2005 bis 2019 bei 11,9 Mio. t.

Abb. 20: Produktionsmenge von Kalk- und Dolomitstein für die Branntkalk- und Dolomitherstellung (in Mio. t)



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Abb. 21: Verwendung von Branntkalk und Dolomitmalk 2019



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Obere Variante:

Im positiven wirtschaftlichen Szenario sinkt die Produktionsmenge von Branntkalk und -dolomit bis 2040 schrittweise auf 9,7 Mio. t ab (2040/2019: -11,4 %). Ursächlich für den Rückgang ist das Auslaufen der Kohleverstromung.

Untere Variante:

In der unteren Variante sinkt die Nachfragemenge nach Kalkstein bzw. Dolomitstein für die Branntkalk- bzw. Dolomitmalkherstellung von 10,9 Mio. t im Basisjahr 2019 auf 8,1 Mio. t im Jahr 2040 (Veränderung 2040/2019: -25,6 %). Analog zu der Entwicklung beim Kalk- und Dolomitstein für ungebraunte Produkte senken die verhaltene wirtschaftliche Lage sowie der Kohleausstieg die Nachfrage.

In der Abschätzung wurde nicht berücksichtigt, dass sich die Erschließung neuer Anwendungsbereiche (z.B. Entstickung von organischen Abfällen zur Nitrat-Reduktion im Grundwasser und zur Phosphorreduktion bei Kläranlagen) sowie ein verstärkter Einsatz in bereits etablierten Bereichen (z.B. Kalkhydrat im Straßenbau) perspektivisch positiv auf die Kalknachfrage auswirken könnten.

Insofern bestehen in Bezug auf die künftige Nachfrage nach Kalkstein für gebrannte und ungebrannte Erzeugnisse sowohl Upside- als auch Downside-Risiken.

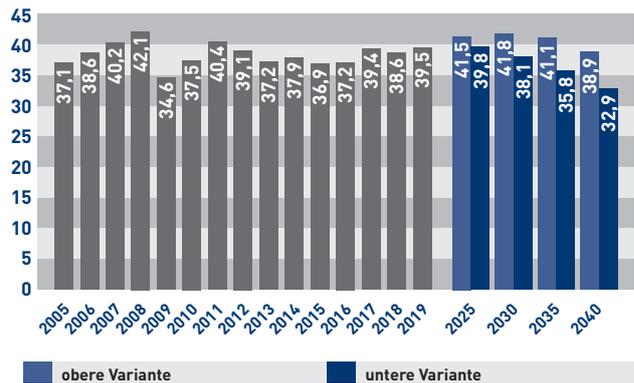
4.2.5.3 Kalkstein für die Zementherstellung

Der wichtigste Ausgangsstoff für die Zementherstellung ist Kalkstein. Der Einsatz von Kalkstein erfolgt unter Beimengung anderer Rohstoffe (z.B. Ton) hauptsächlich als Rohmaterialkomponente im Klinkerbrennprozess. Der Klinker wird anschließend zusammen mit geringen Mengen Gips oder Anhydrit zu einem feinen Pulver – dem Zement – aufgemahlen. Auch hier wird ein Teil des Kalksteins in Form von Kalksteinmehl als Zementhauptbestandteil eingesetzt (rund 1,8 Mio. t). Im Zuge der Dekarbonisierung der Industrie (siehe unten) dürfte die Bedeutung von Kalksteinmehl als Hauptbestandteil künftig steigen, der Klinkeranteil hingegen sinken.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des Zements ist Hütten- sand als Nebenprodukt der Roheisenherstellung (vgl. Kapitel 5.3.2.1.1). Die bei der Umstellung der Stahlerzeugung im Zusammenhang mit der Reduktion der CO₂-Emissionen künftig wegfallenden Mengen an Hütten- sand (2040: 3,6 Mio. t in der oberen Variante, 3,7 Mio. t in der unteren Variante) müssen anderweitig ersetzt werden. In den untenstehenden Abschätzungen wird unterstellt, dass eine Kompensation durch eine erhöhte Verwendung von Kalksteinmehl und calcinierten Tonen¹⁹ erfolgt. Dies stellt eine vereinfachende Annahme dar. Ebenfalls möglich wäre die Verwendung von Nebenprodukten aus dem DRI-Prozess²⁰ bei der Stahlerzeugung (falls diese geeignet sind; hierzu laufen Forschungsvorhaben) oder der Einsatz von (Beton-) Brechsanden, sofern verfügbar.

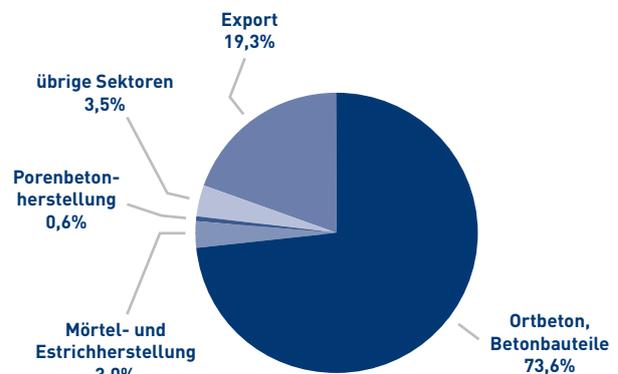
Die durchschnittliche Produktionsmenge von Kalkstein für die Zementherstellung lag im Zeitraum von 2005 bis 2019 bei 38,4 Mio. t p.a. (Abb. 22). Im Basisjahr der Studie 2019 wurden 39,5 Mio. t gewonnen. Zement als hydraulisches Bindemittel wird u.a. für die Beton-, Mörtel- und Porenbetonproduktion eingesetzt (Abb. 23).

Abb. 22: Produktionsmenge von Kalkstein für die Zementherstellung (in Mio. t)



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Abb. 23: Verwendung von Zement* 2019



Anmerkung:

* Zahlen bezogen auf Zementverbrauch (34 Mio. t)

Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Mit Blick auf die bis 2045 angestrebte Dekarbonisierung der Zementindustrie wurde ein sinkender Klinkeranteil bei der Zementherstellung angenommen. Dieser betrug im Basisjahr der Studie (2019) 70 % und sinkt im Betrachtungszeitraum bis 2040 auf 58 % (vgl. VDZ 2020). Der sinkende Klinkeranteil wird sukzessive durch den erhöhten Einsatz von Kalksteinmehl und calcinierten Tonen ersetzt.

¹⁹ Dies wurde im entsprechenden Kapitel berücksichtigt (4.2.6.3).

²⁰ DRI = direct reduced iron

In den Berechnungen wurden darüber hinaus Effizienzgewinne beim Bauen angenommen. Diese können sich z.B. durch den Einsatz von Carbon- oder Gradientenbeton ergeben (vgl. Kapitel 3.2). Entsprechend dieser Annahme wird weniger Kalkstein für die Zementherstellung in der oberen und unteren Variante benötigt.

Obere Variante:

In der oberen Variante nimmt die Produktionsmenge von Kalkstein für die Zementherstellung bis 2040 um 1,5 % ab. Der Rückgang erklärt sich im Wesentlichen durch Effizienzgewinne beim Bauen. Bereits berücksichtigt sind der erhöhte Einsatz von Kalksteinmehl zur Reduktion des Einsatzes von Zementklinker sowie zur Kompensation des Wegfalls von Hüttensand und Steinkohlenflugaschen (letzteres vgl. Kapitel 5.3.2.2.1).

Untere Variante:

In diesem Szenario sinkt die Menge an Kalkstein für die Zementherstellung bis 2040 auf 32,9 Mio. t. Gegenüber dem Basisjahr entspricht dies einem Minus von 16,8 %. Ursächlich für den starken Rückgang sind die schwache Baukonjunktur und Effizienzgewinne beim Bauen.

4.2.6 Tonige Rohstoffe

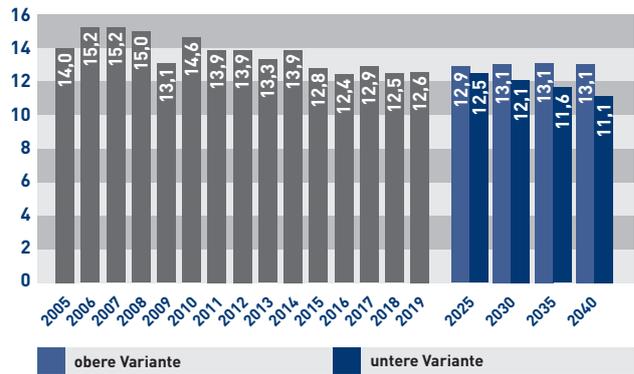
Tonige Rohstoffe sind zu unterscheiden in:

- Spezialtone und Kaoline für keramische und Feuerfesterzeugnisse sowie andere Anwendungen u.a. in der Papier-, Glasfaser-, Automobil- und Chemieindustrie sowie im Umweltschutz,
- Tone für die Ziegelherstellung (Dachziegel, Mauerziegel, Pflasterziegel)
- Tone für die Zementherstellung.

4.2.6.1 Spezialton und Kaolin

Die Produktionsmenge von Spezialton und Kaolin ist – im Vergleich zum Ziegelton – weniger stark von der Baukonjunktur abhängig, wodurch sich ein relativ gleichmäßiger Verlauf über den betrachteten Zeitraum ergibt (Abb. 24). Insgesamt wurden seit 2005 durchschnittlich rund 13,7 Mio. t jährlich gewonnen.

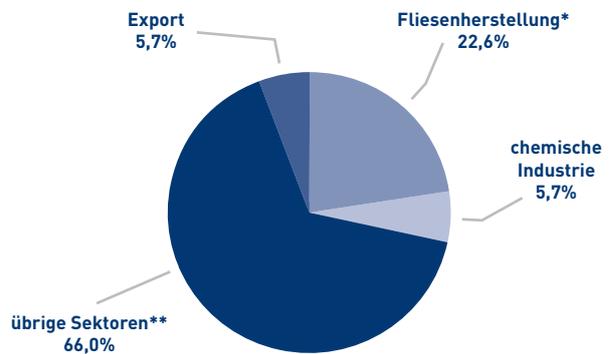
Abb. 24: Produktionsmenge von Spezialton und Kaolin (in Mio. t)



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

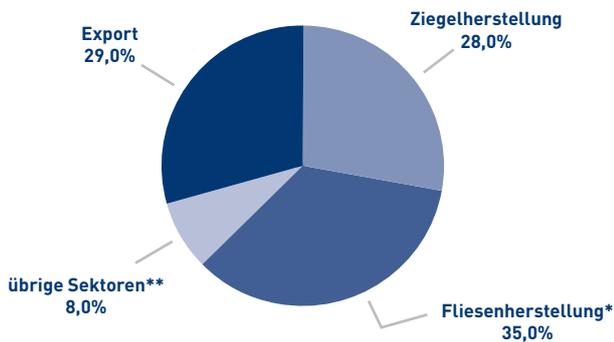
Wie Abb. 25 zeigt, wird Kaolin vorrangig in der Fliesenindustrie sowie in der Papier- und Glasfaserindustrie eingesetzt. Spezialton wird insbesondere für die Fliesen- und Ziegelherstellung verwendet (Abb. 26). Darüber hinaus wird ein sehr hoher Anteil des Spezialtons u.a. für die Fliesenherstellung exportiert.

Abb. 25: Verwendung von Kaolin 2019



Anmerkung:
 * inkl. Keramik; ** u.a. Papierindustrie, Glasfaserindustrie
 Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Abb. 26: Verwendung von Spezialton 2019



Anmerkung:

* inkl. Keramik; ** inkl. Feuerfest

Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Obere Variante:

Unter der Annahme, dass der Exportanteil, der in dieser Branche eine wesentliche Rolle spielt, gleichbleibt, führt die insgesamt positive Konjunktorentwicklung in der oberen Variante zu einer Nachfragesteigerung. Dabei wird das durchschnittliche Niveau der Jahre 2005 bis 2019 (13,7 Mio. t) allerdings nicht überschritten. Den Berechnungen zufolge liegt die nachgefragte Menge im Jahr 2040 bei 13,1 Mio. t. Im Vergleich zum Jahr 2019 stellt dies eine Steigerung um 3,7 % dar.

Untere Variante:

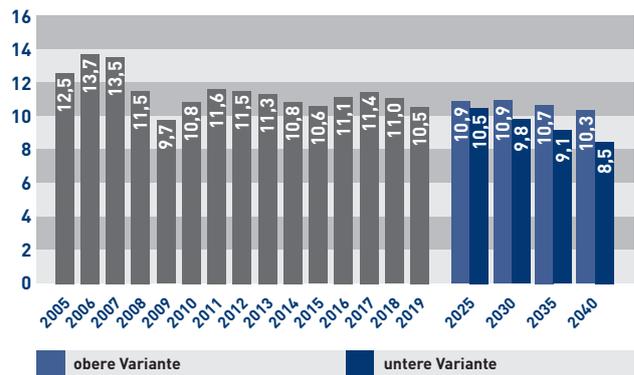
In der unteren Variante sinkt die Nachfrage nach Spezialton und Kaolin auf 11,1 Mio. t im Jahr 2040. Dies entspricht einem Rückgang von 11,8 % im Vergleich zum Basisjahr 2019.

Im Hinblick auf die Kaolinnachfrage ist zu berücksichtigen, dass für die Papierindustrie als Hauptabnehmer keine branchenspezifische Betrachtung erfolgt.

4.2.6.2 Ziegelton

Im Zeitraum von 2005 bis 2019 lag die produzierte Ziegeltonmenge bei durchschnittlich 11,4 Mio. t pro Jahr. Die Ziegeltonmengen wurden über die vom Statistischen Bundesamt ausgewiesene Ziegelproduktion ermittelt. Zur Produktion von Ziegeln wird neben Ziegelton auch Spezialton (Anteil: knapp ein Fünftel) eingesetzt.

Abb. 27: Produktionsmenge von Ziegelton (in Mio. t)



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Obere Variante:

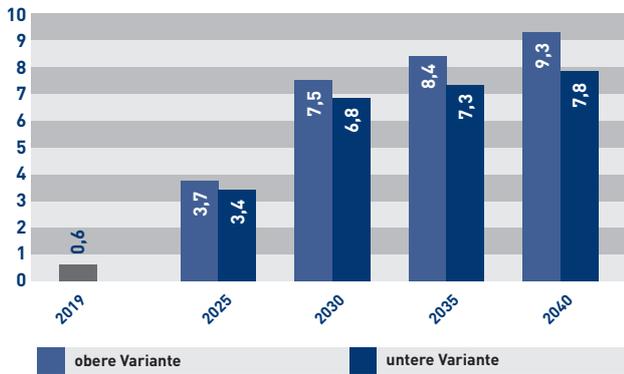
In der oberen Variante steigt die Produktion von Ziegelton zunächst auf 10,9 Mio. t an und sinkt bis 2040 auf 10,3 Mio. t ab (2040/2019: -1,9 %). Damit folgt die Produktionsmenge dem zunächst sehr positiven Konjunkturverlauf im Wohnungsbau, der sich nach 2025 allerdings abkühlt.

Untere Variante:

In der unteren Variante sinkt die Ziegeltonproduktion konjunkturell bedingt deutlich stärker. 2040 wird eine Produktionsmenge von 8,5 Mio. t erreicht (2040/2019: -19,4 %).

4.2.6.3 Ton für die Zementherstellung

Bislang setzt die Zementindustrie bei der Klinkerherstellung geringe Mengen Tonerde (Aluminiumoxid) ein (2019: 0,6 Mio. t). Die bis 2045 angestrebte Dekarbonisierung der Zementindustrie geht mit einer veränderten Zusammensetzung des Zements einher. Perspektivisch wird der Anteil des (in der Herstellung CO₂-intensiven) Zementklinkers zurückgehen und durch andere Primär- und/oder Sekundärrohstoffe ersetzt. Der Anteil des Klinkers betrug im Basisjahr der Studie (2019) 70 %. Bei den Berechnungen wird angenommen, dass der Anteil bis 2040 auf 58 % gesenkt wird (vgl. VDZ 2020). Daraus ergibt sich eine steigende Nachfrage nach Kalksteinmehl (vgl. Kapitel 4.2.5.3) und (getrockneten und) calcinierten Tonen. Die Abb. 28 zeigt die Entwicklung der Nachfrage nach dem Rohmaterial Ton in der oberen und unteren Variante.

Abb. 28: Produktionsmenge Ton für die Zementherstellung (in Mio. t)

Quelle: Berechnungen bbs

Obere Variante:

In der oberen Variante wird im Jahr 2040 eine Menge von 9,3 Mio. t Rohmaterial Ton nachgefragt. Dies ergibt sich aus dem sinkenden Klinkereinsatz im Zement. Berücksichtigt wurde auch der zusätzliche Bedarf zur Kompensation des Wegfalls von Hüttensand und Steinkohlenflugaschen bei der Zementherstellung.

Untere Variante:

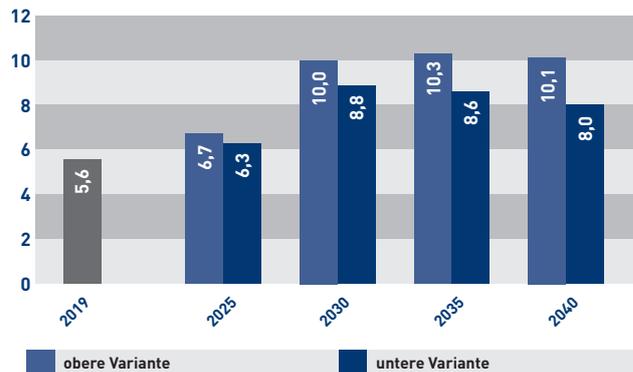
Die untere Variante unterscheidet sich von der oberen Variante durch eine schwächere Baukonjunktur. Hier werden im Jahr 2040 7,8 Mio. t Ton nachgefragt.

4.2.7 Gips- und Anhydritstein

Im Jahr 2019 wurden 5,6 Mio. t Gips- und Anhydritstein²¹ in Deutschland gewonnen. Gips und Anhydrit werden zu einer Vielzahl von Bauprodukten verarbeitet; beispielhaft seien hier Gipskartonplatten, Gipsputze, Spachtelmassen, Mörtel sowie Anhydritestrich genannt.

Bei der Herstellung von Gipserzeugnissen spielt auch die Verwendung von REA-Gips eine zentrale Rolle. REA-Gips

entsteht bei der Entschwefelung von Rauchgasen in Großfeuerungsanlagen, vorwiegend bei der Verstromung von Braun- und Steinkohle (REA = Rauchgasentschwefelungsanlage; vgl. Kapitel 5.3.2.3). 48 % der deutschen Gipsproduktion entfallen auf diesen Sekundärrohstoff.

Abb. 29: Produktionsmenge von Gips- und Anhydritstein (in Mio. t)

Anmerkung: Die künftige Naturgipsproduktion unterliegt großen Unsicherheiten und ist u.a. abhängig vom Zeitpunkt des Kohleausstiegs (REA-Gips), der künftigen Herstellung von RC-Gips und synthetischem Gips sowie der Importverfügbarkeit von Gips.

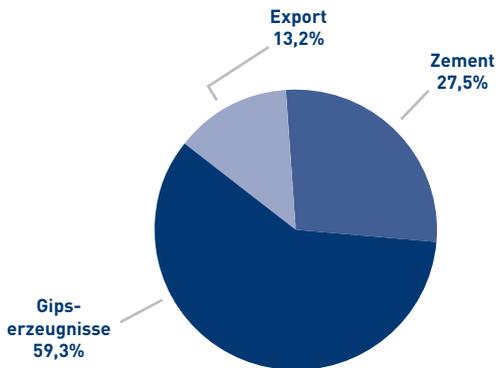
Quelle: Wert 2019: Verbandsangaben und destatis 2022c, Berechnungen SST

Durch das Auslaufen der Kohleverstromung wird sich die Produktionsmenge von REA-Gips reduzieren. Um den Pfad der Kohleverstromung abbilden zu können, wurden in dieser Studie die Annahmen des Papiers „Klimaneutrales Deutschland 2045“ im Auftrag von Agora Energiewende (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021) zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 3.3). Danach wird die Kohleverstromung, anders als im Kohleausstiegsgesetz beschlossen, Anfang der 30er Jahre auslaufen. Damit entsteht eine Angebotslücke, die – solange wie Gips als Baustoff unverändert nachgefragt wird – durch inländisch oder ausländisch gewonnenen Naturgips, RC-Gips, importierten REA-Gips oder synthetischen²² Gips kompensiert werden müsste.²³

²¹ Die Zahl 5,6 Mio. t setzt sich aus dem Rohstoffverbrauch in Deutschland (4,9 Mio. t; Quelle: BV Gips) und dem Außenhandelsaldo (= Exporte – Importe) von „Gipsstein und Anhydrit, roh gemahlen“ (WA25201000) zusammen. Die Höhe der Exporte belief sich 2019 auf rund 0,7 Mio. t; die Höhe der Importe betrug 0,03 Mio. t (destatis 2022c).

²² Nebenprodukt aus chemischen oder technischen Prozessen. Im Jahr 2019 belief sich die Menge an synthetischem Gips auf 35.997 t (BV Gips).

²³ Unter Beachtung ökonomischer Randbedingungen ist der Import von Rohgips frachtintensiv und damit teuer, und sowohl REA-Gipsdeposits wie auch RC-Gipse stehen nur eingeschränkt und in geringen Mengen als Alternativen zur Verfügung. In den Berechnungen wird unterstellt, dass Länder, die bislang REA-Gips aus Deutschland importiert haben, als Substitut Naturgips aus anderen Auslandsmärkten (insbesondere Spanien aufgrund der dortigen hohen Gipsvorkommen) einführen, so dass hiermit keine Effekte in Form zusätzlicher ausländischer Nachfrage auf die Naturgipsförderung in Deutschland verbunden sind.

Abb. 30: Verwendung von Gips- und Anhydritstein 2019

Quelle: Berechnungen SST aus Verbandsangaben zum Gipsverbrauch und destatis 2022c

Obere Variante:

Im oberen Szenario erhöht sich die Nachfrage nach dem Rohstoff Gips stark. Ausschlaggebend hierfür ist zum einen die positive Wirtschaftsentwicklung, die mit relativ hohen Zuwächsen insbesondere im Bestandsbau einhergeht. Darüber hinaus sinkt die REA-Gips-Erzeugung durch die auslaufende Kohleverstromung auf null. Im Jahr 2040 müssten, um die Nachfrage nach dem Rohstoff zu bedienen, 10,1 Mio. t²⁴ Gips- und Anhydritstein zur Verfügung gestellt werden.

Untere Variante:

Im unteren Szenario ergibt sich ebenfalls eine steigende Nachfrage nach Gips (2040: 8,0 Mio. t). Der Zuwachs beträgt im Vergleich der Jahre 2040/2019 43,9 %. Grund ist auch hier das wegfallende Aufkommen an REA-Gips. Darüber hinaus besteht auch in der unteren Variante Bedarf an Sanierungsmaßnahmen im Bestand. Allerdings wird dieser aufgrund der geringeren Wirtschafts- und Einkommensentwicklung nur teilweise marktwirksam.

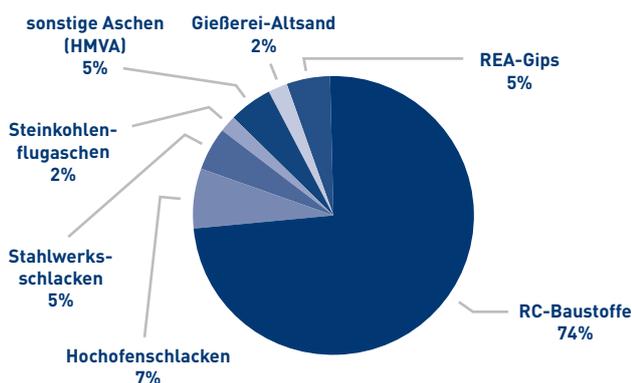
²⁴ Dieser Zahl liegt die Annahme zugrunde, dass alle REA-Gips-Exporte ins Ausland eingestellt werden und das Aufkommen an recyclingfähigem Material 2040 bei 1 Mio. t liegt, woraus 500.000 t RC-Gips hergestellt werden.

5. AUFKOMMEN UND VERWENDUNG MINERALISCHER SEKUNDÄRRÖHSTOFFE VON 2005 BIS 2019 SOWIE ABLEITUNG DES AUFKOMMENS BIS 2040

5.1 Bedeutung der Sekundärrohstoffe

Der Einsatz von Sekundärrohstoffen leistet einen wichtigen Beitrag zur Substitution primärer Rohstoffe und trägt damit aktiv zur Ressourcenschonung bei. Den größten Mengenstrom unter den betrachteten Sekundärrohstoffen stellen die RC-Baustoffe (74 %) dar.

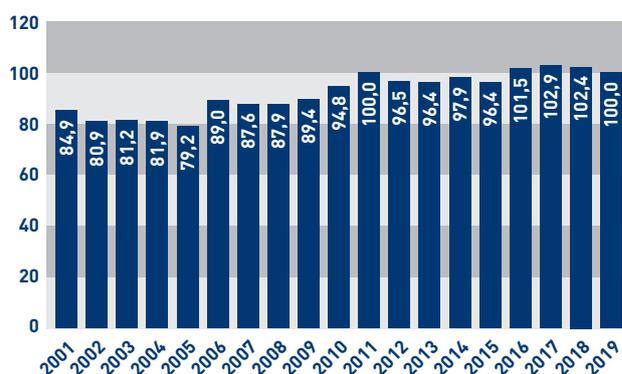
Abb. 31: Anteile der betrachteten Sekundärrohstoffe am Gesamtaufkommen 2019 (= 100 Mio. t)



Quelle: Zusammenstellung in Anlehnung an Kreislaufwirtschaft Bau 2021

Das Aufkommen der Sekundärrohstoffe ist über den Zeitraum von 2001 bis 2019 deutlich angestiegen; 2019 lag es bei 100 Mio. t. Das entspricht gegenüber dem Jahr 2001 einem Anstieg von rund 18 % [Abb. 32].

Abb. 32: Aufkommen an Sekundärrohstoffen in Deutschland 2001 bis 2019 (in Mio. t)



Quelle: Berechnungen SST

5.2 Rückgewinnung („Recovery“)

Mit Blick auf die Verwertungspfade und Substitutionspotenziale in der Steine-Erden-Industrie ist auch die Rückgewinnung („Recovery“), d. h. das Recycling von Fertigprodukten oberhalb der ersten Fertigungsstufe, von erheblicher Bedeutung. Insbesondere bei Industriemineralen wird häufig nicht die Gesteinskörnung, sondern das daraus hergestellte Fertigprodukt dem Kreislaufprozess zugeführt.

Ein Beispiel hierfür stellt die Glasindustrie als einer der wichtigsten Abnehmer von Spezialsanden dar. Im Behälterglasmarkt werden bereits Scherbeneinsatzquoten von bis zu 90 % erreicht [BV Glas 2021]. Im Flachglasbereich ist der Recyclinganteil bislang zwar deutlich geringer, dennoch nimmt auch hier die Scherbeneinsatzquote zu. Damit werden Sande, die in der Glasindustrie Verwendung finden, nicht als solche recycelt, sondern in Gestalt der hergestellten Produkte. Diese Rückgewinnung senkt die

Nachfrage nach Primärrohstoffen deutlich. Gleiches gilt für die Papierindustrie, in die u.a. Kaolin und Kalk geliefert werden: Die Recyclingquote liegt hier bei rund 90,7 % (2019; UBA 2021)²⁵. Die Rückgewinnung von Fertigprodukten leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Substitution von Primärrohstoffen im Bereich der Industriemineralien.

Da die künftige Entwicklung der Rückgewinnung im Rahmen dieser Studie nicht prognostiziert wird, bleibt der mögliche Effekt einer steigenden Rückgewinnungsquote auf die Nachfrage nach Steine-Erden-Rohstoffen hier rechnerisch unberücksichtigt. Dies ist bei Interpretation der Daten zur Primärrohstoffnachfrage zu berücksichtigen.

5.3 Entwicklung des Sekundärrohstoffaufkommens und Auswirkungen auf die Nachfrage nach Primärrohstoffen

5.3.1 Recyclingbaustoffe

Recyclingbaustoffe sind in einem aktiven Aufbereitungsprozess (i. d. R. Brechen/Sortieren/Klassieren) aus mineralischen Bauabfällen hergestellte Baustoffe. Dies unterscheidet Recyclingbaustoffe von einer direkten Verwertung mineralischer Abfälle für die Herstellung, Sicherung oder Gestaltung von Landschaftsbauwerken ohne tiefgreifende vorherige Aufbereitung. Die Ausgangsstoffe für das Baustoffrecycling sind die mineralischen Abfälle, die sich aus Boden und Steinen, Bauschutt, Straßenaufbruch sowie mineralischen Baustellenabfällen zusammensetzen. Die unter dem Begriff Boden und Steine zusammengefassten Materialien werden vielfach als Verfüll- oder Auffüllmaterial im Straßen-, Landschafts- und Deponiebau bzw. zur Rekultivierung von Abbauflächen verwertet. Häufig erhalten die Bauschuttanfertigungsanlagen als Input Gemische von Bauschutt, Straßenaufbruch sowie Boden und Steinen. Bei der Aufbereitung dieses Inputs werden teilweise auch die im Boden enthaltenen Körnungen separiert und zu RC-Baustoffen aufbereitet. Die Produktionsmenge an Recyclingbaustoffen ist nicht frei variabel, sondern richtet sich nach dem Umfang der Bau- und Abbruchaktivitäten.

„Urban Mining“, also die Nutzung des abgebrochenen Baubestands als Rohstoffquelle, wird bereits heute in hohem Umfang zur Rohstoffschonung betrieben. 2018 sind in Deutschland 88,5 Mio. t Baurestmassen der Fraktionen Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle angefallen. Davon wurden 94,9 % verwertet (Kreislaufwirtschaft Bau 2021). Die als RC-Baustoffe wiederverwendete Menge betrug unter Einbeziehung von Gesteinskörnungen aus der Fraktion Boden und Steine 73,3 Mio. t und entsprach damit einem Anteil von 12,5 % der gesamten Nachfrage nach primären und sekundären Gesteinskörnungen in Deutschland im Jahr 2018. Über einen längeren Zeitraum betrachtet weist die Menge der RC-Baustoffe einen Zusammenhang zur Bautätigkeit insgesamt auf.

Die Zusammensetzung der Abbruchmaterialien ist sehr unterschiedlich, je nach den zur jeweiligen Bauzeit eingesetzten Materialien. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Betonanteil in den zum Abriss kommenden Bauwerken zunehmen wird, da der Einsatz von Beton seit den 1950er Jahren deutlich angestiegen ist. Unter anderem vor diesem Hintergrund steigt das Potenzial zur Steigerung des Anteils rezyklierter Gesteinskörnungen im Beton (R-Beton); bisher werden RC-Baustoffe zum weit überwiegenden Teil im Tiefbau eingesetzt (vgl. Abb. 34). Die Baustoffindustrie strebt an, den Anteil rezyklierter Gesteinskörnungen auch bei Anwendungen im Hochbau zu erhöhen etwa als Gesteinskörnung im Beton. Allerdings wird sich die absolute Nachfrage nach Primärrohstoffen dadurch nur in begrenztem Umfang reduzieren, denn RC-Baustoffe werden bereits in hohem Maße umweltgerecht verwertet. Mengen, die künftig im Hochbau eingesetzt werden, müssten daher im Tiefbau weitgehend durch Primärrohstoffe ersetzt werden. Potenzial zur Erhöhung der RC-Baustoffproduktion bietet insbesondere die Fraktion „Boden und Steine“. Hier lag die Verwertungsquote 2018 bei 86,2 %, wobei von den 130,3 Mio. t Bodenaushub, Baggergut und Gleisschotter 99,0 Mio. t (76,0 %) im übertägigen Bergbau und Deponiebau verwertet wurden und aus weiteren 13,3 Mio. t (10,2 %) Recyclingbaustoffe hergestellt wurden. 18,0 Mio. t (13,8 %) wurden auf Deponien und in anderen Maßnahmen beseitigt.

Die von der Bundesregierung im Juni 2021 verabschiedete und im August 2023 in Kraft tretende Mantel-Verordnung²⁶ wird allerdings die Rahmenbedingungen für die Verwertung

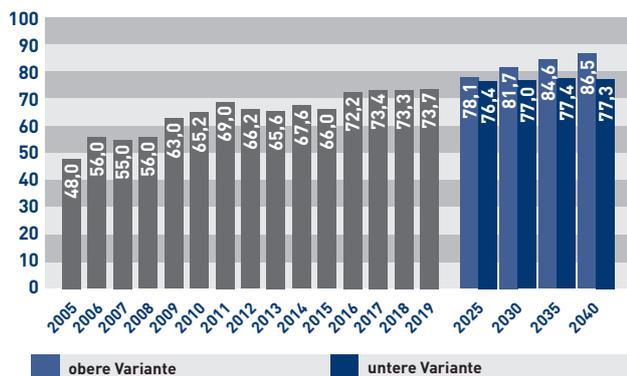
²⁵ Altpapierverwertungsquote = Altpapierverbrauch / Papierverbrauch

²⁶ Die Mantelverordnung für Ersatzbaustoffe und Bodenschutz beinhaltet die Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, die Neuschaffung der Ersatzbaustoffverordnung und die Änderung der Deponieverordnung und Gewerbeabfallverordnung.

von Baurestmassen im Rahmen der Verfüllung von Abgrabungen ändern. Es ist davon auszugehen, dass die hier eingesetzten Massenströme kurz- bis mittelfristig abnehmen werden. Diese Massenströme müssen dann neuen Verwertungswegen zugeführt werden. Um eine hochwertige Verwertung als RC-Baustoff zu ermöglichen, ist die optimierte Aufbereitung der Fraktion Boden und Steine erforderlich. Im Rahmen der Studie wird angenommen, dass damit die Menge an Recyclingbaustoffen bis 2040 um 8 Mio. t gesteigert werden kann.

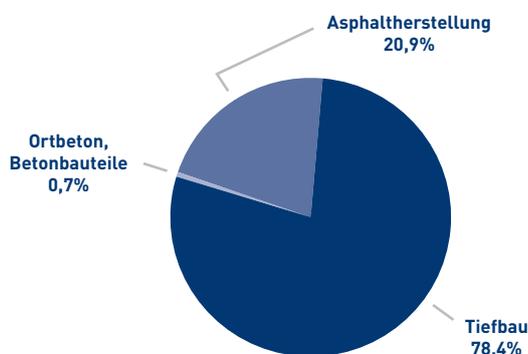
Die künftige Verteilung des RC-Baustoffeinsatzes auf Hoch- bzw. Tiefbau wird im Rahmen dieser Studie nicht analysiert. Darüber hinaus bleiben mögliche künftige Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Verwendung von RC-Materialien unberücksichtigt. In Bezug auf die künftig anfallende Menge an mineralischen Bauabfällen ist davon auszugehen, dass der Zusammenhang zwischen Bautätigkeit und Abriss auch künftig fortbesteht.

Abb. 33: Produktionsmenge von Recyclingbaustoffen (in Mio. t)



Quelle: Berechnungen SST

Abb. 34: Verwendung von Recyclingbaustoffen 2018*



* Anmerkung: aktuellster verfügbarer Wert

Quelle: destatis 2021h und 2021i

Obere Variante:

In der oberen Variante führt die positive Baukonjunktur verstärkt zum Ersatz von Bestandsbauwerken, was zu einem Mehraufkommen an RC-Baustoffen führt. Auch bislang wenig flächeneffizient genutzte Wohnungsbestände dürften – aufgrund der hohen Nachfrage nach innerstädtischen Wohnlagen – in Teilen ersetzt werden. Der aufgestaute Sanierungsbedarf im Tiefbau (z.B. bei Straßenbrücken) trägt zu steigenden Ersatzinvestitionen und damit verbunden einem zunehmenden Aufkommen an mineralischen Bauabfällen bei. In diesem Szenario stehen dementsprechend im Jahr 2040 rund 86,5 Mio. t RC-Baustoffe zur Verfügung. Im Vergleich zum Jahr 2019 wäre dies eine Steigerung um 6,5 %. Hier berücksichtigt ist auch die optimierte Aufbereitung der Fraktion „Boden und Steine“.

Untere Variante:

Die geringere Bautätigkeit in der unteren Variante geht mit einem abnehmenden Rückbau von Bauwerken einher. Jedoch kann auch in diesem Szenario das Aufkommen an RC-Baustoffen aus der Fraktion „Boden und Steine“ erhöht werden, sodass die Menge an RC-Baustoffen im Vergleich zum Basisjahr um 4,9 % auf 77,3 Mio. t steigt.

RC-Baustoffe substituieren im Tiefbau Primärrohstoffe, insbesondere Kies und Naturstein. Für die Zukunft wird zudem angestrebt, die Verwendung von RC-Baustoffen als Betonzuschlagstoff zu erhöhen. Da das Angebot von RC-Baustoffen nicht beliebig auszuweiten ist, sind Nachfrageüberschüsse durch eine zusätzliche Gewinnung von Sand, Kies und/oder Naturstein auszugleichen. In dieser Studie wurde davon ausgegangen, dass die Angebotslücke zu 50 % durch Sand/Kies und zu weiteren 50 % durch Naturstein gedeckt wird; dies wurde im Kapitel 4 berücksichtigt.

5.3.2 Industrielle Nebenprodukte

Als industrielle Nebenprodukte werden alle Stoffe bezeichnet, die in großtechnischen Prozessen als Nebenstoffstrom entstehen. Sie sind in der nachfolgenden Aufzählung jeweils in Klammern hinter dem Primärprozess ausgewiesen und stammen im Wesentlichen aus den folgenden Produktionsbereichen:

- Eisenhütten- und Stahlindustrie sowie Nichteisen-Metallurgie einschließlich Gießereindustrie (Schlacken, Stäube, Gießereialtsande),
- Thermische Abfallbehandlung (Aschen),
- Energieerzeugung aus Braun- und Steinkohle (Aschen),
- Rauchgasentschwefelungsanlagen von Kraftwerken (REA-Gips).

Die bei der Verstromung von Braunkohle anfallenden Aschen werden aufgrund ihrer Inhaltsstoffe nicht als Sekundärrohstoff in der Steine-Erden-Industrie verwendet. Sie werden derzeit hauptsächlich in der Stabilisierung der notwendigen Tagebauverfüllung eingesetzt und hier nicht weiter betrachtet.

5.3.2.1 Schlacken

Unter Schlacken werden die bei der Produktion von Roheisen, Stahl und Nichteisenmetallen entstehenden nichtmetallischen Schmelzen verstanden. Nach ihrer langsamen Abkühlung an der Luft liegen sie als künstliches, kristallines Gestein vor. Ihre Entstehung entspricht somit derjenigen von natürlichen, magmatischen Gesteinen wie Basalt oder Granit. Schlacken unterscheiden sich von den Aschen dadurch, dass sie grundsätzlich aus einer geschmolzenen Phase gebildet werden. Sie weisen dadurch ein hochfestes Gefüge auf. Die Eigenschaften können durch einen gesteuerten Abkühlungs- und gezielte Nachbehandlungsprozesse (z.B. Granulation, Brechen/Klassieren) anwendungsbezogen beeinflusst werden.

An dieser Stelle werden folgende Schlacken betrachtet:

- Hochofenstückschlacken/Hüttensand aus der Eisenerzeugung,

- Stahlwerksschlacken (Schlacken aus dem Blasstahl/Linz-Donawitz-Verfahren sowie Schlacken aus dem Elektroofenverfahren) aus der Stahlerzeugung, außerdem sekundärmetallurgische Schlacken aus nachgeschalteten metallurgischen Prozessen der Stahlerzeugung.

Die Eisenhüttenschlacken (zusammenfassende Bezeichnung für Hochofen- und Stahlwerksschlacken) werden wegen der baustofftechnischen Eignung (i.W. Festigkeit, Frostsicherheit) und des günstigen Umweltverhaltens (keine organischen Schadstoffe; anorganische Schadstoffe, z.B. Schwermetalle, sind mineralisch fest gebunden) umfangreich im Erd-, Straßen-, Wege-, Wasser- und Gleisbau sowie in der Zementindustrie eingesetzt (Abb. 36 und 38). Die Verwendung erfolgt seit vielen Jahren nahezu vollständig.

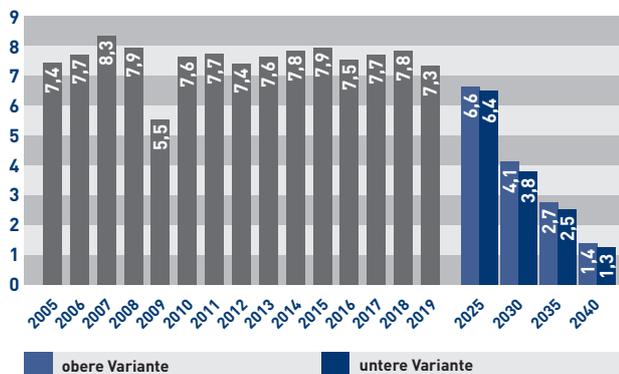
Das Aufkommen von Schlacken wird determiniert durch die Produktion von Roheisen, Stahl und Nichteisenmetallen. Die Dekarbonisierung in der Stahlindustrie wird mittelfristig zu einem Wegfall der Hochofenroute und zur Umstellung der Produktion auf die Direktreduktion mittels Wasserstoff führen (vgl. Kapitel 3.3). Damit wird das Aufkommen an Hochofenschlacken bis 2045 auf null sinken, das Aufkommen an Stahlwerksschlacken als Nebenprodukt der Elektrostahlherstellung hingegen ansteigen (vgl. Kapitel 5.3.2.1.2).

5.3.2.1.1 Hochofenschlacken

In den letzten 15 Jahren wurden durchschnittlich 7,5 Mio. t Hochofenschlacken p.a. in Deutschland produziert. Ein Großteil der Hochofenschlacken wird heute in Granulationsanlagen mit Wasser schnell abgekühlt; das erzeugte Produkt wird (im Gegensatz zur an Luft kristallin erstarrten Hochofenstückschlacke) Hüttensand genannt. Er ist wegen seiner latent hydraulischen Eigenschaften von erheblicher Bedeutung für die Zementherstellung. Der Einsatz bei der Zementproduktion kann den aus den primären Rohstoffen (insbesondere Kalkstein) hergestellten Zementklinker teilweise substituieren, indem Hüttensand direkt im Zementmahlprozess zugesetzt oder getrennt vermahlen und anschließend dem gemahlten Klinker zugegeben wird. Dies substituiert Primärrohstoffe und vermeidet Energieaufwand und CO₂-Emissionen im

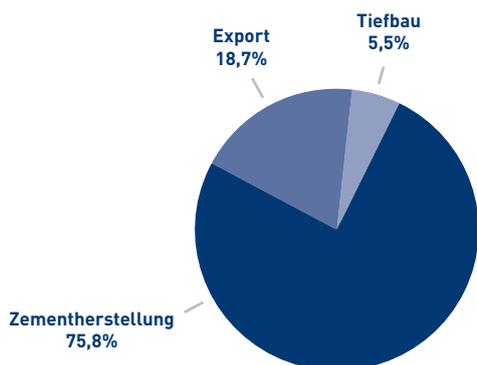
Klinkerbrennprozess. Deutschlandweit wurden 2019 rund 5,5 Mio. t Hüttensand (rund 76 % der produzierten Hochofenschlacken 2019; vgl. Abb. 36) im Zementherstellungsprozess eingesetzt.

Abb. 35: Produktionsmenge von Hochofenschlacken (in Mio. t)



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen bbs

Abb. 36: Verwendung von Hochofenschlacken 2019



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Obere Variante:

In der oberen Variante dürfte das Aufkommen an Hochofenschlacken – ausgehend von der sukzessiven Stilllegung von Hochöfen im Zuge der Dekarbonisierung der Eisen- und Stahlherstellung (vgl. Kapitel 3.3) – drastisch sinken. Das Aufkommen dürfte 2040 mit 1,4 Mio. t rund 81 % unterhalb des Niveaus von 2019 liegen.

Untere Variante:

Aufgrund der konjunkturell bedingt schwächeren Stahlnachfrage ist der Rückgang der Hochofenschlackenproduktion im unteren Szenario noch etwas stärker. Die 2040 produzierte Menge an Hochofenschlacken würde auf 1,3 Mio. t sinken (Veränderung 2040/2019: -83 %).

Das Aufkommen an Hochofenschlacke wird bis 2045 auf null sinken.²⁷ Die wegfallenden Sekundärrohstoffmengen könnten zum Teil durch den Einsatz von Stahlwerksschlacken kompensiert werden.²⁸ In der Zementindustrie wird darüber hinaus die Substitution etwa durch Kalksteinmehl und calcinierte Tone notwendig sein. In den Berechnungen wurde dies im Kapitel 4 berücksichtigt.

5.3.2.1.2 Stahlwerksschlacken

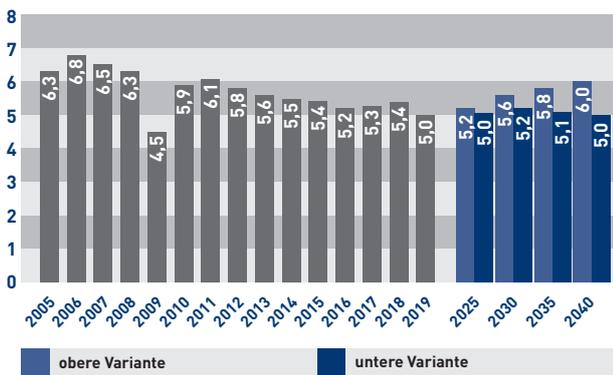
Das Aufkommen an Stahlwerksschlacken war in den vergangenen Jahren tendenziell rückläufig. Im Zeitraum von 2005 bis 2019 wurden durchschnittlich 5,7 Mio. t pro Jahr erzeugt.

Der überwiegende Teil der Stahlwerksschlacken (rund 62 %) wurde 2019 im Tiefbau verwendet. Rund 17 % des Aufkommens werden im Produktionsprozess der Eisen- und Stahlindustrie als Kalk- und Eisenträger intern recycelt. Die verbleibenden Anteile werden als Düngemittel in der Landwirtschaft eingesetzt (12 %) bzw. exportiert (Abb. 38). Im Zuge des absehbaren Wegfalls von Hochofenschlacken (vgl. Kapitel 5.3.2.1.1) laufen Forschungsvorhaben zum Einsatz von Stahlwerksschlacken etwa in der Zementindustrie.

²⁷ Die Berechnungen in der vorliegenden Studie orientieren sich an den Annahmen der BCG-Studie „Klimapfade 2.0 – Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft“ (BCG 2021; vgl. Kapitel 3.3). An dieser Stelle wurde nicht berücksichtigt, dass Stahlhersteller ggf. auch Hochöfen mit „grünen“ Gasen betreiben und entstehendes CO₂ abscheiden könnten (CCU/CCS).

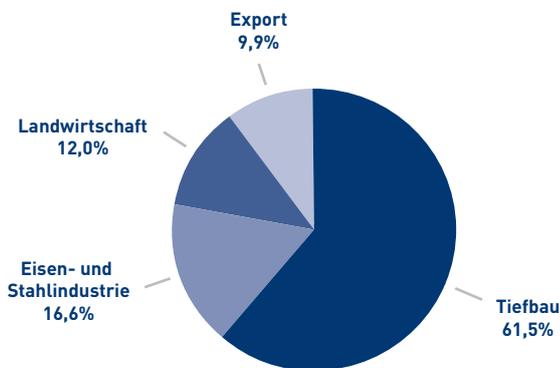
²⁸ Die anfallenden Stahlwerksschlacken werden bislang vollständig eingesetzt. Allerdings wird in dieser Studie davon ausgegangen, dass im Zuge der Dekarbonisierung mehr Stahlwerksschlacken anfallen (vgl. Kapitel 5.3.2.1.2), die teilweise als Ersatz für die wegfallenden Hochofenschlacke eingesetzt werden könnten.

Abb. 37: Produktionsmenge von Stahlwerksschlacken (in Mio. t)



Quelle: Verbandsangaben, bbs-Berechnungen

Abb. 38: Verwendung von Stahlwerksschlacken 2019



Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Obere Variante:

Ausgehend von einer Produktionsmenge von 5,0 Mio. t im Jahr 2019 ist bis 2040 ein Zuwachs an Stahlwerksschlacken auf 6,0 Mio. t zu erwarten. Dies entspricht einem Plus von 20 % gegenüber dem Basisjahr. Grund für den Zuwachs ist, dass die Gangart, d.h. der nichtmetallische Anteil des Erzes, der gemeinsam mit Kalk als Zuschlag zu Hochofenschlacke reagiert, mit Auslaufen der Hochofenroute in Stahlwerksschlacken gebunden sein wird. Zudem steigt mit dem grundsätzlich zu erwartenden Anstieg des Schrotteinsatzes bei der Stahlherstellung die spezifische Schlackenerzeugung (= Schlacke je Tonne Rohstahl).

Untere Variante:

In der unteren Variante bleibt die produzierte Menge an Stahlwerksschlacken auf dem Niveau des Basisjahres (2040: 5,0 Mio. t; 2040/2019: ±0%). Der schlechtere Konjunkturverlauf verhindert einen stärkeren Produktionsanstieg.

Sowohl in der oberen als auch in der unteren Variante kann die theoretische Nachfrage nach Stahlwerksschlacken durch die Erzeugung abgedeckt werden.

5.3.2.2 Aschen

Aschen entstehen bei Verbrennungs- bzw. Pyrolyseprozessen als Rückstände der mineralischen Bestandteile des Verbrennungsgutes. Das Aschenaufkommen ist material- und prozessabhängig von unterschiedlicher Menge und Qualität.

Die hier unter Aschen zusammengefassten Rückstände aus Verbrennungsprozessen umfassen Aschen aus der Trockenfeuerung, Schmelzkammergranulate aus der Hochtemperaturverbrennung sowie Rückstände aus der Kesselreinigung. Eine weitere Spezifizierung ist auf Basis der verfügbaren Angaben nicht möglich.

Die in den thermischen Prozessen anfallenden Aschen sind nach der Art der Anlagen und der Einsatzstoffe zu unterscheiden in:

- Aschen aus der Energieerzeugung mit Steinkohle (Steinkohlenflugaschen),
- Aschen aus der Energieerzeugung mit Braunkohle (Braunkohlenflugaschen; werden – wie bereits gesagt – aufgrund ihrer vollständigen internen Verwendung in der eigenen Industrie nicht betrachtet),
- Sonstige (Rost-) Aschen aus der Müllverbrennung und der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen (HMVA).

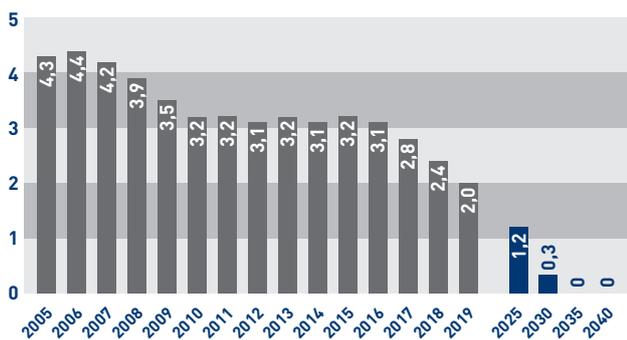
5.3.2.2.1 Steinkohlenflugaschen

In Deutschland fielen im Jahr 2019 2,0 Mio. t Aschen aus der Steinkohlenfeuerung an. Damit sank das Aufkommen über die vergangenen Jahre entsprechend der verringerten Kohleverstromung.

Mit dem bevorstehenden Kohleausstieg in Deutschland (vgl. hierzu Kapitel 3.3) wird sich die verfügbare Menge von Steinkohlenflugaschen innerhalb weniger Jahre auf null reduzieren. Bei Übertragung der Annahmen aus der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ im Auftrag von Agora

Energiewende (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021), die anders als das Kohleausstiegsgesetz eine Beendigung der Kohleverstromung bereits Anfang der 30er Jahre vorsieht, ergibt sich für das Jahr 2025 ein Aufkommen an Steinkohlenflugasche von 1,2 Mio. t. Für das Jahr 2030 errechnet sich ein Aufkommen von 0,3 Mio. t. Mit Abschaltung des letzten Kohlekraftwerkes sinkt die Produktionsmenge anschließend auf null.

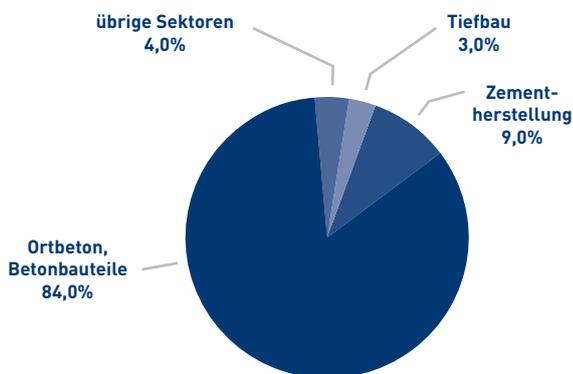
Abb. 39: Produktionsmenge von Steinkohlenflugaschen (in Mio. t)



Quelle: VGB PowerTech e.V. (bis 2019); ab 2025: bbs-Berechnungen, Annahmen entnommen aus: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021

Die heute anfallenden Steinkohlenflugaschen werden nahezu vollständig bei der Betonherstellung (Zusatzstoff), bei der Zementherstellung (als Sekundärrohstoff oder Hauptbestandteil), im Straßen-, Wege- und Erdbau (Bodenverfestigung, Asphalt, hydraulisch gebundene Trag-schichten) sowie in der Abfallwirtschaft (Schlammkonditionierung, Abfallverfestigung) eingesetzt (Abb. 40).

Abb. 40: Verwendung von Steinkohlenflugaschen 2019



Quelle: VGB PowerTech e.V.; Verbandsangaben, Grundlage der Verwendung: vermarktete Menge (2,3 Mio. t)

Der Rückgang der Steinkohleverstromung bis Anfang der 30er Jahre und der damit einhergehende Wegfall von Steinkohlenflugaschen (Aufkommen 2030: 0,3 Mio. t) wird insbesondere mit Blick auf die Betonproduktion eine spürbare Angebotslücke nach sich ziehen. Diese wird eine erhöhte Nachfrage nach Primärrohstoffen mit sich bringen, denn andere Sekundärstoffe wie Hüttensand werden durch die Dekarbonisierung in der Stahlindustrie ebenfalls nicht mehr in ausreichender Menge zur Verfügung stehen.

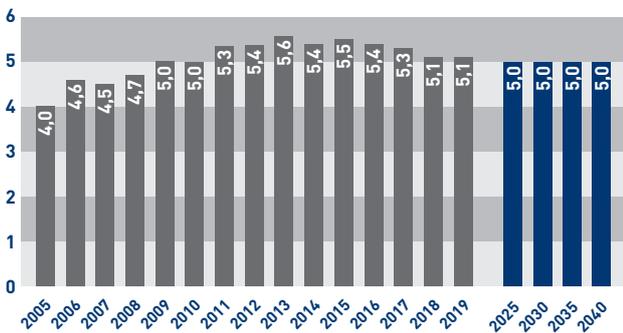
Die wegfallenden Mengen an Steinkohlenflugaschen, die vorrangig in der Beton- und Zementproduktion eingesetzt werden, können durch den vermehrten Einsatz von Zement und/oder Kalksteinmehl kompensiert werden. Hier wird angenommen, dass ein Ausgleich durch einen steigenden Anteil von Kalksteinmehl, calciniertem Ton und untergeordnet Zementklinker erfolgt. Daraus ergibt sich eine erhöhte Nachfrage nach Kalkstein für die Zementproduktion sowie (calciniertem) Ton; dies wurde bei der Berechnung der Primärrohstoffmengen im vierten Kapitel berücksichtigt.

5.3.2.2 Sonstige (Rost-) Aschen aus der Müllverbrennung und der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen

Die Produktionsmenge der (Rost-) Aschen aus den Hausmüllverbrennungsanlagen und der Verbrennung von Ersatzbrennstoffen (HMVA) belief sich im Jahr 2019 auf ca. 5,1 Mio. t (Abb. 41). Das Aufkommen in den Jahren von 2005 bis 2019 belief sich durchschnittlich auf rund 5,1 Mio. t pro Jahr.

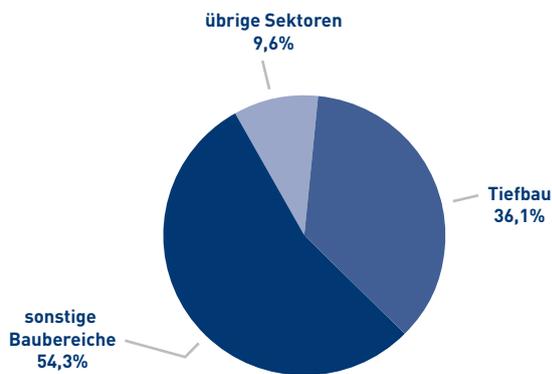
Die HMVA werden u.a. im Tiefbau für den Unterbau von Straßen, Wegen und Plätzen eingesetzt. Abbildung 42 zeigt die Verteilung der Verwendung im Jahr 2019 im baunahen Bereich; nicht berücksichtigt sind hier die Verwertung im Deponiebau und unter Tage sowie die Deponierung.

Abb. 41: Produktionsmenge von sonstigen (Rost-) Aschen aus der Müllverbrennung und der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen (in Mio. t)



Quelle: destatis 2021], Prognose: Verbandsabschätzung

Abb. 42: Verwendung von sonstigen (Rost-) Aschen aus der Müllverbrennung und der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen 2019*



* Diagramm bezieht sich auf den Einsatz in baunahen Bereichen (1,7 Mio. t). Unter Einbeziehung weiterer Einsatzbereiche bzw. der Beseitigung ergibt sich folgende Verteilung: Straßen- und Wegebau und Erdbau: 19,8 %, Deponiebau 55,6 %, Verwertung Untertage 4,1 %, übrige Bereiche 2,1 %, Deponierung 18,4 %

Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Das Aufkommen an (Rost-) Aschen aus den Hausmüllverbrennungsanlagen sowie der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen entwickelt sich in Abhängigkeit der verbrannten Siedlungsabfallmengen. Aufgrund von Entwicklungen im Produktdesign und im Recycling erwartet der zuständige Fachverband einen geringfügigen Rückgang der Verbrennungsmengen und somit auch einen leichten Rückgang bei den HMVA. Für die Jahre bis 2040 dürfte das Aufkommen bei 5,0 Mio. t pro Jahr liegen.

Beim Abgleich des Aufkommens mit dem theoretischen Bedarf, der sich insbesondere aus der künftigen Entwicklung des Tiefbaus ergibt, errechnet sich sowohl in der

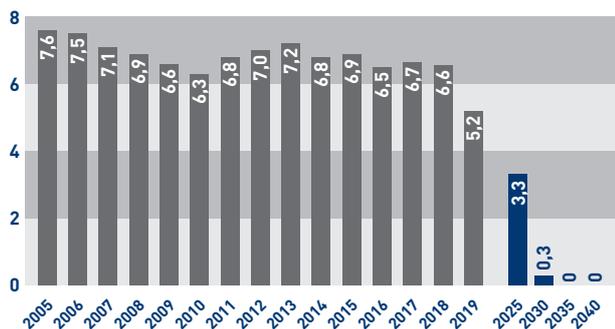
oberen als auch in der unteren Variante für nahezu alle Jahre zwischen 2025 und 2040 ein Nachfrageüberschuss. Dieser müsste im Tiefbau durch den Einsatz von Naturstein kompensiert werden und wurde bei den entsprechenden Berechnungen des Primärrohstoffbedarfs (Kapitel 4.2.3) berücksichtigt.

5.3.2.3 REA-Gips

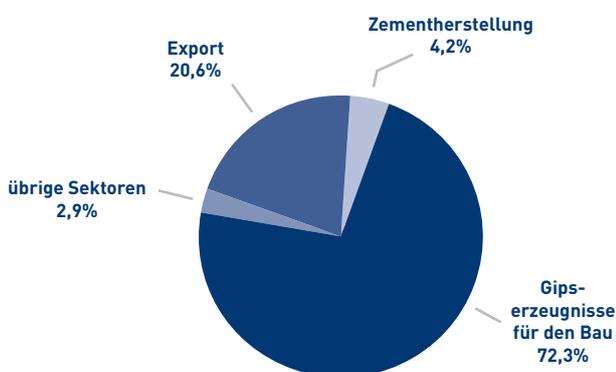
Bei der Rauchgasreinigung im Kalkwaschverfahren in Großfeuerungsanlagen entsteht aus der Reaktion von Kalk und Wasser mit Schwefeldioxid und Luftsauerstoff synthetischer REA-Gips (REA = Rauchgasentschwefelungsanlage). Bedeutend sind hier nur Gipse aus Braun- und Steinkohlekraftwerken, da bei thermischen Abfallbehandlungsanlagen nur geringe Mengen mit qualitätsbedingt meist geringem Nutzungspotenzial anfallen. Der überwiegende Teil des REA-Gipses (2019: 81,5 %) stammt heute aus Braunkohlekraftwerken, die mit Kohle aus heimischen Lagerstätten versorgt werden.

In der Zeitspanne von 2005 bis 2018 wurden relativ konstant durchschnittlich rund 6,9 Mio. t REA-Gips pro Jahr produziert (Abb. 43). Im Jahr 2019 fiel die Menge auf 5,2 Mio. t. Die Inlandsnachfrage nach REA-Gips lag 2019 nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Gipsindustrie bei etwa 4,0 Mio. t. Die Verwendung von REA-Gips (Abb. 44) entspricht dabei weitgehend der von Naturgips und Anhydrit.

Die künftige Entwicklung der REA-Gips-Erzeugung hängt vom Einsatz von Stein- und Braunkohle in der Stromerzeugung ab (vgl. Kapitel 3.3). Um den Pfad der zukünftigen Kohleverstromung abbilden zu können, werden die Annahmen aus der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut [2021]) herangezogen. Anders als im Kohleausstiegsgesetz beschlossen, wird hierin ein Ausstieg aus der Kohleverstromung bereits Anfang der 30er Jahre zugrunde gelegt. Daraus folgt, dass sich bereits Anfang der 30er Jahre das Aufkommen an REA-Gips auf null reduzieren wird. Dem geht ein schrittweises Absinken der Produktionsmenge auf 3,3 Mio. t im Jahr 2025 und 0,3 Mio. t im Jahr 2030 voraus.

Abb. 43: Produktionsmenge von REA-Gips* (in Mio. t)

Quelle: REA-Gips-Menge bis 2019 VGB PowerTech e.V.; ab 2025: bbs-Berechnungen, Annahmen zur Nettostromerzeugung entnommen aus: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021

Abb. 44: Verwendung von REA-Gips 2019

Quelle: Verbandsangaben, Berechnungen SST

Durch den Wegfall des REA-Gipses entsteht sowohl in der oberen als auch in der unteren Variante eine Angebotslücke (dies berücksichtigt bereits, dass deutsche REA-Gips-Exporte eingestellt werden). Die Angebotslücke müsste – solange wie Gips als Baustoff unverändert nachgefragt wird – durch inländisch oder ausländisch gewonnenen Naturgips, RC-Gips, importierten REA-Gips und/oder synthetischen Gips kompensiert werden.

Die Möglichkeit, REA-Gips aus dem Ausland zu importieren, dürfte sich schwierig gestalten, da mit Deutschland ein Hauptexporteur für den europäischen Markt wegfällt und die Nachfrage nach REA-Gips auch im Ausland hoch bleiben dürfte.

Das von der Gipsindustrie entwickelte Recyclingkonzept für Gipsabfälle wird perspektivisch einen Beitrag zur Kompensation des rückläufigen Angebots leisten. Allerdings ist das Aufkommen an recycelbaren Gipsabfällen relativ gering, wodurch die aus dem Recycling gewinnbare Menge bei weitem nicht groß genug sein wird, um die wegfallende REA-Gipsmenge zu kompensieren. So belief sich die Menge an RC-Gips im Basisjahr der Studie (2019) auf 44.799 t (Quelle: BV Gips). Auch die in Deutschland hergestellte Menge an synthetischem Gips²⁹ wird nicht zur Kompensation ausreichen.

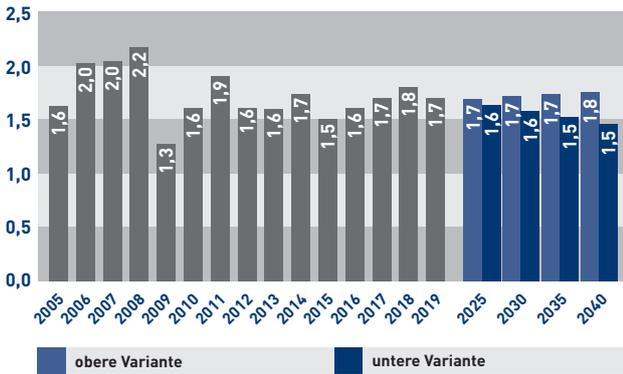
5.3.2.4 Gießereialtsande

Das Sandgussverfahren ist eine weitverbreitete Technologie bei der Herstellung von Gussmetall. Gussformen und Gusskerne werden nach üblicher Technik aus entsprechend geeignetem Quarzsand, gebunden mit organischen (vorwiegend Kunstharze bei der Kernherstellung) oder anorganischen Bindemitteln (vorwiegend Bentonit bei Formen) hergestellt. Gießereialtsand entsteht durch die notwendige Erneuerung des Gießereisandes, Kernsand als Kernbruch, Überschussand oder Fehlchargen bei der Kernherstellung (Giegrich et al. 2002). Gießereisande werden im Produktionsprozess mehrfach einem internen Recycling unterzogen und als sogenannte Umlaufsande wieder verwendet. Beim Aufbereitungsprozess werden sie wieder weitgehend von den – teilweise durch den Gießprozess pyrolytisch veränderten – Zusatzstoffen sowie den Gießresten befreit. Dieser Stoffstrom wird aus dem Gesamtprozess ausgeschleust und durch eine Zugabe von 5 % bis 10 % frischem Gießerei-Quarzsand ausgeglichen. Periodisch wird der gesamte Formsand gewechselt.

Die Produktionsmengen von Gießereialtsanden sind relativ volatil und bewegten sich im Zeitraum von 2005 bis 2019 zwischen 1,3 Mio. t und 2,2 Mio. t (Abb. 45; Durchschnitt der Jahre 2005 bis 2019: 1,7 Mio. t).

²⁹ Nebenprodukt aus chemischen oder technischen Prozessen. Im Jahr 2019 belief sich die Menge an synthetischem Gips auf 35.997 t (Quelle: BV Gips).

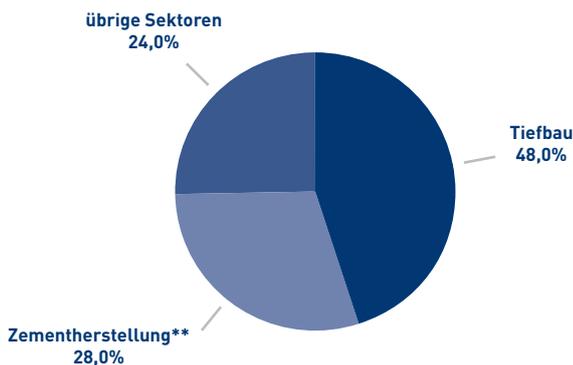
Abb. 45: Produktionsmenge von Gießereialtsanden (in Mio. t)



Quelle: destatis 2021k

Die Verwertung der Gießereialtsande erfolgt als Sekundärrohstoff beim Brennprozess in der Zement- und Ziegelindustrie, im Tiefbau sowie als Hilfsstoff bei der Konditionierung von Dichtungsmaterialien im Deponiebau (Basis- und Oberflächenabdichtungen). Es ist von einer vollständigen Verwertung der nicht bzw. nur leicht verunreinigten Gießereialtsande auszugehen. Stärker verunreinigte Gießereialtsande bzw. Reinigungsrückstände werden der Deponierung zugeleitet. Das Kreisdiagramm (Abb. 46) bezieht sich nur auf die Mengen an Gießereialtsanden, die in baunahen Bereichen und nicht im internen Recycling der Gießerei-Industrie verwendet bzw. im Deponiebau verwertet werden (rund 0,4 Mio. t p.a.).

Abb. 46: Verwendung von Gießereialtsanden* 2019



* Diagramm bezieht sich auf den Einsatz in baunahen Bereichen (rund 0,4 Mio. t); unter Einbeziehung weitere Einsatzbereiche bzw. der Beseitigung ergibt sich folgende Verteilung: Tiefbau 12 %, Zement-/ Ziegelindustrie 7 %, Deponiebau 53 %, Beseitigung: 6 %, Sonstiges: 6 %, Versatz unter Tage: 9 %, Schachtverfüllung: 7 %; ** inkl. Ziegelindustrie

Quelle: BDG 2019, Berechnungen SST

Obere Variante:

Beim Aufkommen von Gießereialtsanden wird eine relativ enge Korrelation mit der Eisen- und Stahlproduktion unterstellt. Dementsprechend ist in der oberen Variante bis 2040 von einem leichten Anstieg des Gießereialtsand-Aufkommens von 1,7 Mio. t (2019) auf 1,8 Mio. t auszugehen.

Untere Variante:

Im unteren Szenario ergibt sich ein Rückgang des Aufkommens an Gießereialtsanden auf 1,5 Mio. t bis 2040.

Beim Abgleich der theoretischen Nachfrage mit dem Aufkommen ergibt sich in der oberen und unteren Variante für die Jahre zwischen 2025 und 2040 eine marginale Angebotslücke. Da der größte Anteil der 0,4 Mio. t Altsand im Tiefbau verwendet wird, wurde dies erhöhend bei der Nachfrage nach Naturstein (Kapitel 4.2.3) berücksichtigt.

6. AGGREGIERTE PRIMÄR- UND SEKUNDÄRROHSTOFFMENGEN BIS 2040 EINSCHLIESSLICH SUBSTITUTIONS- UND VERWERTUNGSQUOTE

Für die Interpretation der in Zukunft zu erwartenden Primärrohstoffgewinnung und die mögliche Substitution durch Sekundärrohstoffe werden im Folgenden die in Kapitel 4.2, 5.3.1 und 5.3.2 errechneten Rohstoffmengen aggregiert.

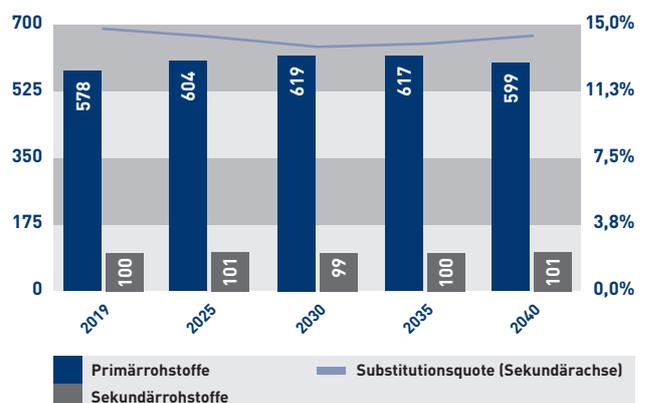
In den letzten 15 Jahren wurden durchschnittlich gut 560 Mio. t primäre Steine-Erden-Rohstoffe pro Jahr gewonnen. Im Basisjahr der Studie lag die Gewinnungsmenge an Primärrohstoffen bei rund 572 Mio. t (Angabe ohne Naturgips- und Anhydritstein) und das Angebot an Sekundärrohstoffen (ohne REA-Gips) bei rund 95 Mio. t. Die Substitutionsquote³⁰ betrug damit 14,2 %. Unter Einbeziehung der Naturgips- und Anhydritförderung sowie des Aufkommens an REA-Gips, für die konsolidierte Daten nur für die Jahre 2010, 2013, 2016 und 2019 vorliegen, belief sich die Substitutionsquote 2019 bei einer Primärrohstoffgewinnung von rund 578 Mio. t und einem Sekundärrohstoffaufkommen von 100 Mio. t sogar auf 14,8 %.

Obere Variante:

Die Nachfrage nach Primärrohstoffen bis 2040 (inkl. Gips- und Anhydritstein) dürfte in der oberen Variante von rund 578 Mio. t im Jahr 2019 auf 599 Mio. t im Jahr 2040 ansteigen (vgl. Abb. 47). Dies entspricht einer Zunahme um rund 21 Mio. t bzw. 3,7 % und hängt insbesondere mit der stärkeren Bautätigkeit im oberen Szenario zusammen. Das Aufkommen an Sekundärrohstoffen bleibt stabil bei 101 Mio. t (2040/2019: +0,6 %). Der zu erwartende Anstieg des Aufkommens von RC-Baustoffen wird durch die rückläufigen Mengen an REA-Gips (2030: nur noch 0,3 Mio. t) und Steinkohlenflugaschen (2030: ebenfalls nur noch 0,3 Mio. t) im Zuge der auslaufenden Kohleverstromung

sowie durch den Rückgang des Aufkommens an Hochofenschlacke durch die anstehende Dekarbonisierung der Eisen- und Stahlindustrie überlagert. Entstehende Angebotslücken bei den Kraftwerksnebenprodukten und der Hochofenschlacke dürften – neben der hier angenommenen Einstellung der Exporte – durch eine höhere Förderung von Gips-, Ton- und Kalkstein kompensiert werden (vgl. Kapitel 5.3.2).³¹ Dies wurde in den Berechnungen zu den Primärrohstoffen berücksichtigt und schafft hier eine entsprechende zusätzliche Nachfrage. Die Verschiebungen zwischen Primär- und Sekundärrohstoffen führen dazu, dass bei Einbeziehung von Naturgips- und Anhydritstein sowie REA-Gips die Substitutionsquote von 14,8 % im Jahr 2019 auf 14,4 % im Jahr 2040 sinkt.

Abb. 47: Entwicklung der Primär- und Sekundärrohstoffmengen* (in Mio. t) – Obere Variante



* Anmerkung: mit Gips- und Anhydritstein bei den Primärrohstoffen und REA-Gips bei den Sekundärrohstoffen

Quelle: Berechnungen SST

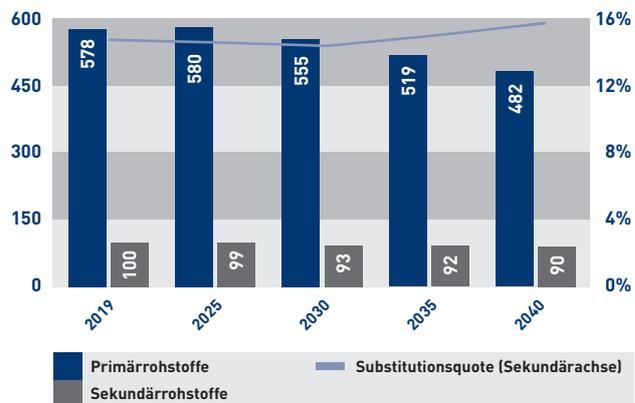
³⁰ Substitutionsquote = Menge Sekundärrohstoffe / (Menge Primärrohstoffe + Menge Sekundärrohstoffe) x 100

³¹ Der Rückgang der Hochofenschlacke kann teilweise auch durch den Einsatz von Stahlwerksschlacken kompensiert werden.

Untere Variante:

Im unteren Szenario (vgl. Abb. 48) sinkt die Nachfrage nach Primärrohstoffen. Sie liegt 2040 bei 482 Mio. t (inkl. Naturgips- und Anhydritstein), dies entspricht gegenüber dem Basisjahr 2019 einem Rückgang von 16,6 %. Das Aufkommen an Sekundärrohstoffen (inkl. REA-Gips) sinkt von 100 Mio. t im Jahr 2019 auf 90 Mio. t im Jahr 2040. Wie im oberen Szenario wird das Aufkommen an Kraftwerksnebenprodukten durch den Ausstieg aus der Kohleverstromung auf null sinken. Zudem wird sich auch in dieser Variante die Menge an Hochofenschlacke durch die Dekarbonisierung der Eisen- und Stahlindustrie deutlich reduzieren. Ein stärkeres Absinken des Sekundärrohstoffaufkommens insgesamt kann durch den zu erwartenden Anstieg bei den RC-Baustoffen abgefedert werden. Die Substitutionsquote steigt in diesem Szenario unter Einbeziehung von Naturgips und Anhydrit bzw. REA-Gips auf 15,7 %. Damit ist die relative Bedeutung von Sekundärrohstoffen im betrachteten Zeitraum höher als in der oberen Variante, da insgesamt weniger Rohstoffe nachgefragt werden.

Die Abschätzungen für beide Varianten zeigen, dass die Nachfrage nach Steine-Erden-Rohstoffen, die in der Wertschöpfungskette meist klassische Vorleistungsgüter darstellen, von der konjunkturellen Entwicklung in den Abnehmerzweigen abhängig ist. Bei einer relativ schwachen wirtschaftlichen Entwicklung wird die Nachfrage nach primären Steine-Erden-Rohstoffen 2040 bei rund 480 Mio. t liegen (siehe auch Tabelle 13). Daraus folgt, dass auch in Zukunft die Gewinnung von Steine-Erden-Rohstoffen in erheblichem Umfang notwendig sein wird, um das gesamtwirtschaftliche Wachstum abzusichern. Im oberen Szenario sorgt die verhältnismäßig starke Bautätigkeit insbesondere im Tief- und Bestandsbau für eine konstant hohe Nachfrage nach Steine-Erden-Rohstoffen. Auch in dieser Variante liegt die Primärrohstoffnachfrage aber deutlich unterhalb der Mengen, die in der Vergangenheit (z.B. in den 90er Jahren) gewonnen wurden.

Abb. 48: Entwicklung der Primär- und Sekundärrohstoffmengen* (in Mio. t) – Untere Variante

* Anmerkung: mit Gips- und Anhydritstein bei den Primärrohstoffen und REA-Gips bei den Sekundärrohstoffen

Quelle: Berechnungen SST

Der Einsatz von Sekundärrohstoffen leistet einen wichtigen Beitrag zur Substitution primärer Rohstoffe und trägt damit aktiv zur Ressourcenschonung bei. Im Betrachtungszeitraum sinkt in der oberen Variante – bei weiterhin hoher Verwertungsquote – die relative Bedeutung der Sekundärrohstoffe (Substitutionsquote) von 14,8 % auf 14,4 %, da die auslaufende Kohleverstromung zu einem Wegfall der Kraftwerksnebenprodukte REA-Gips und Steinkohlenflugasche führt. Durch die Dekarbonisierung der Eisen- und Stahlindustrie sinkt zudem das Aufkommen an Hochofenschlacken. In der unteren Variante steigt die Substitutionsquote auf 15,7 % im Jahr 2040, da insgesamt weniger Rohstoffe nachgefragt werden. Dem rückläufigen Aufkommen an industriellen Nebenprodukten steht ein steigendes Aufkommen an RC-Baustoffen gegenüber. Letzteres wird in Abhängigkeit von der Abbruchrätigkeit und einer verbesserten Aufbereitung je nach Szenario bis 2040 um rund 5 bis 17 % steigen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die hohe Verwertungsquote bei den mineralischen Bauabfällen, die bereits heute bei rund 90 % liegt, nur noch in begrenztem Umfang zu steigern sein wird. Gleichwohl arbeitet die Baustoff-Steine-Erden-Branche konsequent an der Stärkung des Baustoffrecyclings, etwa durch eine umfassendere Nutzung der Fraktion Boden und Steine.

Tabelle 13: Zusammenfassung der berechneten Primär- und Sekundärrohstoffmengen (in Mio. t)

																Obere Variante				Untere Variante				
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2025	2030	2035	2040	2025	2030	2035	2040	
Sand und Kies	252,0	266,0	252,0	249,0	236,0	229,0	253,0	235,0	236,0	240,0	239,0	247,0	257,0	259,0	259,0	269,1	273,0	270,6	261,1	258,3	243,9	226,4	209,4	
Spezialkies/-sand	11,0	11,0	11,4	11,1	8,7	9,8	10,5	10,1	9,7	9,9	9,7	9,9	10,3	10,7	10,9	10,9	11,0	11,1	11,2	10,6	10,3	9,9	9,6	
Naturstein	211,0	227,0	214,0	218,0	216,0	208,0	229,0	211,0	207,0	211,0	210,0	218,0	220,0	226,0	217,0	227,8	233,9	234,3	228,0	218,9	208,6	194,5	180,7	
Naturwerkstein	0,4	0,4	0,4	0,4	1,1	1,2	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	
Kalkstein insg.	57,8	61,6	62,4	63,5	54,7	60,0	63,3	61,7	60,9	60,7	60,0	59,2	61,8	60,6	60,1	60,7	58,6	57,1	54,3	58,6	53,6	49,9	45,7	
- für Zement	37,1	38,6	40,2	42,1	34,6	37,5	40,4	39,1	37,2	37,9	36,9	37,2	39,4	38,6	39,5	41,5	41,8	41,1	38,9	39,8	38,1	35,8	32,9	
- gebrannt	12,4	14,0	13,1	12,9	10,1	11,6	11,8	11,4	11,8	11,4	11,6	11,6	11,6	11,7	10,9	10,4	9,8	9,7	9,7	10,1	9,0	8,5	8,1	
- ungebrannt	8,3	9,0	9,1	8,5	10,0	10,9	11,1	11,2	11,9	11,4	11,5	10,4	10,8	10,3	9,7	8,9	7,0	6,3	5,7	8,7	6,4	5,5	4,7	
Ziegelton	12,5	13,7	13,5	11,5	9,7	10,8	11,6	11,5	11,3	10,8	10,6	11,1	11,4	11,0	10,5	10,9	10,9	10,7	10,3	10,5	9,8	9,1	8,5	
Spezialton, Kaolin	14,0	15,2	15,2	15,0	13,1	14,6	13,9	13,9	13,3	13,9	12,8	12,4	12,9	12,5	12,6	12,9	13,1	13,1	13,1	12,5	12,1	11,6	11,1	
Ton für die Zementherstellung																0,6	3,7	7,5	8,4	9,3	3,4	6,8	7,3	7,8
Gipsstein, Anhydrit						4,7			4,5			4,7				5,6	6,7	10,0	10,3	10,1	6,3	8,8	8,6	8,0
Primärrohstoffe	558,6	594,9	568,9	568,5	539,3	538,1	582,7	544,6	544,0	547,7	543,5	563,7	574,7	581,1	577,6	604,2	619,3	617,0	598,8	580,4	555,1	518,5	481,8	
RC-Baustoffe	48,0	56,0	55,0	56,0	63,0	65,2	69,0	66,2	65,6	67,6	66,0	72,2	73,4	73,3	73,7	78,1	81,7	84,6	86,5	76,4	77,0	77,4	77,3	
Hochofenschlacken	7,4	7,7	8,3	7,9	5,5	7,6	7,7	7,4	7,6	7,8	7,9	7,5	7,7	7,8	7,3	6,6	4,1	2,7	1,4	6,4	3,8	2,5	1,3	
Stahlwerksschlacken	6,3	6,8	6,5	6,3	4,5	5,9	6,1	5,8	5,6	5,5	5,4	5,2	5,3	5,4	5,0	5,2	5,6	5,8	6,0	5,0	5,2	5,1	5,0	
Steinkohlenflugasche	4,3	4,4	4,2	3,9	3,5	3,2	3,2	3,1	3,2	3,1	3,2	3,1	2,8	2,4	2,0	1,2	0,3	0,0	0,0	1,2	0,3	0,0	0,0	
sonstige Aschen (HMVA)	4,0	4,6	4,5	4,7	5,0	5,0	5,3	5,4	5,6	5,4	5,5	5,4	5,3	5,1	5,1	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	
Gießerei-Altsand*	1,6	2,0	2,0	2,2	1,3	1,6	1,9	1,6	1,6	1,7	1,5	1,6	1,7	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,6	1,6	1,5	1,5	
REA-Gips	7,6	7,5	7,1	6,9	6,6	6,3	6,8	7,0	7,2	6,8	6,9	6,5	6,7	6,6	5,2	3,3	0,3	0,0	0,0	3,3	0,3	0,0	0,0	
Sekundärrohstoffe	79,2	89,0	87,6	87,9	89,4	94,8	100,0	96,5	96,4	97,9	96,4	101,5	102,9	102,4	100,0	101,1	98,7	99,8	100,6	99,0	93,2	91,6	90,1	
Substitutionsquote (in %)	12,4	13,0	13,3	13,4	14,2	15,0	14,7	15,0	15,0	15,2	15,1	15,3	15,2	15,0	14,8	14,3	13,8	13,9	14,4	14,6	14,4	15,0	15,7	

Anmerkung:

* Inkl. der Menge, die in nicht baunahen Bereichen verwendet wird.

Quelle: Berechnungen SST

LITERATUR

Banning u.a. (2021):

Maximilian Banning, Jürgen Blazejczak, Dietmar Edler, Markus Flaute: Analyse der deutschen Exporte und Importe von Technologiesgütern zur Nutzung erneuerbarer Energien und anderer Energietechnologiesgüter – Projektionen. GWS Research Report 2021/03.

bbs (2019):

Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden: Fritz Schwarzkopp, Jochen Drescher (SST), Martin Gornig, Jürgen Blazejczak (DIW): Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland, bbs, Berlin.

BCG (2021):

Boston Consulting Group: Klimapfade 2.0. Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. Studie im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI), o.O. 2021. https://issuu.com/bdi-berlin/docs/211021_bdi_klimapfade_2.0_-_gesamtstudie_-_vorabve (07.11.2021)

BDG (2019):

Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie. „5. Umfrage zur Entwicklung von Beseitigung und Verwertung von Gießereirestsanden (2017/2018)“, Düsseldorf, 06.09.2019.

Belitz, Gornig (2021):

Heike Belitz, Martin Gornig: Industriepolitik: Technologieorientierte öffentliche Investitionsfonds als neues Element. In DIW Aktuell Nr. 71, 2021.

BGR (2020):

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Deutschland – Rohstoffsituation 2019 – 150 S.; Hannover.

BGR (2021):

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Deutschland – Rohstoffsituation 2020 – 158 S.; Hannover.

Blömer u.a. (2021):

Maximilian Blömer, Johanna Garnitz, Laura Gärtner, Andreas Peichl, Helene Strandt: Zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Unter- und Überbeschäftigung auf dem deutschen Arbeitsmarkt. https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/210323_Studie_Zwischen_Wunsch_und_Wirklichkeit.pdf (05.04.2021)

BMF (2020):

Bundesministerium der Finanzen: Steuerliche Förderung energetischer Gebäudesanierungen. <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Klimaschutz/2020-02-07-steuerliche-foerderung-energetischer-gebaeudesanierungen.html>

BMU (2020):

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III – 2020 bis 2023. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen, Berlin.

BMWi (2015):

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Stärkung von Investitionen in Deutschland. Bericht der Expertenkommission, Berlin.

BMWi (2019):

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ – Abschlussbericht. Berlin.

BMWi (2020):

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Produktivität: Kommt nun der große Schub? <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Schlaglichter-der-Wirtschaftspolitik/2020/10/kapitel-1-11-produktivitaet-kommt-nun-der-grosse-schub.html> (19.11.2021)

BMWi (2020a):

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Rohstoffstrategie der Bundesregierung – Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. Berlin, Dezember 2019.

BV Glas (2021):

Bundesverband Glasindustrie. 2020 Jahresbericht – Annual Report. Düsseldorf, Oktober 2021. <https://www.bvglas.de/presse/publikationen/> (24.01.2022)

BV MIRO (2021):

Bundesverband Mineralische Rohstoffe. Bericht der Geschäftsführung 2020/2021. https://www.bv-miro.org/wp-content/uploads/MIRO-Bericht_2021.pdf

destatis (2019a):

Statistisches Bundesamt, Bevölkerung Deutschlands bis 2060, Ergebnisse der 14. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Hauptvarianten 1 bis 9. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Publikationen/Downloads-Vorausberechnung/bevoelkerung-deutschland-2060-5124202199015.xlsx?__blob=publicationFile (15.11.2021)

destatis (2019b):

Statistisches Bundesamt, Genesis-Datenbank. Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Warenverzeichnis (8-Steller). <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?Menu=Webservice> (22.01.2019)

destatis (2020a):

Statistisches Bundesamt, Entwicklung der Privathaushalte bis 2040. Ergebnisse der Haushaltsvorausberechnung 2020. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Haushalte-Familien/Publikationen/Downloads-Haushalte/entwicklung-privathaushalte-5124001209005.xlsx?__blob=publicationFile (15.11.2021)

destatis (2020b):

Statistisches Bundesamt, Erwerbspersonenvorausberechnung 2020. https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetigkeit/Publikationen/Downloads-Erwerbstaetigkeit/erwerbspersonenvorausberechnung5124208209005.xlsx?__blob=publicationFile (15.11.2021)

destatis (2021a):

Statistisches Bundesamt, Bevölkerung Deutschlands im Jahr 2020 erstmals seit 2011 nicht gewachsen. Pressemitteilung Nr. 287 vom 21. Juni 2021. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/06/PD21_287_12411.html (15.11.2021)

destatis (2021b):

Statistisches Bundesamt, Ausblick auf die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland und den Bundesländern nach dem Corona-Jahr 2020. Erste mittelfristige Bevölkerungsvorausberechnung 2021 bis 2035. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Publikationen/Downloads-Vorausberechnung/bevoelkerung-deutschland-2035-5124202219004.pdf?__blob=publicationFile (17.11.2021)

destatis (2021c):

Statistisches Bundesamt, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Inlandsproduktberechnung 2020. Lange Reihen ab 1970, Fachserie 18 Reihe 1.5. https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Inlandsprodukt/inlandsprodukt-lange-reihen-pdf-2180150.pdf?__blob=publicationFile (19.11.2021).

destatis (2021d):

Statistisches Bundesamt, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Input-Output-Rechnung 2017 (Revision 2019, Stand August 2020). Fachserie 18, Reihe 2, Wiesbaden.

destatis (2021e):

Statistisches Bundesamt, Produktionsindex Baustoffe – Steine und Erden (Berechnung für den Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.).

destatis (2021f):

Statistisches Bundesamt, Genesis-Datenbank. VGR des Bundes – Bruttoanlageinvestitionen: Deutschland, Jahre. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?Menu=Webservice> (04.01.2022)

destatis (2021g):

Statistisches Bundesamt, Genesis-Datenbank. Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Warenverzeichnis (8-Steller). <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?Menu=Webservice> (18.08.2021)

destatis (2021h):

Statistisches Bundesamt, Genesis-Datenbank. Bauschutt- aufbereitungsanlagen: Deutschland, Jahre, Abfallarten, Aufbereitung, Verwertung von Bau- u. Abbruchabfällen. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (18.08.2021)

destatis (2021i):

Statistisches Bundesamt, Genesis-Datenbank. Asphaltmischanlagen: Deutschland, Jahre, Abfallarten. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (18.08.2021)

destatis (2021j):

Statistisches Bundesamt, Genesis-Datenbank. Abfallsorgung: Deutschland, Jahre, Anlagenart, Abfallarten. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (18.08.2021)

destatis (2021k):

Statistisches Bundesamt, Genesis-Datenbank. Abfallsorgung: Deutschland, Jahre, Abfallarten. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (18.08.2021)

destatis (2022a):

Statistisches Bundesamt, Genesis-Datenbank. Elektrizitätserzeugung, Nettowärmeerzeugung, Brennstoffeinsatz: Deutschland, Jahre, Energieträger. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (17.01.2022)

destatis (2022b):

Statistisches Bundesamt, Genesis-Datenbank. Bodenfläche (tatsächliche Nutzung): Deutschland, Stichtag, Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (26.01.2022)

destatis (2022c):

Statistisches Bundesamt, Genesis-Datenbank. Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Warenverzeichnis (8-Steller). <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (27.01.2022)

DIW (2021):

Grundlinien der Wirtschaftsentwicklung im Sommer 2021. In DIW Wochenbericht 23+24/2021. https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.819888.de/21-23.pdf (18.11.2021)

Fraunhofer-ISE (2022):

Nettostromerzeugung in Deutschland 2021: Erneuerbare Energien witterungsbedingt schwächer. Pressemitteilung vom 03.01.2022, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news.html> (21.01.2021)

Fuchs u.a. (2019):

Johann Fuchs, Alexander Kubis und Lutz Schneider: Zuwanderung und Digitalisierung. Wie viel Migration aus Drittstaaten benötigt der deutsche Arbeitsmarkt künftig?, 2019, Gütersloh.

Fuchs u.a. (2021):

Fuchs, Johann; Söhnlein, Doris; Weber, Brigitte: Projektion des Erwerbbspersonenpotenzials bis 2060: Demografische Entwicklung lässt das Arbeitskräfteangebot stark schrumpfen. (IAB-Kurzbericht, 25/2021), Nürnberg.

Giegrich, Jürgen et. al. (2002):

Bewertung der Umweltverträglichkeit von Entsorgungsoptionen. Methodenentwicklung und Durchführung einer vereinfachten Bewertung und deren beispielhafte Überprüfung an vier Abfallarten. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg, Reihe Abfall Heft 63, Heidelberg.

Gornig, Martin/ Claus Michelsen (2017):

Kommunale Investitionsschwäche: Engpässe bei Planungs- und Baukapazitäten bremsen Städte und Gemeinden aus. Wochenberichte des DIW, Heft 11, S. 211-219.

Gornig, Martin/ Claus Michelsen/ Hana Révész (2021a):

Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe - Berechnungen für das Jahr 2020. BBSR-Online-Publikationen, Nr. 32/2021.

Gornig, Martin/ Claus Michelsen/ Laura Pagenhardt (2021b):

Bauwirtschaft trotz der Corona-Krise – dennoch ruhigeres Geschäft im Jahr 2021. Wochenberichte des DIW, Heft 1/2, S. 4-14.

ifw (2017):

Institut für Weltwirtschaft: Produktivität in Deutschland – Messbarkeit und Entwicklung. Kieler Beiträge zur Wirtschaftspolitik 12/2017, Kiel.

Kholodilin, Konstantin/ Claus Michelsen (2020):

Wohnungsmarkt in Deutschland: Trotz Krise steigende Immobilienpreise, Gefahr einer flächendeckenden Preisblase aber gering. DIW Wochenbericht Nr. 37, 642–652

KfW (2021):

Kreditanstalt für Wiederaufbau: Christian Raffer, Henrik Scheller (DIFU). KfW-Kommunalpanel 2021, KfW Bankengruppe, Frankfurt am Main.

Kreislaufwirtschaft Bau (2021):

Mineralische Bauabfälle Monitoring 2018. Bericht zum Aufkommen und Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018, Berlin.

Maier u.a. (2020):

Tobias Maier, Gerd Zika, Michael Kalinowski, Stefanie Steeg, Anke Mönning, Marc Ingo Wolter, Markus Hummel, Christian Schneemann: COVID-19-Krise: Die Arbeit geht weiter, der Wohlstand macht Pause. Ergebnisse der sechsten Welle der BIBB-IAB Qualifikations- und Berufsprojektionen bis zum Jahr 2040. In: bibb-Report 4/2020.

N-Bank (2021):

Investitions- und Förderbank Niedersachsen: Wohnungsmarktbeobachtung 2021, Heute und in Zukunft Wohnen gestalten – Perspektiven für Niedersachsen bis 2040, NBank, Hannover.

Poleg, Dror (2021):

The Future of Offices When Workers Have a Choice. The New York Times, 4. Januar. <https://www.nytimes.com/2021/01/04/upshot/work-office-from-home.html>

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021):

Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, Juni 2021. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf [20.01.2022]

Rohstoffnutzung in Deutschland (2004):

Naturschutzbund (NABU) Deutschland e.V., Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt. Gemeinsame Erklärung Rohstoffnutzung in Deutschland, Bonn, Berlin, Hannover, Frankfurt.

SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN UND FDP (2021):

Koalitionsvertrag 2021 – 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP). Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf [01.02.2022]

Tränkle/Röhl (2001):

Ulrich Tränkle, Markus Röhl: Naturschutz und Zementindustrie. Projektteil 1: Auswertung einer Umfrage. Düsseldorf: Verlag Bau + Technik.

Tränkle et al. (2003):

Ulrich Tränkle, Hans Offenwanger, Markus Röhl, Friederike Hübner, Peter Poschlod: Naturschutz und Zementindustrie – Projektteil 2: Literaturstudie. Düsseldorf: Verlag Bau + Technik.

UBA (2021):

Umweltbundesamt. Altpapier – Vom Papier zum Altpapier. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altpapier#vom-papier-zum-altpapier> [24.01.2022]

UNCTAD (2021):

United Nations Conference on Trade and Trade and Development (UNCTAD): Key Statistics and Trends in International Trade 2020 – Trade Trends under the COVID-19 Pandemic, New York 2021. <https://unctad.org/webflyer/key-statistics-and-trends-international-trade-2020> [14.10.2021]

VDZ (2020):

Verein Deutscher Zementwerke, Hrsg. Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien. Düsseldorf, 2020

VGB PowerTech e.V.:

Verbandsstatistik „Produktion und Verwendung von Kraftwerksnebenprodukten aus Kohlekraftwerken in Deutschland im Jahr 2019“.

World Bank (2021):

World Data Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.MANF.ZS?end=2020&start=2019&view=chart> [25.11.2021]

WI (2020):

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: CO₂-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze, Bericht (Oktober), Wuppertal.

Herausgeber

Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.

Verantwortlich

Michael Basten

Betreuung

Christian Engelke, Tanja Lenz

Fotonachweis

HeidelbergCement AG / Steffen Fuchs

Berlin, Februar 2022