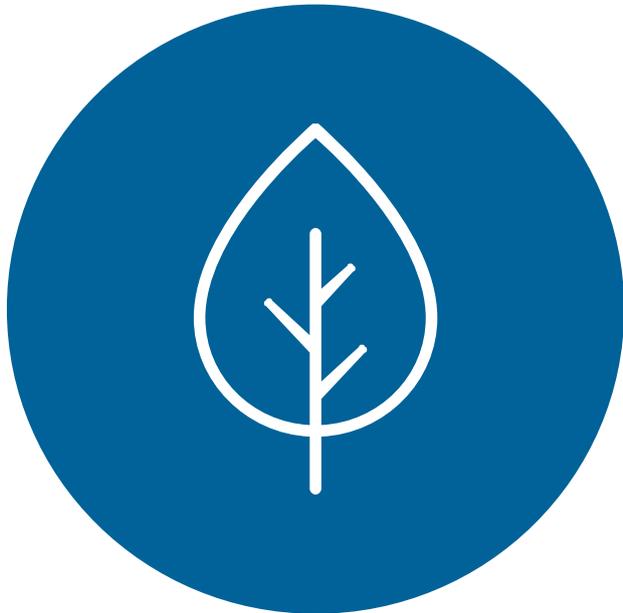


Ressourceneffizienz im Bauwesen

Projektbericht zur Neuentwicklung
von drei Indikatoren



2023

Autorin

Alina Jahn

Auftraggeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Herausgeber: Statistisches Bundesamt (Destatis)

www.destatis.de

Ihr Kontakt zu uns:

www.destatis.de/kontakt

Zentraler Auskunftsdienst:

Tel. +49 611 75 2405

Erscheinungsfolge: einmalig

Erschienen am 28. April 2023

Artikelnummer: 1_2023047

Titelbild: © nanoline icons by vuuuds, CreativMarket

© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2023

Vervielfältigung und Verbreitung, auch auszugsweise, mit Quellenangabe
gestattet.

Inhalt

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	4
Zeichenerklärung und Abkürzungen	5
1 Projektauftrag und -ziel	6
2 Ablauf der Projektarbeiten	7
3 Projektergebnisse	8
3.1 Analyse des Status Quo	8
3.2 Indikator 1: Erzeugung erneuerbarer Energien an Gebäuden	9
3.2.1 Erzeugungsarten im Überblick	9
3.2.2 Photovoltaik	10
3.2.3 Solarthermie, Erd- und Umweltwärme, Biomasse	12
3.2.4 Ergebnisse	13
3.2.5 Abweichungsanalyse	14
3.2.6 Zusammenfassung	15
3.3 Indikator 2: Einsatz von Sekundärbrennstoffen bei der Erzeugung von Energie für Investitionen in Bauten	16
3.3.1 Datenlage zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen im Inland	16
3.3.2 Input-Output-Rechenmodell der UGR zu Energie und CO ₂ -Emissionen	22
3.3.3 Datenlage zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen im Ausland	23
3.3.4 Zusammenfassung mit Abweichungsanalyse	24
3.4 Indikator 3: Flächeninanspruchnahme für den Anbau biotischer Rohstoffe für Investitionen in Bauten	25
3.4.1 Flächenbelegung von Agrarrohstoffen und Erzeugnissen pflanzlichen Ursprungs	25
3.4.2 Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten	26
3.4.3 Berechnungsmethode und Ergebnisse	27
3.4.4 Zusammenfassung mit Abweichungsanalyse	32
4 Fazit	33
5 Quellenverzeichnis	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bruttostromerzeugung durch PV-Anlagen auf Gebäuden	13
Abbildung 2: Dezentrale Wärme- und Kälteerzeugung durch Solarthermie, Erd- und Umweltwärme an bzw. in Wohngebäuden	13
Abbildung 3: Dezentrale Wärmeerzeugung bzw. Nutzung von Biomasse in Wohngebäuden	14
Abbildung 4: Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der öffentlichen Energieversorgung	19
Abbildung 5: Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Industrie	19
Abbildung 6: Rohstoffäquivalente für Investitionen in Bauten, Ergebnisse für 2018	30
Abbildung 7: Anbauflächen je Rohstoff für Investitionen in Bauten, Ergebnisse für 2018	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Indikatorenset zur Quantifizierung der Ressourceneffizienz im Bauwesen	8
Tabelle 2: Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Zementindustrie	17
Tabelle 3: Liste der in der Industrie eingesetzten Ersatzbrennstoffe laut Zentralem System Emissionen (ZSE)	18
Tabelle 4: Auszug der Energieträgerliste der Jahrerhebung über die Energieverwendung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden	21
Tabelle 5: Berechnung gewogener Durchschnittserträge am Beispiel Zitrusfrüchte für 2018	28
Tabelle 6: Auszug aus der Berechnungsmethode zu Indikator 3, Ergebnisse für 2018	29

Abkürzungsverzeichnis

Institutionen

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V.
AGEE-Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMI	Bundesministerium des Innern und für Heimat
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BNetzA	Bundesnetzagentur
Eurostat	Statistisches Amt der Europäischen Union
FAO	Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen
ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
LCEE	Life Cycle Engineering Experts GmbH
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
StBA	Statistisches Bundesamt
TenneT	TenneT TSO GmbH
TI	Thünen Institut
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNSD	United Nations Statistics Division
VDZ	Verein Deutscher Zementwerke e. V.
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

Fachbegriffe

BGS	Brennstoff aus Gewerbe- und Siedlungsabfällen
BPG	Brennstoff aus produktspezifischen Gewerbeabfällen
CRF	Common Reporting Format
EBS	Ersatzbrennstoff
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
Fesbo	Feste Sekundärbrennstoffe in der Zementindustrie
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher
ha	Hektar
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MaStR	Markstammdatenregister
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
PJ	Petajoule
PV	Photovoltaik
RMC	Raw Material Consumption – Inländische letzte Verwendung in Rohstoffäquivalenten
RME	Raw Material Equivalents – Rohstoffäquivalente
TJ	Terajoule
TWh	Terawattstunde
UGR	Umweltökonomische Gesamtrechnungen
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen
WZ 2008	Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008

Zeichenerklärung

X	= Tabellenfach gesperrt, weil Aussage nicht sinnvoll
---	--

1 Projektauftrag und -ziel

Deutschland hat sich im Ressourceneffizienzprogramm des Bundes 2012 auf Leitideen und Handlungsansätze zum Schutz der natürlichen Ressourcen festgelegt. Um den Entwicklungsfortschritt im Bereich des Bauwesens zu quantifizieren, wurde ein eigenes Indikatorenset entwickelt: Die Forschungsprojekte „Wissenschaftliche Unterstützung in Einzelfragen des ressourceneffizienten Bauens (TU Darmstadt, RessEff1.0)“ und „Indikatoren für eine ressourcenschonende Bauwirtschaft (Life Cycle Engineering Experts GmbH (LCEE), RessEff2.0)“ stellten im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) die „Bewertungssystematik Ressourceneffizienz im Bauwesen“ auf. Die Entwicklung erfolgte in enger Abstimmung mit den Mitgliedern des „Runden Tisches Ressourceneffizienz im Bauwesen“.

Insgesamt umfasst diese Systematik 20 sogenannte Kriterien und 21 Indikatoren. Die Indikatoren dienen dazu, die Entwicklung der Kriterien zu quantifizieren. Dabei werden sieben Kriterien der Systematik aufgrund einer fehlenden Datengrundlage noch als zurückgestellt geführt. Details zu den Kriterien finden sich in Abschnitt 3.1 Analyse des Status Quo.

Ziel ist es, jeden Indikator mit Daten – möglichst aus der amtlichen Statistik – zu befüllen, um eine zuverlässige und langfristige Datenbereitstellung zu gewährleisten. Für die Berechnung mehrerer Indikatoren wurde bereits das Datenangebot des Statistischen Bundesamtes (StBA) genutzt. Einige Indikatoren, für die bisher keine Datengrundlage identifiziert werden konnte, quantifizieren Umweltwirkungen des Bauwesens. Sie liegen damit thematisch in der Nähe der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR), deren Ziel es ist, die Beziehungen zwischen Umwelt und Wirtschaft quantitativ zu beschreiben.

Daher wurde der Fachbereich UGR des StBA vom BBSR mit einer Machbarkeitsprüfung und, soweit möglich, der Entwicklung von Berechnungsmethoden für zwei der zurückgestellten Kriterien und der drei dazugehörigen Indikatoren beauftragt. Konkret handelt es sich dabei um folgende Indikatoren:

- Erzeugung erneuerbarer Energien an Gebäuden
- Einsatz von Sekundärbrennstoffen bei der Erzeugung von Energie für Investitionen in Bauten und
- Flächeninanspruchnahme für den Anbau biotischer Rohstoffe für Investitionen in Bauten

2 Ablauf der Projektarbeiten

Das StBA prüfte im Zeitraum März 2021 bis Februar 2023, ob für die drei aufgeführten Indikatoren Datenquellen zur Verfügung stehen und ob sich gegebenenfalls Berechnungsmethoden entwickeln lassen.

Bei der Bearbeitung wurde die Kompatibilität zu den UGR, den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) sowie der Systematik zur Bewertung der Ressourceneffizienz im Bauwesen beachtet. Der Bezug zu UGR und VGR soll die Analyse der Indikatorenentwicklung im Kontext weiterer Kennzahlen aus diesen Rechensystemen vereinfachen und idealerweise künftig eine nachhaltige Datenproduktion und Veröffentlichung durch das StBA gewährleisten. Zugleich sollten die Arbeiten an die Ergebnisse der vorangegangenen Projekte anknüpfen.

Das Projekt beinhaltete drei Arbeitspakete. Arbeitspaket 1 umfasste die Analyse des Status Quo und die Grundkonzeption der Indikatoren. Dies beinhaltete das Zusammentragen von Ideen und Ansätzen der Vorgängerprojekte zu den drei Indikatoren und das Ermitteln des Entwicklungsbedarfs. Aufbauend auf den Ergebnissen aus Arbeitspaket 1 wurde in Arbeitspaket 2 geprüft, ob und wie sich für die einzelnen Indikatoren funktionsfähige und nachhaltige Rechenwerke aufbauen lassen und ob hierfür die nötigen Datenquellen zur Verfügung stehen. Die Indikatoren wurden nacheinander in der in Kapitel 1 dargestellten Reihenfolge bearbeitet. Arbeitspaket 3 beinhaltete die Kommunikation der Arbeitsergebnisse. So stellte das StBA den Stand der Projektarbeiten am 13.12.2021 dem Runden Tisch Ressourceneffizienz im Bauwesen vor.

3 Projektergebnisse

3.1 Analyse des Status Quo

Grundlagen für die Analyse des Status Quo waren die Forschungsberichte der Vorgängerprojekte der TU Darmstadt und der LCEE. Das Ergebnis der Forschungsprojekte zur Messung der Ressourceneffizienz im Bereich des Bauwesens war das eingangs beschriebene Indikatorenset mit 20 Kriterien und 21 Indikatoren. Das Set ist in Tabelle 1 dargestellt. Für Kriterien in eckigen Klammern konnte bisher keine Datengrundlage identifiziert werden. Fett gedruckt sind die Kriterien, die im Rahmen der Projektarbeiten durch das StBA zu bearbeiten waren.

Tabelle 1:
Indikatorenset zur Quantifizierung der Ressourceneffizienz im Bauwesen

Aufwand	Nutzen
Kriterium	Kriterium
Rohstoffinanspruchnahme	Bruttowertschöpfung
[Ökologisch gewichtete Rohstoffinanspruchnahme]	Produktivität
[Kritikalität der Rohstoffe]	Investitionen in Gebäude und Infrastrukturen
Verwertungsquote	Flächenbereitstellung
Siedlungs- und Verkehrsfläche	Ausbildungsquote
[Flächeninanspruchnahme Anbau biotische Rohstoffe]	[Arbeitsbedingungen Importe]
Flächeninanspruchnahme Abbau abiotische Rohstoffe	Verkehrsinfrastrukturversorgung
[Landschaftszerschneidung]	[Eigendeckungsanteil Energie + Sekundärbrennstoffe]
Vogelindex	Anthropogenes Lager
Wasserinanspruchnahme	
CO ₂ -Emissionen	
CO ₂ -Emissionen Nutzungsphase	
Aggregierte Kennzahl Aufwand	Aggregierte Kennzahl Nutzen
Kompositindikator RE Bau = (Aggregierte Kennzahl Aufwand/Aggregierte Kennzahl Nutzen)	

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an LCEE (2020)

Die Begriffe Ressource und Ressourceneffizienz bilden dabei die Basis, wobei die Ressourcendefinition sehr weit gefasst ist. Als Ressourcen sind nach der Bewertungssystematik definiert: Rohstoffe, Boden/ Fläche, Luft, Biodiversität, Wasser, Energie, Kapital, Arbeit und Zeit. Durch diese Definition und die Wahl der Indikatoren sollte sichergestellt werden, dass auch Wechselwirkungen der Ressourcen untereinander miterfasst werden. Die Indikatoren fokussieren sich jeweils auf eine der genannten Ressourcen und sind einer der beiden Kategorien „Nutzen“ und „Aufwand“ zugeordnet. Die Inanspruchnahme einer Ressource stellt demnach einen Aufwand, die Generierung einer Ressource einen Nutzen dar. Die Ressourceneffizienz des Bauwesens ist darauf aufbauend definiert als der Quotient aus Nutzen und Aufwand. Die Indikatoren sollen als Indices mit Basisjahr 2008=100 ausgewiesen werden. Neben den Einzelergebnissen der Kriterien bzw. Indikatoren wird eine Nutzen- und Aufwandskennzahl ausgewiesen, indem die Einzelindikatoren gleichgewichtet zusammengefasst werden. Durch Division der aggregierten Kennzahlen von Aufwand und Nutzen wird der Kompositindikator „Ressourceneffizienz im Bauwesen“ gebildet.

Zur zielführenden Anwendung der entwickelten Bewertungssystematik ist für die drei aufgeführten Indikatoren eine Zeitreihe idealerweise von 2008 bis zum aktuellen Rand zu generieren (vgl. LCEE 2020). Dadurch ist es möglich, die langfristige Entwicklung der einzelnen Indikatoren als auch der „Ressourceneffizienz im Bauwesen“ als Kompositindikator zu beurteilen.

Um die Ressourceneffizienz im Bauwesen vollständig zu erfassen, soll die gesamte Wertschöpfungskette in die Betrachtung Eingang finden – von der Gewinnung des Rohstoffs über die Herstellung der Baustoffe, die Planungs-, Realisierungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase der Bauwerke bis zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen. Das bedeutet insbesondere, dass die Ressourceninanspruchnahme unabhängig davon bewertet werden soll, ob diese im In- oder Ausland stattfindet (vgl. Graubner/Fritz 2015).

Wie eingangs im Projektauftrag erläutert, sind die UGR ein möglicher Datenlieferant, um den Fortschritt der Ressourceneffizienz im Bauwesen zukünftig belastbar und objektiv zu messen. Gerade auch zur Quantifizierung von globalen Umweltwirkungen über den gesamten Produktionsprozess eines Gutes hinweg, existieren bereits mehrere Veröffentlichungen der UGR. Auch unter diesem Aspekt ist es also schlüssig, innerhalb der UGR die Möglichkeiten zur Berechnung der drei ausgewählten Indikatoren zu prüfen.

Die Energieerzeugung an Gebäuden ist ein Thema, das bisher in den UGR nicht explizit behandelt wird. Es bestehen aber inhaltliche Bezüge zum Modul „Energiegesamtrechnung“, das Energiebereitstellung und -verbrauch durch die verschiedenen Wirtschaftszweige und die privaten Haushalte beschreibt. Im Modul „Private Haushalte und Umwelt“ werden verschiedene Energieverbräuche im Zusammenhang mit dem Wohnen berechnet. Daher wäre die Energieerzeugung an Gebäuden – zumindest an *Wohn*gebäuden – auch für dieses Modul eine schlüssige Ergänzung.

Zur Berechnung des zweiten Indikators „Einsatz von Sekundärbrennstoffen bei der Erzeugung von Energie für Investitionen in Bauten“ ist es am günstigsten, das UGR-Rechenwerk „Direkte und indirekte Energieflüsse und CO₂-Emissionen“ zu nutzen und zu modifizieren. Es bietet bereits Informationen zur Energie, die direkt und indirekt für Anlageinvestitionen benötigt werden, und müsste entsprechend weiter differenziert werden.

Ein möglicher Lösungsweg zur Berechnung des dritten Indikators „Flächeninanspruchnahme für den Anbau biotischer Rohstoffe für Investitionen in Bauten“ wäre, das UGR-Rechenwerk zur globalen Flächenbelegung von Ernährungsgütern so auszuweiten, dass nicht nur landwirtschaftliche Rohstoffe, sondern alle biotischen Rohstoffe betrachtet werden. Daneben müsste es außerdem um eine Untergliederung nach Produktionsbereichen oder Verwendungskategorien ergänzt werden. Eine zweite Möglichkeit besteht darin, auf Ergebnissen des Moduls „Aufkommen und Verwendung von Rohstoffäquivalenten“ aufzubauen. Der dort berechnete Rohstofffußabdruck der Investitionen in Bauten könnte Ausgangspunkt zur Berechnung eines Flächenfußabdrucks sein.

3.2 Indikator 1: Erzeugung erneuerbarer Energien an Gebäuden

3.2.1 Erzeugungsarten im Überblick

Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien können auf verschiedene Arten an Gebäuden erzeugt werden. Auch wenn die Erzeugungsarten von unterschiedlicher Relevanz sind, sollten bei der Konzeption einer Berechnungsmethode für Indikator 1 zunächst einmal alle Arten in Betracht gezogen werden.

Für die Stromerzeugung unmittelbar am Gebäude hat sich im Wesentlichen die Technologie Photovoltaik (PV) durchgesetzt. Bei der photovoltaischen Nutzung der Sonnenenergie wandeln Solarzellen aus Silizium die Sonnenstrahlung in elektrische Energie um. Über Wechselrichter wird der erzeugte Gleichstrom in Wechselstrom umgewandelt, der anschließend im Haushalt genutzt oder ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden kann.

Die zweite Möglichkeit, die Sonnenstrahlung an Gebäuden technisch zu nutzen, ist die Solarthermie. Bei der Solarthermie wird die Sonnenstrahlung mittels Sonnenkollektoren direkt in thermische Energie umgewandelt. Solche Anlagen werden in der Regel auf Hausdächern installiert und dienen der Warmwasseraufbereitung oder der Unterstützung der Raumheizung (vgl. BMWI 2021).

Durch Wärmepumpen im Gebäude wird der Umgebungsluft, dem Erdreich sowie dem Grundwasser die dort gespeicherte Wärme entzogen und mittels Energiezufuhr bei höheren Temperaturen wieder abgegeben. Mit der so gewonnenen Erd- und Umweltwärme kann geheizt, gekühlt und Warmwasser aufbereitet werden (vgl. UBA 2021).

In Biomasseanlagen wie Pelletheizungen wird Wärme erzeugt und in kleineren Blockheizkraftwerken im Gebäude wird Strom und Wärme produziert. Die erzeugte Energie kann anschließend zur Heizung, Wasseraufbereitung, Stromerzeugung oder Netzeinspeisung genutzt werden (AGEE-Stat 2021a).

Zur Nutzung von Wind- und Wasserkraft zur Stromerzeugung direkt an Gebäuden kommen die Technologien Kleinstwind- und -wasserkraftanlagen in Frage. Die installierten Leistungen und erzeugten Strommengen sind bis dato als gering und vorerst vernachlässigbar einzuschätzen. Sollte sich dies in Zukunft ändern, wären aber auch diese Erzeugungsarten bei der Berechnung des Indikators einzubeziehen.

Ebenfalls wurden Anlagen der tiefen Geothermie zur Strom- oder Wärmeerzeugung an (Wohn)gebäuden für die Betrachtung ausgeschlossen, da die dazugehörige Fördertechnik in der Regel in eigenständigen Heizwerken untergebracht ist (AGEE-Stat 2021a).

Basierend auf diesen Vorüberlegungen hat das StBA zunächst mögliche amtliche und nichtamtliche Datenquellen identifiziert und anschließend mit den relevanten Datenhaltern Kontakt aufgenommen.

3.2.2 Photovoltaik

Die Situation zu Datenquellen und potenziellen Berechnungsmethoden zum Energieträger Photovoltaik stellt sich wie folgt dar, wobei die zentralen Herausforderungen in der Ermittlung der PV-Selbstverbrauchsmengen sowie in der Herstellung eines (Wohn)gebäudebezugs innerhalb des Datenangebotes lagen.

Im StBA selbst werden zwei Erhebungen durchgeführt, die hilfreiche Daten für Indikator 1 bereitstellen. Dies ist zum einen die „Jahreserhebung über die Stromein- und -ausspeisung bei Netzbetreibern“. Sie bietet ab dem Jahr 2003 jährliche Ergebnisse zur Stromeinspeisung aus Photovoltaik, jedoch nicht unterteilt in Leistungsklassen größer und kleiner als 1 MW Nettonennleistung (StBA 2021a). Zum anderen werden ab dem Jahr 2018 Daten zu Anzahl, Nettonennleistung (MW) und Stromeinspeisung (MWh) auch kleinerer PV-Anlagen (unter 1 MW Leistung) durch die „Monatserhebung über die Stromein- und -ausspeisung bei Netzbetreibern“ erfasst. Die Aufteilung bei der Befragung der Netzbetreiber ist insofern von Bedeutung, da die Stromeinspeisung zu großen Teilen durch PV-Anlagen mit einer Leistung unter 1 MW und solchen PV-Anlagen, die auf Gebäuden installiert sind, erfolgt (vgl. BNetzA 2019).

Alternativ werden externe Daten zur PV-Stromnetzeinspeisung seit dem Jahr 2000 im Zusammenhang mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) produziert. Ziel des EEG ist es, nicht das Klima belastende Formen der Stromerzeugung zu fördern. Zum einen sind hier die Bewegungs- und Stammdaten der vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber – namentlich 50Hertz, Amprion, TenneT, TransnetBW – zu nennen. Auf ihrer Informationsplattform veröffentlichen sie jährlich die eingespeisten PV-Strommengen in ihren EEG-Jahresabrechnungen (ÜNB 2021).

Zum anderen ist im Kontext von PV-Anlagen die EEG-Datenerhebung der Bundesnetzagentur (BNetzA) relevant, die 2007 für das Berichtsjahr 2006 erstmals durchgeführt wurde. Die überwiegende Datengrundlage sind hier ebenfalls die jährlich an die Bundesnetzagentur übermittelten EEG-Jahresabrechnungen der Übertragungsnetzbetreiber, Verteilernetzbetreiber und Energieversorgungsunternehmen.

Seit 2012 werden die Ergebnisse zur installierten Leistung und eingespeisten Strommenge des Energieträgers „solare Strahlungsenergie“ durch die BNetzA gegliedert nach Anlagenkategorien ausgewertet und veröffentlicht (BNetzA 2019: Tabelle 4.5 Solar Kategorien). Bei der Veröffentlichung der BNetzA lassen sich drei PV-Anlagenkategorien in den Bewegungsdaten unterscheiden: Anlagen an oder auf Gebäuden (Dachanlagen), Freiflächenanlagen und Anlagen an oder auf baulichen Anlagen, die keine Gebäude sind (TenneT 2021). Für Indikator 1 relevant ist nur die eingespeiste Strommenge durch Dachanlagen.

Die genannten Quellen haben unterschiedliche Vorteile was die Länge der verfügbaren Zeitreihen, die Abdeckung aller Anlagengrößen und die Differenzierung von Anlagen auf Gebäuden von übrigen Standorten betrifft. Allen ist jedoch gemein, dass sie sich auf die Einspeisung von Strom in das öffentliche Netz konzentrieren. Der in den Gebäuden selbst direkt verbrauchte Strom wird in den Quellen nicht erfasst.

Zur Berechnung der produzierten Strommenge insgesamt (Bruttostromerzeugung) ist es notwendig, die zur Einspeisung die in PV-Anlagen erzeugte, jedoch nicht ins Netz eingespeiste, sondern selbst verbrauchte Strommenge, hinzu zu addieren. Zu dieser Selbstverbrauchsmenge liegen derzeit keine genauen Daten vor. Exakte Angaben werden in den EEG-Jahresabrechnungen nur für PV-Dachanlagen erfasst, die zwischen Januar 2009 und März 2012 in Betrieb genommen wurden. In dieser Zeit wurde ein Bonus pro Kilowattstunde selbst verbrauchtem Strom gezahlt. Nach diesem Zeitraum werden für PV-Anlagen mit weniger als 10 kW Leistung keine (öffentlich verfügbaren) Daten mehr erfasst (ZSW/Bosch & Partner 2019). Eine typische PV-Anlage einer natürlichen Person auf einem Dach eines privaten Haushaltes hat eine Nettonennleistung von rund 8 kW (BNetzA 2021) und fällt damit unter diese Grenze.

Der Selbstverbrauchsanteil wird daher bisher von Forschungsinstituten geschätzt. Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) haben 2015 ein Schätzverfahren zur Bestimmung des Selbstverbrauchs entwickelt, das die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) bis dato zur Erstellung ihrer „Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland“ verwendet. Der Durchschnittswert über alle Anlagengrößen liegt hier ab Inbetriebnahme im April 2012 bei 20 %, ab Inbetriebnahme im Jahr 2013 bei 30 % (AGEE-Stat 2016).

Eine pauschale Anwendung der Durchschnittswerte, wie ursprünglich angedacht, führt zu ungenauen Ergebnissen, da sich die Selbstverbrauchsquote abhängig vom Jahr der Inbetriebnahme, der geltenden EEG-Förderung, der Anlagenleistung sowie des Segments (Dach- oder Freiflächenanlage) unterscheidet. Bei der Ermittlung der Selbstverbrauchsmenge muss weiterhin ins Kalkül gezogen werden, ob die Anlage voll- oder teileinspeist und ob ein Stromspeicher vorhanden ist.

Daten zur jährlichen Bruttostromerzeugung inklusive einer Zuschätzung für die selbst erzeugten und selbst verbrauchten Mengen durch PV-Anlagen insgesamt in Deutschland werden durch die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB) und die AGEE-Stat erstellt und veröffentlicht (AGEE-Stat 2021b).

Neben der Berechnung der PV-Selbstverbrauchs mengen stellt die Identifikation der PV-Anlagen auf (Nicht)wohngebäuden und damit die Zuordnung zum Sektor Haushalt eine weitere Herausforderung dar. Um diese zu lösen, wäre theoretisch eine eigene Auswertung der Bewegungsdaten der Übertragungsnetzbetreiber möglich. Hier sind ab Inbetriebnahme 2009 die Dachanlagen durch das Präfix „Sg“ zu identifizieren. Jedoch ist eine Differenzierung zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden bislang nicht möglich (TenneT 2021). Die oben genannte Veröffentlichung der EEG-Datenerhebung der BNetzA seit 2012 erfüllt jedoch bereits die Anforderung „Gebäudebezug“, daher bringt eine eigene Auswertung der Bewegungsdaten der Übertragungsnetzbetreiber gegenüber der EEG-Datenerhebung keinen Mehrwert.

Elegant wäre es, die Erhebungsdaten der „Stromein- und -ausspeisung bei Netzbetreibern“ mit den öffentlichen Angaben im Marktstammdatenregister (MaStR) zu verbinden. Das MaStR listet seit Ende des Jahres 2021 alle PV-Alt- und Neuanlagen mit Stammdaten auf (TenneT 2021). Dort ist der Einrichtungsort der Anlage (z. B. Hausdach, Gebäude und Fassade) und die Nutzung des Gebäudes (z. B. Haushalt) hinterlegt. Das MaStR bietet allerdings keine Informationen über die erzeugte Strommenge (Bewegungsdaten). Da jedoch

kein Identifizierungsmerkmal existiert, anhand dessen die MaStR-Daten mit den Erhebungsdaten der Energiestatistik verknüpft werden könnten, ist es nicht möglich, auf diese Weise die auf (Wohn)gebäuden erzeugte Strommenge zu bestimmen.

In der Gesamtschau ist es aktuell die beste Möglichkeit, Daten der BNetzA zur Netzeinspeisung von Strom, der mittels PV-Anlagen auf Gebäuden erzeugt wurde, mit Daten zur Bruttostromerzeugung aus PV-Anlagen der AGEE-Stat zu kombinieren. Im Detail wird dafür der Prozentsatz, der laut der BNetzA durch Anlagen auf Gebäuden eingespeist wurde (siehe BNetzA 2019: Tabelle 4.5) auf die Ergebnisse zur PV-Bruttostromerzeugung der AGEE-Stat (siehe AGEE-Stat 2021b: Tabelle 3) bezogen. Das bietet den Vorteil, dass auf eine eigene grobe Schätzung der PV-Selbstverbrauchsmenge verzichtet werden kann (siehe 3.2.4 Ergebnisse). Dabei wird unterstellt, dass sich die Relation zwischen Selbstverbrauch und Netzeinspeisung nicht je nach Installationsort der PV-Anlage (Gebäude oder anderer Ort) unterscheidet. Ergebnisse für die Bruttostromerzeugung durch PV-Anlagen auf Gebäuden können so für eine Zeitreihe von 2012 bis 2019 geschätzt werden. Eine Differenzierung zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden ist dabei nicht möglich.

Für eine zuverlässige Datenbereitstellung in der Zukunft zeichnen sich zwei weitere mittelfristige Lösungspotenziale bzw. Möglichkeiten zur Zusammenarbeit ab. Zum einen wurde vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) für das Umweltbundesamt (UBA) bzw. die AGEE-Stat eine neue Methodik zur Berechnung der PV-Selbstverbrauchsmengen erarbeitet, wobei ein Schwerpunkt auf der Ermittlung von Selbstverbrauchsquoten pro Anlagenkategorie und Sektor liegt. Der Sektor private Haushalte kann dabei den Kleinanlagen (bis 20 kW) zugeordnet werden, während die anderen Sektoren eher gewerbliche (20 bis 1000 kW) und Großanlagen (ab 1 MW) umfassen werden (vgl. ISE 2021). Der Projektbericht soll 2023 veröffentlicht werden. Zum anderen muss an das Statistische Amt der Europäischen Union (Eurostat) zukünftig die gesamte produzierte PV-Strommenge gemeldet werden, einschließlich der vom Erzeuger selbst verbrauchten Mengen. Wie diese Datenanforderung erfüllt wird, ist derzeit noch unklar.

3.2.3 Solarthermie, Erd- und Umweltwärme, Biomasse

Für die Abbildung der Energieträger Solarthermie, Erd- und Umweltwärme sowie Biomasse war keine aufwendige statistische Modellierung notwendig. Die AGEE-Stat veröffentlicht seit 2003 für den Sektor private Haushalte Daten zum Endenergieverbrauch (dezentrale Erzeugung/Nutzung), gegliedert nach verschiedenen Energieträgern, die die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB) zur Erstellung ihrer Satellitenbilanz Erneuerbare Energien nutzt. Die UGR wiederum verwenden diese Daten bereits regelmäßig für ihre Energiegesamtrechnung, was nach heutigem Kenntnisstand eine zuverlässige und langfristige Datenbereitstellung durch das StBA möglich machen würde.

Bei Brennstoffen wie Holz, Biogas, Biomethan, Pflanzenöl etc. lassen sich die Daten als Absatz bzw. Einsatz von fester Biomasse (Holzbrennstoffe), flüssiger Biomasse (Pflanzenöl) und gasförmiger Biomasse (Biogas, Biomethan, Klärgas) beim privaten Haushalt als Letztverbraucher interpretieren. Es bleibt also unberücksichtigt, dass bei diesem letzten dezentralen Energieumwandlungsschritt in Heizanlagen auch Energieverluste entstehen. Dies entspricht jedoch, da keine energiestatistischen Daten zu den Verlusten vorliegen, dem allgemeinen Vorgehen bei der Quantifizierung des Verbrauchs erneuerbarer Energieträger.

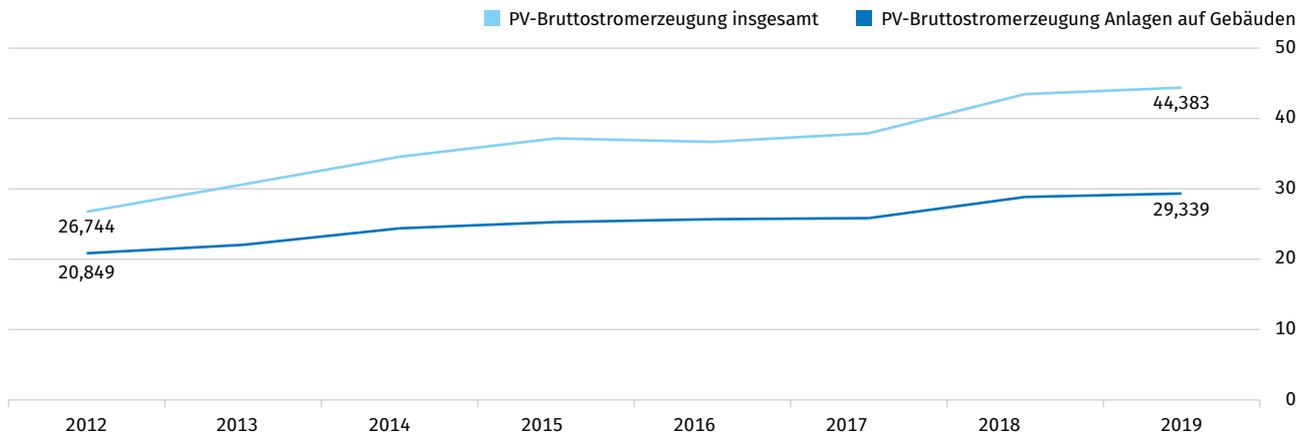
Bei Nicht-Brennstoffen, bei denen der Endenergieverbrauch über Modelle ermittelt wird (Solarthermie, mittels Wärmepumpen nutzbar gemachte Umweltwärme), kann der Endenergieverbrauch mit der dezentralen Wärmeerzeugung gleichgesetzt werden, da es diesen letzten Energiewandlungsschritt in der Praxis nicht gibt (AGEE-Stat 2021a).

Für die Erzeugung von Wärme aus Solarthermie, Erd- und Umweltwärme sowie Biomasse an oder in Wohngebäuden können die Daten der AGEE-Stat also direkt verwendet werden. Für die Erzeugung an Nichtwohngebäuden konnte allerdings keine geeignete Datenquelle identifiziert werden.

3.2.4 Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Bruttostromerzeugung durch PV-Anlagen auf Gebäuden (Dachanlagen) in Terawattstunden (TWh) mit den Ergebnissen der AGEE-Stat zur Bruttostromerzeugung durch Photovoltaik insgesamt und der Bruttostromerzeugung, die nach oben beschriebener Schätzung durch Anlagen auf Gebäuden eingespeist wurde. Die PV-Bruttostromerzeugung insgesamt betrug nach Angaben der AGEE-Stat 44,383 TWh im Jahr 2019, wobei davon schätzungsweise 29,339 TWh (66 %) von PV-Anlagen auf Gebäuden erzeugt wurden. Im Vergleich zum Jahr 2012 mit einer PV-Stromerzeugung auf Gebäuden von 20,849 TWh entspricht das einem Zuwachs von 29 %.

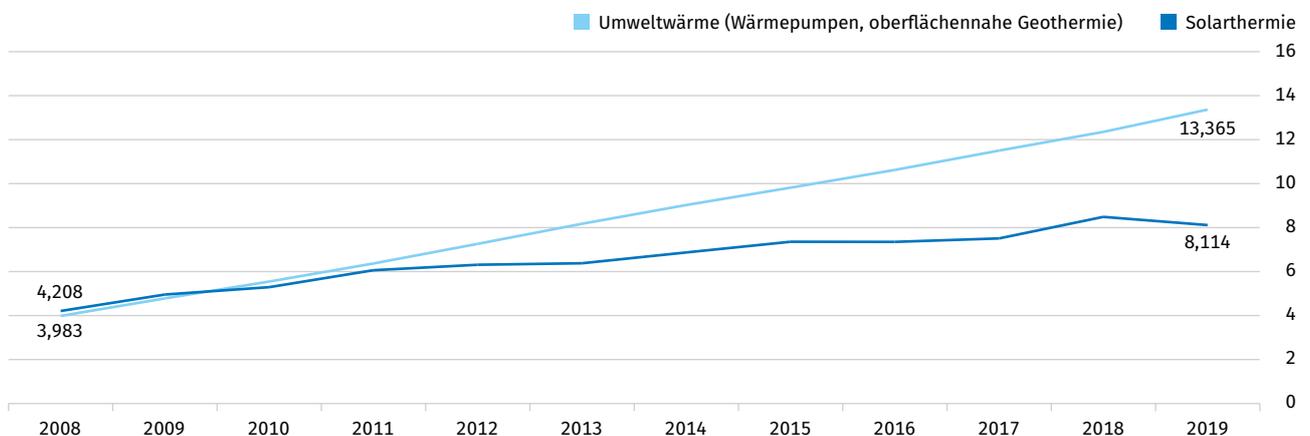
Abbildung 1:
Bruttostromerzeugung durch PV-Anlagen auf Gebäuden
 in TWh



Quelle: Eigene Berechnung auf Basis der Ergebnisse der AGEE-Stat (2021b) und BNetzA (2019)

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der dezentralen Wärme- und Kälteerzeugung für die Energieträger Solarthermie und Erd- und Umweltwärme für den Sektor private Haushalte. Hier ist im Gegensatz zum Energieträger Photovoltaik die Bereitstellung der Daten von 2008 bis zum aktuellen Rand möglich. Die erzeugte Energiemenge durch Solarthermie ist gegenüber dem Jahr 2008 von 4,208 TWh auf 13,365 TWh im Jahr 2019 stark angestiegen (+ 48 %). Der Zuwachs der erzeugten Erd- und Umweltwärme fiel für denselben Zeitraum noch deutlicher aus, sie verzeichnet einen Anstieg von 70 %.

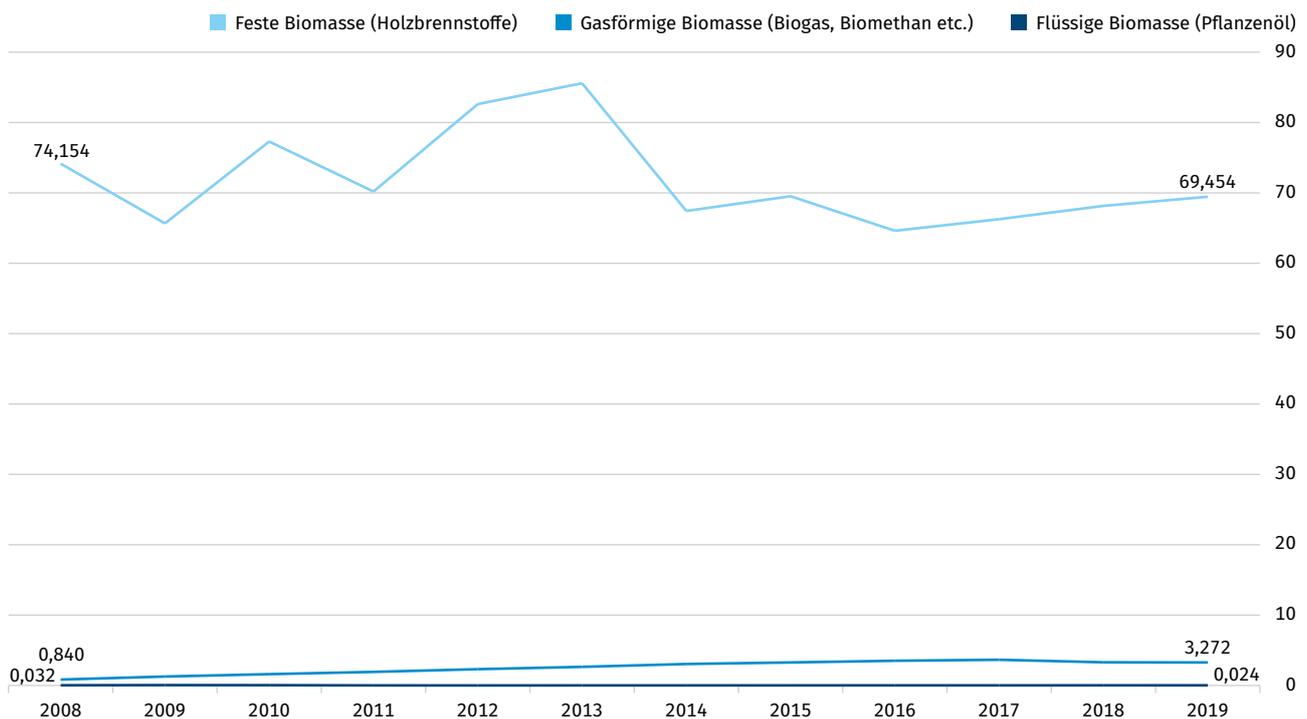
Abbildung 2:
Dezentrale Wärme- und Kälteerzeugung durch Solarthermie, Erd- und Umweltwärme an bzw. in Wohngebäuden
 in TWh



Quelle: AGEE-Stat (2021c), AGEb (2019), eigene Darstellung

Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der dezentralen Wärmeerzeugung bzw. Nutzung des Energieträgers Biomasse durch private Haushalte für die Jahre 2008 bis 2019. Die Holzbrennstoffe nehmen in den Haushalten hierbei mit 69,454 TWh mit Abstand die größte Position ein, gefolgt von der gasförmigen Biomasse mit 3,272 TWh und der flüssigen Biomasse (Pflanzenöl) mit 0,024 TWh. Im Vergleich zu 2008 sank der Einsatz von Holzbrennstoffen (- 7 %) und Pflanzenöl (- 32 %), wobei Haushalte deutlich mehr mit gasförmiger Biomasse heizten (+ 70 %), wenn auch nach wie vor die so erzeugte Energiemenge sehr gering ist.

Abbildung 3:
Dezentrale Wärmeerzeugung bzw. Nutzung von Biomasse in Wohngebäuden
in TWh



Quelle: AGEE-Stat (2021c), AGEB (2019), eigene Darstellung

3.2.5 Abweichungsanalyse

Im Rahmen der Machbarkeitsprüfung sollte eruiert werden, ob für den Indikator „Erzeugung erneuerbarer Energien an Gebäuden“ valide Datenquellen zur Verfügung stehen und sich aufbauend auf diesen Quellen eine Berechnungsmethode für eine aggregierte Kennzahl entwickeln lässt.

Da für Nichtwohngebäude kaum Daten verfügbar sind, lag der Fokus auf Wohngebäuden und damit auf dem Sektor der privaten Haushalte. Folglich fehlt in der aktuellen Betrachtung eine umfassende Analyse zur Erzeugung erneuerbarer Energien an Nichtwohngebäuden, wenngleich während der Bearbeitung Erkenntnisse auch zu diesem Teilbereich gewonnen werden konnten, nämlich im Bereich Photovoltaik.

Da eine übergreifende Kennzahl für alle Energieträger und -formen (Strom und Wärme) gebildet werden soll, ist es zielführend, den jeweiligen Ist-Zustand für die relevanten Energieträger getrennt zu benennen. Daraus ergibt sich dann, ob eine Aggregation der entsprechenden Daten sinnvoll ist.

Für den Energieträger Photovoltaik ist bisher eine Datenlieferung ab dem Jahr 2012 bis 2019 (aktueller Rand) durch eine Schätzung basierend auf Daten der AGEE-Stat und BNetzA für Gebäude insgesamt möglich. Mittelfristig könnten durch das neue Selbstverbrauchsmodell der AGEE-Stat/ISE mit unterschiedlichen Selbstverbrauchsquoten pro Anlagenklasse und Sektor-Zuordnung für Photovoltaik Daten ab 2008

und getrennt nach Wohngebäuden (Sektor Haushalte) und Nichtwohngebäuden (Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher (GHD)) verfügbar werden. Eine genaue Aussage hierzu kann erst nach der Veröffentlichung der Projektergebnisse durch das UBA im Jahr 2023 getroffen werden.

Für die Abbildung der Solarthermie, der Erd- und Umweltwärme sowie der Biomasse liegt den UGR durch die Ergebnisse zum Endenergieverbrauch der AGEE-Stat und der Satellitenbilanz Erneuerbare Energien der AGEB eine grundsätzlich kompatible Datenbasis für die Jahre 2008 bis zum aktuellen Rand (2019) vor. Es lässt sich anhand der Datengrundlage jedoch nicht sagen, ob die Wärme direkt im Gebäude z. B. durch Pellet- oder Gasheizungen erzeugt oder der Haushalt durch ein Nahwärmenetz versorgt wurde. Dafür muss der Haushalt über einen Anschluss an das Wärmenetz verfügen, was in der Regel noch nicht der Fall ist. Tendenziell ist jedoch zu erwarten, dass durch die staatliche Förderung der Ausbau von Wärme- und Kältenetzen steigen wird.

Ebenfalls geben die Daten zur Biomasse nur Aufschluss über die dezentral erzeugte Wärmeenergie, nicht über die Stromerzeugung. Diese erfolgt in kleinen Blockheizkraftwerken (BHKW) ab 10 kW bis hin zu großen Biogas- und Holzheizkraftwerken im MW-Leistungsbereich. Eine Zuordnung zu Gebäuden ist hier von den Datengrundlagen her nicht möglich (AGEE-Stat 2021a). Auch wenn eine Zuordnung der KWK-Wärme (Kraft-Wärme-Kopplung) aus Blockheizkraftwerken zum Gebäudebereich machbar wäre, müsste dies dann ebenfalls für die korrespondierende Stromerzeugung aus diesen Anlagen erfolgen, was aus Sicht der AGEE-Stat datentechnisch problematisch ist. Die Ergebnisse zu diesem Energieträger unterschätzen also die tatsächliche Energieerzeugung in Gebäuden in unbekanntem Umfang.

Da die Satellitenbilanz Erneuerbare Energien nach Sektoren, aber nicht nach Erzeugungsort differenziert, kann zwar die Energieerzeugung durch Solarthermie, Erd- und Umweltwärme sowie Biomasse an oder in Wohngebäuden anhand der Daten für den Sektor private Haushalte abgeschätzt werden. Eine Information zur Erzeugung an oder in Nichtwohngebäuden fehlt jedoch. Die Satellitenbilanz enthält zwar auch Daten für den Sektor (GHD), zu dem auch die Landwirtschaft zählt. In diesem Sektor ist jedoch die Annahme, dass alle Energie an Gebäuden erzeugt wurde weniger überzeugend, da beispielsweise in der Landwirtschaft auch abseits von Gebäuden Energie erzeugt wird. Weiterhin werden die Strommengen, die durch die Technologien Kleinstwind- und -wasserkraftanlagen direkt an Gebäuden erzeugt werden, durch das StBA bisher als gering und vernachlässigbar eingestuft. Dies kann sich z. B. durch gezielte EEG-Fördermaßnahmen ändern. Entsprechend könnten Daten zu diesen Technologien an Relevanz für den Indikator gewinnen und die Datenverfügbarkeit müsste dann neu geprüft werden.

3.2.6 Zusammenfassung

Eine Herausforderung bei der Machbarkeitsprüfung für diesen Indikator war insbesondere die Recherche zu den PV-Selbstverbrauchsmengen. Ein erschwerender Faktor war ebenfalls, dass Fragen des räumlichen Kontextes (Gebäude) bisher in der Statistik eine untergeordnete Rolle spielen. Daten zu Erzeugung oder auch Verbrauch von Energie werden in der Regel Sektoren, Wirtschaftszweigen oder Ähnlichem zugeordnet, aber keinen Gebäuden.

Die Machbarkeitsprüfung fällt grundsätzlich positiv aus. Es konnte ein erster Grundstein für eine zukünftige Datenbereitstellung des Indikators durch das StBA gelegt werden. Die größten Einschränkungen stellen bisher noch die Länge der Zeitreihe bei Photovoltaik, die fehlende Abbildung der Stromerzeugung aus Biomasse sowie für alle Energieträger die Disaggregierbarkeit nach Gebäudearten (Wohn- und Nichtwohngebäude) dar. Daher können die in Abschnitt 3.2.4 vorgestellten Ergebnisse derzeit noch nicht sinnvoll zu einem Indikator aggregiert werden. Es bleibt abzuwarten, wie sich die Datenlage weiterentwickelt. Davon hängt ab, ob es mittelfristig möglich sein wird, den geforderten Indikator über alle Energieträger hinweg und getrennt nach Gebäudearten jährlich zu berechnen.

3.3 Indikator 2: Einsatz von Sekundärbrennstoffen bei der Erzeugung von Energie für Investitionen in Bauten

In der Bewertungssystematik ist der Indikator „Einsatz von Sekundärbrennstoffen bei der Erzeugung von Energie für Investitionen in Bauten“ dem Kriterium „Eigendeckungsanteil Energie- und Sekundärbrennstoffe“ der Kriteriengruppe „Nutzen“ und der Ressource „Energie“ zugeordnet. Der Indikator ist der Gruppe Nutzen und nicht der Gruppe Aufwand zugeordnet, weil durch den Einsatz von Sekundärbrennstoffen zur Energiebereitstellung für die Herstellung von Baustoffen und -produkten primäre Energierohstoffe eingespart werden, was hinsichtlich der Schonung natürlicher Ressourcen positiv zu bewerten ist (vgl. Graubner/Fritz 2015).

Mit dem Indikator sollen die in der gesamten Wertschöpfungskette des Bauwesens zur Energiegewinnung eingesetzten Sekundärbrennstoffe und die damit verbundene reduzierte Inanspruchnahme von Primärenergie ermittelt werden. Weiter soll zukünftig eine Auswertung pro als relevant bestimmter Sekundärbrennstoff möglich sein.

Als Ausgangspunkt für eine Machbarkeitsprüfung wurde bereits das UGR-Modul „Direkte und indirekte Energieflüsse und CO₂-Emissionen“ identifiziert (siehe Abschnitt 3.1). Der Tabellenband mit den entsprechenden Berechnungsergebnissen wird in dieser Form seit 2020 durch das StBA veröffentlicht, wobei der aktuelle Berichtszeitraum die Jahre 2008 bis 2017 umfasst (StBA 2021d). Die Veröffentlichung enthält den Energieverbrauch (in Terajoule) der Produktionsbereiche im In- und Ausland bei der Herstellung der Güter für die letzte Verwendung. Hierbei werden analog zu den VGR die Kategorien der letzten Verwendung „Konsum privater Haushalte“, „Konsum des Staates und der privaten Organisationen ohne Erwerbszweck“, „Investitionen in Ausrüstungen, Bauten und sonstige Anlagen“ und „Export“ unterschieden. Anstelle von Kategorien der letzten Verwendung wird manchmal auch der Begriff „Endnachfrage“ benutzt. Daneben wird nach Produktionsbereichen differenziert. Der Produktionsbereich „Baugewerbe“ ist untergliedert in die Kategorien „Hoch- und Tiefbau“ sowie „Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallation und sonstiges Ausbaugewerbe“. Eine Differenzierung nach Produktionsbereichen ist allerdings für die Berechnung dieses Indikators nicht erforderlich, da er auf die Gesamtsumme der Bauinvestitionen unabhängig vom bereitstellenden Produktionsbereich abzielt. Eine Veröffentlichung des Energieeinsatzes allein für Investitionen in Bauten und eine Gliederung nach eingesetzten Energieträgern, darunter Sekundärbrennstoffe, ist jedoch noch nicht enthalten, aber für diesen Indikator notwendig.

Der Begriff „Sekundärbrennstoffe“ wurde im Rahmen der Vorgängerprojekte und auch durch die UGR bisher nicht definiert und ist daher in einem ersten Schritt zu klären. Sekundärbrennstoffe werden alternativ auch als Ersatzbrennstoffe (EBS) bezeichnet. „Allgemein werden unter dem Begriff ‚Ersatzbrennstoff‘ aufbereitete Abfälle verstanden, die sich aufgrund ihres hohen Heizwertes als Energielieferant für thermische Prozesse eignen. Grundsätzlich muss zwischen Ersatzbrennstoffen aus produktionsspezifischen Gewerabfällen, aus Gewerbemischabfällen, aus Sperrmüll und aus Hausmüll unterschieden werden. Darüber hinaus sind auch spezielle heizwertreiche Monofractionen wie Tiermehl, Klärschlamm oder Altreifen als Ersatzbrennstoffe im Einsatz. Für eine Ersatzbrennstoffnutzung müssen diese Fraktionen so aufbereitet werden, dass sie festgelegte physikalische und chemische Anforderungen der jeweiligen Abnehmer erfüllen.“ (Schlag 2007: S. 524 ff).

3.3.1 Datenlage zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen im Inland

Für den Indikator ist wie eingangs beschrieben der Einsatz von Sekundärbrennstoffen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Investitionen in Bauten relevant. Dies umfasst Energieeinsätze bei der Produktion von Vorleistungen im Inland, aber insbesondere auch Energieeinsätze bei der Produktion von Vorleistungen im Ausland. Zum Anfang der Machbarkeitsstudie lohnt sich ein Blick auf die Datenlage zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in Deutschland.

Ein bedeutender Abnehmer von Sekundärbrennstoffen im Bauwesen ist die Zementindustrie. Nach Angaben des Vereins Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ) werden neben den fossilen Brennstoffen heute in hohem Maße Sekundärbrennstoffe beim Klinkerbrennprozess eingesetzt. Ihr Anteil am gesamten Brennstoffenergieeinsatz der deutschen Zementindustrie lag im Jahr 2020 bei rund 69 % (VDZ 2021). Tabelle 2 listet die hierbei eingesetzten Sekundärbrennstoffe auf.

Tabelle 2:
Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Zementindustrie

Sekundärbrennstoffe
Altreifen
Altöl
Fraktionen aus Industrie-/Gewerbeabfällen
Zellstoff, Papier und Pappe
Kunststoff
Verpackungen
Abfälle aus der Textilindustrie
Sonstige
Tiermehle und -fette
Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen
Altholz
Lösungsmittel
Bleicherde
Klärschlamm
Sonstige, wie:
Ölschlamm
Organische Destillationsrückstände

Quelle: In Anlehnung an VDZ (2021)

Die Zementindustrie ist allerdings nicht der einzige Wirtschaftsbereich, der Sekundärbrennstoffe nutzt. Für eine vollständige Abbildung der Einsatzmengen muss der Betrachtungsrahmen folglich weiter gefasst werden. Eine mögliche Datenquelle für den Einsatz von Sekundärbrennstoffen sind die Treibhausgas-Inventardaten des UBA.

Mit Daten der deutschen Zementindustrie und anderer Wirtschaftsverbände des Verarbeitenden Gewerbes wurde durch das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gemeinsam mit der Energy Environment Forecast Analysis GmbH (EEFA) im Auftrag des UBA 2006 eine empirische Bestandsaufnahme zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in Petajoule (PJ) in der Zement-, Kalk-, Stahl- und Papierindustrie durchgeführt und veröffentlicht (Lechtenböhrer et al. 2006). Den größten Anteil am Verbrauch sekundärer Brennstoffe hat demnach mit 53,7 % die Zementindustrie, gefolgt von der Papierindustrie mit 37,4 %. Stahl- und Kalkindustrie haben mit 8,9 % nur einen geringen Anteil an der verbrauchten Energiemenge.

Die lückenlose Erfassung der Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen (Aktivitätsraten) in PJ in den genannten Industriezweigen und die Bereitstellung geeigneter Emissionsfaktoren für Kohlendioxid zur Berechnung der Emissionen diene der Verbesserung des nationalen Emissionsinventars im Sektor „Energie“. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens Lechtenböhrer et al. (2006) wurden in Form von Zeitreihen für die Jahre 1990 bis 2004 dem „Zentralen System Emissionen (ZSE)“ nutzbar gemacht. Das ZSE ist eine Treibhausgas-Inventardatenbank, die das UBA zur Erfüllung internationaler Berichtspflichten im Rahmen der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) pflegt. Die im Forschungsprojekt Lechtenböhrer et al. (2006) definierten Sekundärbrennstoffe werden seitdem über Verbandsdaten jährlich aktualisiert (siehe Tabelle 3). Zur Berechnung des UGR-Moduls „Luftemissionsrechnung“ erhält das StBA jährlich Daten aus der ZSE-Datenbank.

Sekundärbrennstoffe werden in Deutschland zur Strom- und Wärmezeugung nicht nur in Feuerungsanlagen der Industrie eingesetzt, sondern auch in Ersatzbrennstoffkraftwerken und zur Mitverbrennung in Kraftwerken der öffentlichen Versorgung. Die Sekundärbrennstoffe, die im Zentralen System Emissionen für den Einsatz in der Industrie verzeichnet sind, sind in Tabelle 3 dargestellt. In der öffentlichen Energieversorgung werden im Gegensatz zur Industrie nur die Sekundärbrennstoffe „Industriemüll“ und „Klärschlamm“ eingesetzt.

Tabelle 3:
**Liste der in der Industrie eingesetzten Ersatzbrennstoffe laut
Zentralem System Emissionen (ZSE)**

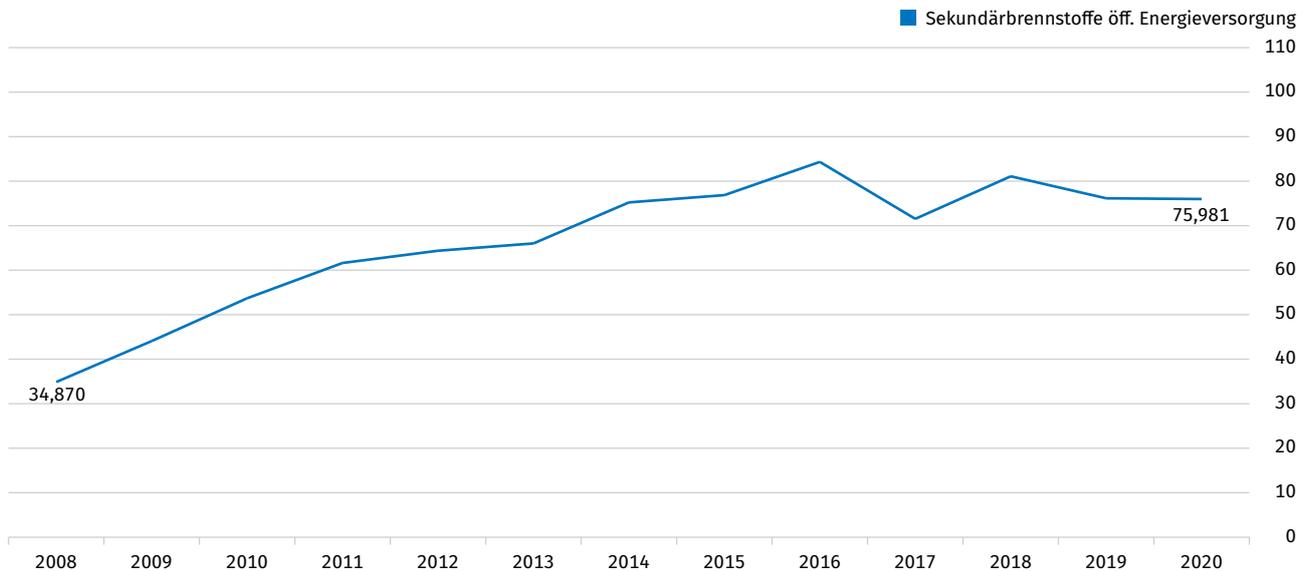
Ersatzbrennstoff (Zentrales System Emissionen)
1. Zementindustrie
Altreifen
Altöl
Bleicherde
Gewerbeabfall Kunststoff
Gewerbeabfall Papier
Gewerbeabfall sonstiger
Gewerbeabfall Verpackungen
Holzabfälle (Resthölzer)
Klärschlamm
Lösemittel (Abfall)
Ölschlamm
Siedlungsabfall aufbereitet
Teppichabfälle
Textilabfälle
Tiermehle und -fette
2. Papierindustrie
Ablaugen Zellstoffherstellung
Faser/Deinking-Rückstände
Rinde
Rückstände Papierindustrie
3. Kalkindustrie
Altöl
Gewerbeabfall sonstiger
Tiermehle und -fette
4. Roheisenherstellung
Altkunststoff
Tierfette

Quelle: In Anlehnung an Lechtenböhrer et al. (2006)

Für die Emissionsberichterstattung nutzt das UBA im Bereich Sekundärbrennstoffe daher neben den vertraulichen Verbandsdaten der Zement-, Kalk-, Papier- und Metallerzeugungsindustrie Daten der Satellitenbilanz Erneuerbare Energien der AGEE-Stat, der Energiebilanz der AGEB sowie der amtlichen Abfallstatistik. Die Inventardaten bieten dadurch umfassende quantitative Informationen zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen – sowohl in der öffentlichen Energieversorgung als auch in der Industrie.

Abbildung 4 zeigt die Entwicklung der Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen in der öffentlichen Energieversorgung. Der Verbrauch ist gegenüber dem Jahr 2008 von 34,870 PJ auf 75,981 PJ im Jahr 2020 deutlich angestiegen (+ 118 %).

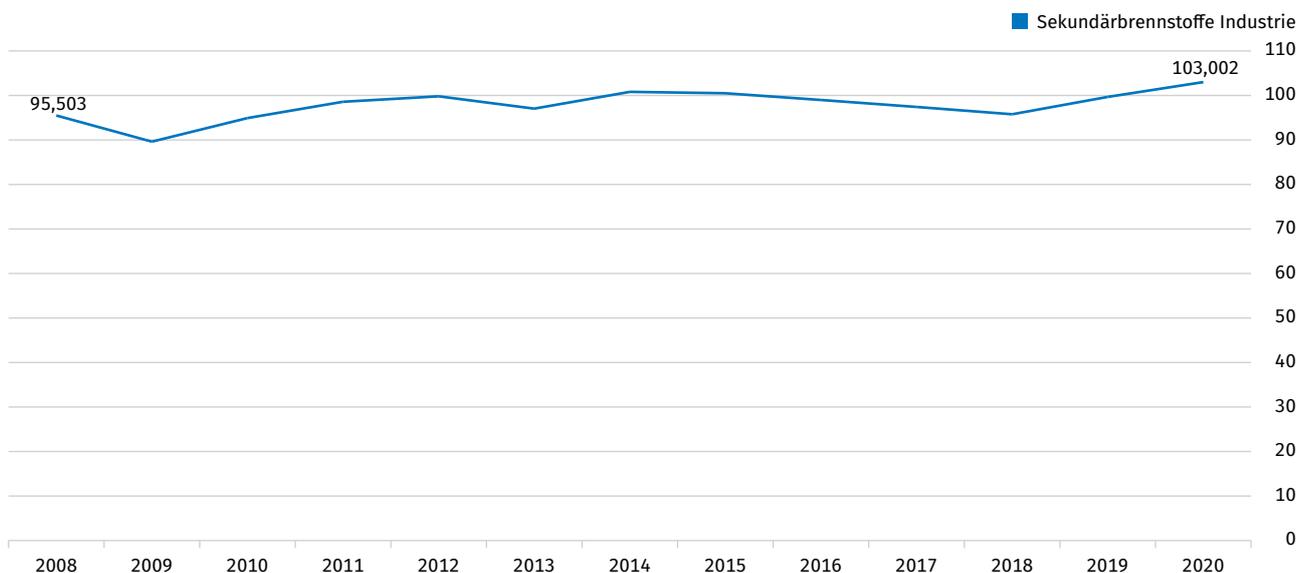
Abbildung 4:
Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der öffentlichen Energieversorgung
in PJ



Quelle: UBA (2022), eigene Darstellung

Abbildung 5 zeigt demgegenüber die Entwicklung der Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen, die in der Zement-, Kalk-, Stahl- und Papierindustrie eingesetzt werden. Hier lag der Ausgangswert 2008 bei 95,503 PJ; bis 2020 war ein Anstieg des Verbrauchs um rund 8 % auf 103,002 PJ zu verzeichnen.

Abbildung 5:
Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Industrie
in PJ



Quelle: UBA (2022), eigene Darstellung

Sektorübergreifend lag der Einsatz von Sekundärbrennstoffen im Jahr 2020 bei 178,983 PJ. Laut den Angaben der AGEB betrug der Primärenergieverbrauch im selben Jahr 11894,911 PJ (AGEB 2020). Damit decken Sekundärbrennstoffe rund 2 % des Energieverbrauchs in Deutschland ab.

Wie bereits erwähnt, nutzt das UBA bei der Erstellung des Treibhausgas-Inventars neben den Verbandsdaten der oben genannten Industriezweige auch das Datenangebot der AGEB. Daher wurde zusätzlich auch untersucht, ob die Energiebilanz der AGEB direkt als Datenquelle verwendet werden könnte.

Die AGEB nutzt seit einigen Jahren zur Abbildung der Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen in ihrer Energiebilanz Daten der durch das StBA durchgeführten Energiestatistiken „Jahreserhebung über die Energieverwendung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (060)“, „Jahreserhebung über Erzeugung und Verwendung von Wärme sowie über den Betrieb von Wärmenetzen (064)“, „Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung (066)“, „Jahreserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (067)“.

In früheren Berichtsjahren wurden Sekundärbrennstoffe noch nicht von der amtlichen Statistik erfasst, hier wurde deshalb zur Erstellung der Energiebilanz noch zum Teil auf die von Lechtenböhrer et al. (2006) ermittelten Verbandsdaten zurückgegriffen. Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen ist in der Energiebilanz unter den Energieträgern „Fossile Abfälle, sonstige“ und „Biomasse, erneuerbare Abfälle“ subsumiert. Eine separate Ausweisung der einzelnen Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen erfolgt in der Bilanz allerdings bis dato nicht (AGEB 2022).

Da die Energiebilanz also nicht den notwendigen Detaillierungsgrad für Indikator 2 bietet, ist es ein vielversprechender Ansatz, direkt die oben genannten Energiestatistiken (060, 067, 064 und 066), zu analysieren.

Die Energiestatistik pflegt pro Erhebung eine Energieträgerliste, die bei Bedarf jährlich aktualisiert wird. Auf der 2-Steller-Ebene wird die Energieträger-Gruppe beschrieben, beispielsweise die für den Bereich Sekundärbrennstoffe relevanten Gruppen „Feste biogene Stoffe“, „Flüssige biogene Stoffe“, „Klärschlamm“, „Industrieabfall“ und „Abfall (Hausmüll, Siedlungsabfälle)“. Auf 4-Steller-Ebene werden die Energieträger-Gruppen tiefer gegliedert. Für Fachkundige ist es auf dieser Stufe möglich, sich Sekundärbrennstoffe recht genau herauszufiltern. Die Energiestatistik führt selbst keine separate Liste, die explizit und ausschließlich Sekundärbrennstoffe bzw. Ersatzbrennstoffe umfasst.

Die Aufbereitung der Ergebnistabellen nach Energieträger-4-Steller-Schlüssel wurde erstmals mit dem Berichtsjahr 2012 umgesetzt. Davor wurden nur die 2-Steller (Energieträger-Gruppe) erfragt, was keine Rückschlüsse auf die darin enthaltenden einzelnen Brennstoffe und Einsatzmengen, darunter Sekundärbrennstoffe, zuließ.

Tabelle 4 zeigt einen Auszug der Energieträgerliste aus der amtlichen Statistik „Jahreserhebung über die Energieverwendung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (060)“. Hier werden Industriebetriebe direkt zu ihren verbrauchten Energiemengen befragt, und die Nennung von Sekundärbrennstoffen als Energieträger ist im Vergleich zu den anderen o.g. Statistiken am höchsten.

Tabelle 4:

Auszug der Energieträgerliste der Jahrerhebung über die Energieverwendung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden

4-Steller-Code	Beschreibung 4-Steller	2-Steller-Code	Beschreibung 2-Steller
5101	Altholz	51	Feste biogene Stoffe
5103	Brennlauge	51	Feste biogene Stoffe
5104	Brennholz	51	Feste biogene Stoffe
5105	Fest biogene Stoffe	51	Feste biogene Stoffe
5106	Holz	51	Feste biogene Stoffe
5107	Holzreste (z. B. Schreinereien)	51	Feste biogene Stoffe
5108	Pellets (Holz)	51	Feste biogene Stoffe
5109	Rauchspan	51	Feste biogene Stoffe
5110	Restholz	51	Feste biogene Stoffe
5111	Schleifstaub, biogen	51	Feste biogene Stoffe
5113	Stroh, Strohpellets	51	Feste biogene Stoffe
5114	Sulfitablauge	51	Feste biogene Stoffe
5115	Tierfette	51	Feste biogene Stoffe
5116	Tiermehl	51	Feste biogene Stoffe
5117	Warmbrennstoffe (biogener Gewerbeabfall)	51	Feste biogene Stoffe
5118	Holzhackschnitzel	51	Feste biogene Stoffe
5119	Holzspäne, Sägemehl	51	Feste biogene Stoffe
5120	Abfall, fest, rein biogen	51	Feste biogene Stoffe
5121	Rinde	51	Feste biogene Stoffe
5122	Landschaftspflegeholz	51	Feste biogene Stoffe
5201	Abfall, flüssig, biogen	52	Flüssige biogene Stoffe
5202	Biomethanol	52	Flüssige biogene Stoffe
5203	Flüssige biogene Stoffe	52	Flüssige biogene Stoffe
5204	Harzöl	52	Flüssige biogene Stoffe
5206	Palmöl	52	Flüssige biogene Stoffe
5207	Pflanzenöl	52	Flüssige biogene Stoffe
5210	Biodiesel (nicht für Verkehrszwecke)	52	Flüssige biogene Stoffe
5302	Biogas	53	Biogas
5304	Holzgas (Gas aus Biomasse)	53	Biogas
5402	Klärgas	54	Klärgas
5502	Deponiegas	55	Deponiegas
5601	Klärschlamm	56	Klärschlamm
5801	Biomethan (Bioerdgas)	58	Biomethan (Bioerdgas)
6101	Abfall (Industrieabfälle, nicht biogen)	61	Industrieabfall
6102	Abfall, flüssig, nicht biogen	61	Industrieabfall
6103	Altreifen	61	Industrieabfall
6105	BPG (aus produktspezifischen Gewerbeabfällen)	61	Industrieabfall
6106	EBS – Ersatzbrennstoffe, nicht biogen	61	Industrieabfall
6107	Fesbo	61	Industrieabfall
6108	Industrieabfall	61	Industrieabfall
6110	Kunststoffe BPG	61	Industrieabfall
6112	Reifencord, Reifenschnitzel	61	Industrieabfall
6114	Schleifstaub, nicht biogen	61	Industrieabfall
6115	Sekundärbrennstoff, nicht biogen	61	Industrieabfall
6117	Warmbrennstoffe (Gewerbeabfall)	61	Industrieabfall
6201	Abfall (Hausmüll, Siedlungsabfälle)	62	Abfall (Hausmüll, Siedl.abf.)
6202	Abfall (hausmüllähnliche Gewerbeabfälle)	62	Abfall (Hausmüll, Siedl.abf.)
6203	BGS (aus Gewerbe- und Siedlungsabfällen)	62	Abfall (Hausmüll, Siedl.abf.)
6204	EBS – Ersatzbrennstoffe, mit biogenem Anteil	62	Abfall (Hausmüll, Siedl.abf.)
6205	Faserfangstoffe	62	Abfall (Hausmüll, Siedl.abf.)
6206	Müll (Hausmüll)	62	Abfall (Hausmüll, Siedl.abf.)
6208	Sekundärbrennstoff, mit biogenem Anteil	62	Abfall (Hausmüll, Siedl.abf.)
6209	Tetra Pak Rejekte	62	Abfall (Hausmüll, Siedl.abf.)

Quelle: In Anlehnung an StBA (2021b) | AGEb (2022)

Die amtliche Energiestatistik erhebt allgemein Daten in den Abschnitten B „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“, C „Verarbeitendes Gewerbe“ sowie D „Energieversorgung“ der aktuell gültigen Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008). Dadurch ist ein großer Teil der Volkswirtschaft abgedeckt. Einige Bereiche, wie etwa Abschnitt F „Baugewerbe“ oder die Bereiche Handel, Verkehr und Lagerei, werden allerdings nicht erfasst. Auch die ZSE-Datenbank deckt nur die Sektoren Industrie und öffentliche Energieversorgung ab. Daher ist anzunehmen, dass der Einsatz von Sekundärbrennstoffen in den WZ-Abschnitten außer B, C und D, zu vernachlässigen ist.

In GENESIS-Online, der zentralen Datenbank des StBA, werden die Ergebnisse der genannten Erhebungen (unter den Codes 43351 bzw. 43311) nur auf 2-Steller-Ebene der Energieträgerliste veröffentlicht. Auf Anfrage könnten jedoch gegebenenfalls Auswertungen nach Sekundärbrennstoffen auf 4-Steller-Ebene zur Verfügung gestellt werden.

Liegt der Fokus auf der Quantifizierung des Einsatzes von Sekundärbrennstoffen im Inland, ist in der Gesamtschau die ZSE-Datenbank die geeignetste Datenquelle. Sie bildet die Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen in der Industrie und in der öffentlichen Energieversorgung vollständig ab. Daten liegen dort auch in der gewünschten Zeitreihe, das heißt ab 2008 bis zum aktuellen Rand, vor.

Da die berichteten Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen der amtlichen Energiestatistik seit dem Berichtsjahr 2012 stetig angestiegen sind, ist davon auszugehen, dass die amtliche Energiestatistik den Einsatz von Sekundärbrennstoffen immer vollständiger erfasst. Daher ist es sinnvoll, beide Datenquellen miteinander zu vergleichen und zukünftig eventuell ganz auf die Energiestatistik als alleinige Datenquelle abzustellen.

3.3.2 Input-Output-Rechenmodell der UGR zu Energie und CO₂-Emissionen

Die Brücke vom Einsatz von Energieträgern im Allgemeinen zu den Bauinvestitionen und dem Einsatz von Sekundärbrennstoffen innerhalb der Wertschöpfungskette des Bauwesens soll durch das Input-Output-Rechenmodell zu Energie und CO₂-Emissionen der UGR geschlagen werden. In dem Modell werden Energieverbräuche und CO₂-Emissionen zugleich geschätzt. Die CO₂-Emissionen sind aber für Indikator 2 nicht relevant. In das Input-Output-Modell fließen Angaben zum direkten Energieverbrauch (z. B. Gas zum Heizen) im Inland, die z. B. aus der Energiegesamtrechnung der UGR oder aus den Energiebilanzen der AGEB stammen. Daneben schätzt das Modell indirekte Energieverbräuche, d. h. die Energieeinsatzmengen, die bereits während der Produktion von Vorleistungsgütern im In- und Ausland benötigt wurden. Sowohl die direkten als auch die indirekten Energieverbräuche werden schließlich den verschiedenen Kategorien der letzten Verwendung, darunter den Investitionen in Bauten, zugeordnet. Eine Anknüpfung an das Input-Output-Modell ist der entscheidende Faktor für eine zukünftige Datenlieferung des Indikators durch die UGR.

Die Basis der Modellierung der indirekten Energieflüsse bilden die monetären Input-Output-Tabellen der VGR. Sie geben, gemessen in Euro, die Verflechtungen innerhalb einer Volkswirtschaft wieder, d. h. die Lieferbeziehungen zwischen verschiedenen Produktionsbereichen und zwischen den Produktionsbereichen und der Endnachfrage (Konsum, Investitionen und Export). Die VGR erstellen drei verschiedene Input-Output-Tabellen, nämlich für die Verwendung von Gütern aus inländischer Produktion, für importierte Güter sowie die Summe aus beiden. Diese Tabellen ermöglichen es, die Energieverbräuche, die z. B. durch die Investitionsnachfrage nach einer bestimmten Güterart entlang der gesamten Wertschöpfungskette im In- und Ausland entstehen, zu schätzen. Zur Verbesserung der Schätzung der physischen Energieflüsse werden monetäre Daten in den Input-Output-Tabellen teilweise durch physische Werte ersetzt, es handelt sich also um ein hybrides Input-Output-Modell. Zusätzlich werden für den Bereich Energiegewinnung und -umwandlung und für energieintensive Produktionsbereiche (z. B. die Stahl- und Aluminiumherstellung) Sonderrechnungen durchgeführt.

Auf Grundlage der drei Input-Output-Tabellen lassen sich die Berechnungen für das Inland und die Importe getrennt durchführen. Die Importe sind durch länderspezifische Energieeinsätze gekennzeichnet, das gilt insbesondere für die energieintensiven Produktionsbereiche. Für ein solides Schätzergebnis ist es also notwendig, länderspezifische Angaben zum Einsatz von Energie in diesen Produktionsbereichen in das Rechenmodell einzuspeisen, die Importströme also regionalisiert zu modellieren. Daher werden für die 17 Haupthandelspartner Deutschlands (12 EU- und 5 Nicht-EU-Staaten) eigene hybride Input-Output-Tabellen erstellt. Bei den restlichen insgesamt 67 Produktionsbereichen werden deutsche Werte übernommen (Domestic Technology Assumption). Auch für die übrigen Handelspartner Deutschlands wird unterstellt, dass sie ihre Güter mit den gleichen technischen Gegebenheiten und dem gleichen Energiemix wie Deutschland produzieren.

3.3.3 Datenlage zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen im Ausland

Für eine zielführende Anwendung des Input-Output-Modells ist es notwendig, neben dem inländischen Einsatz von Sekundärbrennstoffen (siehe Abschnitt 3.3.1) ebenfalls die Einsatzmengen der 17 Importländer zu kennen und einzuspeisen. Die Art der Datenhaltung für die Produktion der nationalen Treibhausgasinventare ist nicht international abgestimmt, es kann also nicht davon ausgegangen werden, dass andere Staaten eine Datenbank mit dem gleichen Detailgrad wie das ZSE nutzen. Für die Veröffentlichung ihrer Daten nutzen dagegen alle Staaten, die unter UNFCCC berichten, das gleiche „common reporting format“ (CRF).

Die Sekundärbrennstoffe sind in den CRF-Tabellen in der Regel unter den Kategorien „Other fossil fuels“ oder „Biomass“ einsortiert. Aus den CRF-Tabellen lassen sich keine Rückschlüsse auf die Menge eines spezifischen Brennstoffes ableiten. Beispielsweise sind die kalorischen Mengen des Sekundärbrennstoffs „Altreifen“ entsprechend seiner stofflichen Zusammensetzung (ca. 70 % fossilen Ursprungs, ca. 30 % aus biogenen Stoffen) auf die beiden Kategorien „Other fossil fuels“ und „Biomass“ aufgeteilt. Zudem beinhaltet die Kategorie „Other fossil fuels“ auch andere Brennstoffe außer Sekundärbrennstoffen, zum Beispiel Abwärme aus Müllverbrennungsanlagen.

Ein weiteres Problem bei der Berichterstattung ist, dass bei bestimmten Energieträgern oder Verwendungsarten Datenlücken bestehen bzw. Daten zusammengefasst wurden. Dies ist in den CRF-Tabellen durch die Angabe „included elsewhere“ (IE) gekennzeichnet. An welcher Stelle diese Brennstoffe berichtet werden und in welcher Brennstoffkategorie, lässt sich anhand der CRF-Tabellen nicht herausfinden. In der Gesamtschau eignen sich daher die Treibhausgas-Inventare der 17 Länder nicht zur Abbildung der jeweiligen Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen.

Neben den öffentlichen jährlichen Angaben in den CRF-Tabellen sind die Energiebilanzen der 17 Importländer ein weiterer möglicher Ansatzpunkt, um internationale Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen zu quantifizieren.

Energiebilanzen stellen das Aufkommen, die Umwandlung und die Verwendung von Energieträgern für ein Bezugsgebiet, z. B. Deutschland, für einen bestimmten Zeitraum dar. In den Spalten sind die Energieträger ausgewiesen. In den Zeilen werden für die jeweiligen Energieträger Aufkommen, Umwandlung und Verwendung erfasst. Dabei wird zum Beispiel auch zwischen energetischer und nichtenergetischer Nutzung unterschieden.

Bei den Zeilen werden drei Hauptteile unterschieden: der Primärenergieverbrauch, die Umwandlungsbilanz und der Endenergieverbrauch (AGEB 2015). „Der Primärenergieverbrauch setzt sich zusammen aus der Gewinnung von Primärenergieträgern, aus dem Handel mit Energieträgern über die Grenzen eines Landes sowie aus Bestandsveränderungen. Die Umwandlungsbilanz gibt u. a. Aufschluss über Sekundärenergieträger wie Strom und Fernwärme, die bei der Umwandlung von Primärenergieträgern entstehen. Der Endenergieverbrauch gibt Auskunft über die Verwendung von Energieträgern in den einzelnen Verbrauchergruppen, soweit sie unmittelbar der Erzeugung von Nutzenergie dienen“ (LAK 2022).

Wie in Abschnitt 3.3.1 beschrieben, werden Sekundärbrennstoffe in der Energiebilanz Deutschlands den Spalten „Fossile Abfälle, sonstige“ und „Biomasse, erneuerbare Abfälle“ zugeordnet. Im Bereich des Umwandlungseinsatzes sind sie den Zeilen 11 „Wärme- und Kälteanlagen der allg. Versorgung“, 12 „Industriewärme- und Kälteanlagen (nur für Strom)“, 15 „Heizkraftwerke der allg. Versorgung“ und 16 „Fernheizwerke“ zugeordnet. Im Bereich des Endenergieverbrauchs sind sie zudem in Zeile 60 „Bergbau, Gewinnung Steine und Erden, Verarbeitendes Gewerbe“ enthalten.

Um die länderspezifischen Energieeinsatzmengen der 12 EU- und 5 Nicht-EU-Staaten abzubilden, nutzt das Input-Output-Modell der UGR Informationen der Energiebilanzen von Eurostat sowie der United Nations Statistics Division (UNSD) bzw. in früheren Jahren der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD).

Die Schemata der Energiebilanzen der 17 relevanten Staaten unterscheiden sich untereinander und von der deutschen Energiebilanz insbesondere in der Detailtiefe der Energieträger (Spalten). Betrachtet man die Energiebilanzen von Eurostat, werden die Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen wahrscheinlich den Spalten „Renewable municipal waste“ und „Non-renewable waste“ zugeordnet; für die Nicht-EU-Staaten ist es mutmaßlich die Spalte „Biofuels and waste“. Analog zur Energiebilanz Deutschlands ist zu vermuten, dass Sekundärbrennstoffe in den Bereichen „Umwandlungseinsatz“ für die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung sowie „Endenergieverbrauch“ des Industriesektors verortet sind.

Da jede Volkswirtschaft durch einen individuellen Energieträgermix gekennzeichnet ist, lässt sich jedoch nicht abschätzen, wie groß der Anteil von Sekundärbrennstoffen an den mutmaßlich relevanten Spalten ist. Somit lassen auch die international verfügbaren Energiebilanzen keine Rückschlüsse auf die Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen in den jeweiligen Ländern zu, insbesondere keine Auswertung für verschiedene Sekundärbrennstoffe.

3.3.4 Zusammenfassung mit Abweichungsanalyse

Zusammenfassend kann zur Machbarkeit des Indikators festgehalten werden, dass anhand von Daten der ZSE-Datenbank, d. h. der vom UBA erstellten Grundlage der Treibhausgas-Inventardaten, der Einsatz von Sekundärbrennstoffen in Deutschland vollständig in der geforderten Zeitreihe (2008 bis zum aktuellen Rand) abgebildet werden kann. Bisher nutzt das UBA die Einsatzmengen pro Sekundärbrennstoff nur intern und veröffentlicht diese nicht im Detail. Ab dem Berichtsjahr 2012 kann nach Abgleich der berichteten Energiemengen zukünftig eventuell ganz auf die Energiestatistik als Datenquelle abgestellt werden.

Anhand der öffentlich zugänglichen CRF-Tabellen der nationalen Treibhausgas-Inventare sowie der internationalen Energiebilanzen war es hingegen nicht möglich die Einsatzmengen der 17 wichtigsten Importländer zu ermitteln, um das Input-Output-Modell für Energie und CO₂-Emissionen um entsprechende physische Angaben zu erweitern. Theoretisch hätten diese Angaben dem Modell zur Berechnung eines Indikators „Einsatz von Sekundärbrennstoffen für die Erzeugung von Energie für Investitionen in Bauten“ dienen können, der dann idealerweise auch nach verschiedenen Sekundärbrennstoffen hätte differenziert werden können. Im Rahmen der Recherche hat sich herausgestellt, dass die Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen im Vergleich zum gesamten Energieverbrauch, zumindest in Deutschland, sehr gering sind. Auch wenn passende Daten für die 17 relevanten Handelspartner vorlägen, wäre daher sehr wahrscheinlich die Aussagekraft der Modellierungsergebnisse nicht gegeben. Das macht zusammengenommen eine Anwendung des Input-Output-Modells zur Abbildung des Einsatzes von Sekundärbrennstoffen innerhalb der Wertschöpfungskette des Bauwesens bis dato unmöglich.

Im Zuge der Machbarkeitsprüfung für Indikator 2 bestätigte sich allerdings, dass zumindest eine Differenzierung der Verwendungskategorie „Investitionen in Ausrüstungen, Bauten und sonstige Anlagen“ innerhalb des Input-Output-Modells technisch möglich wäre und der Energieeinsatz für Investitionen in Bauten isoliert berechnet werden könnte. Damit wäre immerhin eine separate Veröffentlichung eines Indikators „Direkter und indirekter Energieeinsatz für Investitionen in Bauten“ durch das StBA möglich.

3.4 Indikator 3: Flächeninanspruchnahme für den Anbau biotischer Rohstoffe für Investitionen in Bauten

Mit dem dritten Indikator soll die Fläche erfasst werden, die weltweit für den Anbau biotischer Rohstoffe benötigt wird, die direkt oder indirekt für Investitionen in Bauten in Deutschland benötigt wird. Hierunter fällt zum Beispiel Holz, das für Dachkonstruktionen genutzt wird. Es gehört aber auch Raps dazu, der zu Biodiesel verarbeitet wird und so indirekt für den Transport von Baustoffen genutzt wird, aber auch Ölsaaten, aus denen chemische Produkte hergestellt werden, die im Baubereich eingesetzt werden. Um die Veränderungen des Indikators im Zeitverlauf besser analysieren zu können, soll idealerweise die inländische und ausländische Flächeninanspruchnahme sowie die Flächeninanspruchnahme je Rohstoff oder Rohstoffgruppe jeweils separat ausgewiesen werden können.

Ein guter Ausgangspunkt für die Berechnung dieses Indikators ist das UGR-Modul „Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten“. In diesem Modul werden die Rohstoffmengen geschätzt, die direkt und indirekt, im In- und Ausland für deutschen Konsum, Investitionen und Export eingesetzt werden. Die Ergebnisse werden in Tonnen ausgewiesen. Der dazugehörige Tabellenband „Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten“ wird bisher unregelmäßig veröffentlicht. Die aktuellste Veröffentlichung vom Mai 2021 enthält Ergebnisse für den Berichtszeitraum 2000 bis 2018 (StBA 2021c).

In der Berechnung der Rohstoffäquivalente sind alle biotischen Rohstoffe bereits enthalten. Diese umfassen biotische Rohstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft. Das sind zum Beispiel Holz, Getreide oder Ölsaaten. Die Kategorie der letzten Verwendung „Investitionen in Bauten“ wird ebenfalls gesondert ausgewiesen. Der Einsatz von Rohstoffäquivalenten für Investitionen in Bauten ist bereits Bestandteil des Indikatorensets zur Quantifizierung der Ressourceneffizienz im Bauwesen. Er trägt dort die Bezeichnung „Raw Material Consumption (RMC) Bauten“.

Zu ergänzen wäre bei dieser Berechnungsoption erstens eine Umrechnung der Tonnen (t) Rohstoffe in die Fläche (Hektar (ha)), die für ihren Anbau benötigt wurde. Zweitens wäre die Ergebnisauswertung zu verfeinern, sodass nicht nur zwischen Biomasse aus Land- und aus Forstwirtschaft, sondern tiefer zwischen verschiedenen Rohstoffen oder Rohstoffgruppen unterschieden wird.

Neben den Rohstoffäquivalenten hat auch das UGR-Modul „Flächenbelegung von Agrarrohstoffen und Erzeugnissen pflanzlichen Ursprungs“ einen thematischen Bezug zu Indikator 3. Dies wird im Folgenden erläutert. Im Anschluss gibt Abschnitt 3.4.2 einen genaueren Überblick über die Berechnung der Rohstoffäquivalente. Abschnitt 3.4.3. führt die für Indikator 3 relevanten Teile beider Module zusammen.

3.4.1 Flächenbelegung von Agrarrohstoffen und Erzeugnissen pflanzlichen Ursprungs

In den UGR gibt es bereits ein Rechenwerk, in dem globale Anbauflächen biotischer Rohstoffe berechnet werden. Konkret wurde im Rahmen des Projekts „Globale Umweltbelastung durch Produktion, Konsum und Importe“ ein Modell zur Schätzung der Flächenbelegung für deutsche Importgüter entwickelt (StBA 2020). Flächenbelegung bezeichnet hier die Fläche, die für den Anbau der Agrarrohstoffe benötigt wird, die entweder als Rohstoff oder als verarbeitetes Produkt nach Deutschland importiert werden. Das Ziel dieses Projektes war eine möglichst genaue Quantifizierung der Flächenbelegung für die einzelnen Agrarrohstoffe, differenziert nach Anbauländern. Da das Modul weder Informationen zur Flächenbelegung für Rohstoffe aus der Forstwirtschaft enthält noch einen Bezug zur Verwendungskategorie „Bauinvestitionen“ herstellt, eignet es sich weniger als Grundlage für die Berechnung von Indikator 3 als das Modul zu Rohstoffäquivalenten. Dennoch können Teile des Moduls auch für Indikator 3 nützlich sein.

Ziel ist es, Informationen aus diesem Rechenwerk zu verwenden. In einem ersten Schritt ist daher zu prüfen, ob sich der Algorithmus zur Bildung von eigenen Flächenkoeffizienten zur Umrechnung von Tonnen Rohstoffe in die zum Anbau benötigte Fläche (ha) eignet.

Das Konzept des Rechenwerks zur Flächenbelegung von Agrarrohstoffen und Erzeugnissen pflanzlichen Ursprungs legt den Fokus auf die Flächenbelegung von Agrarrohstoffen und von Erzeugnissen pflanzlichen Ursprungs. Das Modell berechnet ebenfalls die Flächenbelegung von Ernährungsgütern tierischen Ursprungs, was jedoch für die aktuelle Machbarkeitsstudie zu vernachlässigen ist.

Insbesondere für den Import von verarbeiteten pflanzlichen Produkten müssen die Lieferketten der Agrarrohstoffe verfolgt werden, um das tatsächliche Anbauland zu identifizieren. Für importierte Agrarrohstoffe kann mit Hilfe der Ertragskoeffizienten der Anbauländer unmittelbar auf die zum Anbau benötigten Flächen geschlossen werden. Diese Flächen berechnen sich dann durch Multiplikation der Importmenge eines Agrarrohstoffs (in t) mit dem Ertrag im Anbauland (in t/ha). Verarbeitete Produkte müssen zunächst in die zur Produktion benötigte Menge an Agrarrohstoffen überführt werden.

Als Grundlage der Berechnung dienen die Daten der Außenhandelsstatistik (Intra- und Extrahandel). Länderspezifische Informationen zum Anbau der Agrarrohstoffe stammen aus der Datenbank der Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen (FAO). Zur Umrechnung der verarbeiteten Produkte in die zur Herstellung benötigten Agrarrohstoffe werden überwiegend die „Technical Conversion Factors for Agricultural Commodities“ der FAO verwendet. Die Zurückverfolgung der Lieferketten erfolgt mithilfe der COMTRADE Datenbank der Vereinten Nationen.

Zusammengefasst kann die Flächenbelegung durch Importe auf Güterebene durch einen Koeffizienten-Ansatz wie in (StBA 2020) beschrieben gut bestimmt werden. Dazu werden für Agrarrohstoffe die Importmengen mit dem Ernteertrag des Anbaulandes verknüpft und somit die benötigten Anbauflächen berechnet. Für ein valides Ergebnis ist es allerdings notwendig, insbesondere für importierte verarbeitete Agrarrohstoffe das Herkunftsland des Rohstoffes zu kennen und die Lieferketten zurückzuverfolgen.

Die guten Ergebnisse aus dem UGR-Modul „Flächenbelegung von Agrarrohstoffen und von Erzeugnissen pflanzlichen Ursprungs“ legen es nahe, die dort verwendeten Flächenkoeffizienten auf die Ergebnisse des UGR-Moduls „Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten“ anzuwenden, um die Fläche für den Anbau biotischer Rohstoffe für Investitionen in Bauten zu bestimmen.

3.4.2 Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten

Um die Frage zu beantworten wie viele und welche Rohstoffe verwendet werden, um die inländische Konsum- und Investitionsnachfrage sowie die ausländische Nachfrage nach Gütern zu befriedigen, reicht es nicht aus, die inländische Entnahme an Rohstoffen und die Im- und Exporte mit ihrem jeweiligen Gewicht zu betrachten (StBA 2019, S. 5 ff). Die Im- und Exporte werden vielmehr zur Berechnung der Rohstoffäquivalente (Raw Material Equivalents, RME) in die Masse der Rohstoffe umgerechnet, die über die gesamte Wertschöpfungskette zur Herstellung dieser Güter verwendet werden (vgl. Maier 2018).

„Der Rohstoffbegriff, der den Rechnungen zugrunde liegt, ist identisch mit demjenigen des gesamtwirtschaftlichen Materialkontos in den UGR: Der Begriff ‚Rohstoffe‘ steht für alle Materialien, die unbearbeitet in der Umwelt vorkommen. Werden Rohstoffe durch menschliche Aktivität aus der Umwelt entnommen und innerhalb der Wirtschaft verarbeitet oder verwendet, so zählen sie zur „genutzten Entnahme“. Bezugsgröße für die Rohstoffäquivalente-Rechnungen ist ebendiese Masse an Rohstoffen, die aus der Umwelt entnommen und genutzt wird. Die Rohstoffe lassen sich in abiotische und biotische Rohstoffe gruppieren. Abiotische Rohstoffe umfassen fossile Energieträger, Erze und sonstige, das heißt weder metallische noch als Energieträger nutzbare, mineralische Rohstoffe. Zu den sonstigen mineralischen Rohstoffen gehören zum Beispiel Sand, Kies, Kalkstein, Tone, Quarzsande, Salz, chemische und Düngemittelmineralien. Biotische Rohstoffe sind pflanzliche Erzeugnisse aus der Land- und Forstwirtschaft sowie bei der Jagd erlegtes Wild und wild gefangene Fische“ (Maier 2018: S. 23).

Für die Berechnung der Rohstoffäquivalente und die Zuordnung dieser Mengen zu ihren Nutzungszwecken werden die Angaben im Materialkonto um weitere Informationen ergänzt. Dazu gehören Angaben, von welchem Wirtschaftsbereich welche Mengen an Rohstoffen zu Beginn der Wertschöpfungskette eines

Produktes verarbeitet werden sowie der Anteil an Rohstoffen, der direkt in die letzte Verwendung fließt (Export, Konsum, Investitionen). Diese Zuordnungen in physischen Einheiten werden für etwa 100 verschiedene Rohstoffe und Rohstoffgruppen vorgenommen. Im Modell werden Pflanzenreste, zum Beispiel Stroh, solange es nicht für Futter oder Einstreu verwendet wird, derzeit noch nicht berücksichtigt. Dies kann zu einer Unterschätzung des Einsatzes von Pflanzenresten oder pflanzlichen Nebenprodukten für Investitionen in Bauten führen.

Anschließend werden die Daten mit monetären Input-Output-Tabellen aus den VGR verknüpft. Allgemein stellen monetäre Input-Output-Tabellen die Verflechtungen der 72 Produktionsbereiche einer Volkswirtschaft untereinander sowie den Kategorien der letzten Verwendung dar. „Die Rechenschritte mit Input-Output-Matrizen haben zwei Ziele: Erstens werden aus den Angaben zu inländischer Entnahme und Import von Rohstoffen die indirekten Importe berechnet. Indirekte Importe bezeichnen die Menge an Rohstoffen, die nicht als Rohstoff die Grenze passieren, sondern die für die Herstellung von nach Deutschland importierten weiter verarbeiteten Gütern eingesetzt wurden. Zweitens dienen die Input-Output-Tabellen dazu, inländische Entnahmen sowie direkte und indirekte Importe von Rohstoffen den Kategorien der letzten Verwendung zuzuordnen“ (Maier 2018: S. 26 ff).

Aus der RME-Rechnung stehen biotische Rohstoffe aus Land-, Forstwirtschaft sowie Fischerei und Wild zur Verfügung. Fischerei und Wild sind jedoch nicht für die Berechnung des dritten Indikators relevant, da diese Rohstoffgruppe keinen Hektarertrag im eigentlichen Sinn erwirtschaftet.

Im Bereich Landwirtschaft werden Rohstoffäquivalente für die Kategorie der letzten Verwendung „Investitionen in Bauten“ für folgende 26 pflanzliche Rohstoffe bzw. Rohstoffgruppen berechnet: Hartweizen, Weichweizen, Roggen, Gerste, Hafer, Mais, Triticale, Sorghum/Hirse, Reis, Hülsenfrüchte, Kartoffeln, Zucker, Gemüse, Obst, Zitrusfrüchte, Ölsaaten, Wein, Tabak, Kaffee, Tee, Kakao, Faserpflanzen, Hopfen, Kräuter (Heil-, Duft- und Gewürzpflanzen), Silomais und Futterpflanzen. Quelldaten sind die Versorgungsbilanzen aus dem Statistischen Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).

Im Bereich Forstwirtschaft werden Rohstoffäquivalente für die Kategorie der letzten Verwendung „Investitionen in Bauten“ für die Rohstoffgruppe Holz berechnet. Es wird also nicht nach verschiedenen Baumarten, Laub- und Nadelbäumen unterschieden. Datenquelle sind hier Tabellen zu Aufkommen und Verwendung von Holz(-produkten) aus der Waldgesamtrechnung, die das Thünen Institut (TI) jährlich im Auftrag der UGR erstellt.

3.4.3 Berechnungsmethode und Ergebnisse

Um wie gefordert die globale Flächeninanspruchnahme je Rohstoff zu erhalten, wird analog zu dem unter 3.4.1 beschriebenen Koeffizienten-Ansatz die Tonnenangabe der insgesamt 27 biotischen Rohstoffäquivalente der Kategorie der letzten Verwendung „Investitionen in Bauten“ durch einen jeweils passenden Ertragskoeffizienten $[(RME \text{ je Rohstoff in Tonnen}) / \text{Ertrag Rohstoff (t/ha)}]$ dividiert.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde ein Wert für Indikator 3 testweise für das Berichtsjahr 2018 berechnet. Die Methode kann zur Generierung einer Zeitreihe von 2010 bis 2018 repliziert werden. Ab dem Berichtsjahr 2010 werden die Rohstoffäquivalente, darunter auch der „RMC Bauten“, methodisch und technisch konsistent berechnet. Für die Berichtsjahre 2008 und 2009 ist eine Kalkulation ebenfalls möglich, aber durch einen Umstieg von Excel auf SAS und geringfügige methodische Änderungen mit einem Mehraufwand und Unsicherheiten behaftet.

Die Erträge je Frucht-, Gemüse- und Holzart sowie für Handelsgewächse stammen überwiegend aus der Datenbank der Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen (FAO). Die Datenbank pflegt neben Landeserträgen auch Durchschnittserträge pro Region und für die Welt.

Für die Arten, die in Deutschland angebaut werden, wurde zur Berechnung auf die offiziellen inländischen Ertragsangaben zurückgegriffen: Hartweizen, Weichweizen, Roggen, Gerste, Hafer, Mais, Triticale, Hülsenfrüchte, Kartoffeln, Zucker (Ertrag Zuckerrübe), Gemüse, Obst, Ölsaaten, Wein (Ertrag Weinmost), Hopfen, Kräuter (Ertrag Heil-, Duft- und Gewürzpflanzen), Silomais, Futterpflanzen (Ertrag Raufutter). Neben der Datenbank der FAO dienten hier die Ergebnisse der Ernteerhebungen für Feldfrüchte, Obst und Weinmost sowie der Bodennutzungshaupt- und Gemüseerhebung der statistischen Ämter der Länder als Datenquellen oder zur Kontrolle der FAO-Angaben.

Im Gegensatz zu einem Hektarertrag in der Landwirtschaft, der sich auf eine konkrete Anbaufläche und Erntemenge bezieht, existiert eine solche Angabe zum Holzertrag in der (amtlichen) Statistik nicht. Vielmehr gibt es Informationen zur gesamten deutschen Waldfläche und zu Holzeinschlag bzw. Holzentnahme in Kubikmetern. Diese Zahlen müssen möglichst aus einer Quelle zu einander ins Verhältnis gesetzt werden, um einen fiktiven Ertrag zu bestimmen, der für die Berechnung von Indikator 3 genutzt werden kann.

Die Angaben zu Waldfläche und Holzentnahme zur Bestimmung eines Holzertrages wurden analog zu den Rohstoffäquivalenten der Waldgesamtrechnung entnommen. Die Umrechnung von Kubikmetern in Tonnen erfolgte via Umrechnungsfaktoren des Eurostat-Handbuchs zum Gesamtwirtschaftlichen Materialkonto (EU 2018, S. 46 ff).

Soweit möglich auf die deutschen Angaben zurückzugreifen, entspricht dem allgemeinen Vorgehen der Berechnung der Rohstoffäquivalente, das auf der vereinfachenden Annahme beruht, dass jedes Land mit derselben Intensität produziert wie Deutschland („Domestic Technology Assumption“). Da Deutschland eine intensive Landwirtschaft betreibt, kann die Verwendung von deutschen Erträgen zu einer Unterschätzung des globalen Flächenbedarfs führen.

Für Handelsgewächse (Tabak, Kaffee, Tee, Kakao, Faserpflanzen) sowie Zitrusfrüchte, Sorghum/Hirse und Reis wurden die weltweiten FAO-Durchschnittserträge angewandt.

Soweit bei der Berechnung der Rohstoffäquivalente Rohstoffe nicht einzeln, sondern gruppiert betrachtet wurden (Hülsenfrüchte, Gemüse, Obst, Zitrusfrüchte, Ölsaaten und Faserpflanzen), erfolgte zunächst eine Aufgliederung in die zugehörigen Einzelpositionen mit Angaben zu der jeweiligen Anbaufläche, dem Ertrag sowie der Erntemenge. Anschließend wurde der mit der Anbaufläche gewogene Durchschnittsertrag pro Summenposition gebildet. Das heißt, der Hektarertrag, der sich auf eine Fruchtart mit größerer weltweiter Anbaufläche bezieht, hat auf das Endergebnis einen stärkeren Einfluss und damit ein größeres Gewicht als der Hektarertrag einer Fruchtart, die auf einer kleineren Fläche angebaut wird. Tabelle 5 veranschaulicht die gewählte Gewichtungsmethode anhand der Rohstoffgruppe „Zitrusfrüchte“. Der Hektarertrag wird in der FAO-Datenbank in der Einheit „Hektogramm pro Hektar“ (hg/ha) angegeben.

Tabelle 5:
Berechnung gewogener Durchschnittserträge am Beispiel Zitrusfrüchte für 2018

Fruchtart	Anbaufläche	Hektarertrag	Erntemenge
	ha	hg/ha	t
Lemons and limes	1 193 231	164 738	19 657 025
Oranges	3 820 283	192 285	73 458 495
Other citrus fruit, not elsewhere classified (n.e.c.)	1 494 549	95 510	14 274 374
Pomelos and grapefruits	371 307	243 498	9 041 241
Tangerines, mandarines, clementines	2 673 175	127 777	34 157 033
Summe bzw. gewogener Durchschnittsertrag	9 552 545	157 642	150 588 168

Quelle: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2022): Datenbank Produktion, eigene Berechnung

Den gewogenen Durchschnittsertrag in t/ha pro Summenposition erhält man, indem man die einzelnen Anbauflächen und Erntemengen (Erntemenge = Anbaufläche*Ertrag) aufsummiert und anschließend die Erntemenge insgesamt durch die Anbaufläche insgesamt dividiert (150 588 168 t/9 552 545 ha). Der Ertrag bei Zitrusfrüchten beträgt damit rund 16 t/ha.

Tabelle 6 zeigt einen Auszug der Berechnungen für Indikator 3 für das Jahr 2018, basierend auf den beschriebenen Annahmen zu den Rohstoffäquivalenten und Ertragskoeffizienten. Demnach benötigte Deutschland im Jahr 2018 in Deutschland und im Ausland rund 710 000 Hektar für den Anbau biotischer Rohstoffe aus Land- und Forstwirtschaft für inländische Investitionen in Bauten.

Tabelle 6:
Auszug aus der Berechnungsmethode zu Indikator 3, Ergebnisse für 2018

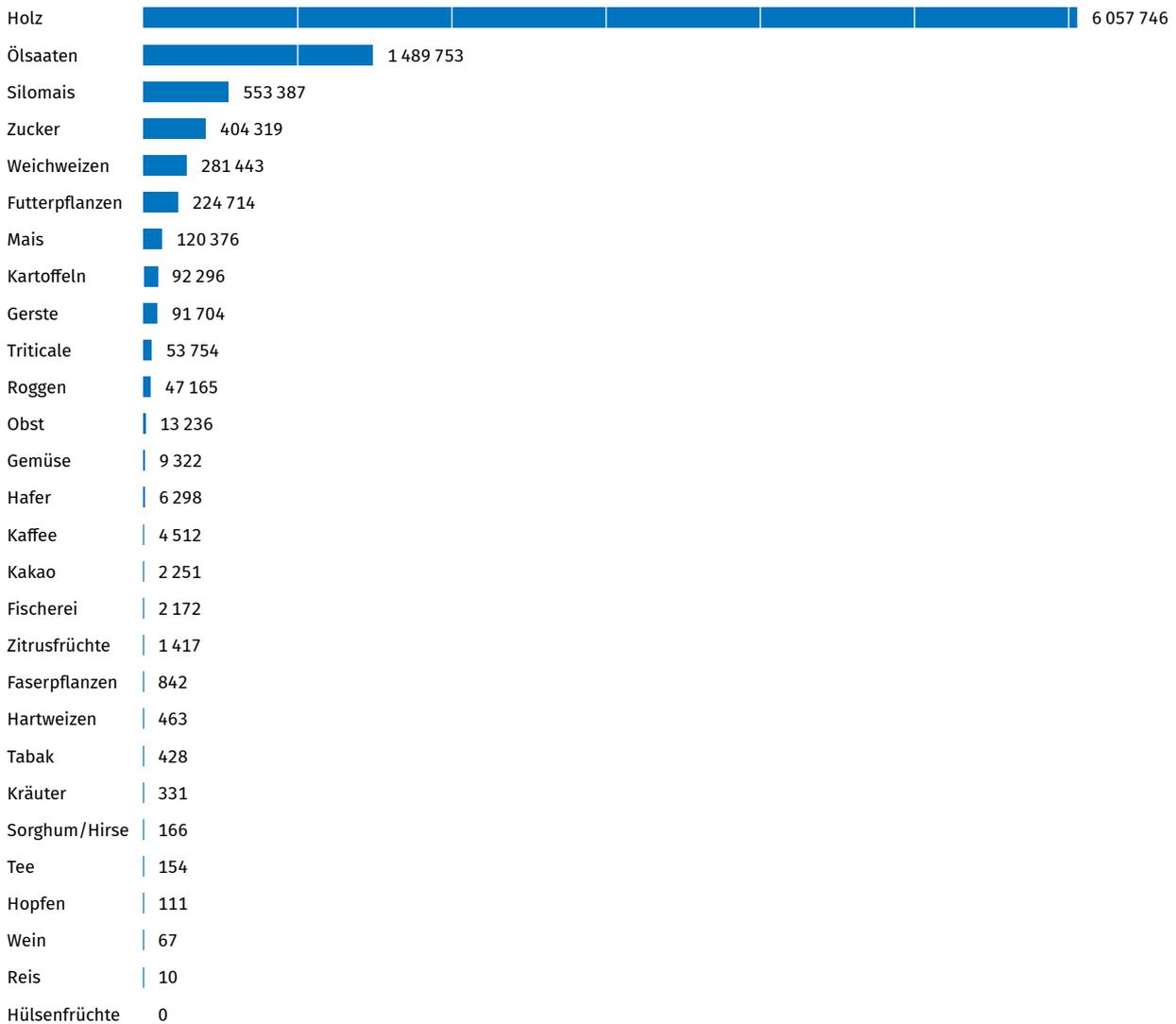
Rohstoff bzw. Rohstoffgruppe	Rohstoffäquivalente	Ertrag	Fläche
	t	t/ha	ha
Hartweizen	463	4,6	101
Weichweizen	281 443	6,7	42 055
Roggen	47 165	4,2	11 205
Gerste	91 704	5,8	15 903
Hafer	6 298	4,1	1 531
Mais	120 376	8,1	14 790
Triticale	53 754	5,4	9 934
Sorghum/Hirse	166	1,4	116
Reis	10	4,6	2
Hülsenfrüchte	0	2,7	0
Kartoffeln	92 296	35,4	2 609
Zucker	404 319	63,3	6 389
Gemüse	9 322	31,3	298
Obst	13 236	17,5	755
Zitrusfrüchte	1 417	15,8	90
Ölsaaten	1 489 753	3,0	501 545
Wein	67	14,0	5
Tabak	428	1,8	234
Kaffee	4 512	1,0	4 624
Tee	154	1,4	113
Kakao	2 251	0,5	4 866
Faserpflanzen	842	3,0	280
Hopfen	111	2,0	54
Kräuter	331	13,2	25
Silomais	553 387	35,3	15 681
Futterpflanzen	224 714	5,0	45 214
Holz	6 057 746	192,2	31 517
Fischerei	2 172	X	0
Indikator 3 = Σ Fläche in ha	X	X	709 938

Quelle: Eigene Berechnung

Tabelle 6 zeigt zudem, dass der Rohstoff Holz mit 6 058 000 t RME mengenmäßig der relevanteste biotische Rohstoff für den Bereich Bauten ist. Ölsaaten (Raps, Sonnenblumen, Leinöl) belegen nach Holz mit 1 490 000 Tonnen RME den zweiten Platz in dieser Kategorie. Pflanzliche Öle und Fette werden zur Herstellung von Lebens- und Futtermitteln, Kraftstoff (Biodiesel), technischen Produkten (z. B. Schmiermittel, Hydrauliköl) sowie für oleochemische Produkte (z. B. Farben, Klebstoffe, Kunststoffe) verwendet (Ovid 2018).

Hinter den Rohstoffen Holz und Ölsaaten belegen Silomais mit 553 000 t RME, Zucker mit 404 000 t RME, Weichweizen mit 281 000 t RME und die Futterpflanzen mit 225 000 t RME die Ränge drei bis sechs für den Bereich der letzten Verwendung „Investitionen in Bauten“. Der direkte und indirekte Einsatz der verschiedenen Rohstoffe für Investitionen in Bauten ist auch in Abbildung 6 noch einmal grafisch dargestellt.

Abbildung 6:
Rohstoffäquivalente für Investitionen in Bauten, Ergebnisse für 2018
 in t RME



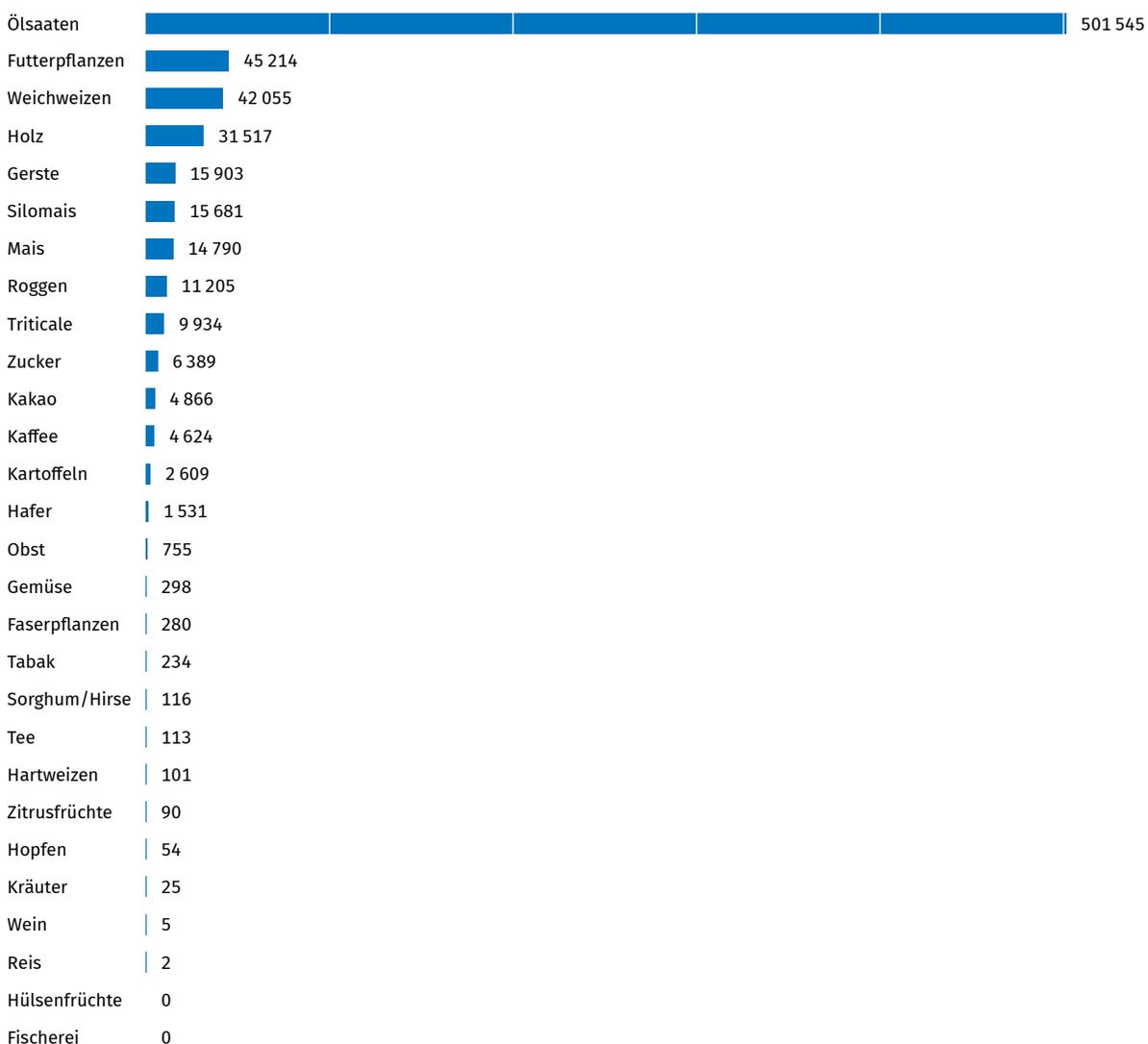
Quelle: Eigene Berechnung, eigene Darstellung

Anhand eines zweiten Balkendiagramms veranschaulicht Abbildung 7 die Verteilung des Flächenbedarfs für den Anbau biotischer Rohstoffe für Investitionen in Bauten. Der Rohstoff Holz belegt dort mit 32 000 Hektar den vierten Platz. Die größten Flächenanteile haben mit 502 000 ha die Ölsaaten, gefolgt von den Futterpflanzen (45 000 ha) sowie Weichweizen (42 000 ha).

Der hohe Flächenanteil der Ölsaaten lässt sich vermutlich mit der Verarbeitung zu Biodiesel oder auch mit der Verwendung der pflanzlichen Öle und Fette in den Bereichen Energie, Technik und Chemie erklären. So kommen sie als Schmiermittel und Hydrauliköl für Maschinen und Fahrzeuge sowie in Wasch- und Reinigungsmitteln, Farben, Lacken, Kleb- und Kunststoffen zum Einsatz. All diese Produkte werden auch im Bauwesen eingesetzt (Ovid 2018). Das Berechnungsmodell erlaubt allerdings keine genaue Verfolgung der Stoffströme oder eine Beurteilung der Verwendungszwecke der einzelnen Rohstoffe.

Während Holz also beim direkten und indirekten Bedarf an biotischen Rohstoffen für Investitionen in Bauten eine dominante Rolle spielt, ist dieser Rohstoff weitaus weniger prägend für die gesamte Anbaufläche, die im In- und Ausland für diese Rohstoffe benötigt wird.

Abbildung 7:
Anbauflächen je Rohstoff für Investitionen in Bauten, Ergebnisse für 2018
in ha



Quelle: Eigene Berechnung, eigene Darstellung

3.4.4 Zusammenfassung mit Abweichungsanalyse

Abschließend lässt sich nach Prüfung der Machbarkeit zu Indikator 3 sagen, dass es dem StBA grundsätzlich möglich ist, die Flächeninanspruchnahme für den Anbau biotischer Rohstoffe für Investitionen in Bauten zu berechnen. Dafür werden die Ergebnisse der 27 biotischen Rohstoffäquivalente für Investitionen in Bauten des StBA mit nationalen und internationalen Ertragskoeffizienten verknüpft.

Erste Berechnungen ergeben eine Flächenbelegung von 710 000 Hektar für den Anbau biotischer Rohstoffe aus Land- und Forstwirtschaft für Investitionen in Bauten. Dabei machen Ölsaaten, Futterpflanzen, Weichweizen und Holz zusammen bereits einen Anteil von 87 % aus.

Eine Zeitreihe könnte zukünftig ab dem Berichtsjahr 2010 geliefert werden, da das StBA ab diesem Berichtsjahr die Rohstoffäquivalente in SAS methodisch und technisch konsistent berechnet. Die Datenbereitstellung der Berichtsjahre 2008 und 2009 wäre ebenfalls möglich, aber aufgrund von geringfügigen methodischen und technischen Änderungen mit Unsicherheiten und einem Mehraufwand verbunden.

Die Idealvorstellung bezüglich der Erfassung der in- und ausländischen Flächeninanspruchnahme sowie der separaten Ausweisung der Flächeninanspruchnahme je Rohstoff oder Rohstoffgruppe konnte zum größten Teil beispielhaft für ein Berichtsjahr umgesetzt werden. Eine Einschränkung besteht hinsichtlich der getrennten Ausweisung der inländischen und ausländischen Flächeninanspruchnahme. Es ist lediglich möglich, die benötigte Fläche in Deutschland und im Ausland zusammen für inländische Investitionen in Bauten zu berechnen. Dies liegt daran, dass schon bei der Berechnung der Rohstoffäquivalente nicht nach dem Herkunftsland der Rohstoffe unterschieden wird. Da die Berechnung von Indikator 3 auf diesen Daten aufbaut, ist eine Differenzierung zwischen Flächen im Inland und im Ausland nicht möglich. Zudem werden aktuell die Rohstoffe im Bereich Land- und Forstwirtschaft und für die Verwendungskategorie Investitionen in Bauten nicht einzeln, sondern nur zusammengefasst veröffentlicht, um Unsicherheiten im Schätzmodell der Rohstoffäquivalente abzufangen. Die detaillierten 27 Ergebnisse zu den biotischen Rohstoffäquivalenten nutzt das StBA bisher nur intern für seine Berechnungen.

Da Holz in größeren Mengen direkt als Baustoff verwendet wird, während andere biotische Rohstoffe in kleineren Mengen oder eher mittelbar bei der Produktion von Vorleistungsgütern für das Bauwesen verwendet werden, ist davon auszugehen, dass das Hauptinteresse von Nutzerinnen und Nutzern am Flächenbedarf für Holz gegenüber dem Flächenbedarf für alle anderen landwirtschaftlichen Rohstoffe liegt. Die Berechnung des Flächenbedarfs für Holz reagiert dabei sehr sensibel auf den gewählten Ertragskoeffizienten. Bei der Berechnung einer Zeitreihe für Indikator 3 sollten daher die Schwankungen der Flächenbedarfe im Zeitverlauf analysiert und kritisch geprüft werden, ob eine differenzierte Darstellung der Flächenbedarfe für die einzelnen landwirtschaftlichen Rohstoffe sinnvoll ist.

4 Fazit

Im Rahmen der vom BBSR beauftragten Machbarkeitsstudie hat das StBA geprüft, ob für drei ausgewählte, bereits durch Vorgängerprojekte der TU Darmstadt und LCEE GmbH definierte Indikatoren zum Thema Ressourceneffizienz im Bauwesen Datenquellen zur Verfügung stehen und ob sich Berechnungsmethoden entwickeln lassen, um konkrete Werte für diese Indikatoren zur Erzeugung erneuerbarer Energien an Gebäuden, zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen bei der Erzeugung von Energie und zur Flächeninanspruchnahme für den Anbau biotischer Rohstoffe für Investitionen in Bauten zu errechnen. Als Anforderungsprofil war dabei festgelegt, dass sich die Ergebnisse zukünftig in die Rechensysteme der UGR integrieren lassen, sie die Anforderungen der Bewertungssystematik für Ressourceneffizienz im Bauwesen erfüllen (u. a. Disaggregierbarkeit der Daten), und dass sie eine jährliche Datenbereitstellung durch das StBA möglichst ab dem Berichtsjahr 2008 erlauben.

Die durchgeführten Projektarbeiten bestanden primär darin, Verknüpfungen zwischen den UGR-Rechensystemen und den Indikatoren zu identifizieren, Datenquellen zu recherchieren, sich mit Datenhaltern intern und extern auszutauschen, Proberechnungen auszuführen, Berechnungsmethoden zu entwickeln und die jeweiligen Arbeitsschritte zu dokumentieren.

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie unterscheiden sich pro Indikator in ihrem Grad der Umsetzbarkeit des oben genannten Anforderungsprofils. Die wichtigsten Schlussfolgerungen werden im Folgenden noch einmal zusammengefasst, auch im Hinblick auf eine zukünftige Datenbereitstellung der Indikatoren durch das StBA.

Erste Ergebnisse zum zuletzt untersuchten Indikator 3 zum Thema Flächenbelegung durch den Anbau biotischer Rohstoffe lassen darauf schließen, dass dieser die oben genannte Prämisse im Vergleich der drei untersuchten Indikatoren zukünftig am besten erfüllen kann. Die Machbarkeitsprüfung zeigt, dass eine Berechnungsmethode für die Flächeninanspruchnahme für den Anbau biotischer Rohstoffe für Investitionen in Bauten entwickelt werden kann. Testweise wurde ein Wert für das Berichtsjahr 2018 berechnet. Darauf aufbauend könnte ein funktionsfähiges Rechenwerk aufgebaut werden, um eine Zeitreihe ab 2008 bis zum aktuellen Rand bereitzustellen. Bei der Berechnung der Zeitreihe wird sich zeigen, ob die Daten eine Disaggregation in verschiedene Rohstoffe oder Rohstoffgruppen erlauben oder ob es sinnvoller ist, sich auf einen Gesamtwert für alle biotischen Rohstoffe zu beschränken. Die Ergebnisse könnten als Ergänzung zur Publikation von Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten durch das StBA veröffentlicht werden. Der entsprechende Zeit- und Ressourcenaufwand wäre noch zu kalkulieren.

Die Machbarkeitsprüfung zu Indikator 1 fällt hingegen nur mit größeren Einschränkungen positiv aus. Mit der AGEE-Stat und der Bundesnetzagentur konnten geeignete Datenquellen zur Erzeugung von erneuerbaren Energien an Gebäuden identifiziert, aber die Ergebnisse bisher noch nicht sinnvoll zu einem Indikator kombiniert werden. Die größten Einschränkungen stellen die limitierte Zeitreihe bei Photovoltaik (2012-2019), die fehlende Abbildung der Stromerzeugung aus Biomasse sowie für alle Energieträger die Disaggregierbarkeit nach Gebäudearten (Wohn- und Nichtwohngebäude) dar. Für den Energieträger Photovoltaik bleibt die zukünftige Datenlage noch unklar. Der durch die Europäische Kommission neu eingeführten Lieferverpflichtung für Daten zur gesamten durch Photovoltaik produzierten Strommenge (inkl. Selbstverbrauch) getrennt nach Sektoren wird Deutschland erst Ende 2026 nachkommen. Auch der angekündigte Forschungsbericht des UBA zu dieser Thematik ist noch nicht veröffentlicht. Allerdings steht eine Veröffentlichung der Ergebnisse kurz bevor (Stand: 31. Januar 2023). Bleibt die Datenverfügbarkeit wie beschrieben lückenhaft, empfiehlt es sich, abzuwägen, ob eine Fokussierung auf einzelne Energieträger und auf Wohngebäude bzw. den Sektor Haushalt der Zielsetzung des Indikatorensets ebenfalls gerecht würde. Es kann dann geprüft werden, ob sich der neu definierte Indikator als Teil der Energiegesamtrechnung oder der Berechnungen zu Privaten Haushalten und Umwelt der UGR veröffentlichen lässt.

Die Machbarkeitsstudie zu Indikator 2 hat gezeigt, dass dieser die zu Beginn der Arbeit definierten Anforderungen ebenfalls nur teilweise erfüllen kann. Konkret heißt das, dass zwar die Abbildung der inländischen Einsatzmengen von verschiedenen Sekundärbrennstoffen von 2008 bis zum aktuellen Rand für die deutsche Volkswirtschaft insgesamt möglich ist. Jedoch konnten die ausländischen Einsatzmengen nicht ermittelt werden. In der Konsequenz war auch eine Modellierung der Mengen, die auf die Verwendungskategorie „Investitionen in Bauten“ entfallen, nicht möglich. Als Datenquelle für Deutschland hat das StBA die Treibhausgas-Inventardaten des UBA als geeignet identifiziert, während für die ausländischen Einsatzmengen die öffentlich zugänglichen internationalen Treibhausgas-Inventardaten und Energiebilanzen nicht ausreichend detailliert sind. Dadurch konnte das Input-Output-Modell der UGR zu Energie und CO₂-Emissionen nicht wie geplant um physische Angaben zu Sekundärbrennstoffen erweitert und eine Berechnungsmethode zur Abbildung des Einsatzes von Sekundärbrennstoffen innerhalb der Wertschöpfungskette des Bauwesens entwickelt werden. Es bestätigte sich jedoch, dass eine Trennung der Verwendungskategorie „Investitionen in Ausrüstungen, Bauten und sonstige Anlagen“ in „Investitionen in Ausrüstungen und sonstige Anlagen“ und „Investitionen in Bauten“ innerhalb des Input-Output-Modells technisch möglich wäre. So könnte, wenn auch die Fokussierung auf Sekundärbrennstoffe ausbliebe, immerhin der gesamte Energieeinsatz für Investitionen in Bauten isoliert berechnet werden.

Losgelöst vom Anspruch, einen UGR-kompatiblen Indikator zu entwickeln, lohnt sich, sofern die Definition des Indikators geändert werden dürfte, die Prüfung einer Veröffentlichung ausschließlich deutscher Einsatzmengen von Sekundärbrennstoffen. Auf Anfrage kann die Energiestatistik Auswertungen auf 4-Steller-Ebene der Energieträgerliste ab dem Berichtsjahr 2012 zur Verfügung stellen. Dies ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn eine 1:1-Beziehung zwischen einem bestimmten Sekundärbrennstoff und einem Wirtschaftszweig im Abschnitt B „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“, C „Verarbeitendes Gewerbe“ und D „Energieversorgung“ besteht, der ein für den Baubereich benötigtes Produkt herstellt. Diese Daten würden dann nur den Energieeinsatz zur Herstellung eines bestimmten Produktes, das als Vorleistung für den Baubereich dient, als Teilaspekt des Sekundärbrennstoffeinsatzes im Baubereich abdecken. Generell gilt es zu beachten, dass die Energiestatistik nur den Sekundärbrennstoffeinsatz der WZ-Abschnitte B, C und D erhebt. Der Abschnitt F „Baugewerbe“ ist nicht in den Daten enthalten.

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wurde entsprechend der Aufgabenstellung der Fokus auf die Erfüllung des anfangs festgelegten Anforderungsprofils gelegt. Dass die Untersuchungen insbesondere für die Indikatoren 1 und 2 nicht im vollen Umfang zum gewünschten Ergebnis gekommen sind, ist letztlich darauf zurückzuführen, dass derzeit keine passenden Datenquellen zur Verfügung stehen. Zukünftige Untersuchungen zu diesen Indikatoren müssten also ergebnisoffener an die Aufgabe herangehen. Das Ergebnis für Indikator 3 zeigt aber auch, dass die Definition der Indikatoren nicht grundsätzlich zu eng gefasst war und eine sinnvolle Erweiterung des Portfolios der UGR um Daten zum Thema Ressourceneffizienz im Bauwesen im Grundsatz möglich ist.

5 Quellenverzeichnis

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB) (2015): Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland, [online] <https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2021/11/vorwort.pdf> [abgerufen im Juli 2022].

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB) (2019): Satellitenbilanz Erneuerbare Energien, [online] <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2020/?wpv-jahresbereich-bilanz=2011-2020> [abgerufen im Februar 2022].

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB) (2020): Bilanz 2020, [online] <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2020/?wpv-jahresbereich-bilanz=2011-2020> [abgerufen im Juli 2022].

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB) (2022): Persönliche Mitteilungen.

Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (2016): Datenquellen und Methodik der AGEE-Stat-Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Stromerzeugung und installierte Leistung, [online] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/2016-11-15_dokumentation_agee-stat-zr_stromerzeugung_leistung_final.pdf [abgerufen im Februar 2022].

Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (2021a): Persönliche Mitteilungen.

Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (2021b): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland; Tabelle 3: Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien 1990 bis 2020, [online] https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html [abgerufen im Februar 2022].

Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (2021c): Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte aus erneuerbaren Energieträgern (dezentrale Erzeugung/Nutzung), Differenzierung nach Endenergiesektoren, Auswertung Gebäude, auf Anfrage zur Verfügung gestellt durch die AGEE-Stat.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2021): Solarenergie, [online] <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Solarenergie-Photovoltaik/solarenergie-photovoltaik.html> [abgerufen im Februar 2022].

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2019): EEG in Zahlen 2019, [online] https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Zahlen-DatenInformationen/EEGinZahlen_2019.xlsx?__blob=publicationFile&v=4 [abgerufen im Februar 2022].

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2021): Marktstammdatenregister – öffentliche Einheitenübersicht, eigene Auswertung, [online] <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheitenuebersicht> [abgerufen im Februar 2022].

European Union (EU) (2018): Eurostat Economy-wide material flow accounts Handbook, 2018 edition, Luxemburg, [online] <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/products-manuals-and-guidelines/-/KS-GQ-18-006> [abgerufen im Januar 2023].

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2022): Datenbank Produktion, [online] <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [abgerufen im Januar 2023].

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) (2021): Wissenschaftliche Analysen zu Ausgewählten Aspekten der Statistik Erneuerbarer Energien und zur Unterstützung der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik, [online] <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/agee-stat.html> [abgerufen im Februar 2022].

Graubner, Carl-Alexander / Katharina Fritz (2015): Wissenschaftliche Unterstützung in Einzelfragen des ressourceneffizienten Bauens, Endbericht, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Darmstadt, unveröffentlicht.

Länderarbeitskreis Energiebilanzen (LAK) (2022): Energiebilanzen, [online] <http://www.lak-energiebilanzen.de/energiebilanzen/> [abgerufen im Juli 2022].

Lechtenböhmer, Stefan, Nanning, Sabine, Hillebrand, Bernhard & Buttermann, Hans-Georg (2006): Einsatz von Sekundärbrennstoffen: Umsetzung des Inventarplanes und nationale unabhängige Überprüfung der Emissionsinventare für Treibhausgase, Teilvorhaben 02, Dessau, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/einsatz-von-sekundaerbrennstoffen> [abgerufen im Juli 2022].

Life Cycle Engineering Experts GmbH (LCEE) (2020): Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ – Indikatoren für eine ressourcenschonende Bauwirtschaft (ResEff2.0), Endbericht, Darmstadt.

Maier, Lucia (2018): Rohstoffe weltweit im Einsatz für Deutschland, in: Wirtschaft und Statistik, Ausgabe 2/2018, S. 23-37, [online] <https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2018/02/rohstoffe-weltweit-022018.html>

Schlag, Dieter (2007): Nutzung von Ersatzbrennstoffen in Baden-Württemberg, in: Müll und Abfall, 11/2007.

Schuh, Marc-Dominic (2018): Flächenbelegung durch Importe pflanzlicher Erzeugnisse, in: Wirtschaft und Statistik, Ausgabe 3/2018, S. 118-126, [online] <https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2018/03/flaechenbelegung-importe-pflanzlicher-erzeugnisse-032018.html>

Statistisches Bundesamt (StBA) (2019): Methode des gesamtwirtschaftlichen Materialkontos, S. 6 ff, [online] https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/Publikationen/Downloads/gesamtwirtschaftliches-materialkonto-fb_5851314189004.pdf?__blob=publicationFile [abgerufen im Januar 2023].

Statistisches Bundesamt (StBA) (2020): Umweltökonomischen Gesamtrechnungen: Methode der Berechnungen zur globalen Umweltinanspruchnahme durch Produktion, Konsum und Importe [online] https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/ueberblick/Publikationen/Downloads/ugr-globale-umweltinanspruchnahme-methode-5851102209004.pdf?__blob=publicationFile [abgerufen im Januar 2023].

Statistisches Bundesamt (StBA) (2021a): Erhebungen über die Stromein- und -auspeisung bei Netzbetrieben, Qualitätsberichte, [online] https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/_inhalt.html#sprg380394 [abgerufen im Februar 2022].

Statistisches Bundesamt (StBA) (2021b): Energieträgerliste für das Berichtsjahr 2021. Auf Anfrage zur Verfügung gestellt durch den Fachbereich Energiestatistik des StBA.

Statistisches Bundesamt (StBA) (2021c): Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten, 2010 bis 2018, [online] <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/Publikationen/Downloads/rohstoffaequivalente-5853101189004.pdf> [abgerufen im Januar 2023].

Statistisches Bundesamt (StBA) (2021d): Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Direkte und indirekte Energieflüsse und CO₂-Emissionen 2008 bis 2017, [online] <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/energiefluesse-emissionen/Publikationen/Downloads/direkte-und-indirekte-energiefluesse-emissionen-pdf-5859006.pdf> [abgerufen im März 2023]

TenneT TSO GmbH (2021): Persönliche Mitteilungen.

Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) (2021): Bewegungsdaten, [online] <https://www.netztransparenz.de/EEG/Jahresabrechnungen> [abgerufen im Februar 2022].

Umweltbundesamt (UBA) (2021): Umgebungswärme und Wärmepumpen, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/umgebungswaerme-waermepumpen#Umwelt> [abgerufen im Februar 2022].

Umweltbundesamt (UBA) (2022): Zentralen System Emissionen (ZSE). Ein jährlicher Auszug wird den UGR durch das Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt.

Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland e. V. Ovid (2018): 10 Fakten: Ölsaaten und ihre Produkte. Berlin, [online] https://www.ovid-verband.de/fileadmin/user_upload/Hintergrundpapiere/2018_10_Fakten_%C3%BCber_die_Welt_der_%C3%96lsaaten.pdf [abgerufen im Januar 2023].

Verein Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ) (2021): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2020. Düsseldorf, [online] <https://www.vdz-online.de/wissensportal/publikationen/umweltdaten-der-deutschen-zementindustrie-2020> [abgerufen im Juli 2022].

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) / Bosch & Partner (2019): Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz. Teilvorhaben II c: Solare Strahlungsenergie – Abschlussbericht, [online] https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi_de/zsv-boschundpartner-vorbereitung-begleitung-eeg.pdf?__blob=publicationFile&v=7 [abgerufen im Februar 2022].