



STUDIE

Fit für 2045: Zielparameter für Nichtwohngebäude im Bestand

Wie viel Energie dürfen Rathäuser, Schulen und Kitas nach einer Sanierung noch verbrauchen?

Impressum

Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin

Tel.: +49 (0)30 66 777-0

Fax: +49 (0)30 66 777-699

E-Mail: info@dena.de

Internet: www.dena.de

Autorinnen und Autoren adelphi:

Dr. Christian Kluge
Saskia Lengning
Juliane Becker
Alina Ulmer
Johanna Anna Hansjürgens
Anton Barckhausen

Autorinnen und Autoren Fraunhofer ISE:

Robert Meyer
Björn Nienborg
Dr. Peter Engelmann

Hauptredaktion dena:

Katharina Gnauck

Redaktion dena:

Dr. Jonathan Flesch
Alexander Lorenz
Cornelia Schuch
Ursel Weißleder

Bildnachweis:

© Hermann Köhler (Titelbild)

Stand:

6/2023

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Bitte zitieren als:

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2023): Zielparame-ter für klimaneutrale Nichtwohngebäude im Bestand



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz**

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der Energiewende.

Abkürzungsverzeichnis

A_{NGF}	Nettogrundfläche
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (jetzt: BMWK)
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
CH₄	Methan
CO₂	Kohlenstoffdioxid
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.
DIBS	Dynamic ISO Building Simulator
difu	Deutsches Institut für Urbanistik
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
EG	Effizienzgebäude-Standard
EnEf	Energieeffizienz
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EPD	Environmental Product Declaration
ESC	Energiespar-Contracting
EU	Europäische Union
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierte Systeme
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GHG	Greenhouse Gas (dt.: Treibhausgas)
g/kWh	Gramm pro Kilowattstunde
GSK	Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045

g-Wert	Gesamtenergiedurchlasswert
GWP	Global Warming Potenzial
H'_T	Transmissionswärmetransferkoeffizient
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
iSFP	individueller Sanierungsfahrplan
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kg_{CO₂-äq}/m²a	Kilogramm CO ₂ -Äquivalente pro Kilogramm und Jahr
KRL	Kommunalrichtlinie
KSG	Klimaschutzgesetz
kWh/m²a	Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr
LCA	Lebenszyklusanalyse
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
N₂O	Distickstoffmonoxid
NA	Nutzungsart
NGF	Nettogrundfläche
NKI	Nationale Klimaschutzinitiative
NWG	Nichtwohngebäude
PFKW	Perfluorierte Kohlenwasserstoffe
PPA	Power Purchase Agreement
PV	Photovoltaik
QNG	Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
RECS	Renewable Energy Certificate System
RW	Raumwärme
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
t_{CO₂-äq}	Tonnen CO ₂ -Äquivalente
TEK	Teilenergiekennwerte

THG	Treibhausgasemissionen
Tsd.	Tausend
TWh	Terawattstunde
TWW	Trinkwarmwasser
UBA	Umweltbundesamt
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
WG	Wohngebäude

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	3
Zusammenfassung	7
1 Klimaneutralität in Nichtwohngebäuden – eine Annäherung	9
1.1 Problemstellung und Hintergrund	9
1.2 Klimaneutralität im Gebäudesektor.....	12
1.3 Herleitung von Zielpfaden und eines Ambitionsniveaus für den Gebäudebetrieb (Raumwärme und Trinkwarmwasser).....	15
2 Zielparameter für Nichtwohngebäude in einem klimaneutralen Deutschland.....	23
2.1 Diskussion geeigneter Zielparameter	23
2.2 Zielparameterbestimmung nach Gebäude-Hauptfunktion.....	26
2.2.1 Methodik zur Herleitung der Zielparameter.....	26
2.2.2 Verwendete Daten.....	28
2.2.3 Ergebnisse	30
2.3 Fallbeispiele für Einzelgebäude.....	35
2.4 Einordnung der Ergebnisse	38
2.5 Empfehlungen für den Umgang mit grauen Emissionen	42
2.6 Anwendung der Zielparameter bei Gebäudepools.....	45
3 Fazit	48
Anhang A.....	50
Anhang B – Weitere relevante Nachhaltigkeitskriterien	64
Anhang C – Gesetzliche Mindestanforderungen für Einzelgebäude.....	66
Abbildungsverzeichnis.....	67
Tabellenverzeichnis.....	68

Zusammenfassung

Die Steigerung der Energieeffizienz und die Versorgung aus erneuerbaren Energien sind wesentliche Maßnahmen der Bundesregierung, um ihre klimapolitischen Ziele zu erreichen. Derzeit fehlt allerdings der Handlungsrahmen, der es der öffentlichen Hand ermöglicht, dieses ambitionierte Ziel, beispielsweise im Rahmen von Gebäudesanierungen, „smart“ zu definieren: spezifisch, messbar, attraktiv, erreichbar und terminiert. Diese Lücke schließt die vorliegende Studie. Sie liefert für die Zielgruppe „Eigentümer öffentlicher Nichtwohngebäude“ messbare, jahresscharfe Zielparameter für CO₂-Emissionen und Energieverbrauch, die ein öffentliches Nichtwohngebäude mit spezifischer Nutzungsform nach einer Sanierung erreichen muss, um im Einklang mit dem Klimaschutzgesetz und einem klimaneutralen Energiesystem in Deutschland im Jahr 2045 zu stehen.

Das Kompetenzzentrum Contracting der Deutschen Energie-Agentur (dena), Initiator dieser Studie, empfiehlt der öffentlichen Hand, bei der energetischen Sanierung ihrer Gebäude auf das Instrument Energiespar-Contracting zurückzugreifen, um von den vielen Vorteilen dieser umfassenden Energiedienstleistung zu profitieren. Das Energiespar-Contracting (ESC) bietet Kommunen bereits seit Jahren eine Möglichkeit, die Umsetzung umfassender Energiesparmaßnahmen erreichbar zu machen. Durch die Verwendung der in dieser Studie definierten Zielparameter in ESC-Projekten besteht neben dem großen Potenzial der Energieeinsparung auch die Chance, einen klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen.

Ergebnisse: Verlässliche Zielparameter für die Gebäudesanierung im Bestand

Regulatorisch fehlen für Eigentümer der öffentlichen Hand bisher verbindliche Zielparameter für den Energieverbrauch des eigenen Gebäudes und dessen Emissionen und somit eine Definition für Klimaneutralität. Diese Studie stellt erstmals solche Zielparameter zur Verfügung. Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Als zentrale Zielparameter werden vorgeschlagen:
 - Flächenspezifische Treibhausgasemissionen für Wärmeanwendungen (Trinkwarmwasser und Raumwärme)
 - Flächenspezifische Treibhausgasemissionen für Nutzerstrom (d. h. Strom für sämtliche Anwendungen außer Heizen und Trinkwarmwasser, wie zum Beispiel Arbeitshilfen [PC, Drucker], Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung)
 - Nutzwärmeverbrauch (Trinkwarmwasser und Raumwärme)
 - Endenergieverbrauch für Nutzerstrom
- Die Zielparameter für die Treibhausgasemissionen aus Wärmeanwendungen (d. h. Trinkwarmwasser und Raumwärme) nehmen im Mittel über alle Nutzungsarten von 28 kg_{CO₂-äq}/m²a stark auf 0,5 kg_{CO₂-äq}/m²a ab und dürfen somit 2045 ca. nur noch knapp 2 Prozent des Niveaus von 2020 erreichen. **Der Vergleich mit diversen Werten aus der Literatur zeigt, dass diese Zielparameter zur Reduktion der Treibhausgasemissionen aus Wärme konsistent sind mit anderen Quellen.**
- **Die Treibhausgas-Zielparameter für Nutzerstrom sind dagegen aufgrund der starken Nutzungsabhängigkeit mit Unsicherheiten behaftet, wie ein Vergleich mit mehreren Quellen zeigt.** Die hier berechneten 35 kg_{CO₂-äq}/m²a im flächengewichteten Mittel in 2020 sollten bis 2045 auf 0,2 kg_{CO₂-äq}

m^2a reduziert werden. **Vor der Anwendung der Zielparameter für Nutzerstrom sollte jedoch ein Abgleich zwischen den Startwerten, d. h. den hier definierten Startwerten im Jahr 2020 und realen Messwerten der Gebäude, erfolgen**, um sicherzustellen, dass der Einfluss der realen Nutzung nicht zu stark von den für die Berechnungen getroffenen Annahmen abweicht. Ist dies der Fall, d. h. **wenn die Abweichung im Startjahr signifikant ist, sollten individuelle Zielparameter berechnet werden**, indem die individuellen Startwerte mit den hier unterstellten prozentualen Minderungen (-26 % bis 2030 und -34 % bis 2045 gegenüber 2020) verrechnet werden. Eine Kumulierung der Treibhausgas-Zielparameter für Nutzerstrom und Wärme ist theoretisch aufgrund der gleichen Art von Zielparametern und somit der gleichen Einheit möglich.

- Die Reduktionsziele für den Nutzwärmeverbrauch (Raumwärme und Trinkwarmwasser) liegen mit einer Abnahme des flächengewichteten Mittels über alle Nichtwohnbestandsgebäude von 98,0 kWh/m²a in 2020 auf 43,1 kWh/m²a in 2045 bei -56 %. Diese Werte umfassen den gesamten Nichtwohngebäudebestand, d. h. sanierte und unsanierte Gebäude. Verbleibende Verbräuche müssen bis 2045 vorrangig durch Integration von EE dekarbonisiert werden. Im Vergleich mit den durchschnittlichen Reduktionswerten des Energieverbrauchs für den gesamten Gebäudebestand, also Wohngebäude (WG) und Nichtwohngebäude (NWG), aus Szenarienrechnungen wie der dena-Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“ und der Literatur können die Werte als sehr ambitioniert angesehen werden. Eine fortlaufende Validierung dieser Werte anhand weiterer Berechnungen erscheint folglich angemessen.
- **Die Untersuchung von drei Fallbeispielen legt nahe, dass selbst durch eine Sanierung auf Effizienzgebäude-55-Niveau diese Werte kaum erreicht werden können und noch höhere Ambitionsniveaus bei der Sanierung anzustreben sind.**
- Die Anforderungen zur Reduktion des Endenergieverbrauchs von Nutzerstrom (d. h. Strom für sämtliche Anwendungen außer Heizen und Trinkwarmwasser, wie z.B. Arbeitshilfen (PC, Drucker), Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung) liegen mit einer Reduktion des flächengewichteten Mittels über alle Nichtwohnbestandsgebäude von 75 kWh/m²a in 2020 auf 49 kWh/m²a in 2045 bei -34 % über den gesamten betrachteten Zeitraum.
- Insgesamt zeigt sich, dass die Zielparameter sehr sensibel auf Änderungen in den Annahmen reagieren. Wenn Restemissionen langfristig gegenüber den Annahmen aus dem unterstellten Referenzszenario höher bzw. niedriger liegen, ergeben sich Zielparameter für die Nutzenergieverbräuche (d. h. Nutzerstrom und Nutzwärmeverbrauch), die strenger bzw. lockerer sind als die hier ermittelten Anforderungen. **Aus diesem Grund sollten regelmäßig, d. h. mindestens in den fünfjährigen Abständen der Stützjahre, und nach der Veröffentlichung der bis dahin jeweils real aufgetretenen Emissionsfaktoren eine Zwischenevaluation und eine Überarbeitung der Zielparameter erfolgen.**
- **Gruppen von Gebäuden (sog. Gebäudepools) erreichen das Sanierungsziel gemeinsam, wenn sie mit ihren flächengewichteten Verbrauchswerten die flächengewichteten Zielparameter unterschreiten.** Dies erlaubt es, nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten die Übererfüllung des einen Gebäudes zur Kompensation für die Untererfüllung des anderen Gebäudes heranzuziehen.

1 Klimaneutralität in Nichtwohngebäuden – eine Annäherung

1.1 Problemstellung und Hintergrund

Deutschland hat sich mit dem novellierten Klimaschutzgesetz¹ von August 2021 das Ziel gesetzt, bis 2045 netto-treibhausgasneutral zu sein. Allerdings verzeichnen die Emissionen im **Gebäudesektor** von 2010 bis 2020 keine nennenswerten Reduktionen (ERK 2022, S. 88). Die Studie „Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045“ (GSK) schätzt, dass die jährlichen Ziele des Klimaschutzgesetzes in diesem Sektor nicht vor 2030 erreicht werden können (BMWK 2022). Durch die Trägheit des Gebäudesektors wirken politische Maßnahmen (Steigerung der Energieeffizienz und Energieträgerwechsel) mit einer zeitlichen Verzögerung.

Um welche Gebäude geht es?

Im Gebäudesektor wird generell zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden unterschieden. **Nichtwohngebäude** sind Gebäude, bei denen mehr als die Hälfte ihrer Nutzfläche Nichtwohnzwecken gewidmet ist. In Deutschland umfassen sie rund 21 Mio. Gebäude. Für etwa 2 Mio. dieser Gebäude ist das Gebäudeenergiegesetz (GEG) relevant² (IWU et al. 2022).

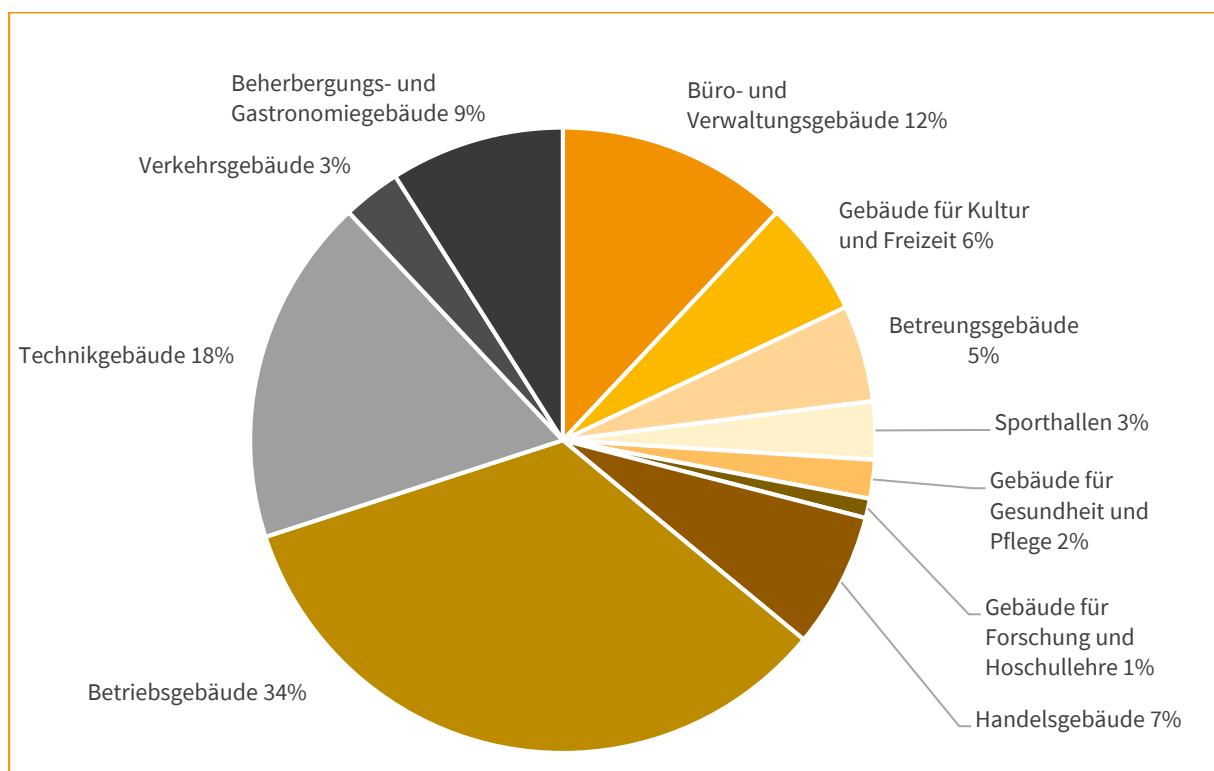


Abbildung 1-1 Nutzungsarten von Nichtwohngebäuden nach (Hörner 2021)

¹ Bundesministerium der Justiz: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/>

² Nichtwohngebäude, die den Vorschriften des § 2 Abs. 1 GEG unterliegen

Öffentliche Gebäude befinden sich in der Hand von Kommunen, von Ländern oder des Bundes. Genaue Zahlen zu deren jeweiligen Anteilen an den Nutzungsarten existieren nicht zentral. Allerdings gibt es Versuche, innerhalb der Systematik der verschiedenen Nutzungsarten die Anteile der öffentlichen Gebäude zuzuordnen (BMVBS 2013; Kretzschmar et al. 2019). Die Anteile der unterschiedlichen Nutzungsarten von Nichtwohngebäuden in Deutschland sind in Abbildung 1-1 dargestellt.

Kommunen kommt innerhalb der öffentlichen Hand beim Erreichen der nationalen Klimaziele eine Sonderrolle zu. Einerseits wird ein großer Teil der klimarelevanten Emissionen in Städten, Gemeinden und Kreisen erzeugt. Andererseits hat die Kommune mit ihren vielfältigen Funktionen als Vorbild, Planungsträger, Eigentümer, Versorger und größter öffentlicher Auftraggeber weitreichende Handlungsmöglichkeiten, um den Klimaschutz vor Ort voranzubringen (difu 2018). Besonders wichtig ist die Motivation lokaler Akteurinnen und Akteure zu eigenen Klimaschutzaktivitäten, weshalb Kommunen als gutes Beispiel mit hohen Ambitionen vorangehen sollten. Dies gilt speziell für den öffentlichen Gebäudebestand, der fast 35 % der Treibhausgasemissionen im Nichtwohngebäudebereich ausmacht (BMVBS 2013).

Welcher Handlungsrahmen ist erforderlich?

Eigentümer, ob privat oder öffentlich, müssen das politische Ziel „Klimaneutrales Gebäude“ zu ihrem eigenen, persönlichen Ziel machen. Aufgabe der Politik ist es, einen Handlungsrahmen zu schaffen, der es ihnen ermöglicht, dieses Ziel zu erreichen. Aus der Organisationspraxis ist bekannt, dass Zielsetzungen „smart“ sein müssen, damit sie erreicht werden – also spezifisch, messbar, attraktiv, realistisch und terminiert. Daher muss ein Handlungsrahmen gebildet werden, der folgende Voraussetzungen erfüllt:

- a) Die politische Zielvorgabe muss für die Handlungsebene der Eigentümer übersetzt werden, sodass sie spezifisch, messbar und terminiert ist. Nur die Bezeichnung „klimaneutral“ reicht dafür nicht aus.
- b) Das Ziel muss in der Wahrnehmung der Eigentümer attraktiv und/oder verbindlich sein. Hierfür kommen positive und negative Anreize in Frage, also Informationsoffensiven mit ideellen und wirtschaftlichen Aspekten von Klima- und Umweltschutz, aber auch Förderung oder Ordnungsrecht.
- c) Rahmenbedingungen müssen verlässlich und klar sein. Nur so können die Maßnahmen für die Zielvorgabe aus a) überhaupt verlässlich und planbar ermittelt werden. Dies ist die erste Voraussetzung für die Realisierbarkeit.
- d) Eigentümer müssen befähigt werden: einerseits durch organisatorische, technische und juristische Beratung und andererseits durch Dienstleister für die Umsetzung. Dies ist die zweite Voraussetzung für die Realisierbarkeit.
- e) Die erforderlichen Maßnahmen, um Punkt a) zu erreichen, müssen auch finanzierbar sein. Dies ist die dritte Voraussetzung für die Realisierbarkeit.

Im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wurde politisch ein Rahmen geschaffen, der z.B. für die Einspeisung von Wind- und Photovoltaik-Strom jeden dieser Punkte erfüllt hat. Photovoltaik (PV) ist infolge dieser Politik heute die Erzeugungstechnologie mit den weltweit geringsten Stromgestehungskosten und in der Energiekrise ein wichtiges Standbein in der treibhausgasneutralen Versorgung.

In der Wärmewende ist bislang kein einziger dieser Punkte ausreichend erfüllt:

- Welcher Gebäude-Effizienzstandard für das Erreichen der Klimaschutzziele nach einer Sanierung konkret und bis wann erforderlich ist, ist weitgehend unbekannt und abseits der Mindeststandards ist seine Umsetzung zudem freiwillig.

- Zur Finanzierung von Klimaschutzmaßnahmen in öffentlichen Nichtwohngebäuden existieren zwar verschiedene Förderprogramme, sie sind aber auch in Verbindung mit dem bestehenden Ordnungsrecht nicht ausreichend, um Energieeffizienz relevant, geschweige denn attraktiv für Kommunen zu machen. Beispiele sind der Europäische Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), die Nationale Klimaschutzinitiative (NKI) mit der Kommunalrichtlinie (KRL), die Städtebauförderung des Bundes und der Länder sowie die jeweiligen Programme der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)³ (dena 2018).
- Ohne kommunale Wärmeplanung fehlt Eigentümern eine verlässliche Entscheidungsgrundlage für die Wahl einer technischen Wärmeversorgungslösung.
- Zwar besteht ein großer Markt für Informationsangebote und Energieberatung. Da aber mangels verbindlicher, spezifischer Zielparame-ter für eine Sanierung einerseits nicht klar ist, wann eigentlich „genug“ getan ist und weil andererseits die umfassenden Maßnahmen hohe Investitionen erfordern, bleiben die Planungen in den Schubladen liegen – sie sind nicht attraktiv.

Was kann eine Lösung sein?

Als Finanzierungsmöglichkeit sowie als Planungs- und Umsetzungsinstrument bietet z. B. das Energiespar-Contracting eine Energiedienstleistung mit individuellen Lösungskonzepten an, um die Energieeffizienz von Gebäuden zu steigern. Beim **Energiespar-Contracting**⁴ (ESC) werden individuell auf eine Liegenschaft, ein Gebäude oder einen Gebäudepool zugeschnittene Effizienzmaßnahmen durch einen Energiedienstleister, den Contractor, geplant, finanziert und umgesetzt (dena 2017). Dabei steht bisher die Senkung des Energieverbrauchs und der Energiekosten durch Effizienzmaßnahmen in der technischen Gebäudeaus-rüstung, beispielsweise die Optimierung der Energieverteilung und -nutzung, im Vordergrund der Dienstlei-stung. Beim **ESC plus**⁵ werden zudem Sanierungsmaßnahmen realisiert. Durch die deutlich längeren Zeit-räume für die Amortisation der Kosten von baulichen Sanierungsmaßnahmen ist beim ESC plus zusätzlich ein Baukostenzuschuss der Auftraggeber erforderlich. Aktuell sind die Maßnahmen im Rahmen eines klassi-schen ESC nicht umfassend genug, um die von der Bundesregierung angestrebte Klimaneutralität zu er-reichen.

Fazit

Zunächst muss ein verbindlicher Handlungsrahmen spezifische, messbare und terminierte Zielparame-ter für die Sanierung eines Gebäudes bieten. Für die öffentliche Hand werden diese im Folgenden zu Energie-verbrauch und Treibhausgasemissionen öffentlicher Nichtwohngebäude hergeleitet. Hierfür ist ein aus-balanciertes Ambitionsniveau zu definieren und es sind Bilanzgrenzen festzulegen. Die Berechnung eines Ambitionsniveaus und der Zielparame-ter erfolgt für den gesamten Bestand der Nichtwohngebäude (alle Nutzungsarten).

³ <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Kommunen/>

⁴ <https://www.kompetenzzentrum-contracting.de/contracting/contracting-modelle/energiespar-contracting/>

⁵ <https://www.kompetenzzentrum-contracting.de/contracting/contracting-modelle/energiespar-contracting/energiespar-contracting-plus/>

1.2 Klimaneutralität im Gebäudesektor

Unterschiede in den Definitionen des Begriffs der Klimaneutralität

Zur Definition des Begriffs der **Klimaneutralität** gibt es verschiedene Ansätze. In der Regel wird hier von einem verbleibenden und einzuhaltenden Budget an Treibhausgasemissionen ausgegangen, das sich an der Einhaltung planetarer Grenzen orientiert und für weltweite Emissionen definiert ist (BBSR, 2021). Jedoch muss ein solches Budget auf die unterschiedlichen Sektoren oder Handlungsfelder verteilt werden, was für den Bau- und Gebäudebereich aus den planetaren Grenzen bisher nicht definiert ist. Das Umweltbundesamt versteht unter einem klimaneutralen Gebäudebestand lediglich „einen [...] sehr geringen Energiebedarf“, was aktuell nur darauf spezifiziert ist, dass der Primärenergiebedarf bis 2050 um 80 % gemindert werden muss (UBA 2016). Das Deutsche Institut für Urbanistik (difu) beschreibt die Erreichung eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands, wenn der „Energieeinsatz verringert (Energieeinsparung), die verbleibende Energie möglichst effizient eingesetzt (Energieeffizienz) und der verbleibende Energiebedarf dekarbonisiert (Erneuerbare Energien) wird“ (Michalski et al. 2021). Neben dem Begriff klimaneutral werden auch andere Begriffe häufig angeführt – *klimafreundlich*, *klimaverträglich* oder *klimapositiv* –, die jedoch ausschließlich umgangssprachlich genutzt werden sollten, da für sie keine anerkannten Rechen- oder Nachweisregeln existieren (BBSR 2021).

Das Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) verweist in einer Studie zur Neukonzeption des GEG auf eine mögliche Unterscheidung der Begriffe klimaneutral und **treibhausgasneutral**, bleibt aber aufgrund der Geläufigkeit weiterhin bei dem Begriff der Klimaneutralität (ifeu et al. 2021). Das Klimaschutzgesetz (KSG § 2) beschreibt den Begriff treibhausgasneutral als „Gleichgewicht zwischen den anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und dem Abbau solcher Gase durch Senken“ und verweist damit auf einen notwendigen Bilanzansatz. Dieser Ansatz wird auch von anderen Studien aufgegriffen (Rat für Nachhaltige Entwicklung und Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften 2021), wobei diese zum Teil das Ziel der Erreichung von Null-Emissionen angeben (Kienzlen 2021). Treibhausgasneutral kann also einerseits als absolute Treibhausgasneutralität, also keine weitere Verursachung von Treibhausgasemissionen, und andererseits als eine ausgeglichene Bilanz (netto) verstanden werden (BBSR 2021).

Exkurs: Weitere Parameter für eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung

Für das Ziel der Klimaneutralität sollten neben den Treibhausgasemissionen auch weitere Einflussgrößen betrachtet werden, die auf das komplexe Klimasystem einwirken. So sind zum einen verschiedene relevante Nachhaltigkeitskriterien aus den sogenannten „Planetaren Grenzen“ relevant, da diese sich gegenseitig und damit auch die Klimastabilität beeinflussen (IPCC 2018). Zum anderen spielen verschiedene Aspekte eine Rolle, die in anderen Sektoren eine Defossilisierung unterstützen oder generell Vorteile für eine zukünftige (Stadt-)Entwicklung bieten. Eine Auflistung von aus der Literatur vorgeschlagenen Parametern inklusive möglicher Richtwerte befindet sich in Anhang B. Es ist zu empfehlen, diese Parameter für eine umfassende und nachhaltige Sanierung zu berücksichtigen.

Bilanzgrenzen eines (netto-) treibhausgasneutralen Gebäudebestands

Um den Begriff Klimaneutralität im Gebäudebereich besser eingrenzen zu können, wird in diesem Kontext die Nutzung des Begriffs **(netto-) treibhausgasneutral**⁶ angeregt. Laut der Definition des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) enthält dieser Begriff nicht nur Bezüge zur Messgröße, nämlich zu allen klimarelevanten Treibhausgasen (THG), sondern auch zum Ansatz einer Bilanz („netto“) (Lützkendorf und Frischknecht 2020). Dieser Definition folgend ist es notwendig, die **Bilanzgrenzen**⁷, also die zu erfassenden Emissionen für die Bilanzierung eines Gebäudes, zu differenzieren. Hier kann wie folgt unterschieden werden:

- (netto-) treibhausgasneutral im Betrieb (hauptsächlich GEG-relevante Emissionen)⁸
- (netto-) treibhausgasneutral in Betrieb und Nutzung (nutzungsabhängige Emissionen)⁹
- (netto-) treibhausgasneutral im Lebenszyklus (Emissionen von der Errichtungs- bis zur Beseitigungsphase eines Gebäudes)

Für ein einheitliches Berechnungs- und Nachweisverfahren müssen diese Bilanzgrenzen beschrieben werden. Ein mögliches Berechnungsverfahren ist das Lebenszyklusmodell (DIN 15643). Das Modell basiert auf vier Phasen eines Gebäudemodells nach DIN 276 (Herstellung, Errichtung, Nutzung, Entsorgung). In der Nutzungsphase werden Emissionen resultierend aus dem Betrieb (Berücksichtigung gemäß GEG und nicht regulierten Teilen) und der Nutzung (Nutzerstrom) erfasst, also die gebäudebezogenen Emissionen. Darüber hinaus werden Emissionen u.a. aus der Herstellung, Errichtung und Entsorgung kategorisiert und erfasst.

Möglichkeiten der Zuordnung von Emissionen im Gebäudesektor

Im Klimaschutzgesetz werden Emissionen nach dem Quellprinzip zugeordnet, d.h. nur Treibhausgasemissionen, die direkt am Gebäude emittiert werden, werden der Bilanz zugeordnet. Damit werden jedoch Emissionen aus anderen Bilanzräumen wie dem Energiesektor (Emissionen aus der Energiebereitstellung für Gebäude) oder dem Industriesektor (Emissionen aus der Herstellung von Gebäudeteilen) vernachlässigt. Eine andere Möglichkeit der Zuordnung beschreibt das Greenhouse Gas (GHG)-Protocol (World Business Council for Sustainable Development und World Resources Institute 2004). Darin wird zwischen Scope 1 (*direkte Emissionen*), Scope 2 (*indirekte Emissionen aus der Energiebereitstellung*) und Scope 3 (*Emissionen aus vor- und nachgelagerten Tätigkeiten sowie graue Emissionen*) unterschieden. Eine Vielzahl der Scope-3-Emissionen sind für den Gebäudesektor nicht relevant, jedoch können einzelne dieser Emissionsquellen abhängig von der Nutzungsart eines Gebäudes relevant sein: Im Leitfaden „Klimaneutrale Kommunalverwaltung Baden-Württemberg“ werden beispielsweise spezifische Bilanzgrenzen beschrieben, etwa der kommunale Fuhrpark in Scope 1 oder Veranstaltungen, Dienstreisen und Wege der Beschäftigten in Scope 3 (ifeu 2022). Vor allem für die Bilanzierung von Nichtwohngebäuden kann dies eine sinnvolle zusätzliche Eingrenzung sein, verkompliziert aber die Bilanzierung für den gesamten Nichtwohngebäudebestand und kann daher als zusätzliche

⁶ Während brutto-positive Emissionen alle in die Atmosphäre gelangenden Treibhausgase und brutto-negative Emissionen alle aus der Atmosphäre entzogenen Treibhausgase beschreiben, sind Netto-Emissionen die Bilanz oder Differenz aus beiden. So sind Netto-Emissionen positiv, wenn weniger Treibhausgase entfernt werden können, als in die Atmosphäre gelangen, und negativ, falls dies umgekehrt ist. Leopoldina 2022.

⁷ Die Begriffe Bilanzgrenzen und Systemgrenzen werden häufig willkürlich benutzt, um die Bereiche, aus denen Emissionen einer Treibhausgas-Bilanz zugeordnet werden, einzugrenzen. In manchen Studien werden beide Begriffe separat definiert. Für diese Studie verwenden wir ausschließlich den Begriff Bilanzgrenzen für die berücksichtigten Emissionen innerhalb einer Bilanz.

⁸ Der Betrieb eines Gebäudes umfasst die Emissionen, die unabhängig von der Nutzungsart aufkommen und die bei der Grundversorgung entstehen, z.B. Raumwärme, Beleuchtung und Aufzüge. Die energie- bzw. emissionsbezogenen Werte umfassen die im GEG aufgeführten sowie weitere Größen (Aufzüge und zentrale Dienste).

⁹ Zur Nutzung eines Gebäudes zählen die spezifischen Funktionen, die je nach Nutzung und Betreiber stark variieren, vor allem der Nutzerstrom.

Anregung gesehen werden. Für die Berechnung eines Ambitionsniveaus im Nichtwohngebäudesektor müssen aus diesen verschiedenen Modellen spezifische Bilanzgrenzen formuliert werden (siehe Kapitel 1.3).

Wie graue Emissionen und Kompensationen die Treibhausgasneutralität beeinflussen

Vor allem im Gebäudesektor sind **graue Emissionen** (Scope 3) relevant, da sie laut Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung mit 25,4 % einen hohen Anteil der Lebenszyklusemissionen ausmachen. Graue Emissionen sind die Emissionen, die durch die Herstellung oder Entsorgung der verwendeten Baumaterialien (Michalski et al. 2021) bzw. aus dem über den gesamten Lebenszyklus eingesetzten Energieaufwand der Materialien (graue Energie) entstehen. Im GEG werden sie bislang nicht berücksichtigt und in der Berechnung von Szenarien zur Erreichung der Klimaneutralität des Gebäudesektors aufgrund des zugrunde liegenden Quellprinzips häufig in den Industriesektor verschoben (BMWK 2022). Eine Möglichkeit der Bilanzierung stellt das bereits angeführte Lebenszyklusmodell dar. Basierend auf diesem Modell existieren Bewertungssysteme zur Ausweisung der Nachhaltigkeit von Gebäuden, z.B. das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)¹⁰ vorrangig für öffentliche Gebäude (nutzungsspezifisch) oder das Deutsche Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen (DGNB)¹¹. In diesen Zertifizierungssystemen für nachhaltiges Bauen stellt die Lebenszyklusbilanzierung nur einen Teil der Kriterien dar, die von den Gebäuden für eine Zertifizierung erfüllt werden müssen. Graue Emissionen werden in diesen Systemen also erfasst, jedoch gehen die Voraussetzungen für eine Zertifizierung weit über graue Emissionen hinaus (mehr dazu in Kapitel 2.5). Für die Berechnung eines Ambitionsniveaus im Nichtwohngebäudesektor ist die Quantifizierung der grauen Emissionen de facto nicht möglich, da Emissionen anderen Sektoren zugeordnet werden und zum großen Teil im (nicht bilanzierten) Ausland liegen.

Kompensation von Emissionen

Das Erreichen vollständiger Treibhausgasneutralität im Gebäudebereich ist ohne **Kompensation** von Emissionen nicht möglich, da es Bereiche gibt, in denen Treibhausgasemissionen unvermeidbar sind (Lützkendorf 2021; BBSR 2021; ifeu et al. 2021; Kienzlen 2021; UBA 2020, 2016; Climate Active 2020; ifeu 2022). Bei einer Bilanzierung von Emissionen für Gebäude gibt es generell zwei Möglichkeiten der Kompensation: eine technische und eine ökonomische Kompensation (BBSR 2021). Die technische Kompensation beschreibt „Negativemissionen“¹², indem CO₂-Emissionen technisch (oder biologisch) aus der Atmosphäre entnommen und gespeichert werden. Diese technologischen Möglichkeiten sind jedoch mit Unsicherheiten hinsichtlich ihrer Potenziale und Risiken verbunden sowie aus wirtschaftlichen, politischen und ethischen Gründen kritisch zu betrachten (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2021), auch weil kein verbindlicher Rechtsrahmen gegeben ist (Meyer-Ohlendorf und Spasova 2022). Außerdem dürfen sie nicht dazu dienen, das Emissions-Budget zu erhöhen. Die ökonomische Kompensation umfasst den Ausgleich der übrigen Emissionen durch den Erwerb von Emissionsrechten oder -zertifikaten, was häufig als Maßnahme zur Erreichung von Klimaneutralität ausgeschlossen wird. Die EU plant die Einführung eines Klassifizierungssystems¹³ für CO₂-Speicher, für die Zertifikate ausgestellt und Nachweise zu Nachhaltigkeitskriterien sowie einem Manage-

¹⁰ <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/>

¹¹ <https://www.dgnb.de/>

¹² Der Weltklimarat (IPCC) definiert negative Emissionen als gezielte Entfernung von Treibhausgasen aus der Atmosphäre durch menschliche Aktivitäten, das heißt eine Entnahme, die zusätzlich zu der Entnahme durch natürliche Kohlenstoff-Kreislaufprozesse stattfindet.

¹³ <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-carbon-removal-certification>

mentplan zu erbringen sind. Beide Kompensationsverfahren (technisch und ökonomisch) können zusammenfassend auf kommunaler Ebene kaum Anwendung finden – die Vermeidung von Emissionen steht für Kommunen im Vordergrund.

Unter Kompensation lässt sich aber auch die **Anrechnung von selbst produzierten erneuerbaren Energien** in einer Gebäudebilanz verstehen. Auch wenn sie nicht zu den zuvor beschriebenen „Negativemissionen“ führen, reduzieren sie zumindest die Emissionen. Quartierdienliche und den Gebäudepools zuzuordnende erneuerbare Energien sollten bei einer Sanierung mit dem Ziel der Emissionsminderung berücksichtigt werden. Es ist jedoch sinnvoll, nur den am Gebäude selbst produzierten PV-Strom in der Bilanz zu berücksichtigen. Der Verkauf von überschüssigem PV-Strom (insbesondere in der Jahresbilanz) als Kompensationsmaßnahme verzerrt die Bilanz und sollte nicht berücksichtigt werden. Die Verwendung von Power Purchase Agreements (PPA)¹⁴ und Renewable Energy Certificates (RECS)¹⁵ sind ebenfalls aufgrund der eingeschränkten Zuordnung auszuschließen.

Fazit

Für das Ziel eines treibhausgasneutralen Gebäudebestands muss ein Ambitionsniveau abgesteckt werden. Dies sollte die zuvor diskutierten Bilanzgrenzen umfassen und schlussendlich ein **Zieljahr** zur Erreichung der Netto-Treibhausgasneutralität vorgeben. Als untere Grenze muss das Jahr 2045 gelten, das im Klimaschutzgesetz (KSG § 3) festgelegt wurde. Einige Studien schlagen vor, dass das **Ambitionsniveau besonders im öffentlichen Bereich aufgrund seiner Vorbildfunktion höher angesetzt werden sollte** (ifeu 2022; Kienzlen 2021; UBA 2020). Beispielsweise hat sich Baden-Württemberg das Ziel gesetzt, bis 2040 eine klimaneutrale Kommunalverwaltung zu organisieren (ifeu 2022). Häufig werden diesen Zielen keine Emissions-Budgets zugrunde gelegt und sie stellen damit bisher primär politische Ziele dar.

1.3 Herleitung von Zielpfaden und eines Ambitionsniveaus für den Gebäudebetrieb (Raumwärme und Trinkwarmwasser)

Die Vorbildrolle der öffentlichen Hand soll sich in der Übernahme von Verantwortung für die verursachten Emissionen zeigen. Daher wird im Folgenden ein Minderungspfad für Treibhausgasemissionen angelehnt an das Verursacherprinzip hergeleitet, der möglichst spezifisch für öffentliche Nichtwohngebäude anwendbar ist. Im Folgenden werden dafür zwei verschiedene Vorgehensweisen vorgestellt: Die erste Möglichkeit besteht darin, Zielpfade aus den Emissionen des Gewerbe-, Handels- und Dienstleistungs- (GHD) sowie des Energiesektors basierend auf den Vorgaben des Klimaschutzgesetzes bis 2045 zu berechnen, um eine Annäherung an Emissionsvorgaben für den Nichtwohngebäudesektor zu erhalten. Die zweite Option ist, ein nationales Treibhausgas-Budget für den Gebäudesektor basierend auf dem Ziel des Pariser Klimaabkommens herzuleiten und eine Annäherung eines notwendigen Zieljahres der Klimaneutralität zu erhalten.

¹⁴ PPA sind langfristige Stromkaufvereinbarungen zwischen dem Stromproduzenten und den Stromabnehmern, in denen alle Konditionen, z.B. die ausschließliche Lieferung von erneuerbarem Strom, geregelt werden.

¹⁵ Das REC-Zertifizierungssystem dient dem Herkunftsnachweis für Strom aus erneuerbaren Energien.

Exkurs: Quell- und Verursacherprinzip

Für ein besseres Verständnis der nachfolgenden Herleitung ist es notwendig, vorher zwei wichtige Bilanzierungsansätze vorzustellen. Das **Quellprinzip** beschreibt die Zurechnung von Emissionen an dem Ort bzw. in dem Sektor, wo die Emissionen physisch emittiert werden. Beispielsweise basiert das Klimaschutzgesetz auf diesem Prinzip. Problematisch ist hier, dass der Verwendungszweck nicht berücksichtigt wird und damit die Abhängigkeit einzelner Sektoren untereinander unbeachtet bleibt. Dem gegenüber steht das **Verursacherprinzip**, das die Emissionen dem letztendlichen Verbraucher von Energie oder anderen Produkten zuordnet. Es bildet die Grundlage für die Umweltgesetzgebung in der EU. Dabei werden die Anstrengungen oft ausschließlich auf die Endkundschaft verlagert, wodurch ebenfalls die Verstrickung von Sektoren nicht berücksichtigt wird. Eine doppelte Bilanzierung kann deswegen hilfreich sein, um die Ergebnisse richtig einordnen zu können.

Bestimmung der relevanten THG-Emissionen für NWG im Startjahr 2020

Um die Ist-Emissionen im Startjahr (2020) zu beschreiben, müssen die relevanten Anteile der Emissionen erfasst werden. Dafür erfolgte eine Annäherung an das Verursacherprinzip, indem eine Kombination aus den Emissionen aus dem Gebäudesektor und dem energiewirtschaftlichen Sektor gewählt wurde. Die Emissionen aus dem Startjahr gelten für jeweils beide Herleitungsansätze zur Zielpfadberechnung (nach Klimaschutzgesetz und nach Pariser Klimaschutzabkommen).

Um einen Zielpfad nach Verursacherprinzip zu entwickeln, der alle durch den Gebäudebetrieb entstehenden Emissionen abdeckt, wurde eine Kombination der Zielpfade für den Gebäudesektor und den energiewirtschaftlichen Sektor gewählt. Zur Herleitung der Anteile der beiden Sektoren am kombinierten Zielpfad wurden zunächst die Anfangsemissionen für das Jahr 2020 bestimmt. Der Anteil der Emissionen, der im energiewirtschaftlichen Sektor bilanziert wird, aber durch den Betrieb in Nichtwohngebäuden entsteht, wurde über die BMWi-Energiebilanzen 2020 (BMWi 2021) ermittelt. Dazu wurde der Energieverbrauch von Strom und Fernwärme für die Anwendungen Raumwärme und Warmwasser in GHD-Gebäuden jeweils mit den in Tabelle 0-6 in Anhang A vorgestellten Emissionsfaktoren multipliziert.¹⁶ Dies führt zu Emissionen von 8,3 Mio. $t_{CO_2-Äq}$ (Strom) bzw. 1,5 Mio. $t_{CO_2-Äq}$ (Fernwärme). Außerdem erfolgte, um die Verursacherbilanz zu erhalten, eine Berechnung der Vorketten der direkten Emissionen aus fossilen Energieträgern, die im Gebäudesektor bilanziert werden¹⁷ (6,5 Mio. $t_{CO_2-Äq}$), sowie der Vorketten von erneuerbaren Energien für Raumwärme und Warmwassererzeugung¹⁸ (0,8 Mio. $t_{CO_2-Äq}$). In der nationalen Treibhausgas-Bilanz des Umweltbundesamts¹⁹ sind 30,9 Mio. $t_{CO_2-Äq}$ im Jahr 2020 für den GHD-Bereich im Gebäudesektor erfasst. Somit stammten 2020 64 % (30,9 Mio. $t_{CO_2-Äq}$) der GHD-Emissionen für Warmwasser und Raumwärme aus dem Gebäudesektor und 36 % (16,9 Mio. $t_{CO_2-Äq}$) aus dem energiewirtschaftlichen Sektor. Diese Herleitung ist in Abbildung 1-2 veranschaulicht.

¹⁶ Da keine Treibhausgas- und Energiebilanz für alle nationalen NWG existiert, wurde auf die entsprechenden Daten für GHD zurückgegriffen. Es kann davon ausgegangen werden, dass der GHD-Bereich den Großteil der NWG abdeckt. Nicht berücksichtigt sind dadurch Wohngebäude mit geringen Anteilen an Gewerbenutzung und Gebäude (bzw. Raumwärme) in der Industrie.

¹⁷ Hierzu wurde ein Faktor berechnet, der den nach Energiemengen gewichteten Unterschied zwischen direkten CO_2 -Emissionen und CO_2 -Äquivalenten inkl. Vorketten auf Basis von GEMIS 4.0 für die Energieträger Öl, Kohle und Gas anhand ihrer Anteile an der Wärmeerzeugung aus BMWi 2021 abbildet. Der Faktor beträgt 21 %.

¹⁸ Hierzu wurde vereinfacht angenommen, dass sämtliche erneuerbaren Energien für Raumwärme und Warmwasser in GHD dem Energieträger Holz/Biomasse zugeordnet werden können und somit Vorkettenemissionen von 27 g/kWh haben (Quelle: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2021.pdf?__blob=publicationFile&v=5).

¹⁹ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#nationale-und-europaische-klimaziele>

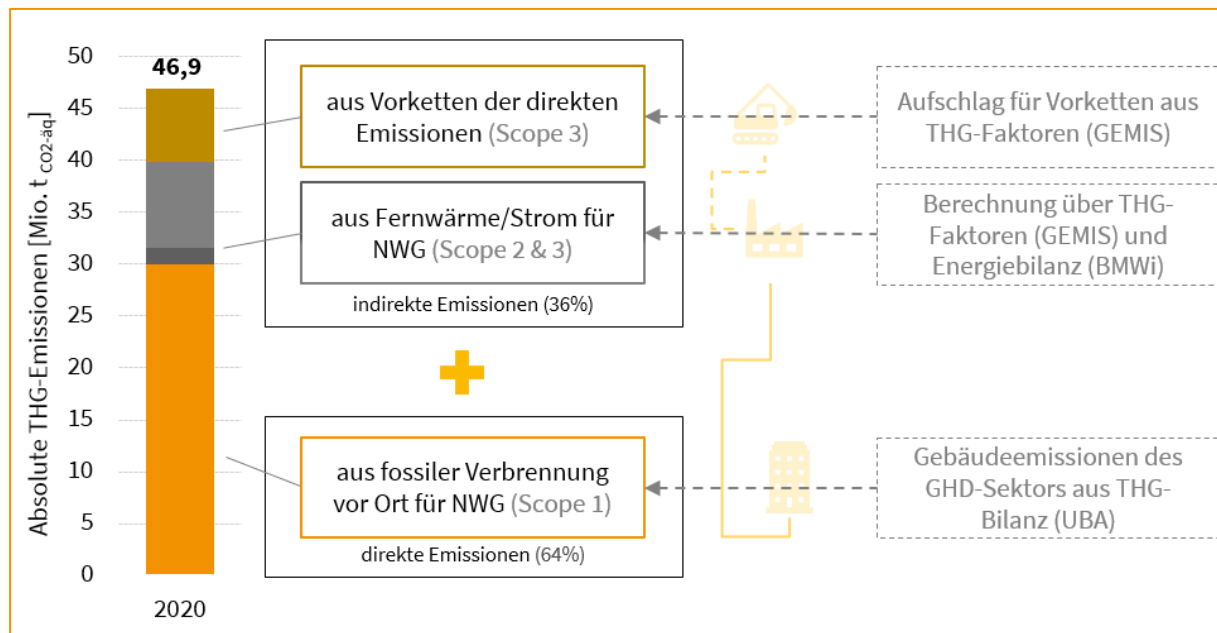


Abbildung 1-2 Veranschaulichung der Berechnung der Startemissionen des NWG-Sektors 2020

Klimaschutzgesetzkonforme Herleitung von Zielpfaden

Treibhausgas-Minderungsziele der Sektoren Gebäude und Energiewirtschaft

In der in August 2021 in Kraft getretenen Novelle des Klimaschutzgesetzes wurden für die Jahre von 2020 bis 2030 sektorspezifische Treibhausgas-Minderungsziele festgelegt. **Im Gebäudesektor wird eine nahezu lineare Absenkung von 118 Mio. t_{CO2-äq} in 2020 auf 67 Mio. t_{CO2-äq} in 2030 angestrebt.** Die Bilanzierung erfolgt dabei nach dem international üblichen Quellprinzip. Emissionen, die bei der Erzeugung von Strom und Fernwärme anfallen, jedoch in den Gebäuden z.B. für Raumwärme oder Beleuchtung genutzt werden, werden also nach dem Quellprinzip im energiewirtschaftlichen Sektor bilanziert. **Dem energiewirtschaftlichen Sektor wurden ambitioniertere Minderungsziele als dem Gebäudesektor zwischen 2020 und 2030 vorgegeben: von 280 auf 108 Mio. t_{CO2-äq}.** Darüber hinaus werden im Klimaschutzgesetz keine Treibhausgasemissionen, die in Vorketten außerhalb Deutschlands entstehen, bilanziert. Allerdings wird ein sektorübergreifendes Treibhausgas-Minderungsziel von -88 % gegenüber 1990 für das Jahr 2040 vorgegeben und Netto-Treibhausgasneutralität in 2045 als Ziel festgelegt.

Festlegung von Stützjahren

Die Berechnung des Zielpfads sollte eine so hohe zeitliche Auflösung haben, dass einerseits die realen technischen und ökonomischen Restriktionen zur Defossilisierung des Energiesystems, wie z.B. Photovoltaik- und Windkraftausbau sowie Hochlauf einer Wasserstoffindustrie, berücksichtigt werden können. Andererseits sollte keine „Scheingenauigkeit“ erzeugt werden, beispielsweise durch jahresscharfe Zielparameter, die mit großer Unsicherheit behaftet sind. Aus diesem Grund **wurde für die Werte des Zielpfads und der Zielparameter (in Kapitel 2) ein Fünfjahresabstand gewählt.** Da nach 2030 keine sektorspezifischen Ziele im Klimaschutzgesetz festgelegt sind, wurden für diesen Zeitraum im weiteren Verlauf die **Ergebnisse der dena-Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“ (2021)** für die sektorspezifischen Emissionsmengen verwendet. **Im Zielszenario der dena-Studie wird das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität bis 2045 erreicht.** Die daraus resultierenden Zielpfade für den Gebäude- und für den energiewirtschaftlichen Sektor sind in Abbildung 1-3 gestrichelt dargestellt.

Entwicklung eines Zielpfads für den Gebäudebetrieb (Raumwärme und Trinkwarmwasser)

Der Zielpfad für den Bereich Nutzwärme ergibt sich durch die Anwendung der Klimaschutzgesetze in den Stützjahren (in Prozent) für die beiden Treibhausgassektoren Gebäude und Energiewirtschaft. Für jedes Stützjahr wurden dem Zielpfad der Nichtwohngebäude 64 % der Emissionen aus dem Gebäudesektor und 36 % der Emissionen aus dem energiewirtschaftlichen Sektor zugeordnet. Diese Vorgehensweise ist in Abbildung 1-5 schematisch durch die orangenen und braunen Flächen skizziert. Für die Verkettung wurde dabei angenommen, dass sie demselben Defossilisierungspfad folgen wie der Energiesektor. Die Daten zur Herleitung des Zielpfads finden sich auch in Anhang A in Tabelle 0-2.

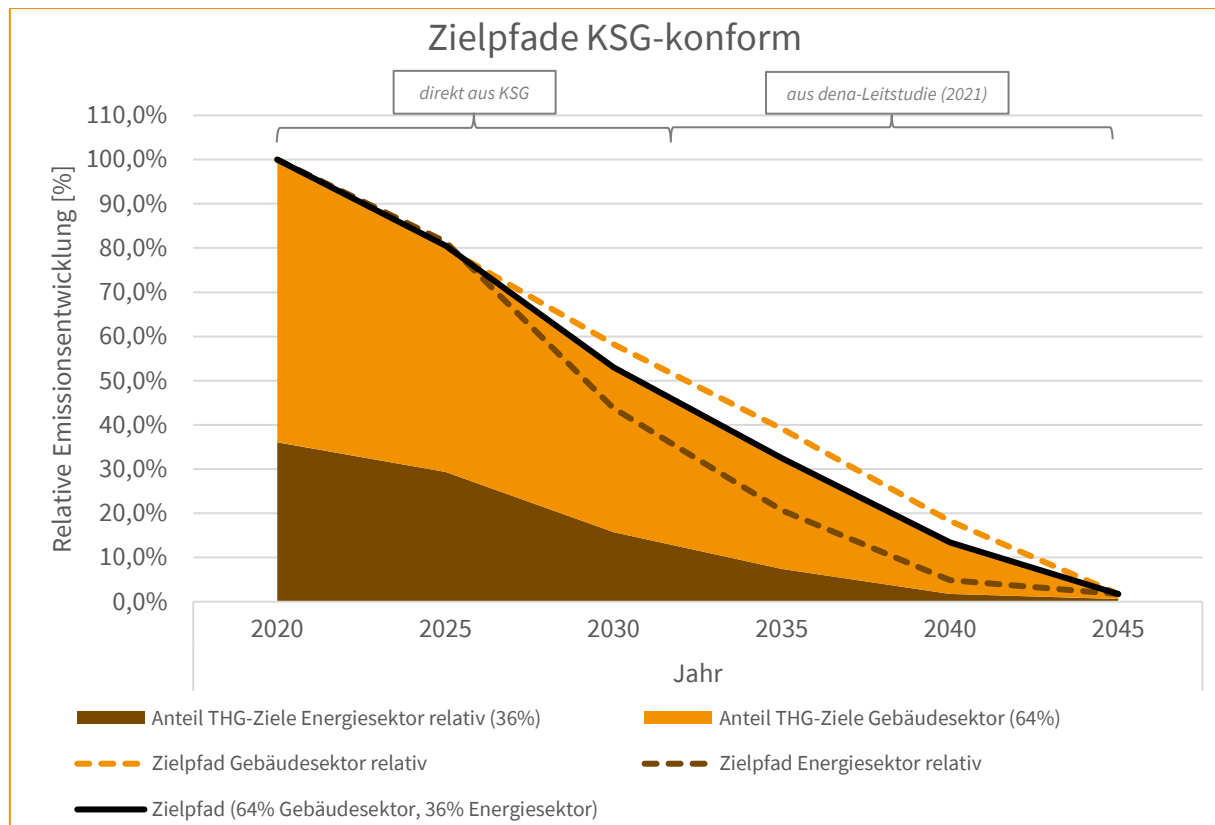


Abbildung 1-3 Darstellung der betrachteten Zielpfade und Zusammensetzung der gesamten Emissionen im GHD-Sektor

Zur Bestimmung der Zielparameter in Kapitel 2.2.3 (siehe Tabelle 2 1) wurden die Werte dieses Zielpfads auf flächenspezifische Emissionen verschiedener Gebäudearten im Startjahr 2020 (siehe Tabelle 0-3 in Anhang A), deren Herleitung in Kapitel 2.2 beschrieben ist, angewendet. Der hergeleitete Zielpfad aus Abbildung 1-3 (schwarze Linie) ist auch in Abbildung 1-5 nochmals dargestellt.

In Kapitel 2.2.1 findet sich auch die Beschreibung, wie die Zielparameter für den Nutzerstrom (THG-Emissionen und Endenergieverbrauch) berechnet wurden.

Anpassung des Startjahres

Als Startjahr der Treibhausgasemissionen wurden die erzielten Werte von 2021 verwendet, damit Effekte der Corona-Pandemie in 2020 sich nicht auf die Entwicklung der Zielpfade auswirken. Die Daten zur Herleitung des Zielpfads finden sich auch in Anhang A in Tabelle 0-2.

Paris-konforme Herleitung von Zielpfaden durch Annäherung an ein Emissions-Budget

Hintergrund und Einordnung der Methodik eines Budgets

Als weitere Möglichkeit zur Herleitung eines Ambitionsniveaus kann auf das Pariser Klimaabkommen und das Einhalten der 1,5-°C- oder 1,75-°C-Grenze zurückgegriffen werden. Diese Temperaturmaxima hängen physikalisch von der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre ab (IPCC 2018), woraus sich Emissionslimits ergeben. Mithilfe der aktuellen Konzentration und der Limits lassen sich für die jeweiligen Temperaturgrenzen Treibhausgas-Budgets ermitteln, deren Berücksichtigung die Stabilität des Klimasystems bestimmt. Diese Budgets können auf Sektoren aufgeteilt und als Grundlage für die Bestimmung von Reduktionsmengen genutzt werden. Indem die Emissionsmengen von einem Startjahr ausgehend zeitlich aufgeteilt werden, lassen sich daraus Zieljahre ableiten. In der aktuellen Auslegung des Klimaschutzgesetzes werden die Zielkorridore hingegen vor allem politisch bestimmt und berücksichtigen diese klimaphysikalischen Grundlagen nicht. Um einen Gegenentwurf als Orientierungshilfe zu bieten, wird im folgenden Abschnitt eine annähernde Herleitung eines Zieljahres für den Nichtwohngebäudesektor anhand eines nationalen Treibhausgas-Budgets vorgestellt.

Berechnung eines Treibhausgas-Budgets und Entwicklung eines Zielpfads

Das Vorgehen beruht auf zwei Schritten: der Berechnung eines Treibhausgas-Budgets für den Nichtwohngebäudesektor und einer anschließenden zeitlichen Verteilung des Budgets bis Erreichung der Treibhausgasneutralität (Zieljahr). Die Berechnung des Anteils des NWG-Sektors an den Gesamtemissionen ist in Abbildung 1-4 dargestellt. Zu Beginn wurden die jährlichen Emissionsgrenzen in den Sektoren aus dem Klimaschutzgesetz von 2020 bis 2030 kumuliert. Um davon den Beitrag des Nichtwohngebäudesektors zu ermitteln, wurden die Ist-Emissionen von 2020 hinzugezogen (siehe Abschnitt „Bestimmung der relevanten THG-Emissionen für NWG im Startjahr 2020“ oben). Dazu wurden die direkten Emissionen aus dem NWG-Sektor ins Verhältnis zu den gesamten Emissionen aus dem Gebäudesektor gesetzt und die indirekten energiebezogenen Emissionen zu den gesamten Emissionen aus dem Energiewirtschaftssektor. Diese Anteile wurden auf die summierten Emissionsgrenzen aus dem KSG übertragen. Der daraus resultierende Beitrag an den zukünftigen gesamten Emissionen in Deutschland wurde schließlich auf das nationale Treibhausgas-Budget für Deutschland übertragen. Ausgangspunkt ist ein nationales Treibhausgas-Budget von 4,2 Mrd. $t_{CO_2-äq}$ und 6,7 Mrd. $t_{CO_2-äq}$ geltend ab 2020 (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2021). Daraus ergibt sich ein **Treibhausgas-Budget von 254 Mio. $t_{CO_2-äq}$ für die 1,5-°C-Grenze bzw. 405 Mio. $t_{CO_2-äq}$ für die 1,75-°C-Grenze für den NWG-Sektor.**

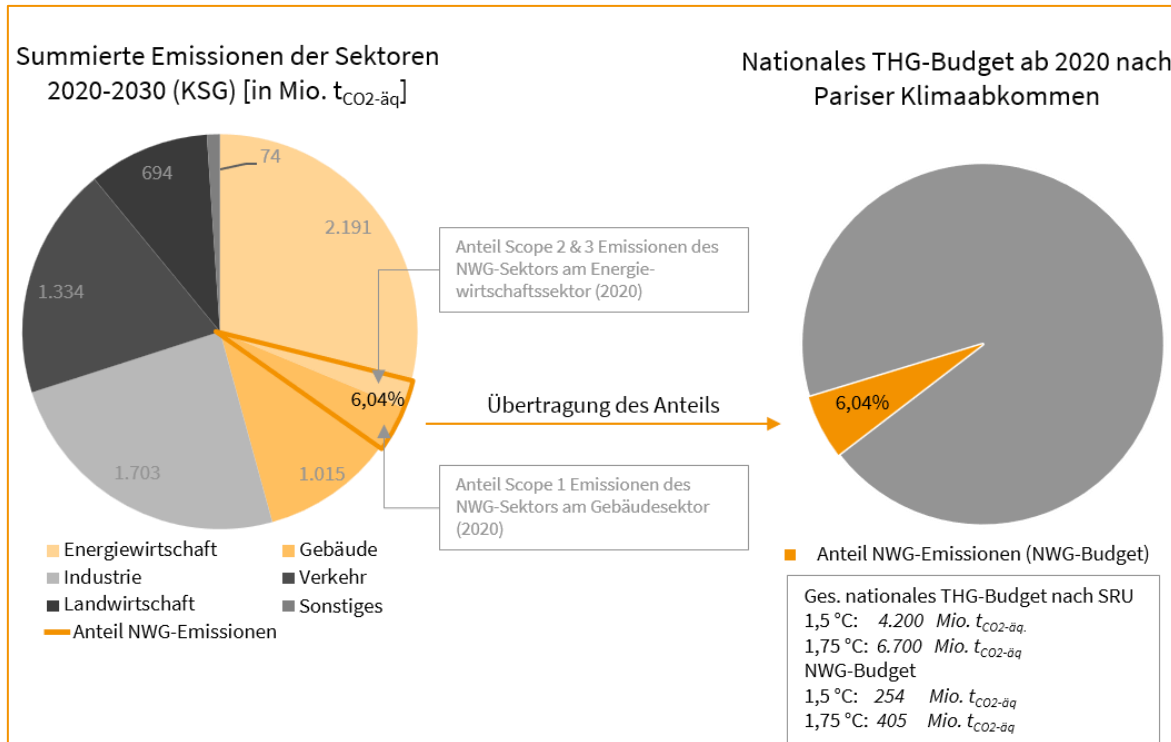


Abbildung 1-4 Herleitung eines THG-Budgets für den NWG-Sektor zur Einhaltung des Pariser Klimaabkommens

Im zweiten Schritt wurde dieses verbleibende Budget so auf die kommenden Jahre verteilt, dass ein linearer Reduktionspfad entsteht und die jährlichen Emissionen letztendlich auf null absinken. Begonnen wurde mit den Ist-Emissionen von 2020 (siehe Abschnitt oben). **Mit dieser Art der Berechnung ergeben sich zur Begrenzung auf 1,5 °C bzw. 1,75 °C die Zieljahre 2028 und 2034** mit einer Reduktion von rund 8,4 bzw. 3,95 Mio. $t_{CO_2-äq}$ /Jahr.

Die so hergeleiteten Zielpfade und der KSG-konforme Zielpfad sind in Abbildung 1-5 zusammenfassend dargestellt.

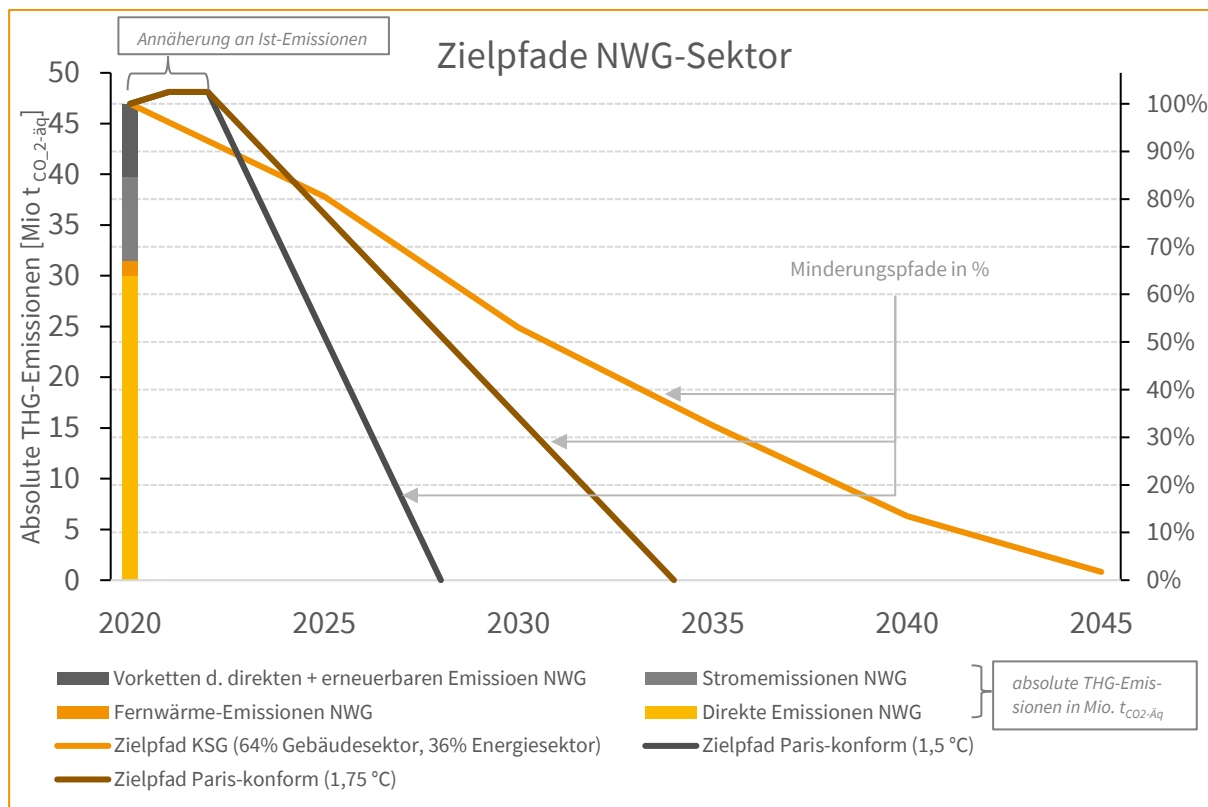


Abbildung 1-5 Darstellung der betrachteten Zielpfade und Zusammensetzung der gesamten Emissionen im GHD-Sektor

Anpassung des Startjahres

Da in den Jahren 2021 und 2022 keine Reduktion der Emissionen erfolgte, wurde die lineare Reduktion erst ab dem Jahr 2023 vorgenommen. Dies soll eine realistische Berechnung der Zieljahre ermöglichen. Für das Jahr 2021 wurden die bereits veröffentlichten Scope-1-Emissionen aus den UBA-THG-Bilanzen verwendet. Die energiebezogenen Emissionen wurden aus dem Jahr 2020 übernommen, da noch keine aktuelleren Zahlen in den Energiebilanzen vorliegen. Auf das Jahr 2022 wurden die Gesamtemissionen übertragen, da in Kürze keine Daten vorhanden und keine großen Abweichungen zu erwarten sind. Da die Scope-1-Emissionen 2021 angestiegen sind, ist eine Steigerung des Zielpfades zu erkennen.

Einordnung der Ergebnisse

Diese Berechnung der Zieljahre ist jedoch mit Einschränkungen verbunden: (1) Die Zuordnung der nationalen Budgets erfolgt basierend auf der Einwohnerzahl und nicht der Wirtschaftsleistung oder unter der Einbeziehung historischer Emissionen und garantiert damit nicht die Einhaltung der Temperaturgrenzen. (2) Eine konstante lineare Reduktion ist nur eine vereinfachte theoretische Betrachtung. (3) Ein konstanter Anteil der Nichtwohngebäude-Emissionen an den Emissionen des Gebäude- und des Energiesektors vernachlässigt eine möglicherweise unterschiedlich fortschreitende Dekarbonisierung der verschiedenen Bereiche.

Jedoch verdeutlicht diese Annäherung an ein nationales Emissions-Budget für den Gebäudesektor nach Vorgaben der Paris-Klimaziele mit den Zieljahren 2028 und 2034 die Handlungsdringlichkeit.

Zusammenfassende Definition der Klimaneutralität im Nichtwohngebäudesektor:

- Der Begriff Klimaneutralität wird als Netto-**Treibhausgasneutralität** verstanden.
- Erfasste Bilanzgrenzen für den Nichtwohngebäudesektor:
 - Treibhausgasneutral in Betrieb und Nutzung (Scope 1)
 - Energieerzeugung (Scope 2): Fernwärme/-kälte, Stromproduktion und Vorketten der Energieerzeugung (Teile von Scope 3)
- Graue Emissionen werden in der Berechnung der Zielpfade nicht berücksichtigt (Empfehlungen zu Maßnahmen und Nachweisen zur Reduktion grauer Emissionen in Kapitel 2.5).
- Zur besseren Einhaltung der 1,5-°C-Grenze ist es erforderlich, dass alle durch Nichtwohngebäude verursachten Emissionen bereits 2028 auf den für 2045 zu erreichenden Wert gemindert werden (Maximalziel).
- Die Einhaltung der Zielparameter in den jeweiligen Jahresschritten des Zielpfads ermöglicht die Erreichung der Netto-Treibhausgasneutralität 2045 (Minimalziel).
- Für die Stützjahre 2025, 2030, 2035, 2040 und 2045 gelten Emissionsgrenzen basierend auf den jeweils angenommenen Emissionsfaktoren.
- Ökonomische Kompensationen über Zertifikate sind ausgeschlossen.
- Technische Kompensationen (CO₂-Speicherung) können bei Zuordnung zum Gebäudepool mitbilanziert werden, jedoch sind die Möglichkeiten hierzu extrem eingeschränkt.
- Ökostrom in Form von PPA und RECS kann nicht angerechnet werden.
- Quartierdienliche erneuerbare Energien gehen in die Bilanz ein (z. B. PV-Strom, Abwärme), sofern eine genaue Zuordnung zum Gebäudepool erfolgen kann.

2 Zielparameter für Nichtwohngebäude in einem klimaneutralen Deutschland

2.1 Diskussion geeigneter Zielparameter

In diesem Abschnitt erfolgt die Diskussion und Identifikation mehrerer Parameter, die im Rahmen einer Sanierung, z.B. mittels ESC plus, herangezogen werden können, um die Erfüllung von Anforderungen an die Treibhausgasneutralität gemäß den vorangehenden Abschnitten nachzuweisen.

Mögliche Zielparameter

Im Rahmen von Normen (z. B. DIN V 18599²⁰) und Gesetzen (Gebäudeenergiegesetz) erfolgt die Berechnung und teilweise Anforderungsstellung an bestimmte Kennwerte von Gebäuden. Die wichtigsten hier zu nennenden Energiebegriffe lassen sich wie folgt voneinander abgrenzen:

- **Nutzenergiebedarf bzw. -verbrauch:** Zum Nutzenergiebedarf, z.B. in Form von Licht, Wärme oder mechanischer Energie, werden für alle Versorgungssysteme die technischen Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung addiert. Es ergibt sich eine Energiemenge, die von den Erzeugern bereitzustellen ist. Sie kann in der Praxis beispielsweise durch Wärmemengenzähler, die direkt hinter den Erzeugern positioniert werden, erfasst werden. Die Erzeugerbewertung umfasst die Ermittlung der Erzeugerverluste anhand der Aufwandszahl, die das Verhältnis von Nutzenergie und Endenergie beschreibt.
- **Endenergiebedarf bzw. -verbrauch:** Die Endenergie gibt die Energie in der Form an, wie sie zur Gebäudegrenze geliefert wird. Mögliche Arten von Endenergie (auch Endenergieträger) sind z.B. Strom, Gas, Biomasse, Öl und Wärme (bei Fernwärme oder Geothermie). Anhand der Erzeugeraufwandszahl und des Nutzenergiebedarfs kann die notwendige Endenergiemenge bestimmt werden.
- **Primärenergiebedarf bzw. -verbrauch:** Die Primärenergie entspricht dem Energiegehalt der ursprünglichen Energieträger mit Rücksicht auf alle vorgelagerten Prozesse der Energieerzeugung bis hin zur Gebäudegrenze. Der entsprechende Primärenergiebedarf einer Endenergiemenge wird ermittelt, indem die Endenergie je nach Energieträger mit Faktoren hinsichtlich ihrer Umweltwirksamkeit bewertet wird. Die End- und Primärenergiebilanzen enthalten auch die Aufwendungen für elektrische Hilfsenergien (nach DIN V 18599:1).
- **Treibhausgasemissionen:** Die Umrechnung der Endenergiebedarfe in Treibhausgas Emissionen ergibt sich anhand der in Anlage 9 zum Gebäudeenergiegesetz gelisteten Emissionsfaktoren.

Weitere wichtige Größen, die u.a. zentral zur Berechnung dieser Werte sind, sind der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert), der spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient (H^*_T) (nur bei Wohngebäuden) und die Luftwechselrate. Die vier eingangs genannten Größen werden in der Regel neben absoluten Werten für ein Gebäude auch flächenbezogen angegeben, um die energetischen Eigenschaften bzw. Emissionsniveaus von verschiedenen Gebäuden miteinander vergleichbar zu machen. Als Flächenbezug wird dabei in DIN V 18599 die Energiebezugsfläche, die bei Nichtwohngebäuden der thermisch konditionierten Nettogrundfläche (A_{NGF}) entspricht, verwendet. Dies gilt für Nichtwohngebäude sowohl bei der Berechnung

²⁰ <https://www.beuth.de/de/vornorm/din-v-18599-1/293515783>

der internen Wärmequellen als auch bei der Verwendung von Tabellenwerten für die Berechnung des Nutzwärmebedarfs von Trinkwarmwasser.

Unterschied zwischen Bedarf und Verbrauch

Grundsätzlich wird in der Fachliteratur bei Energiekennwerten immer dann von „Bedarf“ gesprochen, wenn es sich um prognostizierte Werte, beispielsweise durch Berechnung, Simulation oder Schätzung, handelt. Der Begriff „Verbrauch“ wird verwendet, wenn es sich um ermittelte Werte aus dem realen Betrieb handelt, etwa durch Messung und Monitoring. Im Folgenden wird vorwiegend der Begriff „Verbrauch“ benutzt, da die Praxis des ESC sich auf Messwerte aus dem Betrieb und der Nutzung bezieht. Außerdem erfolgt eine Umrechnung der Bedarfswerte in Verbrauchswerte für die Zielparamester, die in Kapitel 2.2 beschrieben wird.

Praxistauglichkeit der möglichen Zielparamester

In DIN V 18599 wird das Prinzip der energetischen Bilanzierung von der Nutz- über die End- bis zur Primärenergie beschrieben. Die Bilanz nach dieser Norm deckt dabei die folgenden Arten der Konditionierung bzw. Gewerke ab: Heizung, Kühlung, Be- und Entlüftung, Befeuchtung, Beleuchtung und Trinkwarmwasserversorgung. In der Praxis werden, z.B. zur Erstellung von Energieausweisen von Nichtwohngebäuden, die Energiekennwerte für diese Gewerke teilweise über Anpassungsfaktoren den Bereichen Strom und Wärme zugerechnet. Da in der Praxis in der Regel auch nur eine aggregierte Erfassung der Werte für Strom und Wärme auf Gebäudeebene erfolgt und eine Erhebung aller einzelnen Gewerke mit erheblichem Aufwand verbunden wäre, wurden die **Zielparamester** auch **nur für die beiden Bereiche Strom und Wärme entwickelt**. Sollten die Zielparamester nicht auf Messwerte, sondern auf Planungswerte angewendet werden, kann eine Umrechnung der Energiekennwerte der einzelnen Gewerke in die Bereiche Strom und Wärme über die Methodik in der „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“²¹ erfolgen.

Flächenspezifische Treibhausgasemissionen als zentraler Zielparamester

Bisher stellt der Primärenergiebedarf im Neubau (Ausnahme GEG §103 – Innovationsklausel), aber auch bei Sanierungen zum Nachweis der Effizienzgebäude-Niveaus im Rahmen einer Förderung die zentrale Größe zur Einhaltung der Anforderungen dar. Es gibt jedoch bereits seit längerer Zeit Diskussionen, die eine Umstellung auf Treibhausgasemissionen als zentrale Anforderungsgröße fordern (ifeu et al. 2021; ifeu et al. 2018). Zwar wurde mit der Novelle des GEG zum 1. Januar 2023 dieser Forderung noch nicht nachgekommen, eine Umstellung erscheint jedoch im Rahmen einer weiteren Novelle 2024 wahrscheinlich. Aus diesem Grund **werden die flächenspezifischen Treibhausgasemissionen als zentraler Zielparamester im Rahmen eines ESC plus vorgeschlagen**. Vorteilhaft ist dies auch deshalb, weil in den Szenarienrechnungen, die zur Herleitung der Zielparamester (siehe Kapitel 2.2.2) benötigt werden, deutlich öfter spezifische Emissionsfaktoren als Primärenergiefaktoren ausgewiesen sind und diese auch regelmäßiger berichtet werden (z. B. vom UBA 2022b).

²¹ https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Rechtsgrundlage/Bekanntmachungen/Verbrauchsausweise/Download/NWGEnergieverbrauchswerteGEG.pdf;jsessionid=6F41FE6299314BE4DD9A184A756AEEE2.live21324?__blob=publicationFile&v=3

Nutzenergieverbrauch für Wärme und Endenergieverbrauch für Nutzerstrom als weitere Nebenanforderungen

Der Gebäudesektor muss seine Treibhausgasemissionen reduzieren, aber auch seine Energienachfrage – gewöhnlich durch Sanierung oder Umstellung auf effizientere Heizsysteme. Nur so kann mittel- und langfristig das Angebot an erneuerbaren Energien die Nachfrage hinreichend decken und können damit die Klimaschutzziele erreicht werden. Deshalb **sollte ein weiterer Zielparameter definiert werden, der dieser Reduktion der Energienachfrage Rechnung trägt** und mit den Szenarienrechnungen zur Erreichung der Netto-Treibhausgasneutralität in Einklang gebracht werden. **Hierfür in Frage kommen die Größen Endenergie, Nutzenergie und U-Werte.**

Exkurs: U-Werte, Endenergieverbrauch, Nutzenergiebedarf und -verbrauch im Vergleich

U-Werte kommen bereits heute im Rahmen des sogenannten Bauteilverfahrens als alternative Erfüllungsoptionen zum Referenzgebäudeverfahren, bei dem die Nachweisführung über den Primärenergieeinsatz erfolgt, im Neubau und bei Sanierung zum Einsatz. Zum Nachweis des Effizienzgebäude-Standards ist sogar ein alleiniger Nachweis des Primärenergiebedarfs nicht hinreichend und es wird darüber hinaus eine Mindestanforderung an die mittleren U-Werte gestellt. Wenn in der Praxis Wärmeschutzmaßnahmen in einem Gebäudepool umgesetzt werden, stellt die Größe jedoch keinen geeigneten Zielparameter dar, da die Ermittlung im Bestand nur mit großem Aufwand und hoher Unsicherheit möglich ist (in der Regel werden die U-Werte der Bauteile anhand des Baujahres und optischer Merkmale geschätzt). Somit können **U-Werte** nur sinnvoll für eine Mindestanforderung an sanierte Gebäude genutzt werden, nicht jedoch für einen ganzen Pool, der unsanierte Bestandsgebäude enthält, und **sind somit ungeeignet als weitere Zielparameter.**

Der **Endenergieverbrauch** kann hingegen leicht in der Praxis ermittelt werden, z.B. aus Abrechnungen von Energieversorgern oder aus Energieverbrauchsausweisen. Eine Zurechnung zu bestimmten Nutzungsbereichen lässt sich unter Umständen schwierig darstellen, beispielsweise wenn Trinkwarmwassererzeugung und Prozesswärmeerzeugung über denselben Stromzähler abgerechnet werden. Ein weiteres Problem stellen hier die teilweise sehr unterschiedlichen Jahresnutzungsgrade bzw. Aufwandszahlen der Wärmeerzeuger dar, was bei einheitlichen Anforderungen an den Endenergieverbrauch für alle Energieträger dazu führen würde, dass die Anforderung an die Gebäudehülle bzw. den Nutzenergieverbrauch bei hohen Jahresnutzungsgraden (z. B. bei Wärmepumpen) sehr viel geringer wäre (ca. Faktor 3 bis 4) als bei weniger effizienter Anlagentechnik (z. B. bei Gas- und Biomassekesseln). Dadurch würde der Knappheit der Energieträger – insbesondere des Stroms – nicht hinreichend Rechnung getragen, **somit ist auch der Endenergieverbrauch als weiterer Zielparameter nicht geeignet.**

Es verbleibt als mögliche weitere Anforderungsgröße der **Nutzenergiebedarf bzw. -verbrauch**. Dieser ist unabhängig vom Energieträger und lässt sich für den Verbrauch in der Praxis mit verhältnismäßig wenig Aufwand für die Anwendungen Raumwärme und Trinkwarmwasser mittels Wärmemengenzählern, die jedoch ggf. zusätzlich installiert werden müssen, im Bestand erfassen. Außerdem spiegelt insbesondere der Raumwärmebedarf sehr direkt die energetische Qualität der Gebäudehülle wider. Eine weitere Einflussgröße auf den Nutzenergieverbrauch ist das Nutzerverhalten (bei Trinkwarmwasser die Temperatur und Wassermenge, bei Raumwärme vor allem die Soll-Temperatur).

Aus diesem Grund **wird als weiterer Zielparameter neben den Treibhausgasemissionen der Nutzenergieverbrauch für Raumwärme und Trinkwarmwasser vorgeschlagen. Für Nutzerstrom**

(Beleuchtung, Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) sowie Hilfsstrom für Heizen, Kühlen und Lüftung, ohne Heizstrom z.B. für Wärmepumpen und Durchlauferhitzer) **erfolgt als analoge Größe eine direkte Vorgabe der Endenergie als Zielparame-ter**. Für die Anwendungen des Nutzerstroms erfolgt keine Vorgabe der zugehörigen Nutzenergien etwa in Form von Lichtmengen oder mechanischer Energie, da sie in der Praxis nur mit großem Aufwand erfasst werden können.

2.2 Zielparame-terbestimmung nach Gebäude-Hauptfunktion

2.2.1 Methodik zur Herleitung der Zielparame-ter

Zielparame-ter „THG-Emissionen Wärmebereitstellung“ und „Nutzwärmeverbrauch“

Nachfolgend wird zunächst die Methodik zur Herleitung der Zielparame-ter „flächenbezogene Treibhausgas-emissionen“ und „flächenbezogener Nutzenergieverbrauch“ schrittweise beschrieben.

1. Die Zielparame-ter „flächenbezogene Treibhausgasemissionen“ und „flächenbezogener Nutzenergie-verbrauch“ werden zunächst für jede Gebäude-Hauptfunktion²² für das Startjahr 2020 berechnet (siehe Tabelle 0-3 in Anhang A). Aus den Nutzenergieverbräuchen und der Energieträgerverteilung je Gebäude-Hauptfunktion, den gemittelten Wärmeerzeuger-Aufwandszahlen je Energieträger sowie den spezifischen Emissionen der Energieträger werden Bottom-up die flächenspezifischen Emissionen für jede Gebäude-Hauptfunktion im Startjahr bestimmt.²³
2. Es wird ein KSG-konformer Zielpfad bestimmt, indem die in Kapitel 1.3 ermittelten notwendigen prozentualen Treibhausgas-Minderungen nach KSG in Fünfjahresschritten von 2025 bis 2045 im Nichtwohngebäudebereich auf die Bottom-up ermittelten Emissionen aus dem Startjahr (siehe Punkt 1) angewendet werden.
3. Im Zeitraum 2025 bis 2045 werden in Fünfjahresschritten Entwicklungen zu den spezifischen Emissionen der Energieträger, der Energieträgerverteilung je Gebäude-Hauptfunktion und den gemittelten Wärmeerzeuger-Aufwandszahlen je Energieträger unterstellt. **Die Entwicklungen** sind in Kapitel 2.2.2 beschrieben und **basieren auf den Annahmen und Ergebnissen der dena-Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“ (dena 2021)**, in deren Zielszenario das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität bis 2045 erreicht wird. Mit den angenommenen Entwicklungen werden für jeden Zeitschritt die spezifischen THG-Emissionen für jede Gebäude-Hauptfunktion berechnet. Dabei werden die Nutzenergieverbräuche aus dem Startjahr zugrunde gelegt, d.h. es wird zunächst von keiner Sanierungs- oder Neubauaktivität ausgegangen. Diese wird erst im Schritt 4 bestimmt.
4. Aus der Differenz zwischen dem „Szenarienfad ohne Sanierungsaktivität“ (siehe Punkt 2) und dem „Zielpfad“ (siehe Punkt 3) kann die notwendige Reduktion des Nutzenergieverbrauchs gegenüber dem Startjahr zur Erreichung des Zielpfads bestimmt und somit können Zielparame-ter für den Nutzenergieverbrauch in allen Zeitschritten festgelegt werden.

²² Eine detaillierte Beschreibung der Nutzungsarten von Gebäuden und welche Unterkategorien jeweils unter den Gebäude-Hauptfunktionen zusammengefasst wurden, findet sich in Bergische Universität Wuppertal 2020. Eine nähere Erläuterung findet sich in Kapitel 2.2.2.

²³ Durch die Aggregation der Gebäude aller Funktionsklassen und Multiplikation mit den entsprechenden absoluten Energiebezugsflächen können die gesamten Emissionen aller NWG Bottom-up bestimmt und mit den Werten aus Kapitel 1.3 als Top-down-Werte verglichen werden zur Verifizierung der Annahmen im Startjahr.

Das Vorgehen ist schematisch in Abbildung 2-1 dargestellt.

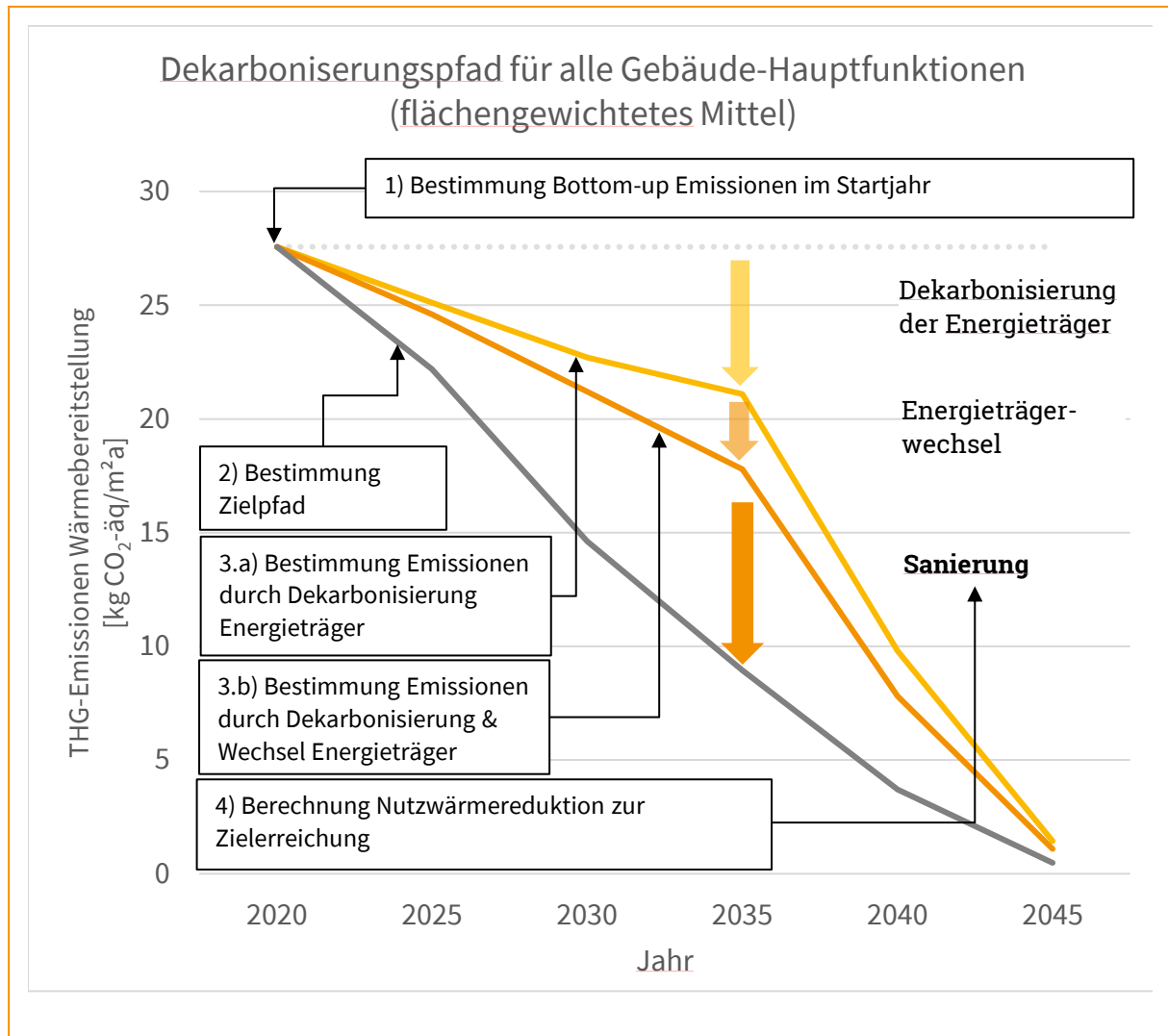


Abbildung 2-1 Exemplarische Darstellung der Einzelbeiträge von Energieträger-Dekarbonisierung, Energieträgerwechsel und Hüllsanierung zur Erreichung eines vorgegebenen Emissionspfads²⁴ (Quelle: Fraunhofer ISE)

Zielparame-ter „THG-Emissionen Nutzerstrom“ und „Endenergieverbrauch Nutzerstrom“

Für die Stromanwendungen in Gebäuden (z.B. für Beleuchtung, IKT, Klimakälte und Belüftung) erfolgt die Berechnung der Zielparame-ter folgendermaßen:

1. Der Zielparame-ter „Endenergieverbrauch Nutzerstrom“ wird zunächst für jede Gebäude-Hauptfunktion für das Startjahr 2020 mittels Simulation im Programm synGHD²⁵ berechnet (siehe

²⁴ Kumuliert ergeben sich von 2020 bis 2045 durch alle Beiträge (Energieträger-Dekarbonisierung, Energieträgerwechsel und Hüllsanierung) Einsparungen von 385 kg CO₂-äq/m². Anhand der Berechnungen zu der Grafik entfallen dabei 69,6 % der eingesparten Emissionen auf Energieträgerwechsel und Dekarbonisierung der Energieträger. Der verbleibende Anteil von 30,4 % entfällt auf die Reduktion des Nutzwärmeverbrauchs (d.h. vor allem Sanierung).

²⁵ Dokumentation: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT:173777061/synGHD-Synthetische-Lastprofile-f%C3%BCr-eine-effiziente?cHash=cb4a868e219b880658e29d836c321266>

2. Tabelle 0-3 in Anhang A).
3. Die Zielparamester für „Endenergieverbrauch Nutzerstrom“ in den Jahren nach 2020 ergeben sich aus den Annahmen zu Endenergieeffizienzsteigerungen aus der dena-Leitstudie (26 % gesteigerte Endenergieeffizienz bis 2030 und 34 % Steigerung bis 2045 ggü. 2020), die sich an der Energieeffizienzstrategie der Bundesregierung²⁶ orientieren. Dazu werden diese Zielwerte für die Jahre 2030 und 2045 mit den Ergebnissen für 2020 aus Punkt 1 multipliziert und in den Zwischenjahren linear interpoliert.
4. Die Zielparamester für „THG-Emissionen Nutzerstrom“ ergeben sich, indem die Zielparamester für „Endenergieverbrauch Nutzerstrom“ mit der Entwicklung der spezifischen Emissionsfaktoren von Strom (siehe Tabelle 0-6 in Anhang A) in den Stützjahren multipliziert werden und dazwischen linear interpoliert wird.

Zur Bestimmung der Zielparamester für den Nutzerstrom in Kapitel 2.2.3 werden die Werte dieses Zielpfads auf flächenspezifische Emissionen verschiedener Gebäudearten im Startjahr 2020 (siehe Tabelle 0-3 in Anhang A) angewendet.

2.2.2 Verwendete Daten

Gebäudedaten

Zur Differenzierung der durch Nichtwohngebäude verursachten Emissionen nach Nutzungsart wurden die im Projekt ENOB:dataNWG erhobenen Daten zur repräsentativen Abbildung des Nichtwohngebäudebestands verwendet (IWU et al. 2022). Das Projekt wurde von 2015 bis 2021 durchgeführt, sodass die Daten hinreichend genau den Nichtwohngebäudebestand etwa im Jahr 2020 abbilden. Die u.a. in Interviews erhobenen Daten umfassen Informationen zu durchschnittlichen Außenwandflächen, U-Werten (flächengewichtet) sowie eingesetzten Wärmeerzeugern und Energieträgern, die im Folgenden zur Bestimmung der Emissionen im Startjahr und darauf aufbauend der Zielparamesterbestimmung genutzt werden. **In den Ergebnissen der Erhebung werden elf Gebäude-Hauptfunktionen (im Weiteren auch Nutzungsarten oder Gebäudetyp) von Nichtwohngebäuden unterschieden.**

Eine detaillierte Beschreibung dieser Nutzungsarten und welche Unterkategorien jeweils unter den Hauptfunktionen zusammengefasst werden, findet sich in Bergische Universität Wuppertal 2020). So werden unter der Hauptkategorie „Büro-, Verwaltungs- und Amtsgebäude“ z.B. die Unterkategorien „Parlament und Gerichtsgebäude“, „öffentliche Verwaltungs-, Amtsgebäude, Rathäuser“, „privat genutzte Bürogebäude – Single Tenant“, „privat genutzte Bürogebäude – Multi Tenant“, „Rundfunk- und Fernsehanstalten“ und „Bürogebäude von Bereitschaftsdiensten“ zusammengefasst (Bergische Universität Wuppertal 2020). Im Rahmen des Projekts erfolgte auch eine Ermittlung der spezifischen Nutzwärmebedarfe für Raumwärme der elf verschiedenen Gebäudetypen mit dem Dynamic ISO Building Simulator (DIBS) des IWU²⁷. Die Bedarfe werden über eine einfache lineare Regression, die im Abschlussbericht ENOB:dataNWG (IWU et al. 2022) abgebildet ist, den Verbrauchswerten angenähert, um den oftmals auftretenden Differenzen zwischen Bedarfsberechnung und realen Verbräuchen (auch „Building-Energy Performance Gap“ genannt) Rechnung zu tragen. Im Rahmen des Projekts FlexGeber (BMW, Förderkennzeichen 03EGB0001D) erfolgten

²⁶ https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=12

²⁷ <https://github.com/IWUGERMANY>

außerdem die Ermittlung spezifischer Nutzenergiebedarfe für Trinkwarmwasser und Klimatisierung sowie die Bestimmung des Endenergiebedarfs für Strom aus den Anwendungen für Beleuchtung, IKT und Lüftung für jeden Gebäudetyp anhand der Personenbelegung und von Nutzungsprofilen. Die resultierenden spezifischen Nutzenergieverbräuche bzw. -bedarfe sind in Tabelle 0-3 in Anhang A dargestellt.

Daten zur Energieträgerverteilung

Die Verteilung der primär eingesetzten Energieträger zur Wärmeerzeugung wurde ebenfalls in ENOB:dataNWG erhoben. Dabei wurde eine Differenzierung zwischen Gebäuden mit der Gebäude-Hauptfunktion „Dienstleistungsgebäude“ (Hauptkategorien 1 bis 7 und 9) und „Produktions- und ähnliches Gebäude“ (Hauptkategorien 8, 10, 11) vorgenommen. Diese Daten wurden für die Raumwärmebereitstellung im Jahr 2020 verwendet. Für die Verteilung der Energieträgeranteile für Trinkwarmwasserbereitstellung wurden die Daten aus BMWi-Energiedaten (BMWi 2021) genutzt. **Für die Jahre 2030 und 2045 wurden die Energieträgeranteile aus der Zusammensetzung der Wärmeerzeuger aus dem Gebäudegutachten zu den Ergebnissen der dena-Leitstudie (dena 2021) verwendet.** Für die Entwicklung der Energieträgeranteile zur Trinkwarmwasserbereitung wurden die Entwicklungen der Wärmeerzeuger in der dena-Leitstudie (dena 2021) mit den Ausgangsdaten in 2020 verschnitten, um dem hohen Stromanteil im Bestand, z.B. durch Durchlauferhitzer, Rechnung zu tragen. **Für die Jahre 2020, 2030 und 2045 findet sich eine Zusammenstellung der angenommenen Energieträgerverteilung in Tabelle 0-4 in Anhang A.**

Daten zum gemittelten Jahresnutzungsgrad der Energieträger

Im Rahmen des Projekts ENOB:dataNWG erfolgt die Berechnung der Anlagenaufwandszahl für die Raumwärmebereitstellung nach Gebäude-Hauptfunktion für fossile und elektrische Wärmeerzeuger getrennt. Diese Daten wurden verwendet, um die Jahresnutzungsgrade im Bestand (als Kehrwert der Anlagenaufwandszahl), d.h. für das Startjahr 2020, abzubilden. Für die Jahresnutzungsgrade von Fernwärme für die Raumwärmebereitstellung und die Trinkwarmwasserbereitstellung aller Energieträger wurden die Daten von Prognos, ISI, IfE/TUM (2014)²⁸ genutzt (UBA 2022a). Für Strom wird angenommen, dass es zu einer Steigerung der Nutzungsgrade von ca. 260 % auf 280 % in 2030 bis 350 % in 2045 kommt. Grundlage für diese Annahme ist, dass in 2020 noch ein signifikanter Anteil der Wärmebereitstellung (über 50 % laut ENOB:dataNWG) bei Strom als Energieträger über direktelektrische Heizungen erfolgte, bis 2045 jedoch der Anteil direktelektrischer Heizungen aufgrund des Wärmepumpenzubaus sehr gering sein wird, sodass die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen den Nutzungsgrad dominieren werden. Hinzu kommen leichte Effizienzgewinne durch weitere Forschung und Entwicklung sowie eine abnehmende Anfälligkeit für Installationsfehler aufgrund zunehmender Erfahrungswerte. Dem steht jedoch der vermehrte Einsatz in Bestandsgebäuden mit höheren Vorlauftemperaturen und somit geringeren Jahresarbeitszahlen als bisher vor allem im Neubau gegenüber. Eine ähnliche Annahme liegt dem Jahresnutzungsgrad für Warmwasserbereitung aus Strom zugrunde. Jedoch sind die Anteile für direktelektrische Heizungen weitaus größer und auch die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen niedriger aufgrund der höheren Vorlauftemperaturen als bei der Raumwärmebereitstellung. Für die Jahre 2020, 2030 und 2045 findet sich eine Zusammenstellung der angenommenen Jahresnutzungsgrade für Raumwärme und Trinkwarmwasser in Tabelle 0-5 in Anhang A.

²⁸ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme#jahresnutzungsgrade>

Daten zur Treibhausgasentwicklung der Energieträger

Die verwendeten **Daten** zur Entwicklung der spezifischen Treibhausgasemissionen der Energieträger **beruhen auf den Berechnungen** des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln (EWI) **im Rahmen der dena-Leitstudie**. Die aus der Studie zur Verfügung gestellten Daten berücksichtigen jedoch nur direkte Treibhausgasemissionen ohne Vorketten. Es sollte jedoch eine Berücksichtigung der Vorketten und weiterer Treibhausgasemissionen erfolgen, um eine ganzheitliche Treibhausgas-Bilanz zu erstellen, an der sich auch das GEG in der Praxis bei den in DIN V 18599 vorgegebenen CO₂-äquivalenten Emissionen der Energieträger orientiert. Zur Abbildung aller Emissionen wurden die Aufschläge im Jahr 2018 (auf das sich die Daten des EWI beziehen) für Vorketten und weitere Treibhausgasemissionen (umgerechnet in CO₂-äq) je Energieträger berechnet. Vereinfacht wird davon ausgegangen, dass diese Aufschläge prozentual konstant bleiben, da auch eine Dekarbonisierung in den Vorketten erfolgt. Hieraus ergeben sich die spezifischen Treibhausgasemissionen, mit denen im Folgenden gerechnet wird. **Für die Jahre 2020 bis 2045 findet sich eine Zusammenstellung der angenommenen spezifischen Emissionsfaktoren der Energieträger in Fünfjahresschritten in Tabelle 0-6 in Anhang A.**

2.2.3 Ergebnisse

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, erfolgte eine Berechnung der Zielparameter für Treibhausgasemissionen und Nutzwärmeverbrauch (Raumwärme und Trinkwarmwasser) bzw. für den Endenergieverbrauch von Nutzerstrom anhand der in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Methodik für jede Gebäude-Hauptfunktion aus dem Projekt ENOB:dataNWG. Die Fläche, auf die sich die Angaben beziehen, ist die Energiebezugsfläche der Gebäude, die die Nettoraumfläche aller beheizten und gekühlten Gebäudezonen beinhaltet und sich zum Beispiel auch in den Energieausweisen wiederfindet. Im Folgenden sind in Tabelle 2 1 die Zielparameter für Treibhausgasemissionen (differenziert für die Anwendungsbereiche Strom und Wärme) dargestellt. Eine zusammenfassende Darstellung beider Bereiche findet sich in Tabelle 0 7 in Anhang A.

Es folgen in Tabelle 2-2 die Nutzwärmeverbräuche bzw. der Endenergiebedarf für Nutzerstrom (ohne Wärmeanwendungen), die sich aus dem Zielpfad für die Treibhausgasemissionen und den in Kapitel 2.2.2 beschriebenen Annahmen ergeben.

Die Ergebnisse sind für alle Gebäude-Hauptfunktionen aus dem Projekt ENOB:dataNWG angegeben, sodass nicht nur öffentliche Nichtwohngebäude, sondern alle Nichtwohngebäude, d.h. auch nicht öffentliche und auch solche, die dem Industriesektor²⁹ zuzurechnen sind, mit den Tabellen bilanziert werden können.

²⁹ Dies betrifft vor allem Gebäude mit den Hauptfunktionen „Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude (8)“, „Technikgebäude (Ver- und Entsorgung) (10)“ und „Verkehrsgebäude (11)“.

Vorgehen zur Anwendung der Zielparameter

Das Vorgehen zur Anwendung der nachfolgenden Zielparameter in der Praxis kann kurz folgendermaßen zusammengefasst werden:

1. Festlegung der relevanten Gebäude eines Gebäudepools
2. Bestimmung sämtlicher Energiebezugsflächen in diesen Gebäuden und Zuordnung dieser Flächen zu den elf Gebäude-Hauptfunktionen aus Tabelle 2-1
3. Festlegung eines (Ziel-)Jahres, für das das Einhalten der Zielparameter überprüft werden soll
4. Ablesen der Zielparameter für das betreffende Jahr und die Gebäude-Hauptfunktion aus Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2
5. Mittelwertbildung über den gesamten Gebäudepool durch Flächengewichtung der Zielparameter nach Gebäude-Hauptfunktion, wie in Kapitel 2.6 beschrieben

Hieraus ergeben sich für ein Zieljahr insgesamt die folgenden vier Zielparameter, die alle einzuhalten sind:

- Treibhausgasemissionen für Wärme
- Treibhausgasemissionen für Nutzerstrom
- Nutzwärmeverbrauch
- Endenergieverbrauch für Nutzerstrom

Praxisrelevante Hinweise zur Anwendung der Zielparameter

Um den **Nutzenergieverbrauch für Wärme** einfach **mittels Wärmemengenzählern** zu ermitteln, ist eine Installation **direkt hinter dem Wärmeerzeuger** naheliegend, um die Anzahl der Wärmemengenzähler möglichst gering zu halten. In diesem Fall sind jedoch noch Übergabe-, Verteil- und Speicherverluste der Anlagentechnik zu berücksichtigen, sodass eine Umrechnung von Nutzwärmeverbrauch in Erzeugernutzwärmeabgabe erfolgen muss. Außerdem kann die Zusammenlegung der Zielgrößen für Trinkwarmwasser (TWW) und Raumwärme (RW) nur dann sinnvoll erfolgen, wenn es sich um ein zentrales Trinkwarmwassersystem handelt. **Handelt es sich um ein dezentrales Trinkwarmwassersystem, sollten von den Zielparametern für den Nutzwärmeverbrauch aus Tabelle 2-2 die Werte für den flächenspezifischen Wärmebedarf für Trinkwarmwasser aus Tabelle 0 3 in Anhang A subtrahiert werden.**

Die Erfassung des Nutzerstroms und der Abgleich mit den Zielparametern **sollten sämtliche Stromanwendungen im Gebäude umfassen**, d.h. beispielsweise Strom für Arbeitshilfen (PC, Drucker), Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung. Die Erfassung sollte dabei alle Energiebezugsflächen berücksichtigen, etwa in Bürogebäuden neben den Verbräuchen in den Büros auch Verbräuche in Treppenhäusern und durch Aufzüge. **Ausgenommen werden sollte hiervon Strom, der direkt zur Raumwärmeerzeugung (z. B. in Wärmepumpen oder Nachtspeicheröfen), Trinkwarmwasserbereitung (z. B. in Durchlauferhitzern) oder Prozesswärmeerzeugung dient.**

Für die Anwendung in der Praxis wird empfohlen, die lokal ermittelten Nutzenergieverbräuche, wie in BMWK und BMI (2021)³⁰ beschrieben, zeitlich und räumlich auf den Referenzstandort „Potsdam“ und ein Referenzjahr umzurechnen, das auch den ermittelten Zielparametern zugrunde liegt. In der Quelle

³⁰ Quelle: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/MRYM4n184Sdlr0ElvW?0> (BMWK; BMI März 2021)

findet sich außerdem eine Beschreibung, wie mit Leerständen und Messperioden von weniger als einem ganzen Jahr umzugehen ist. Dieses Vorgehen sollte in solchen Fällen auch auf die im Folgenden definierten Zielparameter angewendet werden.

Fazit

Es können mit den Zielparametern nun diejenigen Maßnahmen, wie beispielsweise Sanierungen, Wärmeerzeugerwechsel, Einbau effizienterer Anlagentechnik oder Anpassungen des Nutzerverhaltens, ermittelt werden, die für den Pool ein Unterschreiten des flächengemittelten Zielwertes ermöglichen. Daraus kann z.B. ein Maßnahmenportfolio erstellt werden. Andererseits kann anhand gemessener und witterungsbereinigter Jahresverbräuche der Erfolg einfach nachgewiesen werden. In beiden Fällen sollten für eine Treibhausgas-Bilanzierung die Werte aus Tabelle 0-6 in Anhang A genutzt werden, da diese auch zur Bestimmung der Zielparameter verwendet wurden. Eine Ausnahme stellen Fernwärmenetze dar. Sind für sie lokal abweichende Treibhausgas-Emissionsfaktoren bekannt, etwa aus Transformationsplänen, sollten diese verwendet werden. Ebenso kann in unmittelbarer Gebäudenähe erneuerbar erzeugter und verbrauchter Strom beim Stromverbrauch angerechnet werden. Hierbei sollte die Methodik des GEG Anwendung finden und auch auf den Bereich des Nutzerstroms ausgeweitet werden.

Aufgrund der starken Nutzungsabhängigkeit von Stromanwendungen und der resultierenden hohen Unsicherheiten bei den aktuellen Strombedarfen (siehe Kapitel 2.4) sollte eine Anwendung der Zielparameter für Nutzerstrom nur mit Vorsicht erfolgen. Das Gleiche gilt für eine Anwendung der kumulierten Zielparameter für Treibhausgasemissionen von Nutzerstrom und Nutzwärme. In der Praxis sollte, bevor Zielvorgaben für die Zukunft abgeleitet werden, eine Überprüfung erfolgen, ob aktuelle Stromverbräuche etwa mit den Zielparametern für den Nutzerstrom im Jahr 2020 in Tabelle 2-2 für die jeweilige Nutzungsart übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall, d.h. wenn die Abweichung im Startjahr signifikant ist, sollten individuelle Zielparameter berechnet werden, indem die individuellen Startwerte mit den hier unterstellten prozentualen Minderungen (-26 % bis 2030 und -34 % bis 2045 gegenüber 2020) verrechnet werden.

Tabelle 2-1 Zielparame-ter der maximalen THG-Emissionen in den Stützjahren für den NWG-Bestand nach KSG-Ziel- pfad

Gebäude-Hauptfunktion	THG-Emissionen Wärmebereitstellung [kg CO ₂ -äq/m ² a]						THG-Emissionen Nutzerstrom [kg CO ₂ -äq/m ² a]					
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Jahr												
Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude (1)	25	20	13	8	3	0,4	15	10	4	2	0	0,1
Gebäude für Forschung und Hochschullehre (2)	44	35	23	14	6	0,8	15	10	4	2	0	0,1
Gebäude für Gesundheit und Pflege (3)	29	23	15	9	4	0,5	20	13	5	2	1	0,1
Schule, Kindertagesstätte und sonstiges Betreuungsgebäude (4)	34	27	18	11	5	0,6	10	7	3	1	0	0,0
Gebäude für Kultur und Freizeit (5)	32	25	17	10	4	0,5	17	11	4	2	0	0,1
Sportgebäude (6)	41	33	22	13	6	0,7	12	8	3	1	0	0,1
Beherbergungs-, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude (7)	51	41	27	17	7	0,9	55	36	14	5	1	0,3
Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude (8)	19	15	10	6	3	0,3	21	14	5	2	1	0,1
Handelsgebäude (9)	25	20	13	8	3	0,4	115	76	29	11	3	0,6
Technikgebäude (Ver- und Entsorgung) (10)	34	28	18	11	5	0,6	106	69	26	11	3	0,5
Verkehrsgebäude (11)	56	45	29	18	7	1,0	13	8	3	1	0	0,1
Flächengewichtetes Mittel (alle Gebäudearten)	28	22	15	9	4	0,5	35	23	9	4	1	0,2
Flächengewichtetes Mittel (Dienstleistungsgebäude³¹)	31	25	17	10	4	0,5	41	27	10	4	1	0,2

³¹ Hierzu zählen die Gebäude aus der Tabelle mit den Hauptfunktionen 1 bis 7 und 9.

Tabelle 2-2 Zielparameter für den maximalen Nutzwärmeverbrauch (Raumwärme und TWW) und Endenergieverbrauch für Strom (ohne Wärmeanwendungen) für den NWG-Bestand nach KSG-Zielpfad

Gebäude-Hauptfunktion	Zielparameter Nutzwärmeverbrauch (Raumwärme und TWW) [kWh/m ² a]						Zielparameter Endenergieverbrauch Nutzerstrom [kWh/m ² a]					
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Jahr												
Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude (1)	90	81	62	45	43	40	32	28	25	24	22	21
Gebäude für Forschung und Hochschullehre (2)	163	146	112	82	77	72	32	29	26	24	23	21
Gebäude für Gesundheit und Pflege (3)	108	97	74	54	51	48	43	38	34	32	30	28
Schule, Kindertagesstätte und sonstiges Betreuungsgebäude (4)	125	112	86	63	59	55	22	19	17	16	15	14
Gebäude für Kultur und Freizeit (5)	113	102	78	57	54	50	36	32	29	27	26	24
Sportgebäude (6)	143	129	99	72	68	63	25	23	20	19	18	17
Beherbergungs-, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude (7)	144	129	99	72	68	63	116	104	91	86	81	76
Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude (8)	69	62	48	35	33	30	45	40	36	34	32	30
Handelsgebäude (9)	92	83	63	46	44	40	242	217	191	181	170	160
Technikgebäude (Ver- und Entsorgung) (10)	124	111	86	63	59	55	223	199	176	166	157	147
Verkehrsgebäude (11)	207	186	143	104	98	91	27	24	21	20	19	18
Flächengewichtetes Mittel (alle Gebäudearten)	98	88	68	49	46	43	75	67	59	56	52	49
Flächengewichtetes Mittel (Dienstleistungsgebäude³²)	110	99	76	56	52	49	87	78	68	65	61	57

³² Hierzu zählen die Gebäude aus der Tabelle mit den Hauptfunktionen 1 bis 7 und 9.

2.3 Fallbeispiele für Einzelgebäude

Anhand von drei repräsentativen **Typgebäuden aus dem ENOB:dataNWG-Projekt** wird gezeigt, wie sich eine Sanierung von Bestandsgebäuden auf verschiedene energetische Zielniveaus auswirkt. Bei den Gebäuden handelt es sich um:

- **Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude, Zwischenbau (Baujahr 1979 bis 2009)**
- **Schule, Kindertagesstätte und sonstiges Betreuungsgebäude, Altbau (Baujahr bis 1978)**
- **Sportgebäude, Altbau (Baujahr bis 1978)**

Simuliert wurden jeweils die beiden **Zielniveaus „GEG-Mindestanforderung“ und „Effizienzgebäude-55-Standard“**³³. Dabei wurden für die Zielwerte die folgenden U- und g-Werte aus Tabelle 2-3 angenommen. Die Nutzwärmeverbräuche der beiden Zielniveaus wurden auf Basis von ISO 13790 mit dem Programm synGHD³⁴ berechnet.

Tabelle 2-3 Annahmen zur energetischen Qualität der Gebäudehülle bei der Berechnung der Fallbeispiele

Bauteil	U-Werte [W/m ² K]				g-Wert [-]
	Fenster	Wand	Dach	Boden	Fenster
GEG-Niveau ³⁵	1,3	0,24	0,24	0,3	0,6
EG-55-Niveau ³⁶	0,9	0,2	0,14	0,25	0,6

Für das Ausgangsniveau „unsaniert“ wurden direkt die Ergebnisse zum Nutzwärmebedarf aus dem Projekt ENOB:dataNWG des IWU³⁷ verwendet und über die in Kapitel 2.2.2 beschriebene Regression zum „Performance Gap“ in Verbräuche umgerechnet. Die Annahmen für die Anlagentechnik (Erzeugeraufwandszahlen, Übergabe-, Verteil- und Speicherverluste) wurden aus Tabellenwerten ermittelt und nachträglich auf den Nutzwärmeverbrauch aufgeschlagen bzw. dieser damit in Endenergie umgerechnet. Dazu wurde angenommen, dass bei der Sanierung auf GEG-Niveau ein Gasbrennwertkessel und eine Solarthermie-Anlage, die 50 % zur Deckung der Trinkwarmwasserverbräuche beiträgt, eingesetzt werden. Bei der Sanierung auf Effizienzgebäude-55-Niveau wurde der Einsatz einer Luft-Wärmepumpe zur Deckung des Raumwärme- und Trinkwarmwasserbedarfs angesetzt und eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wirkungsgrad > 80 %) unterstellt. Im unsanierten Zustand wurde beim Zwischenbau ein Brennwertkessel angenommen und bei den beiden Altbauten ein Niedertemperaturkessel. Der Nutzerstrom wurde nicht näher untersucht, da die Sanierungen darauf nur geringe Auswirkungen haben in Form von veränderten Hilfsenergien der Anlagentechnik³⁸. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 0-8 in Anhang A dargestellt und in Abbildung 2-2 für den Nutzwärmeverbrauch sowie in Abbildung 2-3 für die Treibhausgasemissionen jeweils den Zielparametern grafisch gegenübergestellt.

³³ Ehemals als KfW-Niveaus bekannt, im Wohngebäudebereich Effizienzhaus-Standard genannt.

³⁴ Dokumentation: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT:1737777061/synGHD-Synthetische-Lastprofile-f%C3%BCr-eine-effiziente?cHash=cb4a868e219b880658e29d836c321266>

³⁵ Quelle: https://www.gesetze-im-internet.de/geg/anlage_7.html;

³⁶ Quelle: <https://www.energieberatung-main-tauber.de/leistungen/kfw-effizienzhaus-nach-referenzwerten/>

³⁷ <https://github.com/IWUGERMANY>

³⁸ Den größten Einfluss wird die eingesetzte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung haben. Der hierfür nach DIN 4701-10 anzusetzende Wert für Hilfsenergie von 2,2 kWh/m²a macht jedoch bei allen Gebäudetypen weniger als 10 % des Nutzerstroms aus.

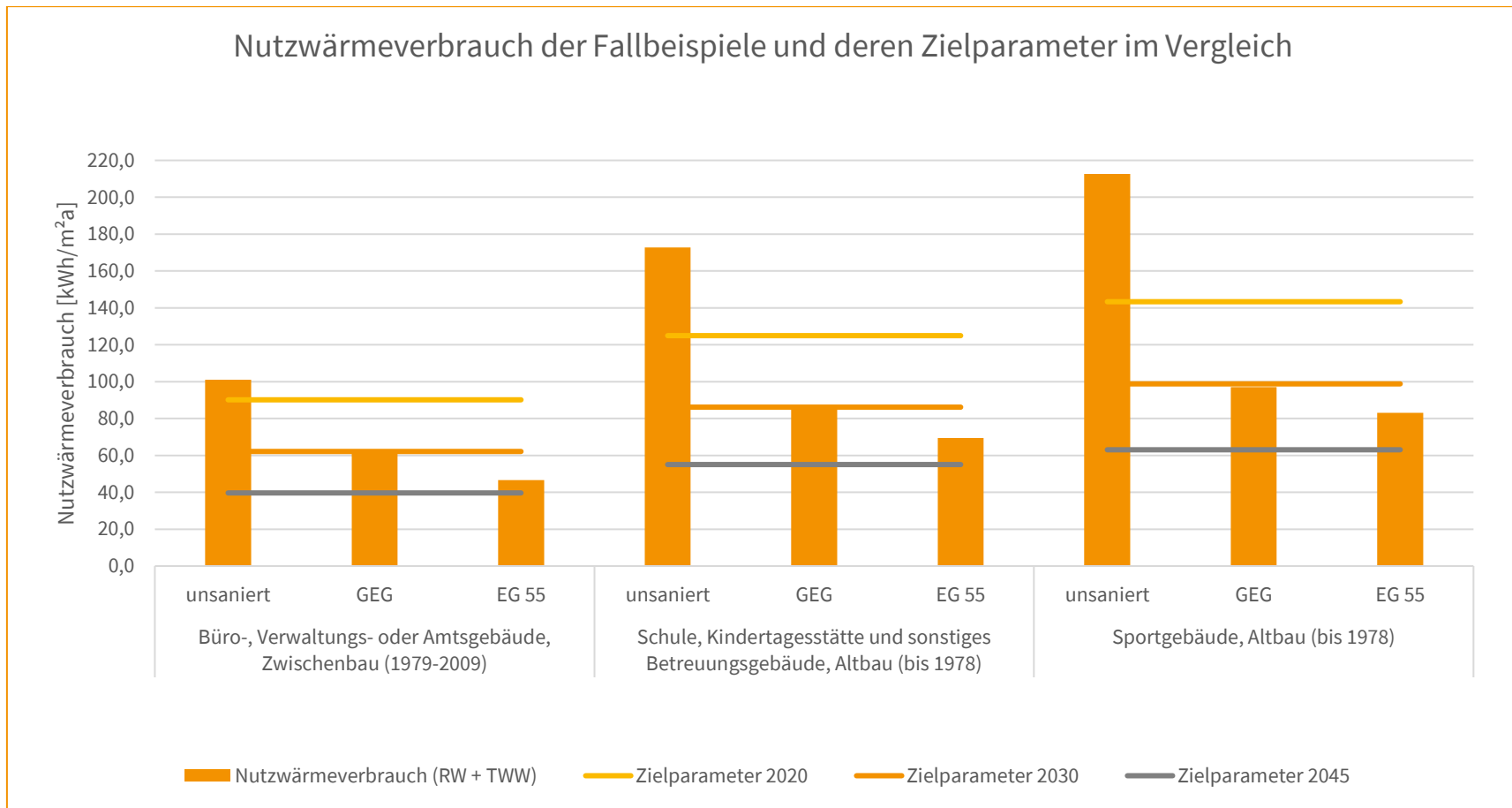


Abbildung 2-2 Vergleich der Simulationsergebnisse für die Fallbeispiele mit den Zielparametern in den Jahren 2020, 2030 und 2045 (Nutzwärmeverbrauch)

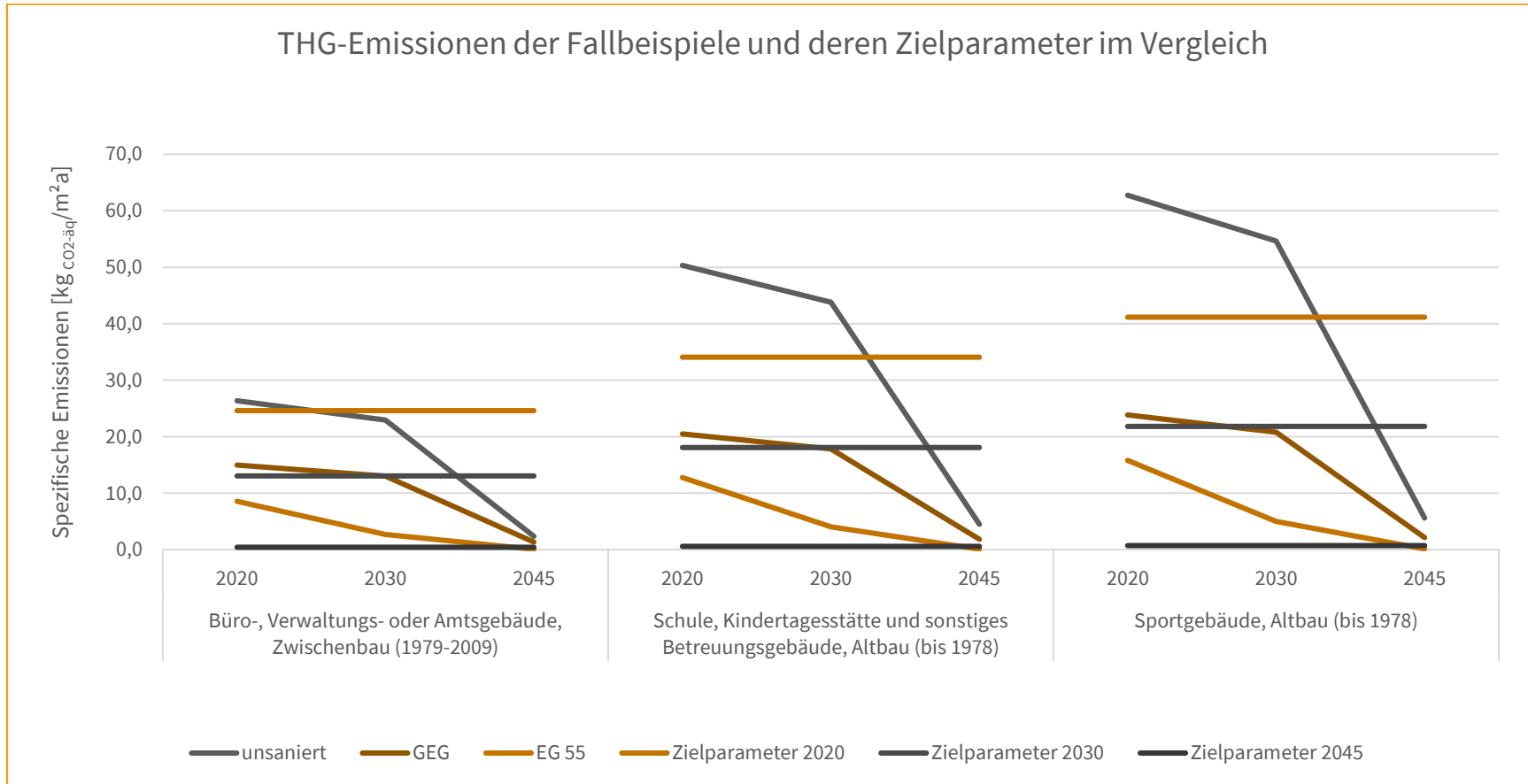


Abbildung 2-3 Vergleich der Simulationsergebnisse für die Fallbeispiele mit den Zielparame-tern in den Jahren 2020, 2030 und 2040 (Treibhausgasemissionen)

Hinsichtlich der Anforderungen zum Nutzwärmeverbrauch (Raumwärme und TWW) zeigt Abbildung 2-2, dass keines der Gebäude nach Sanierung – auch das mit **EG-55-Niveau nicht** – die in Tabelle 2-2 berechneten Anforderungen für den **Nutzenergieverbrauch im Jahr 2045 erfüllt**. In allen Fällen liegt das Niveau der GEG-Sanierung nah an den Zielparametern für das Jahr 2030. Nach 2030 steigen die Nutzwärmeanforderungen so schnell an, dass selbst das EG-55-Niveau ab 2035 nicht mehr hinreichend zur Zielerfüllung ist. **In allen Fällen würden bei einer Sanierung auf Passivhaus-Niveau (d.h. Gebäude mit einem maximalen Nutzwärmeverbrauch von 15 kWh/m²a) die Zielparamester in 2045 eingehalten. Ob das EG-40-Niveau hinreichend wäre, um die Einhaltung der Zielparamester in 2045 zu erreichen, muss mit weiteren Simulationen überprüft werden.** Wahrscheinlich würden dabei jedoch Zielparamester und Simulationsergebnisse so nah beieinanderliegen, dass keine pauschale Aussage für alle Gebäudetypen getroffen werden kann und fallabhängig geprüft werden müsste, ob die Paramester eingehalten werden.

In Abbildung 2-3 wird hinsichtlich der CO₂-Äquivalente deutlich, dass sich die Einordnung der auf GEG-Niveau sanierten Gebäude ähnlich darstellt wie beim Nutzwärmeverbrauch: Sie erfüllen die Zielparamester im Jahr 2030 knapp. Die Emissionen der auf EG 55 sanierten Gebäude sind jedoch bereits heute deutlich geringer aufgrund der abweichenden Heiztechnik mit höherem Jahresnutzungsgrad und geringerem spezifischen Emissionsfaktor von Strom gegenüber Gas. Besonders deutlich wird dieser Unterschied der beiden Sanierungsniveaus jedoch vor allem langfristig. **Im Jahr 2045 erfüllen die auf GEG-Niveau sanierten Gebäude nicht mehr den Zielparamester für die Treibhausgasemissionen. Alle auf EG 55 sanierten Gebäude halten den Wert jedoch ein.** Dies lässt sich im Wesentlichen durch die im EG 55 eingesetzte Wärmepumpentechnik begründen, die deutlich schneller defossilisiert wird als die Kombination aus Gasbrennwertkessel und Solarthermie.

Fazit

Die Fallbeispiele zeigen, dass die langfristigen Zielparamester im Jahr 2045 nur mit einem Sanierungsniveau höher als EG 55 erreicht werden können. Bei einer effizienten Anlagentechnik, mindestens mit einer Luft-Wärmepumpe, reicht ggf. eine Sanierung auf EG-40-Niveau. Werden Gaskessel im Gebäude eingesetzt, muss eine so ambitionierte Sanierung der Hülle erfolgen, dass nahezu Passivhaus-Niveau erreicht wird, was wiederum den Gaskessel obsolet machen würde. Bis 2030 ist eine Sanierung auf GEG-Mindestniveau hinreichend. Es ist jedoch fraglich, inwiefern eine solche Sanierung ökonomisch und auch ökologisch in Bezug auf graue Emissionen sinnvoll ist, wenn nach wenigen Jahren wieder eine Nachertüchtigung notwendig wird.

2.4 Einordnung der Ergebnisse

Startwerte (2020)

Ableich der Energieverbräuche mit den BMWK-Energiedaten³⁹

Der kumulierte Nutzwärmeverbrauch (Raumwärme und TWW) im Startjahr auf Basis der ENOB:dataNWG-Ergebnisse beträgt für alle Gebäude (mit einer gesamten Energiebezugsfläche von 2.747,4 Mio. m²) ca. 270 TWh bzw. für die Dienstleistungsgebäude mit den Gebäude-Hauptfunktionen 1 bis 7 und 9 ca. 204 TWh. Auf Basis der weiteren Annahmen zu den Jahresnutzungsgraden und zur Energieträgerverteilung ergibt sich

³⁹ Wie in Kapitel 1.3 beschriebenen werden aufgrund der Corona-Effekte die Energiedaten von 2020 nicht verwendet. Da zum Erstellungszeitpunkt der Studie die Daten von 2021 noch nicht vorlagen, wurden die Daten von 2019 verwendet. Quelle: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt-xls-2022.xlsx?__blob=publicationFile&v=8

daraus ein Endenergieverbrauch von 220 TWh im Startjahr. Dieser Wert liegt über den Angaben des BMWi für den Endenergieverbrauch. Dieser lag für Raumwärme und TWW im GHD-Sektor 2019 bei 177 TWh und 2020 bei 163 TWh.

Eine Bottom-up-Schätzung, d.h. eine Hochrechnung der flächenspezifischen Werte aus Tabelle 2-2 mit den absoluten Energiebezugsflächen der jeweiligen Gebäude-Hauptfunktion (aus Tabelle 0-3 in Anhang A), liefert einen um ca. 25 % höheren Endenergiebedarf für Wärme als die Energiestatistik des BMWK.

Auch die angesetzten Endenergiewerte für Nutzerstrom liegen kumuliert mit 160 TWh für die Dienstleistungsgebäude auf Basis der ENOB:dataNWG-Daten höher als die berichteten Daten des BMWK. Diese lagen 2019 im GHD-Bereich für alle Anwendungen außer Raumwärme und Warmwasser bei 130 TWh, also ebenfalls ca. 23 % unter der Bottom-up-Schätzung. Werden nur die Anwendungen Klimakälte, IKT und Beleuchtung berücksichtigt, lagen die BMWK-Daten sogar nur bei 77 TWh. Das bedeutet, **die verwendeten Endenergiewerte für Nutzerstrom liegen gut 100 % über den vom BMWK berichteten Daten bei einem ähnlichen Bilanzrahmen.**

Abgleich der Treibhausgasemissionen (nur für Raumwärme und TWW) mit den berichteten Daten nach Klimaschutzgesetz

Hinsichtlich der Treibhausgasemissionen werden vom UBA⁴⁰ für den GHD-Sektor Emissionen von 30 Mio. t_{CO₂-äq} berichtet. Sie umfassen jedoch nur die direkten Treibhausgasemissionen aus fossilen Energieträgern am Gebäude. Wie in Kapitel 1.3 beschrieben, ist für einen angemessenen Vergleich mit den Zielparametern aus Kapitel 2.2.3 die Treibhausgas-Bilanz des UBA um Emissionen der Strom- und Fernwärmeerzeugung sowie aus Vorketten der fossilen und erneuerbaren Energieträger zu erweitern. Dadurch ergeben sich (wie in Kapitel 1.3 bereits dargestellt) Gesamtemissionen für den GHD-Sektor für Raumwärme und Trinkwarmwasser von 46,9 Mio. t_{CO₂-äq}. **Auf Basis der ENOB:dataNWG-Ergebnisse und der weiteren Annahmen ergeben sich demgegenüber Bottom-up berechnet Treibhausgasemissionen von 56,1 Mio. t_{CO₂-äq} in allen Dienstleistungsgebäuden. Sie liegen somit ca. 20 % über den Top-down berichteten Emissionen nach Klimaschutzgesetz.**

Abgleich mit den Teilenergiekennwerten (TEK) gemäß BMWK und BMI (2021)⁴¹

Auch ein Abgleich, der in Tabelle 0-9 in Anhang A zusammengefasst ist, mit den Teilenergiekennwerten, die in Energieausweisen von Nichtwohngebäuden als Vergleichswerte auszuweisen sind, zeigt, dass die dort berechneten Nutzwärmeverbräuche ca. 60 % höher liegen als die Vergleichswerte für Gebäude mit ähnlicher Nutzungsart und äquivalenter Energiebezugsfläche. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Teilenergiekennwerte für Heizung laut BMWK und BMI (2021) einen energetischen Standard abbilden, „der im Grundsatz einer für einen Altbau guten Energieaufwandsklasse entspricht“, d.h. es handelt sich bei diesen Werten nicht um statistische Mittelwerte, die den aktuellen Nichtwohngebäudebestand repräsentativ abbilden. Die Trinkwasserverbräuche liegen hingegen bei den TEK-Werten flächengewichtet ca. 70 % höher als die ENOB:dataNWG-Daten.

Hinsichtlich des Nutzerstroms ergibt sich ein ähnliches Bild beim **Abgleich mit den TEK-Werten** wie beim Abgleich mit den BMWK-Daten.

⁴⁰ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>

⁴¹ https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Rechtsgrundlage/Bekanntmachungen/Verbrauchsausweise/Download/NWGEnergieverbrauchswerteGEG.pdf;jsessionid=6F41FE6299314BE4DD9A184A756AEEE2.live21324?__blob=publicationFile&v=3

Unter der Annahme, dass in allen Gebäuden die Anwendungen für Lüftung, Beleuchtung, Kühlung (inkl. Be- und Entfeuchtung) sowie sonstige Arbeitshilfen dem Endenergieverbrauch für Strom zuzuschreiben sind, liegt die Summe dieser Werte flächengewichtet trotzdem **ca. 170 % unter den ENOB:dataNWG-Werten, wobei die Abweichung je nach Nutzungsart teilweise sehr unterschiedlich ausfällt.**

Fazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Zielparameter für den Wärmebereich (sowohl Treibhausgasemissionen als auch Nutzwärmeverbrauch) im Startjahr ca. 20 bis 25 % über den jeweils national berichteten Werten liegen. Diese Abweichung ist zwar angesichts des Zielpfads nicht unerheblich, liegt aber im Unsicherheitsbereich, der durch die angewendete Aggregationsmethodik zu erwarten ist, und zeigt, dass die Werte zumindest in der richtigen Größenordnung vorliegen und untereinander konsistent sind. **Es kann demnach geschlussfolgert werden, dass die Ausgangswerte auf Grundlage der ENOB:dataNWG für den Wärmebereich einen repräsentativeren Nichtwohngebäudebestand abbilden.**

Für den Nutzerstrombereich zeigen sich größere Abweichungen von über 100 % zwischen den Zielparametern im Startjahr und den berichteten Endenergieverbräuchen. Ein Abgleich mit Literaturwerten bestätigt dieses Bild, zeigt aber auch, dass die Tendenz zur Über- oder Unterschätzung je nach Gebäudetyp sehr verschieden ist. **Es kann demnach geschlussfolgert werden, dass die Ausgangswerte auf Grundlage von ENOB:dataNWG für den Strombereich nicht als repräsentativ für den Nichtwohngebäudebestand angesehen werden sollten.**

Zielparameter – Abgleich mit Leitszenario der dena-Leitstudie

Einordnung der Endenergieverbräuche für Strom und Gas

In der dena-Leitstudie (2021) wird der GHD-Sektor nur kurz beleuchtet, indem die Entwicklung der Endenergieverbräuche von 2020 bis 2045 dargestellt wird. Dabei sind jedoch auch die Anwendungsbereiche Prozesswärme, mechanische Energie und Prozesskälte mit berücksichtigt. Insgesamt kommt es zu einem Rückgang des Endenergieverbrauchs von 360 TWh in 2020 um ca. 30 % auf 226 TWh in 2045. Dabei liegt der Endenergieverbrauch von Strom mit 147 TWh schon 2020 deutlich höher als der von gasförmigen Energieträgern mit 99 TWh. Der Endenergieverbrauch von Strom steigt minimal auf 158 TWh an, während der von gasförmigen Energieträgern auf 43 TWh zurückgeht. Wie bereits bei den Ausführungen zum Startjahr beschrieben, liegt die Bilanz der Bottom-up-Berechnung der Zielparameter in 2020 für die Dienstleistungsgebäude über diesen Werten (obwohl Prozesswärme, Prozesskälte und mechanische Energie nicht enthalten sind) mit insgesamt 399 TWh Endenergie, davon 175 TWh Strom und 132 TWh Gas. **Bis 2045 sind diese aus den Zielparametern ermittelten Werte jedoch aufgrund der vorgegebenen Effizienzsteigerungen so stark rückläufig (bei Strom und Wärme), dass sie alle unter den Werten des dena-Szenarios liegen** mit insgesamt 189 TWh Endenergie, davon 126 TWh Strom und 38 TWh Gas.

Einordnung der Treibhausgasemissionen

Eine weitere Einordnung der Zielwerte lässt sich hinsichtlich der gesamten Treibhausgasemissionen durchführen. Diese betragen im Jahr 2045 mit den vorgegebenen Zielparametern 1,01 Mio. $t_{CO_2-äq}$ durch Wärmeanwendungen und 0,13 Mio. $t_{CO_2-äq}$ durch den Nutzerstrom für alle Dienstleistungsgebäude⁴². Im Gutachten zur dena-Leitstudie, werden in 2045 2 Mio. $t_{CO_2-äq}$ im Gebäudesektor und 3 Mio. $t_{CO_2-äq}$ im Energiesektor, die

⁴² Hier werden nur die Dienstleistungsgebäude aus Tabelle 2-1 für den Vergleich herangezogen, da angenommen wird, dass die „Produktions- und ähnlichen Gebäude“ vorwiegend im Industriesektor bilanziert werden und somit nicht in den Vergleich mit Ergebnissen zum Gebäudesektor einbezogen werden sollten.

nach dem Verursacherprinzip dem Gebäudesektor zuzurechnen sind, bilanziert. Diese Bilanz umfasst aber auch Wohngebäude. Berücksichtigt man, dass heute der GHD-Bereich etwa ein Viertel der gesamten Emissionen im Gebäudesektor ausmacht, decken sich die Zahlen nahezu (Bottom-up: 1,14 Mio. $t_{CO_2-Äq}$ gegenüber Top-down (aus der dena-Leitstudie): ca. 1,25 Mio. $t_{CO_2-Äq}$ im GHD-Sektor).

Einordnung anhand von Sanierungsrate und -tiefe aus dem Leitszenario

Abschließend kann eine grobe Einordnung der Zielparameter für den Nutzwärmeverbrauch auf Basis von Sanierungstiefe und -rate in den Szenarien erfolgen. Im dena-Leitszenario wird über den Zeitraum 2020 bis 2045 eine mittlere Sanierungsrate von 1,73 Vollsanierungs-Äquivalenten pro Jahr erreicht. Die Sanierungstiefe liegt dabei ab 2040 auf EG-55-Niveau. In den Jahren davor erfolgt auch eine anteilige Sanierung auf EG-70-Niveau und bis 2030 sogar auch auf EG-85-Niveau. Anhand der Fallbeispiele konnte ermittelt werden, dass bei den Sanierungen auf EG-55-Niveau etwa 60 % Nutzwärme (Raumwärme und TWW) gegenüber dem Ausgangszustand im Altbau und ca. 50 % gegenüber dem Ausgangszustand im Zwischenbau (Baualter 1979–2009) eingespart werden können. **Würde über einen Zeitraum von 25 Jahren konstant mit einer Sanierungsrate von 1,73 % nur der Altbaubestand auf EG-55-Niveau saniert werden, ergäbe sich eine Reduktion um ca. 26 %.** Dabei sind jedoch Effekte durch Neubau und Abriss, die diese Reduktion erhöhen würden, noch nicht mit berücksichtigt. **Die in Tabelle 2-2 dargestellte Reduktion ist jedoch bei den Dienstleistungsgebäuden mit 56 % mehr als doppelt so hoch.**

Fazit

Die Zielparameter zur Reduktion der Treibhausgasemissionen passen gut zu den Entwicklungen aus den Szenarien. Die Zielparameter zum Nutzwärmeverbrauch erscheinen jedoch deutlich ambitionierter (etwa doppelt so große Minderung), als dies aus den Ergebnissen der dena-Leitstudie zu Sanierungsrate und -tiefe zu erwarten wäre. Gründe hierfür können sein, dass die Restemissionen der Energieträger im Verhältnis zu den Szenarien zu hoch sind, die Entwicklung der Jahresnutzungsgrade der Energieträger zu gering angesetzt sind oder der Anteil von Energieträgern am Energieträgermix mit hohen Restemissionen (wie etwa methanbasierte Gase) höher geschätzt wurde, als er in den Szenarien ist (z.B. indem Gaskessel in den Szenarien vor allem in Gebäuden mit geringen Nutzwärmebedarfen eingesetzt werden, während sie in den Bottom-up-Berechnungen gleich verteilt sind). Würden beispielsweise mehr Wärmepumpen und mehr Fernwärme in 2045 eingesetzt, wie dies z.B. in Luderer et al. 2021 der Fall ist, wären bei sonst gleichen Annahmen die Anforderungen für den Nutzwärmeverbrauch geringer.

Insgesamt könnten sich jedoch die potenziellen Überschätzungen des Nutzwärmeverbrauchs im Startjahr und die sehr starke Reduktion etwa ausgleichen, sodass die langfristigen Zielparameter gut zu den Szenarien passen. Auf jeden Fall sollten eine enge Begleitung der ersten ESC-plus-Projekte, die diese Zielparameter anwenden, und ggf. eine Nachevaluation der Zielparameter erfolgen. **Regelmäßig – mindestens im Fünfjahresabstand der Stützjahre – sollte regulär eine Überarbeitung der Zielparameter anhand aktueller Szenarien durchgeführt werden.**

Zielparameter – Abgleich mit Literatur

Einordnung der Treibhausgasemissionen für Wärmeanwendungen

Die Zielparameter für die Treibhausgasemissionen weichen nur minimal von den Werten, die in der Literatur aufgeführt werden, ab (siehe Tabelle 0-10 in Anhang A). ifeu et al. 2021 schlagen vor, bis 2038 einen Wert von $12 \text{ kg}_{CO_2-Äq}/\text{m}^2\text{a}$ zu erzielen. Hier werden bereits 2035 durchschnittlich $12,5 \text{ kg}_{CO_2-Äq}/\text{m}^2\text{a}$ vorgegeben. Auch der

von Kienzlen 2021 angestrebte Wert von $6 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-äq}}/\text{m}^2\text{a}$ bis 2040 wird in der hier aufgeführten Berechnung mit durchschnittlich $4,6 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-äq}}/\text{m}^2\text{a}$ leicht unterschritten. **Dementsprechend erscheinen die berechneten Treibhausgasemissionswerte konsistent mit den Angaben in der Literatur.**

Einordnung der Energieverbräuche

Der Vergleich der Zielparame-ter zum Energieverbrauch bringt weniger eindeutige Ergebnisse, insbesondere da sich die Angaben auf verschiedene Energiebezugsgrößen beziehen. So wird der Vorschlag in der Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) der EU, 2030 in Bürogebäuden weniger als $85 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ an Primärenergie zu verbrauchen (Europäische Kommission 2018), je nach Primärenergiefaktoren erreicht, kann aber nicht ohne weiteren Aufwand korrekt eingeordnet werden. In ifeu et al. 2021 werden zwei verschiedene Werte aus anderen Quellen zusammengefasst. Der Vorschlag, die Endenergie unter $75 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ zu senken (ohne Zeitangabe), wird hier mit $68 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ bereits 2035 als Nutzenergieverbrauch unterschritten. Hierbei muss aber ebenfalls beachtet werden, dass ein Vergleich von Nutz- und Endenergie vorliegt. Dagegen wird das Ziel, ab 2025 bei Sanierungen bereits auf $50 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ zu kommen, in den hier vorgeschlagenen Zahlen (2025 mit $88 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$) nicht erreicht. Auch der von Kienzlen 2021 angestrebte Wert von $45 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ Nutzenergieverbrauch ist ambitionierter. Zu beachten ist jedoch, dass es sich bei diesen Werten um Zielgrößen für einzelne Gebäude handelt. Bei den Zielparame-tern aus Tabelle 2-2 handelt es sich um Parameter für einen repräsentativen Gebäudepool, der auch unsanierte Gebäude (mit abnehmendem Anteil) enthält, sodass diese Parameter stets höher liegen werden als Zielgrößen für Einzelgebäude. Wobei dieser Unterschied immer geringer wird, je mehr Gebäude im Pool saniert sind, d.h. je weiter er in der Zukunft liegt.

Im Leitfaden ESC für kommunale Gebäude der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA-BW) sollen Schulen, je nach Gebäudegröße, 105 bzw. $90 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{NGFa}}$ Endenergie Wärme beziehen (KEA 2018). Diese Werte sollen hier für Schulgebäude bereits 2030 mit $86 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ unterschritten werden. Der Vergleichswert für Strom liegt bei $10 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{NGFa}}$, was in den hier aufgeführten Werten ($22 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ für 2020 auf $14 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ in 2045) nicht erreicht werden muss. Dabei ist jedoch nicht klar, auf welchen Bilanzraum sich die Werte beziehen, z.B. ob der Nutzerstrom wie hier berücksichtigt wird. Abschließend ist zu erwähnen, dass der Leitfaden Vergleichswerte von Endenergie für Energieausweise aufführt, die 2015 veröffentlicht wurden und sich nicht auf Netto-Treibhausgasneutralität beziehen. **Die Einordnung der Literaturwerte ergibt kein eindeutiges Ergebnis und variiert je nach Studie und Energiebezugsgröße.** Ein korrekter Abgleich zwischen Primär- und End- bzw. Nutzenergie sowie Energieverbrauch und -bedarf benötigt eine Umrechnung, die denselben Annahmen unterliegt und aktuell nicht gegeben ist, und kann deswegen hier nicht abschließend durchgeführt werden.

2.5 Empfehlungen für den Umgang mit grauen Emissionen

Definition und Einordnung grauer Emissionen

Zur Beschreibung von (Netto-)Treibhausgasneutralität zählt auch das Aufkommen sämtlicher klimarelevanten Treibhausgasemissionen, die direkt oder indirekt im Laufe des Lebens eines Gebäudes anfallen. Graue Emissionen sind als Teil von Scope-3-Emissionen zu verstehen, also alle indirekt entstandenen, vorgelagerten und nachgelagerten Treibhausgasemissionen, die nicht in Scope 1 oder 2 erfasst werden. Im folgenden Abschnitt wird die Rolle der grauen Energie und der grauen Emissionen genauer betrachtet und es werden Optionen, wie die Reduktion grauer Emissionen bei der Gestaltung netto-treibhausgasneutraler Nichtwohngebäude Beachtung finden kann, aufgezeigt.

Zunächst wird zwischen grauer Energie und grauen Emissionen unterschieden. Graue Energie ist der Energieaufwand, der über den gesamten Lebenszyklus für Herstellung, Transport, Lagerung, Rückbau und Entsorgung der in einem Gebäude eingesetzten Materialien benötigt wird (dena 2022). Graue Emissionen sind die Treibhausgasemissionen, die aus dem nicht erneuerbaren Energieverbrauch und den verbundenen prozessbedingten Emissionen resultieren. Sie können über das globale Treibhausgaspotenzial (engl. Global Warming Potential, GWP) quantifiziert werden (dena 2022). Da graue Emissionen hier nicht mit in die Bildung der Zielparameter für den Nichtwohngebäudebereich einbezogen wurden (siehe Kapitel 1.2), wird folgend eine Auswahl an alternativen (und frei verfügbaren) Methoden aufgezeigt, mit denen sich freiwillig auch der beachtliche Anteil dieser Emissionen erfassen und reduzieren lässt.

Bestehende Zertifizierungssysteme, Gütesiegel und Bewertungssysteme

Weltweit existiert eine Vielzahl an Zertifizierungssystemen und Qualitäts- oder Gütesiegeln für nachhaltige Gebäude (Green Building), die auf verschiedene Nutzungsarten (u.a. Wohnen, Bildungsbauten, Büro- und Verwaltungsbauten, Versammlungsstätten) und Bauvorhaben (Neubau, Sanierung, Rückbau) zugeschnitten sind. Bei vielen dieser Green-Building-Zertifizierungen und Gütesiegel ist es erforderlich, eine Lebenszyklusanalyse (LCA) durchzuführen, die auch graue Emissionen miteinbezieht. In Deutschland existieren das System der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) und das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG). Das staatliche QNG und das BNB wurden für Gebäude der öffentlichen Hand (für Bundesgebäude verpflichtend) entwickelt.⁴³

Die Lebenszyklusanalyse (LCA)

Eine LCA kann entweder selbst durchgeführt oder in Auftrag gegeben werden. Hierbei kann als Orientierung der GWP-Grenzwert für „klimafreundliche“ Gebäude des QNG herangezogen werden. Die Erfassung und Reduktion der grauen Emissionen würde in diesem Fall in Eigenverantwortung erfolgen und die Möglichkeiten eines einheitlichen Nachweismechanismus sind beschränkt.

Das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) und das Bewertungssystem der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)

Das BNB und das DGNB unterscheiden sich in der Anzahl an Systemvarianten. Die vier Systemvarianten des BNB (Büro- und Verwaltungsgebäude, Unterrichtsgebäude, Laborgebäude, Außenanlagen) finden hauptsächlich in öffentlichen Nichtwohngebäuden Anwendung. Alle BNB-Systemvarianten stehen für das Modul „Neubau“ zur Verfügung, für Büro- und Verwaltungsgebäude sowie Unterrichtsgebäude existiert zusätzlich noch das Modul „Komplettmodernisierung“. Die Bewertungsmethodik des DGNB und die des BNB sind sich sehr ähnlich. In beiden Systemen sind für eine Zertifizierung unterschiedliche Kriterien zu erfüllen, die in sechs Hauptkriteriengruppen eingeteilt wurden: „Ökologische Qualität“, „Ökonomische Qualität“, „Soziokulturelle Qualität“, „Technische Qualität“, „Prozessqualität“ und „Standortqualität“. Für jedes Kriterium wurden je nach Umfang Teilkriterien festgelegt und es wurde eine Bewertungsmethodik eingeführt. Darüber hinaus wurden Ziel-, Grenz- und Referenzwerte definiert und Regeln für die Nachweisführung aufgestellt. Je nach Erfüllungsgrad der Anforderungen können unterschiedliche Qualitätsstufen pro Kriterium erreicht werden, für die das Gebäude Punkte erhält, die im Anschluss je nach Relevanz für die Nachhaltigkeit eines Gebäudes unterschiedlich gewichtet werden. Am Ende eines Zertifizierungsprozesses erhält das Gebäude eine Gesamtpunktzahl, mit der es je nach Erfüllungsgrad und Gewichtungen eine Endnote bekommt, die es für unterschiedliche Stufen eines Qualitätsstandards qualifiziert (z. B. Bronze, Silber oder Gold und beim

⁴³ Weiterführende Informationen unter www.nachhaltigesbauen.de

DGNB zusätzlich Platin). Die Gültigkeit eines DGNB-Zertifikats hängt von der verwendeten Systemvariante ab: Ein Neubau-Zertifikat ist beispielsweise unbegrenzt gültig, ein DGNB-Zertifikat für Gebäude im Betrieb ist in der Regel maximal drei Jahre gültig. Beim BNB wird es ähnlich gehandhabt: Das Bewertungsergebnis ist normalerweise unbefristet, jedoch maximal bis zur nächsten größeren Modernisierungs- oder Umbaumaßnahme gültig.

Die Green-Building-Zertifizierung

Eine freiwillige Green-Building-Zertifizierung kann dazu beitragen, dass graue Emissionen in der LCA berechnet werden und bei der Wahl der Baustoffe und Produkte auf solche mit niedrigem GWP zurückgegriffen wird. Die LCA von Bauteilen, Bauteilkomponenten und einzelnen Bauteilschichten lässt sich sowohl beim BNB als auch beim DGNB der Hauptkriteriengruppe „Ökologische Qualität“ zuordnen. Die Kriterien der restlichen fünf Hauptkriteriengruppen haben keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die grauen Emissionen eines Gebäudes. Da eine Green-Building-Zertifizierung mit zusätzlichen Kosten für Zertifizierung und Beratung verbunden ist und nur ein Teil der Bewertungskriterien für die Betrachtung der grauen Emissionen eine Rolle spielt, sollten Aufwand und Nutzen einer Zertifizierung für die Reduzierung der grauen Emissionen gegenübergestellt werden. Es sollten jedoch auch noch weitere Vorteile einer Green-Building-Zertifizierung betrachtet werden, wie z.B. die Wertsteigerung der Immobilie durch ein Zertifikat (DGNB 2020; BBSR 2019; Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - DGNB e.V. 2018).

Das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)

Das QNG⁴⁴ ist ein Gütesiegel, das einen Nachweis für die Erfüllung allgemeiner und besonderer Anforderungen an die ökologische, soziokulturelle und ökonomische Qualität eines Gebäudes erfordert. Es stellt im Unterschied zu den Green-Building-Zertifizierungen kein eigenes Bewertungssystem zur Verfügung, sondern baut auf den in Deutschland bereits eingeführten Anforderungen und Zielsetzungen von Bewertungssystemen anerkannter Systemanbieter auf (derzeit akzeptierte Bewertungssysteme sind verschiedene Systemvarianten des DGNB und des BNB⁴⁵). Letztlich ist das QNG seit Juli 2021 eine Voraussetzung für die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) und dient zum Nachweis und als Instrument der Qualitätssicherung. Das QNG gibt zusätzlich spezifische Grenzwerte für Emissionen von gebäudebezogenen Emissionsanteilen für Komplettmodernisierungen vor. Es definiert die Bauweise des gebäudebezogenen Anteils (ohne Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energie) als „klimafreundlich“, sobald ein GWP von $9,5 \text{ kg CO}_2\text{-äq/m}^2_{\text{NRF-a}}$ bei einer Lebensdauer von 50 Jahren erreicht oder unterschritten wird (QNG 2022).

Emissionen einzelner Produkte und die Environmental Product Declaration (EPD)

Emissionswerte einzelner Produkte und Baustoffe (z. B. Dämmstoffe) bieten eine Alternative dafür, die Umweltbelastung eines Produkts quantitativ zu bewerten, beispielsweise durch die internationale Environmental Product Declaration (EPD)⁴⁶ einzelner Baustoffe. Diese beschreibt zwar konkrete Emissionen (GWP in $\text{kg CO}_2\text{-äq}$) in den einzelnen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes, stellt aber keine Anforderungen an die Produktqualität. Das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen hat auf der Online-Plattform ÖKOBAUDAT⁴⁷ eine vereinheitlichte Datenbasis für die LCA von Bauwerken zur Verfügung gestellt, auf der sich generische und EPD-Datensätze zu relevanten Bauprodukten finden lassen.

⁴⁴ Ausführliche Beschreibung unter <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/beg/siegelvarianten-bewertungssysteme/>

⁴⁵ Aktuelle Siegelvarianten und akzeptierte Bewertungssysteme unter: <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/beg/siegelvarianten-bewertungssysteme/>

⁴⁶ <https://www.environdec.com/>

⁴⁷ <https://www.oekobaudat.de/>

Fazit zur Berechnung grauer Emissionen im ESC plus

Eine Green-Building-Zertifizierung kann ein strukturierter und zielführender Schritt auf dem Weg zu einem klimaneutralen Nichtwohngebäude sein, wenn für die Entscheider bereits feststeht, dass eine ambitionierte Zielerreichung angestrebt werden soll. Auf diese Weise kann eine Green-Building-Zertifizierung dabei unterstützen, die Nachhaltigkeit eines Gebäudes ganzheitlich in sämtlichen Lebensphasen zu steigern. Falls man sich für eine Green-Building-Zertifizierung ausschließlich aus dem Grund entscheidet, graue Emissionen eines Gebäudes zu erfassen, könnte dies zu weit führen, da sie innerhalb des Kriteriums „Ökologische Qualität“ in der LCA nur einen Teil einnehmen und im Gesamtbild der Anforderungen nur einen Bruchteil ausmachen. Die Erstellung einer LCA und die Verpflichtung zur Einhaltung spezifischer Grenzwerte für sämtliche Treibhausgasemissionen scheint im Rahmen eines ESC plus ein gangbarer Kompromiss zu sein. Somit werden keine Erwartungen an zusätzliche Qualitäten eines Gebäudes gestellt, die über das Ziel der Dekarbonisierung hinausgehen (z. B. Prozessqualität, soziokulturelle Qualität etc.). Wer für seine Sanierungsmaßnahmen eine Förderung im Rahmen der BEG in Betracht zieht⁴⁸, kann sich für die „Nachhaltigkeits-Klasse“ seines Gebäudes entscheiden und müsste auf diese Weise den Nachweis über den Erhalt eines QNG erbringen. Die Betrachtung und die Reduktion der grauen Emissionen würden so automatisch sichergestellt und die Ergebnisse der LCA könnten für das ESC plus bereitgestellt werden. Das wäre ein zielführendes Instrument auf dem Weg zu klimaneutralen Nichtwohngebäuden im Bestand. Gerade für Kommunen lohnt sich die Überlegung, da Zuschüsse bis zu 40 % möglich sind. Langfristig sollte eine Methodik für praxisnah anwendbare Zielparameter zur Berücksichtigung der grauen Emissionen in den Sanierungsprozessen entwickelt werden.

2.6 Anwendung der Zielparameter bei Gebäudepools

Warum sich die Bildung von Gebäudepools für Sanierungsmaßnahmen eignet

Beim ESC plus werden in der Regel ganze Gebäudepools energieeffizient saniert. Ein umfassender und regelmäßig aktualisierter Leitfaden⁴⁹ bietet vorrangig öffentlichen, aber auch privaten Auftraggebern Unterstützung bei der Umsetzung von Contracting-Vorhaben. Durch die Poolbildung soll vorrangig die Möglichkeit zur Flexibilität in der Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen geschaffen werden. Aber auch die Wirtschaftlichkeit von Sanierungsvorhaben kann erhöht werden, indem verschiedene Maßnahmen gebündelt und Synergien genutzt werden.

⁴⁸ Weitere Informationen zur BEG: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude/>

⁴⁹ https://www.kompetenzzentrum-contracting.de/fileadmin/Contracting/Bilder/Publicationen/Dokumente/2019_DENA_BR_Praxisleitfaden-Energiespar-Contracting_web-Bf.pdf

Hinweise zur Bildung eines Gebäudepools mit einem gemeinsamen Einsparziel

- Ein unmittelbarer räumlicher Zusammenhang der einzelnen Gebäude im Gebäudepool ist nicht notwendig, aber sinnvoll (beispielsweise aufgrund von gemeinsamer Energieversorgung)
- Die Anzahl der Gebäude im Pool ist relativ frei wählbar (abhängig z. B. von Einsparpotenzial, Entfernung, Nutzeranzahl etc.).
- Wichtig ist die Höhe des Gesamtenergieverbrauchs sowie des Einsparpotenzials (im Pool häufig gemittelt).
- Alle im Pool enthaltenen Gebäude sind im Eigentum eines Auftraggebers.

Um Flexibilität in der Planung und Umsetzung von Maßnahmen innerhalb eines Gebäudepools zu gewährleisten, wird ein Mittelwert als Zielparame-ter berechnet, den der gesamte Gebäudepool erreichen sollte. Dadurch können Gebäude mit unterschiedlichen Voraussetzungen für Energieeinsparungen so saniert werden, dass alle Gebäude den Zielwert erreichen (z. B. einzelne Gebäude müssen so weniger, andere dafür mehr saniert werden). Die Vorgabe eines Zielparame-ters für den **Nutzenergieverbrauch** und die **Treibhausgasemissionen** eines gesamten Pools (spezifischer Mittelwert) konkretisiert demnach die Klimaschutzambitionen einer Kommune für ihre Nichtwohngebäude. Dies ermöglicht eine Zielerreichung der **Netto-Treibhausgasneutralität** des Nichtwohngebäudesektors, wie in Kapitel 1.3 definiert. Wichtig bei der Zielwertbildung für einen Pool ist jedoch die Beachtung der gesetzlichen Mindeststandards für Einzelgebäude (siehe Anhang C).

Berechnung eines spezifischen Mittelwerts für einen Gebäudepool

Zur Berechnung des spezifischen mittleren Zielparame-ters für den **Nutzenergieverbrauch** und die **Treibhausgasemissionen** eines Gebäudepools eignet sich eine Berechnung aus nutzungsabhängigen Zielparame-tern für Einzelgebäude unter Berücksichtigung der Flächenanteile. Hierfür werden die in Kapitel 2.2 berechneten nutzungsartspezifischen Zielparame-ter genutzt und je nach Zusammensetzung des Pools und der Flächenverteilung der Gebäudearten in einen Pool-bezogenen Zielwert umgerechnet. Die Ermittlung eines spezifischen Mittelwerts für einzelne Gebäudepools erfolgt demnach entsprechend folgender Formel:

$$ZP_{\text{Pool}} = \frac{ZP_{\text{NA1}} \cdot \text{NGF}_1 + ZP_{\text{NA2}} \cdot \text{NGF}_2 + \dots}{\text{NGF}_{\text{Pool}}}$$

ZP bezeichnet den Zielparame-ter für den Energieverbrauch oder die Treibhausgasemissionen (aus Kapitel 2.2) und **NGF** die Fläche eines Gebäudes. Der Index **Pool** steht für die Gesamtheit der betrachteten Gebäude und **NA** für die entsprechend zugeordnete Nutzungsart eines Gebäudes (nach Gebäude-Hauptfunktion in Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2). Abbildung 2-4 verdeutlicht beispielhaft die Berechnung eines spezifischen Mittelwertes für einen Gebäudepool mit verschiedenen Nutzungsarten.

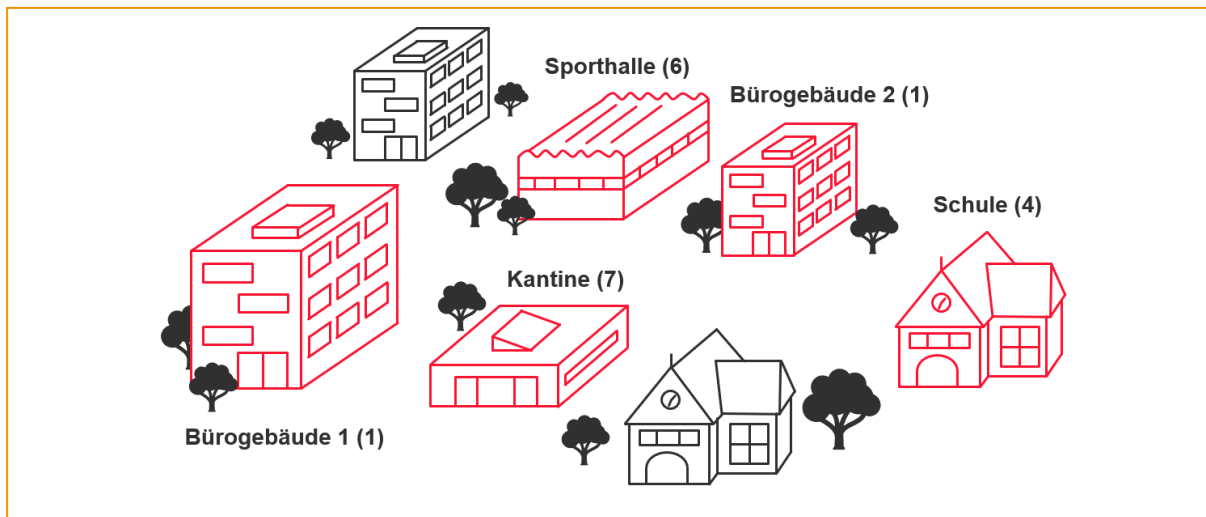


Abbildung 2-4 Beispiel für die Bildung eines Gebäudepools bestehend aus mehreren öffentlichen Nichtwohngebäuden (rot markierte Gebäude sind Teil des Gebäudepools) mit nutzungsspezifischen Zielparametern (Ziffern in Klammern beschreiben Gebäude-Hauptfunktion aus Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2). Sie können, müssen aber nicht im räumlichen Zusammenhang stehen.

Beispielrechnung für die Mittelwertberechnung eines Gebäudepools

Ein Gebäudepool in einer Kommune, bestehend aus insgesamt fünf Gebäuden, soll saniert werden. Darin enthalten sind zwei Bürogebäude (1), eine Schule (4), eine Sporthalle (6) und ein Kantinegebäude (7). Die Zielparameter für den Nutzenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen für das Jahr 2045 in Abhängigkeit von der Nutzungsart (siehe Gebäude-Hauptfunktion) können Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2 entnommen werden. Für jedes Gebäude, unterschieden nach jeweiliger Nutzungsart, werden nun die Flächenanteile (Nettogrundfläche) benötigt. Daraus ergibt sich folgende Berechnung für den spezifischen Mittelwert für den Nutzwärmeverbrauch (andere Zielparameter analog):

$$ZP_{\text{Pool}} = \frac{ZP_1 \cdot NGF_{\text{Büro1}} + ZP_1 \cdot NGF_{\text{Büro2}} + ZP_4 \cdot NGF_{\text{Schule}} + ZP_6 \cdot NGF_{\text{Sporthalle}} + ZP_7 \cdot NGF_{\text{Kantine}}}{A_{\text{Pool-Gesamt}}}$$

$$= \frac{40 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \cdot 5000\text{m}^2 + 40 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \cdot 850\text{m}^2 + 55 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \cdot 3000\text{m}^2 + 63 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \cdot 400\text{m}^2 + 63 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \cdot 610\text{m}^2}{5000\text{m}^2 + 850\text{m}^2 + 3000\text{m}^2 + 400\text{m}^2 + 610\text{m}^2} \sim 47 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$$

Der berechnete Zielwert von **47 kWh/m²a** für den Nutzwärmeverbrauch gilt für den gesamten Gebäudepool. Demnach können bestimmte Gebäude weniger, dafür müssen andere mehr saniert werden – angepasst an die jeweils individuellen Gegebenheiten der Gebäude. Jedoch ist es ratsam, die Sanierung so ambitioniert wie möglich durchzuführen und frühzeitig die Zielparameter für 2045 anzustreben.

3 Fazit

Diese Studie liefert für die Zielgruppe „Eigentümer öffentlicher Nichtwohngebäude“ einen wichtigen Baustein einer „smarten“ Zielvorgabe: messbare, jahresscharfe Zielparameter für Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch, die ein öffentliches Nichtwohngebäude mit spezifischer Nutzungsform nach einer Sanierung erreichen muss, damit es im Einklang mit dem Klimaschutzgesetz und einem klimaneutralen Energiesystem in Deutschland im Jahr 2045 steht.

In diesem Zuge wurde eine Definition der Klimaneutralität (Treibhausgasneutralität) erarbeitet und es wurden wichtige Einflussfaktoren (z. B. Bilanzgrenzen, graue Emissionen) zu deren Erreichung identifiziert. Zudem konnten unterschiedliche Ambitionsniveaus bestimmt sowie nutzungsspezifische Zielparameter für den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen hergeleitet werden. Diese Aspekte und Kennzahlen wurden mit relevanten Akteurinnen und Akteuren aus Wissenschaft, Praxis und Politik in Workshops diskutiert. Zusammenfassend lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Es gibt verschiedene Ambitionsniveaus und Defossilisierungspfade, die aus dem Begriff „Klimaneutralität“ abgeleitet werden können.
- Das Klimaschutzgesetz liefert mit sektorspezifischen Vorgaben eine Grundlage für die Defossilisierung des Gebäudebestands, diese muss jedoch wegen verschiedener Bilanzierungsverfahren (Quellprinzip vs. Verursacherprinzip) für eine praktische Anwendung angepasst bzw. erweitert werden. Außerdem kann es als Minimalanforderung zur Erreichung der Treibhausgasneutralität verstanden werden. Andere Ansätze, z. B. die Paris-konforme Herleitung von Zielpfaden, liefern deutlich ambitioniertere Zielwerte, wie die Einordnung verschiedener Zielpfade in Kapitel 1.3 zeigt. D. h. besonders ambitionierte Kommunen könnten sich auf dieser Grundlage die Zieljahre 2028 (1,5-°C-Ziel) und 2034 (1,75-°C-Ziel) für das Erreichen ihrer Klimaschutzziele im Gebäudebestand setzen.
- Die Festlegung von Zielparametern für einen treibhausgasneutralen Gebäudebestand steht immer im Spannungsfeld zwischen politischen Anforderungen, eigenen Zielsetzungen, praktischer Anwendbarkeit und einer nachvollziehbaren und belegbaren wissenschaftlichen Herleitung.
- Es existieren verschiedene Parameter für die Anforderung an treibhausgasneutrale Nichtwohngebäude in der Praxis. **Als zentrale Zielparameter werden hier neben der Größe „flächenspezifische Treibhausgasemissionen“ (siehe Tabelle 2-1) noch weitere Anforderungen definiert, die sicherstellen, dass der Gebäudesektor einen nachweisbaren Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauchs leistet. Diese weiteren Anforderungen werden anhand des Nutzenergieverbrauchs für Wärme und des Endenergieverbrauchs für Strom (siehe Tabelle 2-2) definiert. Eine gemeinsame Bilanzierung von Strom und Wärme (z. B. anhand von Treibhausgasemissionen oder Primärenergie) ist in der Praxis zwar wünschenswert, wird jedoch nicht empfohlen, da die Werte für Strom deutlich größere Unsicherheiten aufweisen als die Werte für Wärme. Daher ist die Nutzung der Zielparameter für Strom in der Praxis zu prüfen und ggf. von einer Anwendung zur Anforderungsstellung abzusehen.**
- Es wurde in dieser Studie eine Methodik entwickelt, um praktisch anwendbare Zielparameter auf Gebäudeebene und Ambitionsniveaus zur Erreichung der Klimaneutralität auf nationaler Ebene, wie beispielsweise im Klimaschutzgesetz definiert, in Einklang zu bringen. Dazu wurden die aktuellsten verfügbaren Daten zur repräsentativen Abbildung des Nichtwohngebäudebestands aus dem Projekt

ENOB:dataNWG verwendet. Trotzdem gibt es erkennbare Abweichungen bei der Bottom-up-Modellierung dieser Daten zu den jährlich berichteten Daten des BMWK. Diese Abweichungen sind im Bereich Wärme weniger gravierend als im Bereich Strom. Die Einschätzung bestätigt sich auch beim Abgleich mit weiteren Werten aus der Literatur (z. B. Teilenergiekennwerte).

- Die angewendete Methodik überträgt die Ergebnisse der dena-Leiststudie mit einfachen Annahmen und Setzungen aus dem Leitszenario der dena-Leitstudie auf die Zielparameterbestimmung. Diese Setzungen sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet. Einerseits handelt es sich bei dem Leitszenario um ein Zielszenario und nicht um ein Business-as-usual-Szenario, d.h. es sind weitere (politische) Anstrengungen gegenüber den Rahmenbedingungen im Erstellungsjahr der Studie notwendig, um den Defossilierungspfad aus der Studie zu erreichen. Außerdem ist ungewiss, ob die dort beschriebenen Entwicklungspfade für verschiedene Technologien (z. B. Mix der erneuerbaren Energien und Hochlauf der Wasserstoffindustrie) so auch eintreten werden. Insbesondere der Hochlaufpfad von Wärmepumpen wird in vielen anderen Zielszenarien optimistischer und die Verfügbarkeit von Wasserstoff in Zukunft pessimistischer eingeschätzt. Letztendlich berücksichtigt die dena-Leitstudie auch nicht die aktuelle Energiekrise im Jahr 2022/23 und die daraus resultierenden veränderten Rahmenbedingungen, beispielsweise in Form von einer kurz- bis mittelfristigen Gasknappheit und starken Energiepreissteigerungen.
- Die Methodik ist außerdem sehr sensibel in Bezug auf minimale Änderungen. Insbesondere die Restemissionen im Gebäudesektor und die spezifischen Restemissionen der Energieträger haben großen Einfluss auf die Zielparameter (siehe Tabelle 2-2) zum Nutzwärmeverbrauch. Noch größere Unsicherheiten liegen bei dem Zielparameter „Endenergiebedarf Strom“ und somit auch dem Zielparameter „flächenspezifische Emissionen von Strom“ vor. Dies ist jedoch neben den Unsicherheiten bei den Restemissionen auch zu erheblichem Maße auf die Unsicherheit bei den Endenergieverbräuchen im Startjahr aufgrund großer Abhängigkeit von der realen Gebäudenutzung zurückzuführen.
- Ein robusterer Ansatz zur Herleitung der Zielparameter wäre die Nutzung der Informationen aus Ergebnissen von Szenarienrechnungen, beispielsweise der dena-Leitstudie, zu den Sanierungsraten und -tiefen in den Stützjahren. Eine darauf aufbauende Gebäudemodellierung für alle entsprechenden energetischen Ambitionsniveaus (z. B. EG 55 oder EG 40) für alle Nutzungsarten könnte robuste Zielparameter für flächenspezifische Emissionen und Nutzenergieverbräuche liefern. Dies würde jedoch einen höheren Aufwand durch eine große notwendige Anzahl an Simulationen bedeuten.
- Die Arbeit mit pauschalen Zielparametern für Gebäudepools wird in der Praxis nur bei hinreichend großen Pools funktionieren, in denen die Verbräuche und Emissionen sich durch ihre große Anzahl im Mittel den statistischen Werten aus den vorhandenen Daten zum Gebäudebestand (ENOB:dataNWG) annähern. Bei kleinen Pools besteht die Gefahr, dass einzelne Gebäude (insbesondere mit großen Energiebezugsflächen) so starken Einfluss auf den Mittelwert nehmen, dass die Erreichung der berechneten Pool-Zielparameter kaum möglich ist oder sehr leicht erreicht wird. In diesen Fällen wären ggf. relative Zielvorgaben (z. B. Minderung um X % gegenüber Ausgangsniveau) praktikabler. Ein solcher Ansatz sollte diskutiert werden. Grundlage wäre hierzu aber auch die o.g. Simulation einer Vielzahl von Sanierungsniveaus für alle Nutzungsarten.

Es ist daher noch weitere fortlaufende Arbeit und Evaluierung in der Praxis notwendig. Die hier vorgestellten Zielparameter dienen als erste Orientierung, sollten aber weiterentwickelt werden.

Anhang A

Tabelle 0-1: Übersicht zu Definitionen des Begriffs Klimaneutralität für den Gebäudesektor aus der Literatur

Studie / Richtlinie	Allgemeine Definition	Art	Bilanzierung / THG-Faktoren	Zielkorridor	Kompensation / graue Emissionen	Kriterien / Systemgrenzen
(UBA 2016)	Klimaneutralität ist prinzipiell dann erreicht, wenn der nicht erneuerbare Anteil des Primärenergiebedarfs (PENE) für die Raumkonditionierung 0 % beträgt. Von einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand im Sinne des Eckpunktepapiers Energieeffizienz (BMWi 2011) wird dann gesprochen, wenn der nicht erneuerbare Anteil des Primärenergiebedarfs (PENE) für die Raumkonditionierung um 80 % gegenüber dem Referenzjahr 2008 reduziert und der verbleibende, sehr geringe Endenergiebedarf überwiegend, also zu mehr als 50 %, aus erneuerbaren Quellen gedeckt wird.	Neubau & Bestand	Primärenergieaufwand Nutzenergie (Wärme, Kälte, Be- und Entfeuchtung, Luftförderung, Hilfsenergie, Beleuchtung), DIN V 18599:20113	2050	Ja / k.A.	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergiebedarfs (PENE) für die Raumkonditionierung wird um 80 % gegenüber dem Referenzjahr 2008 reduziert und der verbleibende, sehr geringe Endenergiebedarf wird überwiegend, also zu mehr als 50 %, aus erneuerbaren Quellen gedeckt.
(Pehnt et al. 2021)	Gemäß EPBD Art. 2a (langfristige Renovierungsstrategie), treibhausgasneutral = „klimaneutral“	Neubau & Bestand	Raumwärme, Warmwasser, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung (Haushaltsstrom nicht in Bilanzierung, Nutzerstrom ja); CO ₂ , CH ₄ sowie N ₂ O	2030, 2045	Ja / Ja (keine Ertüchtigung bis 2045)	Endenergie: EnEf-Klasse C = < 75 kWh/m ² a Nutzenergie: 50 kWh/m ² a (nach iSFP) Keine weitere Ertüchtigung bis 2045 (Klimaklassen A bis F nach Zeit erfüllen)
(Lützkendorf 2021)	Im Begriff „treibhausgasneutral“ werden Messgröße (THG) und Zielwert (null / netto-null) ausgedrückt, aber nicht die	Neubau & Bestand	Alle Treibhausgase (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, PFKW ...) gemäß KSG	Im Betrieb bis spätestens 2045 (Bestandsmittel)	Ja (Bilanzansatz, kein Export, Bedingung 2045) / Ja (Modernisierung)	Lützkendorf (2021) Netto-THG-neutral im Betrieb (= GEG: ET)

Studie / Richtlinie	Allgemeine Definition	Art	Bilanzierung / THG-Faktoren	Zielkorridor	Kompensation / graue Emissionen	Kriterien / Systemgrenzen
	Systemgrenzen. Empfohlen wird die Nutzung von Begriffen wie „Netto-Nullenergiehaus“ und „Netto-Nullemissionsgebäude“. Je nach Pfad jährlich abnehmendes nationales Restbudget, das unter Nutzung geeigneter Verteilprinzipien und Methoden den Sektoren sowie den Handlungs- und Bedürfnisfeldern zugeordnet werden muss.					Netto-THG-neutral in Betrieb und Nutzung Netto-THG-neutral im Lebenszyklus
(Lützkendorf und Frischknecht 2020)	Anforderungen an THG-Neutralität gelten für sämtliche Gebäude und Nutzungsarten -> ABER: spezifische Regelungen für einzelne Gebäude und Nutzungsarten erforderlich (konkrete Systemgrenzen, Regeln)	Neubau & Bestand	Alle Treibhausgase (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, PFKW ...) gemäß KSG	Zieleinführung 2025 zur Erreichung 2045	Ja (technisch vs. ökonomisch) / Ja (auch im Betrieb, Optimierung möglich)	Netto-THG-neutral im Betrieb (= GEG: ET) Netto-THG-neutral in Betrieb und Nutzung Netto-THG-neutral im Lebenszyklus
(Michalski et al. 2021)	Energieeinsatz verringern (Energieeinsparung), die verbleibende Energie möglichst effizient einsetzen (Energieeffizienz) und den verbleibenden Energiebedarf dekarbonisieren (EE)	Neubau & Bestand		2050	k.A./ Ja	Steigerung Sanierungsrate von 1 % auf mindestens 2 %, Erhöhung der Energieeffizienz > 50 %
(IEA 2021)	Zero-carbon-ready building is highly energy efficient and either uses renewable energy directly, or uses an energy supply that will be fully decarbonised by 2050	Neubau	Zero-carbon-ready building will become a zero-carbon building by 2050 (scope 1, 2)	2050	k.A. / Ja (net-zero emissions)	85 % of buildings zero-carbon-ready by 2050 (introduced 2030 in all regions), retrofit rates to 2.5 % by 2030
EU-Gebäude-richtlinie (EPBD)	Gemäß EU: Gleichgewicht zwischen Kohlenstoffemissionen und der Aufnahme von Kohlenstoff aus der Atmosphäre in Kohlenstoffsinken	Neubau & Bestand	NWG bis 2027 Klimaklasse F und bis 2030 E (worst 15 % = Sanierungsrate 2 %)	2030, 2040, 2050	Ja / Ja (Lebenszyklus)	Verringerung der THG-Emissionen in EU bis 2050 um 80–95 % im Vergleich zu 1990

Studie / Richtlinie	Allgemeine Definition	Art	Bilanzierung / THG- Faktoren	Zielkorridor	Kompensation / graue Emissionen	Kriterien / Systemgrenzen
(Kienzlen 2021)	Netto-null bedeutet, dass alle durch Menschen verursachten Treibhausgas-emissionen durch natürliche und künstliche Senken zu null ausgeglichen werden	Neubau & Bestand		Kommunen bis 2040	Ja, durch natürliche und künstliche Senken / k.A	80 % weniger gegenüber 2020, 45 kWh/m ² a (RW und TWW), > 80 % Anteil Erneuerbare, 6 kg/m ² a THG-Emissionen bis 2040

Tabelle 0-2 Daten zur Herleitung des KSG-konformen Zielpfads für netto-treibhausgasneutrale Nichtwohngebäude

	Ist 2021	Ziele KSG 2025	Ziele KSG 2030	Ziele dena 2035	Ziele dena 2040	Ziele dena 2045
Alle Sektoren (inkl. LULUCF)	750	643	446	277	153	0
Gebäudesektor absolut (Mio. t CO₂-äq)	115	92	67	45	21	2
Gebäudesektor relativ	100,0 %	80,0 %	58,3 %	39,1 %	18,3 %	1,7 %
Energiesektor absolut (Mio. t CO₂-äq)	247	201	108	51	12	n.a. (-8)
Energiesektor relativ	100,0 %	81,4 %	43,7 %	20,6 %	4,9 %	1,7 % ⁵⁰
Zielpfad Wärmebereitstellung (64 % Gebäudesektor, 36 % Energiesektor)	100,0 %	80,5 %	53,0 %	32,5 %	13,4 %	1,7 %
Zielpfad Nutzerstrom	100 %	65,8 %	24,9 %	10,0 %	2,6 %	0,5 %

⁵⁰ In den Ergebnissen der dena-Leitstudie werden im Jahr 2045 im energiewirtschaftlichen Sektor Emissionen von -8 Mio. t_{CO₂-äq} bilanziert. Da durch die Verwendung von Strom und Fernwärme in NWG keine negativen Emissionen entstehen (u.a. da die spezifischen Emissionsfaktoren in Tabelle 0-6 positiv bleiben), wurde zur Herleitung des Zielpfads in 2045 für den Anteil der im Energiesektor bilanzierten Emissionen der gleiche prozentuale Minderungswert wie für den Gebäudesektor von 1,8 % angesetzt.

Tabelle 0-3 Daten zur Beschreibung der verwendeten Gebäudetypologie und der zugehörigen Bedarfe bzw. Verbräuche

Gebäude-Hauptfunktion	Mittlere Energiebezugsfläche je Gebäude	Anzahl in Tsd.	Gesamte Energiebezugsfläche	Flächenspezifischer Wärmebedarf Heizung	Flächenspezifischer Wärmeverbrauch Heizung	Flächenspezifischer Wärmebedarf Trinkwarmwasser	Flächenspezifischer Kühlbedarf	Flächenspezifischer Endenergiebedarf Nutzerstrom
Einheit	m ²	Tsd.	Mio. m ²	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a
Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude (1)	1.603,4	306,9	492,1	93,5	88,7	1,5	-3,1	31,8
Gebäude für Forschung und Hochschullehre (2)	2.978,0	23,0	68,4	291,3	159,9	3,0	-3,2	32,4
Gebäude für Gesundheit und Pflege (3)	2.903,5	62,8	182,5	127,9	101,1	6,9	-3,7	42,9
Schule, Kindertagesstätte und sonstiges Betreuungsgebäude (4)	1.765,2	153,6	271,2	183,5	121,1	3,9	-3,4	21,8
Gebäude für Kultur und Freizeit (5)	851,6	140,7	119,8	154,7	110,7	2,3	-2,2	36,3
Sportgebäude (6)	1.391,0	78,2	108,8	180,4	119,9	23,4	-12,9	25,2
Beherbergungs-, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude (7)	727,8	269,8	196,3	166,6	115,0	28,8	-3,3	115,7

Gebäude-Hauptfunktion	Mittlere Energiebezugsfläche je Gebäude	Anzahl in Tsd.	Gesamte Energiebezugsfläche	Flächenspezifischer Wärmebedarf Heizung	Flächenspezifischer Wärmeverbrauch Heizung	Flächenspezifischer Wärmebedarf Trinkwarmwasser	Flächenspezifischer Kühlbedarf	Flächenspezifischer Endenergiebedarf Nutzerstrom
Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude (8)	1.296,9	666,5	864,3	35,6	67,8	1,2	0,0	45,2
Handelsgebäude (9)	2.173,1	187,1	406,6	91,1	87,8	4,3	-50,9	242,4
Technikgebäude (Ver- und Entsorgung) (10)	349,3	69,7	24,3	189,4	123,2	0,9	-33,6	222,7
Verkehrsbauwerke (11)	589,4	22,3	13,1	421,9	206,9	0,2	-8,5	27,0

Tabelle 0-4 Angenommene Verteilung der Energieträger in den Jahren 2020, 2030 und 2045

Jahr	2020			2030		2045	
Primärer Energieträger zur Wärmeerzeugung	Raumwärme - Dienstleistungsgebäude	Raumwärme - Produktions- und ähnliche Gebäude	Warmwasser - alle Gebäude	Raumwärme - alle Gebäude	Trinkwarmwasser - alle Gebäude	Raumwärme - alle Gebäude	Trinkwarmwasser - alle Gebäude
Gasförmige Energieträger	55,00 %	44,60 %	27,00 %	51,30 %	35,45 %	39,90 %	20,76 %
Heizöl	14,60 %	26,60 %	16,10 %	17,62 %	0,90 %	6,22 %	0 %
Biomasse (inkl. Holz/Pellets)	7,44 %	7,40 %	19,20 %	7,25 %	7,25 %	9,33 %	9,33 %
Kohle	0,03 %	0,10 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Elektrischer Strom (z. B. bei elektrischer Wärmepumpe)	6,00 %	7,70 %	33,40 %	21,24 %	48,62 %	46,63 %	60,59 %
Nah- oder Fernwärme	16,90 %	13,70 %	4,30 %	7,77 %	7,77 %	9,33 %	9,33 %

Tabelle 0-5 Angenommene Jahresnutzungsgrade der Energieträger

Jahr	2020			2030		2045	
Jahresnutzungsgrad	Raumwärme - Dienstleistungs- gebäude	Raumwärme - Produktions- und ähnliche Gebäude	Warmwasser - alle Gebäude	Raumwärme - alle Gebäude	Trinkwarm- wasser - alle Gebäude	Raumwärme - alle Gebäude	Trinkwarm- wasser - alle Gebäude
Strom	259,5 %		117,6 %	280,0 %	161,9 %	350,0 %	263,6 %
Fossil (Gas, Öl, Kohle)	88,7 %	93,4 %	75,0 %	siehe 2020	75,0 %	siehe 2020	75,0 %
Biomasse (inkl. Holz/Pellets)	85,0 %		75,0 %	85,0 %	75,0 %	85,0 %	75,0 %
Nah- oder Fernwärme	96,0 %		79,0 %	96,0 %	79,0 %	96,0 %	79,0 %

Tabelle 0-6 Angenommene spezifische Emissionsfaktoren der Energieträger

Energieträger	Methan-basierte Gase	Heizöl	Biomasse/Holz	Strom	Fernwärme
Anteil Vorketten und indirekte CO₂-äquivalente Emissionen	22 %	20 %	100	15 %	11 %
CO₂-äquivalente Emissionen (inkl. indirekter und Vorketten) [g/kWh]					
2020	246	318	27	474	299
2025	230	318	22	312	254
2030	214	318	16	149	209
2035	217	318	11	63	127
2040	136	50 ⁵¹	5	17	56
2045	22	0	0	3	9

⁵¹ Dieser Wert wurde im Rahmen des Projekts abweichend von den Daten des EWI im Rahmen der dena-Leitstudie (2021) festgelegt, da der Wert aus der dena-Leitstudie von 318 g/kWh zu einem Minimum des Zielparameters für den Nutzwärmeverbrauch in 2040 mit anschließendem erneuten Anstieg führen würde.

Tabelle 0-7 Zielparame-ter der maximalen kumulierten THG-Emissionen in den Stützjahren für den NWG-Bestand nach KSG-Ziel-pfad

Gebäude-Hauptfunktion	Zielparame-ter flächenspezifische THG-Emissionen gesamt (Wärme und Nutzerstrom) [kg _{CO2-äq} /m ² a]					
	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Jahr	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude (1)	40	30	17	9	4	0,5
Gebäude für Forschung und Hochschullehre (2)	59	46	27	16	6	0,8
Gebäude für Gesundheit und Pflege (3)	49	36	20	11	4	0,6
Schule, Kindertagesstätte und sonstiges Betreuungsgebäude (4)	44	34	21	12	5	0,6
Gebäude für Kultur und Freizeit (5)	49	37	21	12	5	0,6
Sportgebäude (6)	53	41	25	15	6	0,8
Beherbergungs-, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude (7)	106	77	41	22	8	1,2
Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude (8)	40	29	15	8	3	0,4
Handelsgebäude (9)	140	96	42	20	6	1,0
Technikgebäude (Ver- und Entsorgung) (10)	140	97	44	22	7	1,1
Verkehrsgebäude (11)	68	53	33	19	8	1,0
Flächengewichtetes Mittel (alle Gebäudearten)	63	45	23	12	5	0,6
Flächengewichtetes Mittel (Dienstleistungsgebäude⁵²)	73	52	27	14	5	0,7

⁵² Hierzu zählen die Gebäude aus der Tabelle mit den Hauptfunktionen 1 bis 7 und 9.

Tabelle 0-8 Ergebnisse der Berechnung der Fallbeispiele

Gebäudetyp	Energetisches Zielniveau	2020			2030	2045
		Nutzwärmeverbrauch (RW + TWW) inkl. Verteilung [kWh/m ² a]	Endenergie (H _u) RW + TWW [kWh/m ² a]	THG-Emissionen (RW + TWW) [kg _{CO2-äq} /m ² a]	THG-Emissionen (RW + TWW) [kg _{CO2-äq} /m ² a]	THG-Emissionen (RW + TWW) [kg _{CO2-äq} /m ² a]
Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude, Zwischenbau (1979–2009)	unsaniert	101	107	26	23	2,4
	GEG-Niveau	62	61	15	13	1,3
	EG-55-Niveau	47	18	9	3	0,1
Schule, Kindertagesstätte und sonstiges Betreuungsgebäude, Altbau (bis 1978)	unsaniert	173	205	50	44	4,5
	GEG-Niveau	85	83	21	18	1,8
	EG-55-Niveau	69	27	13	4	0,1
Sportgebäude (bis 1978)	unsaniert	213	255	63	55	5,6
	GEG-Niveau	97	97	24	21	2,1
	EG-55-Niveau	83	33	16	5	0,1

Tabelle 0-9 Abgleich der Startwerte aus ENOB:dataNWG mit den Teilenergiekennwerten. Zur Zuordnung der Nummern aus ENOB:dataNWG zur Bezeichnung der Gebäude-Hauptfunktion siehe Tabelle 2-1.

Geb.-Hauptfunktion data-NWG (siehe Tabelle 2-1)	Gebäudekategorie nach BMWK/BMI (2021)	Energiebezugsfläche (data-NWG)	Energiebezugsfläche (kum.)	TEK-Heizung	Faktor Heizung	Vergleichswert Heizung	Verbrauch RW data NWG	Abweichung	TEK Warmwasser	Verbrauch TWW data NWG	Abweichung	TEK Lüftung	TEK Beleuchtung	TEK Kälte	TEK Kälte Hilfsenergie	TEK Be- und Entfeuchtung	TEK Sonstiges	TEK Strom	Verbrauch Strom data-NWG	Abweichung
		m ²	Mio. m ²	kWh/m ² a	-	kWh/m ² a	kWh/m ² a	%	kWh/m ² a	kWh/m ² a	%	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	%
(1)	Bürogebäude	1.603,4	492,1	49,0	1,2	58,6	88,7	51 %	12,8	1,5	-88 %	7,3	16,6	6	4,3	0	0,9	35,1	31,8	-9 %
(2)	Hochschule und Forschung (allg.)	2.978,0	68,4	66,5	1,1	71,9	159,9	122 %	6,7	3,0	-56 %	13,3	11	3,4	2,2	3,8	1,2	34,9	32,4	-7 %
(3)	Gesundheitswesen (allg.)	2.903,5	182,5	55,7	1,1	60,5	101,1	67 %	15,3	6,9	-55 %	4,9	17,4	1,6	1,3	0	1,1	26,3	42,9	63 %
(4)	Schulen	1.765,2	271,2	49,3	1,2	58,1	121,1	108 %	22,4	3,9	-82 %	3,9	5,5	0,3	0,2	0	0,6	10,5	21,8	107 %
(5)	Kultureinrichtungen (allgemein)	851,6	119,8	55,9	1,3	74,5	110,7	49 %	7,5	2,3	-69 %	6,7	9	1,6	1,2	0,1	0,3	18,9	36,3	92 %
(6)	Sporteinrichtungen (allg.)	1.391,0	108,8	65,5	1,2	80,3	119,9	49 %	27,3	23,4	-14 %	6,4	14,5	0,6	0,6	0	1,9	24	25,2	5 %
(7)	Beherbergungsstätten (allg.)	727,8	196,3	52,1	1,4	71,3	115,0	61 %	86	28,8	-67 %	9,1	9,1	3,3	2,7	0	7	31,2	115,7	271 %
(8)	Gewerbliche und industrielle Gebäude (allg.)	1.296,9	864,3	38,7	1,2	48,0	67,8	41 %	12,6	1,2	-90 %	2,1	9,6	0,8	0,5	0	12,2	25,2	45,2	79 %
(9)	Kaufhäuser	2.173,1	406,6	47,9	1,1	54,5	87,8	61 %	7,6	4,3	-44 %	5,6	16,3	2,6	2	0	6,9	33,4	242,4	626 %
(10)	n.a	349,3	24,3																	

(11)	n.a	589,4	13,1																	
Flächen- ge- wich- tetes Mittel		1.387, 2				57,5	91,9	60 %	18,6	5,4	-71 %							27,2	73,4	170 %

Tabelle 0-10 Werte zur Erreichung der Netto-Treibhausgasneutralität für den Energiebedarf im Betrieb und zu den Treibhausgasemissionen aus der Literatur

Parameter	Spezifizierung	Art des Grenzwerts	Vorschläge eines Grenzwerts		
Elektrische Energie (Betrieb)	Beleuchtung	Effizienzklasse <i>oder</i> Wert für Endenergieverbrauch <i>oder</i> TEK	Heizenergie (Heizwärme und Warmwasser): 45 kWh/m ² a (Kienzlen 2021) 50 kWh/m ² a ab 2025 (ifeu et al. 2021)	Gesamtprimärenergieverbrauch als Nullemissionsgebäude (z. B. < 85 kWh/m ² a für Bürogebäude) ab 2030 bei umfassender Renovierung (Europäische Kommission 2018)	Endenergieeffizienzklasse < 75 kWh/m ² a (ifeu et al. 2021)
	Heizwärme				
	Lüftung				
	Klimatisierung / Kühlung				
	Warmwasser				
	Befeuchtung				
	Gebäudetechn. Systeme				
Thermische Energie (Betrieb)	Heizwärme				
	Warmwasser				
	Befeuchtung				
THG-Emissionen	Emissionen aus Energie (Scope 1 & 2)	Stufenweise <i>oder</i> lineare Absenkung	-14 % zum Vorjahr bis 2040 (ifeu 2022)	6 kg/m ² a bis 2040 (Kienzlen 2021)	Bis 2038 Klimaklasse B = < 12 kg _{CO2} /m ² a (ifeu et al. 2021)

Anhang B – Weitere relevante Nachhaltigkeitskriterien

Die Treibhausgasemissionen und der Energieverbrauch werden in dieser Studie als zentrale Zielparameter für eine Sanierung verwendet. Für das Ziel der Klimaneutralität sollten jedoch auch weitere Einflussgrößen betrachtet werden, die bisher oft noch keine wesentliche Rolle spielen. So sind zum einen neben der Treibhausgaskonzentration weitere relevante Nachhaltigkeitskriterien aus den sogenannten „Planetaren Grenzen“⁵³ relevant, da diese sich gegenseitig und damit auch die Klimastabilität beeinflussen (IPCC 2018). Zum anderen spielen verschiedene Faktoren eine Rolle, die in anderen Sektoren die Defossilisierung unterstützen oder generell Vorteile für eine zukünftige (Stadt-)Entwicklung bieten.

Es können zum Beispiel planetare Grenzen wie die Süßwassernutzung, die Landnutzung oder die Bedeutung für die Intaktheit der Biosphäre mit einbezogen werden. Außerdem kann durch die Bereitstellung von Fahrradstellplätzen die Nutzung von Fahrrädern erleichtert und damit können Emissionen gesenkt werden. Dies ist zwar nicht dem Gebäudesektor zurechenbar, jedoch ist die Infrastrukturmaßnahme am Gebäude zu errichten. In Tabelle 0-1 werden verschiedene Einsparkategorien, deren Ziel und Möglichkeiten der Umsetzung vorgestellt (ifeu 2022; ifeu et al. 2021; Europäische Kommission 2018; DGNB 2021; difu 2018). In verschiedenen Green-Buildings-Zertifikaten spielen einige der Kriterien bereits eine Rolle.

Tabelle 0-1 Vorschläge für weiterführende Parameter für einen nachhaltigen Gebäudebestand

Obere Zielkategorie	Konkretes Ziel	Umsetzung	Beispiele für Richtwerte aus der Literatur
Süßwasser	Senkung des Wasserverbrauchs	Senkung des Wasserverbrauchs im Gebäude, z. B. durch Regenwassernutzung (Toiletten-spülung oder Adiabate Kühlung) oder wasser-sparende Technik	BNB ⁵⁴ : Z = 0,33 * Referenzwert Trinkwasserverbrauch für Bürogebäude
Mobilität	Steigerung des Fahrradverkehrs	Installation von Fahrradstellplätzen am Gebäude	1 Stellplatz pro Pkw-Parkplatz (Europäische Kommission 2018, Art. 12)
Energie	Steigerung der Eigenerzeugung	Aufbau von PV-Anlagen auf Dächern	1 kW PV-Leistung / 10 m ² überbaute Grundfläche (ifeu 2022) ; mindestens 70 % der geeigneten Fläche mit PV (ifeu et al. 2021)
	Steigerung der Nutzung erneuerbarer Energien	Vorgabe von EE-Quoten für den Wärmeverbrauch	65 % Erneuerbare-Quote beim Heizen bzw. ambitionierter als diese Vorgabe (BMWK; BMWSB 2023)

⁵³ Planetare Grenzen: The planetary boundary (PB) concept, introduced in 2009, aimed to define the environmental limits within which humanity can safely operate. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1259855>

⁵⁴ <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/>

	Steigerung der Effizienz	Nutzung kreativer Lösungen zusätzlich zur technischen Dämmung (Verschattungssysteme, Fassaden- und Dachbegrünung, Abwärmernutzung, intelligente Systeme)	Grünordnungsplan Düsseldorf: mindestens 70 % der Dächer müssen mindestens extensiv begrünt sein Einbau digitaler Systeme zur energetischen Betriebs- und Verbrauchsoptimierung (ifeu et al. 2021)
Biodiversität	Steigerung der Biodiversität auf dem Grundstück	Pflanzung heimischer und neuer Arten auf dem Grundstück	DGNB ⁵⁵ : Objektbezogener Biotopflächenfaktor = 0,25 (Summe (Teilflächen * spezifischer Biotopflächenfaktor) * GRZ/Grundstücksfläche)
Flächennutzung	Verringerung der Flächenversiegelung	Verringerung der Flächenversiegelung z. B. durch Geschossaufstockungen oder Öffnen von geschlossenen Parkflächen	DGNB: Verringerung des Versiegelungsgrades um 1–20 %
Recycling	Ausweitung der Möglichkeit von Recycling	Verbesserung der Trennungsmöglichkeiten durch verpflichtende Aufstellung von Abfallinseln (difu 2018)	

⁵⁵ <https://www.dgnb-system.de/de/gebäude/sanierung/kriterien/>

Anhang C – Gesetzliche Mindestanforderungen für Einzelgebäude

Durch die spezifische Mittelwertbildung für einen Gebäudepool können hocheffiziente Gebäude die Bilanz verbessern, wobei andere Gebäude wiederum schwächeren Effizienzvorgaben entsprechen müssen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass einzelne Gebäude nicht zu ineffizient sind und den gesetzlichen Mindestanforderungen (GEG⁵⁶) entsprechen, die alle Gebäude zukünftig erfüllen müssen. Daneben sind neue Vorschläge in der Diskussion (EPBD⁵⁷). Zusätzlich verfolgt die Bundesregierung Ziele im Maßnahmenprogramm „Nachhaltigkeit“⁵⁸. Diese Vorgaben sind im Folgenden aufgelistet, reichen für einzelne Gebäude jedoch nicht für die Erreichung eines netto-treibhausgasneutralen Bestands aus.

Tabelle 0-1 Gesetzliche Mindestanforderungen für Einzelgebäude

	Anwendungsbereich	Enthaltende Vorgaben
Gebäudeenergiegesetz (GEG)	Für Sanierungen von Gebäuden	§ 50: Jahresprimärenergiebedarf $\leq 1,4$ * nach GEG-Anlage berechneter Referenzwert § 103: Jahresendenergiebedarf $\leq 1,4$ * Referenzwert
Vorschlag: Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)	Ziele für die Gesamteffizienz von Nichtwohngebäuden der öffentlichen Hand	Artikel 9: Gebäude bis 2027 müssen Klasse F und bis 2030 Klasse E erreichen
Maßnahmenprogramm „Nachhaltigkeit“	Bestandssanierungen von Bundesliegenschaften	Erprobung des „Gold-Standards“ des BNB (ab 80 % Kriterienerfüllung)

⁵⁶ Bundesministerium der Justiz: <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/>

⁵⁷ EnEV-online: https://enev-online.de/epbd/2018/epbd_update_2018.06.19._deutscher_text.pdf

⁵⁸ Die Bundesregierung: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/berichte-und-reden-nachhaltigkeit/massnahmenprogramm-nachhaltigkeit-der-bundesregierung-427896>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Nutzungsarten von Nichtwohngebäuden nach (Hörner 2021)	9
Abbildung 1-2 Veranschaulichung der Berechnung der Startemissionen des NWG-Sektors 2020.....	17
Abbildung 1-3 Darstellung der betrachteten Zielpfade und Zusammensetzung der gesamten Emissionen im GHD-Sektor	18
Abbildung 1-4 Herleitung eines THG-Budgets für den NWG-Sektor zur Einhaltung des Pariser Klimaabkommens	20
Abbildung 1-5 Darstellung der betrachteten Zielpfade und Zusammensetzung der gesamten Emissionen im GHD-Sektor	21
Abbildung 2-1 Exemplarische Darstellung der Einzelbeiträge von Energieträger- Dekarbonisierung, Energieträgerwechsel und Hüllsanierung zur Erreichung eines vorgegebenen Emissionspfads (Quelle: Fraunhofer ISE)	27
Abbildung 2-2 Vergleich der Simulationsergebnisse für die Fallbeispiele mit den Zielparametern in den Jahren 2020, 2030 und 2045 (Nutzwärmeverbrauch) ...	37
Abbildung 2-3 Vergleich der Simulationsergebnisse für die Fallbeispiele mit den Zielparametern in den Jahren 2020, 2030 und 2040 (Treibhausgasemissionen)	38
Abbildung 2-4 Beispiel für die Bildung eines Gebäudepools bestehend aus mehreren öffentlichen Nichtwohngebäuden (rot markierte Gebäude sind Teil des Gebäudepools) mit nutzungsspezifischen Zielparametern (Ziffern in Klammern beschreiben Gebäude-Hauptfunktion aus Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2). Sie können, müssen aber nicht im räumlichen Zusammenhang stehen.....	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Zielparameter der maximalen THG-Emissionen in den Stützjahren für den NWG-Bestand nach KSG-Zielpfad	33
Tabelle 2-2 Zielparameter für den maximalen Nutzwärmeverbrauch (Raumwärme und TWW) und Endenergieverbrauch für Strom (ohne Wärmeanwendungen) für den NWG-Bestand nach KSG-Zielpfad	34
Tabelle 2-3 Annahmen zur energetischen Qualität der Gebäudehülle bei der Berechnung der Fallbeispiele	35
Tabelle 0-1: Übersicht zu Definitionen des Begriffs Klimaneutralität für den Gebäudesektor aus der Literatur	50
Tabelle 0-2 Daten zur Herleitung des KSG-konformen Zielpfads für netto-treibhausgasneutrale Nichtwohngebäude	53
Tabelle 0-3 Daten zur Beschreibung der verwendeten Gebäudetypologie und der zugehörigen Bedarfe bzw. Verbräuche.....	54
Tabelle 0-4 Angenommene Verteilung der Energieträger in den Jahren 2020, 2030 und 2045 .	56
Tabelle 0-5 Angenommene Jahresnutzungsgrade der Energieträger	57
Tabelle 0-6 Angenommene spezifische Emissionsfaktoren der Energieträger.....	58
Tabelle 0-7 Zielparameter der maximalen kumulierten THG-Emissionen in den Stützjahren für den NWG-Bestand nach KSG-Zielpfad	59
Tabelle 0-8 Ergebnisse der Berechnung der Fallbeispiele.....	60
Tabelle 0-9 Abgleich der Startwerte aus ENOB:dataNWG mit den Teilenergiekennwerten. Zur Zuordnung der Nummern aus ENOB:dataNWG zur Bezeichnung der Gebäude-Hauptfunktion siehe	61
Tabelle 0-10 Werte zur Erreichung der Netto-Treibhausgasneutralität für den Energiebedarf im Betrieb und zu den Treibhausgasemissionen aus der Literatur.....	63
Tabelle 0-1 Vorschläge für weiterführende Parameter für einen nachhaltigen Gebäudebestand	64
Tabelle 0-1 Gesetzliche Mindestanforderungen für Einzelgebäude.....	66

4 Literaturverzeichnis

BBSR (2019): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden. Hg. v. Bundesministerium des Innern, Bau und Heimat (BMI). Online verfügbar unter https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/publikationen/BBSR_LFNB_D_190125.pdf.

BBSR (2021): Klimaschutz im Gebäudebereich. Grundlagen, Anforderungen und Nachweismöglichkeiten für klimaneutrale Gebäude – ein Diskussionsbeitrag. 33/2021. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn.

Bergische Universität Wuppertal (Hg.) (2020): Erhebungsmerkmale und Merkmalsausprägung - . Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude: Primärdatenerhebung zur Erfassung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland.

BMVBS (2013): Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude. Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BMVBS).

BMWi (2011): Eckpunkte Energieeffizienz. Berlin.

BMWi (2021): Energiedaten: Gesamtausgabe. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi). Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt.xls.html>.

BMWK (2022): Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045. Hg. v. Prognos. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

BMWK; BMI (März 2021): Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte im Wohngebäudebestand. Online verfügbar unter <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/MRYM4nI84Sdlr0ElvvW?0>.

BMWK; BMWSB (2023): Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes und zur Änderung der Heizkostenverordnung sowie zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/20230331-referentenentwurf-2-geg-novelle.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

Climate Active (2020): Climate Active Carbon Neutral Standard for Buildings. Hg. v. The Commonwealth of Australia.

dena (2017): dena-LEITFADEN: Energiespar-Contracting (ESC). Arbeitshilfe für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar-Contracting. 7. Aufl. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).

dena (2018): dena-Analyse: Kommunale Nichtwohngebäude. Rahmenbedingungen und Ausblick für klimafreundliche Gebäude in Städten und Gemeinden. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).

dena (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Online verfügbar unter

https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf.

dena (2022): DENA-Gebäudereport 2022. Zahlen, Daten, Fakten. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - DGNB e.V. (Hg.) (2018): DGNB System: Kriterienkatalog Gebäude Neubau. Stuttgart.

DGNB (2020): Ihr Weg zum klimaneutralen Gebäude. DGNB Leitfaden. Hg. v. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - DGNB e.V.

DGNB (Hg.) (2021): Übersicht System Sanierung. Kriterienkatalog Gebäude.

difu (Hg.) (2018): Klimaschutz in Kommunen. Praxisleitfaden. Deutsches Institut für Urbanistik (difu); Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu); Klima-Bündnis Europäischer Städte mit den Indigenen Völkern der Regenwälder zum Erhalt der Erdatmosphäre. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Service & Kompetenzzentrum Kommunaler Klimaschutz, SK). Online verfügbar unter <http://leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/>.

ERK (2022): Prüfbericht zu den Sofortprogrammen 2022 für den Gebäude- und Verkehrssektor. Prüfung der den Maßnahmen zugrundeliegenden Annahmen gemäß § 12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Geschäftsstelle Expertenrat für Klimafragen (ERK).

Europäische Kommission (2018): Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung). EPBD-Vorschlag 2010/31/EU. Online verfügbar unter https://bak.de/wp-content/uploads/2022/03/2021-12-15_EPBD_KOM-Vorschlag_DE.pdf.

Hörner, Michael (2021): Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland: Daten und Fakten. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), 28.04.2021.

IEA (2021): Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. Hg. v. OECD Publishing. Paris. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1787/c8328405-en>.

ifeu (2022): Leitfaden Klimaneutrale Kommunalverwaltung Baden-Württemberg. Hg. v. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu).

ifeu; Burkhard Schulze Darup; Energie Effizienz Institut (2021): Neukonzeption des Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2.0) zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestandes. Ein Diskussionsimpuls. Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu); Energie Effizienz Institut; Burkhard Schulze Darup. Heidelberg, Berlin, Weimar.

ifeu; Prognos; Ecofys; dena (2018): Untersuchung zu Primärenergiefaktoren. Endbericht. Leistung gemäß Rahmenvertrag zur Beratung der Abteilung II des BMWi. Heidelberg, Berlin. Online verfügbar unter <https://www.gih.de/wp-content/uploads/2019/05/Untersuchung-zu-Prim%C3%A4renergiefaktoren.pdf>.

IPCC (2018): Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable

development, and efforts to eradicate poverty. Unter Mitarbeit von Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.). Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

IWU; IÖR; BUW-ÖPB (2022): Forschungsdatenbank NichtWohnGebäude. Repräsentative Primärdatenerhebung zur statistisch validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) und Bergische Universität Wuppertal (BUW-ÖPB). Darmstadt.

KEA (2018): Energiespar-Contracting für kommunale Gebäude. Leitfaden. Unter Mitarbeit von Rüdiger Lohse und Martina Riel. Hg. v. Kompetenzzentrum Contracting der KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH. Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH.

Kienzlen, Volker (2021): Wie geht die Wärmewende in Stuttgart? Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg. Stuttgart, 2021.

Kretzschmar, Daniel; Schiller, Georg; Weitkamp, Alexandra (2019): Nichtwohngebäude in Deutschland – Typisierung eines dynamischen Marktes. In: *zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* 144, Artikel 3, S. 157–166.

Leopoldina (2022): Kurz erklärt! Was sind negative Emissionen und warum brauchen wir sie? Online verfügbar unter https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Publikationen/Nationale_Empfehlungen/2022_ESYS_KurzErkl%C3%A4rt_Neg.Emissionen.pdf.

Luderer, Gunnar; Kost, Christoph; Sörgel, Dominika (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045. Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Ariadne-Report. DOI: 10.48485/pik.2021.006.

Lützkendorf, Thomas (2021): Klimaneutralität bei Gebäuden. behaupten, berechnen, beweisen. Klsruher Institut für Technologie (KIT), 2021. Online verfügbar unter https://www.klimastiftung-thueringen.de/wp-content/uploads/2021/08/Klimaneutrale-Gebaeude_Luetzkendorf_TL02-kompakt.pdf.

Lützkendorf, Thomas; Frischknecht, Rolf (2020): (Net-) zero-emission buildings: a typology of terms and definitions. In: *Buildings and Cities* 1 (1), S. 662–675. DOI: 10.5334/bc.66.

Meyer-Ohlendorf, Nils; Spasova, Deyana (2022): Carbon Dioxide Removals in EU Member States. National frameworks for Carbon Dioxide Removals: State of play and how to improve it. Hg. v. Ecologic Institute. Berlin.

Michalski, Daniela; Reiß, Philipp; Strauss, Wolf-Christian (2021): Klimaschutz im Gebäudesektor – Neue Wege für die Wohnungswirtschaft. Impuls für das Strategieforum „Wohnungswirtschaft“ des Grünen Wirtschaftsdialogs. Deutsches Institut für Urbanistik (difu). Berlin.

Pehnt, Martin; Mellwig, Peter; lempik, Julia; Werle, Mandy; Schulze Darup, Burkhard; Schöffel, Winfried; Drusche, Volker (2021): Neukonzeption des Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2.0) zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestandes. Heidelberg.

QNG (Hg.) (2022): Anhang 3.2.1.1 zur ANLAGE 3.

Rat für Nachhaltige Entwicklung; Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften (2021): Klimaneutralität. Optionen für eine ambitionierte Weichenstellung und Umsetzung. Positionspapier. Rat für Nachhaltige Entwicklung; Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (2021): Pariser Klimaziele erreichen mit dem CO₂-Budget. Hg. v. Sachverständigenrat für Umweltfragen. Online verfügbar unter https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Kap_02_Pariser_Klimaziele.pdf?__blob=publicationFile&v=22.

UBA (2016): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. 06/2016. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu); Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) (Climate Change). Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaneutraler-gebaeudebestand-2050>.

UBA (2020): Der Weg zur treibhausgasneutralen Verwaltung. Etappen und Hilfestellungen. Unter Mitarbeit von Burkhard Huckestein. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).

UBA (2022a): Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme#jahresnutzungsgrade>, zuletzt aktualisiert am 01.12.2022.

UBA (2022b): Entwicklung der spezifischen Treibhausgas- Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2021. 15/2022. Unter Mitarbeit von Petra Icha, Dr. Thomas Lauf, Gunter Kuhs. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau (Climate Change). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-04-13_cc_15-2022_strommix_2022_fin_bf.pdf.

World Business Council for Sustainable Development; World Resources Institute (2004): The greenhouse gas protocol. A corporate accounting and reporting standard.

