

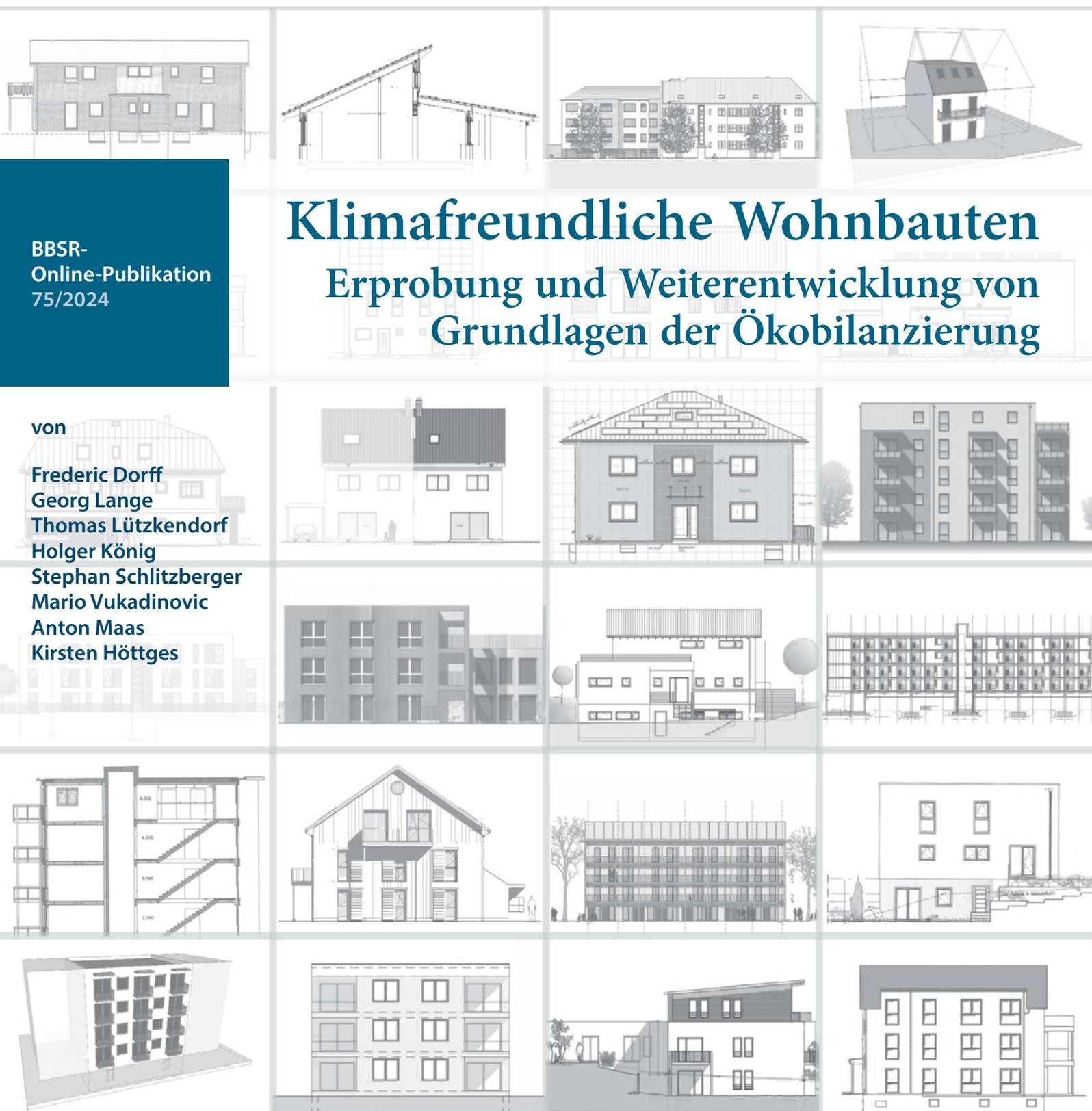
BBSR-
Online-Publikation
75/2024

Klimafreundliche Wohnbauten

Erprobung und Weiterentwicklung von Grundlagen der Ökobilanzierung

von

Frederic Dorff
Georg Lange
Thomas Lützkendorf
Holger König
Stephan Schlitzberger
Mario Vukadinovic
Anton Maas
Kirsten Höttges



Klimafreundliche Wohnbauten

Erprobung und Weiterentwicklung von Grundlagen der Ökobilanzierung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-22.50

Projektlaufzeit: 12.2022 bis 02.2024

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuer

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Daniel Wöffen
daniel.woeffen@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

FID Fertigbau Informations-Dienst GmbH, Bad Honnef
Frederic Dorff, M. Sc. (Projektleitung)
f.dorff@fertigbau.de

Dipl.-Ing. Georg Lange
g.lange@fertigbau.de

Bau- Energie- und Umweltberatung, Weimar
Prof. Dr. Thomas Lützkendorf
thomas.luetzkendorf@gmx.de

Ascona Gesellschaft für ökologische Projekte, Gröbenzell
Dipl.-Ing. Holger König
mail@ascona-koenig.de

Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Kassel
Dr. Stephan Schlitzberger
schlitzberger@ibh-hauser.de
Dr. Mario Vukadinovic
vukadinovic@ibh-hauser.de

Prof. Dr. Anton Maas
maas@ibh-hauser.de

Dipl.-Ing. Kirsten Höttges
hoettges@ibh-hauser.de

Redaktion

FID Fertigbau Informations-Dienst GmbH, Bad Honnef
Frederic Dorff

Stand

Juni 2024

Satz und Layout

FID Fertigbau Informations-Dienst GmbH, Bad Honnef
Frederic Dorff

Bildnachweis

Titelbild: Dipl.-Des. Hajo Ferber
einfachferber – Agentur für Kommunikation

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Dorff, Frederic; Lange, Georg; Lützkendorf, Thomas; König, Holger; Schlitzberger, Stephan; Vukadinovic, Mario; Maas, Anton; Höttges, Kirsten, 2024: Klimafreundliche Wohnbauten: Erprobung und Weiterentwicklung von Grundlagen der Ökobilanzierung. BBSR-Online-Publikation 75/2024, Bonn.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	8
Abstract	9
Abkürzungsverzeichnis	10
Teil A: Einführung und Projektbeschreibung	12
1 Einführung	12
1.1 Themenfeld	12
1.2 Untersuchungsgegenstand	12
2 Problemstellung	13
2.1 Stand der Forschung	13
2.2 Entwicklungsbedarf	13
3 Zielstellung	14
3.1 Konkrete Projektziele	14
3.2 Übergeordnete Ziele und der Beitrag des Projekts dazu	14
4 Forschungsdesign	15
4.1 Projektteam und Organisation, Kooperationspartner	15
4.2 Arbeitshypothesen	15
4.3 Forschungsfragen	16
4.4 Herangehensweise der Verbundpartner	17
4.5 Methodischer Ansatz	18
4.6 Untersuchungsgegenstand	18
4.7 Arbeitspakete	19
Teil B: Grundlagen, Voraussetzungen, Modellgebäude	21
5 Grundlagen der angewandten Ökobilanzierung	21
5.1 Kontext und Datenbedarf	21
5.2 Regeln für die Modellierung der untersuchten Gebäude	29
5.3 Während der Nutzungsphase zugrundeliegende Klimadaten	31
6 Datenbeschaffung und Modellbildung	32
6.1 Ausgewählte Fragen der Datenbeschaffung	32
6.2 Modellgebäude und Bildung von Varianten	33
Teil C: Überprüfung aktueller Rechenregeln und Anforderungswerte	38
7 Verständnisfragen und Probleme bei Anwendern	38
7.1 Umfrage über die Anwendung der Ökobilanzierung in der Fertigungindustrie	38
7.2 Umfrage über den Status zu Umweltprodukt Daten in der Zulieferindustrie des Fertigbaus	41

8	Hinweise auf Unschärfen bei Rechenregeln	43
9	Erreichbarkeit aktueller Anforderungswerte	44
9.1	Historie der Entwicklung der Anforderungswerte und Hinweise zu Auswertungen	44
9.2	Berechnungen und Auswertungen „wie gebaut“	45
9.3	Berechnung und Auswertung nach DIN V 18599	53
10	Detailanalysen	75
10.1	Einfluss Bezugsgröße	75
10.2	Einfluss Bodenplatte/Keller	79
10.3	Generische Werte versus spezifische Werte bei Bauprodukten	86
10.4	Treibhausgasemissionen durch F-Gase	97
10.5	Einfluss von Bauweisen	99
10.6	Liegenschaftsbezogener Tiefbau als Zusatzbetrachtung	104
10.7	Treibhauspotenzial aufgeteilt in fossile und biogene Emissionen	107
10.8	Stoffmasse und Materialinventar	108
10.9	Anteil NAWARO und des biogenen Kohlenstoffgehalts	116
10.10	Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes	121
10.11	Einfluss BIPV	128
10.12	Vergleich des Referenzklimas Potsdam 2010 mit aktualisierten Klimadaten	141
10.13	Simulationsrechnungen zum Energiebedarf für Kühlen und Heizen	146
	Teil D: Methodische Fragen	152
11	Künftiger Umgang mit GWP fossil und GWP biogenic	152
11.1	Neuberechnung mit der ÖKOBAUDAT 2024-A2	152
11.2	Gebäudeauswahl für Untersuchungen zum Einfluss Datensätze aus der Datenbank RECHENWERTE nach 2020-II zur erwarteten ÖKOBAUDAT 2024	153
11.3	Einfluss Datensätze aus der ÖKOBAUDAT 2024	154
11.4	Einfluss der Trennung von GWP total in GWP fossil und GWP biogenic	158
12	Begrenzung des Erstaufwands als Nebenforderung?	160
12.1	Grundlagen	160
12.2	Fragestellungen	161
12.3	Einordnungen	161
12.4	Diskussion	161
12.5	Erstaufwand (upfront emissions) – Modul A1-A3 bei untersuchten Gebäuden	162
12.6	Ergebnisse der Gebäudeauswertung für Modul A1-A3 fossiles und biogenes CO _{2e}	165
12.7	Empfehlungen	166
13	Auswahl von Bezugsgrößen	167
13.1	Hinweise zur Wahl von Bezugsgrößen	167
13.2	Fragestellungen	171
13.3	Einordnung	172
13.4	Diskussion	172
14	Bezüge zu einem Material-/Produktinventar	175

14.1	Grundlagen	175
14.2	Fragestellungen	176
14.3	Einordnung	177
14.4	Diskussion	177
14.5	Empfehlungen	177
15	Auswahl der Ökobilanzdaten von Bauprodukten	178
15.1	Grundlagen	178
15.2	Fragestellungen	179
15.3	Einordnung	179
15.4	Diskussion	180
15.5	Empfehlungen	182
16	Umgang mit Nutzerstrom	184
16.1	Grundlagen	184
16.2	Fragestellungen	185
16.3	Diskussion	185
16.4	Grundlagen der detaillierten Modellierung des Stromverbrauchs	190
16.5	Empfehlungen	190
17	Trends bei Klimadaten	191
17.1	Umrechnung von TRY-Daten in Monatswerte	192
17.2	Entwicklung der DWD-TRY-Datensätze	193
17.3	Derzeitige Referenz für energetische Gebäudebewertungen	193
17.4	Auswirkungen des Klimawandels	195
18	Trends bei BIPV im Zusammenhang mit weiteren Einflussgrößen	196
18.1	Grundlagen	196
18.2	Empfehlung	197
19	Dynamische Entwicklung bei Emissionsfaktoren	200
19.1	Methodischer Ansatz und Randbedingungen	200
19.2	Auswertungen	202
19.3	Schlussfolgerungen	210
20	Darstellungsmöglichkeiten	212
Teil E: Empfehlungen für die Weiterentwicklung		217
21	Vorschläge zur Weiterentwicklung	217
21.1	Charakterisierung der aktuellen Situation als Ausgangsbasis	217
21.2	Vorschläge für die Präzisierung und Weiterentwicklung von Grundlagen	217
21.3	Vorschläge für Präzisierung und Weiterentwicklung von QNG-Rechenregeln	218
21.4	Vorschläge für Anforderungswerte nach Einführung neuer ÖKOBAUDAT-Daten	218
21.5	Diskussion einer Eignung als gesetzliche Anforderungswerte	219
21.6	Ausblick auf Einbeziehung des Themas Ressourceninanspruchnahme	219

Teil F: Zusammenfassung und Ausblick	220
22 Zusammenfassung	220
23 Weitergehender Forschungsbedarf	225
24 Schlussfolgerung	227
Teil G: Verzeichnisse	231
Literatur	231
Abbildungen	236
Tabellen	243
Anhang 1 Vergleich von Primärenergie-/Emissionsfaktoren	244
Anhang 2 Darstellungsmöglichkeiten zur VoBi	251

Kurzfassung

Deutschland verfolgt das Ziel, bis zum Jahr 2045 den Zustand der Klimaneutralität zu erreichen. Dies schließt einen klimaneutralen Gebäudebestand ein. Gebäude müssen dafür im Kontext von Neubau- und Modernisierungsvorhaben so geplant, realisiert und betrieben werden, dass sie entweder keine Treibhausgasemissionen verursachen oder diese mit zulässigen Mitteln ausgeglichen werden können.

Derzeit wird die Einführung verbindlicher Anforderungen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden als Beitrag zum Klimaschutz diskutiert. Die Planung und der Nachweis der Einhaltung entsprechender Anforderungen sollen unter Nutzung der angewandten Ökobilanzierung erfolgen. Die Vorgaben der EU-Gebäuderichtlinie (EPBD) weisen ebenfalls in diese Richtung. Dabei sollen die Ziele des Klimaschutzes mit den Mitteln des nachhaltigen Planens und Bauens erreicht werden.

In Deutschland bestehen langjährige Erfahrungen darin, vor Einführung neuer Bewertungsmethoden und Anforderungen diese zunächst in Form von Forschungsprojekten sowie Pilotvorhaben und in einem zweiten Schritt im Rahmen von Förderprogrammen zu erproben. Hierfür wurde das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) mit seinen allgemeinen und besonderen Anforderungen entwickelt und eingeführt. Es enthält Vorgaben, Regeln sowie Methoden zur Ermittlung und Bewertung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden ebenso wie konkrete Anforderungswerte zu deren Begrenzung.

Mit dem hier vorgestellten Forschungsprojekt (kliwoLCA), welches im Rahmen des Programms „Zukunft Bau“ gefördert wurde, wurden die Erreichbarkeit der Anforderungen unter praktischen Bedingungen des Planens und Bauens überprüft, methodische Fragen geklärt und Hinweise für die künftige Ausgestaltung von Methoden und Anforderungen erarbeitet. Die Untersuchungen wurden am Beispiel neu errichteter Wohnbauten durchgeführt.

Bei den durchgeführten Analysen wurde deutlich, dass bei den Anwendern der Rechenregeln im Detail noch Fragen existieren. Das Anforderungsniveau stellte sich einerseits als anspruchsvoll und andererseits unter praktischen Bedingungen als erreichbar dar. Die Berücksichtigung von Anlagen zur Erzeugung von Solarstrom am Gebäude (BIBV) kann hierbei einen wichtigen Beitrag leisten. Generell sind die Anforderungen technologieoffen sowie performanceorientiert und lassen so auch andere Ansätze zu.

Die Bearbeitung methodischer Fragen machte u.a. deutlich, dass die Auswahl der Bezugsfläche weiterer Diskussionen bedarf, die Berücksichtigung zukunftsgerichteter Klimadaten empfohlen werden muss, sich die Annahmen zum Strombedarf der Nutzer bestätigen lassen, Synergieeffekte zwischen Ökobilanzierung und Dokumentation der stofflichen Zusammensetzung des Gebäudes in Form eines Materialinventars als Teil eines Ressourcenpasses bestehen und genutzt werden können, ein Übergang zu dynamischen Emissionsfaktoren erforderlich wird und eine Begrenzung des Erstaufwandes als Nebenanforderung in Erwägung gezogen werden sollte. Zusätzlich wurden die Auswirkungen der Umstellung der Ökobilanzdaten für die Bauproduktherstellung diskutiert und aufgezeigt.

In Form eines Ausblicks werden Hinweise zur künftigen Ausgestaltung der Regeln für eine Berechnung und Bewertung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Wohnbauten gegeben. Es wird vorgeschlagen, diese kontinuierlich zu verschärfen und sich dabei einerseits an einem Absenkpfad und andererseits an den Schritten der Dekarbonisierung von Baustoffproduktion und Energieversorgung zu orientieren.

Die Bearbeiterinnen und Bearbeiter danken dem BBSR und dem BMWSB für die inhaltliche Begleitung und finanzielle Unterstützung. Ebenso danken sie den Unternehmen, die Daten zu Gebäuden zur Verfügung stellten, sowie allen Personen, die in sonstiger Weise zum Gelingen des Projekts beitrugen.

Abstract

Germany is pursuing the goal of achieving climate neutrality by 2045. This includes a climate-neutral building stock. To this end, buildings must be designed, realised and operated in the context of new construction and refurbishment projects in such a way that they either do not cause greenhouse gas emissions or can be offset by permissible means.

The introduction of binding requirements to limit greenhouse gas emissions in the life cycle of buildings as a contribution to climate protection is currently being discussed. The planning and proof of compliance with the corresponding requirements should be carried out using the applied life cycle assessment. The requirements of the Energy Performance Building Directive (EPBD) also point in this direction. The goals of climate protection are to be achieved with the means of sustainable design and construction.

In Germany, there are many years of experience in testing new assessment methods and requirements before introducing them, first in the form of research and pilot projects, and in a second step within the framework of funding programmes. For this purpose, the Quality Seal for Sustainable Buildings (QNG) with its general and special requirements was developed and introduced. It contains specifications, rules and methods for calculating and evaluating greenhouse gas emissions in the life cycle of buildings as well as specific requirement values for limiting them.

With the research project presented here (kliwoLCA), which was funded as part of the "ZUKUNFT BAU" programme, the achievability of the requirements under practical conditions of planning and construction was examined, methodological questions were clarified and recommendations for the future design of methods and requirements were developed. The investigations were conducted using the example of newly built residential buildings.

During the analyses carried out, it became clear that there are still questions about the details among the users of the calculation rules. The level of requirements proved to be challenging on the one hand and achievable under practical conditions on the other. In particular, the consideration of systems for the building integrated generation of solar power (PIBV) can make an important contribution. In general, the requirements are technology-open and performance-oriented and thus also allow for other approaches.

The processing of methodological questions made it clear, among other things, that the selection of the reference area requires further discussion, the consideration of forward-looking climate data must be recommended, the assumptions on the electricity demand of the users can be confirmed, synergy effects between life cycle assessment and documentation of the material composition of the building exist and can be used in the form of a material inventory as part of a resource passport for buildings, a transition to dynamic emission factors and a limitation of the initial expenditure should be considered as an ancillary requirement. In addition, the effects of the conversion of the LCA data for the manufacture of construction products were discussed and demonstrated.

In the form of an outlook, information is provided on the future design of the rules for calculating and evaluating greenhouse gas emissions in the life cycle of residential buildings. It is proposed to continuously tighten these measures, orienting oneself on the one hand to a reduction path and on the other hand to the steps of decarbonisation of building material production and energy supply.

The editors would like to thank the BBSR and BMWBS for the content support and financial support. They also thank the companies that provided data on buildings and all the people who contributed to the success of the project in other ways.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Begriff
ASC	Ascona – Gesellschaft für ökologische Produkte
BDF	Bundesverband Deutscher Fertigbau
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEU	Bau-, Energie- und Umweltberatung Weimar
BGF	Bruttogrundfläche
BIPV	Building Integrated Photovoltaics (Gebäudeintegrierte Photovoltaik)
BMI	Bundesministerium des Inneren
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BNK	Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnhausbau
BRI	Bruttorauminhaltsfläche
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DG	Dachgeschoss
DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
DHH	Doppelhaushälfte
DWD	Deutscher Wetter Dienst
EFH	Einfamilienhaus
eLCA	Online-Ökobilanzierungstool
ENG	Eigennutzungsgrad
EoL	End-of-Life
EPD	Environmental Product Declaration (Umweltproduktdeklaration)
EVG	Eigenversorgungsgrad
FID	Fertigbau Informationsdienst GmbH
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
GWP100	Summe des Globalen Erwärmungspotential für einen Zeithorizont von 100 Jahren

Abkürzung	Begriff
H _T '	spezifischer, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmetransferkoeffizient
IBH	Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH
KFN	Klimafreundlicher Neubau
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
LCA	Life Cycle Assessment (Lebenszyklusanalyse)
MFH	Mehrfamilienhaus
NAWARO	Nachwachsende Rohstoffe
NaWoh	Nachhaltiger Wohnungsbau
NRF	Nettoraumfläche
NUF	Nutzungsfläche
PE, gesamt	Primärenergie, gesamt
PE, ne	Primärenergie, nicht erneuerbar
PENRT	Gesamtsumme nicht-erneuerbarer Primärenergiebedarf
PV-Anlage	Photovoltaik-Anlage
QNG	Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
Q _p	Primärenergiebedarf
TG	Tiefgarage
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
THG-Emissionen	Treibhausgasemissionen
TRY	Test Reference Year (Testreferenzjahr)
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WF	Wohnfläche

Teil A: Einführung und Projektbeschreibung

1 Einführung

1.1 Themenfeld

Deutschland hat sich sowohl international verpflichtet als auch national im Klimaschutzgesetz das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 die Treibhausgasemissionen so weit zu mindern, dass als Beitrag zum Schutz des Klimas eine Netto-Treibhausgasneutralität erreicht wird. Dies stellt auch den Bau- und Gebäudebereich vor die Herausforderung, zum Erreichen dieses Ziels einen wesentlichen Beitrag zu leisten. Bei einer sektorübergreifenden Betrachtung können allein dem Hochbaubereich bis zu 40 % der nationalen Treibhausgasemissionen zugeordnet werden. Das schließt die direkten, indirekten und grauen Emissionen ein. Es ergibt sich damit sowohl ein großer Einfluss des Bau- und Gebäudebereichs als auch ein erhebliches Minderungspotenzial, das durch die am Bau Beteiligten erschlossen werden kann. Ein Ansatz ist die Verringerung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden, mit den entsprechenden Konsequenzen für den Planungsprozess bei Neubau- und Modernisierungsvorhaben. Im Sinne der Übertragung des Ziels einer Netto-Treibhausgasneutralität auf den Bau- und Gebäudebereich müssen Gebäude so geplant, realisiert und betrieben werden, dass die Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus zunächst deutlich reduziert werden und letztlich Gebäude entstehen, die im Lebenszyklus entweder keine Treibhausgasemissionen verursachen oder bei denen Restemissionen nach Ausschöpfung sonstiger Möglichkeiten mit zulässigen Mitteln begrenzt werden.

Die Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden setzen sich aus betriebsbedingten und gebäudebezogenen Anteilen zusammen, wobei letzterer als „grauer“ Anteil bezeichnet wird. Bei energieeffizienten Gebäuden macht dieser Anteil bereits etwa 50 % der Lebenszyklusemissionen aus, mit steigender Tendenz. Die Erfassung und Bewertung der Treibhausgasemissionen von Gebäuden ist komplex und erfordert geeignete Grundlagen, Hilfsmittel sowie die Ausbildung von Fachleuten. Zudem müssen öffentliche Auftraggeber, Investoren und andere Beteiligte entsprechende Anforderungen formulieren und durchsetzen. Dies hat Auswirkungen auf Aufgabenstellungen, Bedarfsplanung, Planungsprozesse und Entscheidungsabläufe.

Es werden zuverlässige Datengrundlagen, Systemgrenzen, Rechenregeln und Anforderungswerte benötigt, die eine Einheit bilden. Mit dem Qualitätssiegel Nachhaltiges Bauen (QNG) wurden verbesserte Rechenregeln und Anforderungswerte zur Ermittlung der Lebenszyklus-Treibhausgasemissionen eingeführt. Diese sind Grundlage für das Förderprogramm Klimafreundlicher Neubau (KFN). Solche Programme testen Methoden und Anforderungen zur Weiterentwicklung des Ordnungsrechts.

In Deutschland wird intensiv diskutiert, wie und wann Anforderungen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden integriert werden können. Berechnungen und Nachweise sollen mittels Ökobilanzierung erfolgen. Vor Anpassung des Ordnungsrechts muss sichergestellt sein, dass notwendige Daten verfügbar sind, Rechenregeln verlässliche Ergebnisse liefern, Anforderungswerte erreichbar und die Prozesse unter realen Bedingungen durchführbar sind. Das Forschungsvorhaben ordnet sich in diese Diskussion ein.

1.2 Untersuchungsgegenstand

Gegenstand der Untersuchungen sind die Datengrundlagen, Systemgrenzen, Rechenregeln und Anforderungswerte, die im Frühjahr 2024 im Kontext des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude für die Ermittlung, Bewertung und Beeinflussung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus zur Anwendung gelangen. Die Untersuchungen werden unter Nutzung von Beispielen zu neu errichteten Wohnbauten geführt.

2 Problemstellung

2.1 Stand der Forschung

Eine Übersicht zum Stand der Forschung liefern u. a. die Berichte zum IEA EBC Annex 72 „Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings“ (Birgisdottir, et al., 2023). Dargestellt werden die Themen und Trends im Bereich der Entwicklung von Grundlagen für die Ermittlung, Bewertung und Beeinflussung des Aufwandes an Primärenergie sowie der resultierenden Treibhausgasemissionen in der Planung von Gebäuden. Dies schließt die Erarbeitung von Rechen- und Nachweisregeln ebenso ein wie die Entwicklung und Erprobung von Anforderungswerten. Letzteres betrifft u. a. Anforderungen zur Begrenzung grauer Emissionen. Aktuelle Forschungsergebnisse fließen in Normungsaktivitäten auf internationaler und europäischer Ebene ein. Von Bedeutung sind hier DIN EN 15804 auf Produktebene (DIN EN 15804:2022-03) sowie DIN EN 15643 (DIN EN 15643:2021-12) und DIN EN 15978 (DIN EN 15978:2012-10) auf Gebäudeebene. Die Entwicklung und Anwendung methodischer Grundlagen zur Lebenszyklusanalyse, insbesondere zur angewandten Ökobilanzierung, ist im internationalen Vergleich in Deutschland weit vorangeschritten. Im Kontext des QNG wurden u. a. spezifische Bilanzierungsregeln sowie Datengrundlagen z. B. für Wohnbauten erarbeitet und veröffentlicht (BMWSB, 2024). Vor Einführung verbindlicher Regeln und Anforderungen sollte jedoch in einer Erprobungsphase geklärt werden, ob Anforderungsniveaus in der Planungs- und Baupraxis erreichbar sind, ob und inwieweit ein künftiger Klimawandel mit steigendem Kühlenergiebedarf zur Notwendigkeit der Anpassung von Anforderungswerten führt und, ob die Informationsflüsse entlang der Wertschöpfungskette Bau ausreichend gut organisiert sind, um den entstehenden Bedarf an Informationen zu decken. Die Methode der angewandten Ökobilanzierung in Kombination mit den Erfahrungen aus mehr als 10 Jahren der Nachhaltigkeitsbewertung liefert eine verlässliche Grundlage. Für den Teil der Erfassung und Bewertung der THG-Emissionen in Betrieb und Nutzung sowie für graue Emissionen fehlt es jedoch häufig noch an Erfahrungswerten, die für eine Plausibilitätsprüfung herangezogen werden können. Aktuell widmet sich die Forschung unter anderem den Themen der Integration der Erfassung, Bewertung und Begrenzung der THG-Emissionen im Lebenszyklus von Gebäuden in die Arbeits- und Entscheidungsabläufe relevanter Akteursgruppen sowie in politische Instrumente. Ein Beispiel hierfür ist das Projekt IEA EBC Annex 89 (Passer, 2023), das sich mit der Behandlung von Unsicherheiten und den Möglichkeiten des Übergangs von statischen zu dynamischen Betrachtungen befasst.

2.2 Entwicklungsbedarf

Die Erarbeitung von Grundlagen sowie von Anforderungswerten zum QNG basiert auf einer begrenzten Anzahl von Objekten. Dabei besteht ein Bedarf an weiteren Untersuchungen. Erkenntnislücken gibt es u. a. in den Bereichen der Auswirkungen von hersteller- und produkt-spezifischen Produktdaten, der Berücksichtigung des Klimawandels, der Ermittlung von Erträgen und Eigennutzungsanteilen einer gebäudeintegrierten Gewinnung erneuerbarer Energie, der Auswirkung einer getrennten Betrachtung von GWP fossil und GWP biogenic, der Ermittlung und Interpretation des Kohlenstoffgehalts der Konstruktion sowie den Möglichkeiten und Konsequenzen der Formulierung von Nebenanforderungen für den gebäudebezogenen bzw. betriebsbedingten Anteil an THG-Emissionen im Lebenszyklus.

Die Kernthese besagt, dass sich durch die Kombination aus intensiver Forschungsarbeit und Praxiserprobung einerseits handhabbare und praxisgerechte Berechnungs- und Bewertungsmethoden sowie normkonforme Bilanzierungsregeln entwickeln und einführen lassen. Andererseits können dadurch Informationsflüsse entlang der Wertschöpfungskette Bau aufgebaut und performance-orientierte Anforderungswerte entwickelt werden, die sowohl anspruchsvoll und motivierend als auch in der Planungs- und Baupraxis erreichbar sind.

3 Zielstellung

3.1 Konkrete Projektziele

Mit dem Projekt wird das Ziel verfolgt, Grundlagen und Vorgehensweisen der angewandten Ökobilanzierung zu überprüfen, zu aktualisieren und weiterzuentwickeln. Einerseits soll die Erreichbarkeit von Anforderungen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen unter den aktuellen Bedingungen überprüft und sichergestellt werden. Andererseits sollen aktuelle Entwicklungen in der Normung zur DIN EN 15978, bei der Bereitstellung von Daten bei der Bereitstellung von Daten (u. a. Aktualisierung der ÖKOBAUDAT (BMWBSB, 2024)), bei der Anpassung von Klimadaten berücksichtigt und Vorschläge für künftige Anforderungswerte entwickelt werden, die sich im Einklang mit den Zielen zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz befinden.

Insofern wird im Projekt sowohl die aktuelle Situation analysiert und kommentiert als auch ein Ausblick auf künftige Entwicklungen gegeben. Im Einzelnen werden folgende Ziele verfolgt:

- Prüfung und Weiterentwicklung von Grundlagen und Rechenregeln für die Ökobilanzierung
- Prüfung der praktischen Erreichbarkeit von Anforderungswerten unter aktuellen Bedingungen
- Beantwortung von methodischen Fragen
- Entwicklung von Handlungsempfehlungen im Kontext künftiger Anforderungen zur Begrenzung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar sowie der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus neu zu errichtender Wohnbauten
- Stimulierung des Austauschs von Informationen entlang der Wertschöpfungskette Bau

Aus den genannten Zielen lassen sich das Forschungsdesign mit Fragen und Arbeitsaufgaben ableiten.

3.2 Übergeordnete Ziele und der Beitrag des Projekts dazu

An der Schonung der natürlichen Ressourcen (u. a. der fossilen Energieträger) und dem Schutz des Klimas und der Umwelt (bspw. durch eine Reduzierung der die globale Erwärmung verursachenden Treibhausgasemissionen) als Beiträge zum Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen und zur Unterstützung einer nachhaltigen Entwicklung besteht ein generelles öffentliches Interesse. Es handelt sich um übergeordnete Ziele. Diese führen u. a. im Bau- und Gebäudebereich zu einem Handlungsbedarf. Um alle Handlungsoptionen auszuschöpfen ist z. B. ein sektorübergreifender Ansatz in der Diskussion, der über eine Lebenszyklusanalyse unter Nutzung der angewandten Ökobilanzierung sowohl zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen für Betrieb und Nutzung von Wohnbauten als auch infolge der Herstellung von Bauprodukten für Errichtung, Erhalt und Modernisierung beitragen soll.

Während für die Förderprogramme eine Berücksichtigung des vollständigen Lebenszyklus bereits geplant ist, befindet sich eine entsprechende Weiterentwicklung des Ordnungsrechts noch in Klärung. Diskutiert wird u. a., ob eindeutige und richtungssichere Methoden existieren und Erfahrungen mit ihrer Anwendung vorliegen, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in ausreichender Anzahl und Qualifikation vorhanden sind, eine ausreichende Datenbasis verfügbar ist und anwenderfreundlich zur Verfügung gestellt werden kann, die Planungs- und Baupraxis ausreichend vorbereitet ist, sich Anforderungsniveaus erreichen lassen und wie diese im Sinne von nationalen Absenkpfeilen für eine Treibhausgasreduzierung im Bau- und Gebäudebereich weiterentwickelt werden sollten. Die mit dem Projekt verfolgten Ziele dienen – aus Sicht der Mitarbeiter – einem öffentlichen Interesse. Sie sollen und werden die Weiterentwicklung von Förderprogrammen befördern und eine Diskussion zu künftigen Gesetzgebungsinitiativen unterstützen.

4 Forschungsdesign

4.1 Projektteam und Organisation, Kooperationspartner

Das Projekt wird durch eine Arbeitsgemeinschaft von Verbundpartnern bearbeitet. Die Arbeitsgemeinschaft wird durch die Fertigbau Informations-Dienst (FID) GmbH vertreten. Sie ist die koordinierende Institution. Die weiteren Verbundpartner sind die Ascona Gesellschaft für ökologische Projekte (ASCONA) GbR, das Ingenieurbüro Hauser (IBH) sowie das Ingenieurbüro für Bau- Energie- und Umweltberatung (BEU).

4.2 Arbeitshypothesen

Im Projekt wird von folgenden Arbeitshypothesen ausgegangen:

- Die im Qualitätssiegel Nachhaltiges Bauen mit Stand Frühjahr 2024 formulierten und im Förderprogramm für klimafreundliche Neubauten verwendeten Anforderungswerte zur Begrenzung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar im Lebenszyklus von Wohnbauten sowie zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Wohnbauten sind anspruchsvoll, jedoch unter den aktuellen Bedingungen der Planung und Ausführung in der Realität erreichbar.
- Die Rechenwerte zur ÖKOBAUDAT 2020-II reichen aus, um Wohngebäude so zu modellieren, dass sich der lebenszyklusbezogene Aufwand an grauer Energie und der gebäudebezogene Anteil einer Bilanz der lebenszyklusbezogenen Treibhausgasemissionen ermitteln lassen.
- Für die Einhaltung aktueller Anforderungswerte bei Primärenergie und Treibhausgasemissionen ist ein angemessener Wärmeschutz auch weiterhin eine wichtige Voraussetzung, extreme Anforderungen an die energetische Qualität der Hülle sind jedoch nicht erforderlich.
- Die Einbeziehung des Strombedarfs der Nutzer in die Energie- und Emissionsbilanzen ist sinnvoll und stimuliert eine bedarfsorientierte Dimensionierung von gebäudeintegrierten bzw. gebäudenahen Anlagen zur solaren Stromerzeugung.
- Gebäuden mit einer angemessen dimensionierten Anlage zur solaren Stromerzeugung fällt es leichter, die Anforderungen zur Begrenzung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar sowie der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus einzuhalten.
- Eine Umstellung von Klimadaten (TRY) führt in der Tendenz zu einer Verringerung des Heizenergiebedarfs und zu einer Steigerung des Kühlenergiebedarfs.
- Möglichkeit, Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit der Begrenzung des Erstaufwands an Treibhausgasemissionen (upfront emissions) in Form von Anforderungswerten zu den Modulen A1-A3 einer Ökobilanz müssen weiter untersucht werden. Ein möglicher Ansatz sind Anforderungen zur Begrenzung des fossilen Anteils des Treibhauspotenzials (GWP fossil).
- Durch Veränderungen in der ÖKOBAUDAT im Rahmen der Umstellung der Datengrundlage auf DIN EN 15804 A2 sowie der Aktualisierung von Werten wird eine Anpassung der Anforderungswerte erforderlich.
- Vor dem Hintergrund eines Betrachtungszeitraums von 50 Jahren (z. B. 2025 – 2075) in der Ökobilanzierung der Wohnbauten im Sinne der ersten 50 Jahre einer voraussichtlich längeren Nutzungsdauer, sollte ein Übergang von einer statischen zu einer dynamischen Betrachtung zumindest diskutiert werden. Ein Ansatz ist die Einführung von mittleren Primärenergie- und Emissionsfaktoren für definierte Zeiträume in der Zukunft.

4.3 Forschungsfragen

Die Forschungsfragen ergeben sich aus den Projektzielen. Dabei sollen rückblickend die Eignung und Anwendbarkeit der bisherigen Grundlagen für die Ermittlung und Bewertung der THG-Emissionen im Lebenszyklus von Gebäuden, hier von neu errichteten Wohnbauten, geprüft werden. Dazu sollen Kommentare und Hinweise von Praxisvertretern, die in die Datenerhebung und Ökobilanzierung involviert waren, eingeholt und ausgewertet werden. Die Grundlage liefern die im Frühjahr 2024 gültigen Regelungen zum QNG.

Gleichzeitig soll die Erreichbarkeit aktueller Anforderungen zur Begrenzung des Aufwandes an Primärenergie, nicht erneuerbar, sowie der THG-Emissionen, zusammengefasst und ausgedrückt als Treibhauspotenzial GWP 100 und angegeben in CO₂-Äquivalenten unter den realen Bedingungen der aktuellen Planung und Realisierung von Wohnungsbauvorhaben überprüft werden. Diese Anforderungen ergeben sich aus QNG und KFN mit Stand Frühjahr 2024.

Die Analyse bisheriger Rechenregeln inklusive einer Auswertung eingegangener Kommentare und Hinweise Dritter sowie die Feststellungen der Bearbeiter sollen die Grundlage für Vorschläge zur Weiterentwicklung und Anpassung der Systemgrenzen und Rechenregeln für eine angewandte Bilanzierung des Primärenergieaufwands und der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus neu errichteter Wohnbauten liefern. Die Auseinandersetzung mit methodischen Fragen liefert einen weiteren Beitrag. Im Sinne einer Vorschau sollen unter Nutzung aktualisierter Daten und weiterentwickelter Rechenregeln Vorschläge für künftige Anforderungswerte erarbeitet und vorgestellt werden.

Im Projekt werden damit folgende Forschungsfragen bearbeitet:

1. Lassen sich die aktuellen Anforderungsniveaus des QNG zur Begrenzung der THG-Emissionen im Lebenszyklus in der Planungs- und Baupraxis erreichen?
2. Führen die lokalen Folgen des Klimawandels zu einem Anpassungsbedarf bei Berechnungsgrundlagen und künftigen Anforderungswerten?
3. Ist bei vorgefertigten Gebäuden mit von Anfang an bekannten Lieferketten ein Übergang von durchschnittlichen zu hersteller- und produktspezifischen Ökobilanzdaten von Bauprodukten aller Art möglich und sinnvoll? In welcher Größenordnung liegen die Unterschiede von hersteller- und produktspezifischen Daten zu generischen bzw. durchschnittlichen Werten?
4. Ergeben sich bei der Nutzung von Daten der ÖKOBAUDAT 2020-II, der ÖKOBAUDAT 2021-II, der RECHENWERTTABELLE Ökobilanzierung 2023 bzw. noch aktuellerer und vom BBSR zur Verfügung gestellter Datengrundlagen relevante Unterschiede und damit Konsequenzen für künftige Anforderungswerte?
5. Wie lässt sich der biogene Kohlenstoffgehalt bei Gebäuden ermitteln und interpretieren?
6. Welche Erkenntnisse lassen sich aus einer gesonderten Betrachtung von GWP_{fossil} und GWP_{biogenic} gewinnen, soweit dafür geeignete Daten vorliegen?
7. Wie hoch ist der Erstaufwand (upfront) an Primärenergie, nicht erneuerbar und resultierenden Treibhausgasemissionen? Eignet sich diese Teilgröße für die Formulierung von Nebenanforderungen? Was wäre dabei zu beachten?
8. Wie wirkt sich die Wahl von Bezugsflächen bzw. sonstigen Bezugsgrößen aus? Welchen Einfluss hat das Vorhandensein von Kellern oder Tiefgaragen?
9. Was sind die Auswirkungen einer gebäudeintegrierten Gewinnung und Nutzung erneuerbarer Energie? Wie sollte mit exportierter Energie und der anteiligen Zuordnung von grauen Emissionen der gebäudeintegrierten Photovoltaik-Module (BIPV) zum Gebäude verfahren werden?

Dazu werden folgende Detailuntersuchungen durchgeführt und die genannten Sonderauswertungen vorgenommen:

- Auswertung des Gehalts an biogenem Kohlenstoff
- Einfluss eines Kellers bzw. einer Tiefgarage
- Einfluss der jeweiligen Versionen der Datenbasis
- Einfluss der Verwendung hersteller- und produktspezifischer Datensätze
- Konsequenzen der Aufteilung in GWP biogenic und GWP fossil
- Anteil des Erstaufwands A1-A3 unter Beachtung methodischer Besonderheiten
- Einfluss der Zuordnung der grauen Emissionen von BIPV/Speicher
- Sonderauswertung zum liegenschaftsbezogenen Tiefbau (ausgewählte Beispiele)
- Einfluss des Heizungssystems

und

- Einfluss der Berücksichtigung des lokalen Klimas
- Einfluss des Klimawandels auf den Kühlenergiebedarf
- Einfluss der Dynamik von Emissionsfaktoren
- Einfluss von BIPV/Speicher und Art der Zuordnung von Erträgen
- Einfluss des energetischen Standards
- Einfluss von Art und System der Wärmeversorgung
- Einfluss beheizter/genutzter Keller

Weiterhin wird folgenden methodischen Fragen nachgegangen:

- Umgang mit GWP fossil und GWP biogenic bei Anforderungswerten und Analysen
- Besonderheiten möglicher Nebenanforderungen zu A1-A3
- Auswahl von Bezugsgrößen
- Bezüge zu einem Materialinventar
- Trends beim Nutzerstrom (Modul B6.3)

Zusätzlich wurden folgende methodische Fragen bearbeitet:

- Trends bei Klimadaten
- Trends bei Berücksichtigung von BIPV in Zusammenhang mit weiteren Größen
- Dynamische Entwicklungen bei Emissionsfaktoren
- Darstellungsmöglichkeiten

4.4 Herangehensweise der Verbundpartner

Die FID setzt im Rahmen der Projektkoordination Methoden der Projektsteuerung ein. Für die Umfragen bei Fertigungsbauunternehmen, beteiligten Planern und Herstellern werden Befragungstechniken (Fragebögen / Interviews) eingesetzt. Der Aufbau einer Datenbank basiert auf Methoden der Gestaltung von Datenbanken und Schnittstellen. Die FID ist an der Entwicklung der Untersuchungssystematik beteiligt und koordiniert deren Umsetzung. Untersuchungen von ASCONA basieren überwiegend auf

der Methode der angewandten Ökobilanzierung. Auf Basis von Angaben zu Projekten im Kontext der Planung und Errichtung von Neubauten unterschiedlicher Größe und Bauweise sowie mit weiteren Unterscheidungsmerkmalen erfolgt eine Modellierung des jeweiligen Gebäudes und seines Lebenszyklus. Ergebnisse einer Mengenermittlung werden mit Angaben aus Datenbanken zu Ökobilanzdaten für Bauprodukte sowie Energiedienstleistungen verknüpft. Für ausgewählte Bauwerksteile (u. a. Bodenplatten und Fertigg Keller) werden Angaben aus Konfiguratoren Dritter übernommen. Um unterschiedliche Bezugsgrößen zuzulassen, erfolgen alle Berechnungen zunächst je Gebäude bzw. Gebäudevariante in absoluten Größen. Die Arbeiten des IBH basieren auf der Modellierung von Gebäuden, den Methoden der Ermittlung des Bedarfs an Endenergie, der Simulation von BIPV-Anlagen, der Variation von Eingangsgrößen zum Klima, der Simulation und Analyse des Gebäudeverhaltens in der Heiz- und Kühlperiode. Für die jeweiligen Fragestellungen wird eine Untersuchungssystematik entwickelt und umgesetzt. Das Ingenieurbüro für Bau-, Energie- und Umweltforschung Weimar (BEU) wendet zur Erfüllung seiner Teilaufgaben Methoden der Literaturrecherche und -analyse an. Es erfolgt die Auseinandersetzung mit Stand und Trends der angewandten Ökobilanzierung, der Normung zu einschlägigen Themen, bei Förderprogrammen und Gesetzgebungsinitiativen (national und europaweit). BEU ist an der Entwicklung und Umsetzung der Untersuchungssystematik für das Gesamtprojekt beteiligt.

4.5 Methodischer Ansatz

Ein wesentlicher methodischer Ansatz besteht in der Nutzung der angewandten Ökobilanzierung inkl. der Variation von Eingangsgrößen. Die modulare Bauweise ermöglicht die Anwendung der Elementmethode. Um die Vielfalt von Unternehmen und baulichen Lösungen im Forschungsdesign als Ausdruck der Diversität der Praxis darzustellen, beteiligten sich Unternehmen mit konkreten Projekten. In einer Untersuchungsmatrix wird eine Vielfalt von Varianten abgebildet, die Einfamilienhäuser (EFH), Zweifamilienhäuser sowie kleine und große Mehrfamilienhäuser (MFH) einschließen. Neben der Holztafelbauweise und hybriden Lösungen werden auch Objekte in Massivbauweise untersucht. Je Objekt bzw. Objektvariante erfolgt eine Ermittlung des gebäudebezogenen sowie des betriebs- und nutzungsbedingten Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar sowie des Treibhauspotenzials über spezialisierte Bearbeiter und Softwarelösungen auf Basis einer Mengenermittlung. Zusätzlich wird der biogene Kohlenstoffgehalt ermittelt. Im Ergebnis liegt für jedes Objekt bzw. jede Objektvariante eine durchgerechnete Ökobilanz vor. Die Ergebnisse dienen u. a. als Basis für eine Weiterentwicklung methodischer Grundlagen und die Ableitung von Handlungsempfehlungen für künftige Berechnungs- und Nachweisverfahren. Für Sonderbetrachtungen zu Teilfragen werden zur Lösung methodischer Fragen verschiedene Eingangsgrößen und Gebäudemerkmale variiert.

4.6 Untersuchungsgegenstand

Grundlage der Untersuchung sind Wohnbauten bzw. Gebäude mit wohnähnlicher Nutzung unterschiedlicher Größe und Bauweise. Ermittelt und bewertet werden für die Gebäude und Gebäudevarianten der Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar sowie die Treibhausgasemissionen, dargestellt als Treibhauspotenzial GWP100. In Zusatzbetrachtungen werden – soweit es die Datenlage erlaubt – der Aufwand an Primärenergie, gesamt und der biogene Kohlenstoffgehalt erfasst. Soweit möglich erfolgt in Vorbereitung auf die Nutzung künftiger Datensätze und Anforderungswerte eine Unterteilung des GWP100 in GWP biogenic und GWP fossil. Alle Ergebnisse werden zunächst absolut für das Gesamtgebäude ermittelt, um die Nutzung unterschiedlicher Bezugsgrößen zu ermöglichen. Betrachtungszeitraum sind 50 Jahre. Für eine ausführliche Vorstellung von Untersuchungsmatrix und Untersuchungsobjekten wird auf 6.2.3 verwiesen.

4.7 Arbeitspakete

Der Arbeitsplan für das Projekt sah die nachstehend genannten Pakete und Meilensteine vor. Eine detaillierte Vorstellung der Arbeitspakete kann den Anlagen entnommen werden.

AP1 dient dem Aufbau der Projekt- und Organisationsstruktur, der Koordination des Projektes inkl. der direkt und indirekt Beteiligten, der Bereitstellung benötigter Grundlagen bzw. Daten sowie der Schaffung erforderlicher Voraussetzungen. Dies umfasst:

- Aufbau der Projekt- und Organisationsstruktur / Projektkoordination
- Präzisierung der Untersuchungssystematik, Fragestellungen und Vorgaben
- Objektauswahl
- Koordination der Bereitstellung externer Daten (Überprüfung / Vervollständigung)
- Aufbau einer Datenbank und Bereitstellung hersteller- und produktspezifischer Daten
- Bearbeitung methodischer Fragen

Im Sinne eines arbeitsteiligen Ansatzes werden im AP2 der Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar (PE, ne) und die Treibhausgasemissionen, dargestellt als Treibhauspotenzial GWP 100, für die gemäß Untersuchungssystematik zu analysierenden Gebäude bzw. deren Varianten ermittelt. Grundlagen sind die Flächen-, Mengen- und Massenermittlung sowie die Angaben zum Schichtenaufbau bei einzelnen Elementen, die durch Mitgliedsunternehmen des BDF zur Verfügung gestellt werden. AP2 umfasst:

- Bilanzierung des gebäudebezogenen Anteils der zu untersuchenden Objekte und Objektvarianten
- Ermittlung des Kohlenstoffgehalts der Gebäude in kg anhand ausgewählter Beispiele
- Sonderbetrachtungen zu Bodenplatten und Fertiggellern anhand ausgewählter Beispiele
- Sonderbetrachtungen zum liegenschaftsspezifischen Tiefbau anhand ausgewählter Beispiele

Im Sinne eines arbeitsteiligen Ansatzes werden im AP3 der Aufwand an Primärenergie (PE, ne) sowie die Treibhausgasemissionen, dargestellt als GWP 100, unter Nutzung zunächst aktueller Primärenergie- und Emissionsfaktoren, für die gemäß Untersuchungssystematik zu analysierende Gebäude und deren Varianten ermittelt. Grundlage sind die Wärmeschutznachweise sowie aktuelle Energieausweise der Gebäude, die durch Mitgliedsunternehmen des BDF zur Verfügung gestellt werden. AP3 umfasst:

- Bilanzierung des betriebs- und nutzungsbedingten Endenergiebedarfs
- Zusatzuntersuchung zu Auswirkungen standortspezifischer Klimadaten an ausgewählten Beispielen
- Zusatzuntersuchung zu den Auswirkungen künftiger Klimadaten
- Zusatzuntersuchungen zu den Auswirkungen künftiger Emissionsfaktoren

Im AP4 werden die Ergebnisse von AP2 und AP3 zusammengeführt und analysiert. Es wird überprüft, ob und inwieweit die Anforderungswerte des QNG erreicht werden. Die Anteile einzelner Lebenszyklusphasen an der Gesamtbilanz werden untersucht, wobei der Erstaufwand (upfront emissions) hinsichtlich seiner Eignung als Nebenanforderung betrachtet wird. AP4 umfasst:

- Zusammenführung und Bewertung der Ökobilanzergebnisse
- Analysen von Größenordnungen und Verhältnissen der Teilgrößen (Module)
- Analysen zu ausgewählten Fragestellungen an ausgewählten Beispielen

Im AP5 erfolgen weitere Auswertungen sowie Querschnittsanalysen und die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für Politik, planende Berufe, Industrie sowie die Wissenschaft. Dies umfasst

- Hinweise und Kommentare der Unternehmen, inkl. Vorlieferanten

- Auswertung der Konsequenzen unterschiedlicher Bezugsgrößen
- Auswertung der Konsequenzen einer Verwendung alternativer Klimadaten
- Handlungsempfehlungen zu spezifischen Rechen- und Nachweisregeln
- Handlungsempfehlungen zu Darstellungsformen
- Handlungsempfehlungen für spezifische Zielgruppen

AP6 dient der Erstellung von Forschungsberichten und Tagungsbeiträgen. Ausgewählte Gebäude-
modelle sowie Bauwerksteile werden – unter der Voraussetzung geeigneter Schnittstellen – an das
Online-Ökobilanzierungstool (eLCA) (BBSR) übergeben.

AP6 umfasst:

- Erstellung von Forschungsberichten zu ausgewählten Teilfragen
- Erstellung von Tagungsbeiträgen sowie sonstigen Veröffentlichungen
- Übergabe ausgewählter Gebäudemodelle und Daten an BBSR für eLCA

Teil B: Grundlagen, Voraussetzungen, Modellgebäude

5 Grundlagen der angewandten Ökobilanzierung

5.1 Kontext und Datenbedarf

Mit Hilfe der Ökobilanzierung können die Umweltauswirkungen eines Gebäudes quantifiziert sowie Verbesserungspotenziale identifiziert werden. Das QNG und die damit verbundene Förderung der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) tragen in Deutschland dazu bei, den Fokus auf eine nachhaltige Bauweise zu legen und positive Umweltauswirkungen zu erreichen. Für die Erstellung einer Ökobilanz werden detaillierte Informationen wie zum Beispiel Mengen an verbauten Materialien und Angaben zum Energieverbrauch während der Nutzungsphase inkl. Annahmen zum Bedarf an Haushaltsstrom benötigt. Grundlage für eine angewandte Ökobilanzierung im Baubereich ist ein Gebäude- und Lebenszyklusmodell.

5.1.1 Phasen, Module und Rechenregeln

Eine Ökobilanzierung befasst sich allgemein mit der ganzheitlichen Quantifizierung der Umweltauswirkungen eines Betrachtungsgegenstandes über dessen gesamten Lebenszyklus. Im konkreten Fall werden neu zu errichtende Wohnbauten untersucht.

Die Ökobilanzierung hat durch die Einführung einer NH-Klasse im Rahmen der Förderung durch die KfW einen erheblichen Bedeutungszuwachs erhalten. Die Ökobilanz ist Teil der Nachweispflicht für das Förderprogramm „Klimafreundlicher Neubau“ (KfW, 2024). Davor waren Ökobilanzen für Gebäude wissenschaftlichen Untersuchungen vorbehalten bzw. Bestandteil von Bewertungen in Zertifizierungssystemen.

Die Rechenregeln der Ökobilanzierung basieren auf den anerkannten internationalen Grundlagennormen der (DIN EN ISO 14040:2021-02) und (DIN EN ISO 14044:2021-02), die als DIN EN ISO jeweils in einer deutschen Version vorliegen. Von besonderer Bedeutung sind jedoch branchenspezifische Regeln der (DIN EN 15643:2021-12) und (DIN EN 15978:2012-10), die als DIN EN in das deutsche Normenwerk übernommen wurden. Zum Redaktionsschluss der Projektbearbeitung befand sich die neue EN 15978 in der Endabstimmung; eine Veröffentlichung wird für Ende 2024 erwartet.

DIN EN 15978 liefert sowohl in ihrer noch gültigen als auch voraussichtlich in ihrer künftigen Form die Grundlagen für die angewandte Ökobilanzierung von Bauwerken. Betrachtungsgegenstand ist u. a. ein neu zu errichtendes Gebäude mit seinem vollständigen Lebenszyklus. Unterteilt wird die Betrachtung des Lebenszyklus in unterschiedliche Phasen. So erfolgt bei der Ermittlung und Bewertung des Aufwands an Primärenergie sowie der THG-Emissionen eine Differenzierung in einen gebäude- und betriebsbezogenen Anteil.

Das verwendete Lebenszyklusmodell besteht aus der Phase A, das heißt der Herstellung und Errichtung „von der Wiege bis zur Fertigstellung/Übergabe“ mit den Modulen A1-A5, der Nutzungsphase B mit den Modulen B1-B7 und ggf. B8, sowie der Phase C am Ende der Nutzungsdauer mit den Modulen C1-C4. Diese Phase wird z. T. auch als die Phase von Rückbau, Aufbereitung und Entsorgung bezeichnet. Ergänzend können Angaben zu den Modulen D1 Recyclingpotenzial und D2 Effekte exportierter Energie gemacht werden.

In den in Deutschland verwendeten Zertifizierungssystemen werden für die Gebäudebewertung innerhalb der vorgegebenen Systemgrenzen die Module A1-A3 (Herstellung), das Modul B4 (Austausch, Ersatz) und die Module C3-C4 (Rückbau, Aufbereitung und Entsorgung) berücksichtigt. Das Modul D

(Vorteile und Lasten außerhalb der Systemgrenze) wird in D1 sowie D2 unterteilt und als Informationsmodul separat ausgewiesen. Nachstehend wird dies detailliert erläutert. Siehe hierzu Abbildung 1.

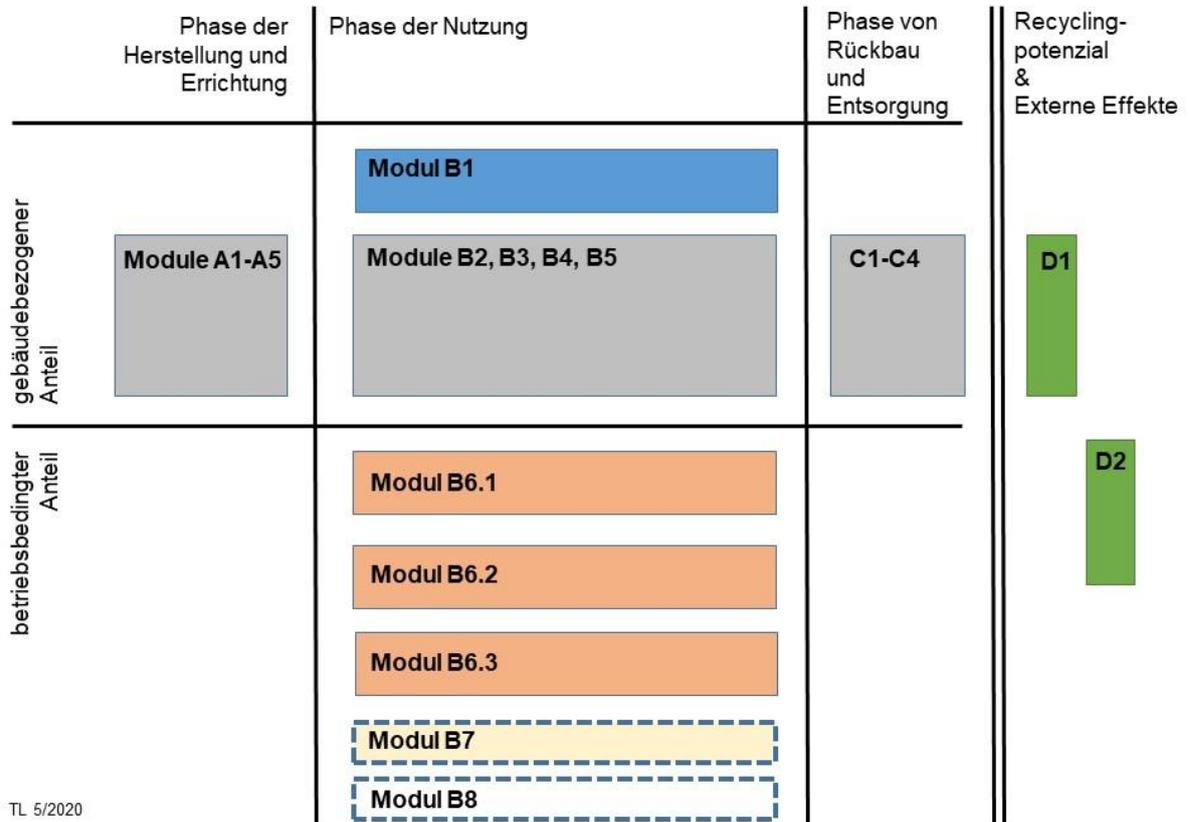


Abbildung 1 Phasen und Module der Lebenszyklusanalyse von Gebäuden

Quelle: in Anlehnung an DIN EN 15643 und künftiger DIN EN 15978

5.1.1.1 Herstellungsphase (A1 – A3)

Die Module A1-A3 decken die Prozesse „von der Wiege bis zum Werktor des Herstellers eines konkreten Bauprodukts“ für die beim Bau verwendeten Materialien, Bauteile und technischen Systeme ab. Dies umfasst die Rohstoffgewinnung und –verarbeitung der benötigten Ausgangsmaterialien (A1), den Transport der in Modul A1 erfassten Ausgangsmaterialien bis zum Werkstor (A2) sowie die direkten und indirekten Prozesse der Herstellung im produzierenden Unternehmen (A3).

5.1.1.2 Nutzungsphase – baulicher Teil (B1, B2, B4)

Modul B1 beinhaltet u. a. die gegebenenfalls entstehenden Emissionen aus dem Betrieb einer Wärmepumpe, soweit diese mit klimabelastenden Gasen betrieben wird. Die Rechenregeln hierzu basieren auf einer Veröffentlichung des Umweltbundesamtes (Richter, et al., 2014).

Modul B2 beinhaltet nach DIN EN 15978 die Energie- und Stoffströme sowie die resultierenden Umweltwirkungen infolge von Inspektion, Wartung und Reinigung eines in ein Gebäude, Bauwerk oder Bauteil eingebauten Produktes. B2 „Instandhaltung“ wird bisher in den verfügbaren Datenbanken nicht mit Daten ausgestattet. Instandhaltungsarbeiten in Form der Erneuerung von Schutzanstrichen werden

jedoch als Ersatz interpretiert und gemäß den Instandsetzungszyklen der Nutzungsdauertabelle des BBSR berücksichtigt (BNB, 2017). Formal werden das Modul B2 sowie das Modul B3 (Reparaturen) in den Rechen- und Bilanzierungsregeln nicht berücksichtigt. Es werden jedoch aus dem Modul B2 die Schutzanstriche, vornehmlich von Holzbauteilen, berücksichtigt und im Modul B4 (damit eigentlich Modul B2+B4) mit ausgewiesen.

Mit Modul B4 wird der gleichwertige Austausch/Ersatz eines Bauteils erfasst. Die Nutzungsdauern bzw. Nutzungszyklen der Bauteile werden gemäß der Nutzungsdauertabelle des BBSR in der Version (BNB, 2017) berücksichtigt. Muss ein Bauteil erst im 49. Jahr (und damit ein Jahr vor dem Ende des definierten Betrachtungszeitraums) ausgetauscht werden, wird dies nicht mehr berücksichtigt. Dies trifft auch für einen theoretisch notwendigen Ersatz im Jahr 50 zu. Modul B4 umfasst Ausbau, Aufbereitung und Entsorgung ausgebauter Produkte sowie Herstellung und Einbau der wieder eingebauten Produkte (Baumaterialien, Bauteile, technische Systeme und ihre Komponenten).

Das Modul B5 umfasst geplante Modernisierungsmaßnahmen bzw. eine geplante Nachrüstung. Es wird nicht berücksichtigt.

5.1.1.3 Nutzungsphase – betriebs- und nutzungsbedingter Teil (Module B6.1, B6.2, B6.3)

Der betriebliche Energieeinsatz (Modul B6.1) wird gemäß (BMWBS, 2020) in die Berechnung einbezogen. Die auf Basis einer Berechnung ermittelten Endenergiebedarfswerte werden bei den Berechnungen der Ökobilanz zugrunde gelegt. Der Energieaufwand für Energieverbraucher, die einen gebäudebedingten Energieaufwand verursachen, jedoch nicht im Gebäudeenergiegesetz (GEG) erfasst werden, darunter Aufzüge (B6.2), wird bei Wohnbauten derzeit nicht berücksichtigt. Der nutzer- und nutzungsbedingte Energieaufwand (B6.3) wird neben dem Energieaufwand nach GEG mit in die Berechnung einbezogen. Eine Festlegung des anzusetzenden Aufwands an Nutzerstrom erfolgt in Anlehnung an die Rechenregeln für ein Effizienzhaus PLUS. Hier wird der Haushaltsstromverbrauch der Nutzer über eine Pauschale berücksichtigt. Die Pauschale für den jährlichen Nutzerstrombedarf hat beim Effizienzhaus PLUS einen Wert von 20 kWh/m², die Bezugsgröße ist die beheizte Nettoraumfläche (Rose, et al., 2019).

5.1.1.4 Abfallbehandlung und Deponierung (C3 – C4)

In der Entsorgungsphase (Modul C) werden die Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und/oder zum Recycling (C3) sowie die Abfallbeseitigung (C4) berücksichtigt. Ausgangspunkt ist das Szenario eines selektiven Rückbaus. Es wird davon ausgegangen, dass alle Baukonstruktionen beim Rückbau in ihre Einzelbestandteile zerlegt und entsprechend den Verwertungs- vorschriften getrennt werden. Die Zertifizierungssysteme enthalten für die Gestaltung der Phasen am Ende der Nutzungs- bzw. Lebensdauer (EoL-Phase) folgende Regeln:

In die Berechnung der Ökobilanzergebnisse des End-of-Life-Szenarios des Gebäudes sind Verwertung und Entsorgung für alle in der Herstellungsphase gelisteten Materialien/Baustoffe einzubeziehen. Folgende Materialgruppen sind in den Berechnungen und Auswertungen zu unterscheiden:

1. Metalle zur Verwertung
2. Mineralische Baustoffe zur Verwertung (z. B. Beton)
3. Materialien mit einem Heizwert zur thermischen Verwertung (z. B. Holz, Kunststoffe etc.)
4. Materialien, die nur auf Deponien abgelagert werden (Glas, Mineralwolle, Gipswerkstoffe und Gipsplatten, Bitumenpappen)

Für 1. gilt: Es ist der Entsorgungs-/Verwertungsweg „Recycling/Verwertung“ zu wählen. Hierzu sind EoL-Datensätze mit dem Modul C3 für die jeweiligen Metalle zu wählen. Liegt kein eindeutig passender Datensatz vor, so ist ein naheliegender Datensatz zu wählen.

Für 2. gilt: Es ist der Entsorgung-/Verwertungsweg „Recycling/Verwertung“ zu wählen. Hierzu ist für die nachweislich mineralischen Baustoffe (zum Beispiel Beton, der als Unterbeton für Bodenplatten oder im Straßenbau eingesetzt wird) der Prozess „Bauschutttaufbereitung“ zu wählen.

Für 3. gilt: Es ist der Entsorgungsweg „Thermische Verwertung“ zu wählen. Die Datensätze sind mit den entsprechenden Datensätzen für thermische Verwertung abzubilden. Die Dokumentation erfolgt in Modul C3 (falls thermische Verwertung mit Energiegewinnung angewendet werden kann) oder in Modul C4 (falls thermische Verwertung ohne Energiegewinnung vorliegt) entsprechend der Definition im Datensatz.

Für 4. gilt: Es ist der Entsorgungsweg „Entsorgung auf Deponie“ zu wählen, sofern für die Materialien kein anderer Verwertungsweg als Ablagerung auf Deponien realistisch ist (BMUB, 2015).

Materialien mit Risikostoffen, z. B. Holz und Holzwerkstoffe mit biozider Ausrüstung, werden innerhalb dieser Systeme nicht erfasst. Es wird davon ausgegangen, dass entsprechend der DIN 68800 grundsätzlich biozidfreie Konstruktionen eingesetzt werden, entweder durch den Konstruktionsaufbau oder die Wahl von Holz einer höheren Resistenzklasse.

5.1.1.5 Das Modul „D“ (D1 und D2)

Die Systemgrenze nach der Entsorgung wird dort gezogen, wo die Outputs, d. h. Sekundärstoffe oder -brennstoffe, das Ende ihrer Abfalleigenschaft erreichen. Die aus den Sekundärstoffen und -brennstoffen durch Wiederverwendung, Recycling (stofflich oder thermisch) und Energierückgewinnung entstehenden Umweltvorteile oder -belastungen werden dem Modul „D1“ außerhalb der Systemgrenze des betrachteten Gebäudes zugeordnet.

Neu eingefügt wird das Modul „D2“ für Effekte einer Lieferung von Energie an Dritte. Die potenziell bei Dritten vermiedenen Emissionen werden in dem Modul D2 ausgewiesen. Die für deren Ermittlung anzusetzenden Emissionsfaktoren ergeben sich aus dem Verdrängungsstrommix.

5.1.1.6 Nicht berücksichtigte Lebenszyklusmodule

Nicht berücksichtigt werden derzeit die Module A4 (Transport zur Baustelle), A5 (Errichtung/Einbau), B2 (Instandhaltung – wird z. T. im Modul B4 berücksichtigt, siehe Ausführungen oben), B3 (Reparatur), B5 (geplante Modernisierung), B7 (Wasserversorgung und Abwasseraufkommen im Betrieb), C1 (Rückbau/Abriss) sowie C2 (Transport zur Abfallbehandlung / Beseitigung). Die Nichtberücksichtigung ist z. T. auf Datenlücken in der ÖKOBAUDAT für die genannten Module zurückzuführen. Primär soll jedoch der Aufwand für die Datenerfassung verringert bzw. der geringe Einfluss auf das Ergebnis berücksichtigt werden. So hat z. B. die Studie von Kellenberger und Althaus (Kellenberger & Althaus, 2009) deutlich gemacht, dass die Aufwendungen für Logistik und Baustellenprozesse einen geringen Einfluss auf das Ergebnis der Gebäudebilanzierung haben. In anderen Ländern Europas, darunter Finnland, werden Pauschalwerte vorgegeben.

Der i. d. R. geringe Einfluss des Transports zur Baustelle (Modul A4) auf das Ergebnis einer Bilanzierung von Treibhausgasemissionen wird an einem Beispiel deutlich. In Studien für ein EFH in Holzbauweise und ein EFH in mineralischer Bauweise wurden die Transportaufwendungen vom Werk zur Baustelle anhand der Transportdatensätze der ÖKOBAUDAT 6-2016 berechnet. Bei einem Massivholz-EFH macht der Transport in A4 ca. 0,8 % der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus aus, bei einem Einfamilienhaus aus Porenbeton ca. 1 % der gesamten Treibhausgasemissionen. Die Gegebenheiten für den Bezug der Materialien können je nach Baustoff sehr unterschiedlich sein. So sind die Transportwege vom Werk zur Baustelle von mineralischen Baustoffen in der Regel kürzer als die von Holz und Holzwerkstoffen. Dies kann wiederum durch das durchschnittlich geringere Gewicht von Holz kompensiert werden, wodurch mehr Holz auf einmal transportiert werden kann, (Hafner, et al., 2017).

5.1.2 Datenbank mit Ökobilanzdatensätzen als Informationsquelle

5.1.2.1 Datengrundlagen für die Ökobilanzierung

Grundlage für die Ökobilanzberechnung sind aktuelle Ökobilanzdaten, die mit der ÖKOBAUDAT 2020-II zur Verfügung gestellt wurden. Aus dieser Datenbank wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts eine reduzierte Datenbank mittels einer Auswahl an Datensätzen zusammengestellt (König, 2023). Diese Datenbank bildet unter dem Namen RECHENWERTE 2023 die Grundlage für Ökobilanzierungen für das QNG. Die Datenbank wurde als Anlage zu den QNG-Informationen öffentlich und kostenlos zur Verfügung gestellt. Bei allen Rechenwerte-Datensätzen ist sichergestellt, dass Werte für die Module C3-C4 und das Modul D1 enthalten sind. Die Angaben zu den einzelnen Indikatoren basieren auf Durchschnittswerten (generic, representative, average), die sich nur in Ausnahmefällen auf das Produkt eines bestimmten Herstellers (specific) beziehen.

Die Rechenwerte-Datenbank beinhaltet Daten für die zwei Indikatoren „Primärenergie, nicht erneuerbar“ sowie „Treibhauspotenzial“. Für diese beiden Indikatoren werden im QNG konkrete Anforderungen formuliert und Grenzwerte ausgewiesen.

Die Aussage, die ÖKOBAUDAT bzw. die Rechenwertetabelle 2023 liefere nicht genügend Datensätze für eine Gebäudebeschreibung, ist nicht korrekt. Dieser Sichtweise liegt die Vorstellung zugrunde, für jedes Material eines Gebäudes einen spezifischen Ökobilanzdatensatz vorzufinden. Die scheinbare Fülle der Datensätze beruht auf der Unterscheidung zwischen generischen und spezifischen Datensätzen. Die Bauprodukte mit den spezifischen Datensätzen beziehen sich oftmals auf dasselbe Material mit seinem generischen Datensatz. Die Probleme der vollständigen Gebäudebeschreibung bestehen in der spezifischen Kenntnis des Inhalts der Umweltproduktdeklarationen und der damit zu verknüpfenden Materialdatensätze. Zweifellos bestehen an einigen Stellen noch wesentliche Lücken in der ÖKOBAUDAT, die aber voraussichtlich mit der ÖKOBAUDAT 2024-A2 gefüllt werden können.

Dieser Beschränkung der Anzahl der Datensätze in der Rechenwertetabelle steht andererseits eine Fülle an Datensätzen der Industrie in der ÖKOBAUDAT gegenüber. So wurden in den vergangenen Jahren ca. 150 Datensätze für Polyurethan-, Epoxidharz- und Methacrylatprodukte auf die ÖKOBAUDAT hochgeladen, deren Einsatzgebiet sich nur Experten erschließt. Ebenso verhält es sich mit ca. 40 neuen Datensätzen der Betonhersteller in der ÖKOBAUDAT 2023-A2, die sich auf Rezepturen für Spezialbetone bestimmter Betonherstellerwerke in Deutschland beziehen. Es ist eine notwendige Aufgabe, diese Diskrepanzen aufzulösen.

5.1.2.2 ÖKOBAUDAT 2024-A2

Veränderungen in der Normung können zu einem Aktualisierungsbedarf u. a. bei den Datengrundlagen führen. (DIN EN 15804:2022-03) sieht vor, dass bei der künftigen Berechnung und Angabe des GWPs eine Unterscheidung in GWP fossil, GWP biogenic und GWP luluc aus Landnutzungsänderung vorzunehmen ist. Im Laufe des Jahres 2023 wurde bereits eine ÖKOBAUDAT in der Version 2023-A2 veröffentlicht. Die darin enthaltenen Datensätze waren teilweise nach den Regeln des Amendments A2 für EN 15804 berechnet und wiesen Daten für ein Treibhauspotenzial (GWP 100) auf, welches in die Werte „GWP fossil“ und „GWP biogenic“ aufgeteilt war.

Eine Überprüfung der Datensätze, die für die Rechenwerte benötigt werden, wies allerdings Lücken für diese Aufteilung bei ca. 20 % der Datensätze auf. Die für die Betreuung der Datenbank zuständigen Stellen bemühten sich daraufhin, die fehlenden Datensätze bereitzustellen, was ausschließlich für das hier vorgestellte Forschungsprojekt Anfang des Jahres 2024 geschah. Damit konnte eine Neuberechnung durchgeführt und eine Auswertung des Treibhauspotenzials GWP 100 getrennt nach GWP fossil und GWP biogenic erfolgen. Die offizielle Veröffentlichung der vervollständigten ÖKOBAUDAT in der Version 2024-A2 wird voraussichtlich Mitte des Jahres 2024 erfolgen.

5.1.3 QNG im Kontext weiterer Nachhaltigkeitsbewertungssysteme

2009 wurden in Deutschland die ersten Zertifizierungssysteme eingeführt: das privat organisierte System der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) und das System für Bauten des Bundes „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen“ (BNB). Diese beiden Systeme wurden später ergänzt durch das System der Wohnungswirtschaft „Nachhaltiger Wohnungsbau“ (NaWoh) und das „Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnhausbau“ (BNK). Alle Systeme sind inhaltlich nach einem Dreisäulenmodell der Nachhaltigkeit aufgebaut, unterscheiden sich jedoch in ihren Details. Tabelle 1 liefert einen Überblick.

Tabelle 1 Übersicht zu Nachhaltigkeitsbewertungs- und Zertifizierungssystemen

System	Abkürzung	Entwickler	Start	Nutzungs-Typologie	Systemtyp	Nachhaltigkeits-aspekte	Zielgruppe
Bewertungssystem nachhaltiges Bauen	BNB	BMVBS	2009	Büro, Bildung, Labor, Freiraum	Gold, Silber, Bronze	Umwelt, Ökonomie, Soziales, Technik, Prozess	Gebäude des Bundes
Deutsche Gesellschaft nachhaltiges Bauen	DGNB	DGNB e.V.	2009	Büro, Bildung, Hotel, Industrie, Wohnungsbau, Handelsbauten, Labor, Freiraum	Platin, Gold, Silber, Bronze, Gestaltung, Diamant	Umwelt, Ökonomie, Soziales, Technik, Prozess	freier Markt
Nachhaltiger Wohnungsbau	NaWoh	NaWoh e.V.	2012		erfüllt, übererfüllt	Umwelt, Ökonomie, Soziales, Technik, Prozess (alle Teilaspekte reduziert)	Wohnungswirtschaft, Mehrfamilienhaus
Bewertungssystem Kleinwohnhausbau	BNK	BIRN e.V.	2016		Gold, Silber, Bronze	Umwelt, Ökonomie, Soziales, Technik, Prozess (alle Teilaspekte reduziert)	Kleinwohnungsbau, freier Markt
diverse Ländersysteme in Bayern, Baden-Württemberg, NRW usw. basierend auf dem BNB-System, aber reduziert.							Gebäude der Länder
Qualitätssiegel nachhaltiges Gebäude	QNG	BMI/BWSB	2021/2023	Wohnungsbau / Nicht-Wohnungsbau	QNG-Plus, QNG-Premium	eigene Anforderungen für Ökologie, Risikostoffe, Barrierefreiheit, Ressourcen, für die Erfüllung eines Zertifizierungssystems (s.o.)	Förderungsmittel nach KfW-Regeln, freier Markt

5.1.3.1 Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)

Gut zehn Jahre nach der Ersteinführung derartiger Bewertungssysteme führte das vormalige Bundesministerium des Inneren (BMI) 2021 mit dem Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude ein Siegelssystem ein, das Aspekte des BNB-Systems als Grundlage nahm. Dieses Siegel ist die Voraussetzung, um an der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) teilzunehmen. Zum 01. März 2023 wurde das System in überarbeiteter Form durch das BMWSB veröffentlicht. Das Siegel gilt für die Nutzungskategorie Wohnungsbau (BMWSB, 2024). Es wird unterschieden zwischen:

- Wohngebäude (QNG-WG23)
- Nichtwohngebäude (QNG-NW23)

Folgende Anforderungs- und Bewertungsniveaus werden unterschieden:

- QNG-Plus
- QNG-Premium

Das QNG baut im Bereich der allgemeinen Anforderungen auf den im Markt existierenden Bewertungssystemen für nachhaltiges Bauen auf. Das Qualitätssiegel hat im Fall von Wohnbauten bei den folgenden vier Kriterien besondere Anforderungen, die erfüllt werden müssen:

- Treibhausgasemissionen und Primärenergieaufwand im Lebenszyklus (Ökobilanz)
- Barrierefreiheit
- Schadstoffvermeidung in Baumaterialien
- Nachhaltige Materialgewinnung

Um Anforderungen an den Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung zu erfüllen, müssen das Gebäude sowie die Prozesse seiner Planung, Errichtung und Übergabe bzw. Inbetriebnahme durch ein vom Siegelgeber registriertes Bewertungssystem zertifiziert sein. Dies bedeutet, dass das Gebäude die Mindestanforderungen dieser Systeme erfüllt. Anerkannt sind im Moment folgende Systeme:

- DGNB (Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen)
- NaWoh (Nachhaltiger Wohnungsbau)
- BNK (Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnhausbau)

Die Ökobilanz nach QNG unterscheidet sich in Bezug auf die Rechenregeln in einigen Punkten von den genannten Zertifizierungssystemen. Folgende Regeln sind zu berücksichtigen:

- Es wird ein jährlicher Strombedarf der Nutzer mit 20 kWh pro m² beheizter Fläche angesetzt.
- Es wird ein Sockelbetrag für die Grundinstallation der Haustechnik angesetzt.
- Der Ertrag der BIPV-Anlage wird standortbezogen berücksichtigt.
- Der Eigenverbrauch des erzeugten Stroms wird berücksichtigt.
- Die grauen Emissionen der BIPV-Anlage/Speicher werden entsprechend dieses Anteils angerechnet.
- Die Bauwerksmasse wird in kg/(m²NRF) angegeben.
- Die anteilige Bauwerksmasse nachwachsender Rohstoffe wird in kg/(m²NRF) angegeben.
- Bei Wärmepumpen sind die Emissionen der eingesetzten Kältemittel zu berücksichtigen.

Ausgewertet werden zwei Indikatoren im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren:

- Primärenergie, nicht erneuerbar (kWh/(m²NRF a))
- Treibhauspotenzial (Global Warming Potential – GWP 100) in kg CO₂e/(m²NRF a)

Zusätzlich sind anzugeben:

- D1 = Recyclingpotenzial
- D2 = bei Dritten potenziell vermiedene Treibhausgasemissionen infolge gelieferter Energie.

5.1.3.2 Anpassungen von Bilanzierungsregeln durch die KfW

Zusätzlich zu den QNG-Zertifizierungsregeln hat die Kreditanstalt für Wiederaufbau weitere Regeln erlassen, die Unschärfen in der Berechnung der gebäudebezogenen und betriebsbedingten Anteile der Ökobilanz beseitigen sollen. Diese werden im Internet auf dem KfW-Portal im FAQ-Bereich veröffentlicht und regelmäßig aktualisiert. Eine wesentliche Korrektur der Bilanzierungsregeln betraf die Berechnung

der energetischen Performance der Photovoltaikanlage. Seit dem 1. August 2023 muss die Berechnung entsprechend den Vorschriften der DIN V 18599 Teil 9 erfolgen (DIN V 18599-9:2018-09). Die Durchführung von Simulationsrechnungen zur Ermittlung des BIPV-Ertrags ist damit nicht mehr zulässig. Monatliche Stromerträge, die den jeweiligen monatlichen Strombedarf übersteigen, dürfen nicht angerechnet werden. Im Projekt wurden alle Objekte mit BIPV-Anlage nach den Regeln der DIN V 18599 neu berechnet. In einer Sonderbetrachtung wurden die Unterschiede bei den Ergebnissen, die aus spezifischen Berechnungsansätzen resultierten, ermittelt und analysiert.

5.2 Regeln für die Modellierung der untersuchten Gebäude

5.2.1 Systemgrenze, funktionales Äquivalent

Eine vergleichende Ökobilanz muss nach DIN EN 15978 sicherstellen, dass die zu vergleichenden Gebäude eine möglichst ähnliche Funktion erfüllen. Das daher zu definierende funktionale Äquivalent setzt die Erfüllung der technischen und funktionellen Mindestanforderungen voraus. Die Systemgrenze für das zu betrachtende Bauwerk ist die Außenkante des Gebäudes. Damit erweitert sich die Systemgrenze teilweise um die notwendigen Bauteile für die Erschließung auf dem Grundstück sowie um die ggf. auf dem Grundstück befindlichen Komponenten der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA). Dies ist jeweils im Detail zu dokumentieren. Im Rahmen des Projekts erfolgt eine Sonderauswertung zum liegenschaftsbezogenen Aufwand.

5.2.2 Mindestanforderungen

Die erfassten und berechneten Gebäude sind geplant, genehmigt und gebaut worden. Grundsätzlich erfüllen sie Anforderungen an die funktionale Qualität, halten gesetzliche Anforderungen ein und beachten den Stand der Technik in Bezug auf die Erfüllung von Anforderungen an die technische Qualität.

Zusätzlich zu den für die Untersuchung ausgewählten realen Gebäuden wurden während der Bearbeitung durch die Modifikation von Eigenschaften und Parametern Gebäudevarianten gebildet. Diese erfüllen ebenso u. a. die Anforderungen an Standsicherheit und Tragfähigkeit der Konstruktion, die Brandschutzanforderungen und übrige Anforderungen an die funktionale und technische Qualität. Alle Gebäude und Gebäudevarianten unterschreiten die zum Zeitpunkt der Planung bzw. Errichtung geltenden Anforderungen der Energieeinsparverordnung oder des Gebäudeenergiegesetzes.

Für die Bildung und Interpretation von Gebäudevarianten gilt:

Die technische Ausführung verschiedener Bauweisen unterscheidet sich. Aufgrund der unterschiedlichen Konstruktionen ergeben sich graduelle Unterschiede in Bezug auf die Übererfüllung spezifischer Mindestanforderungen, z. B. Übererfüllung der Brandschutzanforderungen bei den Bauweisen mit nicht brennbaren Materialien. Dies führt an einigen Stellen zur Übererfüllung einzelner technischer Anforderungen, bei gleichzeitiger exakter Erfüllung der anderen technischen Vorgaben. Folgende Unterschiede können auftreten:

- Bei den verschiedenen Bauweisen bestehen zwischen der mineralischen Bauweise (z. B. Porenbeton, Ziegel, Kalksandstein mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS)) und der Leichtbauweise (z. B. Holztafel, Massivholz) Unterschiede in Bezug auf die Übererfüllung der Schallschutzanforderungen oder die Wärmespeicherfähigkeit im Sommer.
- Der Schallschutz gegen Lärm von außen ist bei der Gebäudekonzeption unter Anwendung der (DIN 4109-1:2018-01) zu ermitteln. Bei der Ausbildung der Hüllflächenbauteile ist der Außenlärmpegel (z. B. Straßenverkehr) zu berücksichtigen. Bei einem freistehenden Gebäude sind die Belange des nachbarschaftlichen Schallschutzes nicht zu berücksichtigen, da keine angrenzenden Gebäude oder Wohnungen vorhanden sind. Innerhalb des Gebäudes kann Schall bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte als störend empfunden werden. Ein komfortables Schallschutzniveau ist für die schwere Bauweise (Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton, Hybrid) leichter umzusetzen, sodass hier eine Übererfüllung dieser Anforderung vorliegen kann. Im Leichtbau (Holztafelbau oder Massivholzbau) sind zusätzliche Maßnahmen, die einen Materialmehraufwand darstellen, umzusetzen. Beispielsweise müssen die Zwischendecken zwischen den Geschossen mit einer zusätzlichen Beschwerungsschicht versehen werden. Diese Materialmengen sind in den Berechnungen enthalten.

- Die Wärmespeicherfähigkeit von schweren Bauteilen führt zu einem etwas niedrigeren Heizwärmebedarf.
- Die Langlebigkeit des Primärtragwerks kommt bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, wie er in Deutschland bei der Nachhaltigkeitszertifizierung angewendet wird (BNB, DGNB, NaWoh, BNK) nicht zum Tragen. Sehr wohl unterscheiden sich aber die Lebenszyklen von einzelnen Bauteilen bedingt durch den Austausch von WDVS, Anstrichen (Holz) und Holzverschalung. Der Zyklus für den Austausch von Bauteilen mit einer Lebensdauer unter 50 Jahren wird gemäß der Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse“ (BNB, 2017) ermittelt.
- Die unterschiedlichen Bruttogrundflächen und Kubaturen durch verschieden dicke Außenwandbauteile werden nicht berücksichtigt.
- Das geringere Gebäudegewicht bei leichter Bauweise der Wand- und Deckenkonstruktion (Unterschiede von ca. 30 – 50 %) führt nicht zwangsläufig zu geringeren (schlankeren) Gründungsbauteilen (Fundamentschichten). Der Masseunterschied relativiert sich durch gleichartige Bauteile wie Dachkonstruktion, Estrich und Gründungsbauteile, zudem sind die veränderlichen Einwirkungen, wie Schneelast und Verkehrslasten auf Decken, bei allen Bauarten gleich. Deshalb wird dieser Aspekt in diesem Projekt vernachlässigt.

Bei allen Gebäuden werden die Konstruktionen so gewählt, dass die übrigen Anforderungen an die funktionale und technische Qualität möglichst exakt eingehalten werden.

5.2.3 Erfassungstiefe beim Gebäudemodell und zulässige Vereinfachungen

Die Studie von (Kellenberger & Althaus, 2009) betont die Bedeutung der Erfassungstiefe aller Bauteile mit allen erforderlichen Nebenleistungen. Diese hat eine wesentliche Bedeutung für das Gesamtergebnis der Ökobilanz. Die Modellierung der Gebäudebestandteile durch die kostenbasierte Elementmethode im verwendeten Berechnungshilfsmittel LEGEP gewährleistet eine hohe Erfassungstiefe inklusive der notwendigen Nebenleistungen aller Bauteile. Dies bedeutet in der Konsequenz, dass damit auch die Ergebnisse der Ökobilanz durch die zusätzlichen Materialien der Nebenleistungen etwas höher ausfallen als bei einer Gebäudeerfassung, die sich nur an den Mengen gemäß der unmittelbaren Materialschichten des Gebäudes orientiert. Mögliche Abschneideregeln wurden nicht in Ansatz gebracht. Art, Umfang und Konsequenzen der Anwendung von Abschneideregeln bei der Massenermittlung bedürfen weiterer Untersuchungen.

Bei der Modellierung des Gebäudes vom Bauprodukt zur Bauteilschicht, zum Bauelement und zum Gebäude sind verschiedene Modellierungsschritte mit zunehmender Komplexität auszuführen. Die Ökobilanzmodule beziehen sich meist auf die Primärbauprodukte z. B. 1 m³ Beton, 1 Tonne Ziegel, 1 m² Teppichboden. Bereits auf der nächsten Komplexitätsebene, der Ausschreibungsposition, wird das Wissen des Unternehmers als Ausführender der verlangten Leistung (z. B. Ziegelwand mit Dicke, U-Wert, Tragfähigkeit usw.) benötigt. Dies bedeutet die korrekte Stein- und Mörtelauswahl:

- Mit bestimmter Rohdichte,
- Festigkeitsklasse,
- Wärmeleitzahl und
- Normalmörtel mit 10 mm oder Dünnbettmörtel mit 2 mm Dicke

festzulegen.

Bisher ist die Erfassung des Gebäudes in den Zertifizierungssystemen auf Basis der Bauteile nach Kostengruppen der (DIN 276:2018-12) (KG 300, KG 400, z. T. KG 500) geregelt. Eine Begriffsdefinition für die bei einer angewandten Ökobilanzierung nach EN 15978 geforderten „vollständigen Erfassung“ des Gebäudes im oben beschriebenen Sinne steht noch aus. In den FAQ-Seiten der KfW wird darauf

hingewiesen, dass alle Außen- und Innenbauteile des Gebäudes mit sämtlichen Schichtaufbauten in der Ökobilanzberechnung berücksichtigt werden müssen. Dies beinhaltet auch Bauteile und Bauteilschichten, die für die energetische Bilanzierung nicht relevant sind, wie z. B. Fassadenelemente bei hinterlüfteten Fassaden, Geschossdeckenaufbauten mit Bekleidung und Belägen, Innenanstriche, Fensterbänke (innen und außen) oder Handläufe von Treppen.

5.2.4 Haustechnische Installationen

Die erfassten Kostengruppen der Haustechnik nach DIN 276 umfassen:

- KG 410 Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen
- KG 420 Wärmeversorgungsanlagen
- KG 430 Lufttechnische Anlagen
- KG 440 Starkstromanlagen
- KG 450 Fernmelde- u. informationstechnische Anlagen
- KG 460 Förderanlagen

Zum Nachweis der vollständigen Berücksichtigung der Haustechnik wurde im Rahmen des QNG-Forschungsprojekts für die technische Grundinstallation ein Sockelbetrag ermittelt und dieser in den Modellierungen berücksichtigt (Schöffel & Drusche, 2023; QNG, 2023).

Zusätzlich wird die technische Gebäudeausrüstung für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Photovoltaik bezüglich der Hauptaggregate erfasst und variiert entsprechend der spezifischen Anforderungen des jeweiligen Heizungssystems, z. B. Wärmepumpeneinsatz oder Fernwärme. Die Lüftungsinstallation wird ebenfalls bezüglich des notwendigen Hauptgeräts erfasst. Die BIPV-Anlage wird mit den benötigten Modulen, dem Wechselrichter und der Batterie erfasst. Die Berechnung unterliegt den spezifischen Regeln des QNG.

5.2.5 Berücksichtigung der Emissionen aus Kältemitteln

Die hier untersuchten Objekte verfügen nur in Ausnahmefällen über spezifische Kälteanlagen, werden aber in vielen Fällen mittels Wärmepumpen beheizt. Diese können im Sommer zusätzlich durch die Kaltwassereinspeisung auch als Kühlaggregat verwendet werden. Die eingesetzten, nicht natürlichen Kältemittel verursachen durch Freisetzungprozesse von F-Gasen in die Umwelt erhebliche Emissionen, die klimarelevant sind. Diese müssen im Rahmen der Ökobilanz berücksichtigt werden. Die THG-Emissionen der nicht natürlichen Kältemittel fallen je nach eingesetztem Typ sehr unterschiedlich aus. Die Daten für die Rechenregeln wurden einer Veröffentlichung des Umweltbundesamts von 2014 (Richter, et al., 2014) entnommen.

5.3 Während der Nutzungsphase zugrundeliegende Klimadaten

Die während der Nutzungsphase zugrundeliegenden Klimadaten sind von besonderer Bedeutung, da sie einen maßgeblichen Einfluss auf den Energieverbrauch und die Umweltauswirkungen eines Gebäudes während seiner Nutzung haben. Die gegenwärtig nach dem Gebäudeenergiegesetz bei der energetischen Bilanzierung zugrunde zu legenden Klimadaten (Referenzklima Deutschland) basieren auf dem Testreferenzjahr für den Standort Potsdam (TRY 2010) (DWD, 2017). Dieser Klimadatensatz beschreibt ein klimatologisch mittleres Klima mit Stand des Klimawandels um 1998, das zum Zeitpunkt seiner Erstellung als repräsentativ für das gesamte Bundesgebiet festgelegt wurde. Das Voranschreiten des Klimawandels im letzten Jahrzehnt legt nahe, dass die bisher zugrunde liegenden Klimadaten nicht mehr uneingeschränkt als repräsentativ für eine zukünftige Nutzungsphase angesehen werden können.

6 Datenbeschaffung und Modellbildung

Der verwendete Gebäudepool in diesem Forschungsprojekt besteht aus einer Mischung aus modellierten sowie geplanten und realisierten Objekten der Nutzungskategorie „Wohngebäude“. Die Mehrzahl der untersuchten Gebäude ist von den beteiligten Unternehmen tatsächlich realisiert worden. Für die durchzuführende Lebenszyklusanalyse wurden von den Unternehmen die entsprechenden Bau- und Planungsunterlagen zur Verfügung gestellt.

6.1 Ausgewählte Fragen der Datenbeschaffung

6.1.1 Herangehensweise für die Datensammlung

Da für eine Lebenszyklusanalyse sehr detaillierte Informationen notwendig sind, wurden den Datenlieferanten durch das Projektteam verschiedene Hilfsmittel zur Zusammenstellung der notwendigen Daten zur Verfügung gestellt. Diese bestanden aus:

- Arbeitsanleitung für die Erfassung von Gebäudedaten
- Dokumentenliste für die Eingabe von Gebäuden
- Berechnung der Flächen nach DIN 277
- Informationsblätter für eine Erfassung des Endenergiebedarfs und der Photovoltaikanlage

Auf dieser Basis wurde den Datenlieferanten eine Tabellenkalkulationsvorlage zur Erhebung und Dokumentation der Objektdaten angeboten. Diese bestand aus verschiedenen Einzelblattvorlagen:

- Allgemeine Gebäudedaten
- Raumliste
- Konstruktionsaufbauten
- Fenster und Türen
- Wandflächen

6.1.2 Probleme der Datenerfassung

In der Sammlung der Gebäudedaten mit Informationen zum Bauantrag, über Kubatur- und Flächenberechnungen, detaillierten Konstruktionsaufbauten, Energieausweis und BIPV-Berechnungen fiel auf, dass in der Praxis teilweise noch wenig Erfahrung mit der Zusammenstellung der notwendigen Unterlagen vorliegt. Unter anderem bei der Flächenberechnung nach DIN 277 und in der Detailtiefe der Bauteilbeschreibungen gibt es noch Fragen und Unklarheiten. Deutlich mehr Erfahrungen gibt es dagegen bei der Zusammenstellung der Unterlagen für Bauanträge sowie detaillierte Informationen zur energetischen Qualität. Der Umgang mit Berechnungen der Gebäudenutzfläche (A_N) oder der Effizienzhausklassen mit Kenngrößen wie H_T oder Q_P ist in der Praxis bekannt und geläufig.

6.1.3 Abschneidekriterien

Unsicherheiten mit den notwendigen Berechnungsunterlagen entstehen u. a. durch Bezeichnungen von Randbedingungen aus Zertifizierungssystemen, beispielsweise im QNG für Wohngebäude (QNG, 2023):

- „Alle Baumaterialien mit einem Anteil größer 1 % an der gesamten Masse des Gebäudes oder größer 1 % des Primärenergieaufwands, nicht erneuerbar des entsprechenden Materials oder größer 1 % der Bilanzgröße GWP100 müssen berücksichtigt werden.“

- „Die Summe der vernachlässigten Baumaterialien darf 5 % der Masse des Gebäudes, des Primärenergieaufwands nicht erneuerbar bzw. der Bilanzgröße GWP100 nicht übersteigen.“
- „Vorort bzw. werksseitig verarbeitete Kleinstteile (bspw. Nägel, Dübel, Schrauben) und produktspezifische Kleinstmengen (≤ 1 kg) dürfen vernachlässigt werden.“

Um eine Prozentregel zum Ansatz zu bringen, muss festgestellt werden, welcher Wert 100 % des Gebäudes erreicht. Dies bedeutet wiederum, dass alle Bauteile der Kostengruppe 300 nach DIN 276, die im Abschnitt 6 erwähnt sind, bis auf Kleinstmengen erfasst werden müssen. In einem nächsten Schritt müssen für die genannten Indikatoren:

- Stoffmasse,
- Primärenergie, nicht erneuerbar und
- Treibhauspotenzial

diejenigen Bauprodukte, die in der Summe größer 1 % ergeben, identifiziert werden. Diejenigen Bauprodukte, die kleiner als 1 % der

- Stoffmasse,
- Primärenergie, nicht erneuerbar und des
- Treibhauspotenzials

ergeben, können weggelassen werden, bis sie 5 % des Gesamtanteils der drei Indikatoren

- Stoffmasse,
- Primärenergie, nicht erneuerbar und
- Treibhauspotenzial

erreichen. Dies kann grundsätzlich alle Bauprodukte betreffen.

In der Berechnungspraxis hat sich gezeigt, dass die 5 Prozent-Regel pauschal über die Stoffmasse angewendet wird, da die Berechnung über die einzelnen Indikatoren zu aufwändig ist. Dies bedeutet, dass bei einem Einfamilienwohnhaus je nach Bauweise größere Mengen an Material weggelassen und nicht bilanziert werden können. Auf das Thema der „Abschneideregeln“ wird bei den Handlungsempfehlungen nochmals eingegangen.

6.2 Modellgebäude und Bildung von Varianten

6.2.1 Übersicht

Insgesamt stehen für die Analyse 32 Gebäudetypen mit einer Unterteilung in 99 Varianten zur Verfügung, die sich in Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser unterschiedlicher Größen und Bauarten aufteilen. Die Präsentation der Ergebnisse erfolgt mittels Tabellen und Diagrammen, die eine umfassende Übersicht über die energetische Performance dieser Gebäude bieten.

Im Rahmen der Darstellung werden die Primär- und Endenergiebedarfe der Gebäude sowohl absolut als auch flächenbezogen aufgeführt. Diese detaillierte Betrachtung ermöglicht es, ein klares Bild vom Energieverbrauch der Gebäude zu erhalten, wobei sowohl der Gesamtenergieverbrauch als auch der spezifische, auf die Fläche bezogene Energieverbrauch berücksichtigt werden.

Zusätzlich zur Analyse der Energiebedarfe liegt ein besonderer Fokus auf der Untersuchung der thermischen Eigenschaften der Gebäudehüllen, speziell des Wärmedurchgangskoeffizienten H_T ¹. Diese Analyse umfasst den Vergleich der thermischen Qualitäten der untersuchten Gebäude mit den

Referenzniveaus und den Standards für Effizienzhäuser 40 der Kreditanstalt für Wiederaufbau. Diese Standards sind entscheidend für die energetische Bewertung der Gebäude.

Durch den direkten Vergleich mit den KfW-Effizienzhausstandards und anderen Referenzwerten wird es möglich, die energetische Effizienz und Nachhaltigkeit der betrachteten Gebäude umfassend zu bewerten. Diese Gegenüberstellung ermöglicht eine tiefgehende Einsicht in die Leistungsfähigkeit der Gebäudehüllen, hinsichtlich der Wärmeisolierung und des Energieverlusts.

Die Ergebnisse dieser Analysen tragen wesentlich dazu bei, die Energieeffizienz der Gebäude im Kontext aktueller Standards und Best Practices zu verstehen und zu bewerten. Das ist im Hinblick auf die kontinuierliche Verbesserung der Bauqualität und die Förderung nachhaltiger Baupraktiken von großer Bedeutung. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bieten zudem wertvolle Einblicke in die Qualität der Gebäude im Hinblick auf ihre Ökobilanz. Durch die detaillierte Analyse der verschiedenen Energiebedarfe und Kenngrößen lassen sich Aussagen über die Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit der Gebäude treffen, was für die Planung zukünftiger Bauprojekte und für die Weiterentwicklung von Energiestandards von großer Bedeutung ist.

6.2.2 Gebäudetypologie – Querschnitt von Gebäudegrößen und Bauweisen - Codierung

Die Grundlage aller Untersuchungen und Vergleiche bilden 32 realisierte Gebäude. An 32 Gebäuden, die als primäre Untersuchungsobjekte genutzt werden, werden die verschiedenen Berechnungen durchgeführt, um die entsprechenden Forschungsfragen zu diskutieren. Tabelle 2 zeigt die Objektübersicht in Form einer Matrix, welche mit Tabelle 3 die Untersuchungssystematik darstellt. Die Gebäudetypen sind in Einfamilienhäuser (EFH), Doppelhäuser (DHH) und drei Kategorien von Mehrfamilienhäusern (MFH) unterteilt. Diese Kategorien für Mehrfamilienhäuser sind wie folgt definiert: „Klein“ für MFH mit weniger als vier Wohneinheiten, „Mittel“ für Gebäude mit vier bis sechs Wohneinheiten und „Groß“ für Gebäude mit mehr als sechs Wohneinheiten. Die verschiedenen Bauweisen sind Holztafel-, Massivholz-, Hybrid-, Modul-, Ziegel-, Kalksandstein und Porenbeton. Die Daten zu den Gebäuden stammen zu einem wesentlichen Teil von realisierten Bauprojekten verschiedener Mitglieder des Bundesverbandes Deutscher Fertigbau (BDF), zu einem anderen Teil aus dem Gebäudepool realisierter Bauobjekte des Projektteilnehmers Ascona GbR und dem virtuellen Gebäudepool des Projektteilnehmers Ingenieurbüro Prof. Hauser GmbH.

Tabelle 2: Untersuchungsobjekte

Gebäudetyp/ Bauweise	Einfamilienhaus (EFH)	Doppelhaushälfte (DHH)	Mehrfamilienhaus < 4 WE	Mehrfamilienhaus 4 <x < 6 WE	Mehrfamilienhaus > 6 WE	Wohnähnliche Nutzung
Holztafel	5	2	4	1	1	1
Massivholz	1	0	0	0	0	1
Hybrid	1	0	0	1	2	2
Modul	1	0	0	0	2	0
Ziegel	1	0	0	0	0	0
Kalksandstein	1	0	0	1	3	0

Aus den in Tabelle 2 dargestellten 32 Gebäuden wurden für eine gleichmäßigere Verteilung in Bauweise und Gebäudetyp unterschiedliche Varianten gebildet (Tabelle 3) und je nach Fragestellung in den Detailanalysen (Kapitel 10) ausgewählt.

Tabelle 3: Untersuchungsobjekte mit Untersuchungsgegenstand

	Anzahl	Holztafel	Massivholz	Hybrid	Modul	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton
Gebäude	32	14	2	6	3	1	6	0
Variation der Bauweise	12	3	2	0	0	2	3	2
Variation der U-Werte	9	3	1	1	1	0	2	1
Varianten Energieträger	1	0	0	0	0	1	0	0
Variante Klimadaten	45	0	0	0	0	0	45	0

Die einzelnen Objekte des Gebäudekatalogs wurden mit einer Codierung versehen. Die Codierung hat zwei Ziele:

- die Anonymisierung der Datenlieferanten
- die schnelle Erkennung des Dateiinhalts bei Projektberechnungen und den dabei erzeugten Dateien bzw. Dokumenten

Tabelle 4 gibt Erläuterungen zur Bezeichnung (Codierung).

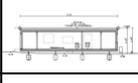
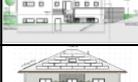
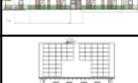
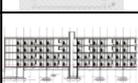
Tabelle 4: Systematik der Codierung der Untersuchungsobjekte

Akronym	Hersteller	Gebäudetyp	Geschoss-anzahl	Gebäude-merkmal	Bauweise	Modifi-zierung	Tief-garage
01, 02, 03, ...	Anonymisierung Datenlieferant						
EFH		Einfamilienhaus					
DHH		Doppelhaushälfte					
RMH		Reihenmittelhaus					
MFH		Mehrfamilienhaus					
1, 2, 3, ...			Anzahl der Geschosse				
DG				Dachgeschoss			
KG				Kellergeschoss			
HT					Holztafel		
MH					Massivholz		
KS					Kalksandstein		
Z					Ziegel		
B					Porenbeton		
HY					Hybrid		
MB					Modul		
EH40-HT-MOD						U-Wert verbessert es Objekt	
TG							Tief-garage

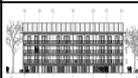
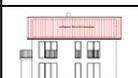
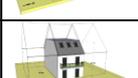
6.2.3 Gebäudematrix

Tabelle 5 zeigt eine Gebäudematrix der 32 untersuchten Gebäude und dient neben der Codierung für eine schnelle Erkennung des genauen Gebäudetyps bei Projektberechnungen.

Tabelle 5: Untersuchte Gebäude

Codierung	Bild	Bauweise	Dachform	NRF	Anzahl Wohnungen	EH-Plan	Heizung
01-DHH-2-DG-HT		HT	Satteldach	189,2	1	EH40	Wärmepumpe
04-MFH-2-KG-DG-HT		HT	Satteldach	460,0	3	EH55	Wärmepumpe
05-EFH-1-MB		MB	Flachdach	49,3	1	EH55	Wärmepumpe
05-MFH-3-KG-HY		HY	Flachdach	1413,3	12	EH55	Wärmepumpe
05-MFH-3-KG-HY mit TG		HY	Flachdach	1888,3	12	EH55	Wärmepumpe
06-EFH-1-DG-HT		HT	Flachdach	227,1	2	EH40	Wärmepumpe
09-EFH-2-KG-HT		HT	Flachdach	286,1	2	EH40	Wärmepumpe
10-EFH-2-HT		HT	Flachdach	171,0	1	EH40	Wärmepumpe
11-EFH-2-KG-HT		HT	Satteldach	398,3	2	EH40	Wärmepumpe
13-MFH-2-KG-HT		HT	Walmdach	565,3	3	EH40	Wärmepumpe
15-MFH-3-KG-HY		HY	Flachdach	1024,2	11	EH55	Wärmepumpe
16-EFH-2-KG-DG-HT		HT	Satteldach	381,6	2	EH40	Wärmepumpe
17-MFH-1-KG-DG-HT		HT	Satteldach	335,2	3	EH40	Wärmepumpe
18-MFH-3-KG-HT		HT	Pulldach	2719,1	13	EH40	Pellet
19-MFH-6-KG-HT		HT	Flachdach	1558,9	19	EH55	Wärmepumpe
20-MFH-3-KG-HT		HT	Flachdach	610,8	6	EH55	Wärmepumpe
21-MFH-4-KG-MH		MH	Flachdach	4312,5	-	-	Fernwärme
22-EFH-1-HT		HT	Satteldach	95,9	1	EH40	Nahwärme
22-MFH-2-KG-DG-HT		HT	Walmdach	557,5	3	EH55	Wärmepumpe

Fortsetzung Tabelle 5:

Codierung	Bild	Bauweise	Dachform	NRF	Anzahl Wohnungen	EH-Plan	Heizung
23-EFH-1-MH		MH	Satteldach	98,0	2	EH40	Nahwärme
30-MFH-5-MB		MB	Flachdach	2296,0	22	EH55	Wärmepumpe
30-MFH-5-MB TG		MB	Flachdach	3045,0	22	EH55	Wärmepumpe
32-MFH-4-KG-KS		KS	Flachdach	1398,9	-	Passivhaus	Fernwärme
33-MFH-4-KG-KS		KS	Satteldach	1727,7	-	EH55	Fernwärme
34-EFH-2-HY		HY	Satteldach	153,1	1	EH40	Wärmepumpe
34-EFH-2-KG-KS		KS	Satteldach	227,4	1	EH40	Wärmepumpe
35-MFH-2-KG-DG-HY		HY	Satteldach	696,0	-	EH40	Wärmepumpe
36-EFH-1-Z		Z	Satteldach	89,9	1	EH40	Nahwärme
40-MFH-3-KG-KS		KS	Flachdach	618,3	6	EH40	Wärmepumpe
40-MFH-4-KG-KS		KS	Flachdach	631,4	12	EH40	Wärmepumpe
40-MFH-3-KS		KS	Satteldach	463,7	6	EH40	Wärmepumpe
40-RMH-2-KG-DG-KS		KS	Satteldach	262,1	1	EH40	Wärmepumpe

Teil C: Überprüfung aktueller Rechenregeln und Anforderungswerte

7 Verständnisfragen und Probleme bei Anwendern

Um einen Einblick in die Probleme und Herausforderungen von Anwendern der Rechen- und Ökobilanzierungsregeln zur Ermittlung und Bewertung der Treibhausgasemissionen sowie des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar und deren sonstige Erfahrungen mit dem Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude zu bekommen, wurden im Laufe des Forschungsprojektes mehrere Umfragen bei Mitgliedern des BDF und Zulieferern der Fertigbauindustrie durchgeführt.

Einige Mitglieder des BDFs haben bereits umfangreiche Erfahrungen mit Nachhaltigkeitszertifizierungen. Sie waren bereits 2009 an Forschungsprojekten zur Entwicklung und Einführung von Effizienzhausstandards und unter den ersten Antragstellern für eine Förderung, die eine Nachweisführung nach Anforderungen des QNG voraussetzt, beteiligt.

Mit knapp 25 % Marktanteil bei Ein- und Zweifamilienhäusern ist die Fertigbaubranche mit ihren Unternehmen und Kunden ein bedeutender Antragsteller der KfW-Förderung (Euwid, 2021).

7.1 Umfrage über die Anwendung der Ökobilanzierung in der Fertigbauindustrie

Eine im April 2024 durchgeführte Umfrage, an der sich 50 ordentliche Unternehmen des BDF aktiv beteiligten, spiegelt ein breites Spektrum an Erfahrungen in der Anwendung von Methoden der Öko- und Energiebilanzierung wider. Knapp drei Viertel der antwortenden Mitglieder (68 %) geben an, „vertraut“ und ca. 30 % „sehr vertraut“ mit den Grundlagen der Ökobilanzierung und ihren einschlägigen Rechen- und Bilanzierungsregeln zur Ermittlung und Bewertung von Treibhausgasemissionen und des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar im Lebenszyklus von Wohnbauten zu sein.

Die Verteilung der Anträge zum Förderprogramm KfN mit oder ohne QNG fällt gleichmäßig (52 % KfN mit QNG, 48 % KfN ohne QNG) aus. Die Initiative zur Stellung der Anträge geht dabei meist von den Bauherren aus. Berechnet werden die Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus meist durch eigene Angestellte der Unternehmen (78 %) und nur zu einem geringen Anteil durch beauftragte Dritte (22 %).

7.1.1 Herausforderungen in der praktischen Anwendung

Die Beachtung und Umsetzung der Rechen- und Bilanzierungsregeln bringt aus Sicht der an der Umfrage beteiligten Unternehmen einige Herausforderungen mit sich und führt auch zu Verständnisfragen. Folgende Abbildung 2 zeigt, inwieweit bei den Berechnungen Probleme auftraten.

Das am häufigsten genannte Problem stellt die Ermittlung der Bezugsfläche NRF (Nettoraumfläche) dar. Größter Kritikpunkt der Anwender ist, bedingt durch den hohen Einfluss der NRF auf das flächenbezogene Gesamtergebnis, die Möglichkeit der Vergrößerung der Bezugsfläche. Eine größere Bezugsfläche verbessert das flächenbezogene Bewertungsergebnis. Hingewiesen wird auf die Auswirkungen einer Berücksichtigung von Flächen wie Tiefgarage, Keller oder Spitzböden und das Überdenken der Wahl der Bezugsfläche wird angeregt.

Bei der Verwendung vorgegebener Nutzungsdauern für Bauteile, der Zuordnung von durchschnittlichen Daten zu konkreten Produkten und der Ermittlung des Eigennutzungsgrades bei der Erzeugung und Nutzung von BIPV-Strom geben knapp 50 % der Anwender Verständnisschwierigkeiten an. Im Bereich der Daten zu haustechnischen Anlagen werden von den Anwendern mehr Auswahlmöglichkeiten gewünscht, siehe Abbildung 2.

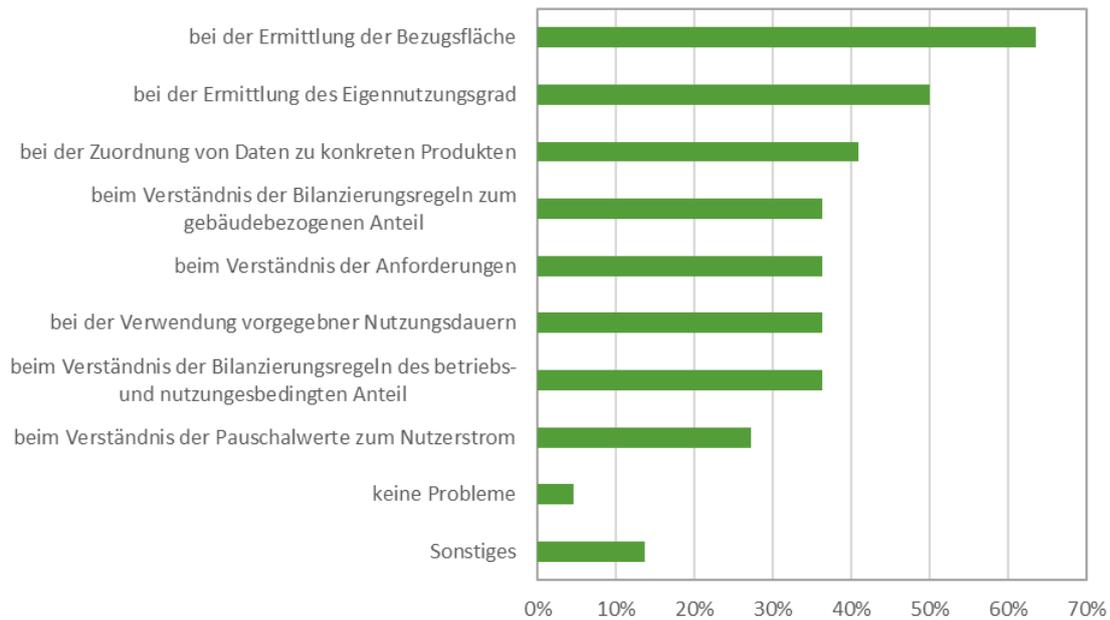


Abbildung 2: Auftretende Probleme bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen

Abbildung 3 gibt an, was die Unternehmen an der Erstellung einer Ökobilanz und einer Zertifizierung nach QNG hindert. Hier wird primär der hohe zeitliche und finanzielle Aufwand als Hemmnis dargestellt und sich eine Reduzierung der Komplexität der Bewertung gewünscht. Durch den gestiegenen Zinssatz der KfW-Förderung Kredit Nr. 297 und 298 auf 2,55 % (Mai 2024) sei dies für den Kunden finanziell nicht mehr attraktiv.

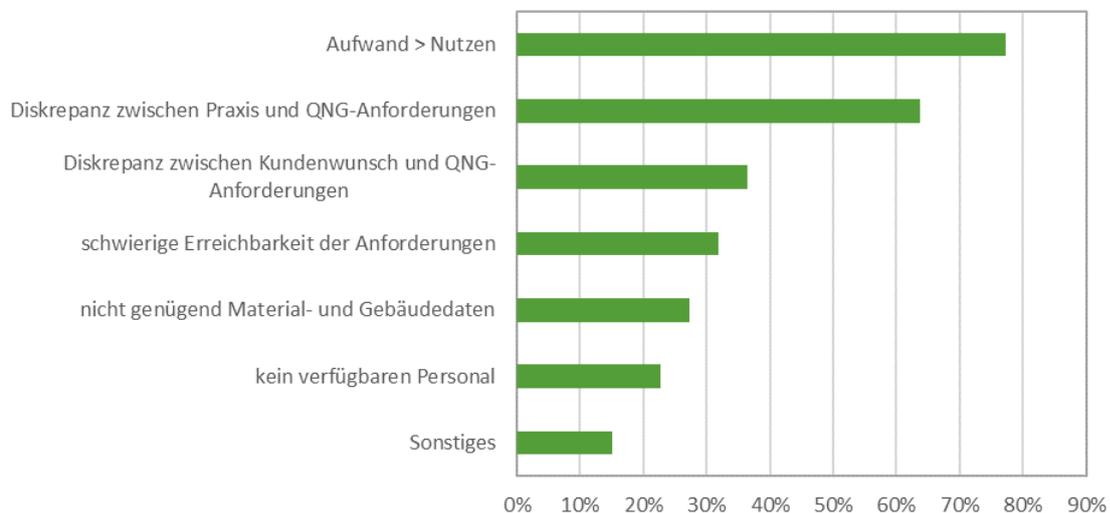


Abbildung 3: Hinderungsgründe, die eine Erstellung einer Ökobilanz und eine Zertifizierung nach QNG erschweren oder verhindern

Inwiefern Teilaufgaben oder Bereiche im Vergleich zu Standardgebäuden der Fertigbauunternehmen einen Einfluss auf die Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus haben, wird nach Auswertung der Umfrage in Abbildung 4 dargestellt.

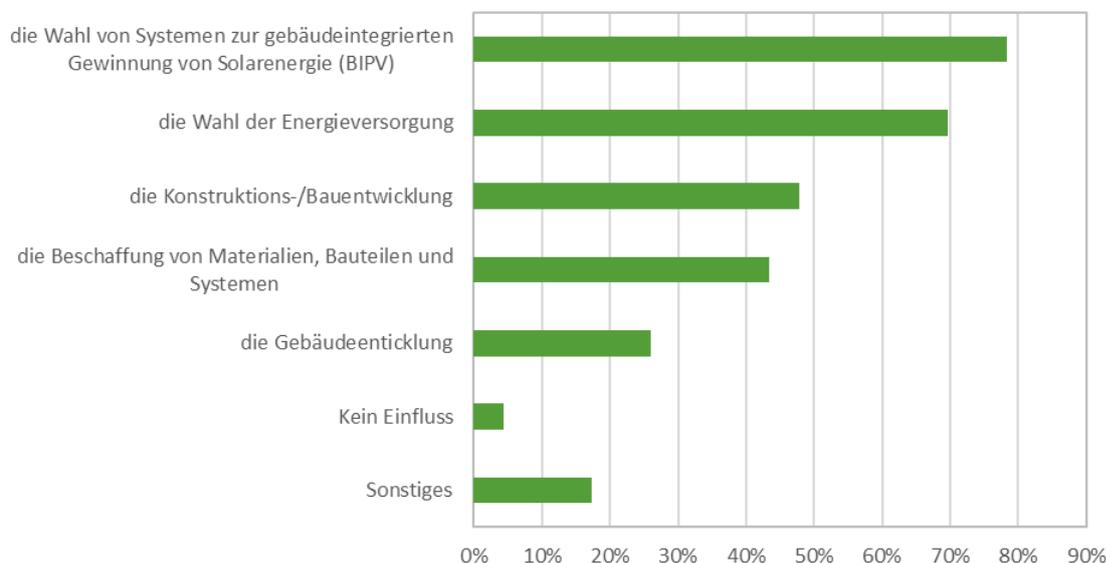


Abbildung 4: Einfluss von Teilaufgaben/Bereiche auf die THG-Emissionen im Vgl. zur Standardvariante

Anzumerken ist, dass in der Umfrage die Unternehmen gefragt wurden, inwieweit Teilaufgaben bzw. Bereiche im Vergleich zum Standard einen Einfluss auf die THG-Emissionen im Lebenszyklus haben. Dabei wird abgefragt, welches die Einflussnahmen auf das Ergebnis der Ökobilanz sind.

Nach Meinung der mitwirkenden Fertigbauhersteller haben die Wahl von Systemen zur gebäudeintegrierten Gewinnung von Solarenergie und die Wahl der Energieversorgung einen großen bis sehr großen Einfluss auf das Ergebnis. Die zeitliche Entwicklung der Gebäude hat nach Meinung der meisten Unternehmen dagegen nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis der Berechnung der Treibhausgasemissionen. Als zusätzliches Problem wurde die pauschale Festlegung zum flächenbezogenen Nutzerstrom in den Anmerkungen zur Umfrage genannt.

Gemäß der Aussage von Vertretern einzelner Fertigbau-Unternehmen wird u. a. hervorgehoben, dass das „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude“ (QNG) dafür sorgt, dass bei Neubauten verstärkt der Fokus auf Aspekte der Nachhaltigkeit gelegt wird. So würden auch die Unternehmen, zusammen mit ihren Lieferanten, durch den Einsatz emissionsarmer Produkte das Thema weiter vorantreiben.

7.1.2 Bevorzugte Datengrundlage

Das Umfrageergebnis der befragten Fertigbauunternehmen nach ihrer bevorzugten Datengrundlage für eine Ökobilanzierung wird in Abbildung 5 dargestellt. 18 % der befragten Unternehmen befürworten eine Ökobilanzierung mit Daten aus der Tabelle mit Rechenwerten der ÖKOBAUDAT. Demgegenüber bevorzugen 64 % eine Berechnung mit hersteller- und produktspezifischen Daten. Die bevorzugte Quelle für hersteller- und produktspezifische Daten ist nach Umfrage unter den Fertigbauherstellern die ÖKOBAUDAT.

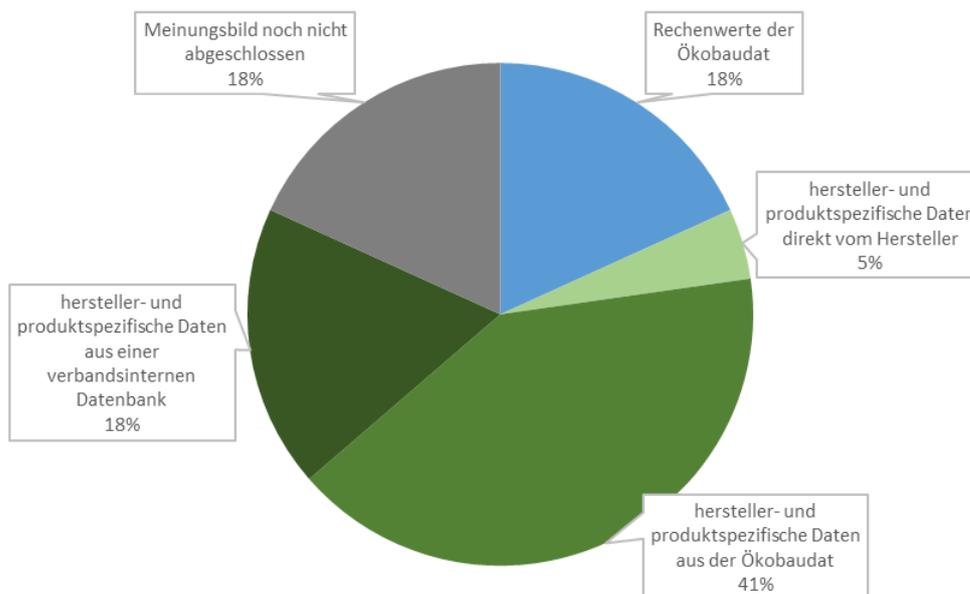


Abbildung 5: Bevorzugte Datengrundlage der Fertigbauunternehmen

7.2 Umfrage über den Status zu Umweltprodukt Daten in der Zulieferindustrie des Fertigbaus

Parallel zu den Unternehmen der Fertigbauindustrie wurden am 30. August 2024 119 Hersteller von Bauprodukten aus der Holzwerkstoff-, Fenster- und Türen-, Dämmstoff-, Gips- und Putzindustrie sowie Hersteller von haustechnischen Anlagen zu dem Status Ihrer Umweltprodukt Daten befragt. Beantwortet wurde die Umfrage von 35 Unternehmen. Nachstehend werden ausgewählte Ergebnisse vorgestellt. Abbildung 6 zeigt, dass nach Auswertung der Unternehmen überwiegend die Holzwerkstoff- und Dämmstoffindustrie angibt, EPDs zu erstellen, während Hersteller von haustechnischen Anlagen darin noch keinen großen Nutzen sehen. In der Umfrage nach der Verfügbarkeit und Planung für eine Erstellung von Environmental Product Declarations (EPD) geben 57 % der Unternehmen an, bereits EPDs zu besitzen. 43 % der befragten Unternehmen teilen mit, dafür über keine Ressourcen zu verfügen bzw. aktuell noch keinen Nutzen in der Erstellung von EPDs zu sehen.

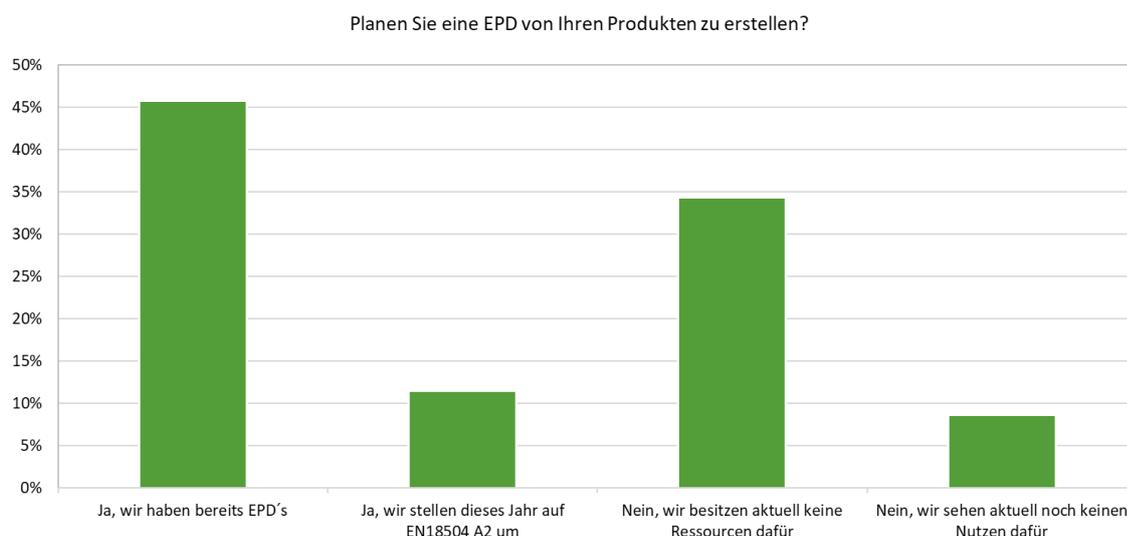


Abbildung 6: Status der EPDs in der Zulieferindustrie des Fertigbaus

Weitere Details des Kenntnisstands der Zulieferindustrie für einen Entwurf künftiger Bauproduktenverordnungen sowie den Zusammenhang zwischen Ökobilanzierung und Nachhaltigkeitsberichterstattung sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt.

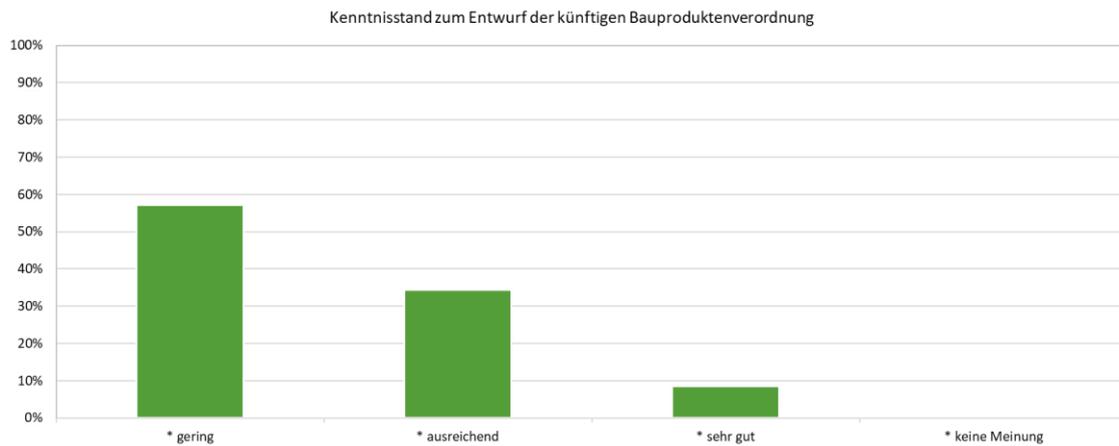


Abbildung 7: Kenntnisstand der Zulieferindustrie zum Entwurf der künftigen Bauproduktenverordnung

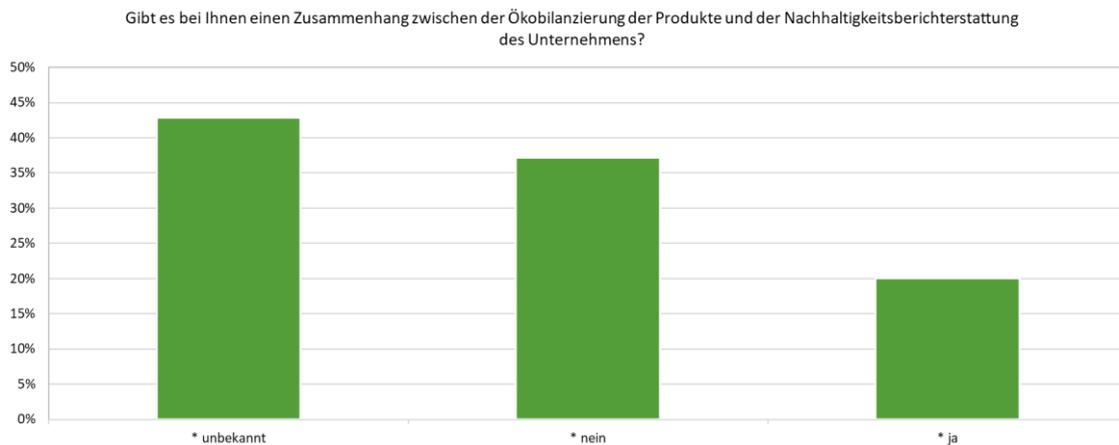


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen Ökobilanzierung und Nachhaltigkeitsberichterstattung

8 Hinweise auf Unschärfen bei Rechenregeln

Die Überarbeitung und Veröffentlichung von Rechenregeln und Normen, die oft auch die Entwicklung von Software betreffen, sollten mit Bedacht und in angemessenen Intervallen durchgeführt werden. Zu häufige Änderungen können zu Instabilitäten und erhöhtem Aufwand bei der Anpassung führen. Ein wesentlicher Punkt ist die Zugänglichkeit und Verständlichkeit der Änderungen in den Berechnungsregeln. Oft sind Aktualisierungen schwer auffindbar und nicht leicht verständlich, was die Arbeit der Entwickler erschwert. Eine klare, transparente und direkt zugängliche Kommunikation über diese Änderungen ist unerlässlich. Ein maximal jährliches Aktualisierungsintervall erscheint angemessen, um den Entwicklern genügend Zeit zu geben, ihre Systeme zu aktualisieren und anzupassen. Dies trägt zur Stabilität und Verlässlichkeit der Anwendungen bei und reduziert das Risiko von Implementierungsfehlern. Eine verständliche Aufbereitung der Informationen unterstützt die Qualitätssicherung und erleichtert den Entwicklern, ihre Anwendungen auf dem neuesten Stand der Technik zu halten.

In der Praxis kommt es häufig zu Inkonsistenzen bei der Anwendung der Rechenregeln, was zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann. Dies betrifft u. a. die Anwendung der Regeln zur Berechnung von Primärenergie und Treibhausgasemissionen. Um dies zu vermeiden, sollten die Rechenregeln klar und eindeutig formuliert und regelmäßig auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft werden. Eine standardisierte Schulung für Anwender und Entwickler könnte zusätzlich zur Konsistenz beitragen.

Die Anwendung von Abschneidekriterien, wie sie im QNG beschrieben sind, führt in der Praxis zu Unsicherheiten. Um die Relevanz und Genauigkeit der Berechnungen zu gewährleisten, müssen diese Kriterien klar definiert und ihre Anwendung gut dokumentiert sein. Eine pauschale Anwendung wie die 5 Prozent-Regel, die oft über die Stoffmasse erfolgt, sollte kritisch hinterfragt werden. Dabei ist es notwendig, die Auswirkungen dieser Regel auf die Gesamtergebnisse der Ökobilanz detailliert zu untersuchen und gegebenenfalls anzupassen.

Die verwendeten Klimadaten spielen eine wesentliche Rolle bei der Berechnung der Umweltauswirkungen eines Gebäudes. Angesichts des fortschreitenden Klimawandels ist es wichtig, dass die Klimadaten regelmäßig aktualisiert und an die aktuellen und prognostizierten Klimabedingungen angepasst werden. Dies betrifft beispielsweise auch die Datenbasis für die Berechnung des Energiebedarfs während der Nutzungsphase.

Schließlich ist die Einbindung der Perspektive der Nutzer und der Praktiker in die Weiterentwicklung der Rechenregeln von großer Bedeutung. Umfragen und Feedbackrunden mit den Anwendern können wertvolle Einblicke in die praktischen Herausforderungen und Verbesserungspotenziale der Rechenregeln bieten. Eine kontinuierliche Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen Normungsinstituten, Softwareentwicklern und Nutzern ist daher unerlässlich, um die Rechenregeln praxisnah und anwendungsfreundlich zu gestalten.

9 Erreichbarkeit aktueller Anforderungswerte

9.1 Historie der Entwicklung der Anforderungswerte und Hinweise zu Auswertungen

Für das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude Wohnungsbau (QNG-WB) wurden 2021 in einem Forschungsprojekt (Schöffel & Drusche, 2023) die Regeln für die Berechnung der Ökobilanz entwickelt (QNG, 2023). Dabei wurden Festlegungen getroffen, die von den bis dahin angewandten Regeln in den Zertifizierungssystemen (DGNB, BNB, NaWoh, BNK) abwichen. Dies betraf unter anderem

- die zusätzliche Berücksichtigung des Nutzerstroms im Modul B6.3,
- die Anrechnung des Ertrags der bauwerksintegrierten Photovoltaikanlage (BIPV),
- die anteilige Zuordnung der grauen Emissionen der BIPV-Anlage zum Gebäude,
- die Rechenwerte zu Ökobilanzdaten für Bauprodukte sowie
- neue Anforderungswerte für Primärenergie, nicht erneuerbar und Treibhauspotenzial.

Der Nutzerstrom wird für die Nutzungskategorie „Wohnungsbau“ von dem Berechnungsverfahren nach dem GEG bisher nicht erfasst. Diese Beschränkung wird bei der Installation einer Photovoltaikanlage auf oder an dem Gebäude problematisch, da der erzeugte und selbstgenutzte elektrische Strom dann nur mit dem berechneten Hilfsstrom des Gebäudes verrechnet werden kann. Dieser ist im Vergleich zu nutzerbezogenem Strombedarf sehr klein. Aus diesen Gründen ist eine Frage nach der Umweltbilanz von BIPV-Anlagen ohne eine Berücksichtigung des Nutzerstromes nur unvollständig zu beantworten. Für die Planungsansätze der Berechnung des Primärenergiebedarfs wird deshalb im QNG-WB ein Wert von 20 kWh/(m²a) für Haushaltsstrom und Beleuchtung gewählt. Die Angabe bezieht sich auf den Quadratmeter beheizter Nettogrundfläche. Der Wert wird aus Studien zum Effizienzhaus-PLUS (Rose, et al., 2019) übernommen.

Eine wesentliche Änderung zu den Regeln der bisherigen Zertifizierungssysteme betrifft damit den Umgang mit BIPV. Die Gesamtstromerzeugung der BIPV-Anlage darf nicht mehr zu 100 % dem Objekt zugerechnet werden. Der Eigennutzungsanteil muss daher bestimmt werden. Dieser Eigennutzungsanteil darf vom Energiebedarf (Strom) des Gebäudes subtrahiert werden. Im Gegenzug werden beim Einsatz einer BIPV-Anlage die graue Energie und die grauen Emissionen der BIPV-Anlage entsprechend der Höhe des Eigennutzungsgrades (ENG) dem Gebäude zugeordnet.

Es besteht ein Problem bei der Ermittlung des Eigennutzungsanteils. Unklar ist häufig, in welcher Höhe der oben erwähnte Nutzerstrombedarf in den Simulationsprogrammen bzw. in DIN V 18599 Teil 9 berücksichtigt wird.

Als Basis für die Berechnung der Ökobilanz wurde eine im Kontext der Entwicklung des QNG und seiner Anforderungswerte abgestimmte RECHENWERTETABELLE auf Basis der ÖKOBAUDAT vorgeschlagen, die eine Summe von ca. 480 Ökobilanzdatensätzen enthält. Diese Datensätze enthalten für alle benötigten Module des Lebenszyklus für zwei Indikatoren (Primärenergie, nicht erneuerbar und Treibhauspotenzial) alle notwendigen Informationen.

Als Grenzwert für das QNG-WB gelten seit dem 01. März 2023 folgende Werte für das Niveau QNG-PLUS:

- Indikator Primärenergie, nicht erneuerbar (PE ne): 96 kWh/(m²NRF a)
- Indikator Treibhauspotenzial (GWP): 24 kg CO₂e/(m²NRF a)

Die QNG-Anforderungssystematik übernimmt für den baulichen Wärmeschutz die Anforderungen eines Effizienzhauses 40. Das bedeutet, dass der spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient ($H_{T,Ref}$ -Wert) das Niveau 55 % $H_{T,Ref}$ nicht überschreiten darf, um die Einhaltung dieser Anforderung sicherzustellen.

Im Rahmen der Projektbearbeitung erfolgen zu dieser Anforderungsgröße und -höhe Untersuchungen, anhand derer der Einfluss eines verbesserten baulichen Wärmeschutzes auf das GWP 100-Gesamtergebnis näher betrachtet und ausgewertet wird. Ausgehend von unterschiedlichen H_T' -Niveaus des ausgeführten Zustandes von ausgewählten Gebäuden, bei denen die 55 % $H_{T,Ref}'$ -Anforderung nicht eingehalten wird, soll der bauliche Mehraufwand für die Einhaltung der Anforderung in Bezug auf den bilanziellen Nutzen bewertet werden. Hieraus kann ggf. ein Vorschlag für eine Anpassung der Anforderungshöhe abgeleitet werden. Diese Untersuchung wird in Abschnitt 10.10 dokumentiert.

Die Aufteilung der Objektbearbeitung in einen gebäudebezogenen und einen betriebsbezogenen Teil durch verschiedene Bearbeiter machte einen mehrfachen Abgleich bezüglich der verwendeten Dokumentenbasis notwendig. Für die Objektbearbeitungen wurde ein iteratives Vorgehen gewählt, um eine konsistente Basis bezüglich der Berechnungsergebnisse zu erhalten. In dem ersten Berechnungs- und Bewertungsteil werden die Daten der energetischen Bilanzierung als Grundlage genommen, welche seitens der Datenlieferanten mit unterschiedlichen Programmen, unterschiedlichem Bezug zu Verordnungen und unterschiedlichen BIPV-Simulationsprogrammen berechnet worden sind, siehe hierzu Abschnitt 9.2. In dem zweiten Berechnungs- und Bewertungsteil werden diejenigen Ergebnisse der energetischen Bilanzierung herangezogen, die mit einem einheitlichen Berechnungsprogramm (Helena) und den Berechnungsregeln der DIN V 18599 durchgeführt werden, siehe hierzu Abschnitt 9.3 mit 32 betrachteten Gebäuden. Damit wird erreicht, dass die Berechnungen des Energiebedarfs auf einheitlichen Regeln basieren und eine wesentliche Fehlerquelle für diese Untersuchung eliminiert wird.

9.2 Berechnungen und Auswertungen „wie gebaut“

Die folgenden Berechnungen und Auswertungen beziehen sich auf die von den Datenlieferanten bereitgestellten Informationen. Dieser Bearbeitungsschritt bezieht sich auf 28 Gebäude, da für weitere vier Gebäude die Daten erst verspätet bereitgestellt wurden.

9.2.1 Größe der untersuchten Gebäude

Zur Gliederung der Gebäude wurden diese in Abbildung 9 in der Reihenfolge ihrer Nettoraumfläche (NRF) eingetragen. Dies erlaubt eine Unterteilung in Einfamilienhäuser (EFH), Ausschreibungen (RMH), Zweifamilienhäuser (ZFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH klein, mittel, groß).

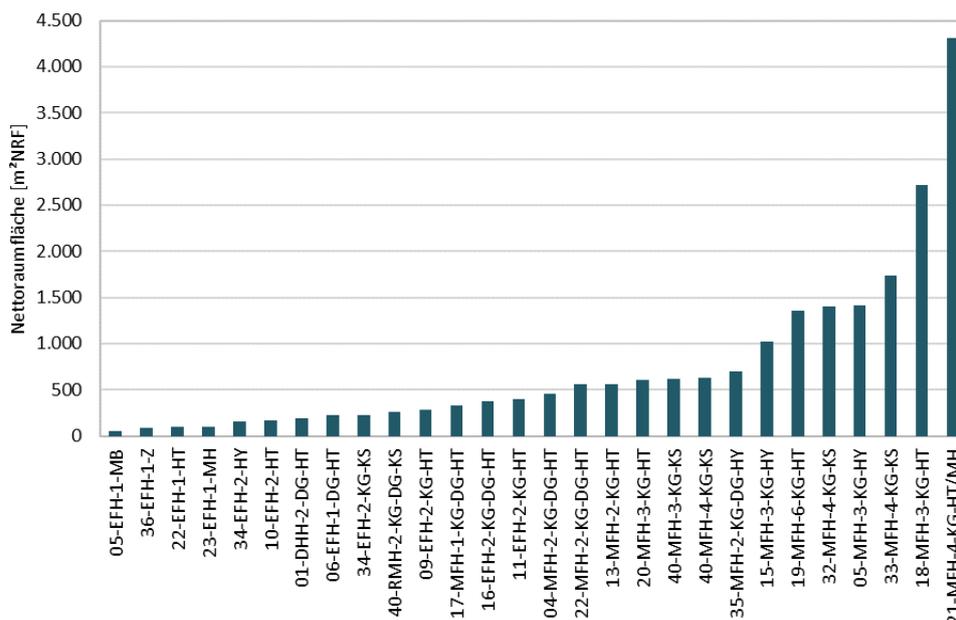


Abbildung 9: Bandbreite untersuchter Gebäude nach Nettonraumfläche – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude

9.2.2 Analyse des gebäudebezogenen Anteils der Ökobilanz

Die QNG-Grenzwerte weisen keinen Wert für die gebäudebezogenen Primärenergieaufwendungen bzw. die gebäudebezogenen Treibhausgasemissionen auf. Da möglicherweise diese gebäudebezogenen Werte jedoch künftig als Nebenanforderung an Bedeutung gewinnen könnten, werden nachfolgend die Ergebnisse einer Auswertung für diesen Aspekt vorgestellt, bezogen auf den Indikator Treibhauspotenzial GWP 100. Es werden die Gebäude sowohl ohne als auch mit Photovoltaikanlagen bilanziert und die Ergebnisse in Abbildung 10 und Abbildung 11 vorgestellt. Die Werte beziehen sich auf den gesamten Lebenszyklus für den gebäudebezogenen Anteil (Module A1-A3, B4, C3-C4) bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren.

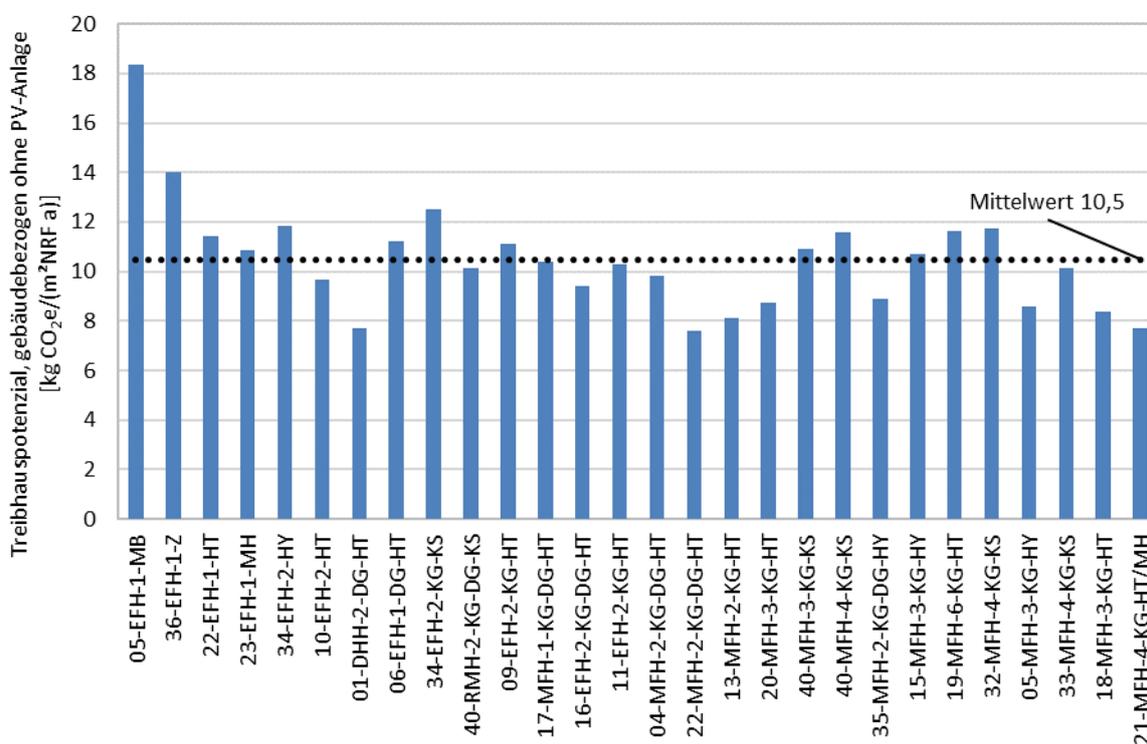


Abbildung 10: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude

Von den betrachteten 28 Gebäuden sind 18 mit einer BIPV-Anlage ausgestattet. Daraus ergeben sich Lücken in der folgenden Abbildung.

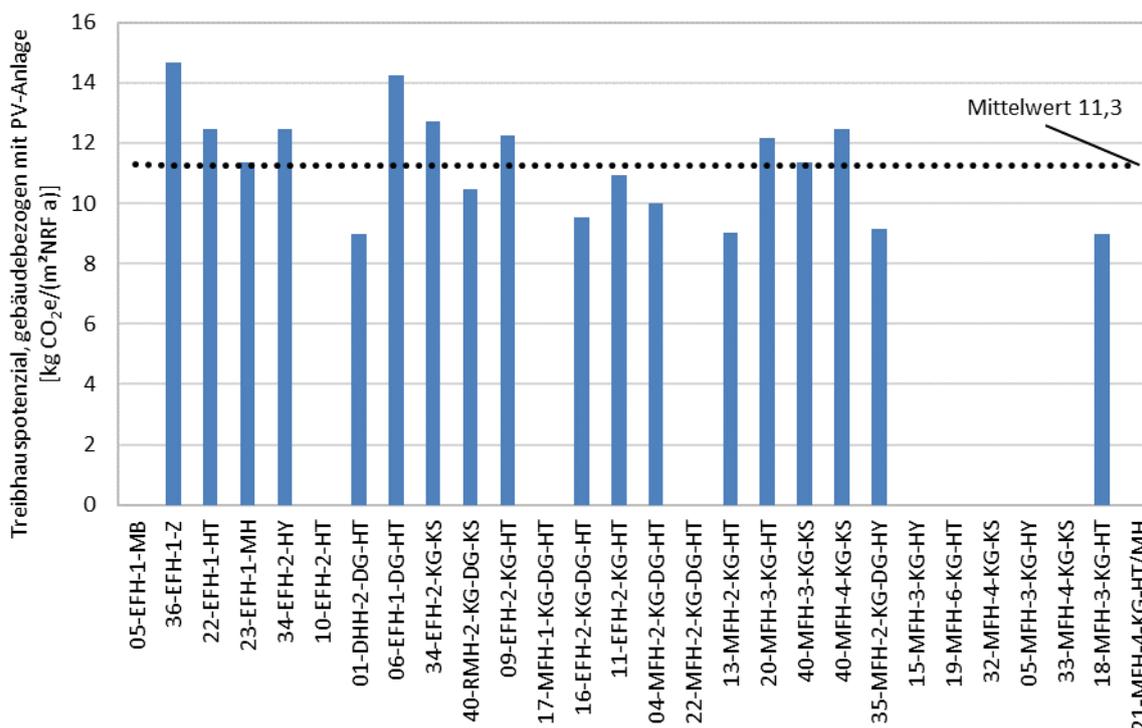


Abbildung 11: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude

Die gebäudebezogenen Treibhausgasemissionen zeigen bei den untersuchten Gebäuden eine Bandbreite von 7,6 - 18,3 kg CO₂e/(m²NRF a) auf (Abbildung 10). Einflussfaktoren sind maßgeblich die Gebäudegröße (und damit die Bezugsfläche) und die Bauweise. Diese Faktoren werden in weiterführenden Analysen noch detailliert untersucht. Der Mittelwert ohne BIPV-Anlage liegt bei 10,5 kg CO₂e/(m²NRF a), mit BIPV-Anlage bei 11,3 kg CO₂e/(m²NRF a). Die Zunahme der Treibhausgasemissionen infolge einer Berücksichtigung einer BIPV-Anlage ist je nach Größe der BIPV-Anlage und des Gebäudes sehr unterschiedlich. Die Zunahme reicht von 0,1 bis 3,4 kg CO₂e/(m²NRF a) (Abbildung 12) und prozentual von 2 bis 39 % (Abbildung 13).

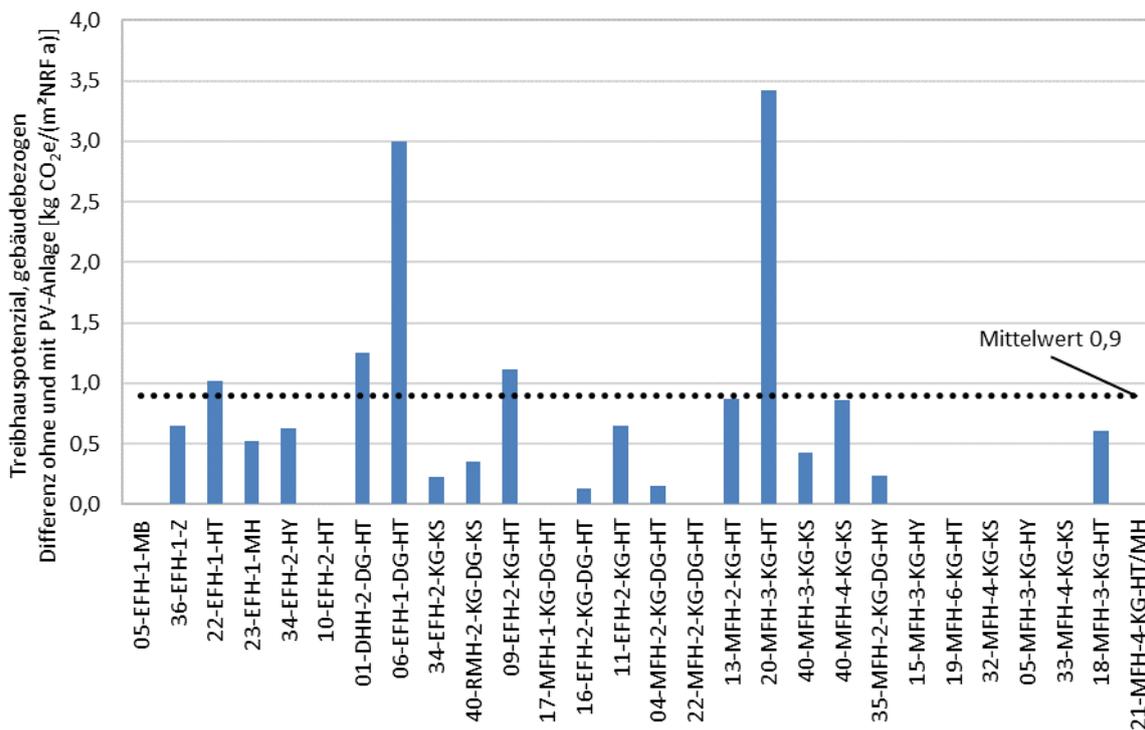


Abbildung 12: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen, Differenz ohne und mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude

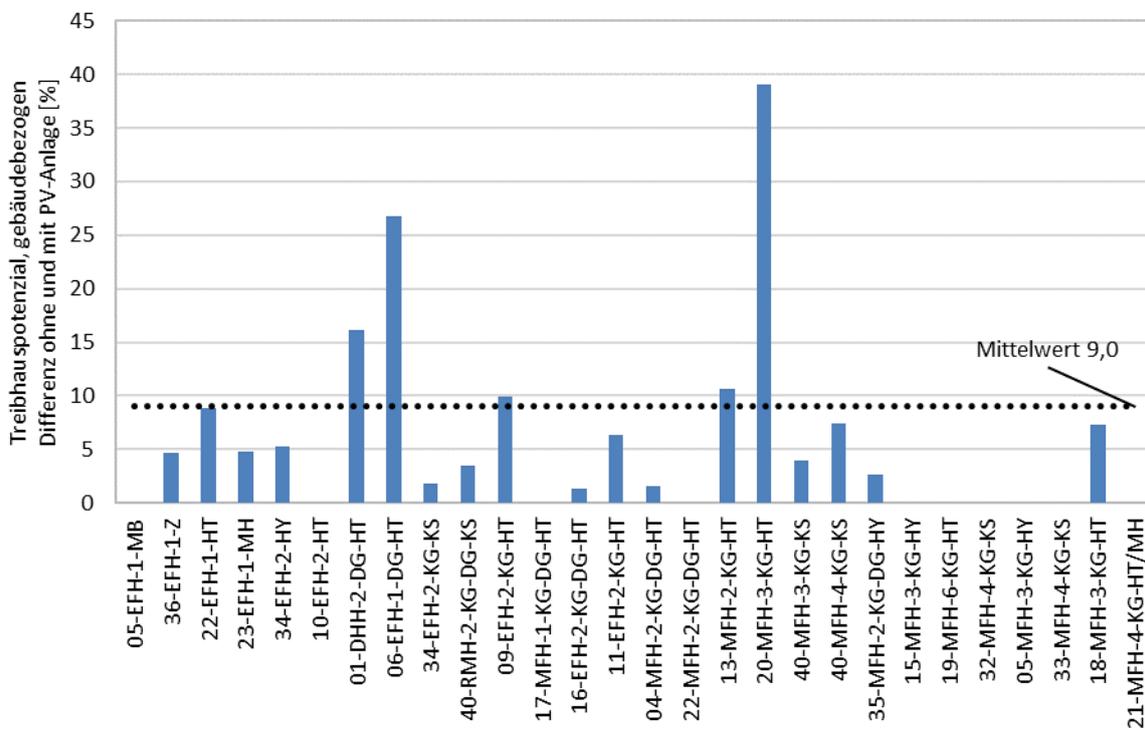


Abbildung 13: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen ohne und mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude

9.2.3 Analyse des betriebs- und nutzungsbedingten Anteils der Ökobilanz

Es ist notwendig darauf hinzuweisen, dass die Übernahme der Werte für den Endenergiebedarf in die Ökobilanz und die Auswertung dieser Daten unter Nutzung der in der ÖKOBAUDAT enthaltenen Primärenergie- und Emissionsfaktoren für die verschiedenen Energieträger grundsätzlich ein erheblich anderes Ergebnis ergibt als die Auswertung der Primärenergiekennzahlen im Ergebnis der GEG-Berechnung. Die verwendeten Primärenergiefaktoren für den betriebs- und nutzungsbedingten Aufwand werden mit den Daten der Rechenwertetabelle auf Basis der ÖKOBAUDAT 2020-II ermittelt.

Es werden die Gebäude ohne und mit Photovoltaikanlagen bilanziert. Die Werte beziehen sich auf den gesamten Lebenszyklus über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für die Module B6.1 und B6.3. Der Indikator ist das Treibhauspotenzial. Siehe hierzu auch Abbildung 14 und Abbildung 15.

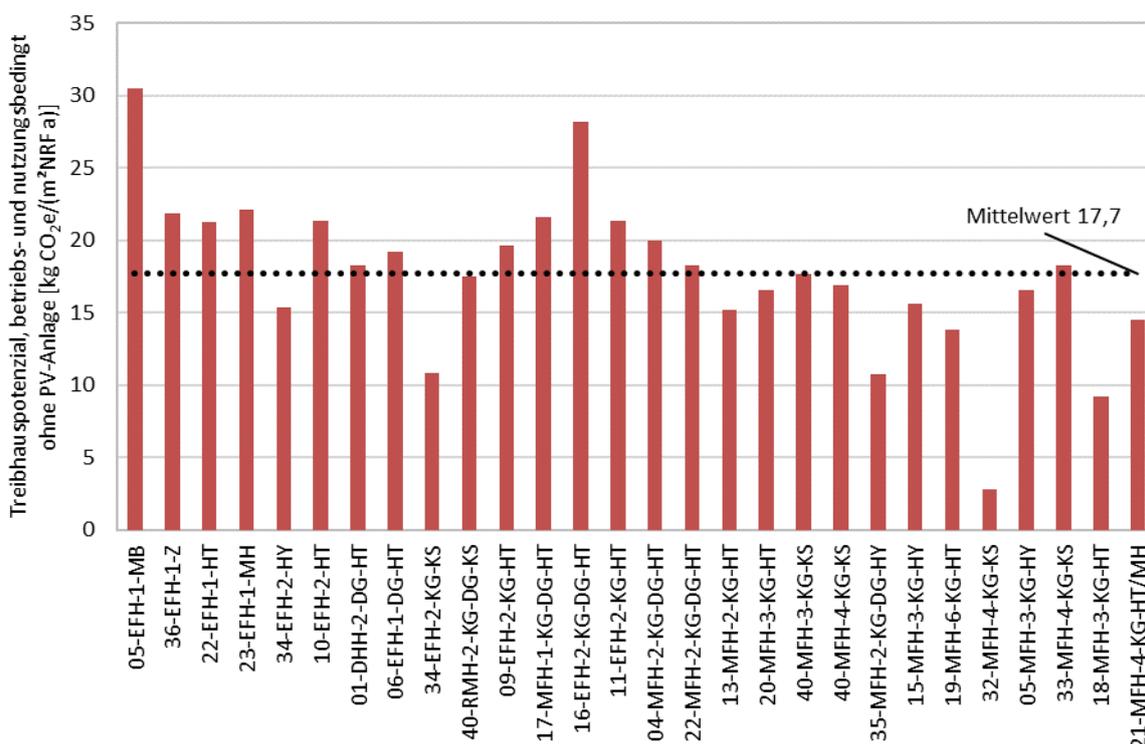


Abbildung 14: Betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude

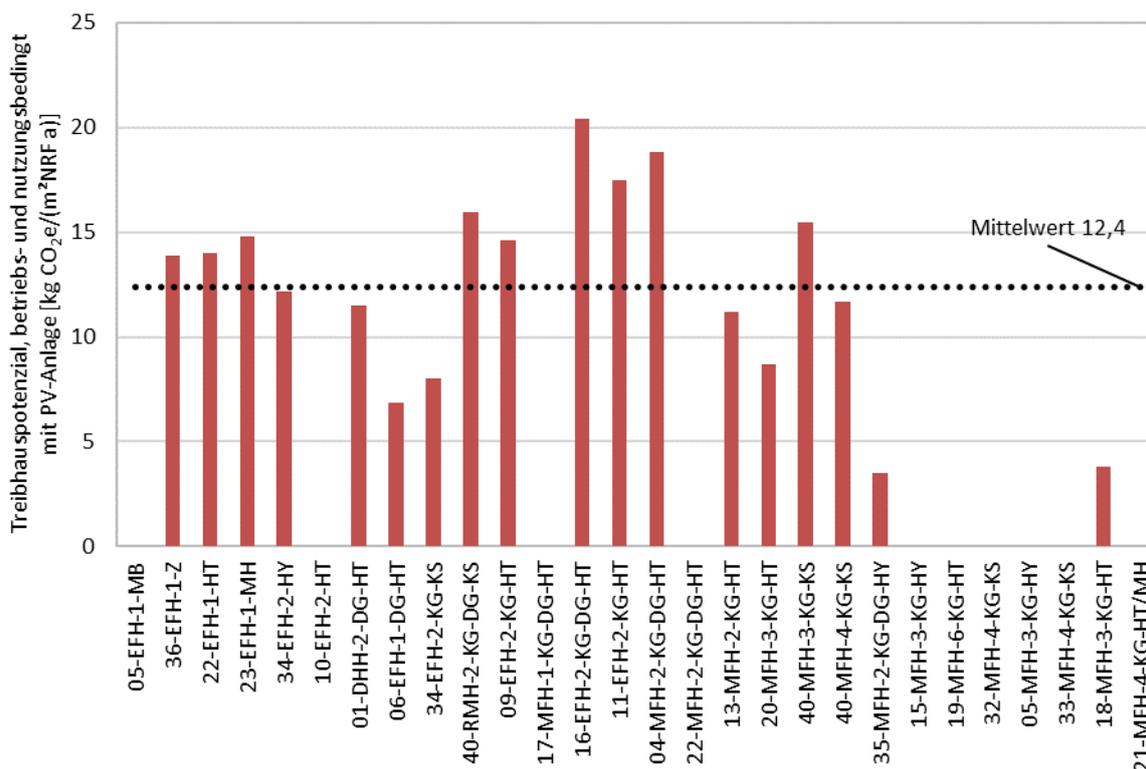


Abbildung 15: Betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude

Der Mittelwert der betriebs- und nutzungsbedingten Emissionen bei Gebäuden ohne und mit BIPV-Anlage unterscheidet sich um 5,3 kg CO₂e/(m²NRF a). Die durchschnittliche Erhöhung der grauen Emissionen im gebäudebezogenen Anteil der Gebäude mit BIPV-Anlage dagegen beträgt 0,9 kg CO₂e/(m²NRF a). Dieser Unterschied beschreibt den Vorteil einer BIPV-Anlage, der in der folgenden Zusammenführung des gebäudebezogenen mit dem betriebs- und nutzungsbedingten Anteil der Ökobilanzen nochmals deutlich wird.

9.2.4 Gesamtergebnis der Ökobilanz (gebäudebezogener sowie betriebs- und nutzungsbedingter Anteil)

Die Ergebnisse zum gebäudebezogenen sowie zum betriebs- und nutzungsbedingten Anteil müssen zusammengeführt werden, um einen Abgleich mit den Anforderungswerten des QNG zu ermöglichen. Diese Grenzwerte werden im QNG für zwei Indikatoren angegeben. Die folgenden Grafiken zeigen die Ergebnisse dieser Zusammenführung für die beiden Indikatoren „Primärenergie, nicht erneuerbar“ (PE ne) in kWh und Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂e. Die absoluten Zahlen werden auf die Größe „m²NRF“ bezogen und pro Jahr bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren angegeben. In einem ersten Berechnungsschritt werden alle Objekte ohne die Erträge aus einer BIPV-Anlage berechnet. Siehe Abbildung 16 und Abbildung 17.

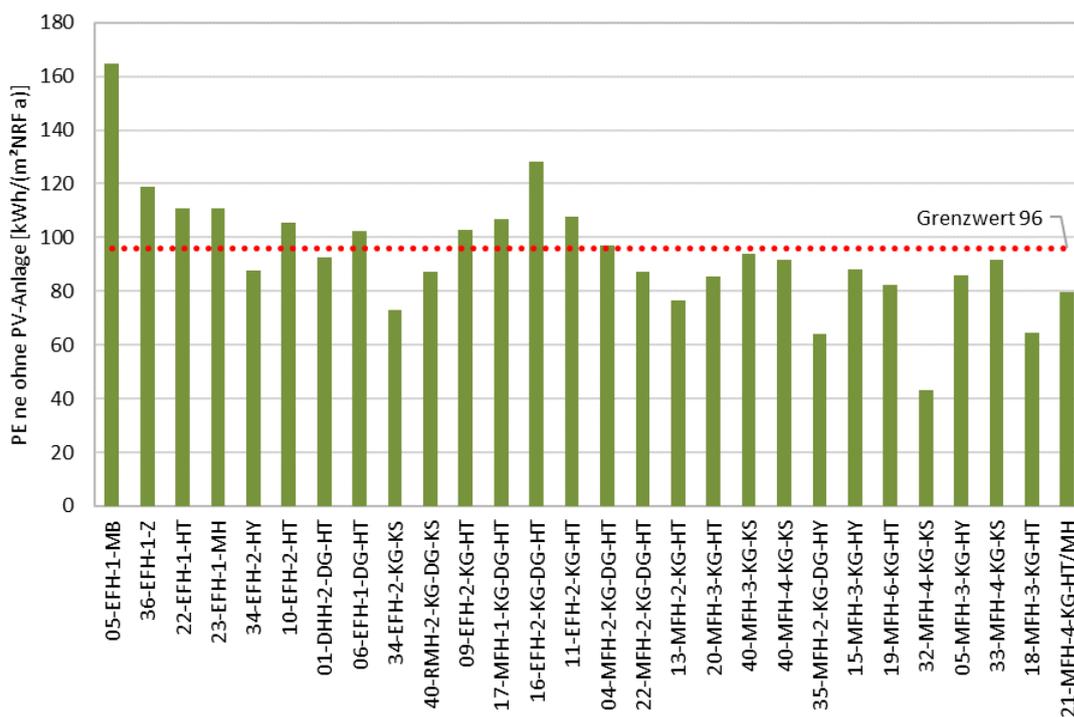


Abbildung 16: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der Primärenergiebedarfe, nicht erneuerbar, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude

Die Auswertung zeigt, dass für den Indikator Primärenergie, nicht erneuerbar von den 28 Gebäuden ohne BIPV-Anlage 17 Gebäude die Anforderung erfüllen können.

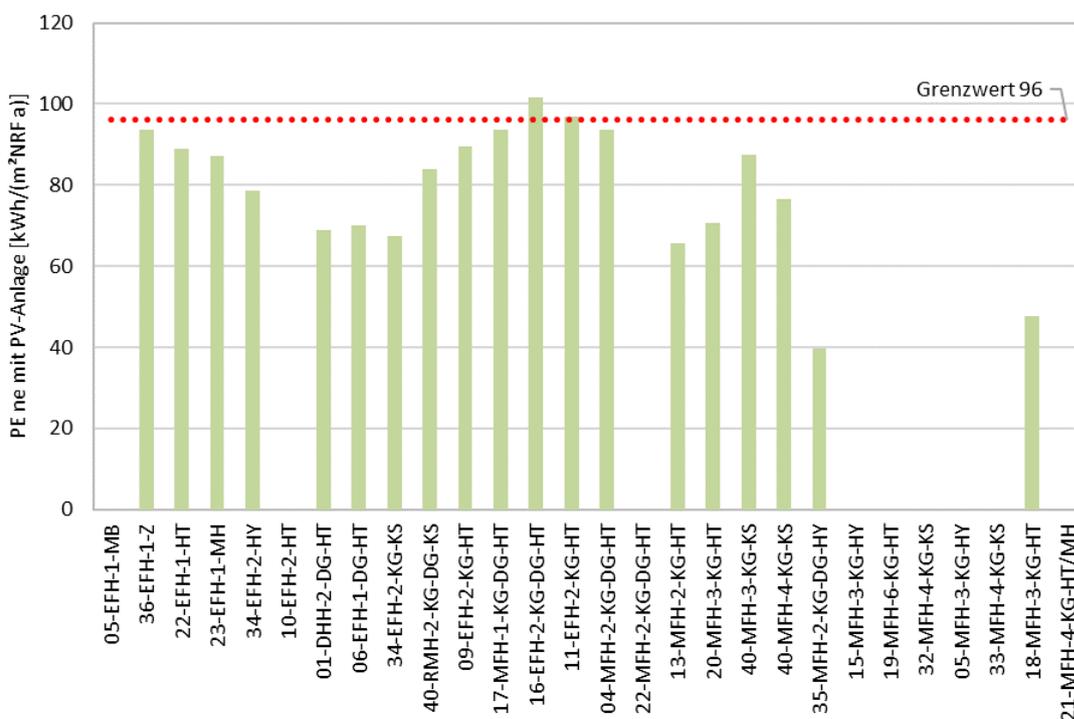


Abbildung 17: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der Primärenergiebedarfe, nicht erneuerbar, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude

Die Auswertung mit der BIPV-Anlage zeigt, dass für den Indikator Primärenergie, nicht erneuerbar von den 19 Gebäuden mit BIPV-Anlage 17 Gebäude die Anforderung erfüllen können. Vor allem die kleineren Einfamilienhäuser verbessern sich. Insgesamt erfüllen jetzt 24 von 28 untersuchten Gebäuden die Anforderungen.

Die Berechnung und Auswertung des Treibhauspotenzials werden ebenfalls sowohl ohne den Einfluss der BIPV-Anlage als auch mit dem Einfluss der BIPV-Anlage dargestellt. Siehe Abbildung 18 und Abbildung 19.

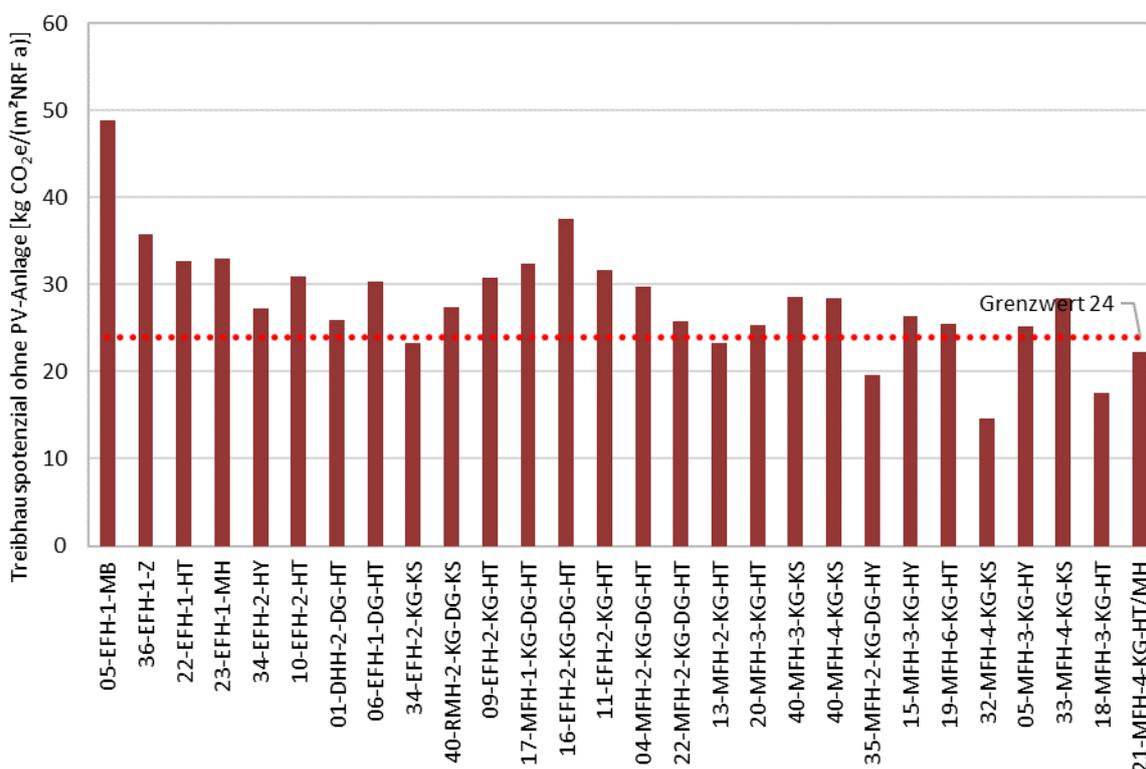


Abbildung 18 Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage - für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude

Die Auswertung zeigt, dass bei Gebäuden ohne BIPV-Anlage für den Indikator Treibhauspotenzial von 28 Gebäuden zunächst nur 6 Gebäude die Anforderung erfüllen können.

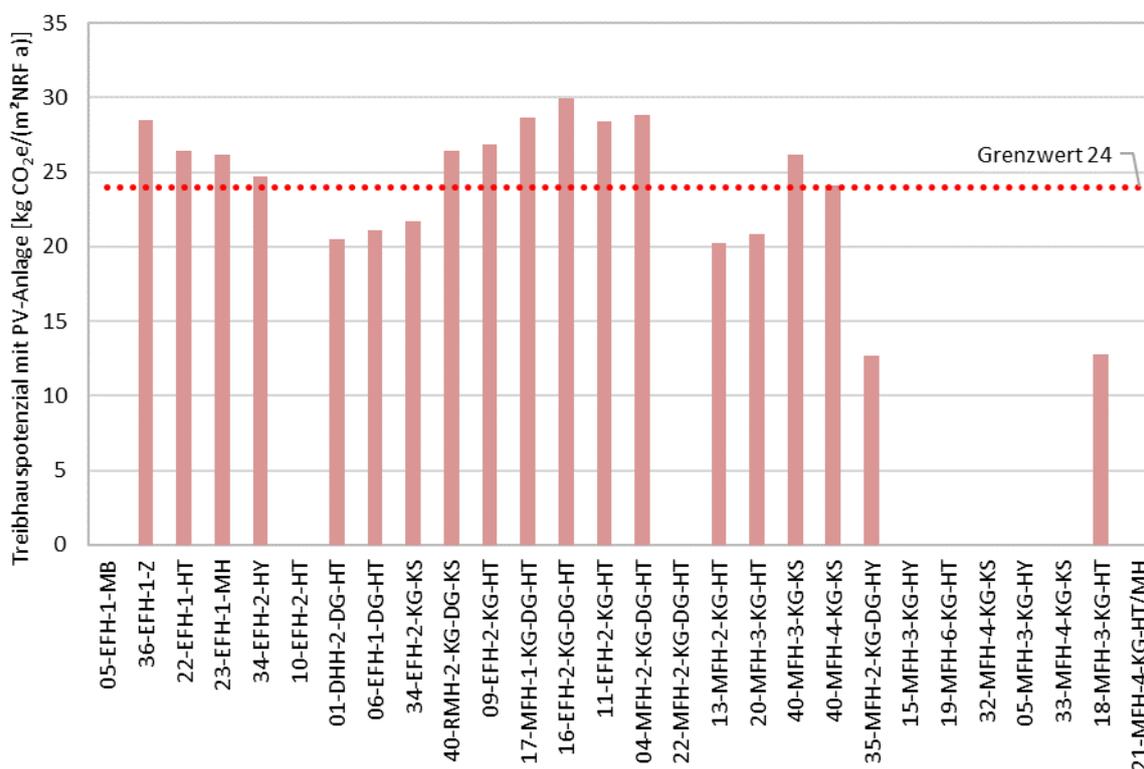


Abbildung 19: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude

Die Auswertung von Gebäuden mit BIPV-Anlage zeigt hingegen, dass für den Indikator Treibhauspotenzial / Global Warming Potential (GWP) von 19 untersuchten Gebäuden nun 7 Gebäude die Anforderung erfüllen können. Insgesamt erfüllen jetzt 10 von 28 untersuchten Gebäuden die Anforderungen.

Die aktuellen Anforderungen zur Begrenzung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar und an Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus lassen sich von neu zu errichtenden Wohnbauten unter den gegenwärtigen Bedingungen der Planungs- und Baupraxis auch ohne BIPV-Einsatz erreichen, allerdings nur von einer kleinen Anzahl. Dabei ist der Grenzwert des Indikators Treibhauspotenzial anspruchsvoller als der Grenzwert des Indikators Primärenergie, nicht erneuerbar. Dies ist eine Folge der einseitigen Reduzierung des Anforderungswerts für das Treibhauspotenzial ab dem 1. Januar 2023 von 28 kg CO₂e/(m²NRF a) auf 24 kg CO₂e/(m²NRF a).

Das Vorhandensein von BIPV-Anlagen erleichtert die Erfüllung der Anforderungen des QNG. Die Minderung der Primärenergie, nicht erneuerbar und der Treibhausgasemissionen durch selbstgenutzten BIPV-Strom übersteigt im Lebenszyklus die dem Gebäude anteilig zugeordnete graue Energie und die anteilig zugeordneten grauen Emissionen der Anlage.

Bei den Auswertungen wird auch deutlich, dass größere Wohnbauten gegenüber kleineren Wohnbauten i. d. R. im Vorteil sind. Dieser Aspekt ist aus den Ergebnissen von Erfüllungsgraden bei den ehemaligen KfW-55 Anforderungen oder den KfW-40 Anforderungen bekannt.

9.3 Berechnung und Auswertung nach DIN V 18599

Um mögliche erhebliche Fehlerquellen der Energiebedarfsberechnung nach GEG (Modul B6.1) zu eliminieren, wurden alle Objekte einer Neuberechnung unterzogen. Berücksichtigt wurden:

- Energiebedarf mit einheitlicher Berechnungsvorschrift der DIN V 18599
- Bilanzierung der BIPV-Anlage nach DIN V 18599 Teil 9
- einheitliches Softwareprogramm

Die folgenden Berechnungen und Auswertungen beziehen sich auf die 32 Gebäude in Tabelle 5.

9.3.1 Veränderungen der Endenergiewerte ohne BIPV

Die Ermittlung des Endenergiebedarfs liegt bei einigen der untersuchten Projekte weiter zurück. Zu diesem Zeitpunkt war teilweise eine Ermittlung nach (DIN V 4108-6:2003-06) in Verbindung mit (DIN V 4701-10:2003-08) noch zulässig (die Berechnungen werden in diesem Abschnitt mit „wie gebaut“ bezeichnet). Im Projekt erfolgte daher eine Neuberechnung des Endenergiebedarfs nach DIN V 18599, nachdem zuvor überwiegend die Rechenregeln der DIN V 4108-6/DIN V 4701-10 angewendet wurden. Die Veränderung der Endenergiewerte in kWh/(m²NRF a) durch die Neuberechnung nach DIN V 18599 sollte auf der Basis von Erfahrungen zu einer Erhöhung der Werte um 10 - 25 % führen. Die Auswertung der prozentualen Veränderung ergab jedoch ein davon abweichendes Ergebnis:

- 7 Gebäude erfüllten die Erwartungen und lagen im angenommenen Bereich von 10 - 25 %.
- 6 Gebäude lagen über einer Abweichung von 25 %.
- 6 Gebäude lagen bei einer Veränderung im einstelligen Bereich.
- 13 Gebäude weisen einen verringerten Endenergiebedarf auf.

Es wird deutlich, dass sich bei den Veränderungen kein einheitliches Muster einstellt und keine pauschale Anpassung erfolgen kann, siehe auch Abbildung 20. Bei den beiden Abweichungen über 100 Prozent liegen vergleichsweise geringe Energiebedarfe zugrunde.

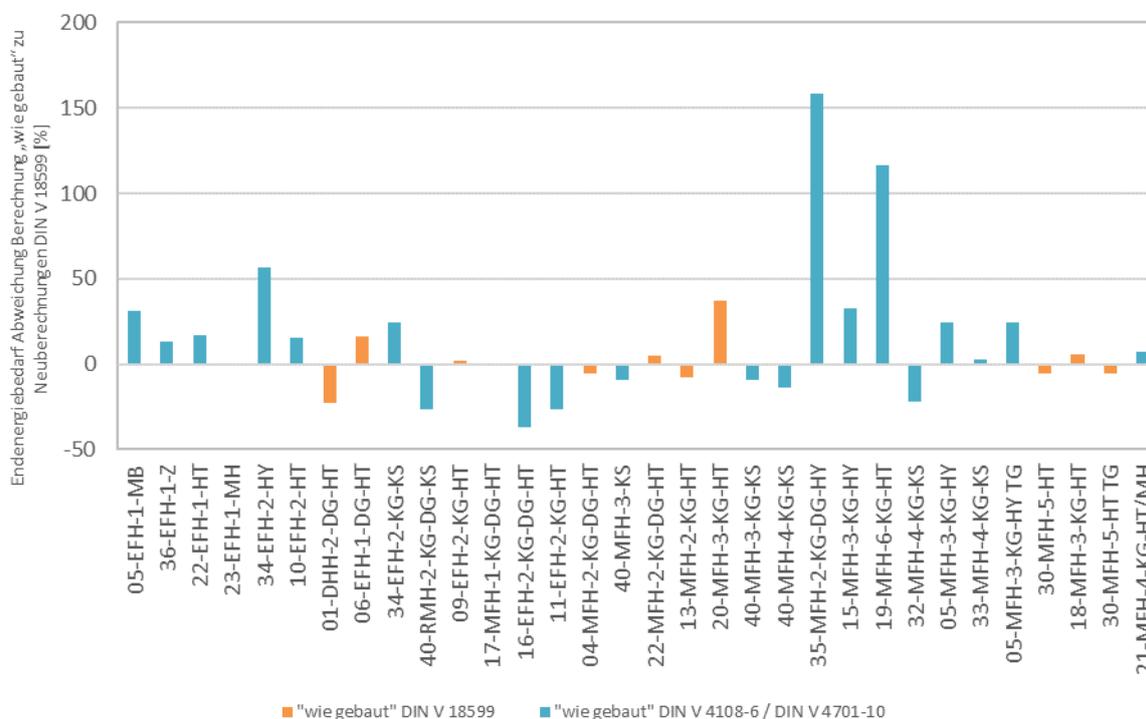


Abbildung 20: Endenergiebedarf, Abweichung Berechnung „wie gebaut“ zu Neuberechnungen DIN V 18599 – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Dieses Ergebnis kann unterschiedliche Ursachen haben:

- vorgelegte Berechnung des Gebäudemodells erfolgte bereits nach DIN V 18599
- nicht berücksichtigte Verbraucher z. B. Lüftungsanlagen
- zu geringe Annahmen für den Warmwasserbedarf
- möglicherweise fehlerhafte Berechnungen
- möglicherweise unterschiedliche Ergebnisse der Berechnungsprogramme

Durch den im QNG zusätzlich zu berücksichtigenden Nutzerstrom von 20 kWh/(m² a) verändert sich der Wert für den Endenergiebedarf – soweit der Nutzerstrom einbezogen wird – für alle Gebäudemodelle und die Abweichungen bewegen sich nun mit einer Ausnahme in einem Korridor von -20 % bis +40 %. Siehe auch Abbildung 21.

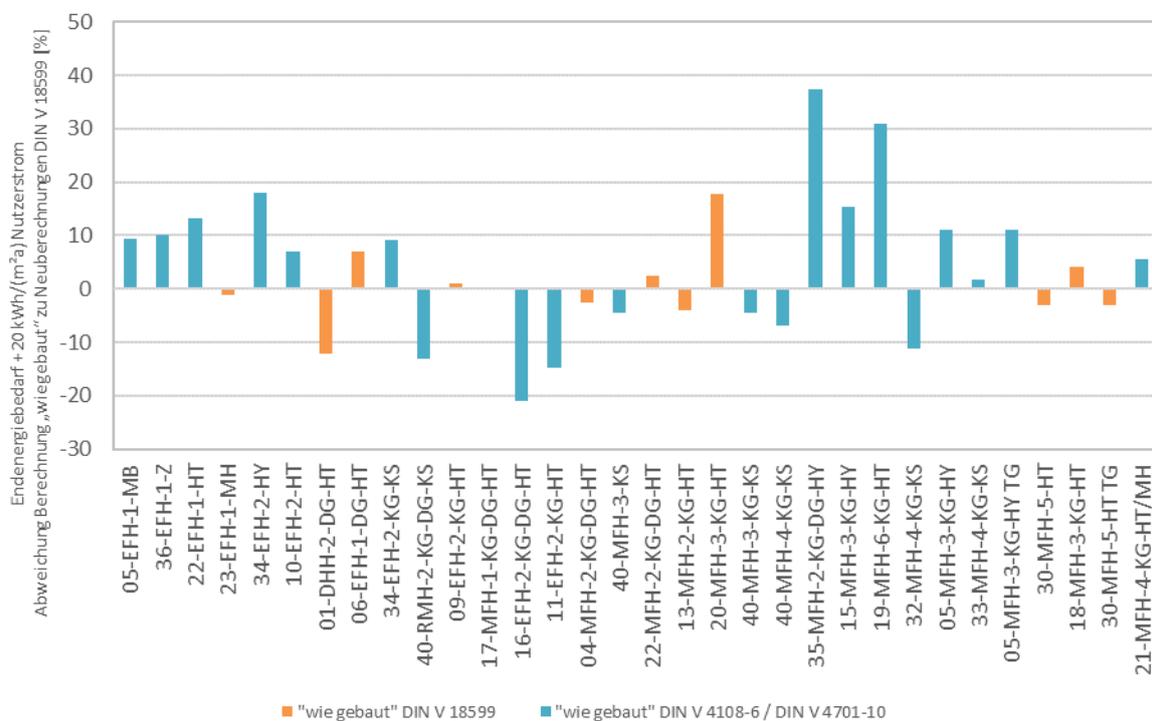


Abbildung 21: Endenergiebedarf + 20 kWh/(m²a) Nutzerstrom, Abweichung Berechnung „wie gebaut“ zu Neuberechnungen DIN V 18599 – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

9.3.2 Gebäudebezogene Anteile der Ökobilanz

Der Mittelwert für die gebäudebezogenen THG-Emissionen hat sich durch die erweiterte Objektanzahl gegenüber Abschnitt 9.2.2 nicht wesentlich geändert. Der Mittelwert ohne BIPV erreicht 10,8 kg CO₂e/(m²NRF a), mit BIPV 11,9 kg CO₂e/(m²NRF a) bei 24 Gebäuden mit BIPV-Anlage. Siehe auch Abbildung 22 und Abbildung 23.

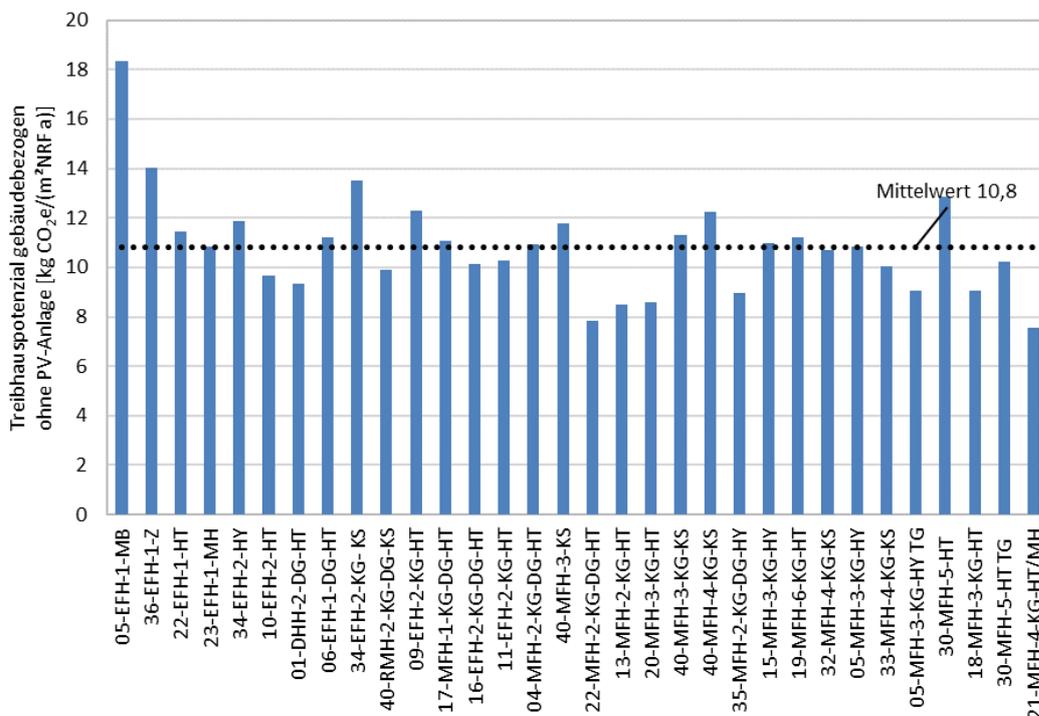


Abbildung 22: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

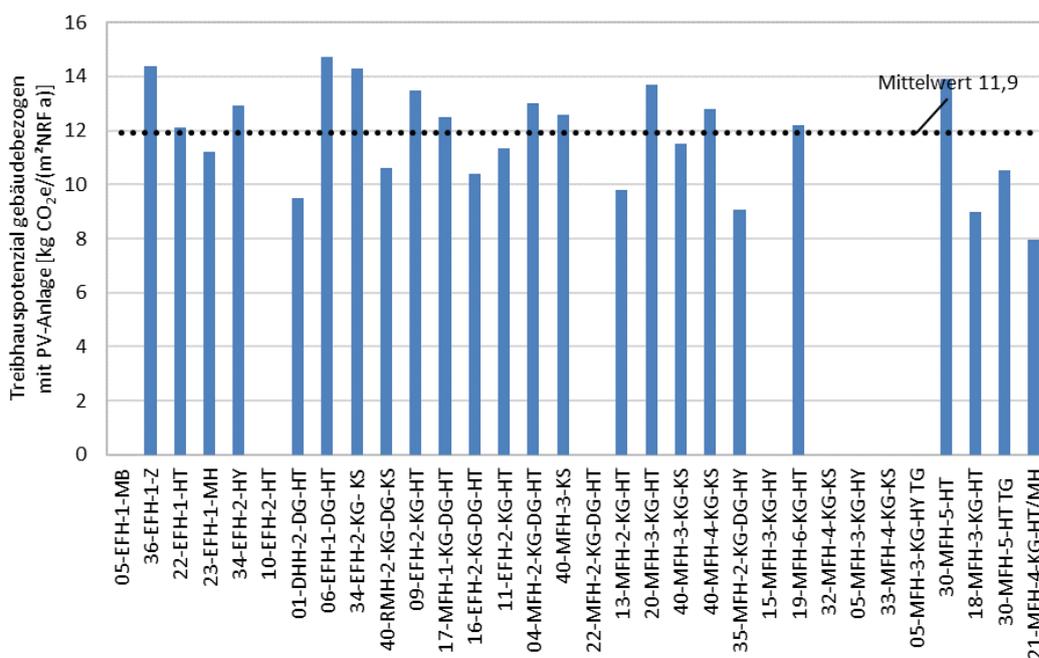


Abbildung 23: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

9.3.3 Analyse des betriebsbedingten Anteils der Ökobilanz

In Abbildung 24 werden die Ergebnisse der Bilanzierungen gemäß DIN V 18599 dargestellt. Dabei liegt der Fokus auf dem Vergleich von Primärenergiebedarfen und Transmissionswärmeverlusten mit dem jeweiligen Anforderungsniveau, wie es im Gebäudeenergiegesetz festgelegt ist. Die gewonnenen Erkenntnisse bieten einen umfassenden Ansatzpunkt für eine Vielzahl an weiterführenden Analysen, die in Abschnitt 10 systematisch durchgeführt und ausgewertet werden. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der variablen Anpassung und Berücksichtigung von Klimadaten, um eine differenzierte Betrachtung der energetischen Performance der Gebäude zu ermöglichen.

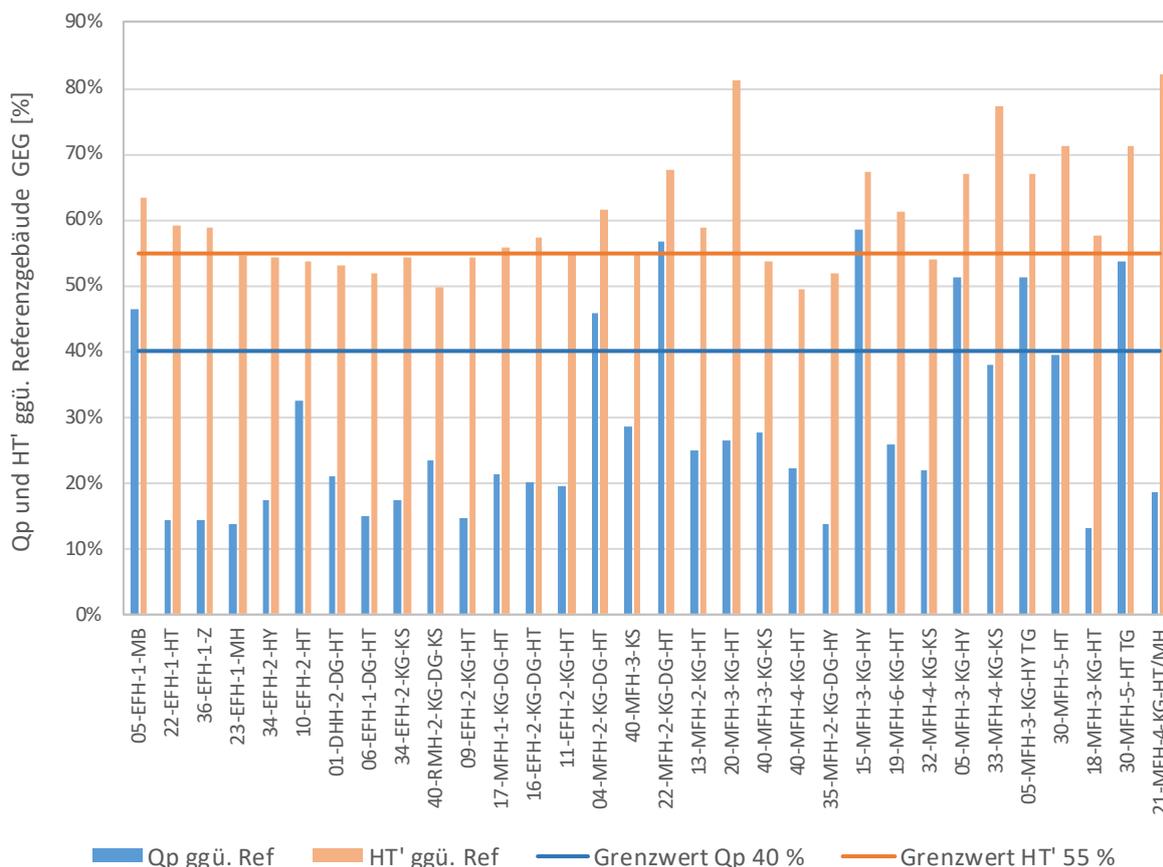


Abbildung 24: Anforderungen GEG an Q_p und H_r' (Grenzwerte) und Ergebnisse gegenüber Referenzgebäude – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

9.3.4 Betriebs- und nutzungsbedingter Anteil der Ökobilanz

Es ist notwendig darauf hinzuweisen, dass die Übernahme der Werte für den Endenergiebedarf in die Ökobilanz und die Auswertung dieser Daten unter Nutzung der in der ÖKOBAUDAT enthaltenen Primärenergie- und Emissionsfaktoren für die verschiedenen Energieträger grundsätzlich ein erheblich anderes Ergebnis ergibt als die Auswertung der Primärenergiekennzahlen im Ergebnis der GEG-Berechnung.

Es werden die Gebäude ohne und mit Photovoltaikanlagen bilanziert. Die Werte beziehen sich auf den gesamten Lebenszyklus über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für die Module B6.1 und B6.3 – Indikator sind die THG-Emissionen. Siehe Abbildung 25 und Abbildung 26.

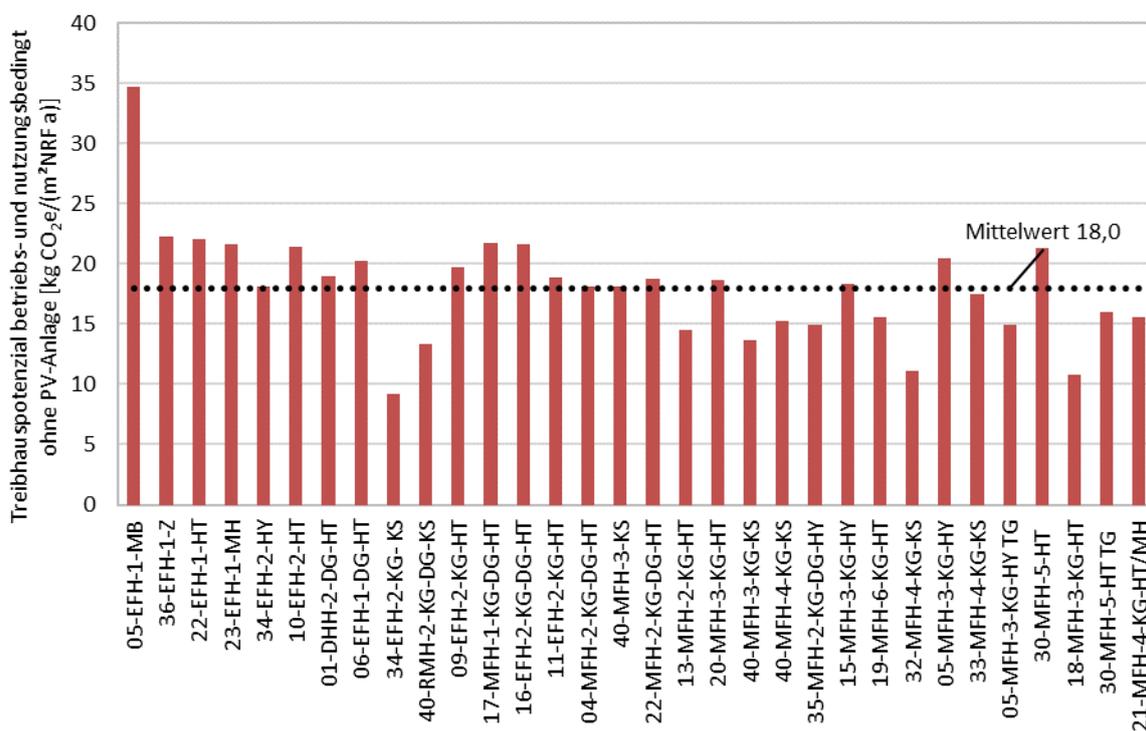


Abbildung 25: Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

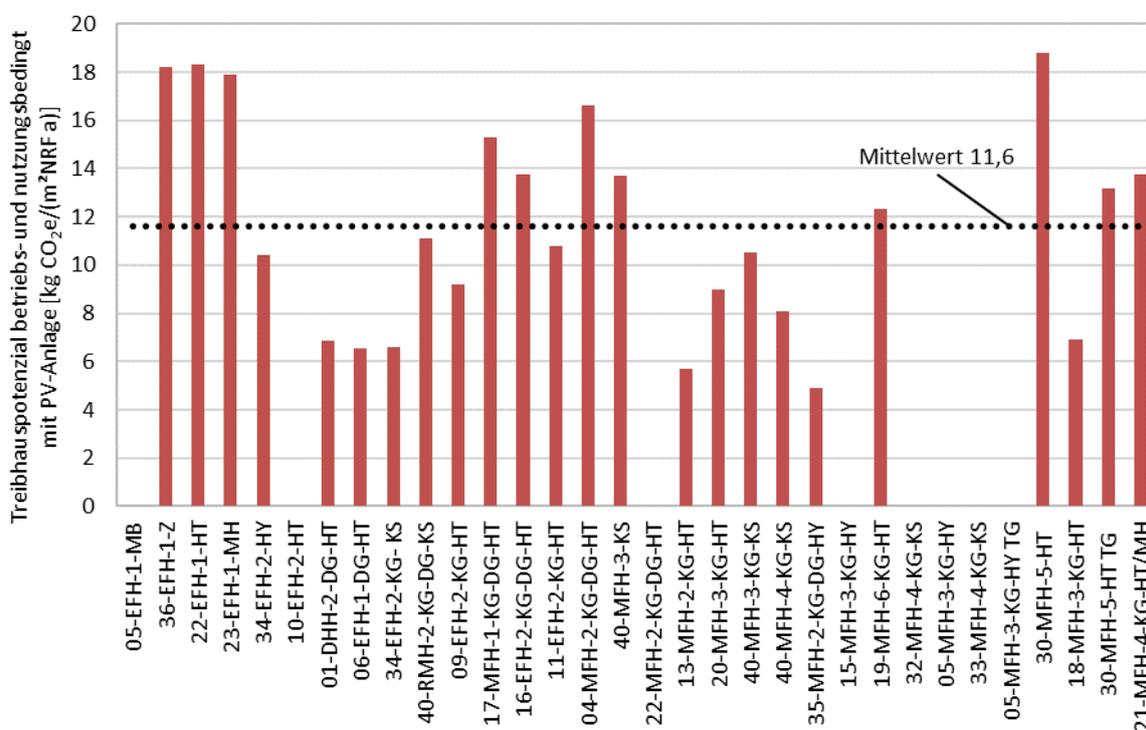


Abbildung 26: Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der THG-Emissionen, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Der Mittelwert der Betriebsemissionen ohne und mit BIPV-Anlage differiert um 6,4 kg CO₂e/(m²NRF a). Die durchschnittliche Erhöhung des Treibhauspotenzials der Gebäude mit BIPV-Anlage dagegen beträgt 1,0 kg CO₂e/(m²NRF a). Dieser Unterschied beschreibt den Vorteil einer BIPV-Anlage, der in der folgenden Zusammenführung von Gebäude und Betrieb nochmals deutlich wird.

9.3.5 Zusammenführung des gebäudebezogenen mit dem betriebs- und nutzungsbedingten Anteil der Ökobilanz

Die Ergebnisse zum gebäudebezogenen sowie betriebs- und nutzungsbedingten Anteil der Ökobilanz müssen zusammengeführt werden, um einen Abgleich mit den Grenzwerten des QNG zu ermöglichen. Diese Grenzwerte werden im QNG für zwei Indikatoren bestimmt. Die folgenden Grafiken zeigen Ergebnisse für die beiden Indikatoren Primärenergie, nicht erneuerbar (PE ne) in kWh und Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂e. Die absoluten Zahlen werden auf die Bezugsfläche m²NRF und ein Jahr aus dem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren bezogen.

9.3.5.1 Primärenergie, nicht erneuerbar

In einem ersten Berechnungsschritt werden alle Objekte ohne die Erträge aus einer BIPV-Anlage berechnet und dargestellt. Der Grenzwert für den Indikator Primärenergie, nicht erneuerbar (PE ne) beträgt 96 kWh/(m²NRF a) und für den Indikator Treibhauspotenzial (GWP) 24 kg CO₂e/(m²NRF a). Siehe auch Abbildung 27, dort und in den folgenden Diagrammen sind die Grenzwerte als gestrichelte Linie aufgetragen.

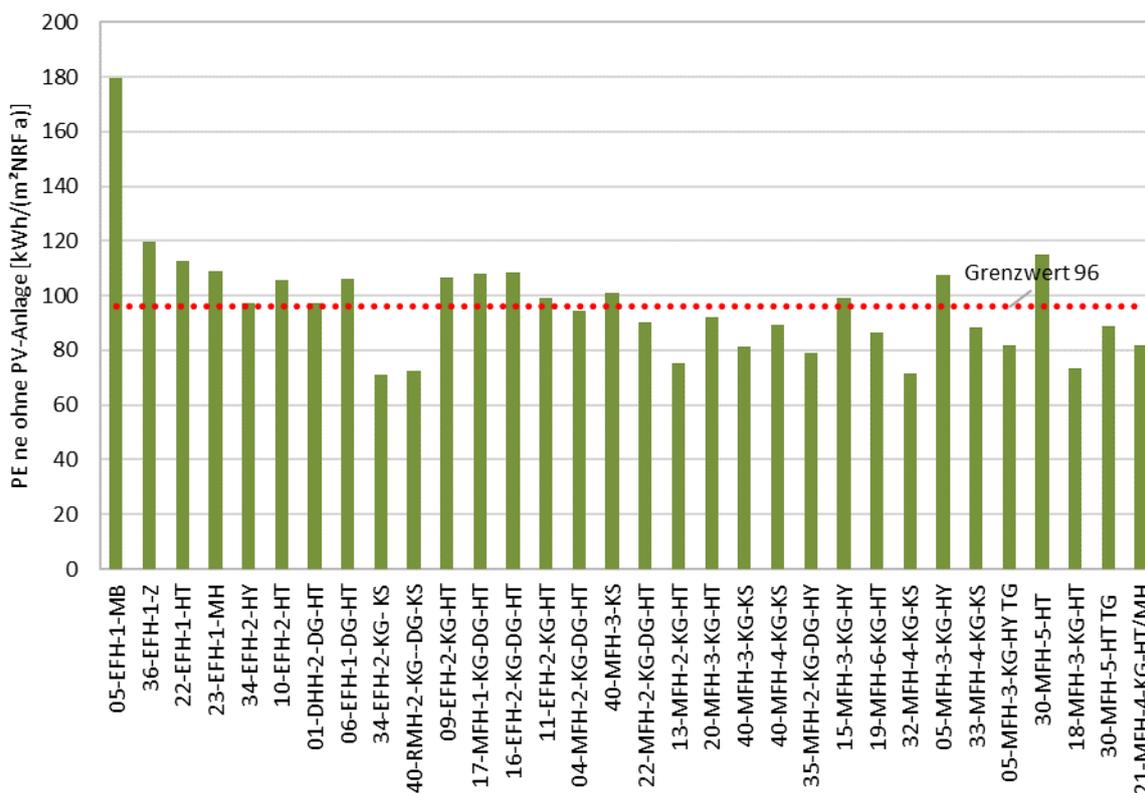


Abbildung 27: Gebäudebezogene sowie Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der Anteile der Primärenergiebedarfe, nicht erneuerbar, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Die Auswertung zeigt, dass für den Indikator Primärenergie, nicht erneuerbar von den 32 Gebäuden ohne BIPV-Anlage 16 Gebäude die Anforderung erfüllen können, v.a. im Bereich der Mehrfamilienhäuser rechts.

In Abbildung 28 wird das Ergebnis einer Überprüfung der Erreichbarkeit von Anforderungen zum Indikator PE ne bei Gebäuden mit BIPV-Anlage dargestellt.

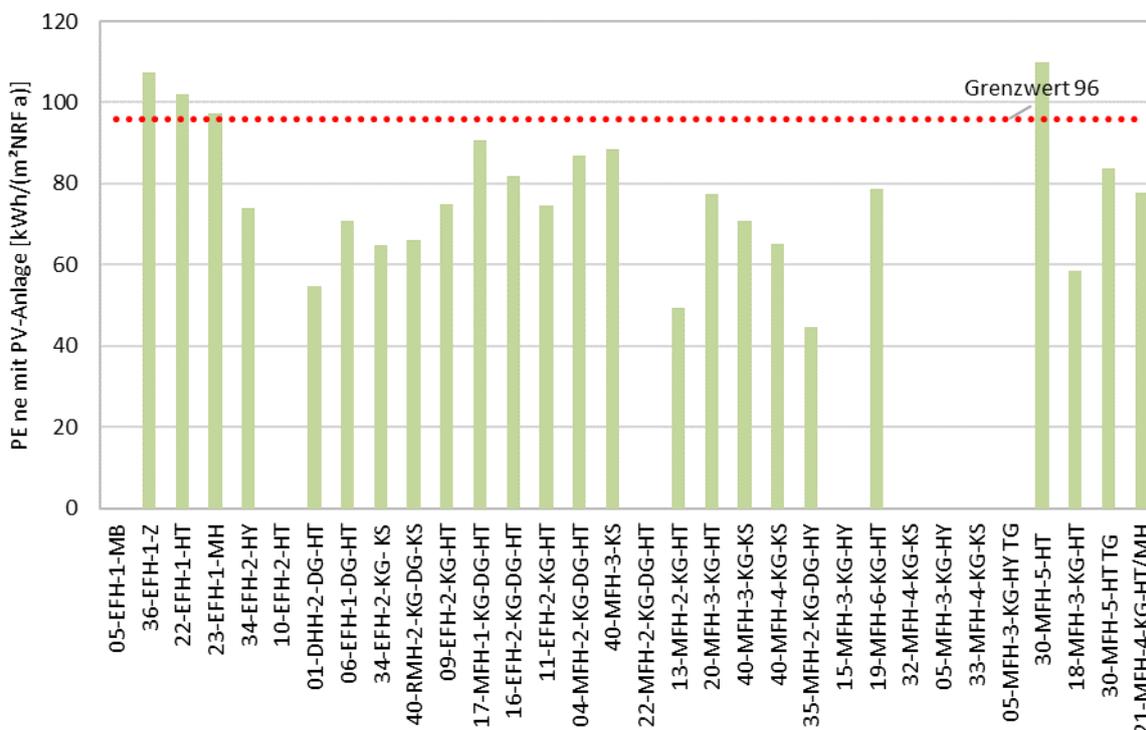


Abbildung 28: Gebäudebezogene sowie Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der Anteile der Primärenergiebedarfe, nicht erneuerbar, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Die Auswertung von Gebäuden mit einer BIPV-Anlage zeigt, dass für den Indikator Primärenergie, nicht erneuerbar von den 24 Gebäuden mit BIPV-Anlage 20 Gebäude die Anforderung erfüllen können. Insgesamt erfüllen jetzt 26 von 32 Gebäuden die Anforderungen von QNG-PLUS zur Begrenzung von Primärenergieaufwand und Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus. Siehe auch Abbildung 29 und Abbildung 32.

9.3.5.2 Primärenergie, gesamt

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Auswertungen für den Indikator Primärenergie, gesamt in kWh/(m²NRFa) ohne und mit BIPV (siehe Abbildung 31 und 32). Ein Mittelwert wurde jeweils für die Gebäudegruppe mit und ohne BIPV ermittelt.

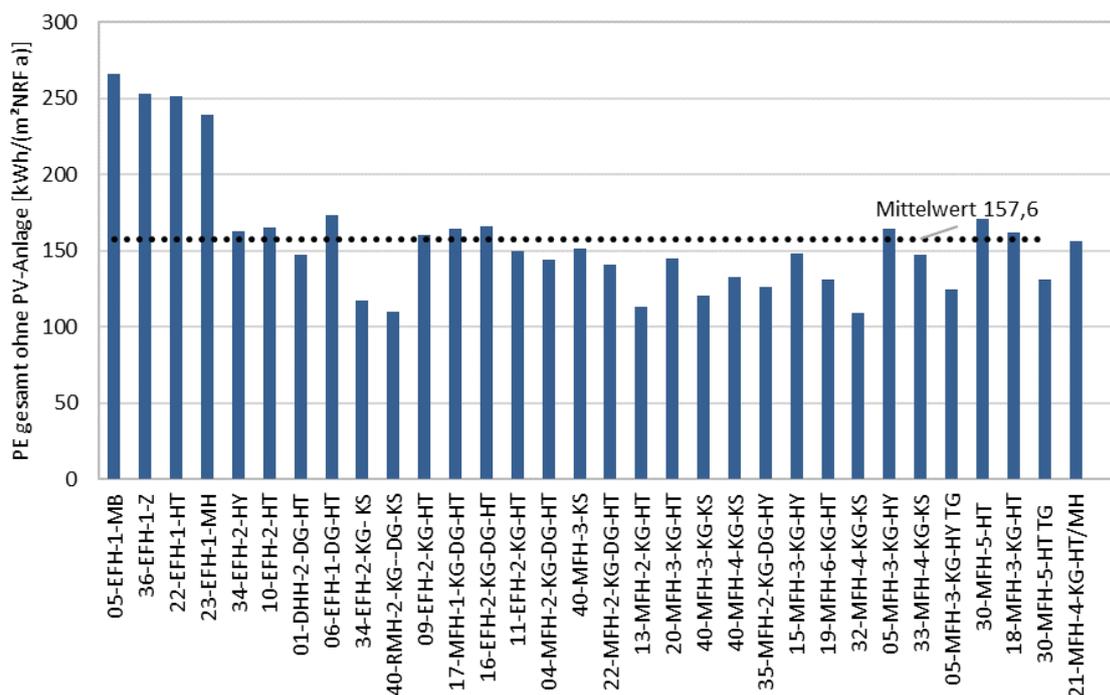


Abbildung 29: Gebäudebezogene sowie Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der Anteile der Primärenergiebedarfe, gesamt, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Der angezeigte Mittelwert Wert 158 kWh/(m²NRF a) für Gebäude ohne BIPV in der Abbildung 31 liegt ca. 60 % über dem Grenzwert des QNG für die nicht erneuerbare Primärenergie. Die Gebäudeergebnisse für die gesamte Primärenergie verhalten sich sehr ähnlich zu der Auswertung der nicht erneuerbaren Primärenergie.

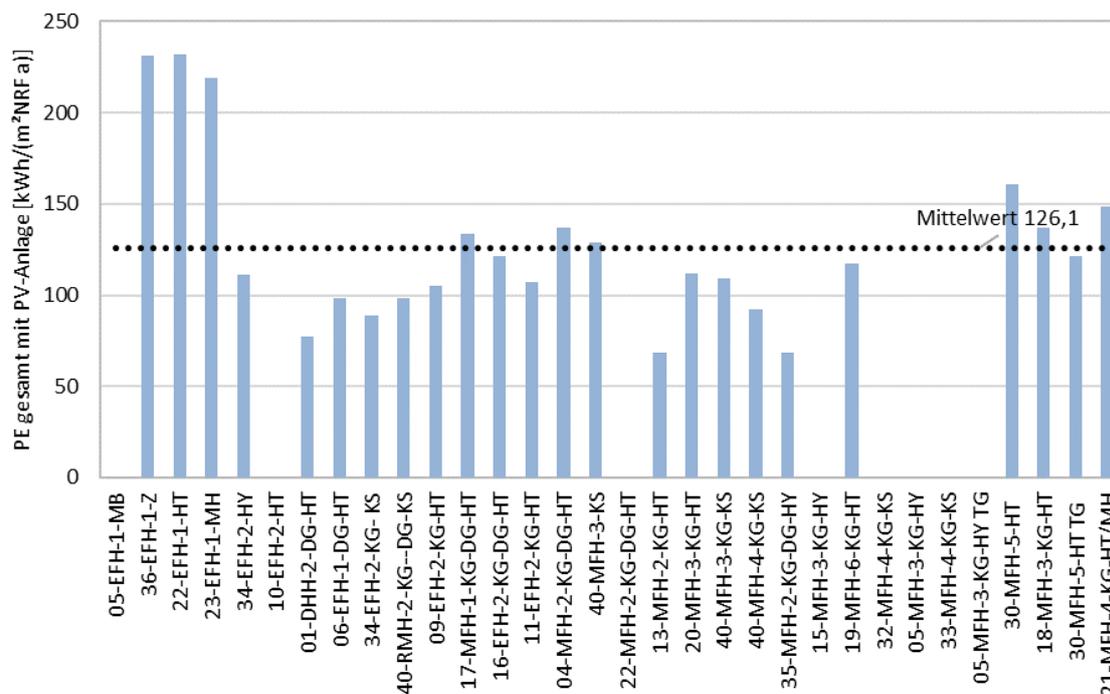


Abbildung 30: Gebäudebezogene sowie Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der Anteile der Primärenergiebedarfe, gesamt, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Der angezeigte Mittelwert mit dem Wert 126,1kWh/(m²NRF a) für Gebäude mit BIPV in Abbildung 32 liegt ca. 25 % über dem Grenzwert des QNG für die nicht erneuerbare Primärenergie. Die Gebäudeergebnisse mit dem Einsatz von BIPV für die gesamte Primärenergie verhalten sich sehr ähnlich zu der Auswertung der nicht erneuerbaren Primärenergie.

In Abbildung 31 wird das Ergebnis einer Überprüfung der Erreichbarkeit von Anforderungen zum Indikator GWP 100 bei Gebäuden ohne BIPV-Anlage dargestellt.

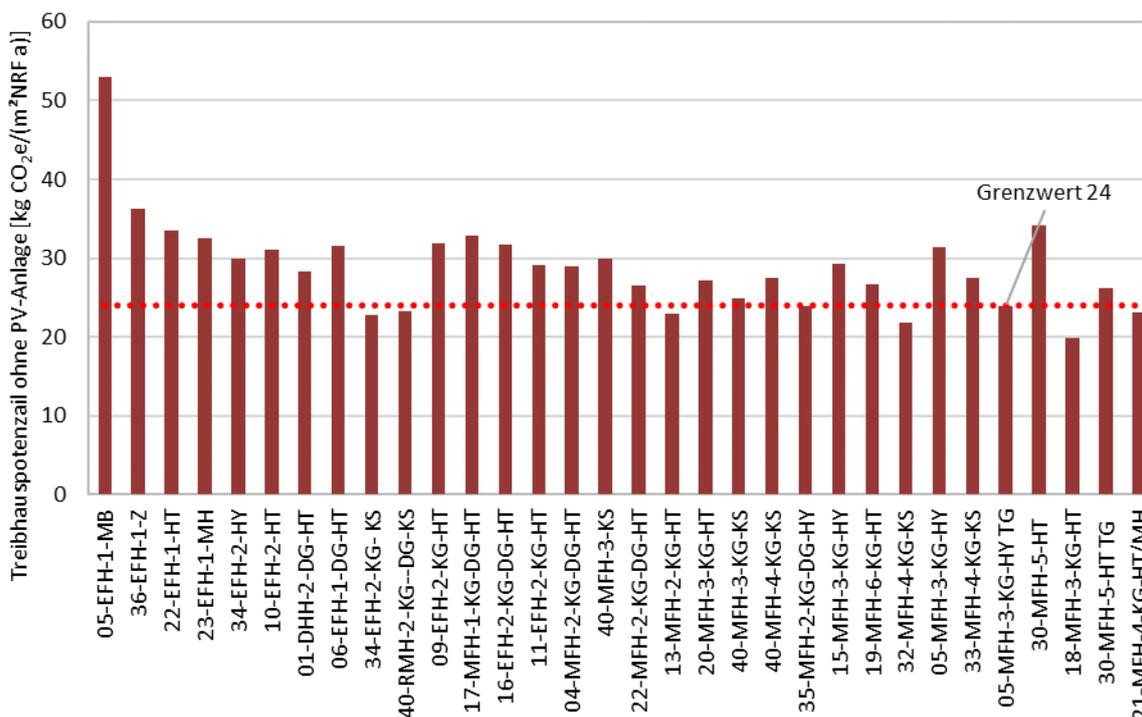


Abbildung 31: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Die Auswertung von Gebäuden ohne BIPV-Anlage zeigt, dass für den Indikator Treibhauspotenzial/Global Warming Potential (GWP) von 32 Gebäuden nur 8 Gebäude die Anforderung erfüllen können.

In Abbildung 32 wird das Ergebnis einer Überprüfung der Erreichbarkeit von Anforderungen zum Indikator GWP 100 bei Gebäuden mit BIPV-Anlage dargestellt.

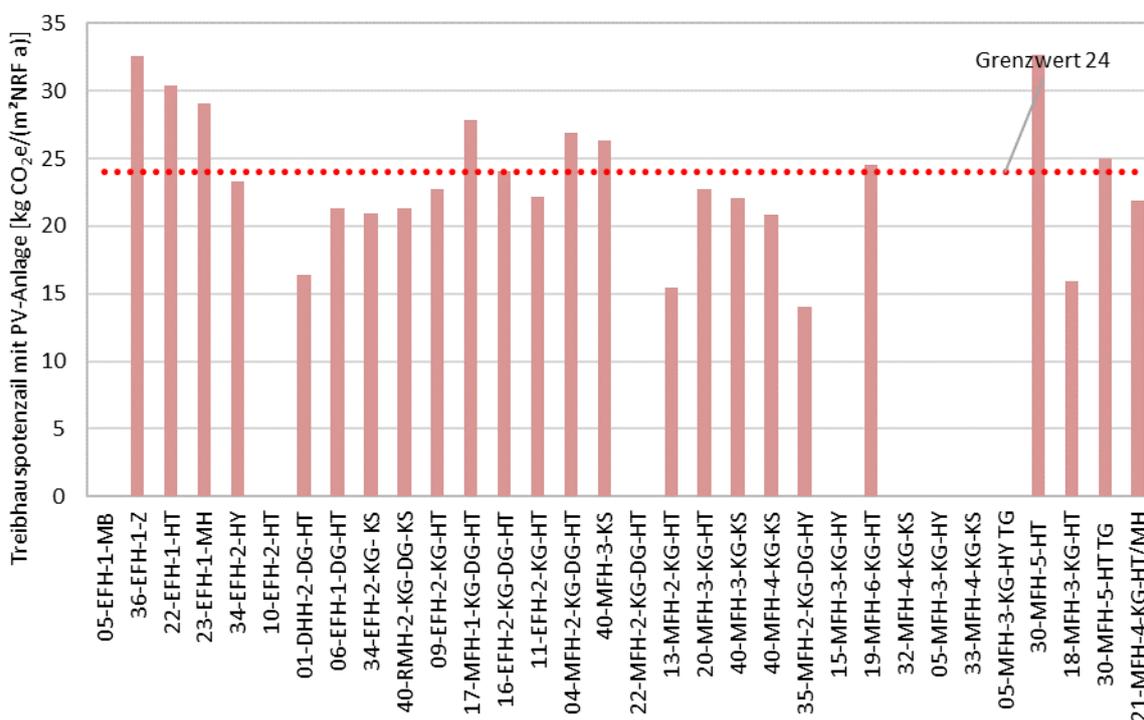


Abbildung 32: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Die Auswertung von Gebäuden mit einer BIPV-Anlage zeigt, dass für den Indikator Treibhauspotenzial/Global Warming Potential (GWP) von 24 Gebäuden 14 Gebäude die Anforderung erfüllen können. Insgesamt erfüllen jetzt 17 von 32 Gebäuden die Anforderungen.

Die Neuberechnung nach der DIN V 18599 hat für die Objekte ohne BIPV-Anlage beim Indikator Primärenergie, nicht erneuerbar eine geringe Verschlechterung und beim Indikator Treibhauspotenzial eine kleinere Verbesserung ergeben. Siehe Tabelle 6.

Tabelle 6 Übersicht Anzahl der Gebäude mit Erreichung der QNG-Grenzwerte nach alter und neuer Berechnung

Indikator	Berechnung nach gelieferten Daten			Berechnung nach DIN V 18599		
	Anzahl Gebäude gesamt	Anzahl Gebäude Grenzwert unterschritten	Erfüllungs- grad in %	Anzahl Gebäude gesamt	Anzahl Gebäude Grenzwert unterschritten	Erfüllungs- grad in %
PE ne ohne BIPV	28	17	60	32	16	50
PE ne mit BIPV	19	17	89	24	20	83
Gesamte Gebäudeanzahl	28	24	85	32	28	87
Treibhauspotenzial ohne BIPV	28	6	21	32	8	25
Treibhauspotenzial mit BIPV	19	7	37	24	14	58
Gesamte Gebäudeanzahl	28	10	35	32	16	50

Durch die Berechnung von Ertrag und Eigennutzungsanteil der BIPV-Anlagen nach den Regeln der DIN V 18599 Teil 9 ergibt sich bei fast allen Anlagen ein wesentlich höherer Eigennutzungsgrad (ENG). Diese Regeln werden in Abschnitt 10.11.3.1 im Detail diskutiert.

9.3.6 Unterschiede der Ergebnisse bei der Berechnung der BIPV-Anlagen

Für diese Auswertung beschränkt sich die Anzahl der untersuchten Gebäude auf 24, da nicht alle Gebäude mit BIPV-Anlagen ausgestattet sind.

9.3.6.1 Berechnung der BIPV-Anlagen

Die Ermittlung der Leistungen der installierten BIPV-Anlagen liegt bei nahezu allen untersuchten Gebäuden weiter zurück. Zu diesem Zeitpunkt war eine Ermittlung der Leistungsdaten mittels eines BIPV-Simulationsprogramms noch zulässig. Die eingesetzten Programme bei den vorgelegten Projekten waren unterschiedlich und aus den dokumentierten Ergebnissen nicht identifizierbar. Ein wesentlicher Unterschied besteht darin, dass Simulationsprogramme in den meisten Fällen eine taggenaue Input-Output-Berechnung vornehmen. Zusätzlich können genaue Bedarfsgestaltungen bezüglich der Personenbelegung eingestellt werden. Seit dem 1. August 2023 fordert die KfW eine Berechnung nach DIN V 18599 Teil 9. Im Projekt erfolgte daher eine Neuberechnung des Endenergiebedarfs nach dieser Regel. Die Veränderung der Leistungswerte durch die Neuberechnung nach DIN V 18599 Teil 9 hat ein signifikant anderes Ergebnis gebracht. Ein Aspekt betrifft die Abweichung der Gesamterzeugung von BIPV-Strom in kWh/a. Die folgende Abbildung 33 zeigt die Reduzierung des Ertrags der meisten BIPV-Anlagen um ca. 20 %.

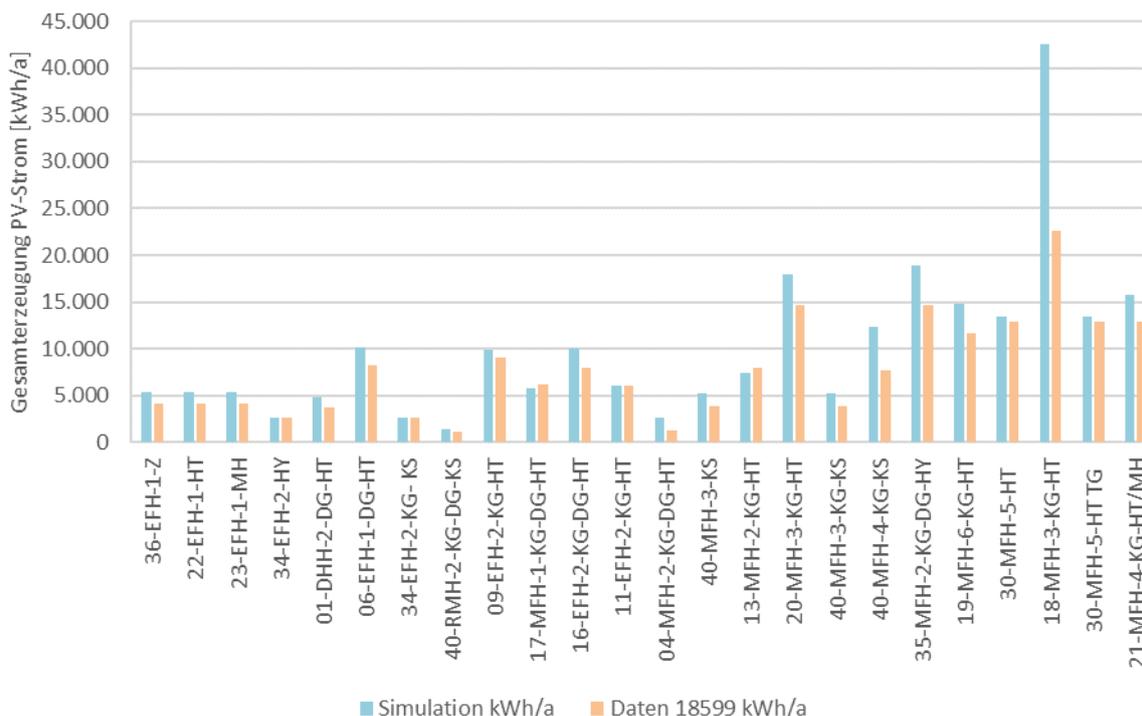


Abbildung 33: Gesamterzeugung (Ertrag bzw. „Ernte“) von BIPV-Strom in kWh/a – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude mit BIPV

Umgekehrt stellen sich dagegen die Verhältnisse des ermittelten Eigennutzungsanteils der Anlagen dar. Bei der Berechnung nach DIN V 18599 Teil 9 übersteigt der Eigennutzungsanteil die ermittelten Werte der Simulationsprogramme – siehe dazu Abbildung 34.

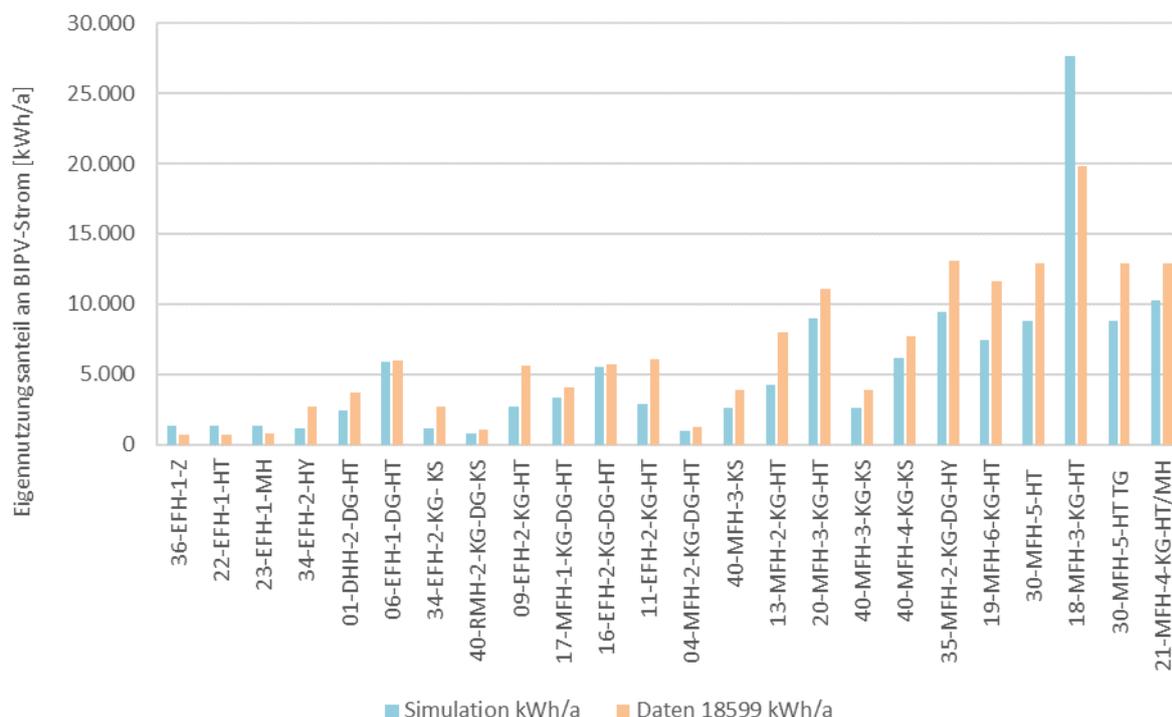


Abbildung 34: Eigennutzungsanteil an BIPV-Strom in kWh/a – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude mit BIPV

9.3.6.2 Eigennutzungsgrad (ENG) in Prozent

Der Kennwert Eigennutzungsgrad ENG bezieht jenen Anteil des lokal erzeugten BIPV-Stroms, welcher selbst lokal verbraucht wird. Ein ENG von 100 % besagt also, dass sämtlicher lokal erzeugter Strom selbst verbraucht wird und keine Einspeisung in das öffentliche Netz erfolgt. Es ist dabei zu beachten, dass mit dem Eigennutzungsgrad keine Aussage über den Strombezug aus dem öffentlichen Netz getroffen wird. Bei einem ENG von 100 % kann es einen Strombezug aus dem öffentlichen Netz zur Deckung des verbleibenden Anteils vom Gesamt-Strombedarf geben.

Der Eigennutzungsgrad (ENG) am erzeugten BIPV-Strom fällt bei der Berechnung nach DIN V 18599 Teil 9 erheblich höher aus als bei den Simulationsberechnungen. Bei vielen Anlagen wird bei einer Berechnung nach DIN V 18599 Teil 9 ein 100 %-Anteil erreicht – siehe Abbildung 35.

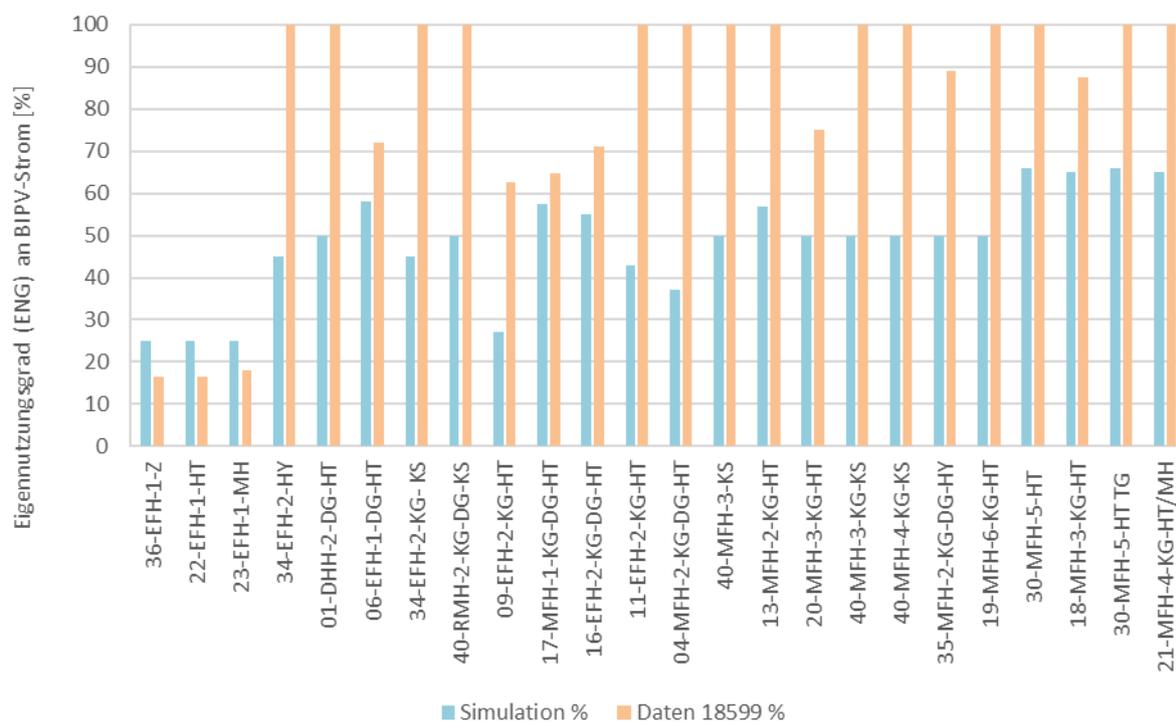


Abbildung 35: Eigennutzungsgrad (ENG) der BIPV-Anlagen in % nach Simulationsergebnis und Berechnung nach DIN V 18599 – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude mit BIPV

Die 100 %-Ausnutzung des erzeugten Stroms hat Auswirkungen in Bezug auf

- eine starke Minderung des Endenergiebedarfs der Gebäude,
- die 100-prozentige Anrechnung der BIPV-Anlage auf das Gebäude,
- keine Bereitstellung von an Dritte gelieferte Energie (B6.2).

Die Ursache für diese starke Abweichung von den Simulationsergebnissen ist auf die Anwendung unterschiedlicher Rechenregeln zurückzuführen. Die Simulationsprogramme berechnen in der Regel täglich im Tag-Nach-Rhythmus die Optionen für den Eigenverbrauch, der im Eigennutzungsanteil und im Eigennutzungsgrad ausgedrückt wird. Die DIN V 18599 Teil 9 legt der Berechnung einen Monatsvergleich zwischen Erzeugung und Bedarf zugrunde.

Unabhängig von der oberen Feststellung ist darauf hinzuweisen, dass durch dieses Berechnungsergebnis ein Bild entsteht, das nicht mit der realen Situation übereinstimmt. Bisher zeigen die Simulationsrechnungen, mit Ausnahme bei sehr kleinen BIPV-Anlagen, dass durch die asynchronen Verhältnisse von Strombedarf und Strombereitstellung im Jahreslauf eine 100 % Deckungsrate nicht erreicht werden kann. Dem hohen Strombedarf im Wintervierteljahr Dezember bis Februar stehen geringe Erträge der BIPV-Anlage gegenüber.

9.3.6.3 Eigenversorgungsgrad (EVG)

Der Kennwert Eigenversorgungsgrad EVG beschreibt das Verhältnis zwischen selbst genutzter, lokal erzeugter Strommenge und dem gesamten lokalen Strombedarf. Ein EVG von 100 % besagt, dass der lokale Strombedarf vollständig aus lokaler Erzeugung gedeckt wird und kein Strombezug über das öffentliche Netz erfolgt. Dabei kann es trotzdem eine zusätzliche Einspeisung von lokalen Stromüberschüssen in das öffentliche Netz bzw. eine Lieferung an Dritte geben.

Der Eigenversorgungsgrad wurde nach der Simulationsberechnung und der DIN V 18599 berechnet, unter der Annahme eines zusätzlichen Nutzerstrombedarfs von 20 kWh/(m²NRF a). Die Ergebnisse werden in Abbildung 36 vorgestellt.

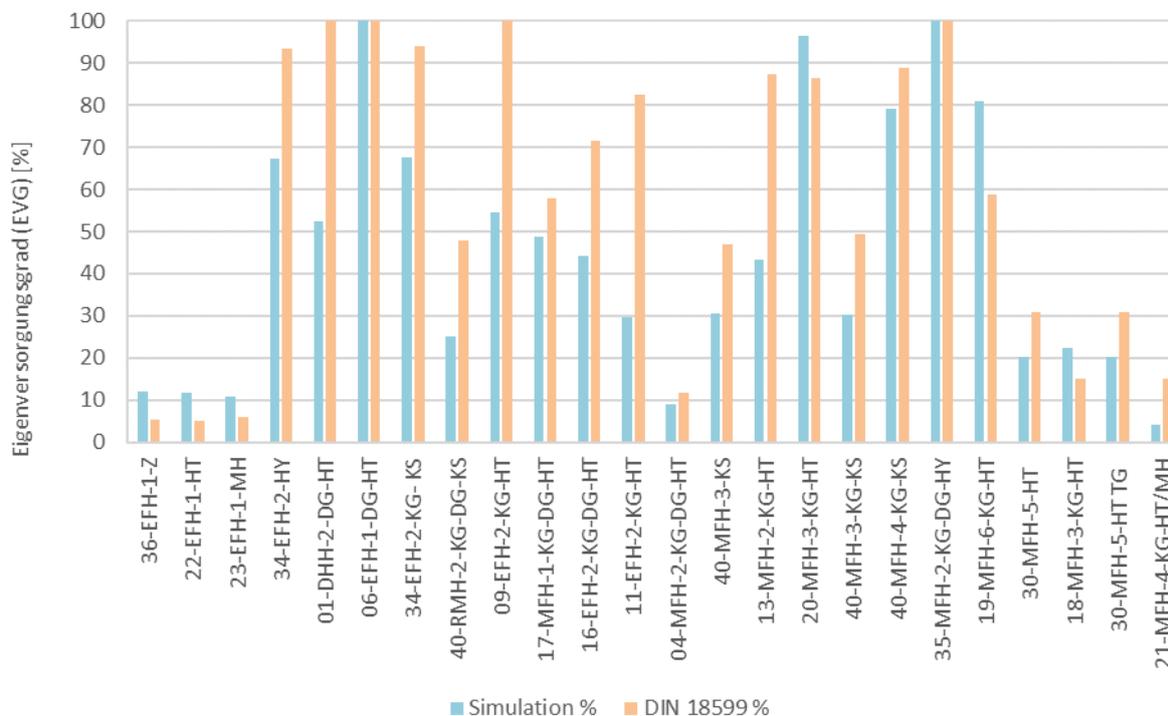


Abbildung 36: Eigenversorgungsgrad (EVG) in % nach Simulationsergebnis und Berechnung nach DIN V 18599 – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude mit BIPV

Der EVG liegt bei der Neuberechnung nach DIN V 18599 in fast allen Fällen erheblich über der Simulationsrechnung. Wird der Nutzerstrombedarf des QNG mit 20 kWh/(m²NRF a) (Modul B6.3) mit dem sonstigen Gesamtenergiebedarf (Modul B6.1) zusammengefasst betrachtet, dann reduzieren sich die 100 % Deckungsgrade der Berechnung nach DIN V 18599.

Erkennbar ist in Abbildung 37, dass bei den mehrgeschossigen Gebäuden, z. B. dem Gebäude 30, einem Punkthaus mit 5 Geschossen, die verfügbare nutzbare Fläche auf dem Dach begrenzt ist. Damit werden im Verhältnis zum Energiebedarf keine hohen Deckungsgraden für den EVG mehr ermöglicht.

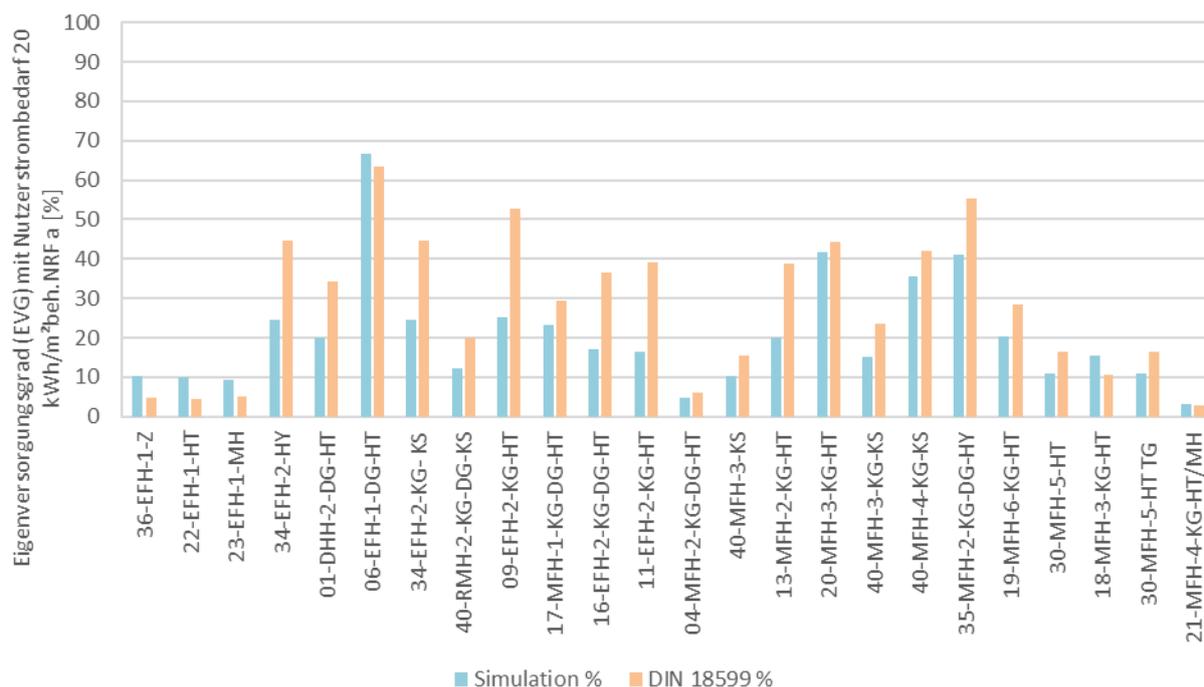


Abbildung 37: Eigenversorgungsgrad (EVG) in % inklusive Nutzerstrombedarf nach QNG – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude mit BIPV

9.3.7 Verhältnis gebäudebezogener und betriebsbedingter Anteil ohne und mit BIPV-Anlage

Für die Beurteilung des Einflusses der BIPV-Anlage auf das Ökobilanz-Berechnungsergebnis ist die Betrachtung des Verhältnisses von gebäudebezogenem sowie betriebs- und nutzungsbedingtem Anteil aufschlussreich.

Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 38, Abbildung 39, Abbildung 40 und Abbildung 41) zeigen für den Indikator Treibhauspotenzial das Verhältnis des gebäudebezogenen Anteils (blaue Säule) und des betriebs- und nutzungsbedingten Anteils (rote Säule). Die jeweils erste Abbildung zeigt die absoluten Werte der einzelnen Objekte, die zweite Abbildung die prozentuale Aufteilung.

Bei den Gebäuden ohne BIPV-Einsatz ist deutlich der Einfluss des betriebs- und nutzungsbedingten Anteils auf die Gesamtauswertung zu erkennen, vor allem bei den Gebäuden, die den Grenzwert von 24 kg CO_{2e}/(m²NRF a) nicht unterschreiten.

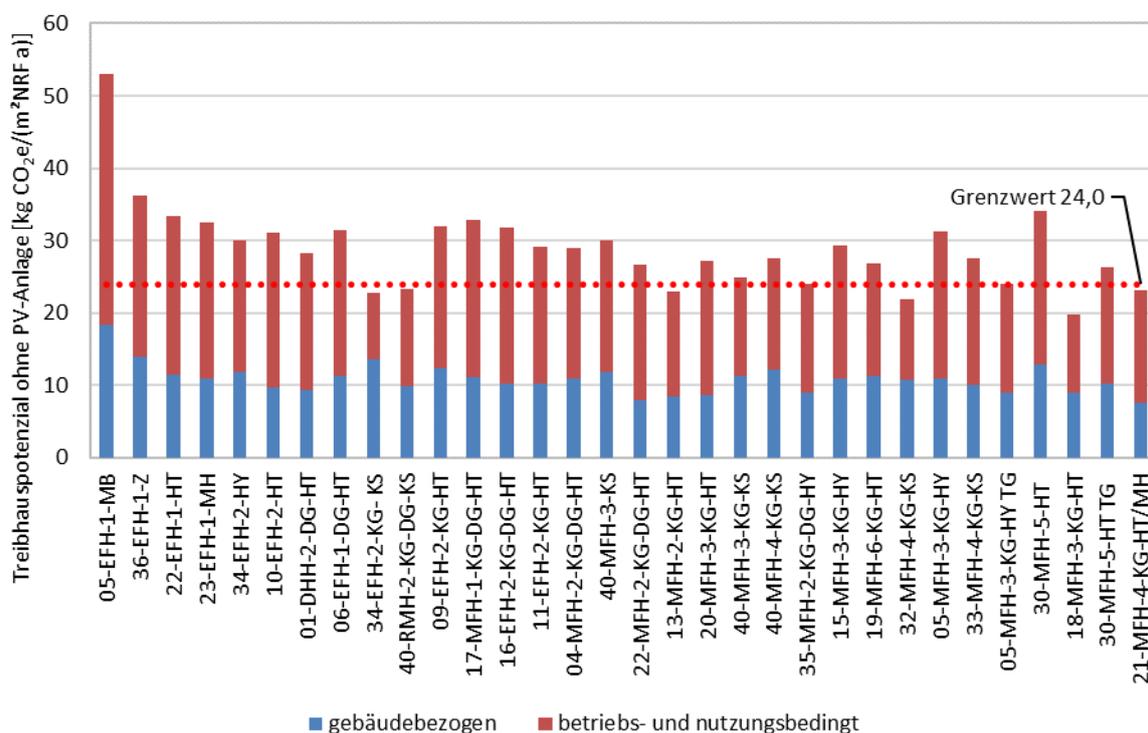


Abbildung 38: Verhältnis vom gebäudebezogenen zum betriebs- und nutzungsbedingten Treibhauspotenzial, von Gebäuden ohne BIPV – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

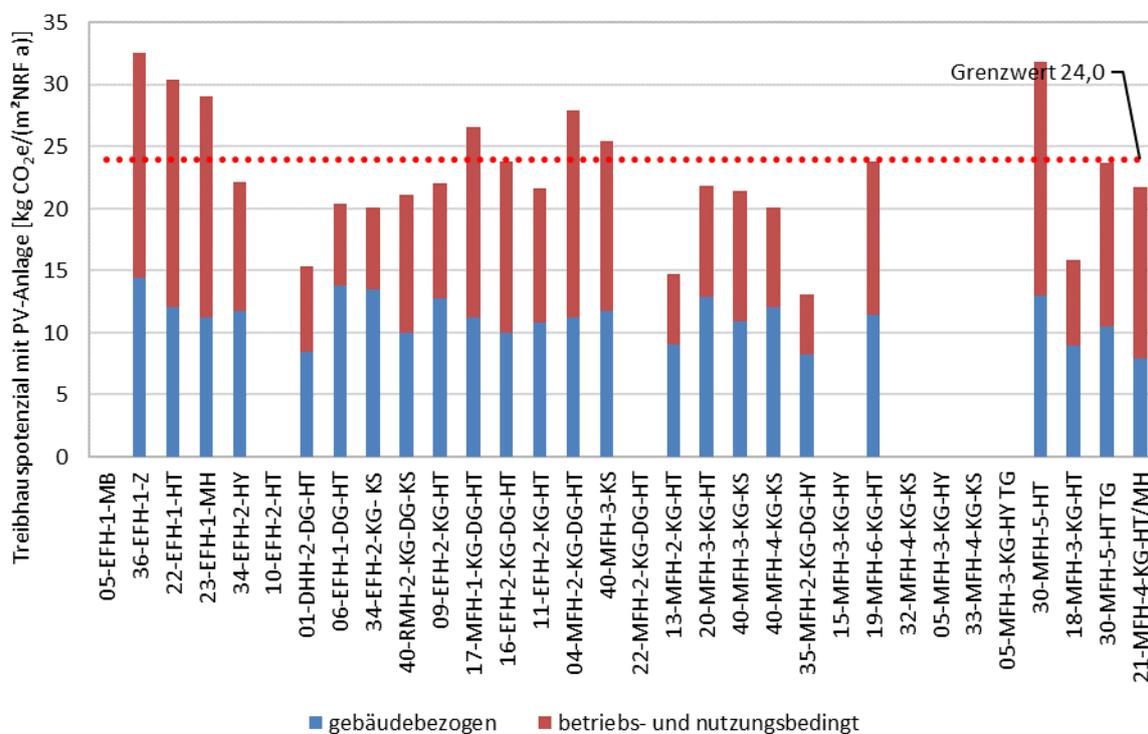


Abbildung 39: Verhältnis vom gebäudebezogenen zum betriebs- und nutzungsbedingten Treibhauspotenzial, von Gebäuden mit BIPV – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Die Aufteilung der Summe der Treibhausgasemissionen in den gebäudebezogenen sowie den betriebs- und nutzungsbedingten Anteil in % zeigt die Unterschiede deutlicher auf.

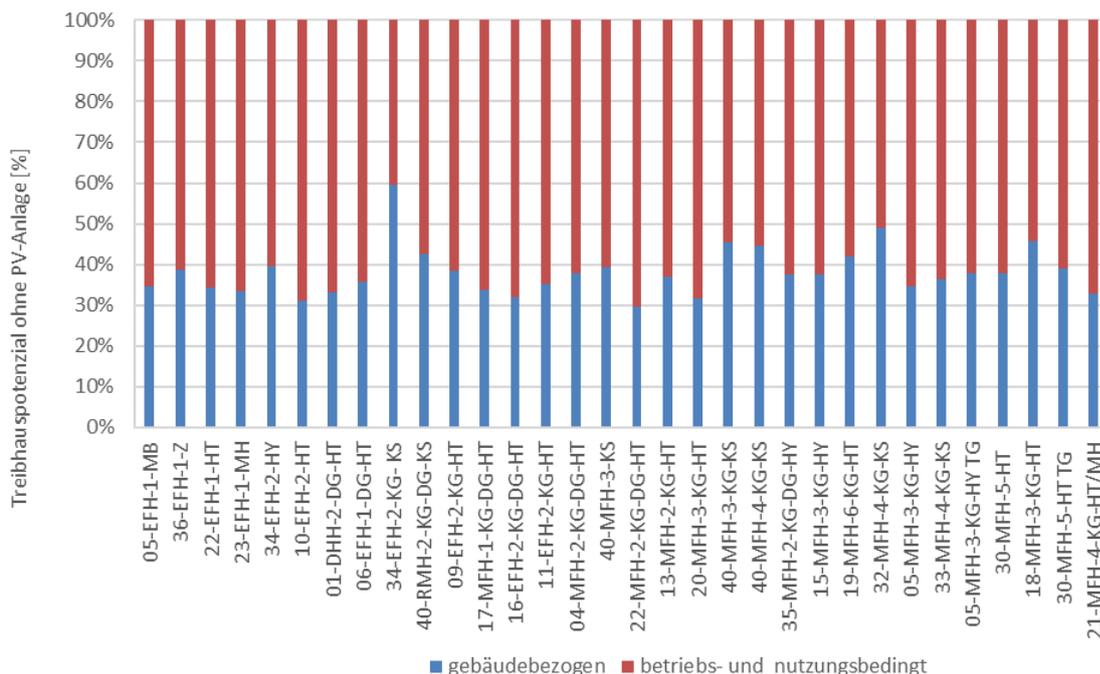


Abbildung 40: Prozentuales Verhältnis vom gebäudebezogenen zum betriebs- und nutzungsbedingten Treibhauspotenzial, für Gebäude ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Die gebäudebezogenen Anteile an der Ökobilanz erreichen bei den Objekten mit BIPV-Anlage Anteile von 40 % bis 70 %. Ursache ist die Verringerung der betriebs- und nutzungsbedingten Anteile.

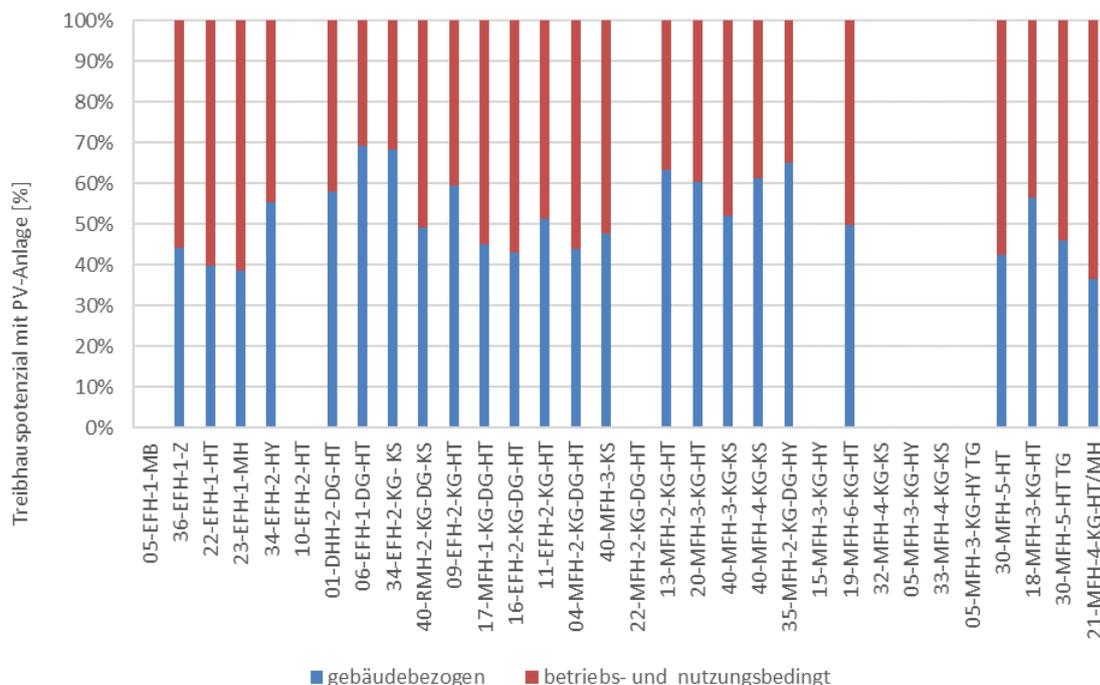


Abbildung 41: Prozentuales Verhältnis vom gebäudebezogenen zum betriebs- und nutzungsbedingten Treibhauspotenzial, für Gebäude mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

9.3.8 Plausibilitätsprüfung

Die Vergleiche von Gebäuden ohne und mit BIPV-Anlage sind besonders geeignet für Plausibilitätsprüfungen bezüglich der korrekten Anwendung der Rechenregeln. Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 42, Abbildung 43, Abbildung 44, Abbildung 45 und Abbildung 46) zeigen eine getrennte Auswertung für den gebäudebezogenen Anteil (Gebäude) sowie den betriebs- und nutzungsbedingten Anteil (Betrieb). Dabei werden für jedes Objekt die erreichten Werte für die jeweiligen Anteile ohne BIPV von dem Objekt mit einer BIPV-Anlage abgezogen.

Zu erwarten sind bei den Auswertungen, bezogen auf den gebäudebezogenen Anteil (Gebäude), positive Werte durch die zusätzlich installierte BIPV-Anlage, was höhere Treibhauspotenziale für diesen Anteil bedeutet. Im Gegensatz dazu sind beim betriebs- und nutzungsbedingten Anteil (Betrieb) negative Werte zu erwarten durch die Reduktion des Endenergiebedarfs, was niedrigere Treibhauspotenziale für diesen Anteil bedeutet.

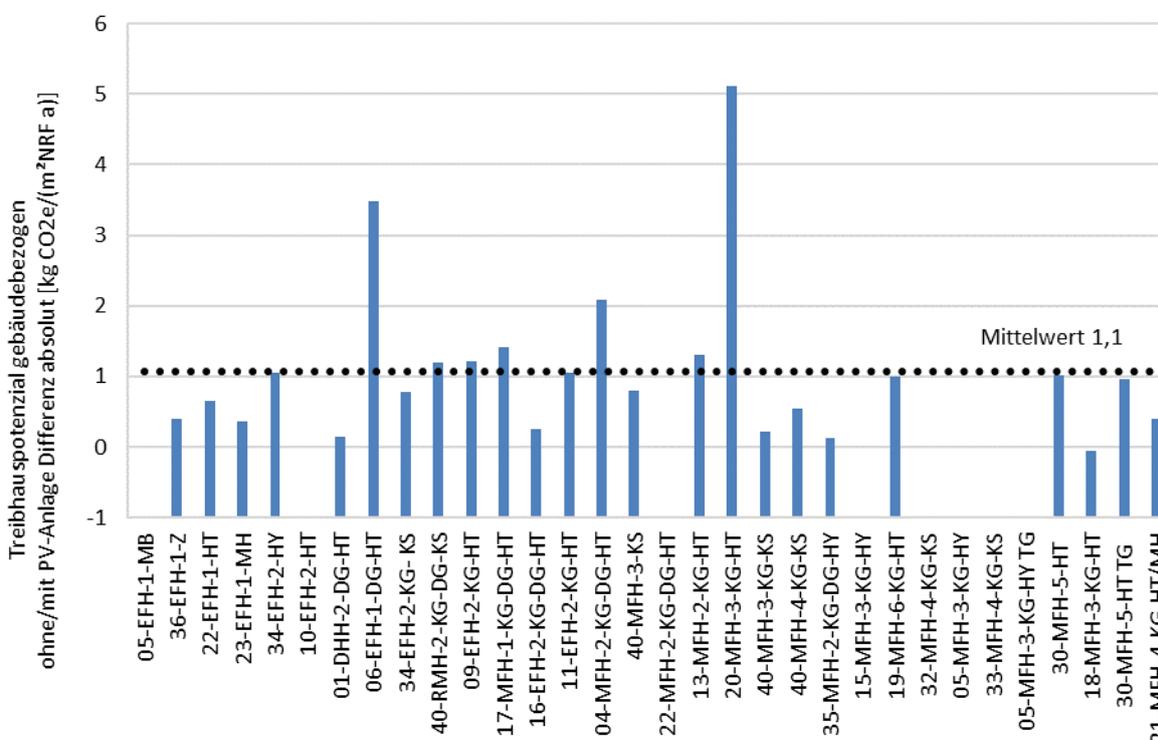


Abbildung 42: Zunahme des Treibhauspotenzials des gebäudebezogenen Anteils absolut durch die BIPV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Im Mittel nehmen die Treibhauspotenziale durch eine BIPV-Anlage im gebäudebezogenen Anteil um 1,1 kg CO₂e/(m²NRF a) zu. Die beiden Objekte mit wesentlich höheren Werten sind mit großen BIPV-Anlagen bei geringer Geschossanzahl ausgestattet und die Bauweise ist aus nachwachsenden Rohstoffen. Prozentual liegen die Zunahmen im Mittel bei 10 %. Deutliche Abweichungen vom Mittelwert bestehen wieder bei den beiden oben bereits erwähnten Gebäuden. Erkennbar ist, dass bei den mehrgeschossigen Gebäuden, z. B. dem Gebäude 30, einem Punkthaus mit 5 Geschossen, die verfügbare nutzbare Fläche auf dem Dach begrenzt ist. Eine Reduktion der Bedarfswerte ist somit begrenzt.

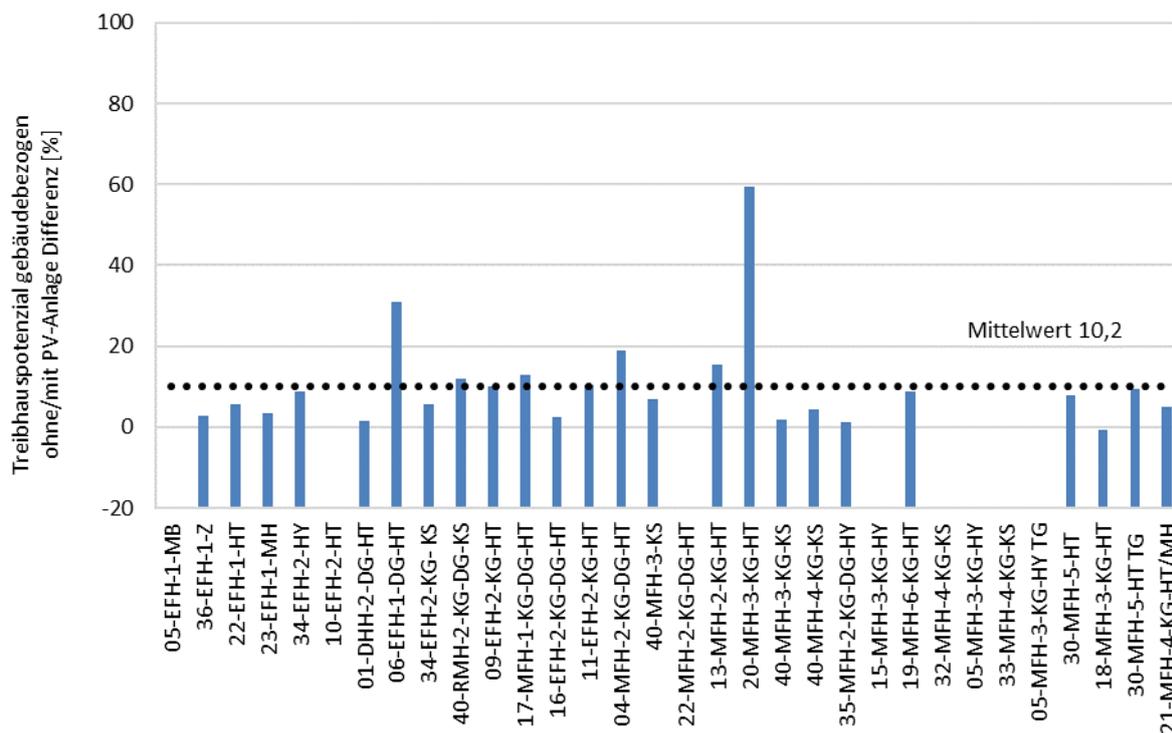


Abbildung 43: Zunahme des Treibhauspotenzials des gebäudebezogenen Anteils durch die BIPV-Anlage absolut – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Die Auswertung des betriebs- und nutzungsbedingten Anteils (Betrieb) der Ökobilanz bei Gebäuden mit BIPV-Anlagen führt zunächst zu einer Reduzierung des Bezugs von Endenergie durch den Eigennutzungsanteil des am Gebäude erzeugten Stroms. Die Reduzierung von Treibhausgasemissionen im betriebs- und nutzungsbedingten Teil beträgt im Mittel 5,9 kg CO₂e/(m²NRF a).

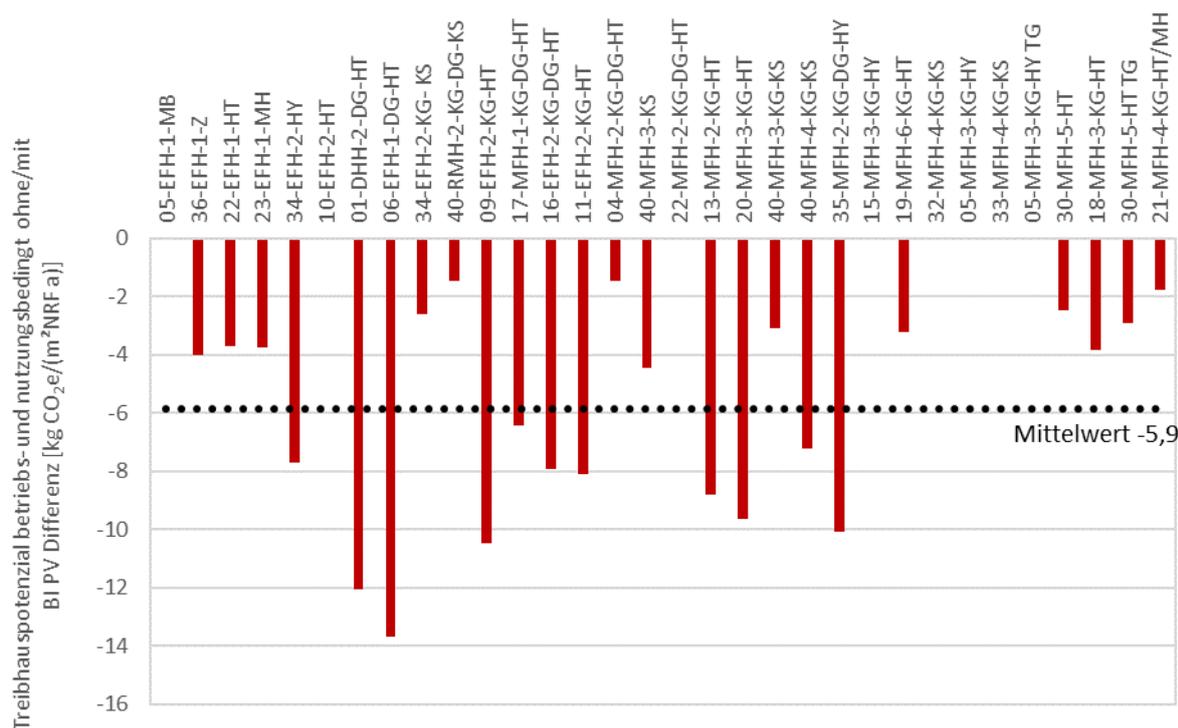


Abbildung 44: Reduktion des Treibhauspotenzials des betriebs- und nutzungsbedingten Anteils absolut durch die BIPV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

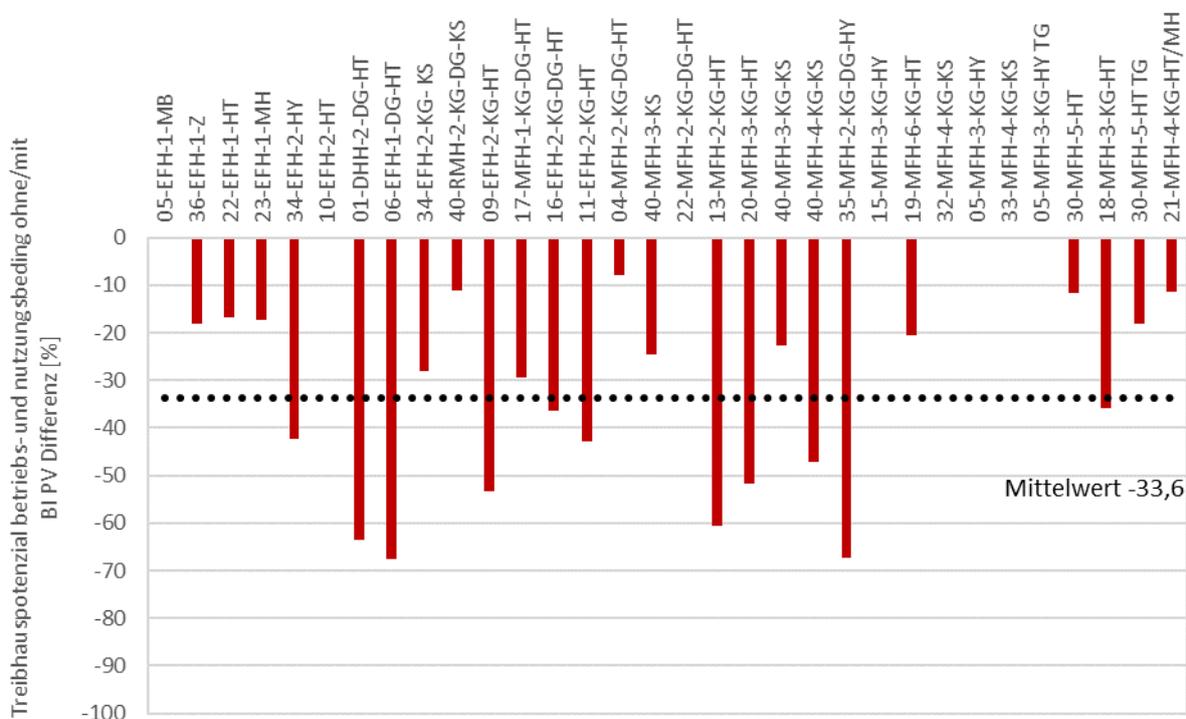


Abbildung 45: Reduktion des Treibhauspotenzials des betriebs- und nutzungsbedingten Anteils prozentual durch die BIPV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

Die gemeinsame Darstellung der beiden Aspekte (gebäudebezogener- und betriebs- und nutzungsbedingter Anteil) der GWP-Emissionen bei Gebäuden mit PV-Anlagen zeigt mit der Differenzdarstellung den positiven Effekt der Maßnahme über den gesamten Betrachtungszeitraum von 50 Jahren.

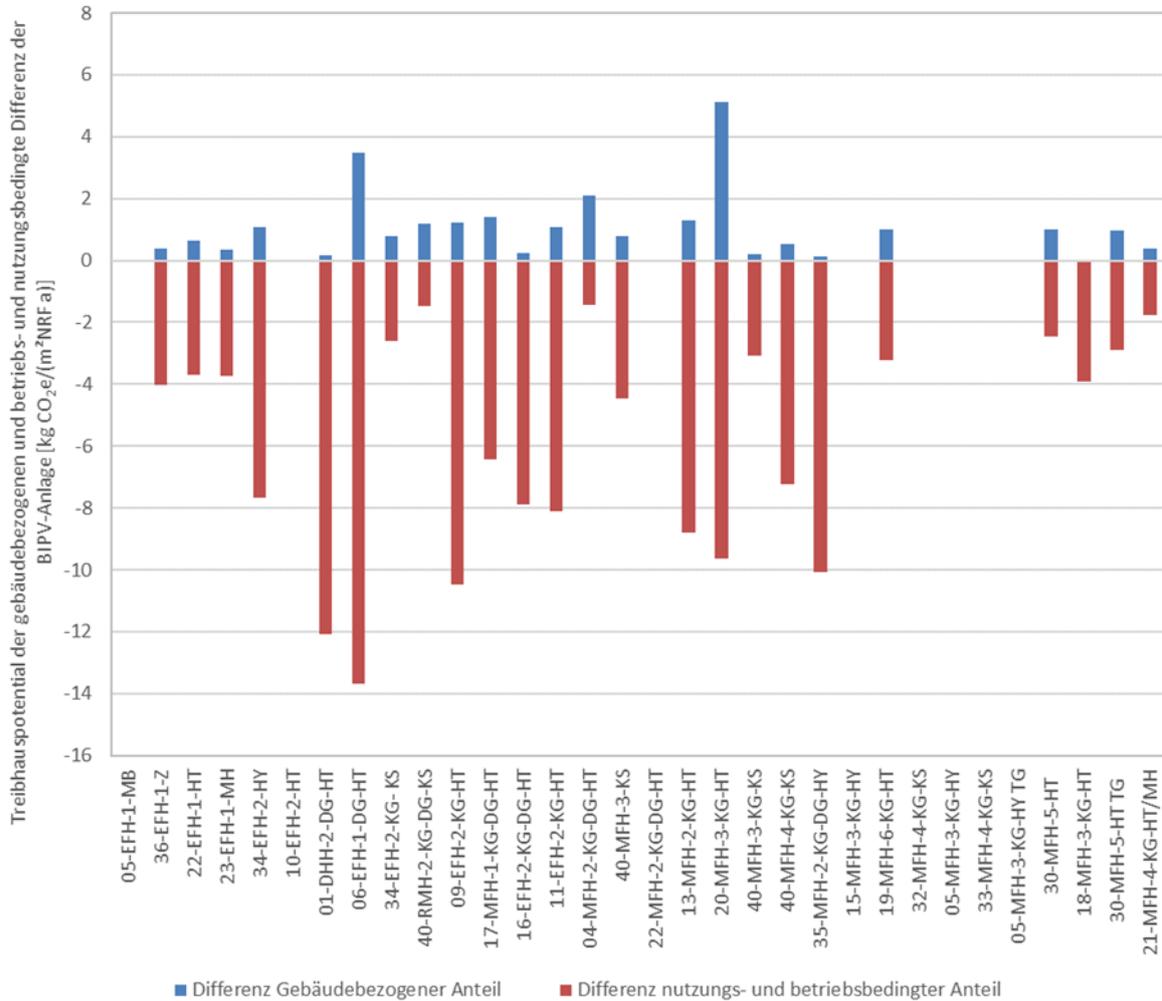


Abbildung 46: Treibhauspotenzial der gebäudebezogenen und betriebs- und nutzungsbedingten Differenz durch die BIPV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude

10 Detailanalysen

10.1 Einfluss Bezugsgröße

Für die Objektauswahl wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

- Objektgröße klein – mittel – groß
- Erweiterung um Keller und Tiefgarage

Bei den Gebäuden 34, 40, 05 und 30 werden Keller und Tiefgarage variiert und die Auswirkungen auf das flächenbezogene Ergebnis analysiert. Die Gebäudegröße variiert von ca. 90 m² bis 3.000 m² Nettoraumfläche (NRF) – siehe Abbildung 47.

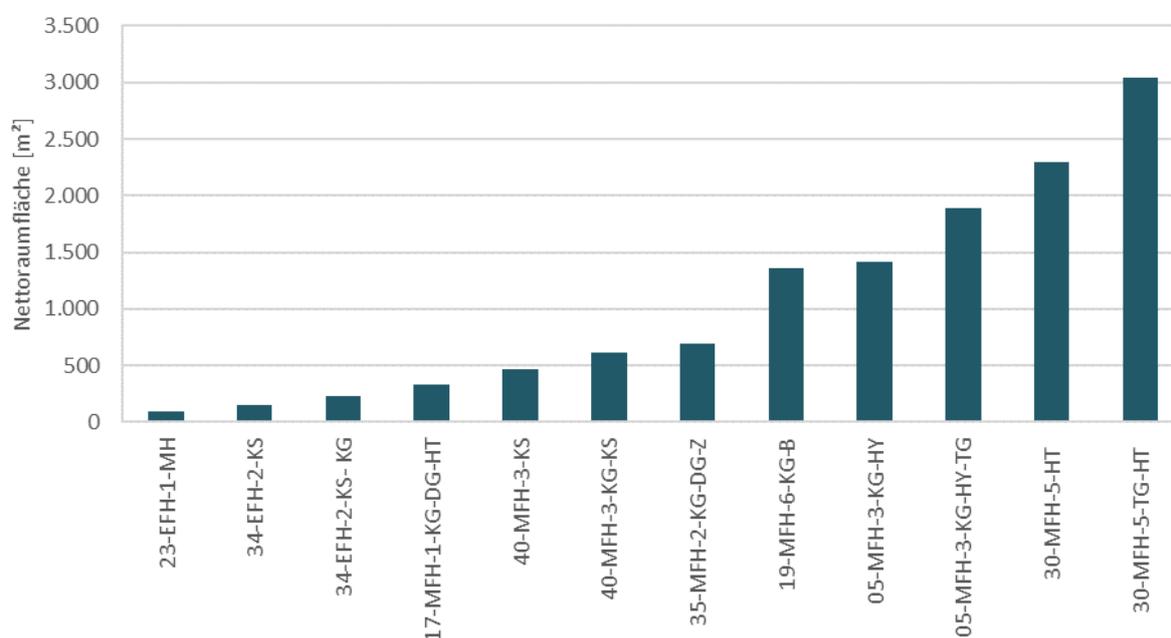


Abbildung 47: Nettoraumflächen von ausgewählten Gebäuden

Die bisher in den in Deutschland im Einsatz befindlichen Zertifizierungssystemen verwendete und im QNG-System festgelegte Bezugsgröße ist die Nettoraumfläche (NRF). Aus unterschiedlichen Gründen werden weiterhin in der interessierten Fachöffentlichkeit auch zusätzliche oder andere Bezugsgrößen diskutiert. Die Vorschläge hierfür betreffen u. a. Größen, die ebenfalls mit DIN 277:2021-08 berechnet werden, z. B. Bruttorauminhalt (BRI, Bruttogrundfläche (BGF), Nutzfläche (NUF)). Die Immobilienwirtschaft benutzt im Bereich des Wohnungsbaus zusätzlich die Wohnfläche (WF) als Bezugsgröße. Diese kann nach verschiedenen Regeln, z. B. der Wohnflächenberechnungsverordnung (WoFIV:2003-11-25) berechnet werden. Innerhalb des Projektes wurde die Wohnfläche der analysierten Gebäude zusätzlich abgefragt. Die drei Flächenangaben BGF, NRF und WF werden für jedes Objekt in Abbildung 48 nebeneinander dargestellt.

Die Unterschiede zwischen BGF und NRF liegen bei allen Gebäuden in einer ähnlichen Größenordnung. Die Wohnfläche WF fällt immer kleiner aus als die Nettoraumfläche NRF, es stellt sich jedoch kein einheitliches, über einen Faktor zu beschreibendes Verhältnis ein.

Je nach der Erschließungsart und zusätzlichen Nebenflächen sind deutliche Unterschiede bei den Gebäuden erkennbar.

Bei den Gebäuden mit zusätzlichem Keller oder Tiefgarage steigen die BGF und die NRF an, die Wohnfläche bleibt hingegen konstant (Objekt 34, 40, 05 und 30). Bei Gebäude 30 erhöht sich die Wohnfläche etwas, da die Mieterabstellräume in den Keller verlagert werden und dadurch zusätzliche Wohnfläche im EG entsteht.

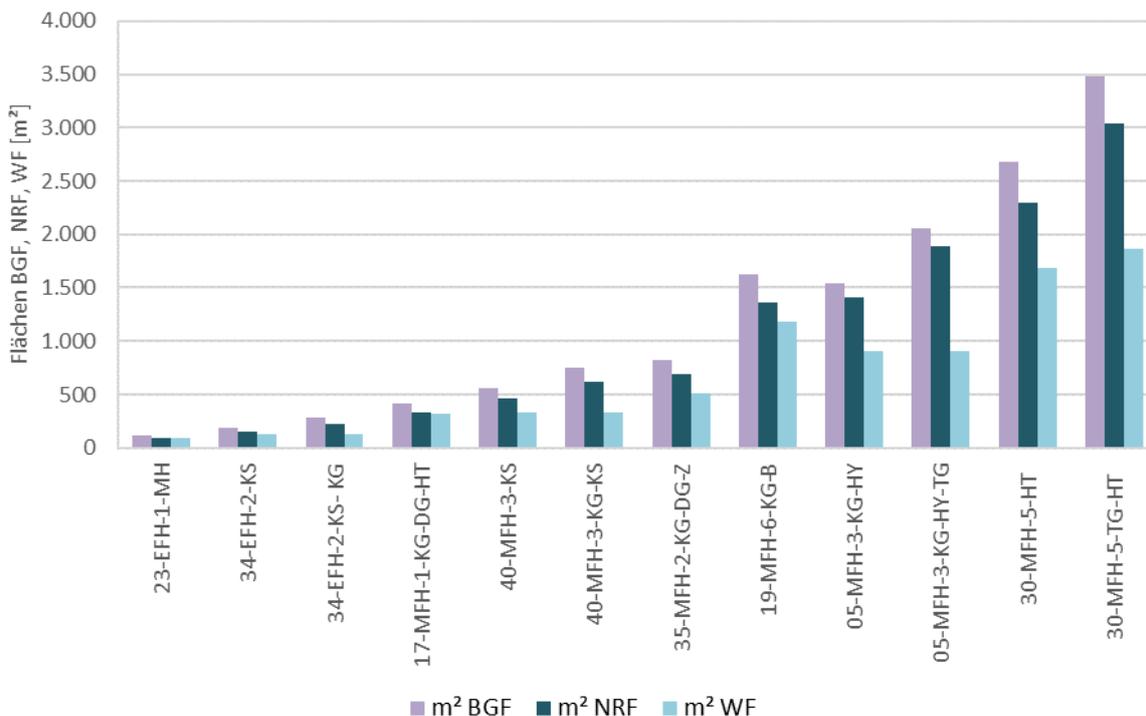


Abbildung 48: BGF, NRF und WF der ausgewählten Gebäude

Die Wohnfläche als Bezugsgröße wird insofern durch zusätzliche Flächen, die nicht dem Wohnen dienen, z. B. im Bereich Keller oder Tiefgarage, nicht verändert.

Die Auswertungen bezüglich einer Bezugsfläche auf die Bruttogrundfläche ergeben einen angepassten Anforderungswert von ca. 20 kg CO₂e/(m²BGF a), im Vergleich zum Bezug auf die NRF mit 24 kg CO₂e/(m²NRF a). Damit entspricht der Unterschied bei den flächenbezogenen Anforderungswerten dem prozentualen Unterschied zwischen BGF und NRF von durchschnittlich 18 %. Siehe auch Abbildung 49, Abbildung 50, Abbildung 51 und Abbildung 52.

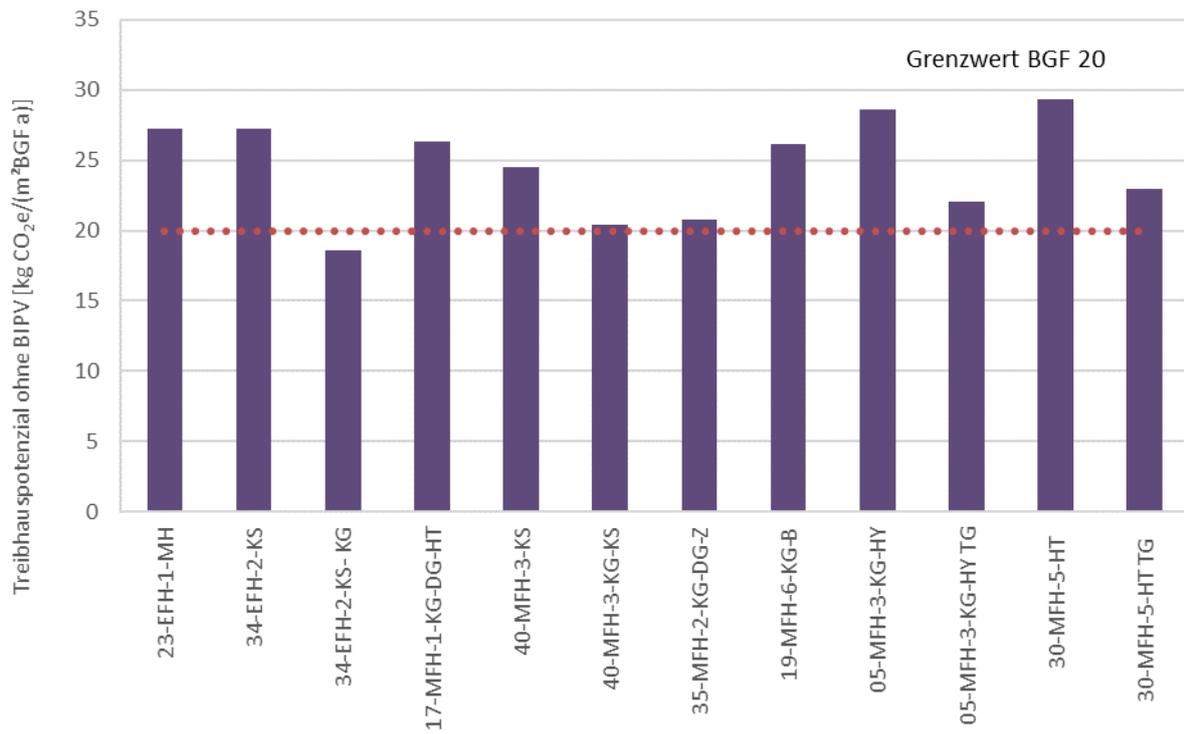


Abbildung 49: Möglichkeiten des Erreichens eines modifizierten Anforderungswertes für Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus, bezogen auf BGF für Gebäude ohne BIPV

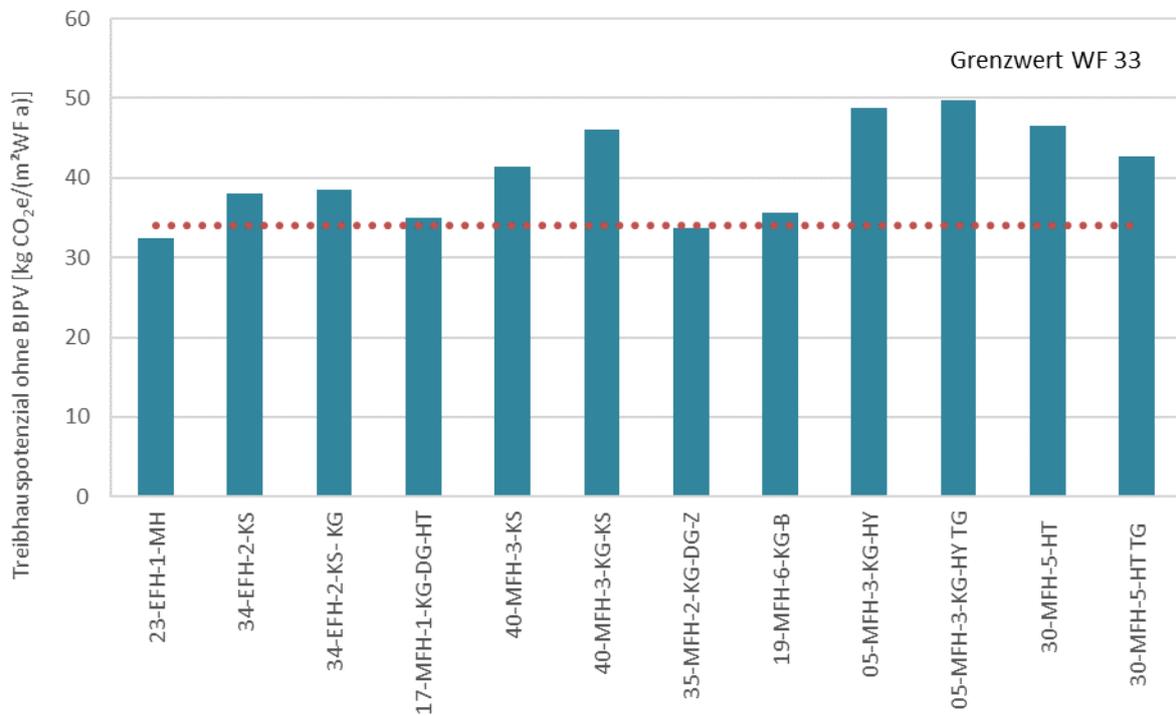


Abbildung 50: Möglicher Grenzwert für Treibhausgasemissionen bei modifizierter Bezugsfläche m²WF ohne BIPV

Ein Anforderungswert von ca. 20 kg CO₂e/(m²BGF a) führt hinsichtlich seiner Erreichbarkeit zu einem ähnlichen Ergebnis wie beim Grenzwert mit 24 kg CO₂e/(m²NRF a). Die Gebäude mit der Codierung 05 besitzen keine BIPV-Anlage und werden in diesem Vergleich nicht betrachtet.

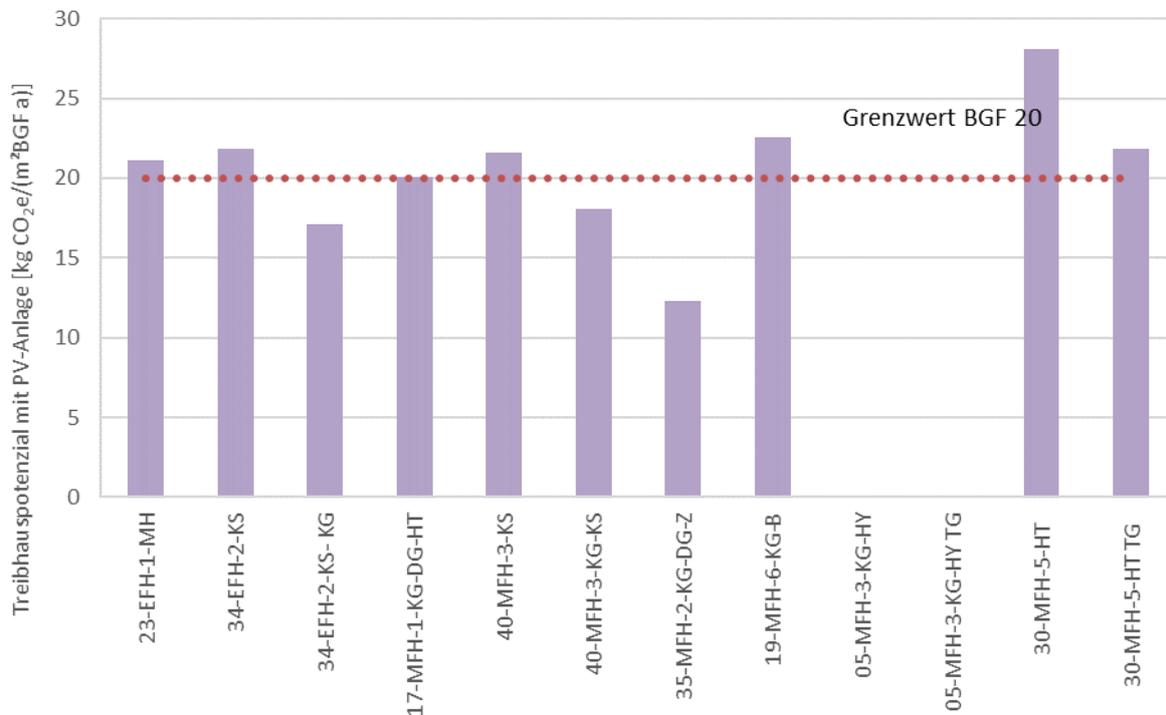


Abbildung 51: Möglicher Grenzwert für Treibhausgasemissionen bei modifizierte Bezugsfläche mit PV-Anlage

Eine neue Bezugsfläche, (z. B. Wohnfläche), erfordert auch neue Kennwerte für das QNG. Eine vereinfachte Methode ist die Umrechnung der Grenzwerte über bekannte Verhältnisfaktoren BGF zu NRF zu WF. Im folgenden Fall wurde daraus ein ungefährender Grenzwert für die Treibhausgasemissionen von 33 kg CO₂e/(m²WF a) berechnet. Einen auf die Wohnfläche bezogenen Anforderungswert von ca. 33 kg CO₂e/(m²WF a) könnten fünf Gebäude einhalten. Der Einfluss der Keller- und Tiefgaragenfläche kommt hier nicht zum Tragen.

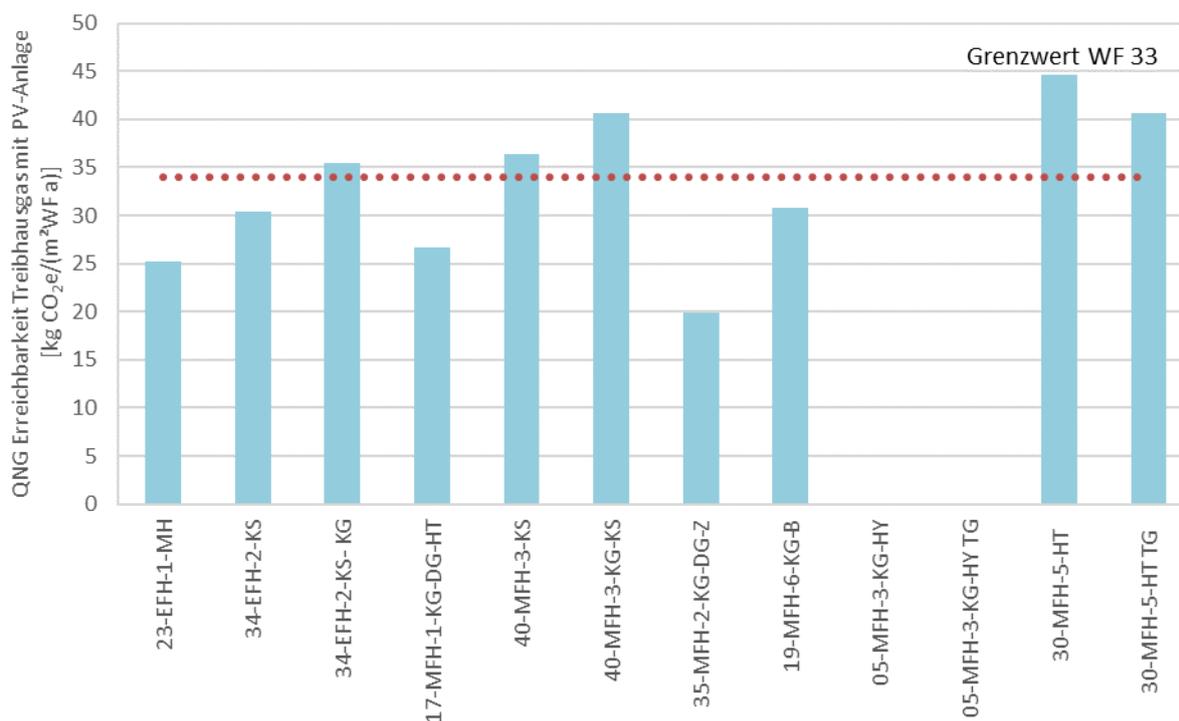


Abbildung 52: Möglicher Grenzwert für THG-Emissionen bei mod. Bezugsfläche für Gebäude mit BIPV

Aus den bisherigen Erfahrungen mit der Bezugsgröße Nettoraumfläche (NRF), die auf normierten Anwendungsregeln der DIN 277 beruht und für die Genehmigung des Bauvorhabens durch den Planer ermittelt wird, besteht aus formaler Sicht zunächst kein Handlungsbedarf für die Wahl einer alternativen Bezugsgröße. Der Bedarf resultiert hingegen aus zu erwartenden Vorgaben der europäischen Gebäudeeffizienzrichtlinie (EPBD) hinsichtlich der Nutzfläche als Bezugsgröße und den Diskussionen zum unerwünschten Einfluss von Tiefgaragen und Kellern auf das Bewertungsergebnis mit den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung zuwiderlaufenden Anreizen für möglichst große Keller und Tiefgaragen.

Die Effekte bei der Berücksichtigung von Keller bzw. Tiefgarage bei der Bezugsfläche und der Einfluss der daraus resultierenden Vergrößerung der Bezugsgröße auf das Ergebnis der Ökobilanz im Rahmen des QNG werden im folgenden Kapitel erörtert.

10.2 Einfluss Bodenplatte/Keller

Wie bereits festgestellt, ist für das Erreichen beider QNG-Kriterien der Grenzwert zur Begrenzung des Treibhauspotenzials die wesentliche Hürde. Die Einflussfaktoren auf das mögliche Unterschreiten der Grenzwerte bei den einzelnen Objekten sind vielfältig. Im Folgenden wird der Einfluss (zusätzlich) errichteter Flächen unter Geländeniveau im Sinne von Kellern und Tiefgaragen untersucht. Es werden die Gebäude der Kategorie „Neuberechnung nach DIN V 18599“ ausgewertet. Dies sind 4 Objekte mit ihren Varianten, insgesamt 8 Objekte, davon 3 Gebäude mit BIPV-Anlage. Bei der Auswahl der Gebäude wurde auf die unterschiedliche Größe bezüglich der Nettoraumfläche und auf die Anzahl der Geschosse geachtet.

Die Nettoraumflächen der untersuchten Gebäude haben eine Bandbreite von 153,1 m² NRF bis 2.294,2 m² NRF. Die Anzahl der Geschosse reicht von 2 bis 5, angegeben in Abbildung 53 in der Objektcodierung.

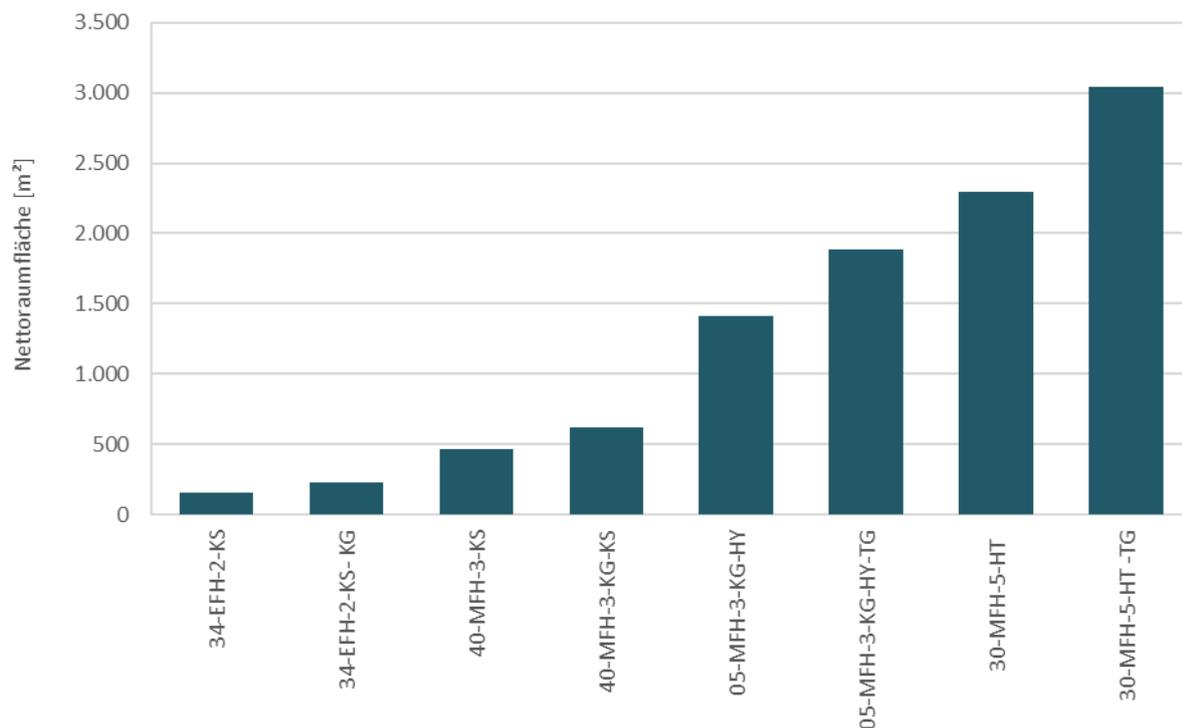


Abbildung 53: Nettoraumfläche in m² der untersuchten Gebäude mit und ohne Keller bzw. Tiefgarage

Die Entscheidung bei der Gebäudekonzeption „ohne“ oder „mit“ Keller bzw. Tiefgarage zu bauen, wird von einer Fülle weiterer Fragestellungen begleitet. Teilweise beruhen die Entscheidungen auf den Forderungen eines Bebauungsplans, teilweise auf einer begrenzten Grundstücksfläche. Geklärt werden muss in allen Fällen:

- die Unterbringung der Kellerabteile/Abstellflächen
- die Unterbringung der technischen Anlagen
- die Unterbringung der Stellplätze für PKW und Fahrräder

Die Fragen 1 und 2 werden bei den Gebäuden 34 und 40 durch Lösungen außerhalb der Bilanzgrenze des Gebäudes gelöst, d. h. die technische Anlage und die Kellerersatzräume werden neben dem Gebäude zwar auf dem Grundstück untergebracht, befinden sich aber außerhalb des gewählten Bilanzraumes „Gebäude“. Die Frage 3 wurde bei den Gebäuden 05 und 30 durch offene Stellplätze vor oder neben dem Gebäude gelöst und befindet sich damit ebenfalls außerhalb des gewählten Bilanzraumes.

In der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 wurden alle Keller als unbeheizt angenommen.

Entscheidend für die Einhaltung von Anforderungen nach den Regeln des QNG sind die auf die NRF bezogenen Kennwerte. Die Gebäude ohne Keller oder Tiefgarage haben eine Bodenplatte. Die Gebäude mit Keller und Tiefgarage haben zusätzliche Räume unter Niveau. In der obigen Abbildung 56 wird die Zunahme der Nettoraumfläche durch diese zusätzlichen Flächen/Räume deutlich. Die Zunahme der Nettoraumflächen durch die Flächen unter Niveau beträgt zwischen 32,7 % und 48,55 %. Sie sind also in jedem Fall erheblich.

Weitere Einflüsse auf das Gesamtergebnis Treibhauspotenzial haben folgende Aspekte:

- Die Berechnung der F-Gase bezieht sich bisher auf die dann vergrößerte NRF und bei gleichbleibender Heizungsgröße (Wärmepumpe) verringert sich der relative Anteil der durch F-Gase bedingten Treibhausgasemissionen.
- Das Ergebnis der Berechnung des Sockelbetrags bezieht sich auf die vergrößerte NRF. Künftig muss besser unterschieden werden zwischen einer Fläche im Zusammenhang mit der Berechnung, und einer Bezugsgröße, auf die das Gesamtergebnis bezogen wird.
- Die Fläche als Bezugsgröße des Energiebedarfs nach Berechnungsregel GEG bleibt gleich und der flächenbezogene Endenergiebedarf verringert sich damit bezogen auf die vergrößerte NRF (siehe Abschnitt 10.1).
- Die beheizte NRF für die Berechnung des Nutzerbedarfs mit 20 kWh/(m²NRF a) bleibt gleich und der relative Nutzenergiebedarf verringert sich damit bezogen auf die vergrößerte NRF.
- Insgesamt erhöhen sich die verbaute Stoffmasse und die grauen Emissionen.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte lassen sich die folgenden Auswertungen vornehmen und interpretieren.

10.2.1 Vergrößerung der Nettoraumfläche durch Keller/Tiefgarage

Die Zunahme der Nettoraumfläche durch Keller und Tiefgaragen führt trotz des höheren Materialaufwands mit entsprechenden Treibhausgasemissionen für die Realisierung dieser Flächen/Räume zu geringerem flächenbezogenem Wert pro m² NRF für den gebäudebezogenen Anteil an der Ökobilanz durch die gestiegene Gesamtnettoraumfläche. Siehe hierzu Abbildung 54.

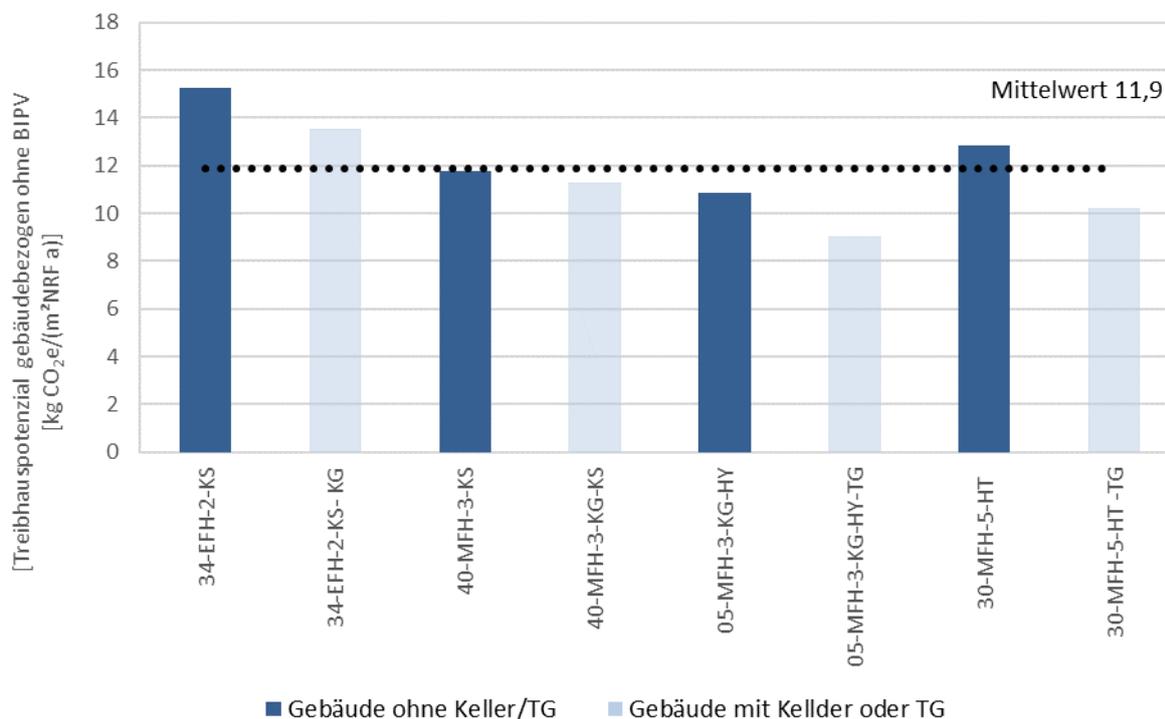


Abbildung 54: Treibhauspotenzial gebäudebezogener Anteil - ohne und mit Tiefgarage

Der Mittelwert mit 11,9 kg CO₂e/(m²NRF a) wurde aus der vorausgegangenen Berechnung der 32 Gebäude als Vergleichswert übernommen. Die beiden Objekte 05 und 30 mit der jeweils größeren Tiefgarage liegen unter diesem Mittelwert.

10.2.2 QNG-Erreichbarkeit ohne/mit Zusatzflächen – Gebäude ohne BIPV-Anlage

Die Betrachtung von Gebäuden ohne BIPV-Anlage soll aufzeigen, ob allein mit einem (ggf. zusätzlichen) Keller oder einer (ggf. zusätzlichen) Tiefgarage der Grenzwert des QNG erreicht werden kann. In Abbildung 55 werden die Varianten hinsichtlich der Einhaltung der QNG-Anforderung an Primärenergie, nicht erneuerbar „PE, ne“ vergleichend gegenübergestellt.

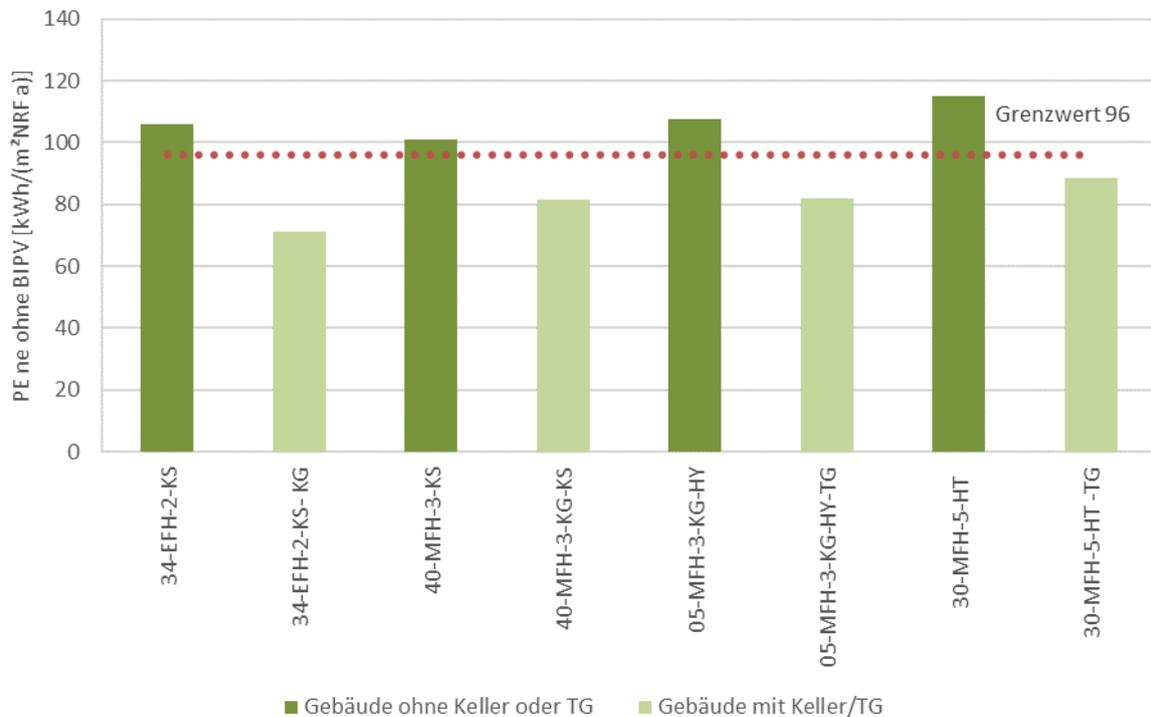


Abbildung 55: Erreichbarkeit QNG für den Indikator PE ne

Vier Objekte mit Keller bzw. Tiefgarage unterschreiten den Grenzwert.

Folgende Abbildung 56 zeigt die Gegenüberstellung hinsichtlich der QNG-Anforderung an Treibhausgasemissionen.

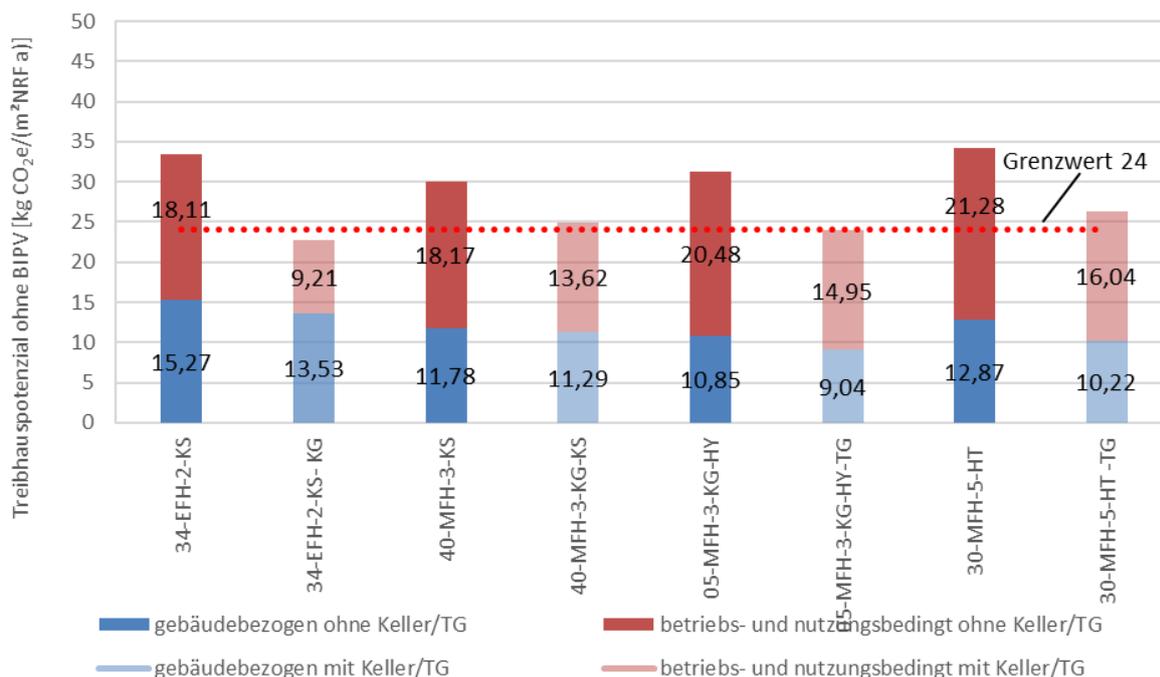


Abbildung 56: Erreichbarkeit QNG für den Indikator Treibhauspotenzial

Beim Indikator Treibhauspotenzial unterschreitet ein Objekt den Grenzwert eindeutig, ein Objekt sehr knapp, zwei Objekte liegen knapp darüber. Dies bedeutet, dass vor allem ein kleines Gebäude von zusätzlichen Kennwertflächen profitiert, da der Zuwachs fast 50 % ausmacht. Bei mehrgeschossigen Gebäuden haben zusätzliche Kellerflächen einen geringeren Einfluss auf das Gesamtergebnis. Zusätzliche Tiefgaragenflächen erreichen bei kleineren Mehrfamilienhäusern einen Zuwachs von über 30 % und können damit einen erheblichen Einfluss auf das Erreichen des QNG-Grenzwerts nehmen. Bei Gebäuden mit vielen Geschossen reduziert sich der Einfluss wieder.

10.2.3 QNG-Erreichbarkeit ohne/mit Zusatzflächen – Gebäude mit BIPV-Anlage

Die Betrachtung von Gebäuden mit BIPV-Anlage betrifft drei Objekte mit jeweils einer zusätzlichen Gebäudemodifikation. Gebäude 05 besitzt keine BIPV-Anlage – siehe Abbildung 57.

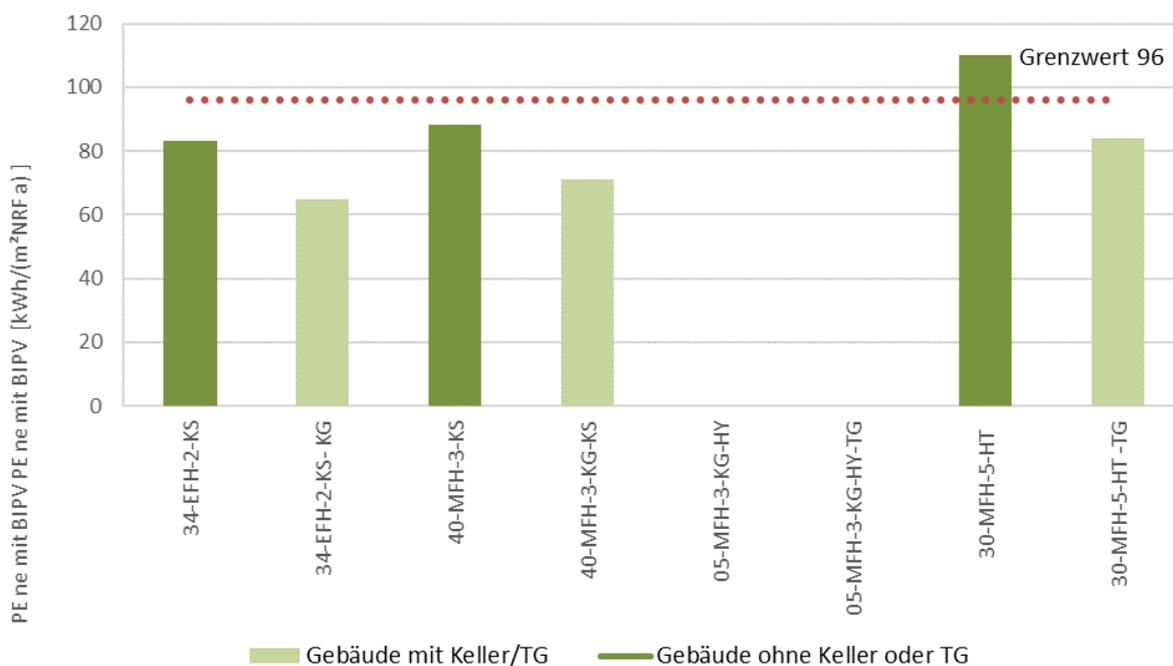


Abbildung 57: Erreichbarkeit QNG mit BIPV-Anlage für den Indikator PE ne

Alle drei Objekte unterschreiten den Grenzwert eindeutig, davon zwei Objekte auch ohne die zusätzlichen Kellerflächen. Das Objekt 30 unterschreitet nur mit der BIPV-Anlage den Grenzwert.

Abbildung 58 stellt wieder die Anforderungen bezüglich der Treibhausgasemissionen gegenüber.

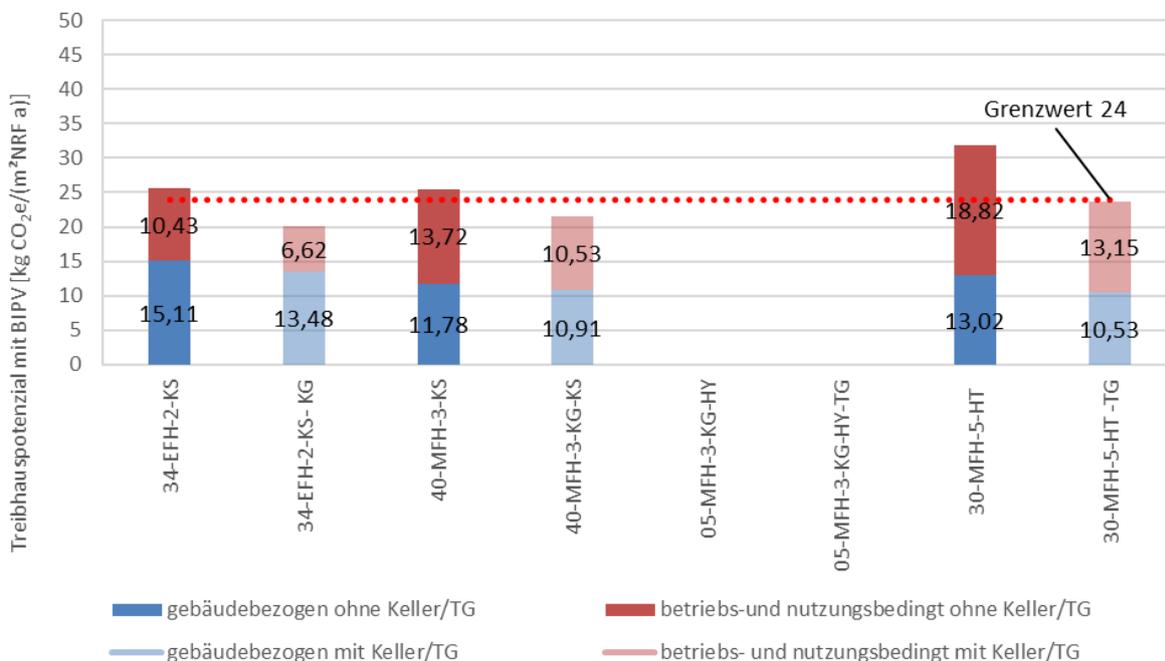


Abbildung 58: Erreichbarkeit QNG mit BIPV-Anlage für den Indikator Treibhauspotenzial

Beim Indikator Treibhauspotenzial unterschreiten alle Objekte mit Keller bzw. Tiefgarage und Einsatz von BIPV den Grenzwert, das Objekt 30 nur sehr knapp. Zum einen ist dies der beschränkten PV-Fläche auf

dem Dach des Gebäudes geschuldet, zum anderen ist dies ein Hinweis darauf, dass eine knapp bemessene Tiefgarage bei einem Gebäude der Gebäudeklasse 5 eine Bemessungsgrenze setzt. Eine Grenzwertberechnung hat gezeigt, dass eine ca. 200 m² größere Tiefgarage durch die eintretenden Effekte bei der Bezugsgröße zu einer wesentlich besseren Unterschreitung des Grenzwerts führen würde.

Oben wurde dargestellt, dass dieses Ergebnis durch die kumulativen Effekte von Fläche und Energiebedarf verursacht wird. Eine Reduzierung der Anrechenbarkeit der gesamten Keller- oder TG-Fläche auf den funktionstechnischen Anteil, z. B. die gesetzlich notwendigen Abstellräume für Mieter, würde die Effekte stark einschränken.

10.2.4 Effekte der Berücksichtigung von Flächen von zugänglichen Dachräumen

Einen ähnlichen Effekt wie bei der Erweiterung des Flächenkennwerts Nettoraumfläche durch Keller oder Tiefgaragen erzielt man mit der Einbeziehung des Sonderraums „Spitzboden“. Diese Fläche entsteht bei nicht ausgebauten und ausgebauten, geneigten Dächern je nach Dachneigung.

Da diese Fläche auch bei der Ermittlung des Bruttorauminhalts (BRI), der Bruttogrundfläche (BGF), Nettoraumfläche (NRF) und Nutzfläche (NUF) nach DIN 277 berücksichtigt wird, ist die korrekte Erfassung von Bedeutung. In der Norm wird der Aspekt der Nutzbarkeit in Abhängigkeit von der Höhe nicht geklärt und aus diesem Grund wurde im Bundesanzeiger 2012 folgender Hinweis gegeben: „Als nutzbar können Dachgeschosse ab einer lichten Höhe von ca. 1,25 m behandelt werden, soweit sie begehbar sind. „Eine Begehbarkeit setzt eine feste Decke und eine Zugänglichkeit voraus“ (BMJ, 2022). Dieser Hinweis bezog sich auf die Kostenangaben im Rahmen der Kostenplanung. Dies sollte ebenfalls für die Kennwertbildung im Rahmen der Ökobilanz eine notwendige Randbedingung bei der Anrechnung zugänglicher Dachräume sein. Eines der untersuchten Gebäude hatte einen Dachraum mit einer maximalen Höhe von 1,10 m und diese Fläche von 75 m² wurde vom Hersteller vollständig der NRF zugerechnet. Der Anteil an der Gesamt-NRF betrug damit 18,3 %. Bei Anrechnung hätte das Objekt ohne PV-Anlage den QNG-Grenzwert für den Indikator PE_{ne} unterschritten und den Indikator Treibhauspotenzial nur knapp nicht erreicht. Mit PV-Anlage hätte es die Anforderungen für beide Indikatoren unterschritten. Ohne die Spitzbodenfläche hätte das Objekt auch mit PV-Anlage beim Indikator Treibhauspotenzial den Grenzwert nicht erreicht.

10.2.5 Lösungsvorschläge

Die Bezugsgröße Nettoraumfläche hat in der Regel die Folge, dass durch die Einbeziehung von Nebenflächen eine größere Bezugsfläche entsteht, die **keinen** Zuwachs an Nutzfläche im Bereich Wohnen mit sich bringt, jedoch die flächenbezogenen Ökobilanzwerte pro m²NRF*a verringert. Durch die Wahl einer anderen Bezugsfläche könnte dieser Entwicklung entgegenwirkt werden. Folgende Möglichkeiten stehen zur Diskussion:

Nutzungsfläche (NUF) nach DIN 277

Als Bezugsfläche kann die Nutzungsfläche nach DIN 277 herangezogen werden. Es werden bei Nutzungsflächen sieben Teilgrößen unterschieden. Sofern erforderlich, kann die Nutzungsfläche nach Vorgabe der DIN 277-1 weiter untergliedert werden in Flächen für:

- NUF 1: Wohnen und Aufenthalt, z. B. Wohnräume, Küchen, Ruheräume, Pausenräume u. a.
- NUF 2: Büroarbeit, z. B. Aufsichtsräume, Schalterräume, Bürogeräte Räume
- NUF 3: Produktion, Hand- und Maschinenarbeit, Forschung und Entwicklung
- NUF 4: Lagern, Verteilen und Verkaufen, z. B. Lagerräume, Silos, Archive, Verkaufsräume u. a.
- NUF 5: Bildung, Unterricht und Kultur, z. B. Hörsäle, Bibliotheksräume, Zuschauerräume in Kinos u. a.

- NUF 6: Heilen und Pflegen, z. B. Behandlungsräume, Operationsräume, Bettenräume u. a.
- NUF 7: Sonstige Nutzungen, z. B. Abstellräume, Sanitärräume, Garagen u. a.

Die Flächen für wohnähnliche Nutzungen wären in der Nutzungsfläche 1 zu erfassen, alle anderen Nutzungen unter Nutzungsfläche 7.

Wohnfläche nach Wohnflächenverordnung

Die Berechnung der Wohnfläche nach Wohnflächenverordnung vom 25. November 2003 (BGBl. I S. 2346, 2003)) hat sich in der Wohnungswirtschaft etabliert. Diese Ermittlung dieser Fläche ist für Sozialwohnungen und den geförderten Wohnbau durch das Wohnraumförderungsgesetz vorgeschrieben. Hier ist zu berücksichtigen, dass im Sinne der nutzbaren Fläche Kamine, Flächen unter Treppen, Balkone, Loggien oder Terrassen anders berücksichtigt werden als in der DIN 277. Bei einer Umstellung der Bezugsfläche auf die Wohnfläche ist eine Anpassung des Anforderungs-/Grenzwerts zwingend vorzunehmen.

Umgang mit zusätzlichen Flächen und ihrem Ressourcenaufwand

In der weiteren Diskussion muss unterschieden werden zwischen Flächen und Bauteilen, die in der Ökobilanzierung erfasst werden und der Wahl der Bezugsfläche. Der Verzicht auf die Berücksichtigung, z. B. der Tiefgarage bei der Ermittlung der Bezugsfläche, geht nicht automatisch einher mit dem Verzicht auf die Tiefgarage in der Ökobilanz. Der bauliche Aufwand für die Tiefgarage würde nämlich durch die Nichterfassung in der Ökobilanz vernachlässigt und damit auch der Ressourcenaufwand für diese Bauteile nicht mehr erfasst. Aus diesem Grund sollte die Tiefgarage in der Ökobilanz in jedem Fall miterfasst werden, ggf. aber nur für die nachweislich benötigten Stellplätze. Weiterhin könnte ein Flächenabschlag für den geringeren Ausbaufwand im Vergleich zur Wohnfläche vorgesehen werden. Mit dieser Regel hat z.B. die DGNB den Einfluss der Kellerflächen in Wohngebäuden auf das Ergebnis der Ökobilanzierung gemindert. Dies führt zu folgender Option beim Umgang mit dem Problem: Die Fläche nach NUF 7 Keller und Tiefgarage kann für die Anrechnung mit einem Faktor reduziert werden z. B. 50 %. Damit wird auch die vollständige Erfassung des Ressourcenaufwands gesichert, da diese Bauteile vollständig erfasst werden müssen. Nicht korrigiert wird damit die Reduktion des energetischen Bedarfs durch die Anrechnung von unbeheizten Flächen, da dieser Wert aus einem anderen Rechensystem (GEG) herrührt.

Das Thema der Auswahl geeigneter Bezugsflächen wird im Teil zu methodischen Fragen nochmals aufgegriffen und tiefergehend diskutiert.

10.3 Generische Werte versus spezifische Werte bei Bauprodukten

Die Verbindung der Rechenregeln und Grenzwerte des QNG mit Rechenwerten zu umweltrelevanten Eigenschaften von Bauprodukten (u. a. THG-Emissionen und PE_{ne}) aus einer vorgegebenen Ökodatenbank (RECHENWERTTABELLE) hat von verschiedenen Seiten Kritik hervorgerufen. Vor allem Hersteller mit produktspezifischen Umweltproduktdeklarationen (EPD) sehen sich benachteiligt. Im Zusammenhang mit einer Nutzung von Ökodatensätzen aus verschiedenen Quellen ist die Klärung der Frage bedeutend, in welchem Grad sich das Ergebnis einer Gebäudeökobilanz durch den Einsatz produktspezifischer EPDs verbessern lässt. Dies wird nachstehend diskutiert.

10.3.1 Datenherkunft und Datenqualität (relevant für Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit)

Die Datenmodule der ÖKOBAUDAT beinhalten Datensätze unterschiedlicher Herkunft. Es wird zwischen vier Kategorien von Datenquellen unterschieden:

- Generic Aus mehreren Quellen abgeleiteter Datensatz mit Malusaufschlag (10 - 20 %)

- **Representativ** Durchschnittsdatensatz ausgewählter Hersteller
- **Average** Durchschnittsdatensatz einer Herstellergruppe
- **Specific** Datensatz eines Herstellers

Für die Erstabschätzung einer Ökobilanz in frühen Phasen der Planung bis hin zur Genehmigungsplanung wird empfohlen, die Berechnung mit den verfügbaren generischen bzw. repräsentativen Datensätzen durchzuführen, da damit einerseits ein konservativer Ansatz verfolgt wird und andererseits zu diesem Zeitpunkt in der Regel noch keine Auswahl konkreter Produkte erfolgt. Auf dieser Datenbasis wurde die Datenbank mit Rechenwerten für das QNG aufgebaut. In dieser Datenbank sind z. T. auch Branchen-EPDs enthalten. Branchen-EPDs eignen sich grundsätzlich für eine Nutzung in frühen Phasen der Planung. Die vorliegenden Berechnungen in der hier vorliegenden Ausarbeitung sind zunächst mit dieser Datenbank erstellt worden.

Im Laufe des Planungs- und Bauprozesses kann in späteren Phasen auf produkt- und hersteller-spezifische Datensätze gewechselt werden. Diese Daten bilden die Grundlage zur Abbildung des tatsächlich realisierten Zustands des Bauwerks in der LP 8/9 nach HOAI und bei einer Nachhaltigkeitsbewertung zum Zeitpunkt der Fertigstellung/Übergabe. Bei Kenntnis tatsächlich verbauter Produkte kann aus der Ökobilanz heraus für den sich im Sommer 2024 in Entwicklung befindlichen Ressourcenpass für Gebäude parallel zum Materialinventar ein Produktinventar erstellt werden.

10.3.2 Austausch von Datensätzen in Softwarelösungen zu ausgewählten Zeitpunkten

Der Austausch von Datensätzen ist für viele Softwareprogramme zurzeit noch schwierig, weil nur die Rechenwertedatenbank angeboten wird. Dies ist auch QNG-regelkonform. Da die Hersteller von Bauprodukten Umweltproduktdeklarationen (EPD) mit hohem personellen und finanziellen Aufwand erstellen, ist das Interesse der Hersteller groß, dass herstellereigene EPDs im Rahmen der Ökobilanz zum Einsatz kommen. In den Zertifizierungssystemen von DGNB, BNB, NaWoh und BNK ist dies auch zulässig. In der im hier bearbeiteten Projekt eingesetzten Software ist ein Austausch von Ökodatensätzen möglich. Verwendet werden sowohl Daten aus der ÖKOBAUDAT als auch von Dritten zur Verfügung gestellte Datensätze. Die folgende Abbildung 59 zeigt den Vorgang beim Austausch von Ökodatensätzen. Es wird entsprechend dieser Vorgehensweise vom Bearbeiter ein anderer Datensatz ausgewählt sowie geladen und dieser Datensatz mit dem bereits verknüpften Datensatz verglichen. Der Ausschnitt aus der Vergleichsdarstellung zweier Ökodatensätze zeigt in der linken Tabelle die Indikatorwerte des im Projekt bisher verwendeten Datensatzes an. Die rechte Tabelle zeigt die Indikatorwerte des neu ausgewählten Materials mit einem spezifischen Datensatz. Die Bestwerte werden grün unterlegt. Wird der alternative Datensatz mit spezifischer Quelle akzeptiert, wird dieser mit der im Projekt festgelegten Menge verknüpft.

Projektspezifische Sachbilanz

Basisdaten
 Ressourceneinsatz
 Umweltwirkung

Sachbilanz aus den Stammdaten verwenden
 Projektspezifische Sachbilanz verwenden:

1.4.01 Transportbeton C30/37
 Bezeichner: 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37
 Hersteller:

Sachbilanz Stammdaten

Einheit	kg
283,064314	0,119943
0,236564	0,000128
0,0000000000	0,0000000000
0,000015	0,000000
0,057469	0,000024
-0,002466	-0,000001
258,600575	0,109577
939,062518	0,397908

Einheit

CO2	0,091250	kg CO ₂ -Äquiv.
SO2	0,000132	kg SO ₂ -Äquiv.
Ozonschicht	0,0000000000	kg CFC11-Äquiv.
Abiotisch	0,000000	kg Sb-Äquiv.
Überdüngung	0,000025	kg P-Äquiv.
Sommersmog	0,000011	kg Ethen-Äquiv.
PEIE	0,085000	MJ
PEINE	0,498333	MJ

Abbildung 59: Vergleichstabelle für Ökodatensätze (Auszug aus LEGEP-Programm)

10.3.3 Probleme beim Austausch von Ökodatensätzen

Die Probleme bei der Auswahl und dem Austausch von Ökodatensätzen sind vielfältig.

Herkunft und Verfügbarkeit des Datensatzes:

- Funktionale Einheit und Vergleichsbasis
- Unterschiede bei Indikatoren

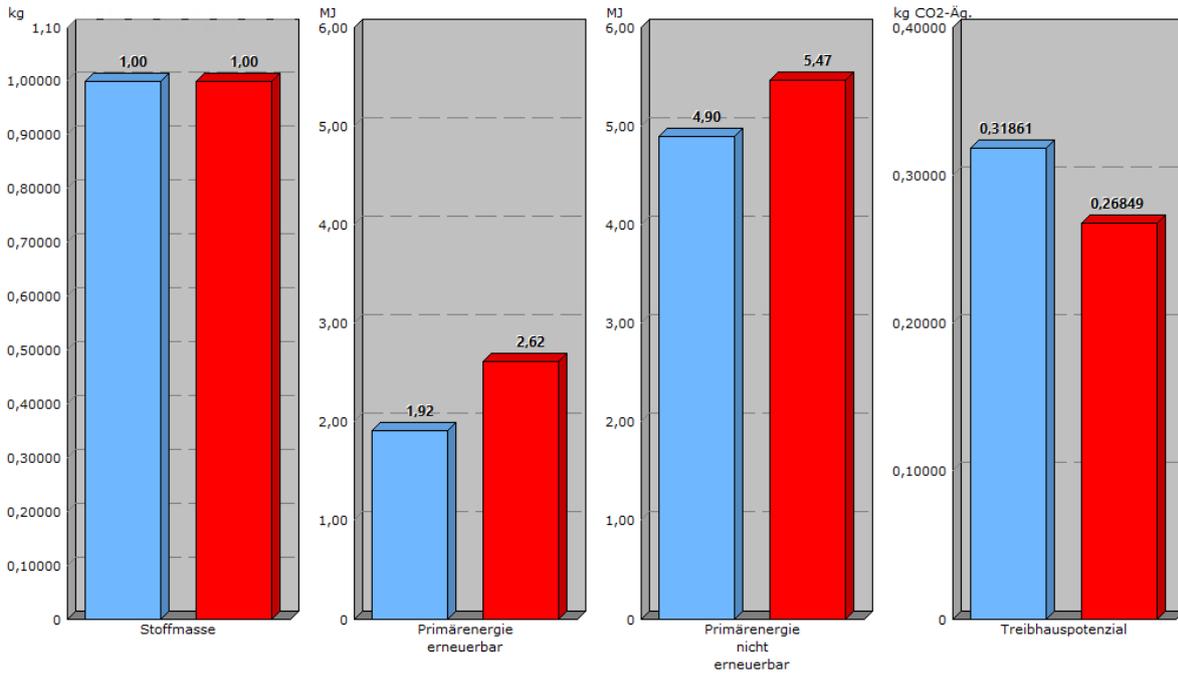
Ist der alternative Datensatz in der ÖKOBAUDAT abgelegt und seine Herkunft aus der Datenbank des Instituts Bauen und Umwelt (IBU) gesichert, dann könnte nach definiver Entscheidung für ein konkretes Produkt dieser Datensatz problemlos verwendet werden, da er verifiziert ist und seine Konformität mit den deutschen Regeln zur Erstellung von Umweltproduktdeklarationen gesichert ist. Ein Einlesen ist über eine vereinbarte XML-Schnittstelle möglich. Voraussetzung ist die Implementierung der Schnittstelle in die Software. Viele der im Markt angebotenen Softwareprogramme können nur die Rechenwertetabelle im Excelformat einlesen. Die Angebote von Umweltproduktdeklarationen seitens der Hersteller sind im europäischen Kontext sehr viel umfangreicher. Da aber eine einheitliche Verifizierung der Daten und die Anerkennung bei den verschiedenen Zertifizierungssystemen noch nicht durchgehend geregelt wurde, ist die Unsicherheit bei der Auswahl eines fremden Datensatzes groß. Wenn zusätzlich die Daten nicht in einem einheitlichen xml-Standard angeboten werden, ist auch die Datenübernahme zeitaufwendig und fehleranfällig. Durch Einführung und Umsetzung von Regelungen der DIN EN 15941 kann und wird sich diese Situation verbessern.

Große Aufmerksamkeit bei der Datenübernahme ist auch bezüglich der funktionalen Einheit bzw. der Leistungsbezugseinheit des jeweiligen Datensatzes notwendig. Da diese Einheit für bestimmte Materialgruppen oder Bauteile nicht genormt ist und vom Ersteller der EPD frei gewählt werden kann, muss beim Austausch des Datensatzes evtl. die bilanzierte Menge auf Basis der funktionalen Einheit korrigiert werden.

Diesen Aspekt zeigt der folgende Vergleich für den Unterschied bei einem Trockenbaumaterial, das als generischer (generic) und spezifischer (specific) Datensatz zur Verfügung steht. Die Abbildungen erfolgen als Bildschirmexport aus der eingesetzten Software. Für den generischen Datensatz beträgt die Masse 10 kg/m^2 , gegenüber $15,5 \text{ kg/m}^2$ bei spezifischen Datensatz. Die funktionale Einheit ist bei den Datensätzen 1 m^2 mit der Dicke 10 mm . Ein Vergleich kann über die Einheit kg oder die Einheit m^2 durchgeführt werden. Verdeutlicht wird dies durch zwei Bildausschnitte aus dem LCA-Kalkulationsprogramm LEGEP in Abbildung 60 und Abbildung 61.

Vergleich ökologische Daten

Neubau

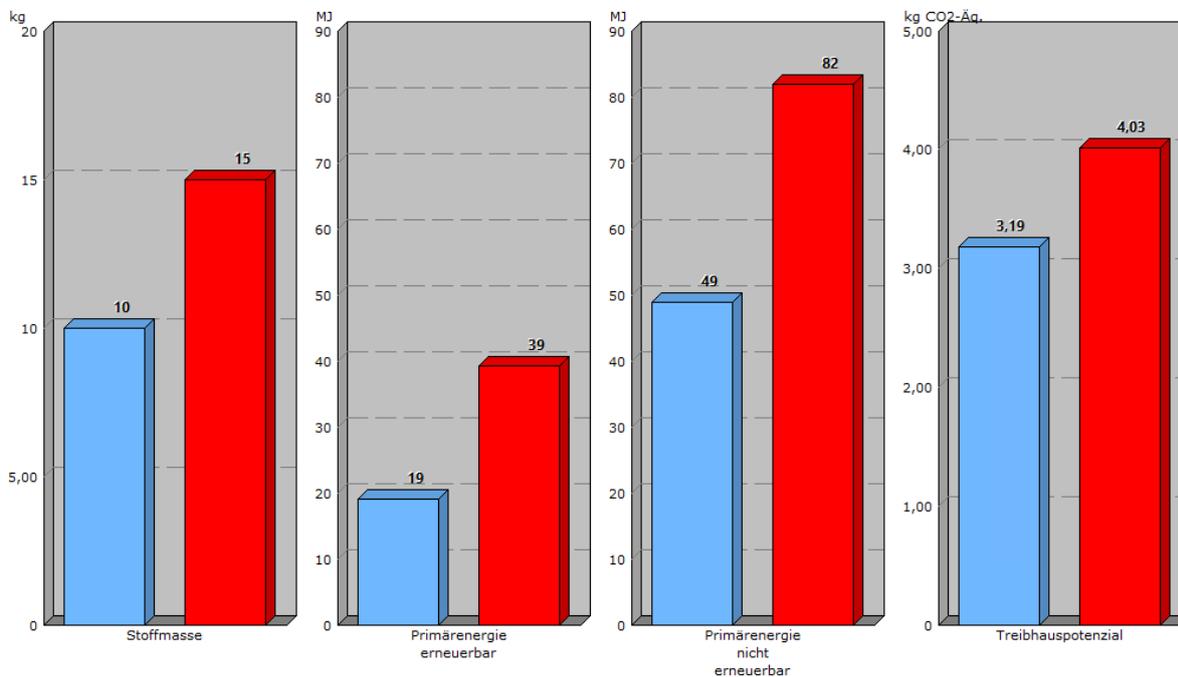


■ 1.3.13 Gipsfaserplatte (Dicke 0,01 m) (Rechenwerte 2023)
 ■ 1.3.13 Gipsfaserplatte nach DIN EN 15283-2 oder ETA/Tool (Bund 2023-II-A2)

Abbildung 60: Vergleich zweier Ökodatensätze für eine Gipsfaserplatte mit einer Masse von 1 kg (Auszug aus LEGEP-Programm)

Vergleich ökologische Daten

Neubau



■ 1.3.13 Gipsfaserplatte (Dicke 0,01 m) (Rechenwerte 2023)
 ■ 1.3.13 Gipsfaserplatte nach DIN EN 15283-2 oder ETA/Tool (Bund 2023-II-A2)

Abbildung 61: Vergleich zweier Ökodatensätze für eine Gipsfaserplatte mit einer Masse von 1 m² (Auszug aus LEGEP-Programm)

Die Ergebnisse bevorteilen jeweils ein anderes Material, da die Masse der beiden Produkte unterschiedlich ausfällt. Die Eigenschaften der Platten bezüglich Schallschutzes, Brandschutz usw. müssten zusätzlich in Erfahrung gebracht werden, da diese den Unterschied möglicherweise begründen.

Die folgende Abbildung 62 zeigt einen Vergleich von Ökodatensätzen zu einem bestimmten Material, das mit nahezu der gleichen Rohdichte und Einheit (m³) angegeben wird. Die Datensätze können für das Modul A1-A3 (Herstellung) oder auch erweitert auf das Modul C3 - C4 (Entsorgungsmodul – braune Farbe) verglichen werden.

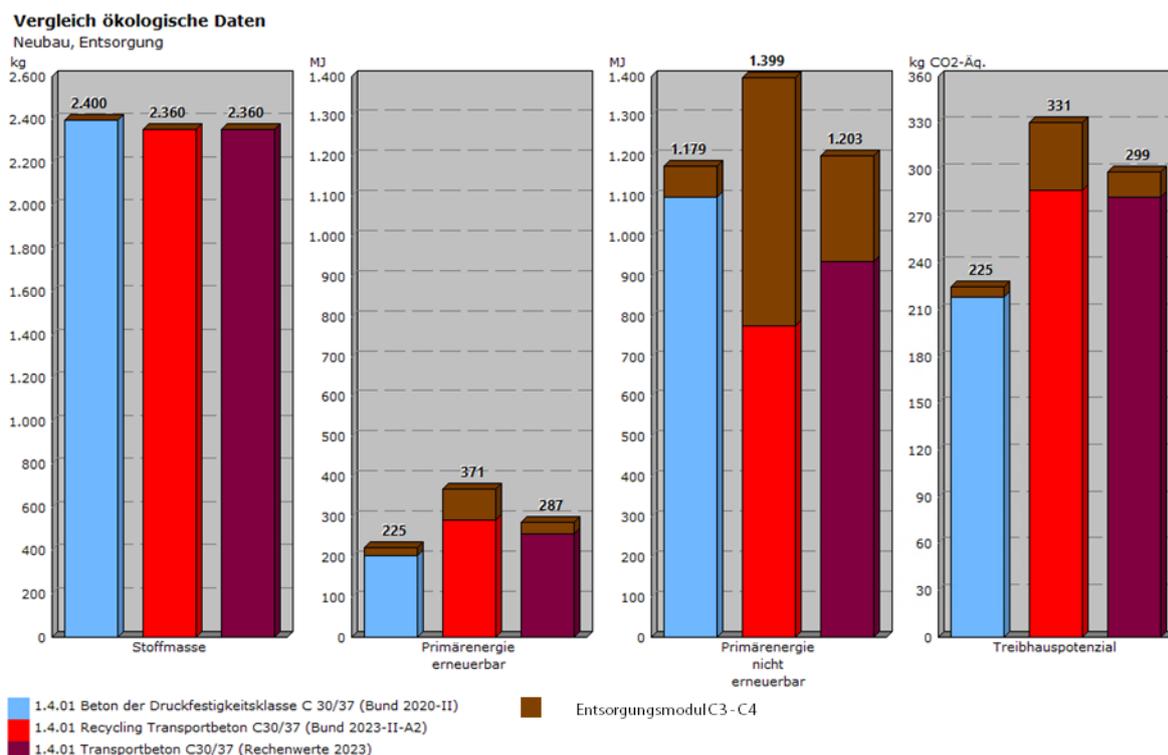


Abbildung 62: Vergleich der Ökodatensätze dreier Materialien der Module A-C (Auszug aus LEGEP-Programm)

Der blau-markierte Datensatz wird als „average“-Datensatz von der Herstellerindustrie zur Verfügung gestellt und wird wegen des günstigeren Abschneidens bei Primärenergie, nicht erneuerbar und des Treibhauspotenzials eingesetzt. Die Unterschiede der Datensätze beim Indikator Treibhauspotenzial liegen im Bereich von 10 % - 25 %.

Durch die Fokussierung der Ökobilanz auf den Indikator Treibhauspotenzial konzentrieren sich die Hersteller bei einer Verbesserung der Materialökobilanz vorzugsweise auf diesen Indikator. Die nachfolgende Abbildung 63 zeigt einen Produktvergleich, bei dem das Produkt mit dem günstigeren Treibhauspotenzial (rechte Tabelle) bei den anderen Indikatoren ungünstiger abschneidet (linke Tabellenseite, grüne Felder).

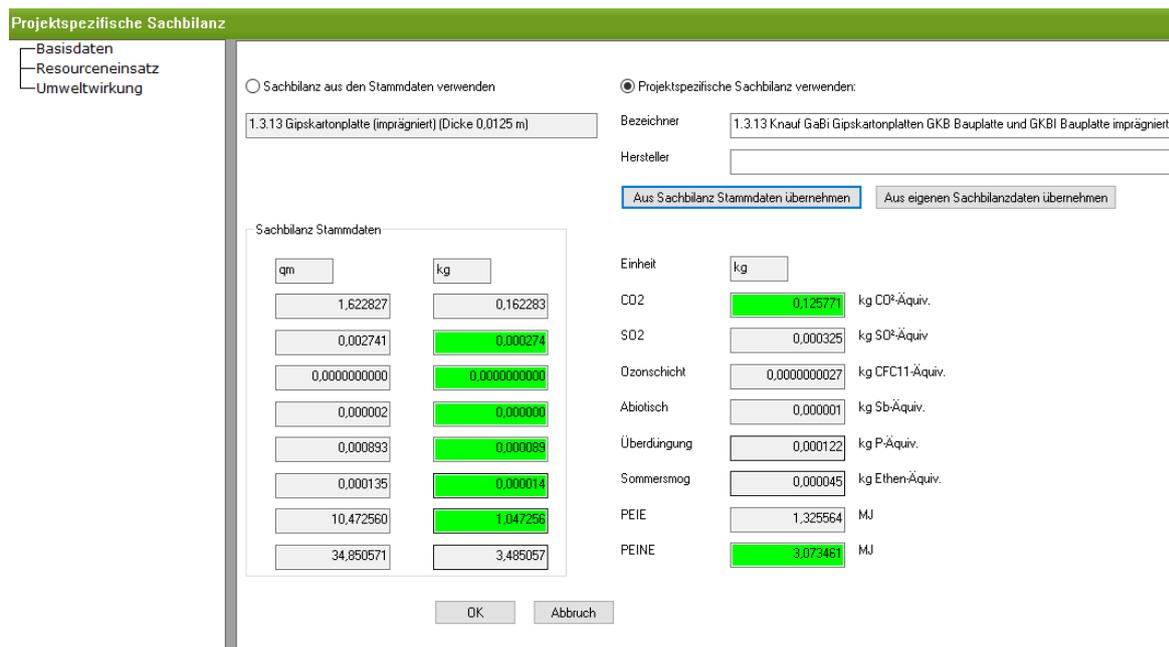


Abbildung 63: Unterschiede im Vergleich verschiedener Indikatoren (Auszug aus LEGEP-Programm)

Die beschriebenen Fälle machen deutlich, dass beim Austausch von Ökodatensätzen unterschiedlichste Aspekte zu berücksichtigen sind, wenn eine fehlerhafte oder ungünstige Zuordnung von alternativen Datensätzen vermieden werden soll.

10.3.4 Austausch mit spezifischen Datensätzen

Für den Austausch von Ökobilanzdatensätzen in einem Gebäude ist die Identifizierung der wesentlichen Verursacher für eine Wirkung, z. B. das Treibhauspotenzial, entscheidend. Dafür ist es hilfreich, wenn die Software es ermöglicht, ein Ranking der Materialien in Bezug auf den Beitrag zum gesamten Treibhauspotenzial zu erzeugen und anzuzeigen. Die folgende Abbildung 64 zeigt die Ergebnisse einer solchen Rankingabfrage bei dem ausgewählten Gebäude 36-EFH-1-Z. Die ersten Positionen der Rankingliste werden von Materialien wie Ziegelstein, Beton, Stahlbewehrung, weiteren mineralischen Materialien, aber auch der PV-Anlage besetzt.

Anzeige / Sortierung		Text	Einheit	Treibhauspote kg CO ₂ -Äq.
<input type="radio"/> Materialgruppen		1.2.2.06.1400 Hochlochziegel Hlz 12/1,4		8.214
<input type="radio"/> Massenanteil		1.2.2.08.W.652 Leichtlochlochziegel W 650/0,09		6.472
<input checked="" type="radio"/> Treibhauspotential GWP		1.4.1.2.35 C 30/37 (B35) unbewehrt		5.977
<input type="radio"/> Primärenergie nicht erneuerbar PE nre		3.1.3.3.1 Betonstahl		4.997
Lebenszyklus-Phasen		5.9.1.2.1.1 Dachdeckung mit Ziegelpfannen		3.267
<input checked="" type="checkbox"/> Herstellung Modul A1-A3		10.6.6 Photovoltaikanlage 1200 kWh/m ² a (ohne...		3.302
<input type="checkbox"/> Ersatzmassnahme Modul B4		1.4.1.1.10 C 8/10 (B10) unbewehrt		3.055
<input type="checkbox"/> Betrieb Modul B6		6.1.3.3.1 Zementestrich		1.594
		8.1.4.2 Kalkgipsputz		1.184
		8.1.5.1 Zementputz		1.174
		7.3.1.3.2.1.2 Polystyrol-Hartschaumplatten extru...		2.341
		1.3.2.7.1 Dünnbettmörtel -statisch		956
		3.1.3.3.3 Betonstahlmatten		886
		12.1.1.1.1 Floatglas (d=4mm - 10 mm)		787
		3.1.4.2 Titanzink Blech		769

Abbildung 64: Gebäudebezogenes Materialranking für den Indikator Treibhauspotenzial in kg CO₂e (Auszug aus LEGEP-Programm)

Ein Austausch von Datensätzen setzt voraus, dass ein alternativer, vorzugsweise produktspezifischer Datensatz überhaupt zur Verfügung steht. Im Rahmen der ÖKOBAUDAT werden für die Materialien „Leichthochlochziegel“, „Betonstabstahl“ und „PV-Anlage“ keine Alternativen angeboten. Für die verbliebenen Datensätze sind Alternativen vorhanden. Es muss geprüft werden, ob die Verwendung produkt- und herstellerspezifischer Datensätze eine Verbesserung der Ergebnisse der Gesamtbilanz ermöglichen würde. Dies ist zu erwarten, da z. T. der Sicherheitszuschlag für generische Daten entfällt. Die Methode wurde im Abschnitt 10.3.2 erläutert.

Mit diesem Vorgehen für die einzelnen Materialien wurden die verknüpften Ökodatensätze angepasst. In der folgenden Abbildung wurden in dem mit Bauteilen beschriebenen Gebäude beispielsweise 7 verschiedene Ökodatensätze ausgetauscht (blaue Markierung), die in 25 Bauteilen einfließen (Abbildung 65). Auswirkungen des Austauschs der nachstehend genannten Datensätze werden im folgenden Abschnitt erläutert.

Name	Nr	Menge	ME	Masse kg	Sachbilanz (Rechenwerte 2023)
Gebäude				203.332,1	
Baukonstruktion				203.032,2	
Gründung				98.073,7	
320.1 GRK Fdm.-Pl. C30/...		99,760 m ²		94.304,2	
1025305070 Zemente...					
Zementestrich	6.1.3.3.1			8.026,9	1.4.03 Estrichmörtel-Zementestrich
1013140265 Fundame...					
C 30/37 (B35) unbewehrt	1.4.1.2.35			47.186,5	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37
1013110020 Sauber...					
C 8/10 (B10) unbewehrt	1.4.1.1.10			29.491,6	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25
351.2 DE-Überzug C20/2...		20,000 m		3.769,5	
1013220010 Unterzüg...					
C 20/25 (B25) unbewehrt	1.4.1.1.25			3.547,5	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30
Aussenwand				48.339,0	
Innenwand				36.655,2	
340.1 IWK HLz, 17,5 cm, ...		117,230 m ²		36.414,8	
1012425230 HLz 20-...					
Hochlochziegel HLz 12/1,4	1.2.2.06...			26.469,6	1.3.02 Vormauerziegel, Pflasterziegel und Riemchen
1012313090 FT-Sturz...					
Vollziegel Mz 1200	1.2.2.04...			90,6	1.3.02 Vormauerziegel, Pflasterziegel und Riemchen
Dach				19.964,2	
360.8 DAK Holz, Pfetten, ...		52,490 m ²		5.610,8	
1020515200 Flachdac...					
Dachdeckung mit Ziegel...	5.9.1.2.1.1			2.905,8	1.3.10 Dachziegel (inklusive Zubehör)

Abbildung 65 Ausgetauschte Ökodatensätze in einer Gebäudebeschreibung (Auszug aus LEGEP-Programm)

10.3.5 Gebäudeauswahl

Für die Bearbeitung ausgewählt wurden Gebäude, die trotz einer BIPV-Anlage den Grenzwert des QNG knapp nicht erreichen. Die folgenden fünf Gebäude wurden ausgewählt und bezüglich der generischen Ökodatensätze mit average- oder specific-Ökodatensätzen modifiziert:

- 36-EFH-1-Z
- 17-MFH-1-KG-DG-HT
- 40-MFH-3-KS
- 19-MFH-6-KG-HT
- 30-MFH-5-HT TG.

Die folgende Abbildung 66 zeigt die Größen der ausgewählten Gebäude in Bezug auf m² Netto-
raumfläche.

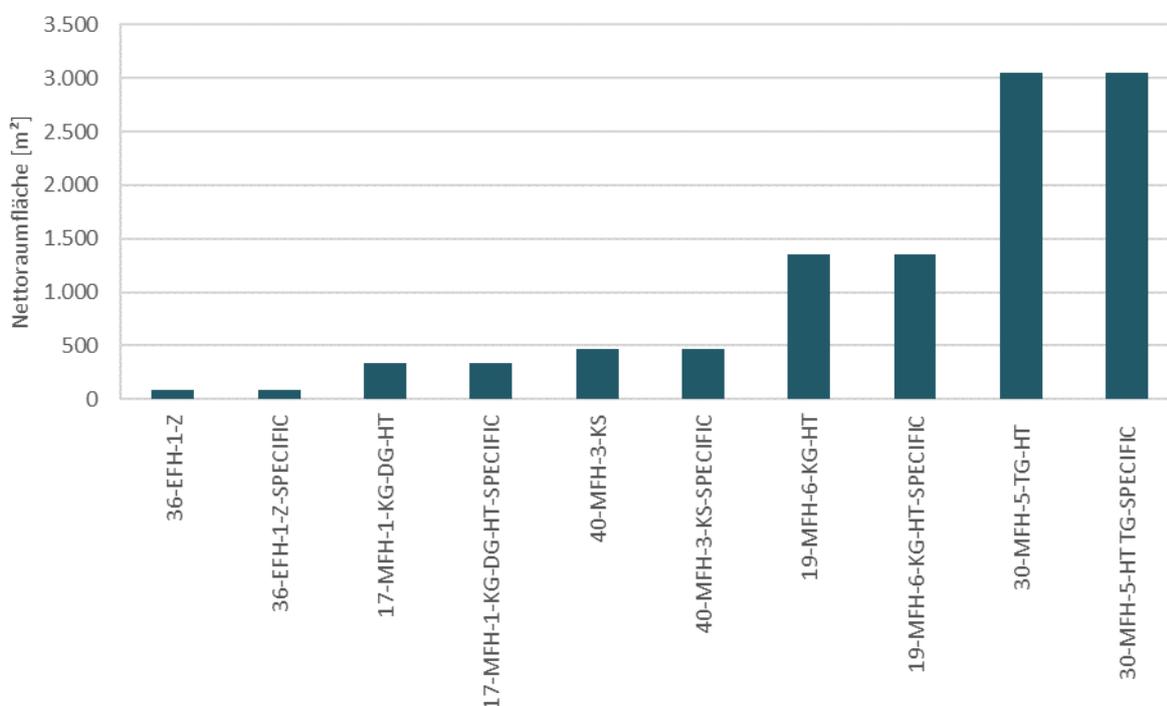


Abbildung 66: Größe der ausgewählten Gebäude nach m² NRF

Die folgende Abbildung 67 zeigt den Unterschied der Ökobilanzergebnisse als Gesamtwert des gebäudebezogenen und betriebsbedingten Treibhauspotenzials bezogen auf einen Quadratmeter Netto-
raumfläche (NRF) und Jahr. Die rote Linie kennzeichnet den Grenzwert für das QNG-Plus-Niveau. Es wird deutlich, dass für die ausgewählten Gebäude die Möglichkeiten der Verbesserung der Ökobilanzergebnisse durch die Auswahl spezifischer Ökodatensätze aus der ÖKOBAUDAT begrenzt sind, z. T. aber den Ausschlag geben können. Hierzu sind jeweils zwei benachbarte Ergebnisse mit identischer Gebäudekennzeichnung zu vergleichen.

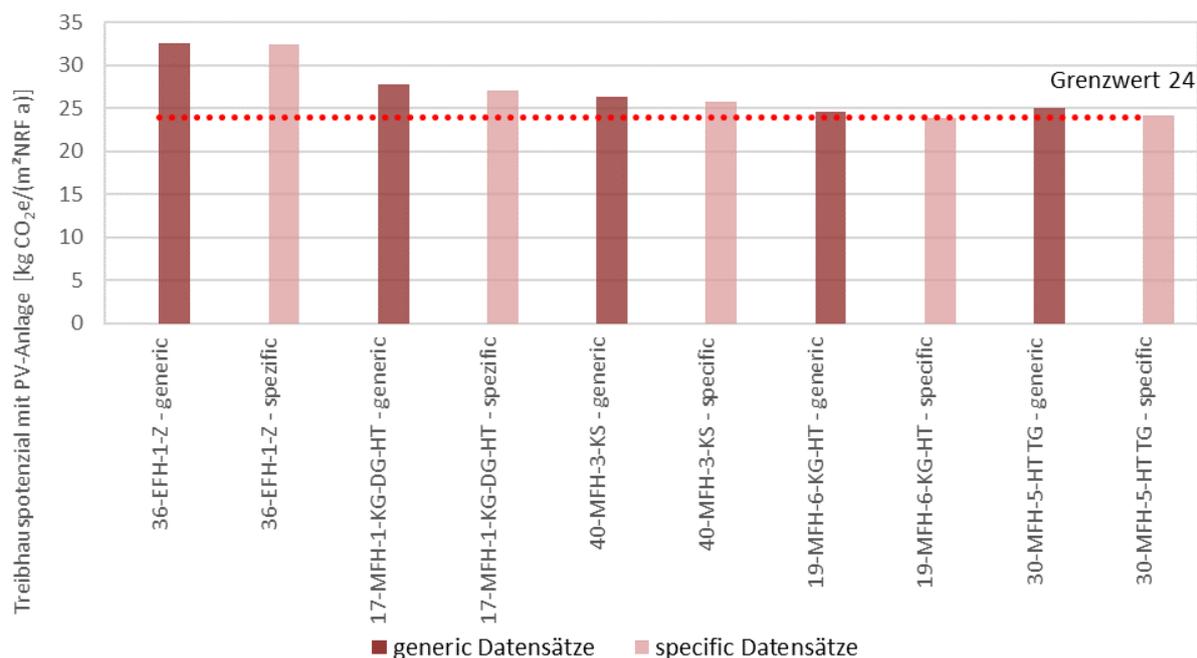


Abbildung 67: QNG Erreichbarkeit Treibhauspotenzial mit BIPV

Die Verbesserungen liegen mit Ausnahme des Gebäudes 36 im Bereich von 2,3 – 3,3 % gegenüber dem Ausgangsniveau. Nur einem Gebäude (Nr. 19) gelingt es, mit dieser Verbesserung, den Grenzwert zu unterschreiten. Die Ursache hierfür ist auf zwei Faktoren zurückzuführen:

- Verhältnis Gebäude zu Betrieb
- das eingeschränkte Angebot von alternativen, in der Regel produktspezifischen Ökodatensätzen

Die folgende Abbildung 68 zeigt das Verhältnis der gebäudebezogenen Emissionen zu den betriebsbedingten Emissionen. Dieses liegt bei den ausgewählten Gebäuden bei ca. 50:50. Die Wirkung der ausgetauschten Ökodatensätze bezieht sich nur auf den gebäudebezogenen Anteil der Gesamtemissionen.

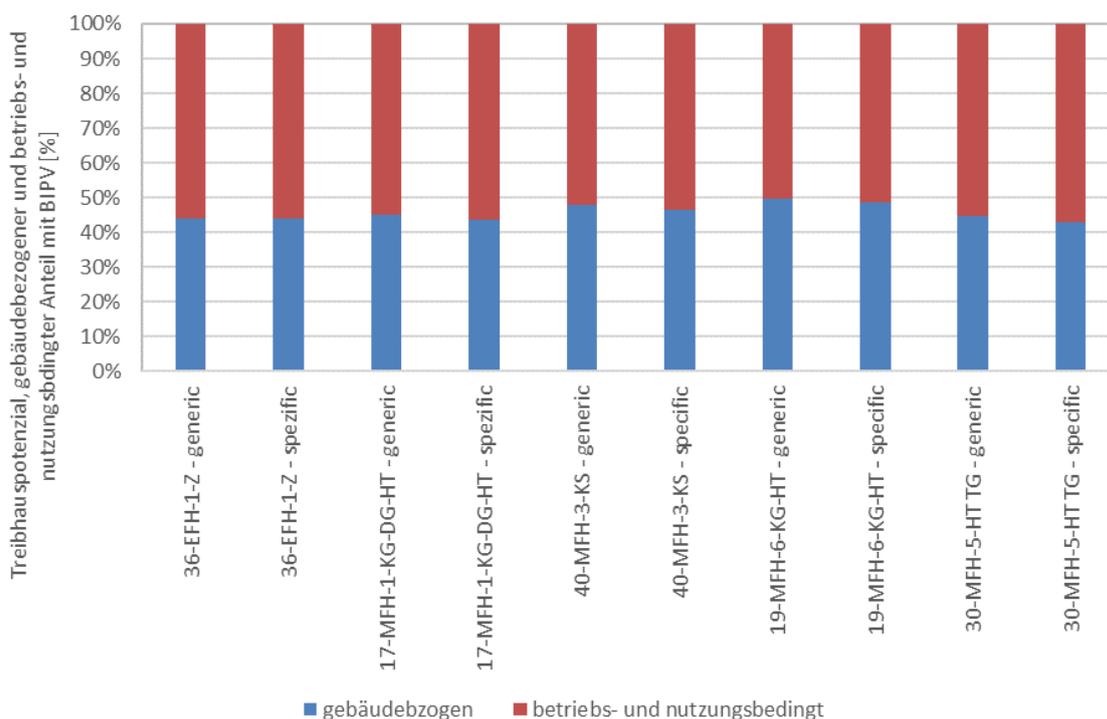


Abbildung 68: Prozentuales Verhältnis des gebäudebezogenen zum betriebsbedingten Anteil, Indikator Treibhauspotenzial, Gebäude mit BIPV

Die folgende Abbildung 69 zeigt den Unterschied der Ökobilanzen des gebäudebezogenen Treibhauspotenzials bezogen auf einen m² NRF zwischen dem Ursprungsgebäude und dem durch Nutzung alternativer Datensätze modifizierten Gebäude.

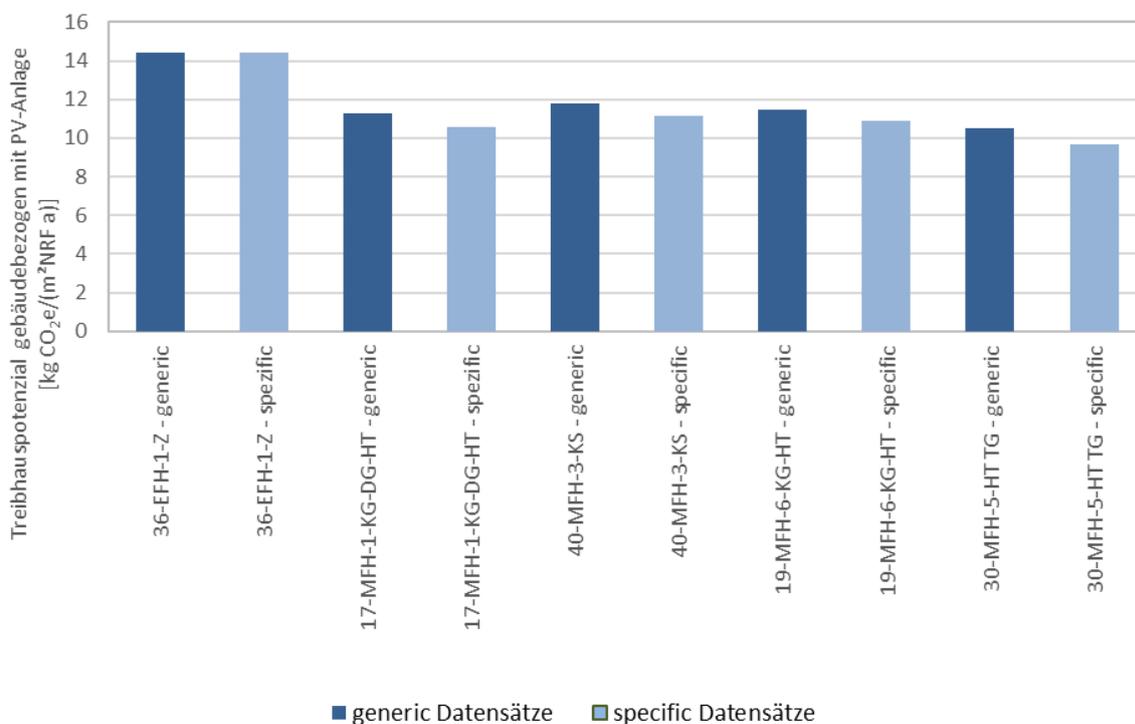


Abbildung 69: Unterschiede zwischen der Nutzung generischer und spezifischer Daten beim gebäudebezogenen Teil

Die Unterschiede in den Einzelwerten der Berechnungsergebnisse zum gebäudebezogenen Anteil der Treibhausgasemissionen liegen meist im Bereich von 10 – 20 %. Dies ist nachvollziehbar und erscheint plausibel, wenn man den Stand der Technik bei den Produktionsmethoden als ähnlich ansieht. Es gibt Ausnahmen bei Datensätzen, z. B. XPS-Dämmplatten oder Gipsfaserplatten, die, bezogen auf das gleiche funktionale Äquivalent und den Indikator „Treibhauspotenzial“, Unterschiede von 100 % bis 300 % erreichen. Hier ist zu hinterfragen, auf welche Weise derart große Unterschiede entstehen.

Tabelle 7: Übersicht Unterschiede zwischen generischen und spezifischen Daten bei den THG-Emissionen

Unterschiede zwischen generische und spezifische Daten der THG-Emissionen	Durchschnitt	Max
Datensatz (Rechenwerte - EPD)	10 - 20 %	300,0 %
Gebäudebezogener Anteil	4,8 %	8,0 %
Betriebsbezogener Anteil	0,0 %	0,0 %
Gebäude gesamt	2,3 %	3,4 %

Die Verbesserungen durch den Austausch von generischen gegen spezifische Datensätze erreichen ein geringes Niveau, wenn nicht bei den wesentlichen Verursachern die spezifischen Datensätze Verbesserungspotenziale von 25 bis 50 % aufweisen.

Ein wesentlicher Einflussfaktor ist der Austauschzyklus eines Bauteils z. B. einer Batterieanlage mit einem Zyklus von 15 Jahren. Hier ist im Moment das Angebot an spezifischen Datensätzen noch sehr eingeschränkt.

Für einige Materialien und technische Anlagen mit erheblichem Verbesserungspotenzial bei den Gebäuden gibt es – wie oben bereits beschrieben – keine „specific“ Austauschdatensätze z.B. Stahlteile, Bewehrungsstahl, Leichthochlochziegel oder technische Anlagen in der ÖKOBAUDAT. Hier ist zu klären, ob und welche Angaben direkt von Herstellern übernommen werden können und wer deren Qualitätssicherung übernimmt. Inzwischen bieten Hersteller sogar projektspezifische Datensätze an, die für ein konkretes Bauvorhaben zutreffen. Eine Verbesserung des Angebots und der Austausch derjenigen Datensätze, die in der Rankingliste der Gebäude eine wichtige Position einnehmen, können eine Unterschreitung des QNG-Grenzwerts ermöglichen, soweit die Regeln einen derartigen Austausch zulassen. Derzeit ist dies nicht gegeben.

Die Bilanzierung der Gebäude mit spezifischen Datensätzen aus der ÖKOBAUDAT zeigt aber auch das derzeit begrenzte Potenzial dieser Verbesserungen. Dies wird sich ändern, wenn spezifische Datensätze für low-carbon Produkte bzw. für Recyclingprodukte angeboten und verwendet werden. Eine Voraussetzung ist dann, dass derartige Produkte ausgeschrieben und nachweislich eingebaut werden.

10.4 Treibhausgasemissionen durch F-Gase

Mit der Einführung des QNG wurden auch zum ersten Mal die THG-Emissionen ermittelt und bewertet, die infolge des Einsatzes von Kältemitteln in Kompressionskälteanlagen und Wärmepumpen freigesetzt werden. Das Umweltbundesamt hat auf diese Probleme bereits 2014 hingewiesen und damit auf eine EU-Verordnung über fluorierte Treibhausgase (F-Gase) reagiert.

Eine Broschüre des UBA (Richter, et al., 2014) listet die eingesetzten Kältemittel mit ihren wichtigsten Eigenschaften auf und benennt die Emissionsfaktoren der verschiedenen F-Gase bezüglich ihres Treibhauspotenzials. Siehe Abbildung 720.

GWP-Werte und Sicherheitsgruppen häufig eingesetzter Kältemittel

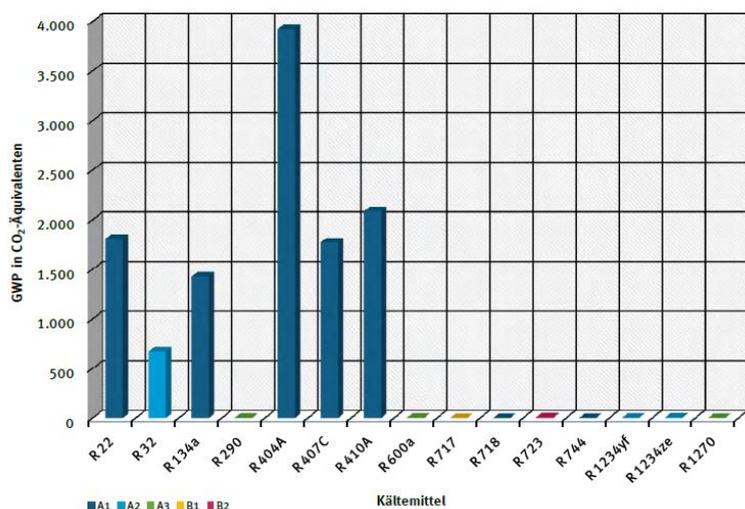


Abbildung 70: Verschiedene Kältemittel und das jeweilige Treibhauspotenzial in kg CO₂e. (Richter, et al., 2014) S.15 I

Die Kältemittel ohne Angabe zum GWP sind natürliche Kältemittel. Die Farben kennzeichnen Sicherheitsgruppen nach Toxizität (A, B) und Brennbarkeit (1-3). Während in Kälteanlagen zunehmend natürliche Kältemittel verwendet werden (z. B. R717) sind bisher in Wärmepumpen vornehmlich die Kältemittel R410A und R 404A im Einsatz, die ein hohes GWP aufweisen.

Diese Daten werden zur Berechnung der THG-Emission von freigesetzten F-Gasen gemäß ANLAGE 3, Anhang 3.3 zu den Regeln des QNG genutzt. Von 32 erfassten Gebäuden wird in 26 eine Wärmepumpe zur Beheizung eingesetzt –siehe auch Abbildung 71.

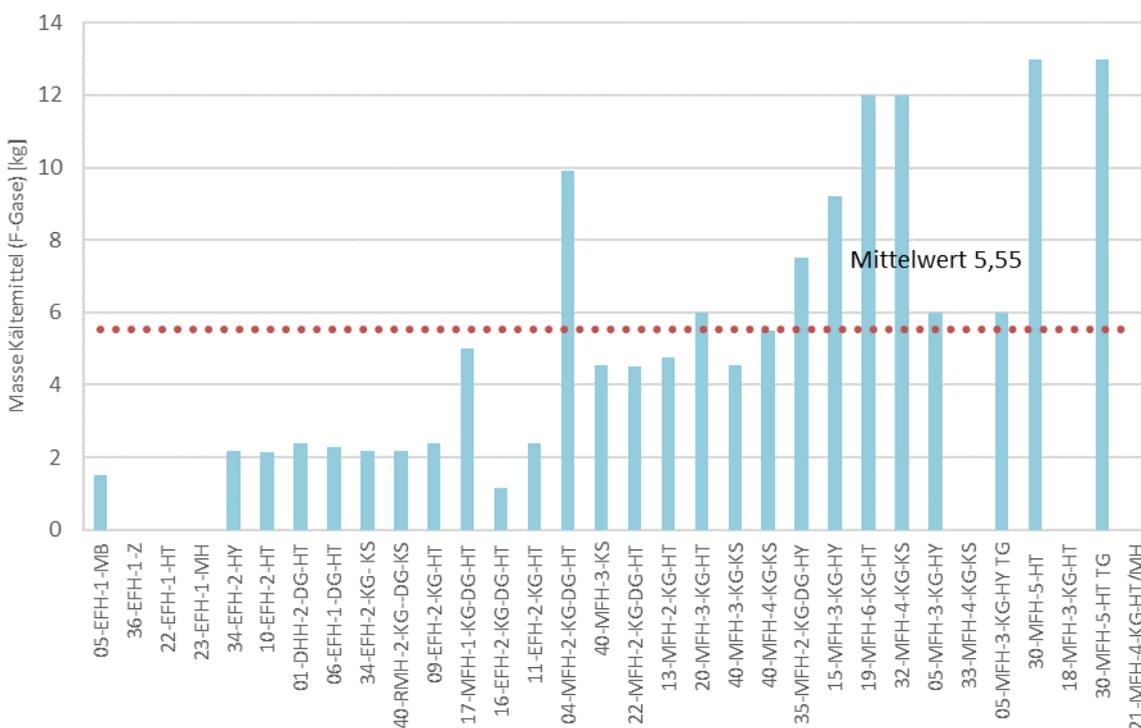


Abbildung 71: Absolute Menge der Kältemittel in den Wärmepumpen von untersuchten Gebäuden

Bis auf das Gebäude 11 und 20 werden alle Wärmepumpen mit dem Kältemittel R 410a betrieben. Je größer das Gebäude, desto höher die Menge des Kältemittels und damit des Potenzials freigesetzter F-Gase. Im Mittel ergibt sich eine Menge von 5,55 kg je Anlage. Entscheidend für die Ökobilanz ist die Berechnung des Treibhauspotenzials in Abhängigkeit von der Art des eingesetzten Kältemittels, dessen Menge je Anlage und dem Bezug auf den m^2 NRF a. Mit Abbildung 72 werden die Ergebnisse vorgestellt.

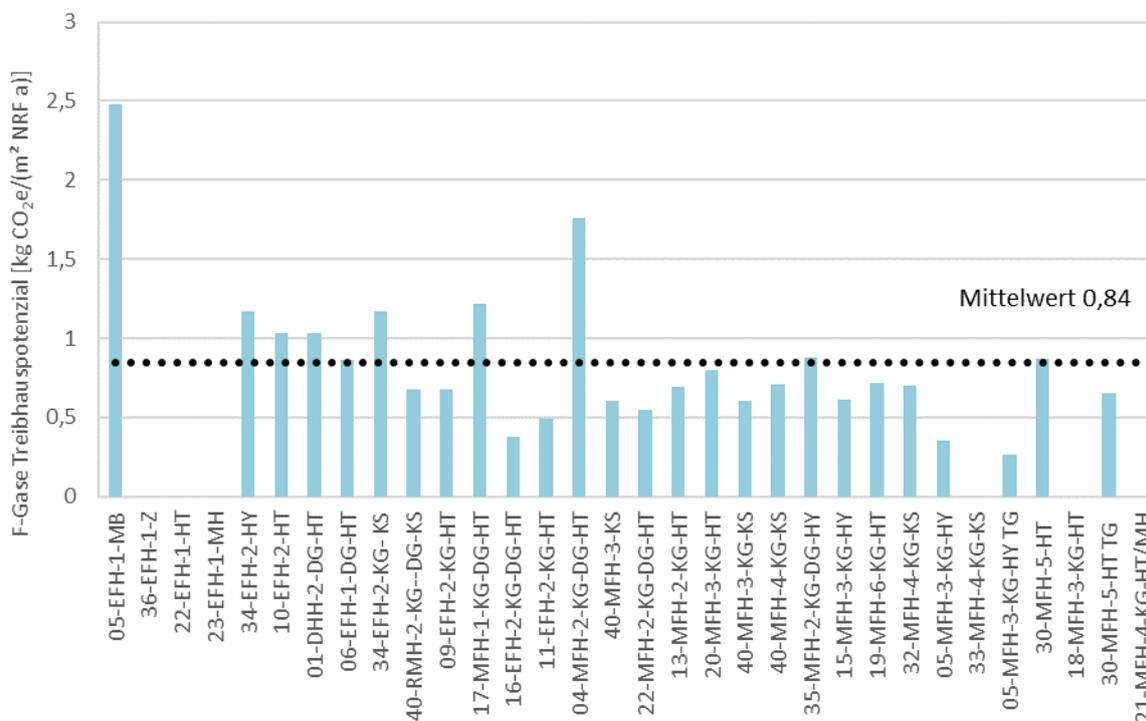


Abbildung 72: Treibhauspotenzial der Kältemittel in den Wärmepumpen von untersuchten Gebäuden

Im Mittel beträgt die Erhöhung des Treibhauspotenzials durch die Berücksichtigung des Einsatzes von Kältemitteln ca. 0,84 kg CO₂e/(m²NRF a). Im Verhältnis zu dem GWP-Grenzwert des QNG sind dies ca. 3,3 %. Den höchsten Wert erreicht das kleinste Haus. Größere Gebäude zeigen Werte unter dem Mittelwert, da die Menge der eingesetzten Kältemittel nicht linear zur Gebäudegröße steigt. Auch dieser geringe Anteil kann über die Einhaltung des Grenzwertes entscheiden. Aus dem Mittelwert lässt sich keine Pauschalangabe ableiten, da die jeweiligen Kältemittel große Unterschiede bezüglich der Klimawirkung entfalten.

10.5 Einfluss von Bauweisen

Um die Bedeutung der Bauweise für die Erreichbarkeit der Anforderungswerte des QNG zu bestimmen, werden 8 Gebäude in der Bauweise variiert. Es werden Gebäude ausgewählt, welche die volle Bandbreite der untersuchten Gebäude nach Flächengröße und Geschossanzahl abbilden. Bei sieben Gebäuden wird eine zusätzliche Variante gebildet, bei einem Gebäude drei Varianten, bei einem Gebäude vier Varianten (35) und bei einem weiteren Gebäude 5 Varianten (34). Insgesamt ergeben sich 22 Varianten – siehe auch Abbildung 73.

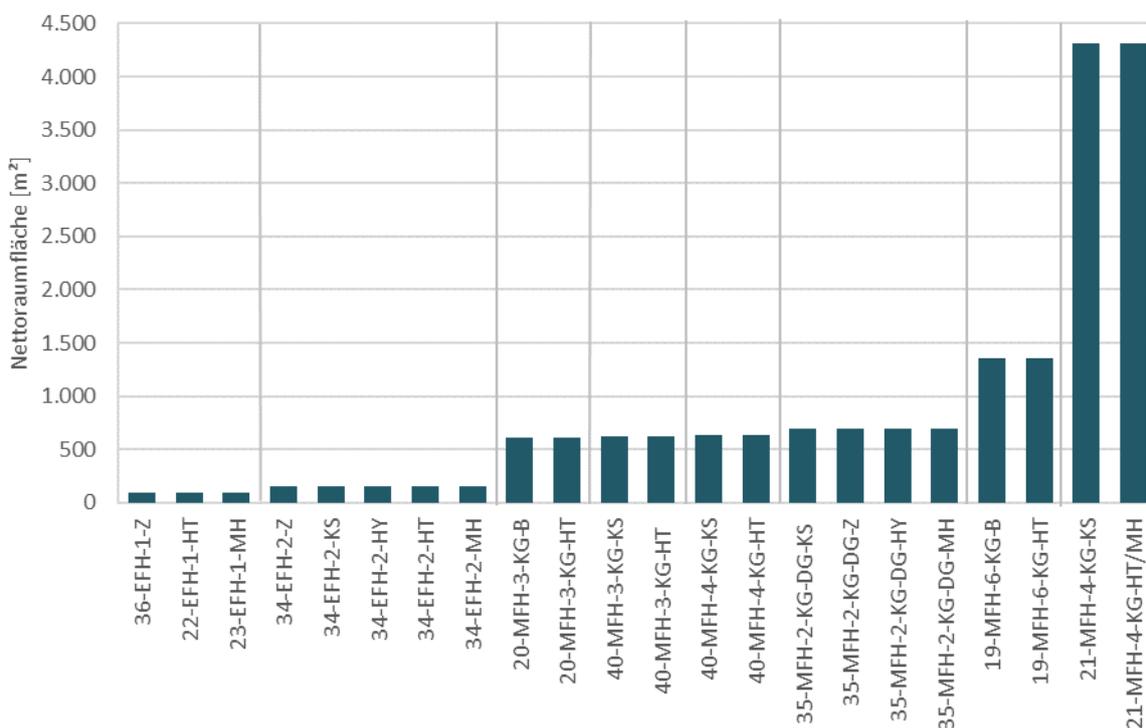


Abbildung 73: Netto Raumfläche der Gebäude mit verschiedenen Bauweisen

Es werden die für das ursprüngliche Gebäude ermittelten Energiebedarfswerte auch für die Modifikationen eingehalten. Kleinere Abweichungen sind bei real gebauten Objekten möglich. Die folgende Abbildung 74 zeigt die 8 Gebäude mit ihren Varianten und dem betriebs- und nutzungsbezogenen Treibhauspotenzial.

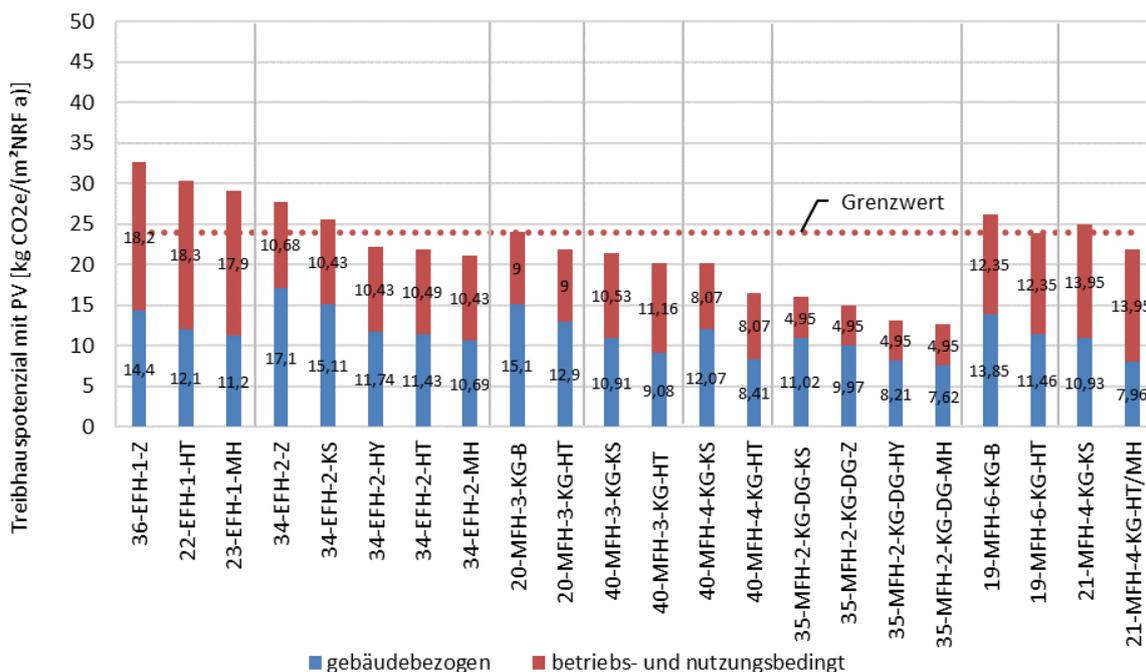


Abbildung 74: Treibhauspotenzial gebäude- und betriebs-/ nutzungsbedingter Anteil mit BIPV

Es sei hier nochmals betont, dass das QNG bisher keine Nebenanforderungen für den gebäudebezogenen und/oder den betriebs- und nutzungsbedingten Anteil der Ökobilanz festlegt. Nachfolgend wird die Auswertung für den gebäudebezogenen Anteil ohne Betrieb gezeigt (Abbildung 75). Ein Mittelwert wird nur zur Orientierung gebildet und angegeben. Der Mittelwert der 22 hier untersuchten Varianten liegt bei 10,9 kg CO₂e/(m²NRF a). Ausgewertet werden nur die gebäudebezogenen Anteile von Gebäuden ohne BIPV-Anlage.

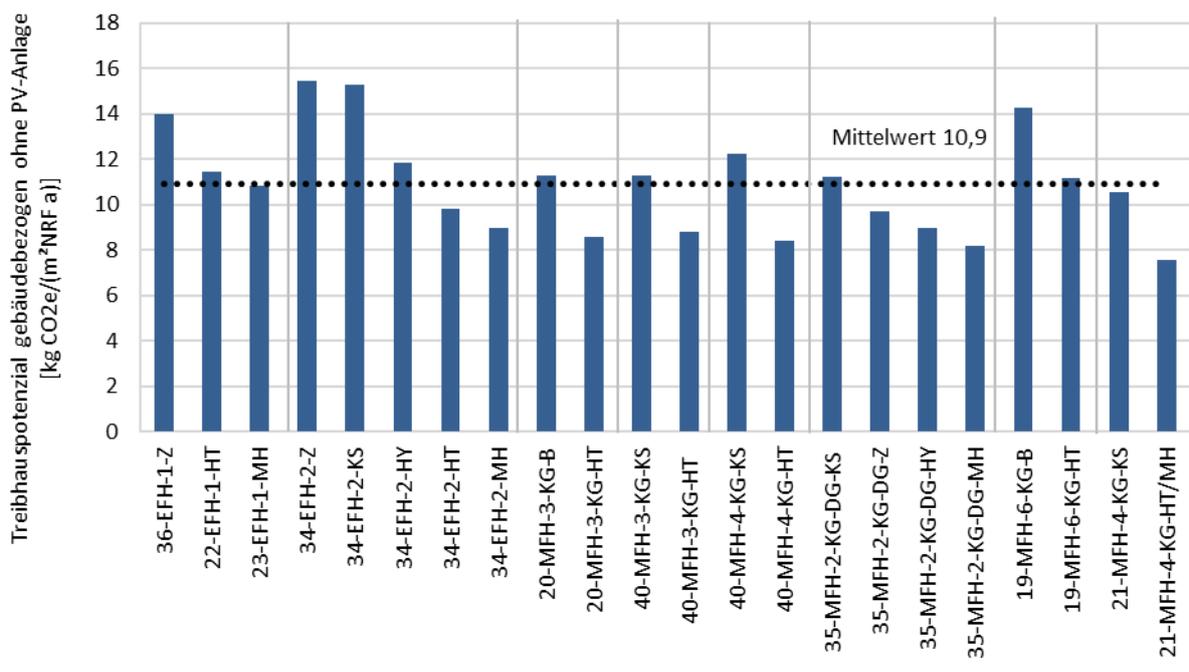


Abbildung 75: Treibhauspotenzial gebäudebezogener Anteil bei Gebäuden ohne BIPV – Bauweise variiert

11 Varianten unterschreiten den oben aufgeführten Mittelwert von 10,9 kg CO₂e/(m²NRF a). Gebäude mit großen Bezugsflächen erreichen dies in jeder Bauweise. Davon wurden 8 Gebäude mit überwiegend nachwachsenden Rohstoffen in der Primärkonstruktion realisiert. Dies gibt erste Hinweise auf Möglichkeiten der Festlegung einer Nebenanforderung.

Durch den Einbau der PV-Anlage erhöht sich bei der Auswertung entsprechender Gebäude der Mittelwert. Bei der ursprünglichen Analyse von 32 Gebäuden liegt er bei 11,9 kg CO₂e/(m²NRF a). Der Mittelwert der 22 hier untersuchten Varianten liegt bei 12,24 kg CO₂e/(m²NRF a). 13 Gebäude liegen dann unter diesem Wert – siehe Abbildung 76.

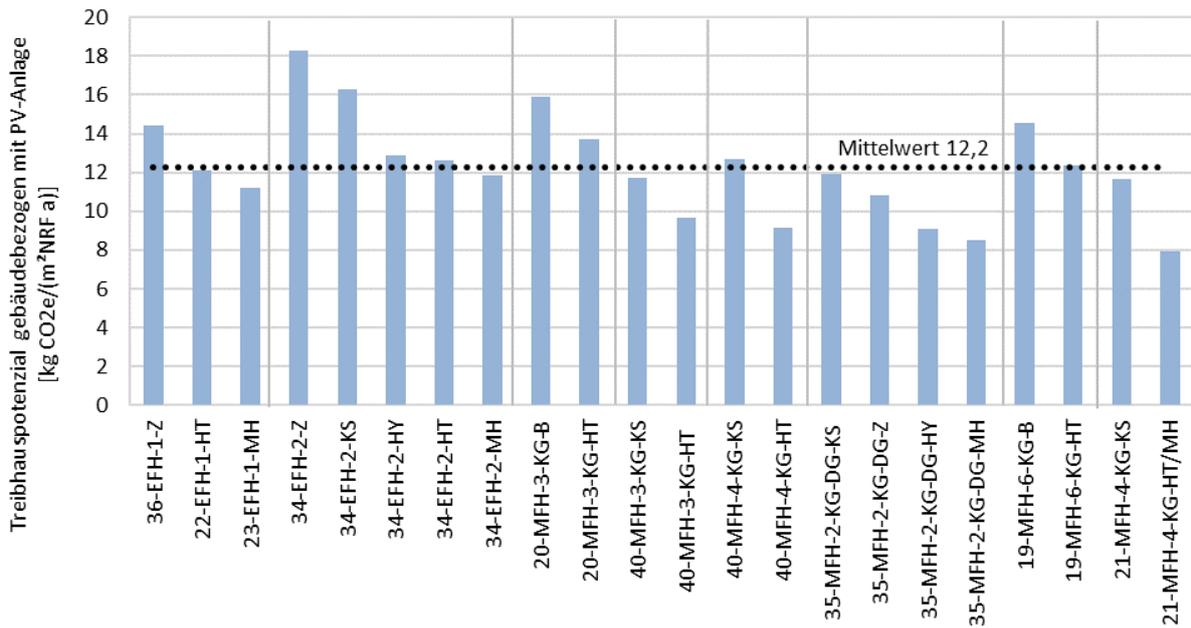


Abbildung 76: Treibhauspotenzial gebäudebezogener Anteil bei Gebäuden mit BIPV – Bauweise variiert

Bezieht man die erreichten Werte auf die jeweils bessere oder beste Variante eines Objekts = 0 ergeben sich nachfolgende Unterschiede.

Die folgende Tabelle 8 verdeutlicht die absoluten Unterschiede bezogen auf das gebäudebezogene Treibhauspotenzial in kg CO₂e/(m²NRF a).

Tabelle 8: Unterschiede der Bauweisen bezogen auf gebäudebezogenes Treibhauspotenzial in kg CO₂e/(m²NRF a) ohne BIPV

Gebäude	Bauweise der Primärkonstruktion	Gebäudebezogenes Treibhauspotenzial [kg CO ₂ e/(m ² NRF a)]	Differenz zu BEST-Wert [kg CO ₂ e/(m ² NRF a)]	Differenz zu BEST-Wert [%]
23-EFH-1-MH	Massivholz	10,84		
22-EFH-1-HT	Holztafel	11,45	0,61	5,3
36-EFH-1-Z	Ziegel	14,01	3,17	22,6
34-EFH-2-MH	Massivholz	8,98		
34-EFH-2-HT	Holztafel	9,79	0,81	8,3
34-EFH-2-HY	Hybrid	11,85	2,87	24,2
34-EFH-2-KS	Kalksandstein	15,27	6,29	41,2
34-EFH-2-Z	Ziegel	15,45	6,47	41,9
20-MFH-3-KG-HT	Holztafel	8,59		
20-MFH-3-KG-B	Beton	11,3	3,01	24
40-MFH-3-KG-HT	Holztafel	8,82		
40-MFH-3-KG-KS	Kalksandstein	11,29	2,47	21,9
40-MFH-4-KG-HT	Holztafel	8,39		
40-MFH-4-KG-KS	Kalksandstein	12,24	3,85	31,5
35-MFH-2-KG-MH	Massivholz	8,17		
35-MFH-2-KG-HY	Hybrid	8,97	0,8	8,9
35-MFH-2-KG-Z	Ziegel	9,73	1,56	16,0
35-MFH-2-KG-KS	Kalksandstein	-11,21	3,04	27,1
19-MFH-6-KG-HT	Holztafel	11,19		
19-MFH-6-KG-B	Beton	14,25	3,06	21,5
21-MFH-4-KG-HT	Holztafel	7,57		
21-MFH-4-KG-KS	Kalksandstein	10,9	3,33	28,2

Bezieht man die erreichten Werte auf die beste Variante eines Objekts ergeben sich nachfolgende Unterschiede – siehe Abbildung 77.

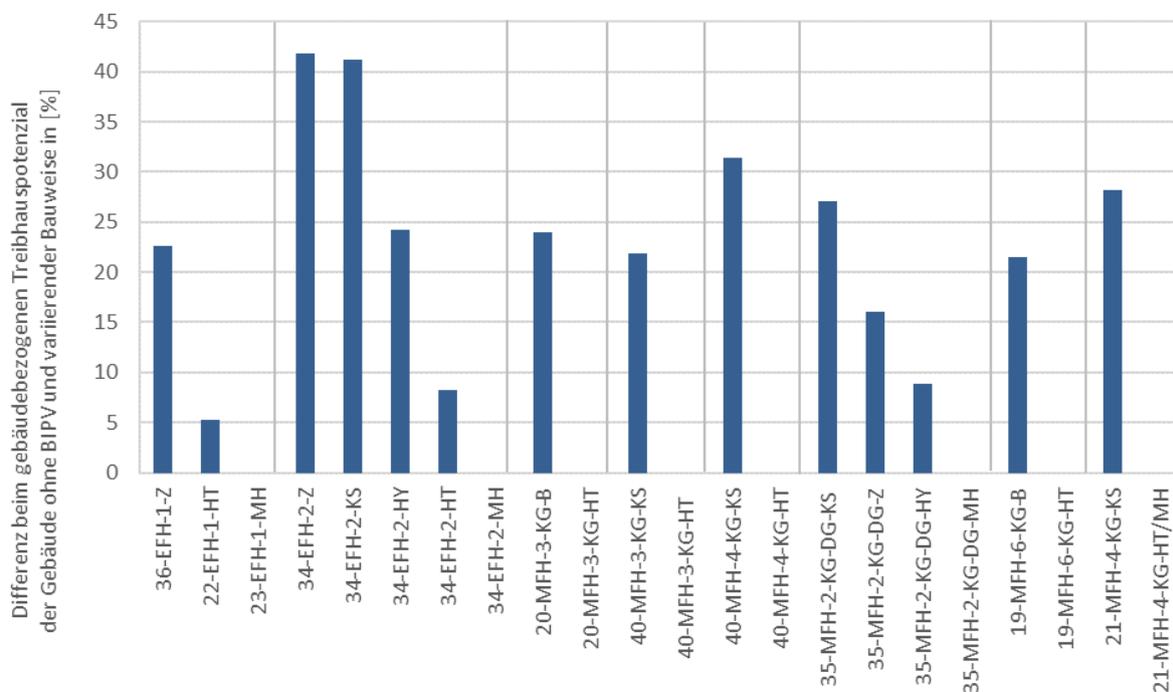


Abbildung 77: Differenz beim gebäudebezogenen Treibhauspotenzial der Gebäude ohne BIPV und variierender Bauweise

Die Bauweise hat, bezogen auf das Gebäude, einen wesentlichen Einfluss auf die ermittelten Werte beim gebäudebezogenen Anteil zum Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar und beim Treibhauspotenzial. Die Gebäude mit einer Primärkonstruktion aus überwiegend nachwachsenden Rohstoffen schneiden günstiger ab. Einen großen Einfluss auf die absoluten Werte hat die Größe der Gebäude. Mit steigenden Anforderungen an die Statik sowie den Brand- und Schallschutz benötigen auch Gebäude aus überwiegend nachwachsenden Rohstoffen die Qualitäten Bauteile mit mineralischen Produkten. Beispielsweise werden bei Gebäude 19 mit der Gebäudeklasse 4 hohe Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer von tragenden Bauteilen oder an die Ausführung der Rettungswege und Treppenhäuser gestellt. Hier haben im Detail die Kapselung der Holzbauteile oder die Form der Erschließung der Wohnungen einen wesentlichen Einfluss auf die Ökobilanzergebnisse des Gebäudes. Bei Gebäude 21 werden diese Anforderungen mit zentralem mineralischem Treppenhaus und Laubengängen aus Betondecken gelöst.

Die Unterschiede zwischen den Konstruktionen aus nachwachsenden Rohstoffen in Massivholzbauweise oder als Holztafelbau sind sehr klein. Die Hybridkonstruktionen mit mineralischen Deckenkonstruktionen und mineralischen, aussteifenden Treppenhäusern liegen zwischen den Bauweisen aus nachwachsenden Rohstoffen und rein mineralischen Bauweisen. Bei den mineralischen Bauweisen betragen die Unterschiede bereits innerhalb dieser Gruppe zwischen 20 % bis 40 %. Dabei spielen die individuellen Anforderungen an das Gebäude eine wesentliche Rolle, z. B. ohne oder mit Keller, Statik, Erschließung.

10.6 Liegenschaftsbezogener Tiefbau als Zusatzbetrachtung

In Abschnitt 5.2.1 wurde bereits die Systemgrenze/der Bilanzraum der Ökobilanz eines Gebäudes im Rahmen der Zertifizierungssysteme als Außenkante des Gebäudes beschrieben.

Die Untersuchungen auf den Einfluss der Art der Erschließung auf dem Grundstück setzen eine Erweiterung der Systemgrenzen voraus. Die folgende Untersuchung bezieht daher in die Auswertung die auf dem Grundstück befindlichen Komponenten der Erschließung bzw. der TGA bis zur Grundstücksgrenze mit ein. Die notwendigen technischen Einrichtungen wurden den vorhandenen Plänen entnommen. Im Detail waren dies folgende technischen Systeme:

- Abwasserentwässerung mit Revisionsschächten
- Regenwasserentwässerung mit Revisionsschächten
- Brauchwasseranschluss
- Elektroanschluss.

10.6.1 Beschreibung technischer Bauteile

Die oben aufgeführten technischen Systeme werden in der DIN 276 unter der Kostengruppe 550 Technische Anlagen in den Außenanlagen geführt. In der von den Bearbeitern verwendeten Datenbank sind die erforderlichen technischen Bauteile für diese Systeme in Form von Elementen mit Leistungsbeschreibungen erfasst und mit den entsprechenden Materialdaten zu Ihrer Ausführung ausgestattet. Siehe Abbildung 78.

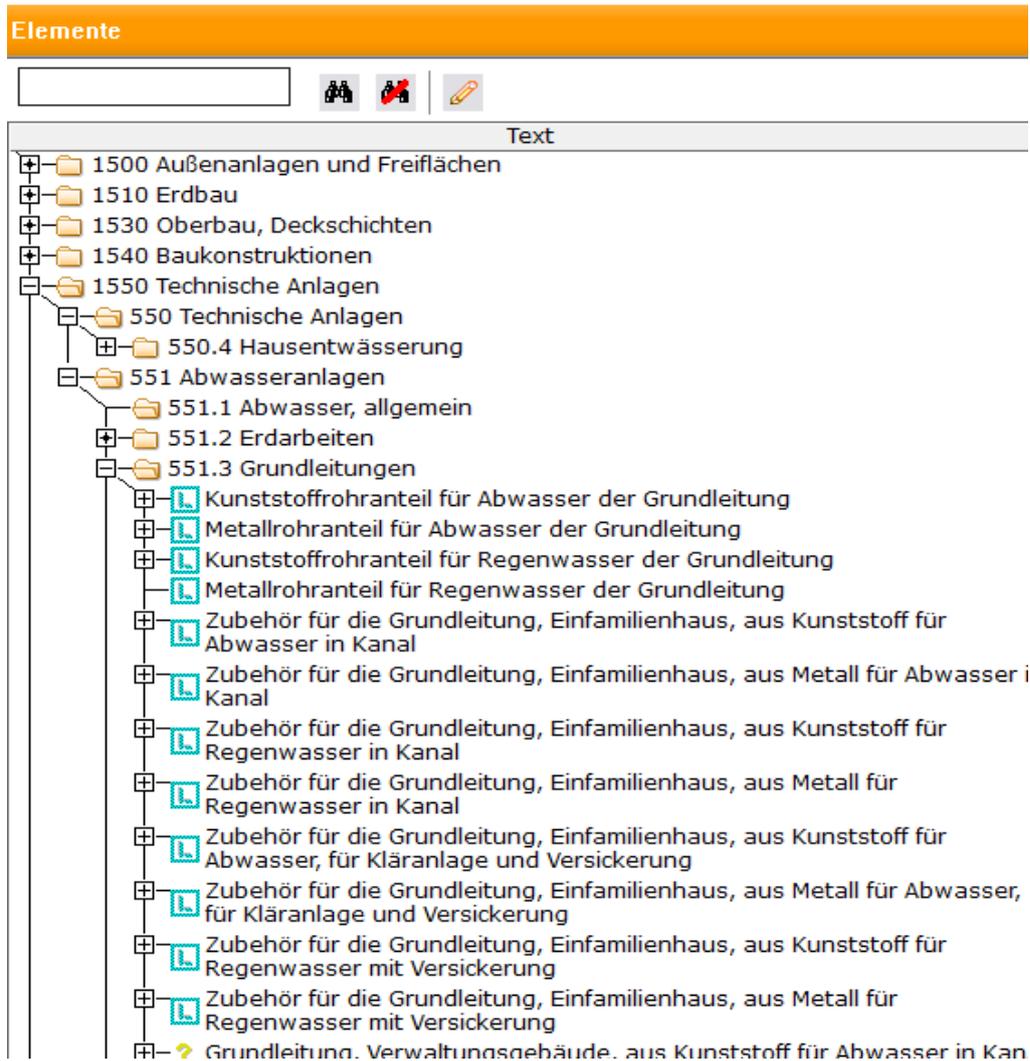


Abbildung 78: Bauteile der Kostengruppe 550 ff. für technische Anlagen in den Außenanlagen (Auszug aus LEGEP-Programm)

Die ausgewählten Gebäude wurden bezüglich ihrer geplanten technischen Bauteile erfasst und die folgenden Berechnungen für die Ökobilanz durchgeführt. Es wurden vier Gebäude mit unterschiedlichen Nettoraumflächen von 275 m² bis 3285 m² ausgewählt. Die Gebäude haben keine Ausstattung mit einer BIPV-Anlage.

Die folgende Tabelle listet die technischen Anlagen auf.

Tabelle 9: Technische Installationen im Außenbereich

	Elektro	Bewässerung Druckrohr	Entwässerung Abwasser	Zubehör	Entwässerung Regenwasser	Zubehör	Kontrollschacht	Sickerschacht
Gebäude	m	m	m		m			
34-EFH-2-KG-KS MIT-TIEFBAU	3	3	14	Bögen/Übergang PVC/Steinzeug/Rückstauverschluss	19,5	Bögen/Übergang PVC/Steinzeug	1	1
11-EFH-2-KG-HT mit TIEFBAU	15	15	10,5	Bögen/Übergang PVC/Steinzeug/Rückstauverschluss	42,5	Bögen/Übergang PVC/Steinzeug	x	1
35-MFH-2-KG-DG-HY mit Tiefbau	19	20	14	Bögen/Übergang PVC/Steinzeug/Rückstauverschluss	0	offene Rinne, Versickerungskörper	1	x
18-MFH-3-KG-HT-MIT TIEFBAU	30	20	10,5	Bögen/Übergang PVC/Steinzeug/Rückstauverschluss	30	Bögen/Übergang PVC/Steinzeug	2	x

10.6.2 Ergebnisse der Ökobilanz

Die vergleichende Auswertung von Gebäuden ohne und mit technischen Bauteilen in den Außenanlagen bis zur Grundstücksgrenze zeigen einen sehr geringen Effekt bezüglich des gebäudebezogenen Treibhauspotenzials. Siehe Abbildung 79

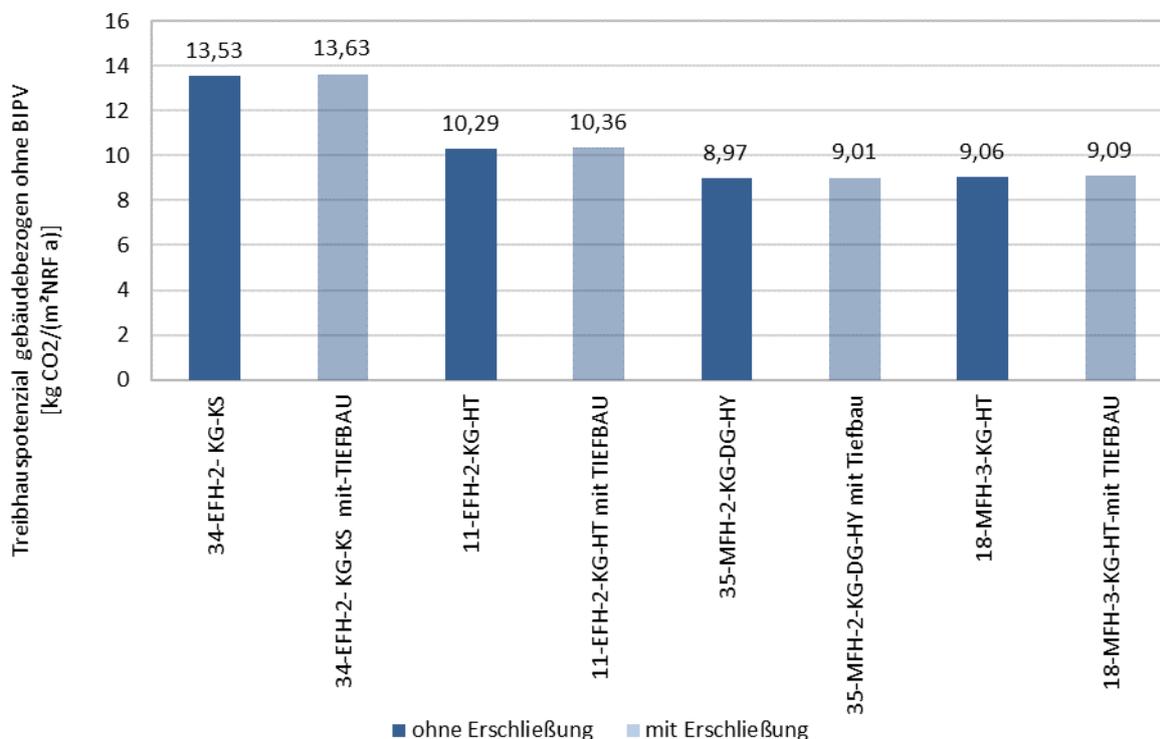


Abbildung 79: Treibhauspotenzial nur Gebäude ohne BIPV

10.7 Treibhauspotenzial aufgeteilt in fossile und biogene Emissionen

Die Ergebnisse einer Unterteilung der Treibhausgasemissionen in fossile und biogene Anteile und der Ermittlung sowie Analyse des Erstaufwands (upfront emissions) für die Herstellung der Gebäude durch Auswertung der Module A1 – A3 werden ausführlich im Kapitel 13 und 14 erläutert.

Im nachstehenden Abschnitt wird dargestellt, welche Ergebnisse eine differenzierte Auswertung des Indikators „Gesamtes Treibhauspotenzial (GWP tot)“ mit den bisherigen Datensätzen erlaubt.

Die Datenbank ÖKOBAUDAT stellte bis zum Jahr 2021 keine Differenzierung des Datensatzes Treibhauspotenzial in fossile und biogene Anteile zur Verfügung. Aus diesem Grunde stellte sich eine in Module differenzierte Darstellung des Treibhauspotenzials folgendermaßen dar: Die folgende Abbildung 80 sowie die Abbildung 81 entstammen dem Forschungsbericht (Hafner, et al., 2017).

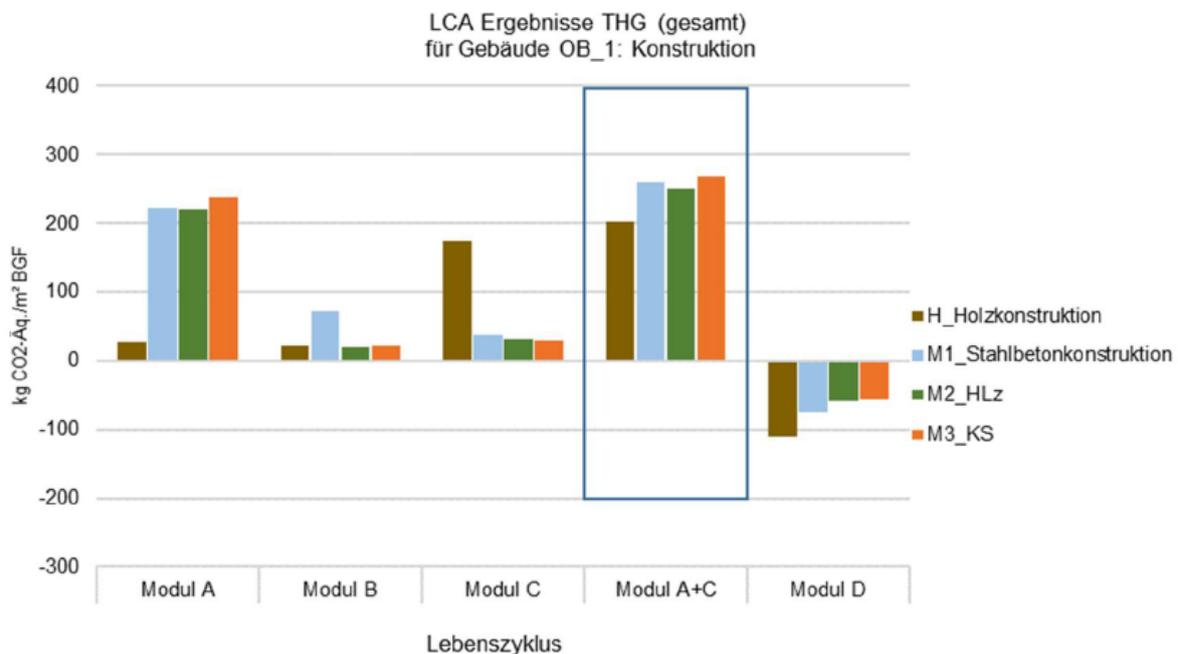


Abbildung 80: LCA-Ergebnisse (Indikator GWP) für ein Bürogebäude, gebäudebezogener Aufwand, Module getrennt

Quelle: (Hafner, et al., 2017 S.45)

Legendenergänzung: M2_HLz = Hochlochziegel, M3_KS = Kalksandstein

Das Gebäude mit Holzkonstruktion zeigt in Folge des -1/+1-Ansatzes im Modul A kleine GWP-Werte und im Modul C hohe GWP-Werte. Die Ursache für diese Verhältnisse zeigt sich, wenn der GWP total Wert auf der Basis ab 2024 zur Verfügung stehender Werte in seine fossilen und biogenen Anteile unterteilt wird und diese getrennt ausgewertet werden. Dies zeigt die folgende Abbildung 81.

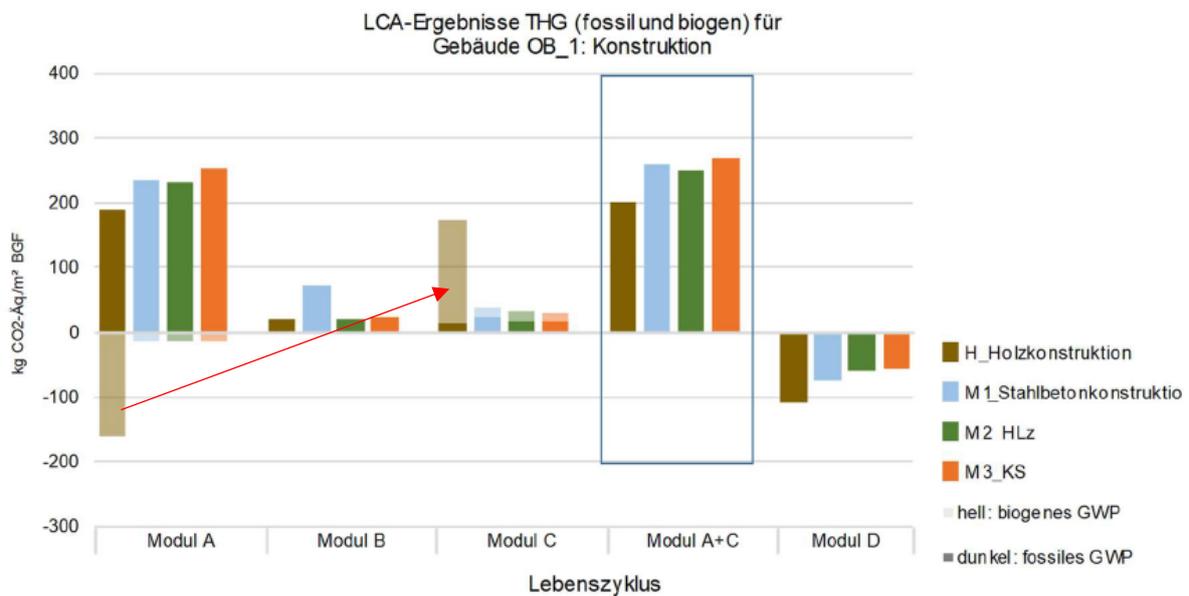


Abbildung 81: LCA-Ergebnisse (Indikator GWP) für ein Bürogebäude, gebäudebezogener Aufwand, zusätzlich GWP unterteilt

Quelle: (Hafner, et al., 2017 S.45)

Dargestellt werden die GWP-Emissionen des gebäudebezogenen Anteils, getrennt in biogene und fossile THG-Emissionen. Die biogenen GWP-Emissionen werden in einem hellen Farbton und die fossilen THG-Emissionen in einem dunkleren Farbton angezeigt. Abbildung 81 zeigt die aufsummierten Werte des biogenen und fossilen Treibhauspotentials der einzelnen Konstruktionsweisen in Modulen. Bei Betrachtung von Modul C wird deutlich, dass die im Modul A „eingespeicherte“ Menge an biogenem Treibhauspotenzial in der Entsorgungsphase wieder vollständig das System verlässt, d.h. aus der Bilanz wieder ausgebucht wird. (Hafner et.al. Bochum 2020).

Mit der ÖKOBAUDAT 2023+A2 wurden viele Datensätze mit den aufgeteilten GWP-Emissionen veröffentlicht. Eine vollständige Umstellung aller Datensätze wird voraussichtlich erst mit der ÖKOBAUDAT 2024+A2 verfügbar sein. Für dieses Forschungsprojekt wurde vorab eine Version der RECHENWERTETABELLE erzeugt, in der alle Datensätze über aufgeteilte GWP-Werte verfügen. Die Auswertungsergebnisse werden in Kapitel 13 ausführlich dargestellt.

10.8 Stoffmasse und Materialinventar

Nachstehend werden die Aspekte „Masse“ und „biogener Kohlenstoffgehalt (biogenic carbon content)“ analysiert.

Für die Auswahl untersuchter Gebäude wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

- Objektgröße klein – mittel – groß
- Erweiterung Keller und Tiefgarage
- unterschiedliche Bauweisen.

Varianten sind die Gebäude 30, 19, 35, 34 und 23/36. Alle Gebäude variieren die Bauweise. Bei den Gebäuden 34 und 30 werden zusätzlich der Keller und die Tiefgarage variiert.

Eine Anpassung der Untersuchungssystematik wird bezüglich der betrachteten Module vorgenommen. Es wird nur der Aufwand für die Module A1-A3 (Herstellung) berücksichtigt.

Die Objektgröße variiert von ca. 90 m² bis 3.000 m² Nettoraumfläche – siehe auch Abbildung 82.

Bei der Erfassung der Gebäudemasse treten Probleme auf, wenn das Bauteil oder die technische Anlage keine Informationen zur Masse enthalten. Dies ist grundsätzlich der Fall, wenn die Einheit für ein Element nicht „t“ oder „kg“ ist, sondern in „m³“, „m²“ oder „l/m“ angegeben wird. In den beiden letztgenannten Fällen sind Masseangaben bezüglich des Materialinhalts zur exakten Berechnung notwendig. Diese Information wurde in den vergangenen Jahren in der Ökobilanzdatenbank ÖKOBAUDAT bei den generischen Datensätzen ergänzt und wird mittlerweile durch die Hersteller auch bei den durchschnittlichen und spezifischen Datensätzen angegeben.

Wird das Bauteil oder die technische Anlage in der Einheit „Stück“ angegeben, müssen die enthaltenen Materialien einzeln in Bezug auf die Masse angegeben werden. Dies betrifft beispielsweise Türen, Fenster, Heizungen, Pumpen usw. Dies ist bis jetzt in der Ökobilanzdatenbank ÖKOBAUDAT nicht der Fall. In der im Projekt eingesetzten Software werden jedoch alle Bauteile und technischen Anlagen mit den verschiedenen Materialmassen erfasst und können so bilanziert werden.

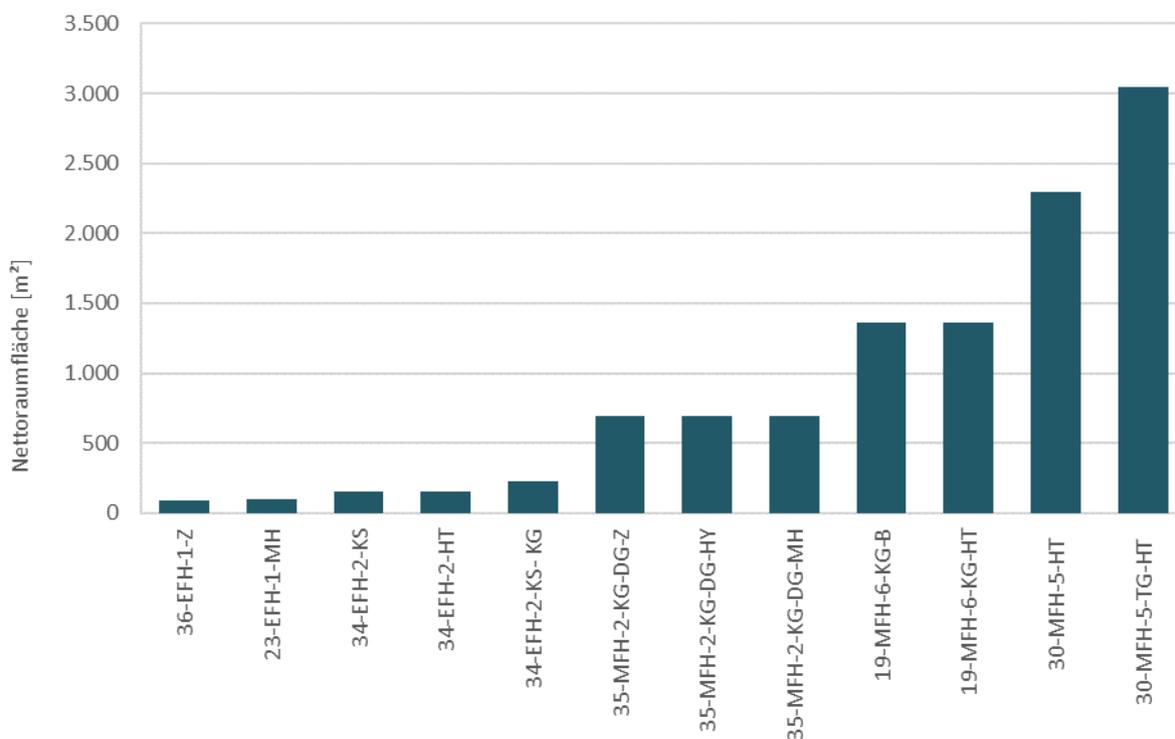


Abbildung 82: Nettoraumfläche der ausgewählten Gebäude

10.8.1 Absolute Masse der Gebäude

Die absolute Masse steigt mit der Größe des Gebäudes an. Je nach Bauweise variiert die Masse. Ein zusätzlicher Keller oder eine Tiefgarage vergrößert sie. Siehe Abbildung 83.

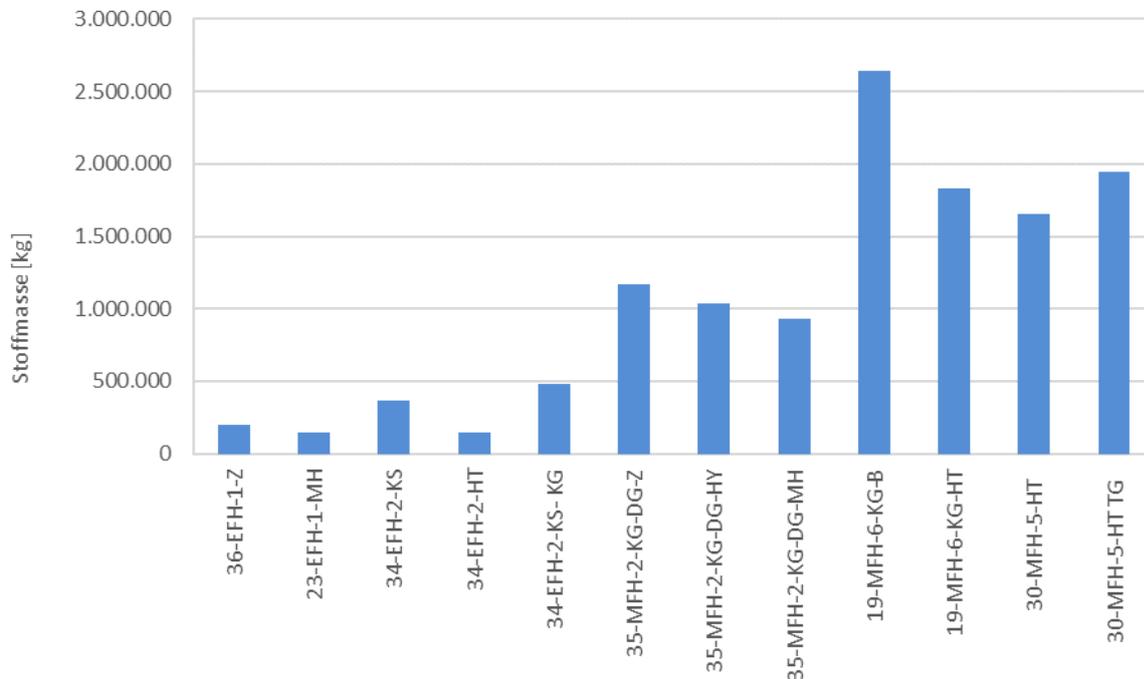


Abbildung 83: Masse absolut in kg der ausgewählten Gebäude

10.8.2 Flächenbezogene Masse

Für eine vergleichende Betrachtung wird der Kennwert $\text{kg/m}^2\text{NRF}$ gebildet. Die grafische Auswertung in Abbildung 84 zeigt verschiedene Effekte.

- Die Bauweise der Primärkonstruktionen aus nachwachsenden Rohstoffen verringert die Masse pro Nettoraumfläche erheblich (Objekte 23, 34-HT, 35-MH, 19-HT).
- Eine Hybridkonstruktion mit mineralischen Decken und leichten Bauteilen der Hüllflächen Außenwand und Dach liegt zwischen den Werten für mineralische und NAWARO Konstruktionen (Objekt 35-HY).
- Gebäude mit Keller und/oder Tiefgarage weisen eine kleinere Masse pro m^2 Nettoraumfläche auf (Gebäude 34-KS-KG, 30-TG).

Eine Besonderheit zeigt das Gebäude 30, ein Punkthaus mit 5 Geschossen. Eine Stahlmodulbauweise mit Raumzellen verzichtet auf Betondecken, aussteifende Betonkerne und gründet auf einer ebenerdigen Betonplatte. Mit einem Kennwert von $721 \text{ kg/m}^2\text{NRF}$ ist es im Vergleich das Gebäude mit der geringsten flächenbezogenen Masse. Die Variante mit Tiefgarage ist absolut erheblich schwerer, der Flächenkennwert liegt mit $637 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{NRF})$ niedriger und ist damit, bezogen auf den Kennwert, die leichteste Ausführung bei den untersuchten Gebäuden.

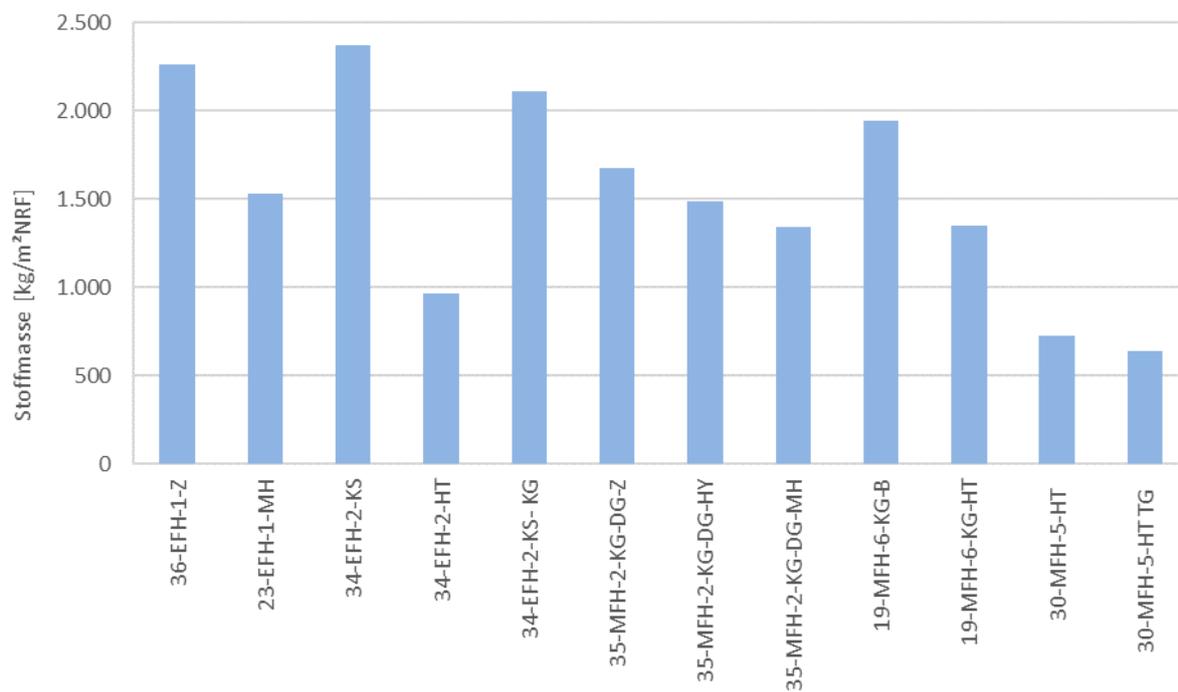


Abbildung 84: Flächenbezogene Masse in kg/m²NRF bei Berücksichtigung der Bauteile der KG 300 KG 400 der Gebäude

Die Masse bezogen auf den m²NRF kann als Orientierungskennwert für Plausibilitätsprüfungen zur Prüfung der Vollständigkeit der Erfassung des Gebäudes herangezogen werden. Voraussetzung dafür sind aber belastbare Reihenuntersuchungen an exakt beschriebenen Gebäudetypen in verschiedenen Bauweisen. Siehe Abbildung 85.

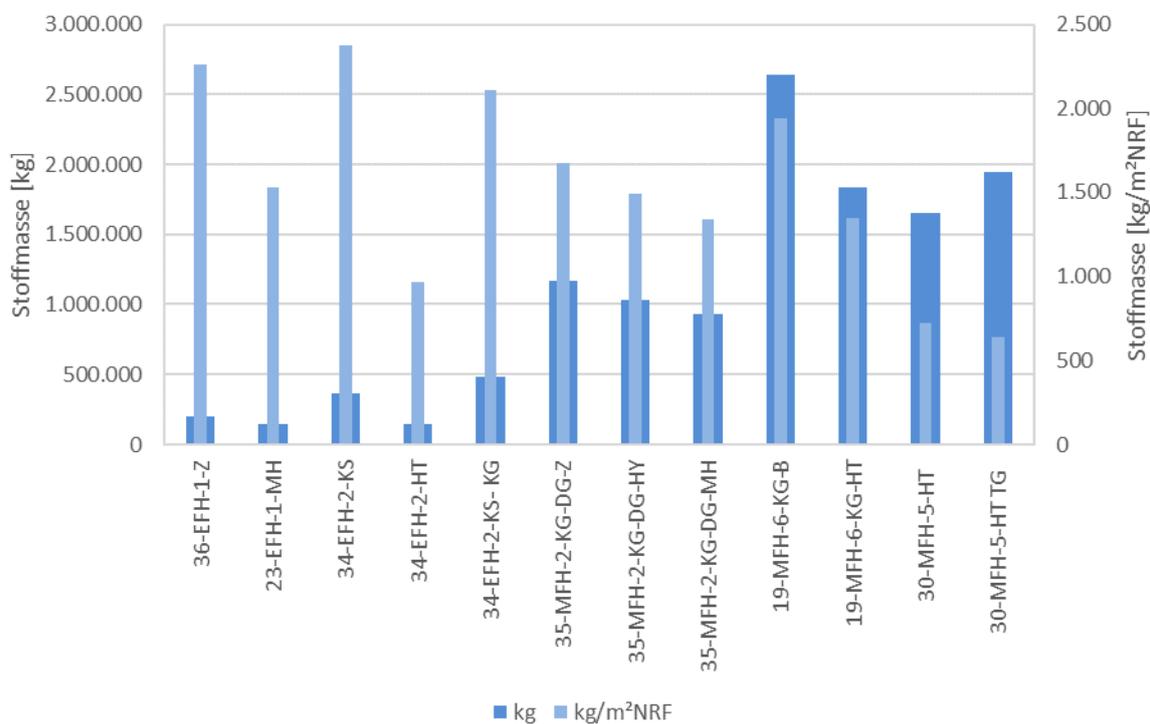


Abbildung 85: Absolute und relative Stoffmasse für Bauteile der KG 300 – KG 400 in den Gebäuden

10.8.3 Bezüge zu einem Materialinventar

Basis für die Ökobilanz ist die Erfassung der Gebäude mit möglichst allen Bauteilen und technischen Anlagen und den darin verbauten Materialien. Die Erfassung der Bauteile orientiert sich in den Zertifizierungssystemen an dem Gliederungssystem der Kostengruppen der DIN 276. Die Tiefe der Materialerfassung ist nicht eindeutig geregelt.

Die Auswertung der erfassten Materialien in Form eines Materialinventars als Teil eines künftigen Ressourcenpasses für Gebäude ermöglicht eine Plausibilitätskontrolle im Hinblick auf die Erfassungstiefe. Da aktuell noch eine einheitliche und verbindliche Gliederung der Materialarten und -gruppen fehlt, kann jede Auswertung unterschiedlich gestaltet sein. Die folgenden Abbildungen basieren auf einem Materialkatalog der LEGEP-Datenbank. Diese unterscheidet zwischen Materialien der Primärkonstruktion und des Ausbaus. Beide Gliederungsebenen gruppieren die Materialien nach

- Mineralischer,
- Pflanzlicher,
- synthetischer und
- metallischer Herkunft.

Die Materialdatenbank beinhaltet zur exakten Identifizierung des Materials unter anderem Werte wie:

- Rohdichte
- Wärmeleitzahl
- Wasserdampfdiffusionskennwert

Nachfolgend einige Beispiele für die Auswertung der stofflichen Zusammensetzung eines Gebäudes als Grundlage für ein künftiges Materialinventar. Die folgenden Abbildungen wurden direkt aus den

Projektauswertungen der eingesetzten Software erzeugt. Abbildung 86 und Abbildung 87 beziehen sich auf die im vorangehenden Abschnitt ausgewählten Gebäude.

Die grafische Darstellung der absoluten Stoffmasse in kg zeigt die Verteilung auf die verschiedenen Materialgruppierungen. Die Dominanz der mineralischen Primärkonstruktion bei einer entsprechenden Bauweise durch Kellergeschoss, Außenwände und Decken zeigt die linke Säule (Gruppe 1-Mineralisches Baumaterial – gelb). Durch die prozentuale Verteilung wird diese Dominanz abermals verdeutlicht.

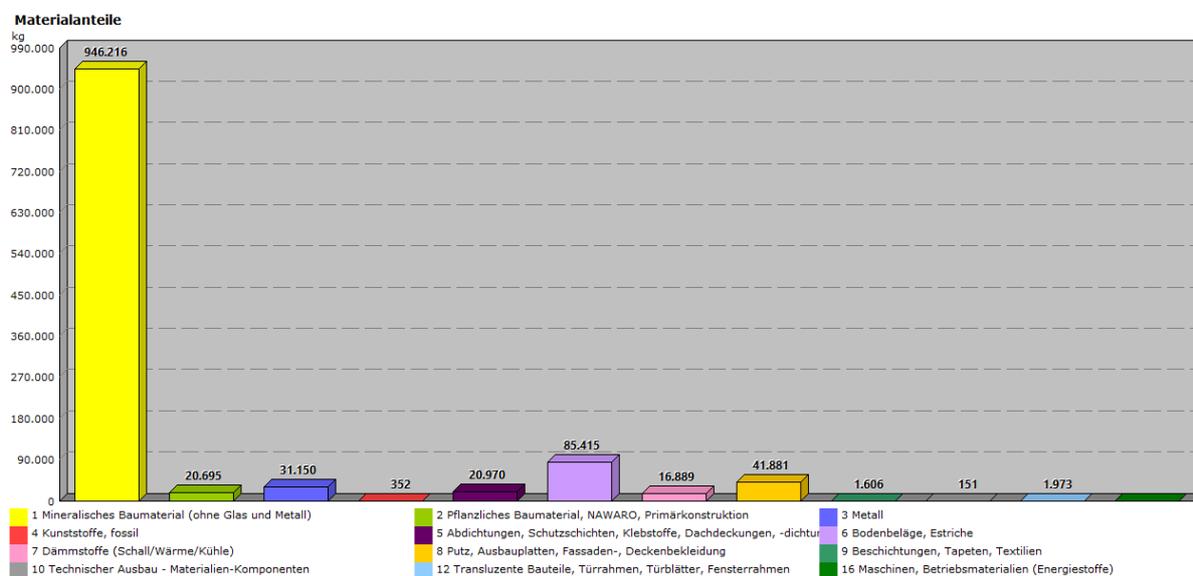


Abbildung 86: 35-MFH-2-KG-Z Materialinventar verteilt auf Materialgruppen in kg (Auszug aus LEGEP-Programm)

Materialanteile

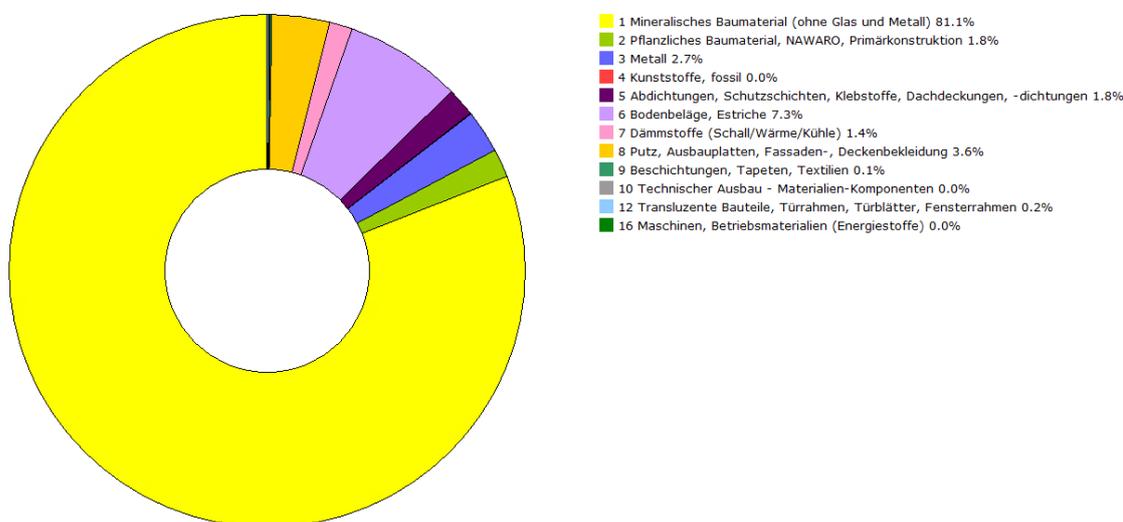


Abbildung 87: 35-MFH-2-Z-KG Materialinventar verteilt auf Materialgruppen - prozentual (Auszug aus LEGEP-Programm)

Dasselbe Gebäude, jedoch gebaut mit einem hohen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen, zeigt einen vergrößerten Anteil der nachwachsenden Rohstoffe (Gruppe 2 pflanzliches Baumaterial – grün), bei nur geringer Veränderung des mineralischen Anteils (Gruppe 1-Mineralisches Baumaterial – gelb) – siehe Abbildung 88. Dies wird verursacht durch die hohe Rohdichte der mineralischen Materialien, z. B. Beton 2.400 kg/m³ gegenüber den pflanzlichen Materialien z. B. Massivholz Fichte Rohdichte atro ca. 434 kg/m³.

Materialanteile

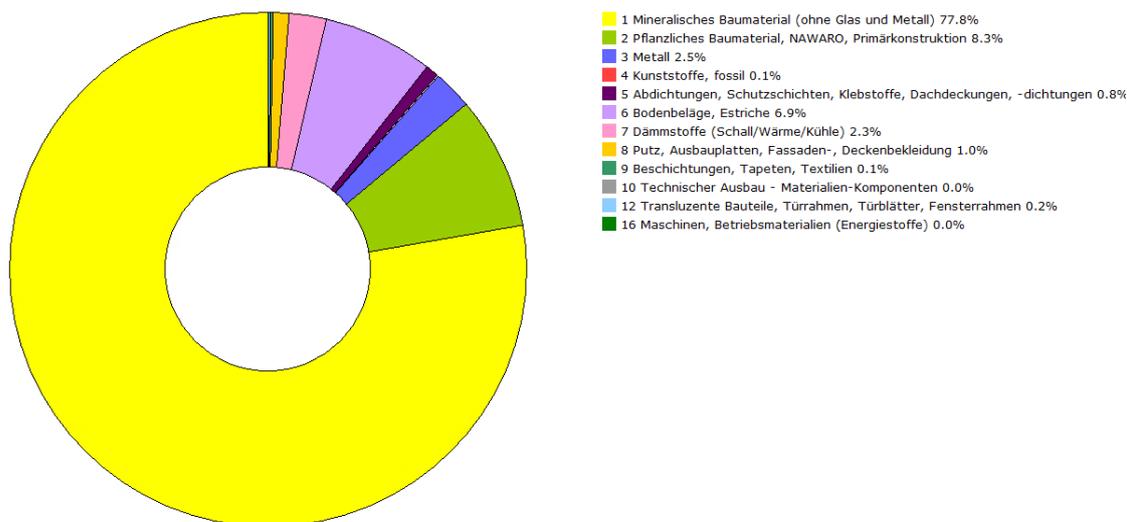


Abbildung 88: 35-MFH-2-KG-MH Materialinventar verteilt auf Materialgruppen prozentual (Auszug aus LEGEP-Programm)

Ein völlig anderes Konstruktionskonzept repräsentiert das bereits erwähnte Objekt 30 in Modulbauweise auf Stahlbasis. Die prozentuale Verteilung der Materialgruppen zeigt in Abbildung 89 den stark reduzierten mineralischen Anteil (Gruppe 1-Mineralisches Baumaterial – gelb), den stark angestiegenen Anteil der Trockenbaumaterialien (Gruppe 8 Putz- Ausbauplatten) und der sichtbare Anteil der Metallgruppe (Gruppe 3 Metall –blau).

Materialanteile

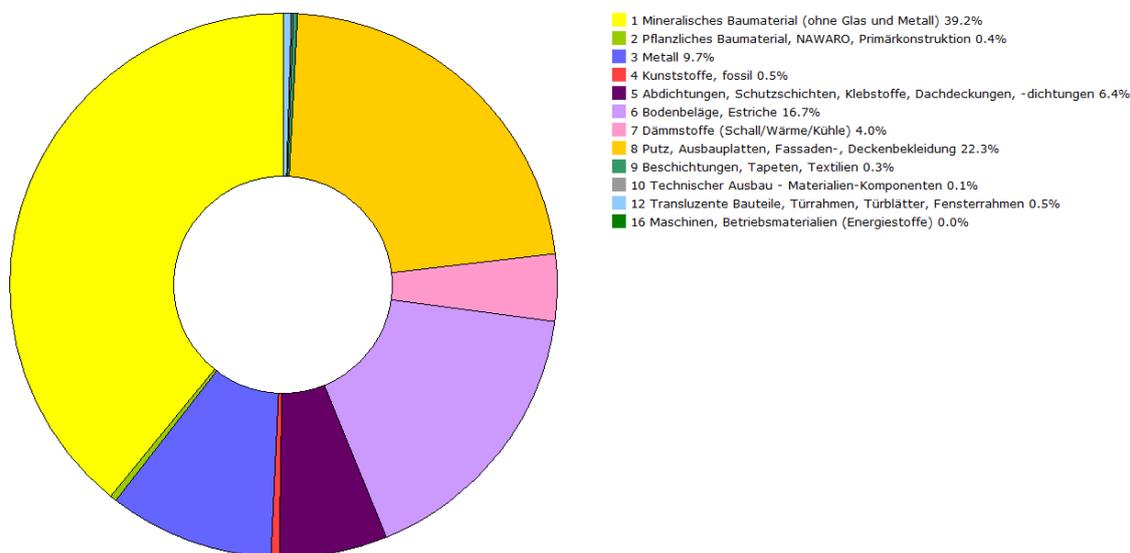


Abbildung 89: 30-MFH-5-HT in Stahlbau Materialinventar verteilt auf Materialgruppen prozentual (Auszug aus LEGEP-Programm)

Das Materialinventar kann in der prozentualen Verteilung auch für tieferegehende Analysen benutzt werden, wenn die Materialgruppen in einzelne Materialien aufgelöst werden. Die Form zeigt die nachfolgende Abbildung 90 einer derartigen Auflistung mit prozentualer Abfolge.

Text	Einheit	Masse [kg]	Masse %
⊞-1.4.1.1.25 C 20/25 (B25) unbewehrt		338.441,3	28,99
⊞-1.4.1.2.35 C 30/37 (B35) unbewehrt		150.882,3	12,93
⊞-1.2.2.08.G.500 Leichthochlochziegel Granulat PH...		94.452,6	8,09
⊞-1.4.1.2.30 C 25/30 (B30)		89.993,6	7,71
⊞-6.1.3.3.1 Zementestrich		80.180,4	6,87
⊞-1.2.2.06.800 Hochlochziegel Hlz 12-0,8		79.589,8	6,82
⊞-1.4.1.1.10 C 8/10 (B10) unbewehrt		58.078,5	4,98
⊞-1.2.2.06.1400 Hochlochziegel Hlz 12/1,4		38.902,5	3,33
⊞-1.3.2.4.4 Kalkzementmörtel		30.580,5	2,62
⊞-1.1.4.1.4 Kies (aus Baugrube)		29.600,0	2,54
⊞-3.1.3.3.3 Betonstahlmatten		16.334,7	1,40
⊞-1.2.2.06.900 Hochlochziegel Hlz 12-0,9		16.146,7	1,38
⊞-8.1.4.2 Kalkgipsputz		15.258,4	1,31
⊞-5.9.1.2.1.1 Dachdeckung mit Ziegelpfannen		14.775,9	1,27
⊞-8.1.5.1 Zementputz		13.848,6	1,19
⊞-7.1.1.2.1.040 Schaumglas 040		11.320,3	0,97
⊞-2.2.2.1 Nadelschnittholz kammergetrocknet, säg...		10.503,4	0,90
⊞-3.1.3.3.1 Betonstabstahl		10.246,9	0,88
⊞-8.1.4.3 Kalkzementputz		5.759,4	0,49
⊞-1.1.1.2 Marmor		4.846,4	0,42
⊞-1.3.2.7.1 Dünnbettmörtel -statisch		4.187,2	0,36
⊞-8.1.6.1 Wärmedämmputz 0,2 mineralisch		3.948,0	0,34
⊞-6.5.1.5.1 Holzparkett-Mehrschichtplatten		3.192,3	0,27
⊞-2.2.2.9 Nadelschnittholz (Fichte, Kiefer, Tanne) k...		3.010,8	0,26
⊞-1.2.2.07.0800 Leichthochlochziegel LHLz A/B 80...		2.972,4	0,25
⊞-1.2.2.08.0802.06 Leichthochlochziegel LHLz W ...		2.935,9	0,25
⊞-1.2.2.06.1200 Hochlochziegel Hlz 12/1,2		2.432,8	0,21
⊞-3.1.3.1.1 Blasstahl, unlegiert		2.322,4	0,20
⊞-8.2.1.2.1.1120 Gipsfaserplatte 1120		1.968,9	0,17
⊞-7.0.0.1.005 Mineralwolle (Wool) 005 001		1.016,7	0,17
Summe		1.167.297,6	
Summe pro m² BGF		1.411,4	
Summe pro m² NGF		1.677,3	
Summe pro m² WF		2.292,6	

Abbildung 90: Gebäude 35-MFH-2-KG-Z: Inventar einzelner Materialien gegliedert nach Masseanteil (Auszug aus LEGEP-Programm)

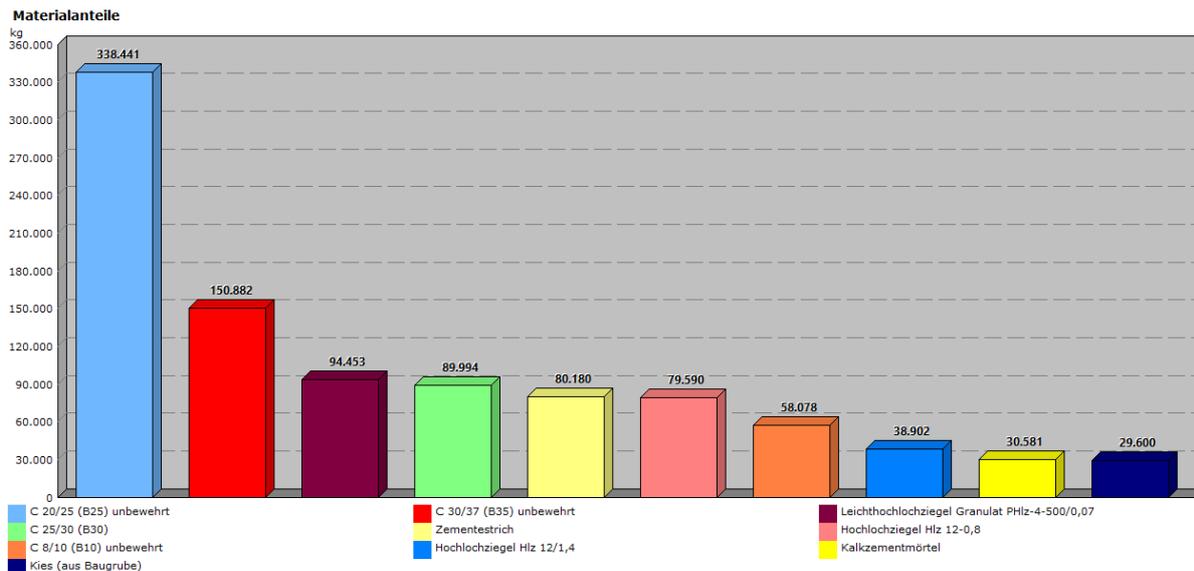


Abbildung 91: 35-MFH-2-KG-Z Inventar der 10 massedominanten Materialien (Auszug aus LEGEP-Programm)

Die zehn Materialien in Abbildung 91 mit dem größten Masseanteil bilden 85 % der gesamten Stoffmasse des Gebäudes ab. Für Plausibilitätsprüfungen könnten für bestimmte Bauweisen objektspezifische Materialprofile gebildet werden.

Das Thema der Bezüge einer Ökobilanz zu einem Materialinventar als Teil eines Ressourcenpasses wird im methodischen Teil erneut aufgegriffen und dort vertieft.

10.9 Anteil NAWARO und des biogenen Kohlenstoffgehalts

Die Auswertung des biogenen Kohlenstoffgehalts „biogenic carbon content“ berücksichtigt nur die Module A1-A3 (Herstellung). Die nachwachsenden Rohstoffe können in unterschiedlichen Bauteilen des Gebäudes vertreten sein, z. B.

- als Primärkonstruktion der tragenden Bauteile wie Stützen, Deckenbalken, Unterzüge oder Dachsparren
- als Ausbaukonstruktion für Wandbekleidungen, Türen, Bodenbeläge oder Treppen.

Bisher bestehen keine allgemeingültigen Regeln für die Auswahl der Bauteile, die bei der Ermittlung des biogenen Kohlenstoffgehalts zu erfassen sind. Das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundes führt in dem Steckbrief 1.1.7 z. B. Bauteile wie Fenster, Türen, Böden, Wände, Treppen und feste Einbauten auf (BNB, 2017).

Das Holzbauförderprogramm des Landes Bayern dagegen fördert nicht Deckenbekleidungen, Bodenbeläge, Einbaumöbel, Fenster, Türen oder Einbaumöbel (BayFHolz:6, 2023) (BayFHolz:6, 2023).

In der vorliegenden Studie wurden alle nachwachsenden Rohstoffe in den Bauteilen nach der Definition des BNB-Steckbriefs erfasst.

Bei Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen ist darauf zu achten, dass zwischen dem holzbasierten Anteil und den nicht holzbasierten Zusatzstoffen (z. B. Klebstoffe, Brandschutzmittel) unterschieden wird. Zusätzlich ist der Wassergehalt des holzbasierten Materials zu berücksichtigen. Für diese Unterscheidung beinhaltet die zur Berechnung eingesetzte Materialdatenbank zusätzlich zu den oben genannten Werten spezielle Daten für nachwachsende Rohstoffe:

- Rohdichte mit durchschnittlicher Holzfeuchte mit Zusatzstoffen

- Rohdichte mit durchschnittlicher Holzfeuchte ohne Zusatzstoffe
- Rohdichte atro

Die Rohdichte atro bezeichnet die Masse des biogenen Materials ohne Wassergehalt. Dies ist die korrekte Basis der Berechnung und sollte daher im Rahmen von QNG verwendet werden. Andernfalls werden ca. 10 – 14 % Wassergehalt mitbilanziert.

10.9.1 Absolute und flächenbezogene Masse verbauter nachwachsender Rohstoffe

Die ausgewählten Gebäude wurden bereits im Abschnitt 10.80. beschrieben. Die absolute Menge verbauter nachwachsender Rohstoffe (NAWARO) in den Gebäuden ist sehr unterschiedlich und steht nur bedingt im Zusammenhang mit der gesamten Stoffmasse. Auffällig ist das Objekt 19-MFH-6-KG-B, das keinerlei nachwachsende Rohstoffe aufweist – siehe auch Abbildung 92.

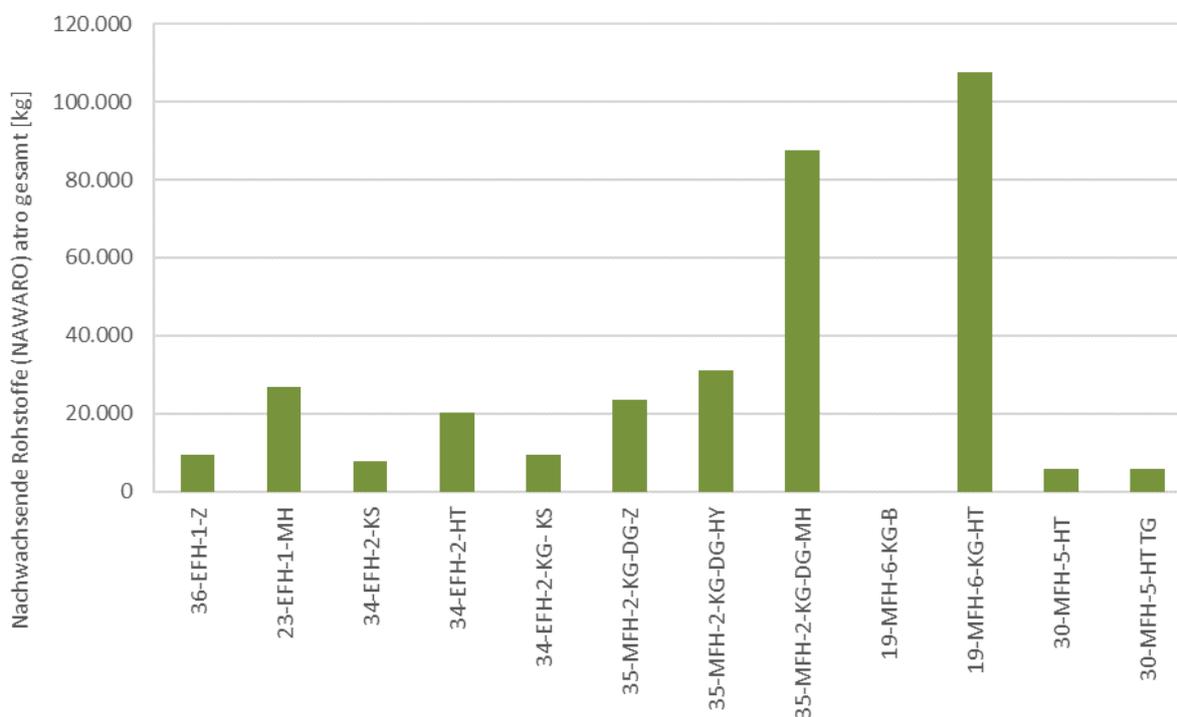


Abbildung 92: Stoffmasse der nachwachsenden Rohstoffe in den untersuchten Gebäuden in kg

Für eine vergleichende Betrachtung wurde der Kennwert $\text{kg/m}^2\text{NRF}$ gebildet. Ähnlich wie beim Kennwert der gesamten Stoffmasse hat die Bauweise der Primärkonstruktionen aus nachwachsenden Rohstoffen einen wesentlichen Einfluss auf die erreichbare Größe (Gebäude 23, 34-HT, 35-MH, 19-HT). Siehe Abbildung 93.

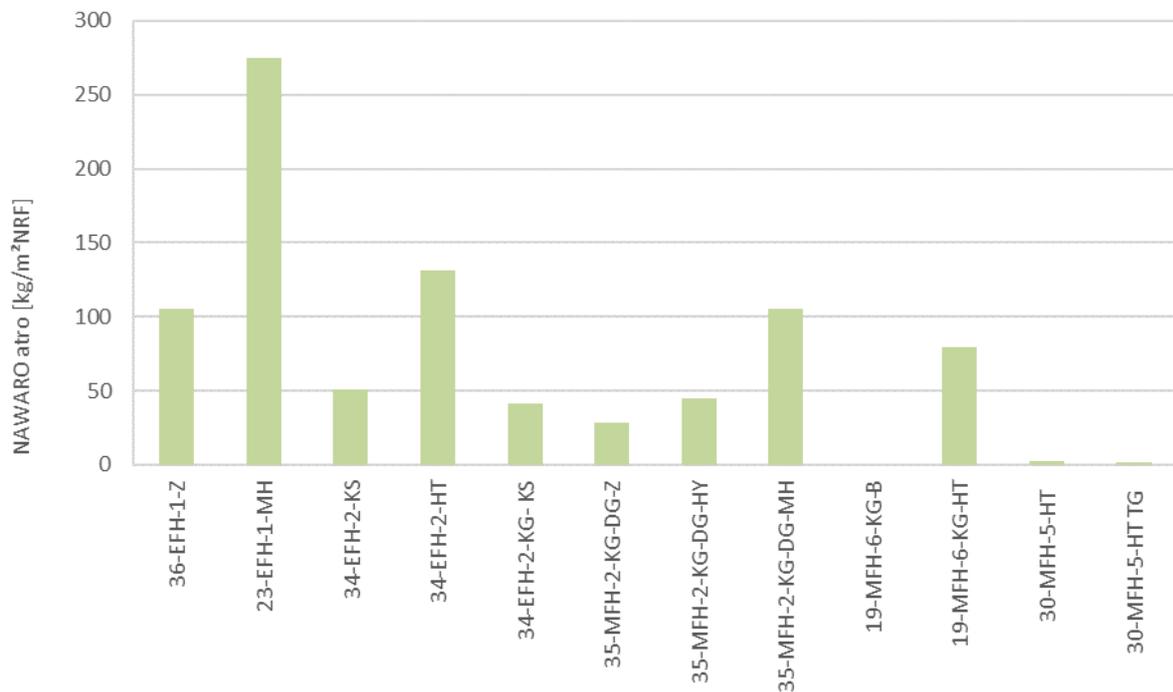


Abbildung 93: Flächenbezogene Stoffmasse der nachwachsenden Rohstoffe in den Gebäuden in kg/m²NRF

Ein weiterer Kennwert lässt sich aus dem prozentualen Anteil der nachwachsenden Rohstoffe an der gesamten Stoffmasse bilden. Die starken Unterschiede zwischen mineralischer Bauweise, Hybridbauweise, Holztafelbauweise und Massivholzbauweise werden deutlich. Siehe Abbildung 94.

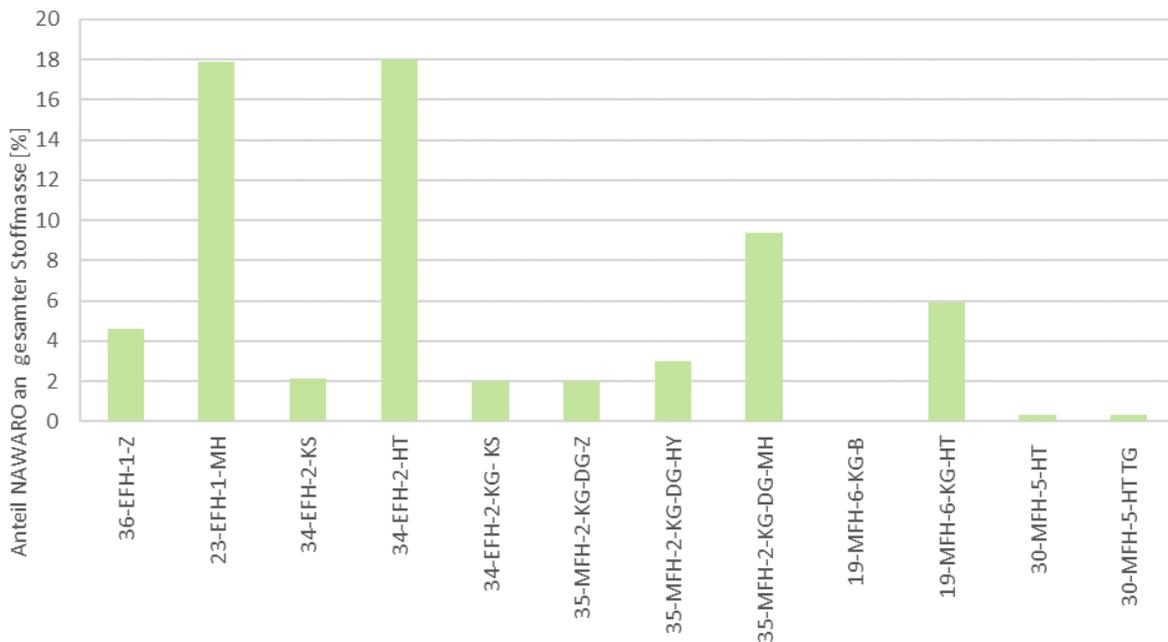


Abbildung 94: Anteil der nachwachsenden Rohstoffe an der gesamten Masse der Gebäude

Die Überlagerung der absoluten Masse der nachwachsenden Rohstoffe (dunkelblaue Säulen) mit den flächenbezogenen Anteilen (hellblaue Säulen) in Abbildung 95 zeigen die Auswirkungen unterschiedlicher Bauweisen auf den Rohstoffeinsatz auf.

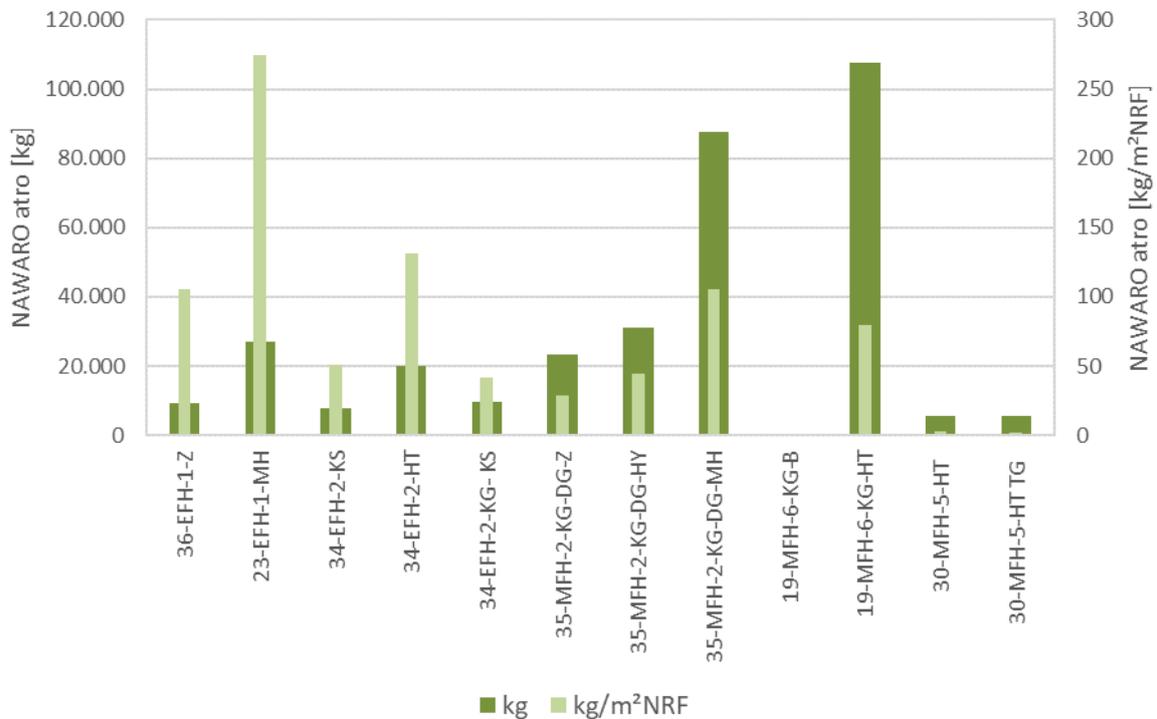


Abbildung 95: Absolute und flächenbezogene Masse verbauter nachwachsender Rohstoffe in den Gebäuden

10.9.2 Biogener Kohlenstoffgehalt

Der biogene Kohlenstoffgehalt, z. B. eines Kubikmeters Holz, wird in dieser Studie mit den in der ÖKOBAUDAT angegebenen Werten in kg C je funktionale Einheit auf Basis der atro-Rohdichte ermittelt.

Die Größenordnung der erreichten Werte für die ausgewählten Objekte folgt dem Kennwert der Massenerfassung – siehe auch Abbildung 96.

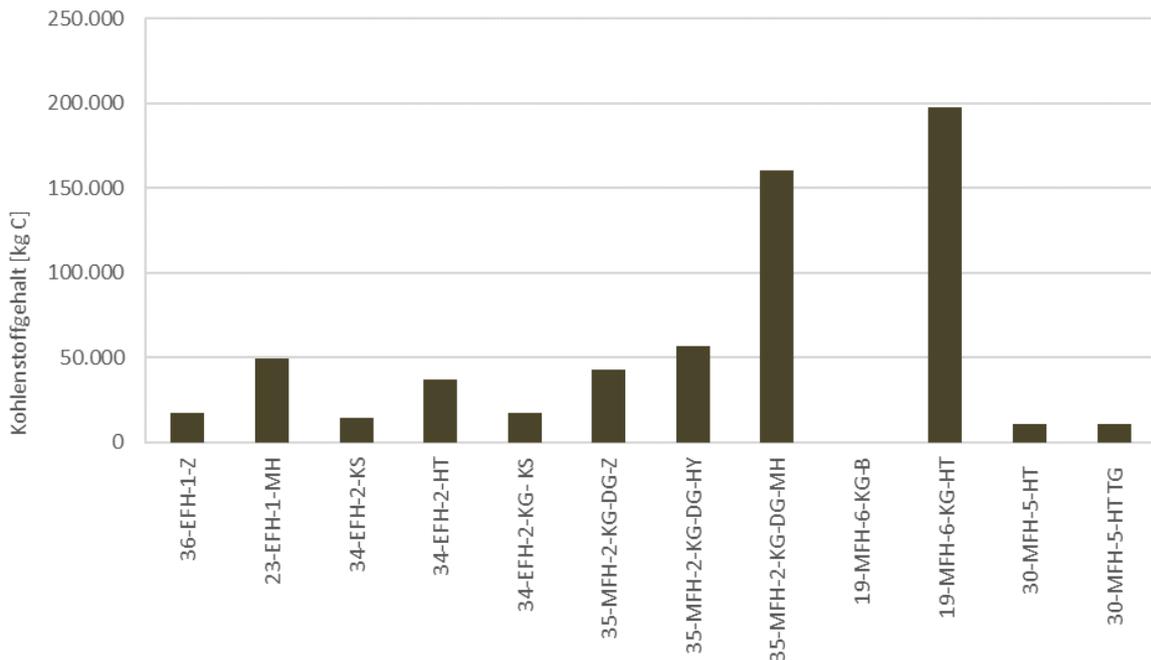


Abbildung 96: Kohlenstoffgehalt der nachwachsenden Rohstoffe der Gebäude

Die Menge des Kohlenstoffgehalts in kg C/m²NRF in Abbildung 97 gibt einen eindeutigen Hinweis auf die Verwendung der nachwachsenden Rohstoffe in der Primärkonstruktion. Bei dem kleinen Gebäude 36-EFH-1-Z in mineralischer Bauweise ist dies die Dachkonstruktion, bei den Gebäuden 23, 34, 35, 19 der Einsatz der nachwachsenden Rohstoffe in der gesamten Tragkonstruktion der Decken und der Außen- bzw. Innenwände.

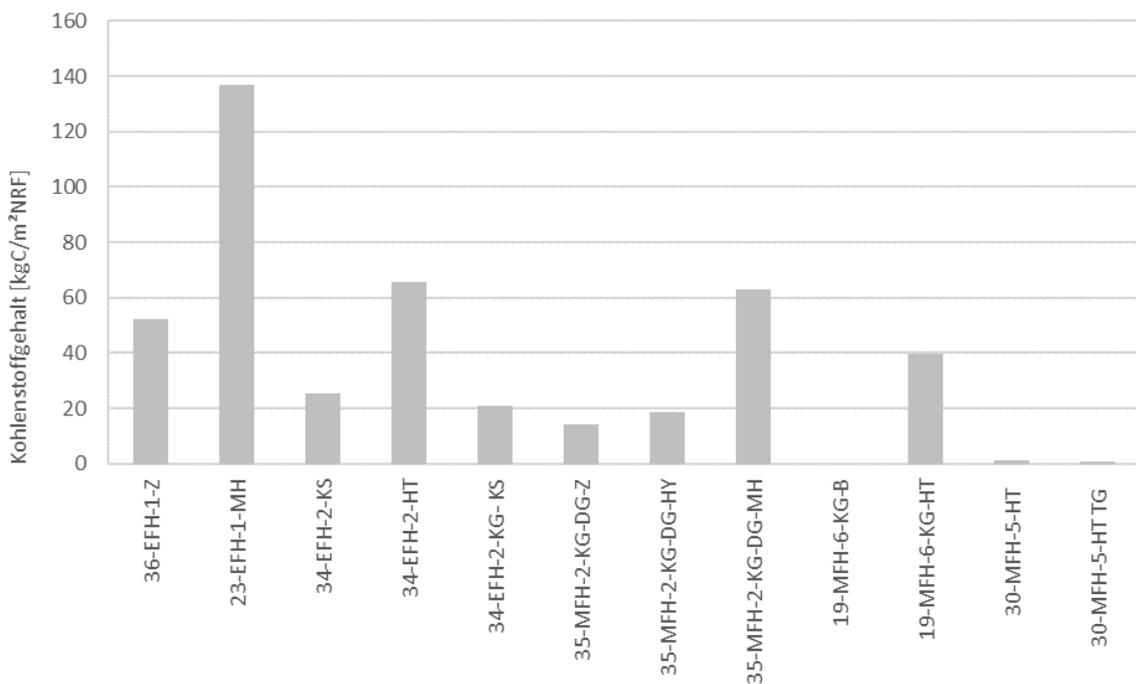


Abbildung 97: Kohlenstoffgehalt der nachwachsenden Rohstoffe der Gebäude

Die Angabe der Masse oder des biogenen Kohlenstoffgehalts der nachwachsenden Rohstoffe wird bereits seit einigen Jahren für Förderprogramme in Städten wie München oder Hamburg herangezogen. Das erwähnte bayerische Förderprogramm bezieht sich auf die Menge des eingelagerten biogenen Kohlenstoffs umgerechnet auf kg CO_{2e} biogenic als Zielgröße.

Informative Angaben zum biogenen Kohlenstoffgehalt könnten künftig unter Umständen Nebenanforderungen zur Begrenzung von GWP fossil für den Erstaufwand (Module A1-A3) ergänzen. Vorteile und Risiken einer derartigen Vorgehensweise bedürfen einer weiteren Diskussion.

10.10 Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes

Für die Planung energieeffizienter Gebäude sind mehrere wesentliche Schritte erforderlich: die Modellierung der Gebäudehülle, die Festlegung der Haustechnik und die Definition des angestrebten energetischen Standards gemäß den Anforderungen des GEG sowie verschiedener Förderprogramme. Das energetische Niveau Effizienzhaus 55 oder Effizienzhaus 40 stellt jeweils eine Grenze dar, die den Primärenergiebedarf Q_P und den Gesamt-U-Wert (H_T' der Gebäudehülle) festlegt.

In der Ökobilanz nach DIN EN 15978 wird für den betriebsbedingten Teil nicht der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar der GEG-Berechnung verwendet, sondern der Endenergiebedarf, der unter Verwendung von Emissionsfaktoren in THG-Emissionen umgerechnet wird. Eine Reduzierung des U-Wertes eines Bauteils durch stärkere Dämmung senkt einerseits den Endenergiebedarf und damit den betriebsbedingten Teil der Ökobilanz. Gleichzeitig steigt jedoch der gebäudebezogene Energiebedarf des Gebäudes und somit der gebäudebezogene Anteil der THG-Emissionen.

Um die Auswirkungen einer Änderung der Gebäudehülle (gebäudebezogener Anteil der Ökobilanz) und des Endenergiebedarfs (betriebsbedingter Anteil) zu untersuchen, wurden bei neun Gebäuden Modelle erstellt, die zu einer Reduzierung des H_T' -Wertes durch den verbesserten Wärmeschutz von Einzelbauteilen führen.

Folgende neun Gebäude wurden untersucht und nach NRF sortiert:

- 05-EFH-1-MB
- 04-MFH-2-KG-DG-HT
- 22-MFH-2-KG-DG-HT
- 20-MFH-3-KG-B
- 20-MFH-3-KG-HT
- 15-MFH-3-KG-HY
- 33-MFH-4-KG-KS
- 21-MFH-4-KG-KS
- 21-MFH-4-KG-HT/MH

Die Auswahl der Gebäude erfolgte aufgrund ihrer Nettoraumfläche und der Vielfalt der Bauweisen. Keines der ausgewählten Gebäude verfügte über eine PV-Anlage. Bei jedem Gebäude wurden die Gebäudehüllenelemente so verbessert, dass der H_T' -Wert den QNG-Anforderungen entspricht. Diese Variationen werden in den folgenden Betrachtungen mit dem Bezeichner 'EH40-HT-MOD' benannt. Für die Gebäude 20-MFH-3-KG und 21-MFH-4-KG werden zusätzlich unterschiedliche Konstruktionsweisen (siehe Tabelle 4) betrachtet. Die Nettoraumflächen der ausgewählten Gebäude sind in Abbildung 98 dargestellt.

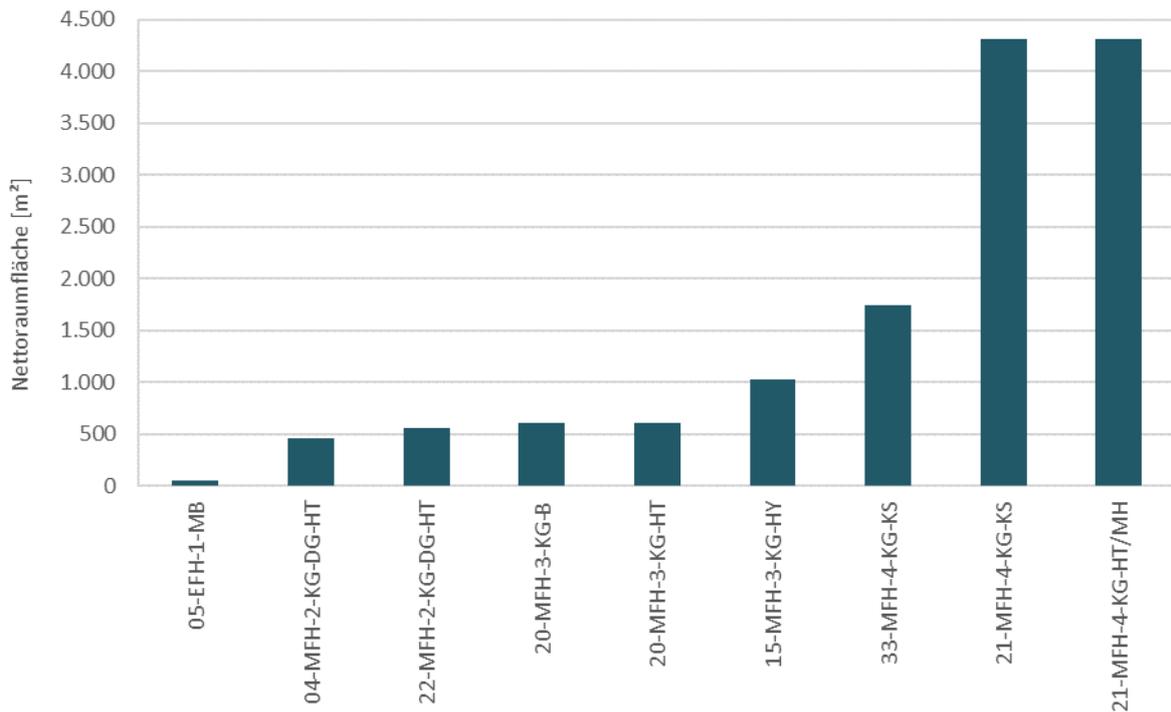


Abbildung 98: Nettoraumflächen – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude

In Abbildung 99 ist der Transmissionswärmetransferkoeffizient bezogen auf den Referenzfall nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) dargestellt ("ggü. Ref."), d. h. die Ergebnisse der ursprünglichen Plandaten ("wie gebaut") sowie der verbesserten Gebäudehülle ("MOD"). Die Wärmedurchgangskoeffizienten wurden für die modifizierten Fälle auf das Niveau Effizienzhaus 40 (EH 40) verbessert. Bei diesem Niveau entspricht der Anforderungswert

- für den Primärenergiebedarf 40 % und
- für den Transmissionswärmetransferkoeffizient 55 %

gegenüber der Referenzausführung gemäß GEG. In den vorliegenden Berechnungen wurde nur der Anforderungswert für die Transmissionswärme in Ansatz gebracht. Für die Plandaten ergeben sich Niveaus von 63 bis 82 % bezogen auf die GEG-Referenzausführung.

Die Verbesserung des Transmissionswärmetransferkoeffizienten gegenüber den Plandaten liegt im Bereich von 13 bis 34 %.

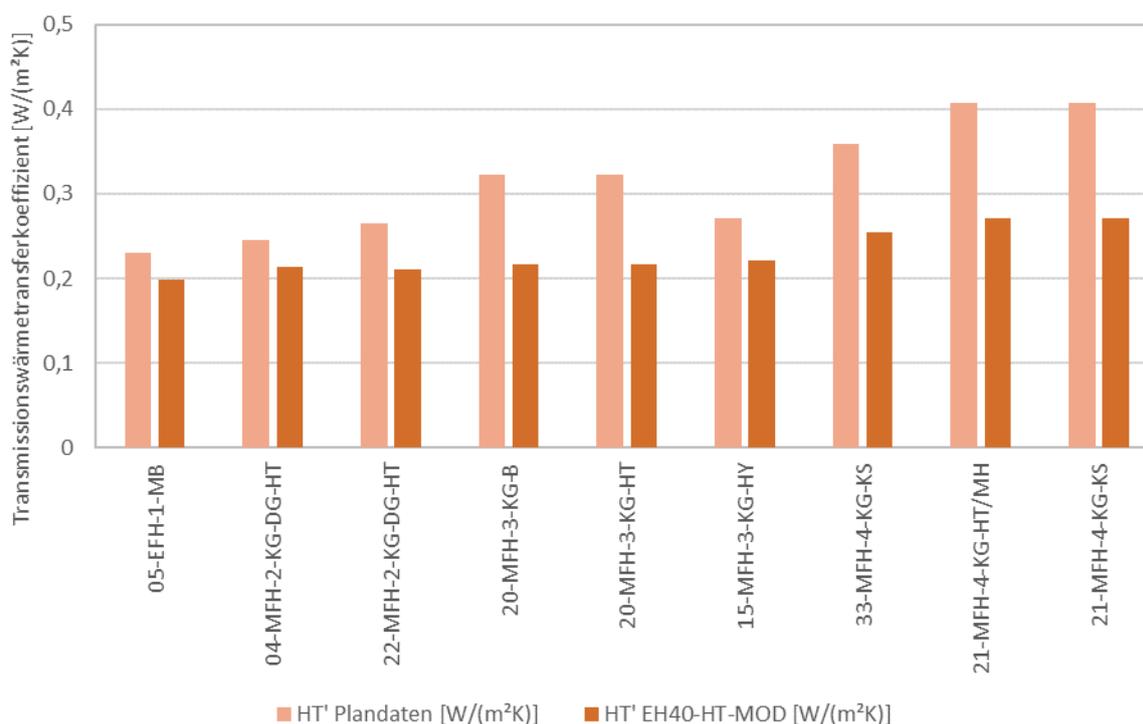


Abbildung 99: Transmissionswärmetransferkoeffizienten – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude

Mit der Modifizierung der Gebäudehülle ergeben sich die in Abbildung 100 dargestellten Ergebnisse für den Primärenergiebedarf. Es zeigt sich, dass bei verbesserter Gebäudehülle die Reduktion des Primärenergiebedarfs erwartungsgemäß eher gering ist. Die Verbesserung gegenüber den Plandaten liegt zwischen 6 und 18 %.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass das Niveau EH 40 hinsichtlich der Anforderung an den Primärenergiebedarf nur bei den drei großen Gebäuden erreicht wird. Dort liegen die Ergebnisse gegenüber der Referenzausführung unter 40 %. Während die kleineren Gebäude mit Wärmepumpen ausgestattet sind, sind diese Gebäude mit Fernwärme versorgt. Die Primärenergiefaktoren liegen bei 0,2 (21-MFH-x) bzw. 0,37 (33-MFH-4-KG-KS).

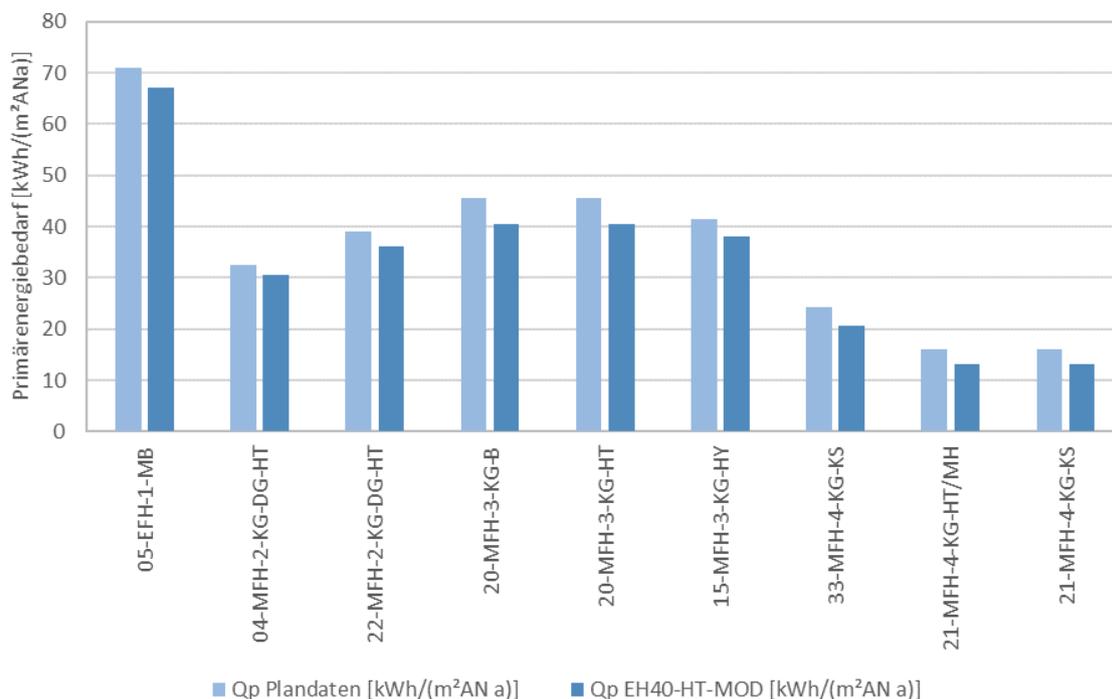


Abbildung 100: Betriebsbedingte Anteile der Primärenergiebedarfe, nicht erneuerbar (Modul B6.1) – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude

Die in Abbildung 101 dargestellten Endenergiebedarfe liegen im Mittel um etwa 12 % unter den Ergebnissen mit Plandaten und zeigen einen ähnlichen Trend wie beim Primärenergiebedarf, dort liegt die Verbesserung im Mittel bei 11 %.

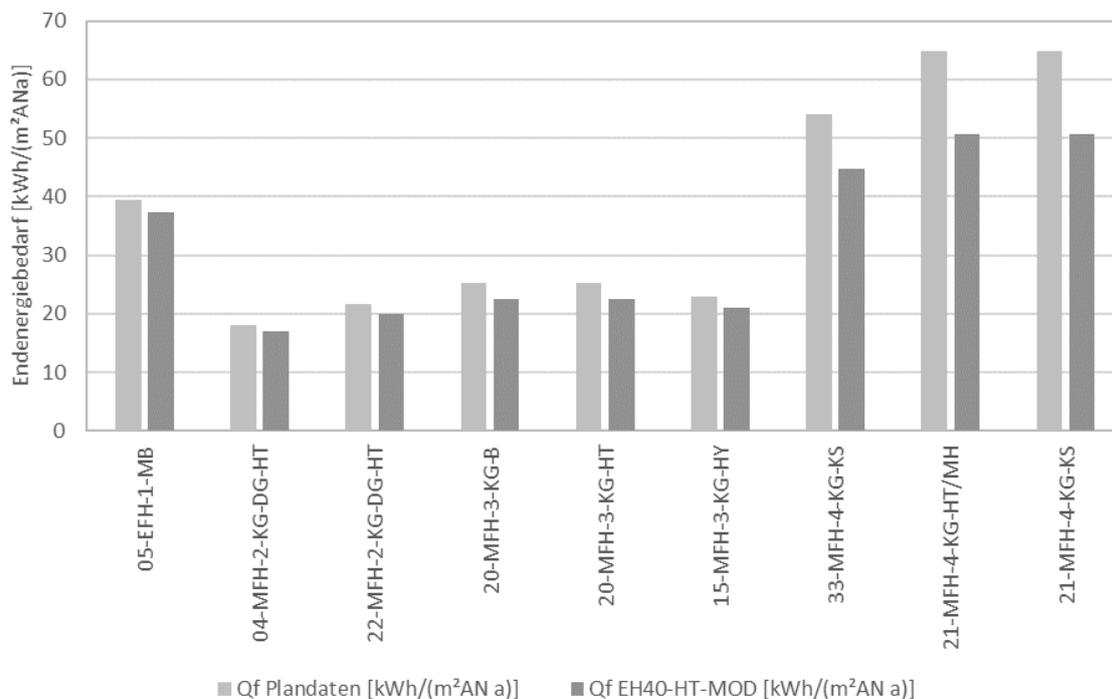


Abbildung 101: Betriebsbedingte Anteile der Endenergiebedarfe (Modul B6.1) – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude

Abbildung 102 zeigt den gebäudebezogenen Anteil der THG-Emissionen im Lebenszyklus.

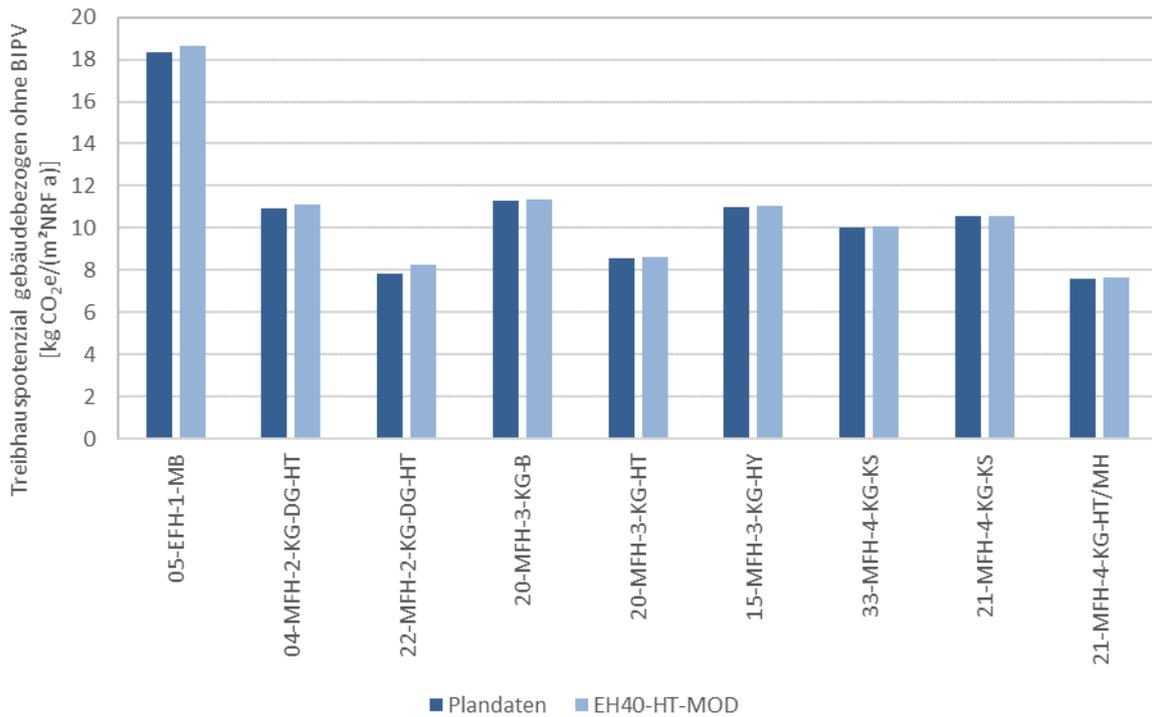


Abbildung 102: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude

Abbildung 103 zeigt den betriebs- und nutzungsbedingten Anteil der THG-Emissionen im Lebenszyklus.

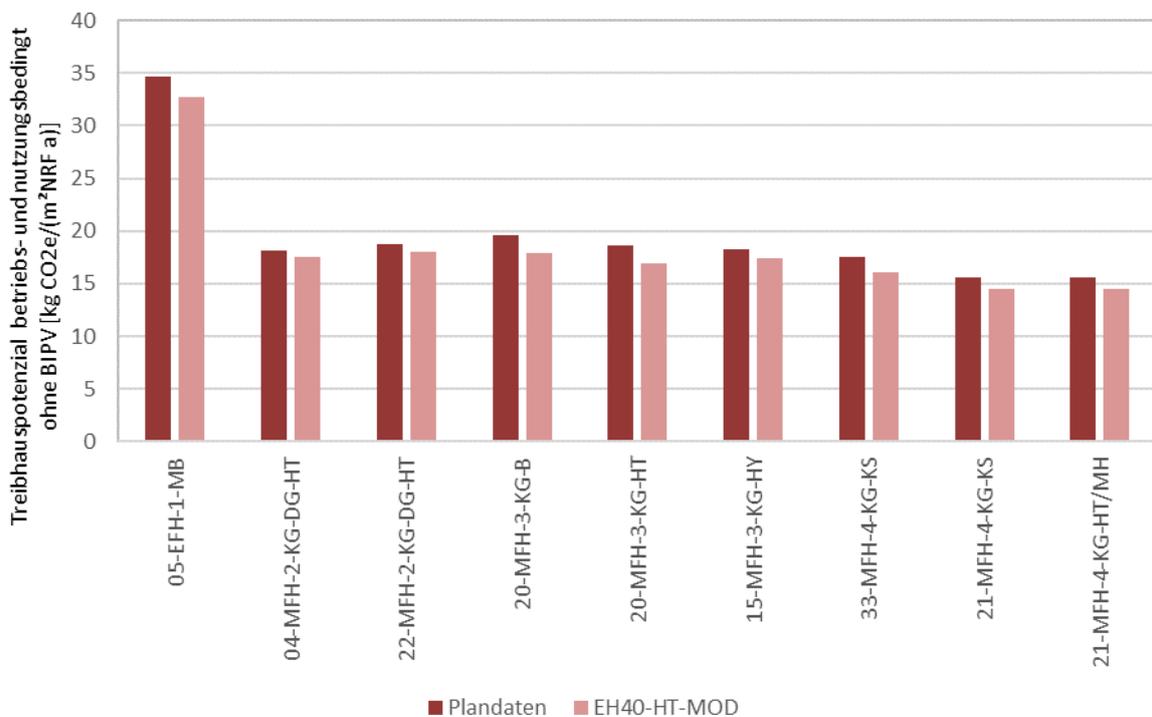


Abbildung 103: Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der THG-Emissionen (Module B6.1 und B6.3) – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude

Für jedes Gebäude ergibt sich eine kleine Steigerung durch den Einbau stärkerer Dämmschichten. Die Zunahme des Treibhauspotenzials des gebäudebezogenen Anteils liegt im Bereich von 0,04 bis 0,41 %. Dabei haben die kleineren Gebäude prozentual den höchsten Zuwachs, die größeren Gebäude den kleinsten.

Umgekehrt verhält es sich mit dem betriebsbedingten Anteil des Treibhauspotenzials. Dieser nimmt bei jedem der berechneten Gebäude durch den verbesserten U-Wert der Bauteile ab. Die Reduzierung des Treibhauspotenzials des betriebsbedingten Anteils beträgt 0,6 % bis 1,72 %. Dabei haben die kleineren Gebäude prozentual die kleinste Reduktion, die größeren Gebäude die größte. Die Höhe der Reduktion wird zusätzlich vom Ausgangsniveau des Gebäudes bestimmt.

Die Prozentzahlen zeigen deutlich, dass sich der materielle Aufwand am Gebäude im Verhältnis zu den effektiven Einsparungen beim Betrieb „lohnt“.

Abbildung 104 und Abbildung 105 zeigen den Effekt der Maßnahmen in Bezug auf die Erfüllung der QNG-Anforderungen bezüglich der beiden Indikatoren „Primärenergie, nicht erneuerbar“ (PE ne) und THG-Emissionen. Die dargestellten Werte fassen die gebäudebezogenen mit den betriebs- und nutzungsbedingten Anteilen zusammen.

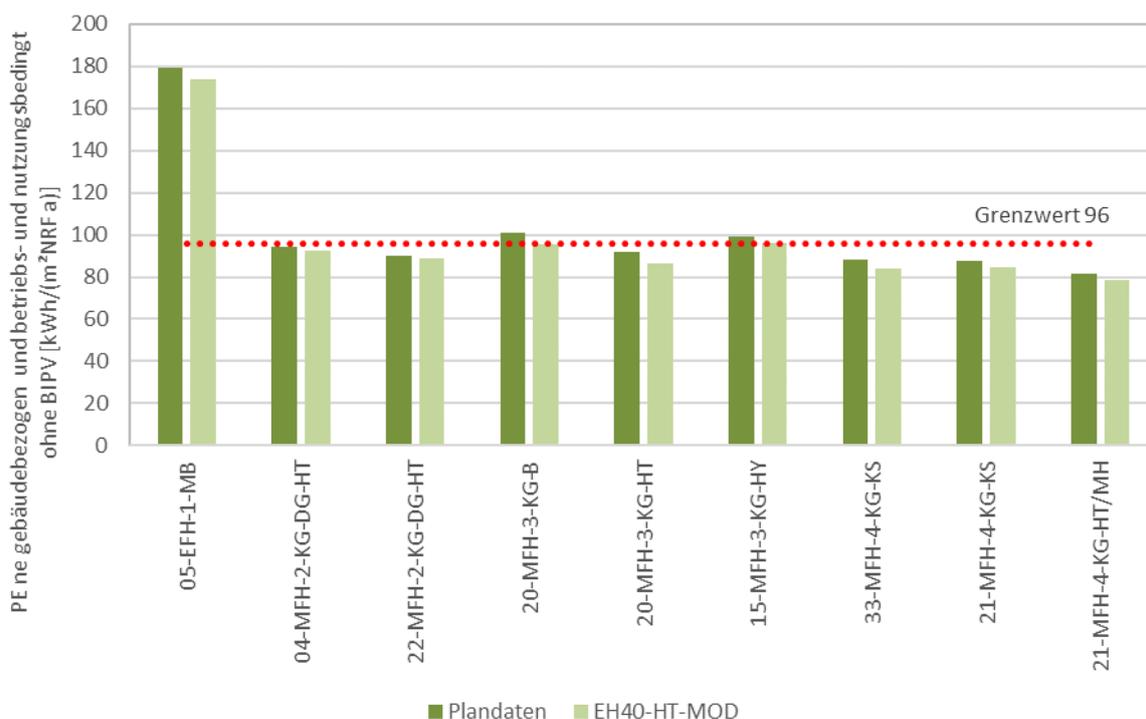


Abbildung 104: Gebäudebezogene und betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile an nicht erneuerbarer Primärenergie – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude

Beim Indikator Primärenergie, nicht erneuerbar ergibt sich keine Veränderung der Einhaltung des Grenzwertes. Objekte, die nach Plandaten die QNG-Anforderung nicht erfüllt haben, können den Grenzwert nach der Verbesserung des Wärmeschutzniveaus nicht unterschreiten.

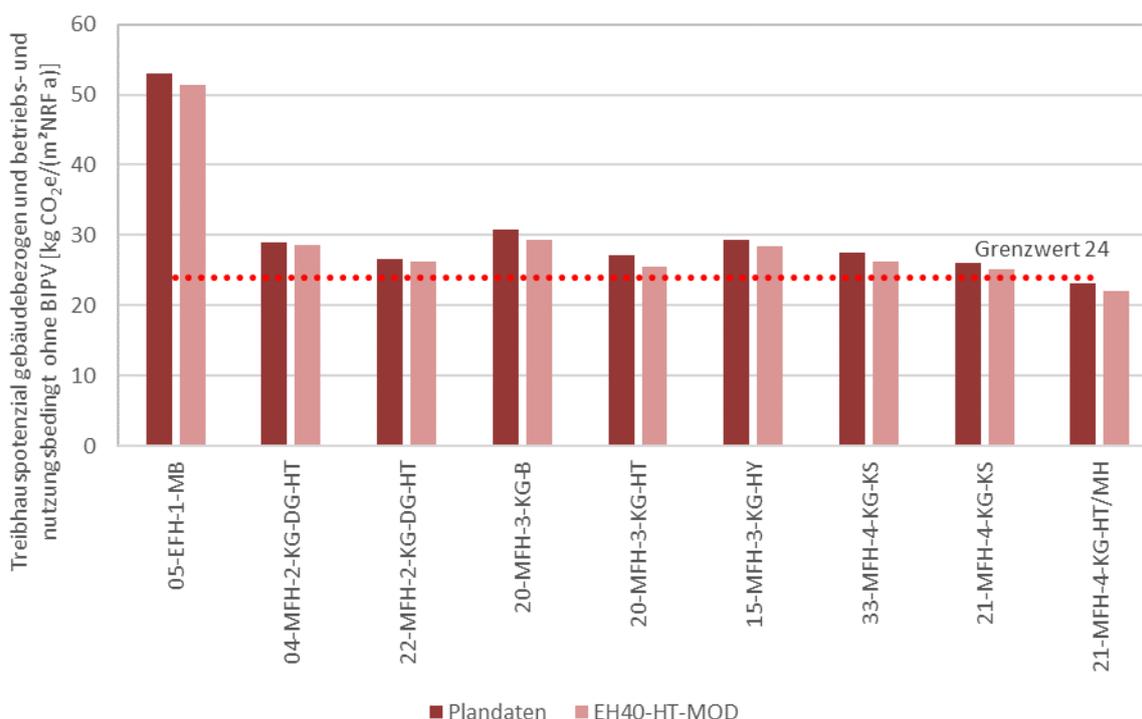


Abbildung 105: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude

Dasselbe Ergebnis zeigt sich für den Indikator Treibhauspotenzial. Es ergibt sich keine Veränderung des vorherigen Zustandes. Gebäude, die vorher die QNG-Anforderung nicht erfüllt haben, können den Grenzwert nach der Verbesserung des Endenergiebedarfs nicht unterschreiten.

Insgesamt führt diese Veränderung nicht zu einer deutlich quantifizierbaren Verbesserung für den Gesamtwert „Gebäude und Betrieb“ im Sinne der Summe aus dem gebäudebezogenen und betriebs- und nutzungsbedingten Anteil in der Ökobilanz. Für dieses Ergebnis gibt es im Wesentlichen drei Gründe:

- Die Gebäude sind im Ausgangszustand bereits energetisch vorteilhaft modelliert, entweder durch relativ niedrige U-Werte oder den Betrieb mit Wärmepumpe oder Fernwärme mit Kraft-Wärmekopplung.
- Eine Verbesserung wird durch eine Reduktion der U-Werte der Bauteile der Gebäudehülle von z. B. 0,20 W/(m²K) auf 0,10 W/(m²K) erreicht und erfordert Stärken bei den Dämmstoffschichten von 30 bis 40 cm, die in der Ökobilanz berücksichtigt werden müssen. Nicht berücksichtigt bei den Berechnungen wird eine mögliche Reduktion der Nettoraum- oder Wohnfläche.
- Die Reduktion des Endenergiebedarfs von 1 bis 2 kWh/(m²a) wirkt nur auf die Heizung. Die Überprüfung der Reduktion des Gesamtenergiebedarfs ergab 5,6 % bis 21,6 %. Der Nutzenergiebedarf von zusätzlichen 20 kWh/(m²NRF*a) bleibt ebenfalls unbeeinflusst. Der Einfluss auf das Gesamtergebnis bleibt daher relativ gering.

Da der Einfluss des Endenergiebedarfs auf die Ökobilanz des gesamten Gebäudes anteilig bei 40 % - 65 % liegt, haben die durchgeführten Maßnahmen zur Reduktion des Endenergiebedarfs nicht den ggf. erwünschten Effekt der Grenzwertunterschreitung für das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude.

Die Auswertungen zeigen, dass die oftmals genannte Kritik „der Mehraufwand durch den Einsatz von Dämmung lohnt sich bei Betrachtung einer Gesamtbilanz nicht“ nicht zutreffend ist. Die gesamten THG-

Emissionen (Summe aus gebäudebezogenen sowie betriebs- und nutzungsbedingten Anteilen) sind in allen betrachteten Varianten des verbesserten Wärmeschutzes geringer als im Ausgangsfall. In Einzelfällen können allerdings geringste Verbesserungen dazu führen, dass ein Anforderungswert dadurch eingehalten werden kann.

Abbildung 106 zeigt die in Abbildung 105 dargestellten THG-Emissionen differenziert nach gebäudebezogenen sowie für die Module B6.1 und B6.3 ermittelten betriebs- und nutzungsbedingten Anteilen der THG-Emissionen. Die Betrachtung erfolgt für die im Rahmen dieses Abschnitts ausgewählten Gebäude.

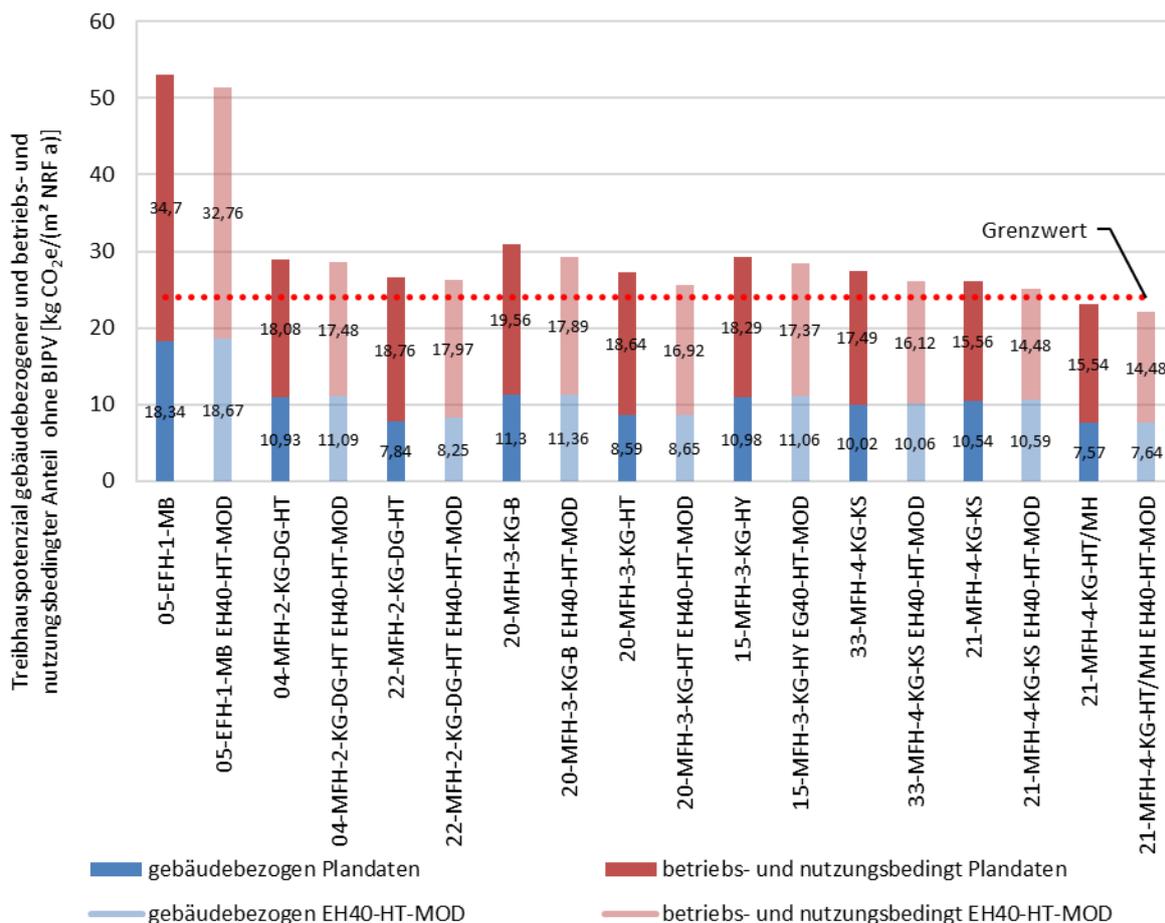


Abbildung 106: Gebäudebezogene und betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude ohne BIPV

Der Anteil der gebäudebezogenen THG-Emissionen liegt bei der obigen Auswertung von Gebäuden ohne BIPV unter Berücksichtigung des nutzungsbedingten Energiebedarfs (B6.3) im Mittel bei rund 36 % der Gesamt-THG-Emissionen. Im Rahmen der obigen Bilanz überwiegt damit noch der betriebs- und nutzungsbedingte Anteil. Bei Auswertung von Gebäuden mit BIPV verringert sich dieser Anteil, siehe hierzu Abschnitt 10.5.

10.11 Einfluss BIPV

10.11.1 Anforderungen aus QNG mit Bezug auf die Bilanzierungsregeln des GEG

Die Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien ist im Gebäudeenergiegesetz 2024 über § 23 geregelt. Für die Berechnung der monatlichen Erträge der gebäudeintegrierten Photovoltaik-Anlage (BIPV) wird dabei auf DIN V 18599-9:2018-09 verwiesen in Verbindung mit der solaren Strahlungsenergie aus Teil 10 der Norm (Klimaregion Potsdam). Für die Kennwerte der BIPV-Module (Nennleistung) sind Standardwerte anzusetzen. Die in der Norm formulierten Ansätze für Nutzerstrom (Teil 10) und BIPV-Eigennutzung (Teil 9) werden nicht in Bezug genommen. Der Nutzerstrom ist im Bilanzrahmen des GEG nicht enthalten, findet also keine Berücksichtigung. Für die „Berechnung der abzugsfähigen Strommenge“ bei der Bestimmung des Primärenergiebedarfs wird der monatliche BIPV-Ertrag dem gebäudeseitig anfallenden Strombedarf gegenübergestellt. Bei Wohnnutzung umfasst der Strombedarf die Bereiche Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und Hilfsenergien.

Der Einfluss der BIPV-Anrechnung auf die Einhaltung der Anforderungen gemäß GEG ist in Abbildung 107 dargestellt. Dort sind die Ergebnisse der Neuberechnung der 32 Gebäude, vergl. Tabelle 5, ("wie gebaut") auf Grundlage der DIN V 18599 aufgetragen, d. h. der prozentuale Anteil der Anforderungsgrößen Primärenergiebedarf Q_p und spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T gegenüber der Berechnung des Referenzgebäudes gemäß GEG.

Die Darstellung des Balkens Primärenergiebedarf ist zweigeteilt, d. h. der untere, dunklere Teil stellt das Ergebnis inkl. Berücksichtigung BIPV dar, der hellere Teil darüber entspricht der gemäß GEG § 23 (2) abzugsfähigen Strommenge (das obere Ende des gestrichelten Balkens steht somit für das primärenergetische Bilanzergebnis ohne BIPV).

Für die Bewertung der im Folgenden dargestellten Ergebnisse gelten die durch QNG formulierten Anforderungen, wonach die Anforderungswerte eines Effizienzhaus 40, also 40 % $Q_{p,Ref}$ sowie 55 % $H_{T,Ref}$ einzuhalten sind.

Es zeigt sich, dass die Anforderung 40 % $Q_{p,Ref}$ bei neun Gebäude nur durch die Anrechnung der BIPV-Eigennutzung erreicht wird, im Diagramm markiert mit "x".

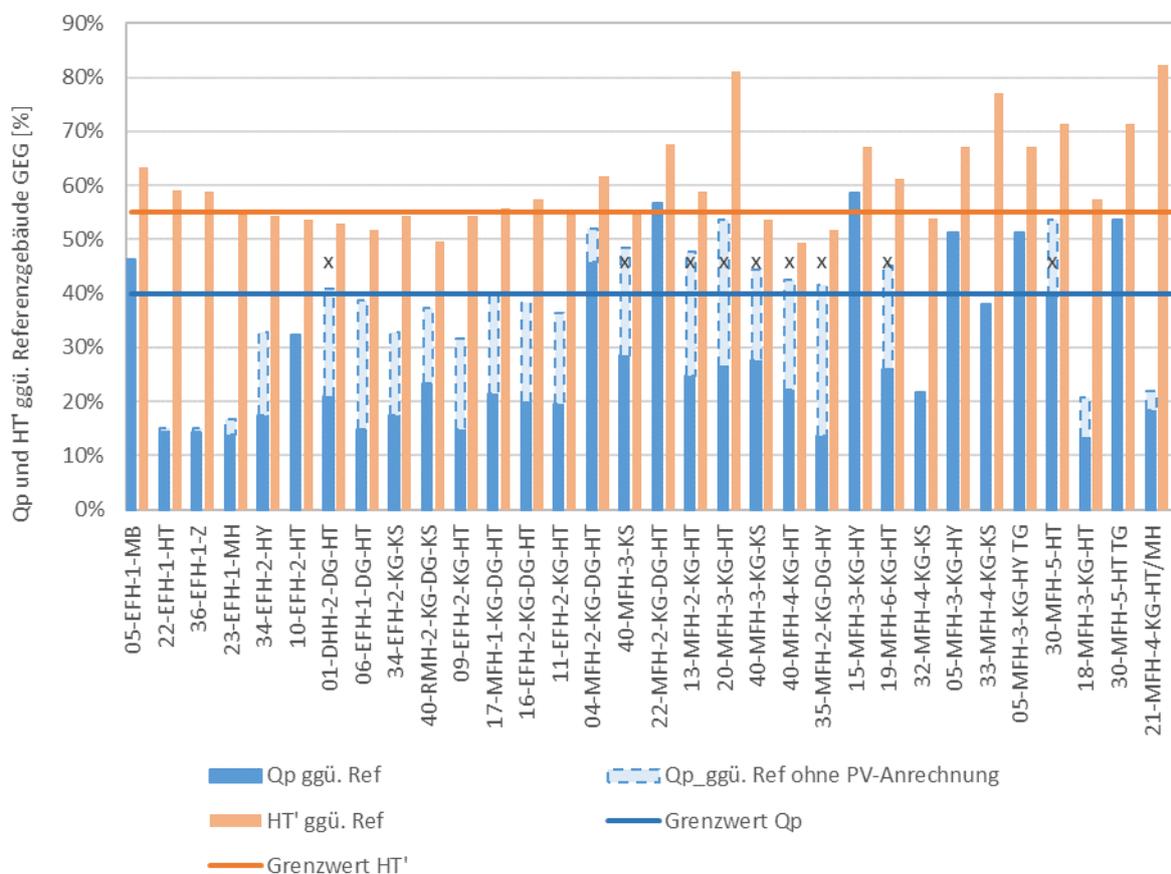


Abbildung 107: Anforderungen GEG an Q_p und H_r' (Grenzwerte) und Ergebnisse gegenüber dem GEG-Referenzgebäude – für die Gebäude in Tabelle 5

Der Primärenergiebedarf (Flächenbezug NRF) und die durch BIPV-Ertrag abzugsfähige Strommenge (Eigennutzung Q_p) gem. GEG § 23 Abs. 2 sind in Abbildung 108 für die betrachteten Gebäude aufgetragen.

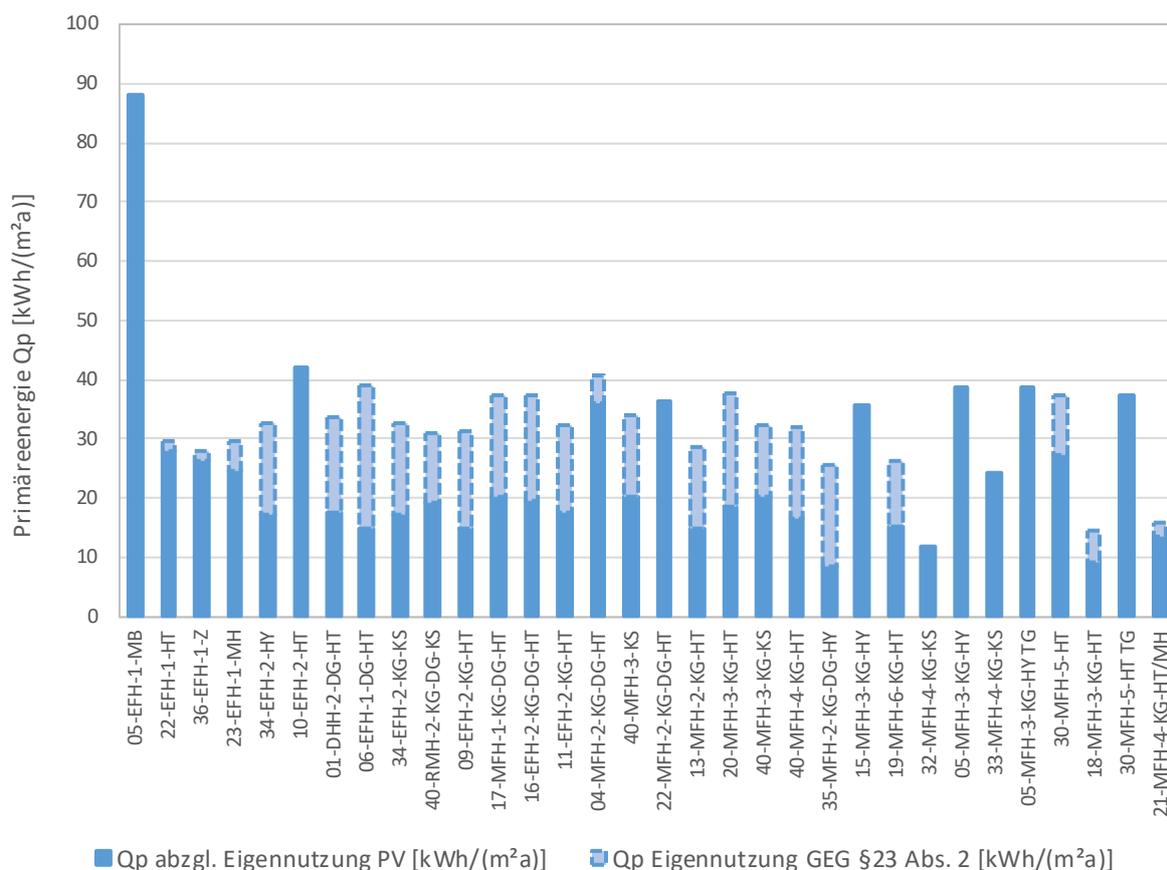


Abbildung 108: Primärenergiebedarf Q_p und BIPV-Anrechnung – für die Gebäude in Tabelle 5

10.11.2 Modulgrößen, Randbedingungen

Der Anteil des innerhalb eines Gebäudes selbst genutzten Stroms hängt wesentlich von der Größe der BIPV-Module ab sowie davon, in welchem Verhältnis diese Größe zum anfallenden Strombedarf des Gebäudes steht.

Die Größe der Module bzw. deren Nennleistung entspricht den Angaben "wie gebaut", sofern in den Unterlagen verfügbar. Für die Art der Belegung (Orientierung, Neigung) wurden z. T. Annahmen getroffen auf Grundlage der angegebenen Formen und Dachneigungen. Bei Satteldächern wurde die jeweils günstigere Orientierung gewählt, d. h. Süd oder anteilig Ost/West, bei Flachdächern einheitlich Ost/West mit 10° Neigung.

In Abbildung 109 sind nur die Gebäude aufgetragen, für welche eine BIPV-Installation Berücksichtigung findet. Die Größe der Module ist über die mittlere Peakleistung $P_{pk,m}$ angegeben (über einen Zeitraum von 25 Jahren, Norm-Prüfbedingungen inkl. Degradation) im Verhältnis zur Gebäudegröße (Nettogrundfläche A_{NGF} bzw. Nettoraumfläche NRF). Die Werte sind (in Orange) in Bezug zur rechten Ordinate aufgetragen. Es zeigt sich, dass auffällig viele kleine Anlagen verbaut sind (mit Werten unter 0,04 kW pro m^2 NRF deutlich kleiner als durchschnittliche BIPV-Installationen auf Einfamilienhäusern mit rund 7 kW, was z. B. bei unterstellten mittleren 140 m^2 NRF einem spezifischen Wert von 0,05 kW pro m^2 NRF entspricht).

Die rechnerischen PV-Erträge (blaue Balken, Primärachse links) sind bezogen auf die Peakleistung dargestellt und liegen mit Werten von im Mittel 740 kWh pro kW und Jahr im erwartbaren Bereich.

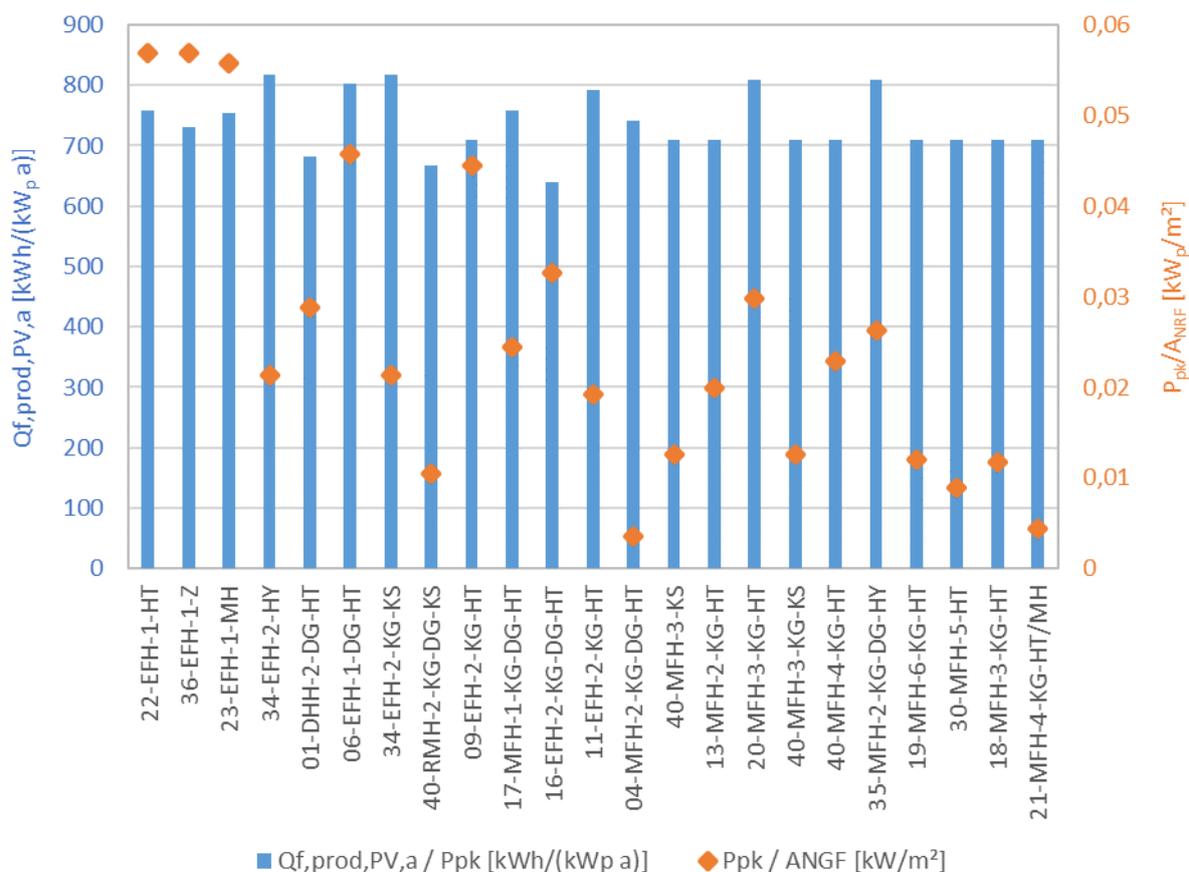


Abbildung 109: BIPV-Belegung und BIPV-Ertrag – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage

Weitere Auswertungen u. a. zu unterschiedlichen Bilanzierungsregeln erfolgen im nächsten Abschnitt 10.11.3. Eine detaillierte Betrachtung zu Eigennutzungsanteilen und Autarkiegraden in Abhängigkeit von der BIPV-Anlagengröße erfolgt in 10.11.3.3.

10.11.3 Bilanzierungsregeln

Für die bilanzielle Berücksichtigung von durch BIPV-Anlagen erzeugtem Strom (Ertrag, nutzbarer Anteil zur anteiligen Deckung des Eigenbedarfs und verbleibender Anteil für Netzeinspeisung) liegen aktuell unterschiedliche Ansätze vor. Im Rahmen der hier dargestellten Untersuchungen werden folgende Bilanzierungsregeln betrachtet, d. h.

- GEG: Eigennutzung (Primärenergie, § 23 Abs. 2) im Rahmen der Nachweisführung
- DIN V 18599: Nutzerstrom (Teil 10, 63 Wh/(m²NRF d) bzw. 23 kWh/(m²NRF a)) und Eigennutzung (Endenergie, Teil 9)
- DIN V 18599 i.V.m QNG: Nutzerstrom (20 kWh/(m²NRF a) nach QNG-Regeln) und Eigennutzung (Endenergie, Teil 9)

Die Berechnung des BIPV-Ertrags erfolgt in allen genannten Fällen gemäß DIN V 18599-9.

Aus den in diesem Abschnitt dokumentierten Berechnungen werden Empfehlungen für die Fortschreibung der Bilanzierungsregeln abgeleitet. Diese sind in Kapitel 18 zusammengefasst.

10.11.3.1 BIPV-Ertrag und Eigennutzungsanteil

Die Ergebnisse für den BIPV-Ertrag und den Eigennutzungsanteil gemäß der genannten drei Ansätze sind in Abbildung 110 zusammenfassend dargestellt. Der dunkle Balken links stellt dabei die zur Verfügung stehende durch PV erzeugte elektrische Energie dar. Die folgenden drei Balken stehen für die Eigennutzung gemäß dem jeweiligen Ansatz. Dabei ist zu beachten, dass die Verrechnung nach GEG bezogen auf den Primärenergiebedarf definiert ist und nicht – wie hier dargestellt – für die Endenergie. Zudem ist der GEG-Ansatz nur eingeschränkt mit den anderen Verfahren vergleichbar, da der Nutzerstrom nicht im Bilanzrahmen enthalten ist.

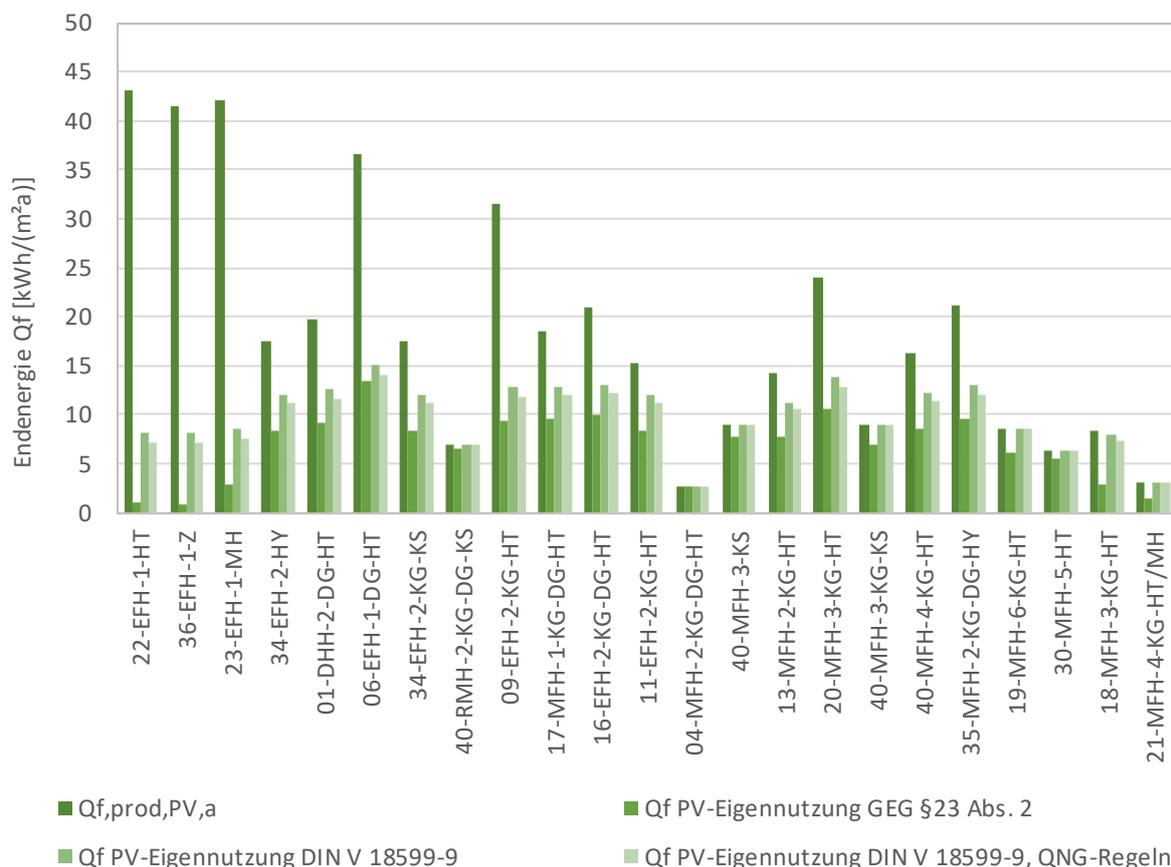


Abbildung 110: BIPV-Ertrag und Eigennutzung (Endenergie), Vergleich der drei Ansätze – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage

Die in Abbildung 111 und Abbildung 112 dargestellten Auswertungen zu Eigennutzung und Autarkiegrad ermöglichen die Visualisierung einer Verbindung zwischen BIPV-Nutzung und Gebäude. Dabei sind folgende Gegebenheiten zu berücksichtigen.

- Die ersten drei Einfamilienhäuser (links) sind mit Fernwärme versorgt, das letzte Mehrfamilienhaus (rechts) ebenfalls. Das vorletzte MFH verfügt über einen Pelletkessel (18-MFH-3-KG-HT). Alle weiteren Gebäude sind mit Wärmepumpen ausgestattet, mehrheitlich Luft-Wasser, aber auch Sole-Wasser.
- Bei einigen Gebäuden ist die Modulgröße der BIPV im Verhältnis zum Gebäude recht klein gewählt. Um Verwerfungen bei der Interpretation der Ergebnisse zu vermeiden, ist zusätzlich auf der Sekundärachse die Peakleistung bezogen auf NRF aufgetragen.
- Bei allen hier dargestellten Werten sind rechnerisch keine Batteriespeicher berücksichtigt.

Die Ergebnisse zeigen erwartungsgemäß, dass bei relativ klein dimensionierten Anlagen die Eigennutzung im Bereich von 100 % liegt. Bei größeren Anlagen ergeben sich für die Eigennutzung gemäß GEG geringere Werte, was v. a. auf den hier nicht bilanzierten Nutzerstrom zurückzuführen ist. Bei der Berechnung nach DIN V 18599-9 basiert der Unterschied der Werte auf den Regeln für den Nutzerstrom. Die Ergebnisse für den Ansatz der DIN V 18599-10 liegen im Mittel etwa 6 % über den QNG-Regeln. Dies ist auf den um 3 kWh/(m²NRF a) höheren Nutzerstrombedarf nach DIN V 18599-10 zurückzuführen. Vor dem Hintergrund der geringen Abweichungen der Ergebnisse und einer Harmonisierung der Randbedingungen wird empfohlen, die QNG-Regeln perspektivisch auf den Ansatz der Norm anzupassen. Dabei ist ebenfalls eine entsprechende Anpassung der Anforderungshöhe an den dann höheren Nutzerstrombedarf zu berücksichtigen.

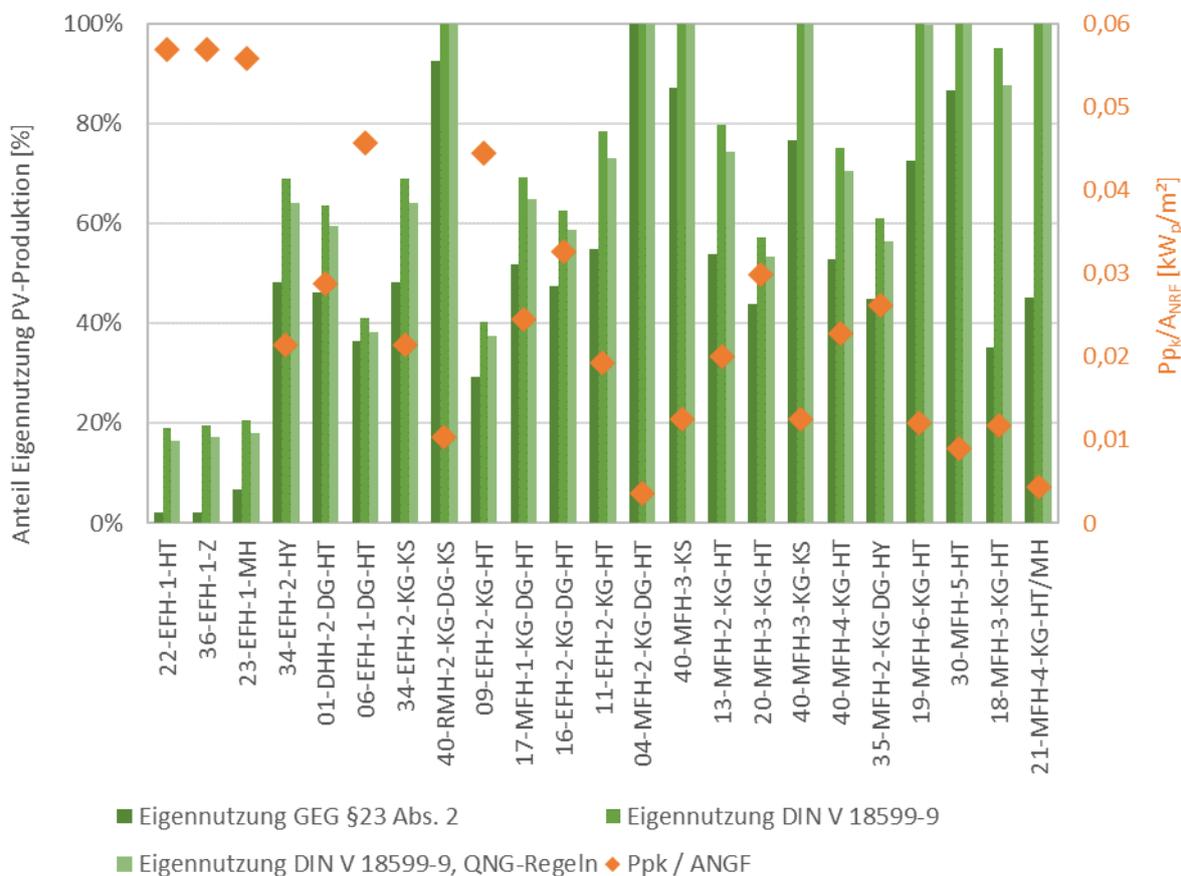


Abbildung 111: Anteil Eigennutzung, Vergleich der drei Ansätze – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage

In Abbildung 112 ist der Autarkiegrad dargestellt für die beiden Ansätze, welche den Nutzerstrom berücksichtigen, also auf DIN V 18599-9 basieren, nicht auf dem GEG. Das Maß für die Autarkie bewegt sich zwischen 5 und 35 % und liegt im Mittel bei 27 %. Werden die kleineren BIPV-Installationen ($P_{pk}/A_{NGF} < 0,04 \text{ kW/m}^2$) bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt, dann stellt sich ein Wert von etwa 33 % ein.

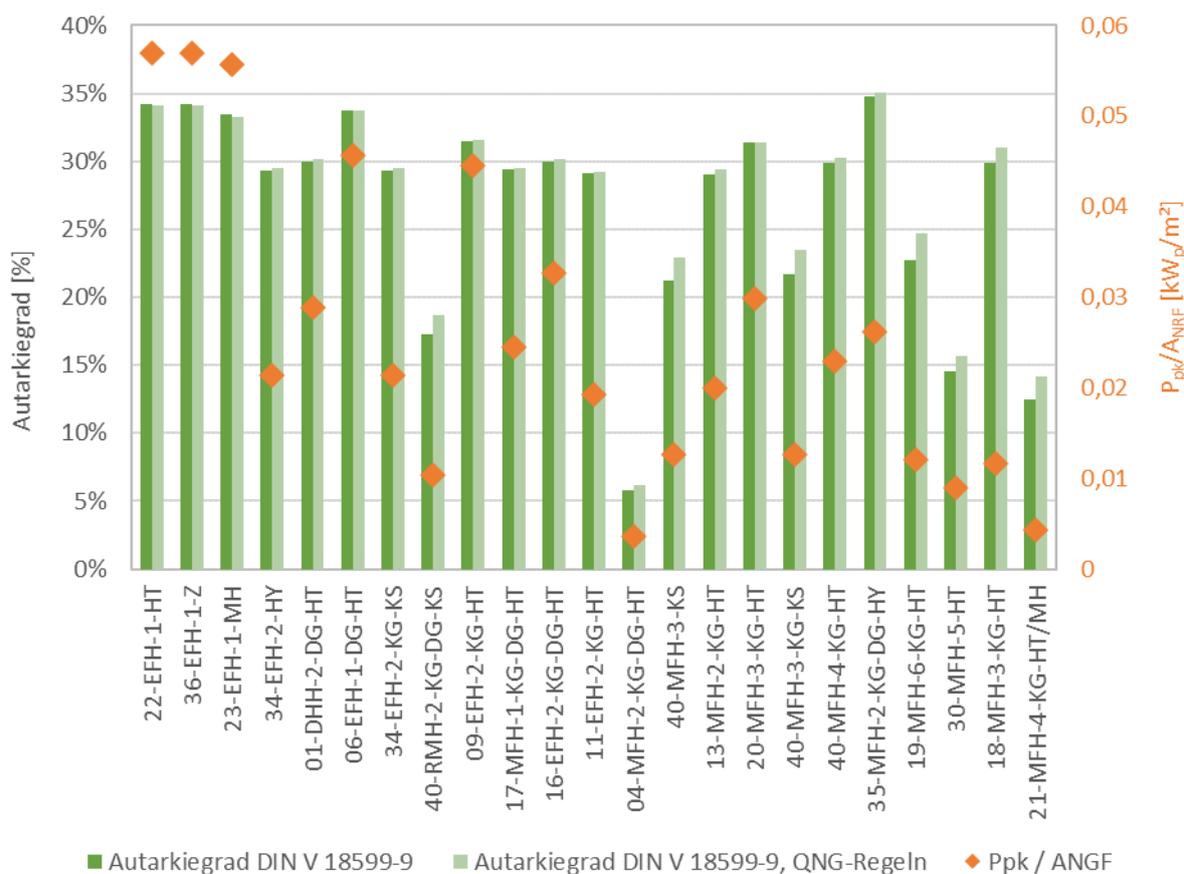


Abbildung 112: Autarkiegrad, Vergleich der der zwei Ansätze mit Nutzerstrom – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage

In den vorgenannten Diagrammen dargestellten Größen werden in den folgenden Abbildungen neu arrangiert, um eine Gegenüberstellung der Anteile Selbstnutzung und Autarkie zu ermöglichen, d. h. in Abbildung 113 für die Bilanzierungsregeln gem. DIN V 18599-9 und in Abbildung 114 für die Erweiterung durch QNG-Regeln. Die GEG-Regeln werden hier nicht dargestellt, da der fehlende Nutzerstrom keine Vergleichbarkeit zulässt. Die Gebäude sind hier auf der Abszisse ebenfalls nach spezifischer Peakleistung P_{kp} je NRF aufsteigend neu arrangiert.

Die Gegenüberstellung zeigt erwartungsgemäß hohe Eigennutzungsanteile bis 100 % bei kleinen PV-Anlagen ($< 0,02 \text{ kW/m}^2$) welche einhergehen mit kleinen Autarkiegraden ($\leq 30 \%$). Bei mittelgroßen Anlagen bis $0,04 \text{ kW/m}^2$ stellen sich Eigennutzungsgrade im Bereich von 57 bis 80 % ein, bei Autarkiegraden um die 30 %. Für größere Anlagen ($> 0,04 \text{ kW/m}^2$) fallen die Eigennutzungsanteile bis zum Minimum von 34 %, die Autarkie nähert sich dem Maximum von 35 %.

Bei den Ergebnissen zu den QNG-Regeln in Abbildung 114 ergeben Werte, welche beim Eigennutzungsanteil bis zu 8 Prozentpunkte unter den Ergebnissen des DIN-Ansatzes liegen. Beim Autarkiegrad gibt es leichte Erhöhungen um bis zu 2 Prozentpunkte.

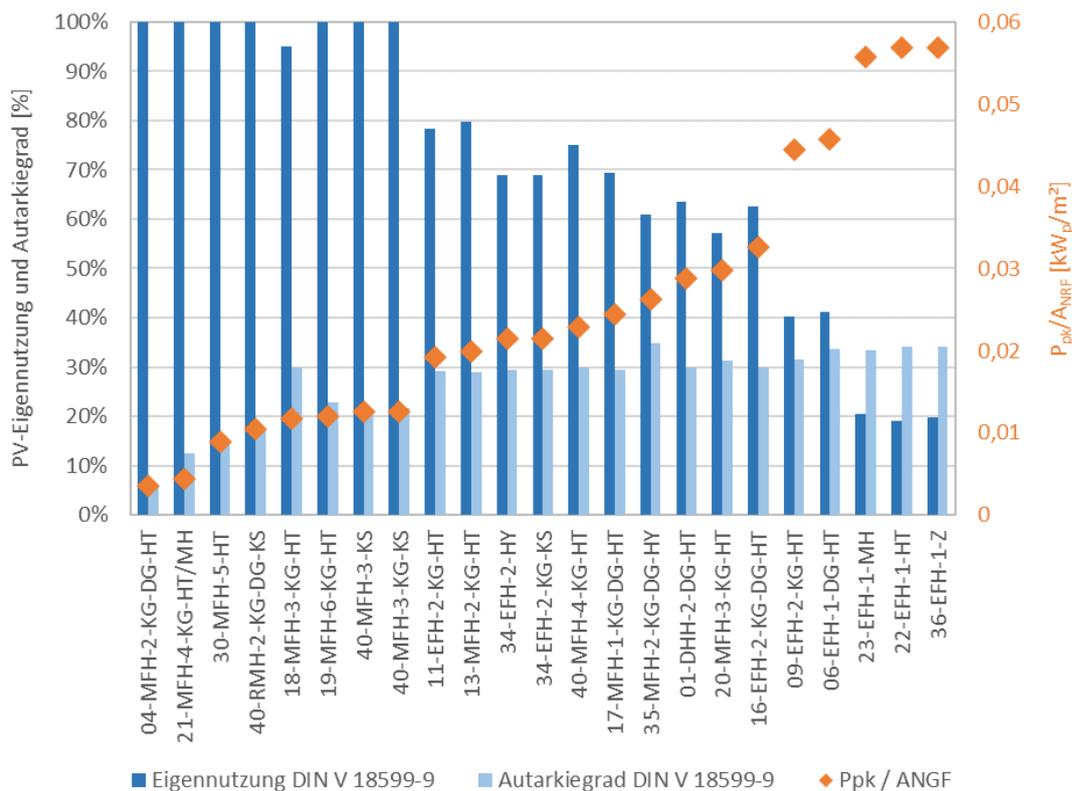


Abbildung 113: Anteil Eigennutzung PV und Autarkiegrad - Regeln gem. DIN V 18599-9 – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage

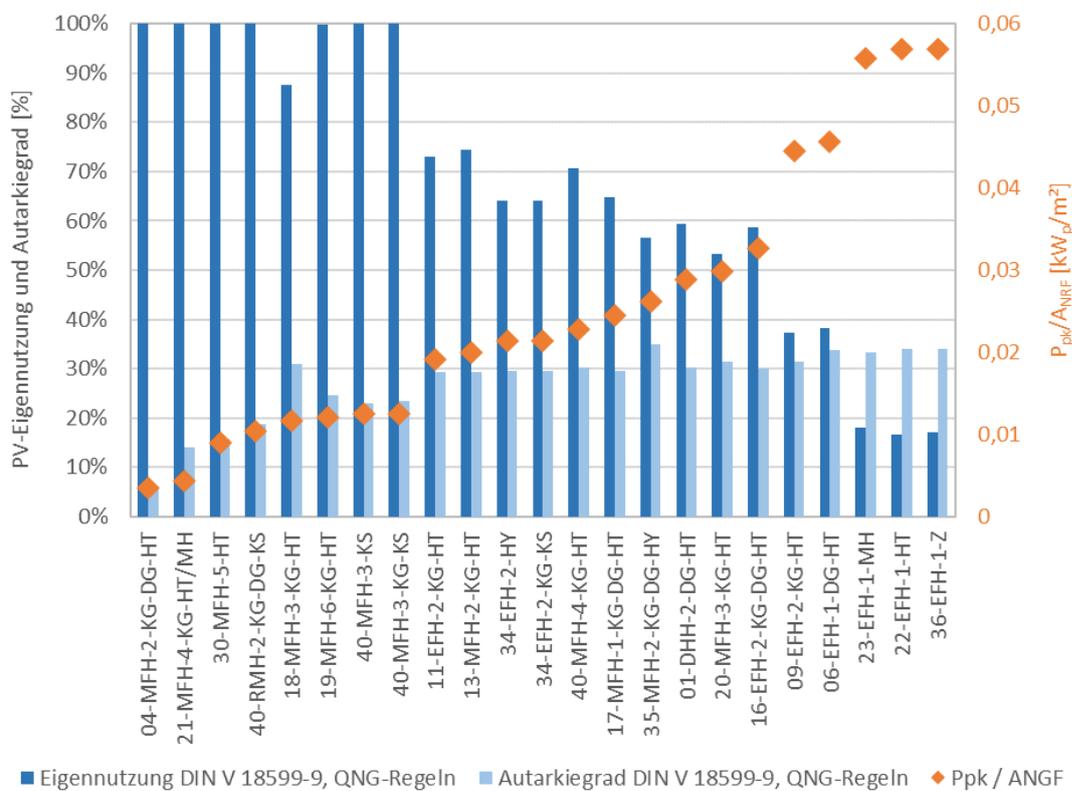


Abbildung 114: Anteil Eigennutzung PV und Autarkiegrad - Regeln gem. QNG – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage

10.11.3.2 Endenergie Strom (QNG-Regeln, B6.1 und B6.3)

Die weitere Auswertung der Bilanzanteile bei der Endenergie Strom erfolgt auf Basis der QNG-Regeln. Dabei werden die Bedarfe aus den Modulen B6.1 und B6.3 sowie die Nutzbarkeit der BIPV-Erträge nach QNG-Regeln ausgewertet. In Abbildung 115 sind die Anteile aufgetragen in [kWh/(m²NRF a)], d. h.

- der sich durch die Gebäudebilanz ergebende Endenergiebedarf Strom (hellgrau, Energieträger Fernwärme und Biomasse sind hier nicht dargestellt),
- der zusätzliche Nutzerstrom gem. QNG-Regeln (dunkelgrau)
- der eigengenutzte Anteil des durch BIPV erzeugten Stroms (hellgrün) und
- der restliche BIPV-Strom, welcher in das Netz eingespeist werden kann (dunkelgrün).

Die Verrechnung der Anteile ist in Form eines Saldos ebenfalls im Diagramm dargestellt (Querstrich rot). Die Anlagen ohne Beheizung durch strombasierte Anlagen zeigen bei hohen BIPV-Erträgen erwartungsgemäß hohe Einspeiseraten. Bei der Interpretation der Ergebnisse der mit Wärmepumpen versorgten Gebäude ist die Größe der BIPV-Installation zu berücksichtigen.

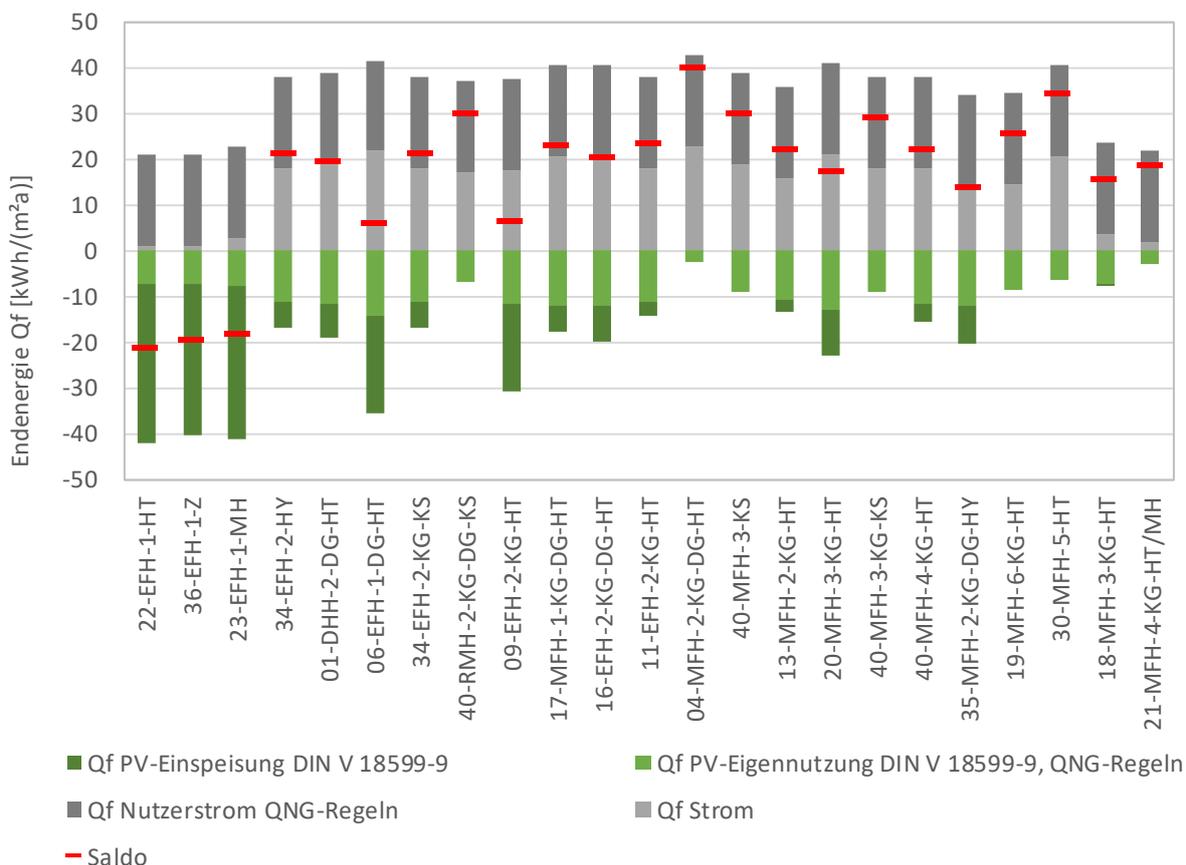


Abbildung 115: Endenergie-Bilanz inkl. Nutzerstrom und BIPV – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage

Wird der Strom bezüglich der Bilanzgrenzen unterschieden, d. h. innerhalb des Gebäudes (Netzbezug und Eigennutzung) und außerhalb des Gebäudes (Netzeinspeisung), so ergeben sich die in Abbildung 116 dargestellten Anteile oberhalb der Abszisse Deckung über Netz und Deckung über PV (positiv) und nach unten die Einspeisung ins Netz ("negativer" Gebäudebedarf). Bei den in Abbildung 116

aufgetragenen Werten handelt es sich um dieselben PV-bezogenen Werte, die auch zuvor in den endenergetischen Auswertungen in Abbildung 115 ausgewiesen sind. Hierzu folgende Erläuterung zu den in Abbildung 116 vergebenen Legendenbezeichnungen:

- Qf Deckung über Netz: Strombedarfsanteil, der über Netzbezug gedeckt wird. Der unterstellte Bedarf ergibt sich aus der energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599 (B6.1) sowie dem für die QNG-Bilanzierung unterstellten Strombedarf für Nutzeranwendungen (B6.3).
- Qf Deckung über PV: Strombedarfsanteil, der als nutzbarer PV-Ertrag (Eigennutzung) bilanziert ist.
- Qf PV-Einspeisung DIN V 18599-9: nicht für das Gebäude nutzbarer Anteil der PV-Erträge, der eingespeist wird.

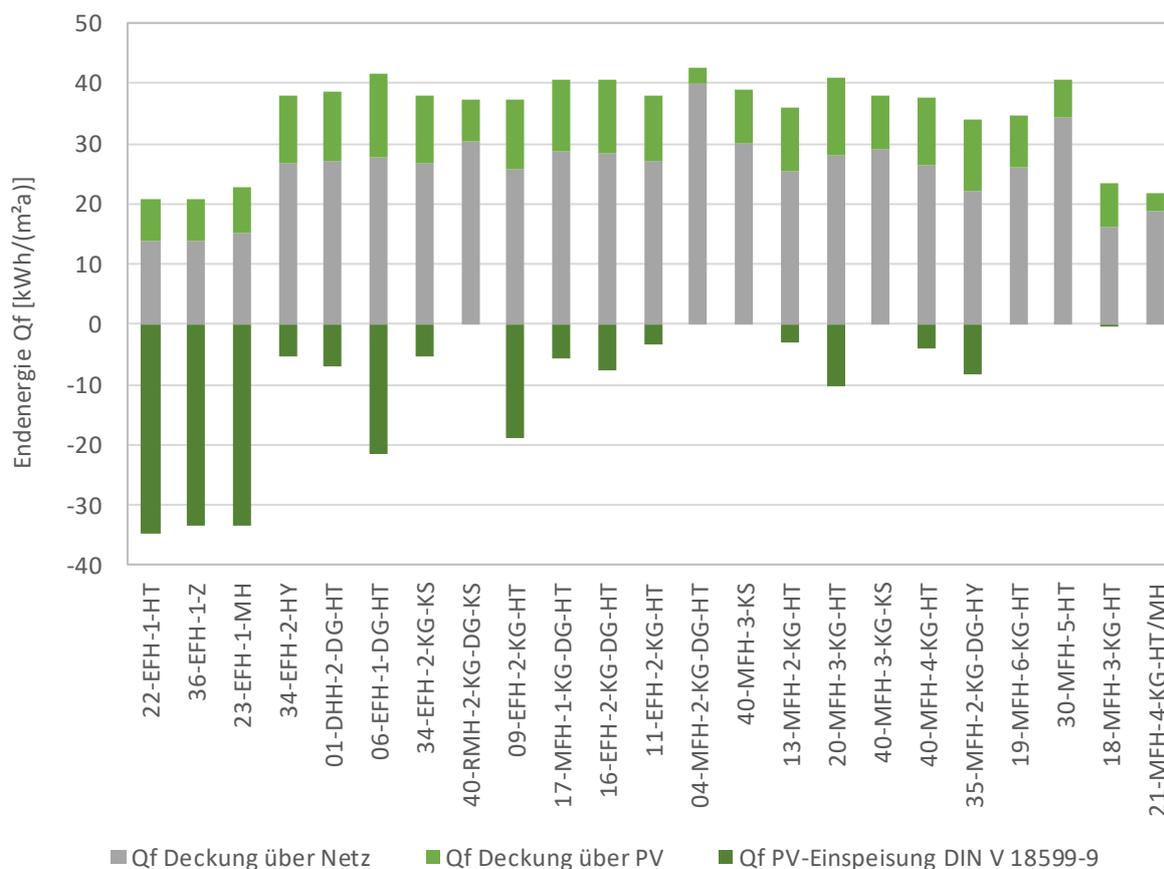


Abbildung 116: Deckung Bedarf (positiv) und Einspeisung PV-Strom (negativ) – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage

10.11.3.3 Ergänzende Auswertungen zum Einfluss Modulgröße und Batteriespeicher

Bei den in den Abschnitten 10.11.3.1 und 10.11.3.2 dargestellten Berechnungsergebnissen sind die BIPV-Modulgrößen zugrunde gelegt, welche sich an den Angaben "wie gebaut" orientieren. In diesem Abschnitt erfolgt eine zusätzliche Analyse zum Einfluss der PV-Anlagengröße auf den Eigennutzungsanteil anhand von drei weiteren Beispielgebäuden. Hierbei wird unterschieden zwischen Fällen mit und ohne Batteriespeicher. Für die Auswertungen mit Batteriespeicher wird eine Standardspeichergöße nach DIN V 18599-9 unterstellt. Ausgewählte Kenndaten zu den drei Beispielgebäuden sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Übersicht Kennwerte Gebäude für Variation BIPV-Module.

Gebäude	EFH (1 WE)	MFH (6 WE)	MFH (12 WE)
Code	40-RMH-2-KG-Z	40-MFH-3-KS	40-MFH-4-KG-KS
NRF [m ²]	157,26	434,13	477,4
Strombedarf GEG-Bilanzrahmen [kWh/a]	2.701	8.337	9.097
Nutzerstrombedarf QNG-Regeln [kWh/a]	3.145	8.683	9.548

Für die Variationsrechnungen wurden einheitliche Randbedingungen zugrunde gelegt, d. h. alle Module sind südorientiert mit 30° Neigung. Die Kennwerte der Module und Speicher folgen den Standardwerten gemäß DIN V 18599-9 (mäßig belüftete Module, monokristallines Silizium, Batterie auf Lithium-Basis). Bei allen Varianten wird für die Wärmeversorgung eine Wärmepumpe in Ansatz gebracht.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 117 für das EFH dargestellt. Dort sind die prozentualen Größen Anteil Eigennutzung und Autarkiegrad jeweils für den Fall mit und ohne Batteriespeicher aufgetragen über der variierten BIPV-Installation [kW]. Die Modulgrößen erstrecken sich dabei von 3 m² (0,5 kW) bis 55 m² (10 kW).

Für den Fall ohne Batteriespeicher weisen Module unter 2 kW eine hundertprozentige Eigennutzung auf, bei großen Modulen sinken die Werte bis auf 20 %. Der damit korrespondierende Autarkiegrad steigt unter 2 kW stetig bis 27 % und nähert sich bei größeren Anlagen der Marke 31 %, ohne diese jedoch zu erreichen.

Bei der Berechnung mit Batteriespeicher ergibt sich eine Erhöhung der Eigennutzung um bis zu 93 % gegenüber der Berechnung ohne Speicher. Die Verbesserung der Anteile bzw. Raten durch Einsatz einer Batterie lohnt sich – bei hohen Investitionskosten – vor allem bei Anlagen größer 4 kW. Der Autarkiegrad nähert sich hier asymptotisch dem Wert von 60 %, die Steigung nimmt dabei über etwa 4 kW ab.

Bedingt durch eine Fallunterscheidung im Berechnungsansatz der Batteriespeicher ist in der Kurve bei etwa 3,5 kW ein Knick erkennbar. Bei den MFH liegt dieser Knick etwa bei 11 bzw. 12 kW.

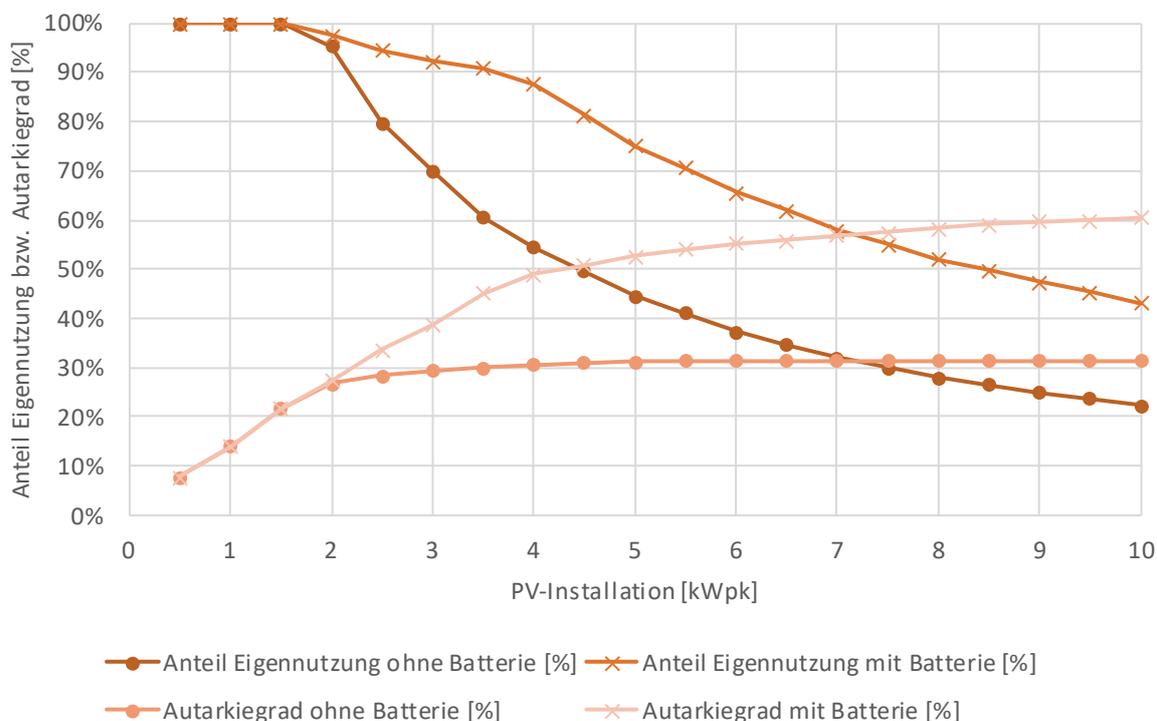


Abbildung 117: Anteil Eigennutzung und Autarkiegrad, ohne und mit Batteriespeicher - EFH (1 WE)

Im Fall der Mehrfamilienhäuser werden Modulgrößen bis 132 m² (24 kW) betrachtet. Die Ergebnisse in Abbildung 118 und Abbildung 119 zeigen ähnliche Tendenzen für das kleinere MFH mit 6 Wohneinheiten bzw. das größere mit 12 WE. Hier sind bei großen Anlagen Autarkiegrad von 30 % (ohne Batterie) bis 60 % (mit Batterie) erreichbar.

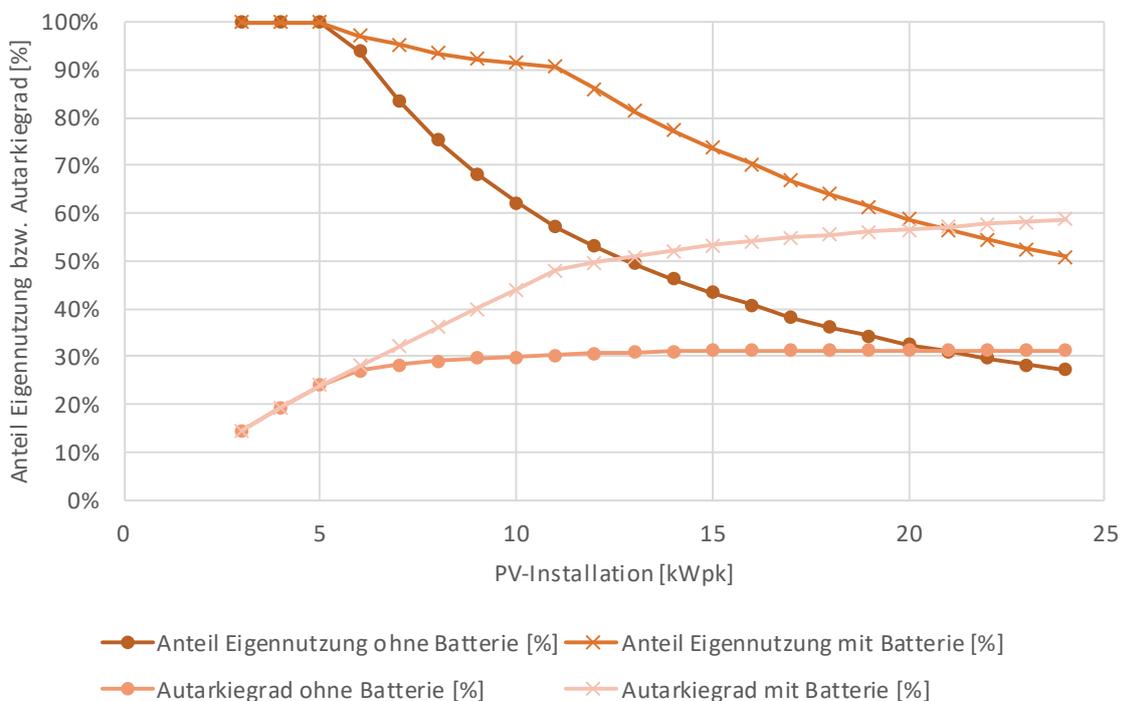


Abbildung 118: Anteil Eigennutzung und Autarkiegrad, ohne und mit Batteriespeicher - MFH (6 WE)

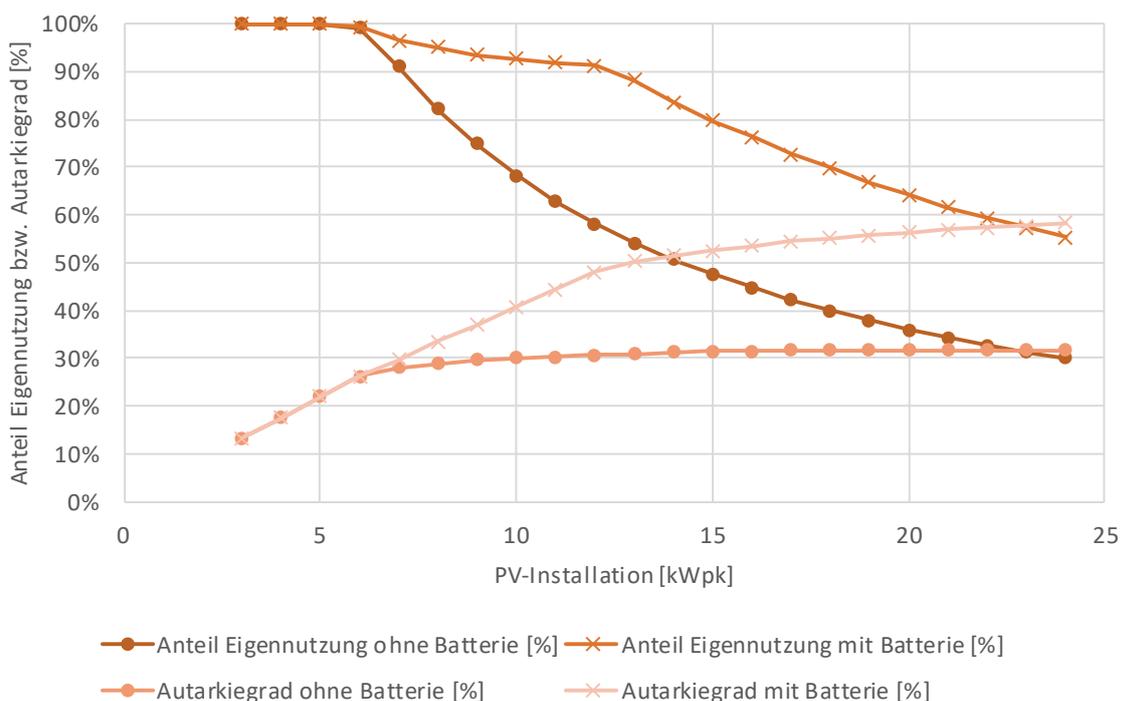


Abbildung 119: Anteil Eigennutzung und Autarkiegrad, ohne und mit Batteriespeicher - MFH (12 WE)

10.12 Vergleich des Referenzklimas Potsdam 2010 mit aktualisierten Klimadaten

Dieser Abschnitt enthält eine Gegenüberstellung des derzeitigen Referenzklimas für Deutschland mit fortgeschriebenen Klimadaten. In diesem Kontext werden Testreferenzjahre (TRY) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) herangezogen. Testreferenzjahre sind stündliche meteorologische Datensätze, die einen Zeitraum von einem Jahr abdecken und als Referenz für Simulationen in der Gebäude- und Energietechnik dienen. Sie enthalten 8.760 stündliche Werte für Parameter wie Temperatur, Sonneneinstrahlung, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit.

Für die Untersuchung werden sowohl Testreferenzjahre aus 2011 (DWD, 2011 und 2014) als auch 2017 (DWD, 2017) herangezogen. Letztere entsprechen im Jahr 2024 dem aktuellen Stand. Die Klimadaten aus 2011 umfassen die TRY für 2010 und 2035 und sind auf 15 Regionen beschränkt. Im Gegensatz dazu decken die Klimadaten aus 2017 mit 333.321 Datensätzen das gesamte Bundesgebiet ab und umfassen die TRY für 2015 und 2045. Aus diesen wurden die im Weiteren verwendeten Monatswerte als 'klimatologische Grundlage' für die Monatsbilanz errechnet. Im Vergleich dazu stehen die Regionsstandorte (aus 2011) und jeweils die Region Potsdam mit dem TRY 'Potsdam 2010', welche derzeit noch für das gesamte Bundesgebiet als Referenzklima gilt. Zunächst wird diese Region mit den 14 weiteren Standorten der damaligen Repräsentanz-Stationen verglichen. Für diesen Vergleich werden die mittlerweile veralteten TRY 2010 sowie die TRY 2015 und 2045 herangezogen. Diese 15 Stationen aus 2011 repräsentieren in den 2017er Daten die sogenannten 'TRY-Basisdaten', die für die Erstellung der flächendeckenden Klimadaten verwendet wurden. Diese Standorte werden als repräsentativ für die jeweiligen Regionen angesehen. Das Vorgehen ermöglicht durch die konstante Verwendung derselben Standorte eine besonders verlässliche Vergleichbarkeit und erlaubt neben einer Bewertung der Entwicklung des Klimawandels auch einen Vergleich, der verschiedene geografische Standorte umfasst. Somit kann eine umfassende Analyse der klimatischen Veränderungen vorgenommen werden. Die TRY 2010 repräsentieren den Stand des Klimawandels um das Jahr 1998, während die TRY 2015 den Stand des Klimawandels um das Jahr 2003 abbilden. Die TRY 2045 hingegen entsprechen einer Projektion zukünftiger Klimaveränderungen, welche für das Jahr 2045 erwartet werden. Weitere Informationen zu den Klimadaten können Tabelle 20 im Abschnitt 17.2 entnommen werden.

Die Analysen der Testreferenzjahre berücksichtigen Variationen der Temperatur und Strahlung. Für die Betriebsparameter der zugrunde liegenden Wärmepumpen sind keine differenzierten Klimadaten verfügbar. Die normierten Parameter basieren auf dem Klimadatensatz Potsdam 2010. Der Wirkungsgrad bzw. die Jahresarbeitszahl hängt von Temperaturklassen ab, die die Effizienzstufen der Wärmepumpen für bestimmte Betriebsbedingungen festlegen. Diese Effizienzstufen basieren auf der Außentemperatur und bestimmen, wie effizient eine Wärmepumpe arbeitet. Berechnungen sind derzeit softwareseitig nur für die Klimadaten Potsdam 2010 möglich. Ebenso werden für die Sonnenstundenberechnungen bei Photovoltaikanlagen weiterhin die Klimadaten von Potsdam verwendet. Auch hier ist keine Anpassung möglich, da dies Änderungen in der Software erfordern würde.

10.12.1 Einfluss auf Endenergiebedarf

Abbildung 120 zeigt eine Gegenüberstellung der Endenergiebedarfe Q_f Strom des repräsentativen Gebäudes 40-MFH-3-KG-KS für die Referenzstandorte der Klimaregionen der Testreferenzjahrreihen 2010, 2015 und 2045 (Beheizung und Trinkwarmwasser über Wärmepumpe, Bilanzrahmen GEG, d. h. ohne Nutzerstrom).

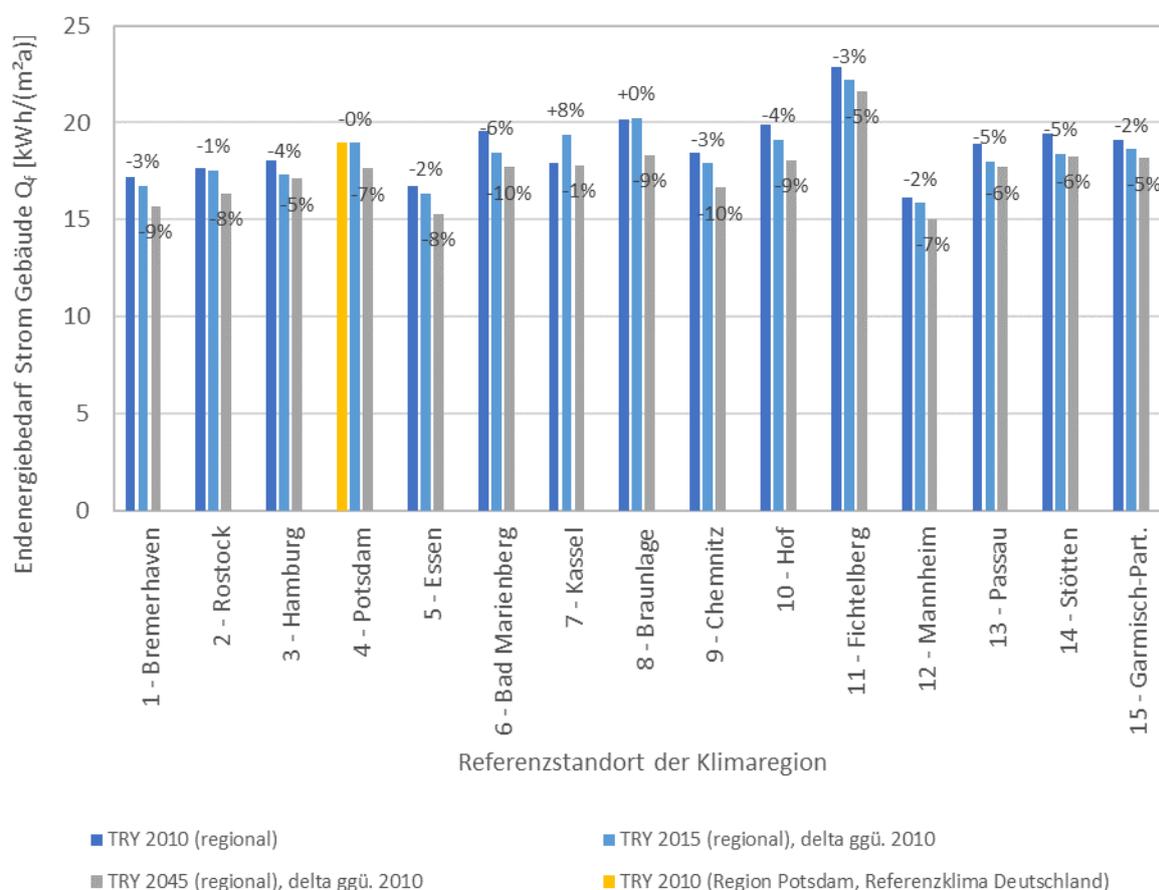


Abbildung 120: Endenergiebedarf Strom Gebäude Q_e [kWh/(m²a)] Mehrfamilienhaus 40-MFH-3-KG-KS für verschiedene Klimadaten

Die Vergleichsanalyse zeigt, dass die Energiebedarfe an verschiedenen Standorten aufgrund klimatischer Variationen unterschiedlich ausfallen. Hierbei zu berücksichtigen ist, dass der Einfluss der unterschiedlichen Standorte sowie für unterschiedliche Bezugsjahre im Rahmen der Bilanzierung nach DIN V 18599 nur auf Ebenen des Nutzenergiebedarfs Heizen erfolgt. Die anlagentechnische Bilanzierung zur Berechnung der Endenergiebedarfe erfolgt für das Referenzklima Potsdam. Die Datenreihen deuten darauf hin, dass die Energiebedarfe für den Gebäudebetrieb mit zunehmendem Klimawandel tendenziell abnehmen. Der Rückgang zwischen den TRY 2010 und 2015 ist moderat, während die Abnahme zwischen den TRY 2010 und 2045 stärker ausfällt. Das TRY 2045 deutet auf ein fortgeschrittenes Stadium des Klimawandels hin. Eine Ausnahme bildet der Standort Kassel, bei dem zwischen TRY 2010 und 2015 eine leichte Zunahme des Energiebedarfs zu verzeichnen ist. Diese unerwartete Abweichung könnte auf Inkonsistenzen in den Basisdaten zurückzuführen sein, da die Klimastation des Deutschen Wetterdienstes in Kassel geschlossen wurde, wodurch der Standort nicht mehr den ursprünglichen Bedingungen entspricht. Im Vergleich zu den TRY 2010 beträgt die durchschnittliche Abnahme des Endenergiebedarfs für die TRY 2015 im Mittel etwa 2 % und für die TRY 2045 etwa 7 %.

10.12.2 Einfluss auf PV-Produktion und PV-Eigennutzung

Abbildung 121 zeigt am Beispiel des repräsentativen Gebäudes 40-MFH-3-KG-KS die elektrische Energie, die von Photovoltaikanlagen an verschiedenen Standorten und für unterschiedliche Testreferenzjahre (TRY) erzeugt wird, gemäß Berechnungsansatz DIN V 18599-9.

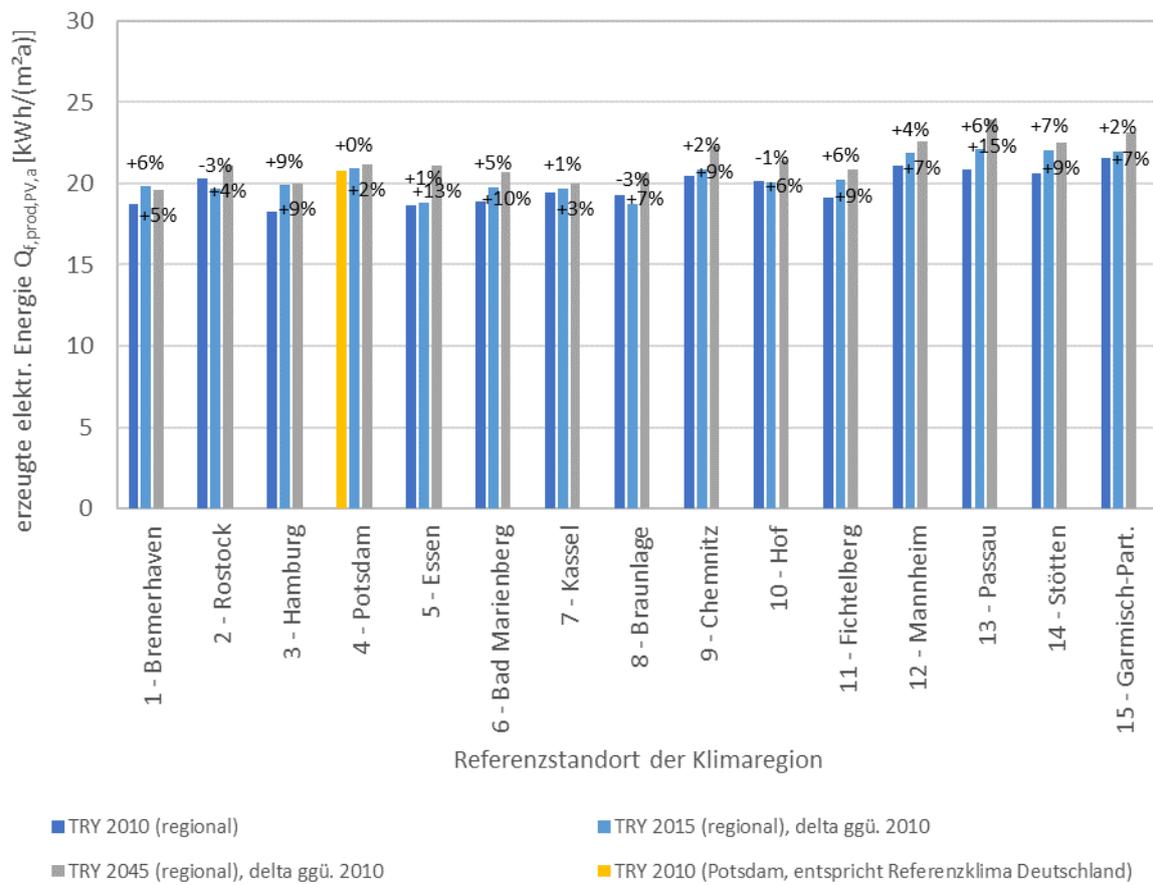


Abbildung 121: Erzeugte elektr. Energie $Q_{f,prod,BIPV,a}$ [kWh/(m²a)] Mehrfamilienhaus 40-MFH-3-KG-KS für verschiedene Klimadaten

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass mit fortschreitendem Klimawandel die Produktion aus PV-Anlagen zunimmt, u. a. in den TRY-Datenreihen für 2045. Die mittlere Zunahme der BIPV-Produktion beträgt mit den TRY 2015 etwa 3 %, während sie für TRY 2045 rund 8 % erreicht.

Die Bilanz der Strombedarfe einschließlich Nutzerstromanteil und der selbstgenutzten Photovoltaik-Erträge ist in Abbildung 122 aufgeführt. Diese Abbildung führt somit die Bedarfsänderung aus Abbildung 120 mit der Ertragsänderung aus Abbildung 121 zusammen.

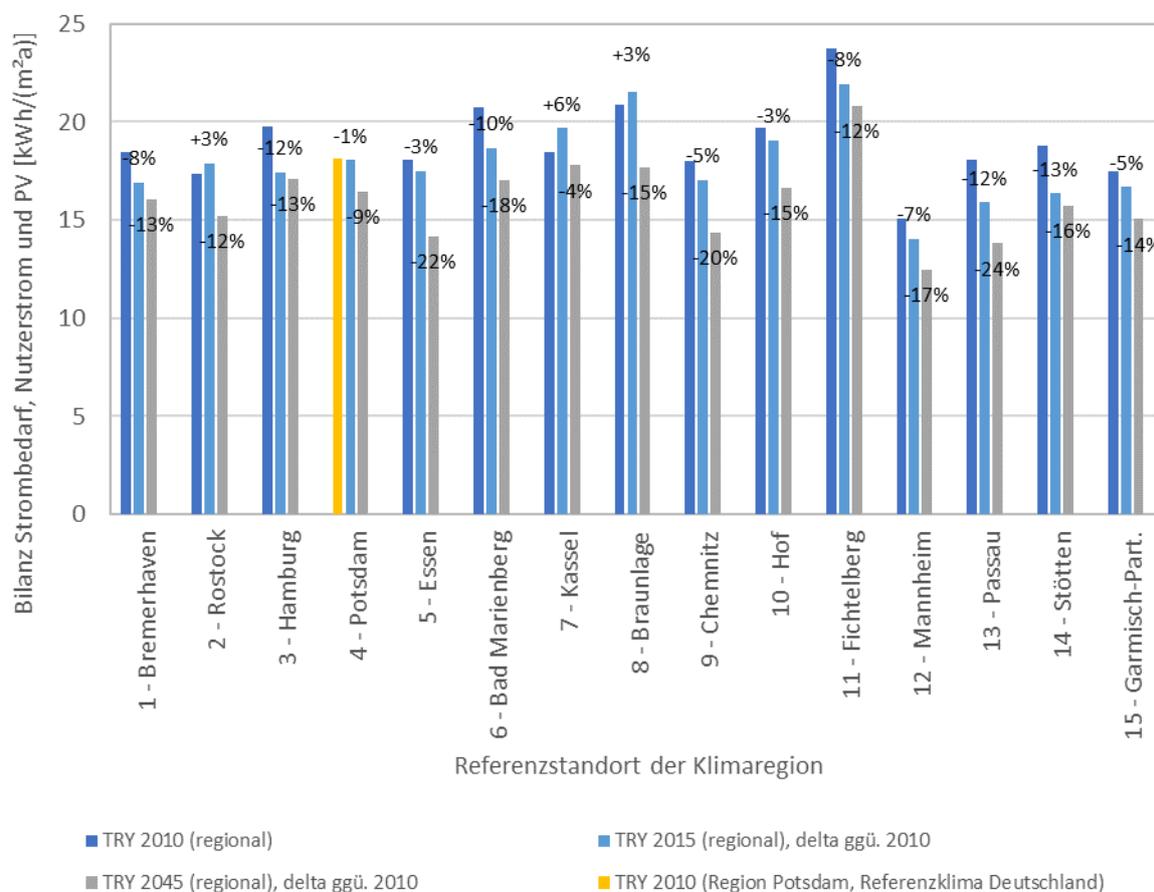


Abbildung 122: Bilanz Strombedarf, Nutzerstrom und Selbstnutzung BIPV [kWh/(m²a)] Mehrfamilienhaus 40-MFH-3-KG-KS für verschiedene Klimadaten

Die Ergebnisse zeigen, dass ausgehend von dem Bezugsjahr 2010 für das Bezugsjahr 2045 eine Reduzierung des bilanzierten Strombedarfs von 4 % (Region 7 – Kassel) bis 24 % (Region 13 – Passau) berechnet wird. In den Regionen 2 (Rostock), 7 (Kassel) und 8 (Braunlage) ergeben sich bei einem Vergleich der Bezugsjahre 2010 und 2015 zunächst steigende bilanzierte Bedarfe. Als Ursache hierfür wurden Inkonsistenzen bei den Klimadatenätzen identifiziert.

In jedem Fall zeigt der langfristige Trend über alle Regionen einen abnehmenden bilanzierten Strombedarf. Der Grund für die Abnahme liegt sowohl bei der Bedarfsminderung aufgrund der Klimaerwärmung als auch in der steigenden solaren Einstrahlung infolge des Klimawandels, insbesondere in den 2045er Datenreihen. Vgl. hierzu auch (Vukadinovic, 2023). Diese Zunahme der Sonneneinstrahlung führt zu höheren Erträgen aus Photovoltaikanlagen, was sich positiv auf die Strombilanz auswirkt. Die durchschnittliche Abnahme des verbleibenden Strombedarfs beträgt im Vergleich zu den TRY 2010 für die TRY 2015 etwa 5 %, während sie für das TRY 2045 etwa 16 % beträgt.

10.12.3 Berücksichtigung von Kühltechnik bei PV-Nutzung

Bei der Eigennutzung des PV-Stroms ist es vorteilhaft, wenn die Zeiten des Energiebedarfs mit den Zeiträumen hoher Sonneneinstrahlung und somit hoher Energieerträge übereinstimmen. Beim Gebäudebetrieb gibt es einige Energieanteile, welche über das Jahr einen annähernd konstanten Verlauf aufweisen (Nutzerstrom, Trinkwarmwasser, Lüftung und weitere Hilfsenergien). Hier folgt der Anteil Eigennutzung dem Strahlungsangebot, d. h. im Winter gering, im Sommer hoch, z. T. mit einer ausschließlichen Deckung durch den PV-Ertrag. Das Dilemma bei der Heizwärme ist, dass die hohen

Bedarfe in Zeiten geringer PV-Erträge anfallen. Zudem führt der fortschreitende Klimawandel einerseits zu einer Anhebung der PV-Erträge, andererseits zum Absinken des Heizenergiebedarfs. Im Gebäude eingesetzte Kühltechnik kann allerdings von dem erhöhten Strahlungsangebot im Sommer profitieren, da die Deckung des Kühlkältebedarfs mit dem PV-Strom-Angebot korreliert.

10.12.4 Einfluss der Verwendung von exakt standortspezifischen Klimadaten

Im Gegensatz zum vorherigen Abschnitt wird in diesem Abschnitt nicht nur die Verwendung von regionspezifischen Klimadaten, sondern auch von exakt ortsgenauen bzw. standortspezifischen Klimadaten untersucht (hier gepunktet dargestellt). Dazu sind die Endenergiebedarfe neben dem Referenzstandort Potsdam und den Regionsbezügen aus den Klimadaten von 2011 mit ortsgenauen Klimadaten aus 2017 ermittelt worden. Die Vergleiche werden für ausgewählte, repräsentative Gebäude jeweils mit dem Referenzklima für Deutschland (TRY Potsdam 2010) sowie mit den standortspezifischen Klimata anhand der TRY 2015 und der TRY 2045 durchgeführt. In Abbildung 123 sind dazu die Endenergiebedarfe für ausgewählte Gebäude dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Heizungssysteme in den Gebäuden wurden die Endenergiebedarfe mit verschiedenen Energieträgern ermittelt. Für das Gebäude 22-EFH-1-HT liegt eine Fernwärmeversorgung zugrunde. Das Gebäude 18-MFH-3-KG-HT wird mit einer Pellet-Anlage betrieben. Die anderen Gebäude sind mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe ausgestattet.

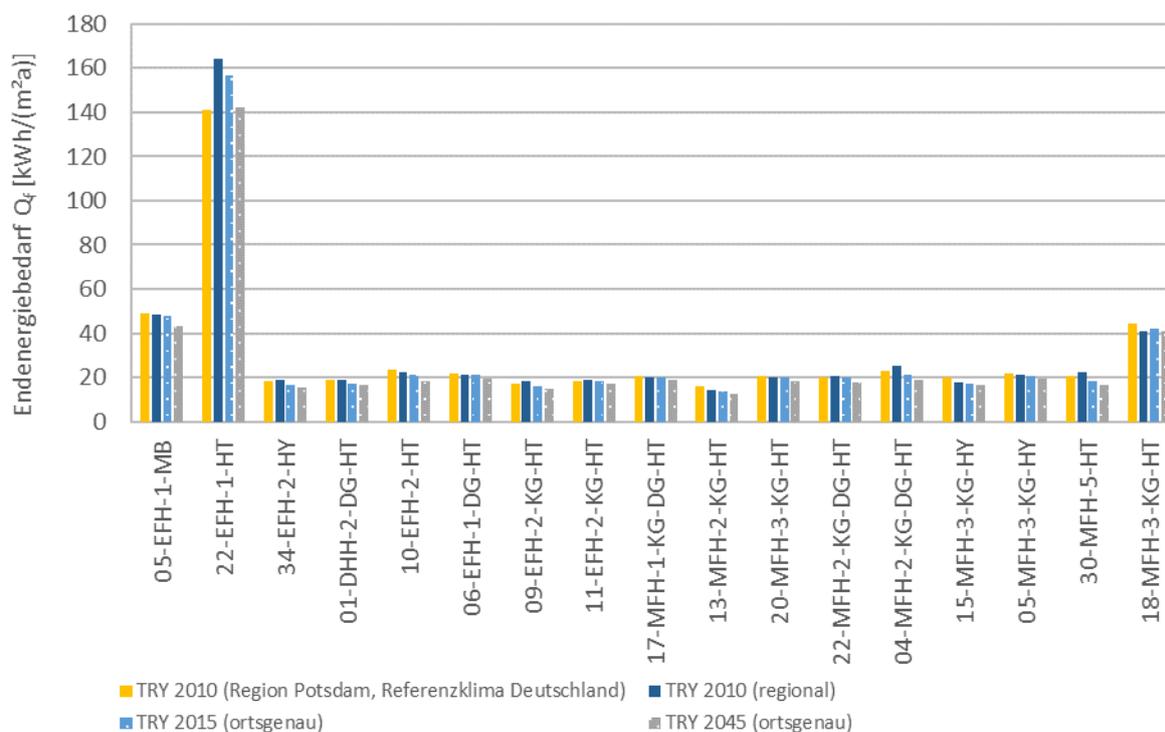


Abbildung 123: Endenergiebedarfe Q_f [kWh/(m²a)] ausgewählter Gebäude für verschiedene Klimadaten

Das Gebäude 22-EFH-1-HT befindet sich mit den ortsgenauen Klimadaten im Bayerischen Wald und ist entsprechend einer klimatisch besonders kalten Situation ausgesetzt. Es zeigt sich deutlich, dass sich die zuvor getroffenen Annahmen grundsätzlich auch bei der Verwendung von standortspezifischen, exakt ortsgenauen Klimadaten bestätigen lassen. Dies unterstreicht die Zuverlässigkeit der getroffenen Aussagen hinsichtlich der Tendenzen des Klimawandels. Das Gebäude 22-EFH-1-HT stellt in diesem Fall einen begründeten Einzelfall dar.

10.13 Simulationsrechnungen zum Energiebedarf für Kühlen und Heizen

Im vorausgehenden Abschnitt ist bereits der Einfluss des Klimawandels auf den Energiebedarf für Heizen anhand von exemplarischen Auswertungen beschrieben. Diesen bereits dokumentierten Berechnungen liegt eine energetische Bilanzierung nach DIN V 18599 zugrunde. Dabei handelt es sich um ein Monatsbilanzverfahren, welches mit Blick auf das sommerliche Wärmeverhalten und den für Raum- oder Gebäudekühlung anfallenden Kühlenergiebedarf nur bedingt in der Lage ist, die wesentlichen Einflüsse auf das thermische und energetische Verhalten abzubilden. So kann DIN V 18599 z. B. nicht den Einfluss eines erhöhten nächtlichen Fensterluftwechsels zur Abfuhr von im Gebäude eingespeicherter Wärme berücksichtigen. Hierzu existieren bereits Vorschläge für eine dahingehende Erweiterung des Rechenverfahrens in DIN V 18599, die aber noch nicht in die neueste Fassung der Norm (Ausgabe 2022) aufgenommen sind. Daher folgen in diesem Abschnitt Erläuterungen zu Auswertungen auf Grundlage von dynamischen Simulationsrechnungen, durchgeführt mit der Software HAUSer (Hauser, 1977).

Die Berechnungen wurden für die durch das Ingenieurbüro Hauser im Auftrag der Repräsentanz Transparente Gebäudehülle (RTG) erstellte „Studie zur integralen Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens - Thermischer Komfort und energetische Performance“ (IBH, 2023) durchgeführt. Mit Abschnitt 10.13.1 folgt eine kurze Erläuterung zu den bei diesen Berechnungen zugrunde gelegten Randbedingungen. In Abschnitt 10.13.2 erfolgt eine Darstellung einzelner ausgewählter Ergebnisse der benannten Studie.

10.13.1 Erläuterungen zu den Randbedingungen der Auswertungen

Die Quantifizierung des Nutzenergiebedarfs für Raumkühlung erfolgt auf Grundlage von thermischen Simulationsrechnungen. Bei diesen Berechnungen werden Rechenrandbedingungen in Anlehnung an die Vorgaben der DIN 4108-2:2013-02 zur Nachweisführung des sommerlichen Mindestwärmeschutzes zugrunde gelegt. Den in Abschnitt 10.13.2 dokumentierten Ergebnissen liegt das in Abbildung 124 skizzierte Raummodell zugrunde. Hierbei wird ein hoher Fensterflächenanteil (fassadenbezogen 70 Prozent, grundflächenbezogen 35 Prozent) unterstellt.

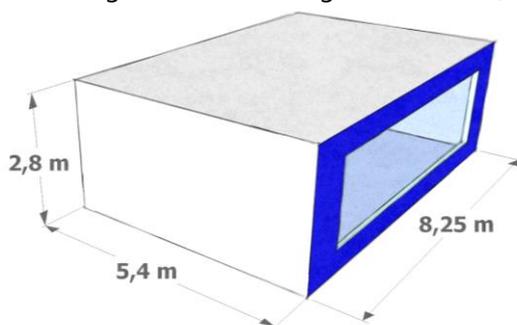


Abbildung 124: Skizze des Raummodells „zen1.5b_1.5t_breit“

Die Auswertungen zeigen auf, wie sich Heiz- und Kühlenergiebedarf ändern, wenn sich die klimatischen Randbedingungen ändern. Dabei werden die wesentlichen Parameter berücksichtigt, die das sommerliche und winterliche Wärmeverhalten bzw. den Kühlenergiebedarf beeinflussen. Dies sind:

- Die strahlungsphysikalischen Eigenschaften der Fenster bzw. Fenstergläser (g -Wert, variiert in der Bandbreite von 0,06 bis 0,60). Der g -Wert ist sowohl für die sommerliche als auch für die winterliche „Performance“ von Bedeutung. Wird ein niedriger g -Wert zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens umgesetzt, so ergeben sich auch unter Umständen deutlich geringere nutzbare solare Wärmeeinträge in der Heizzeit.
- Das Vorhandensein eines Sonnenschutzes (variiert zwischen bestmöglichem außenliegendem Sonnenschutz und keinem Sonnenschutz; F_c -Werte in der Bandbreite 0,10 bis 1,0). Durch einen

wirksamen Sonnenschutz erhalten Gebäude im Sinne der Optimierung des sommerlichen und winterlichen Wärmeverhaltens die erforderliche Flexibilität: Bei Bedarf kann im Sommer der solare Eintrag unterbunden werden, ohne dass die heizwärmebedarfsreduzierenden Wärmeeinträge im Winter unterbunden werden.

- Die Möglichkeit einer erhöhten Nachtlüftung hat ein großes Potenzial zur Reduzierung der thermischen Beanspruchung im Sommer. Im Wohnungsbau kann in der Regel von der Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung ausgegangen werden. Die Auswertungen zeigen auch auf, wie sich der Energiebedarf für Kühlen ändert, wenn nicht die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung besteht.

10.13.2 Energiebedarf für Kühlen und Heizen

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Ergebnisse sollen einen Vergleich des Energiebedarfs für Heizen und Kühlen ermöglichen und hierbei aufzeigen, wie sich diese Bedarfswerte bei künftigen klimatischen Randbedingungen im Vergleich zum Ansatz aktueller Klimadaten verändern.

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sich die Auswertungen für die vorliegende Studie auf Auswertungen der Nutzenergien beschränken. Das bedeutet, dass für den Heizfall die Heizwärmebedarfe (Nutzenergiebedarf Heizen) und für den Kühlfall die Kühlkältebedarfe (Nutzenergiebedarf Kühlen) ausgewiesen werden. Aus diesen Nutzenergiebedarfen kann allerdings unter Ansatz zusätzlicher energetischer Bedarfsanteile aus Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe auf End- und Primärenergiebedarfe oder auch auf resultierende CO₂-Emissionen geschlossen werden.

Für die ersten exemplarischen Auswertungen in Abbildung 125 zur Gegenüberstellung von Energiebedarfen für Heizen und Kühlen folgt mit Tabelle 11 die Zusammenstellung des zugrundeliegenden Parametersets. Die Systematik der Darstellung in diesem Abschnitt wird im Folgenden kurz erläutert:

- Jeweils über die linke Ordinate wird in den Diagrammen die Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von dem g-Wert dargestellt (orangefarbener Graph).
- Jeweils über die rechte Ordinate wird die Abhängigkeit des Kühlkältebedarfs von dem g-Wert abgebildet. Hierzu gehören die 7 Graphen in den Diagrammen, wobei der lilafarbene Graph für eine Ausführung ohne Sonnenschutz ($F_c = 1,0$) steht und die Graphen von Dunkelblau bis Hellblau jeweils für eine Ausführung mit $F_c = 0,90$ bis $0,10$.
- Jede Einzelauswertung bzw. jede Abbildung enthält in der linken Abbildung die Auswertungen für eine ideale Kühlung auf 26 °C und in der rechten Abbildung für eine ideale Kühlung auf 22 °C. Die in beiden Diagrammen enthaltenen Auswertungen zur Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von dem g-Wert sind jeweils identisch.
- Jede Einzelauswertung bzw. jede Abbildung enthält im oberen Teil die Auswertungen für das „aktuelle“ mittlere Klima (Klimadatensatz TRY2010_04 (Potsdam)) und im unteren Teil für die künftigen Klimarandbedingungen desselben Standorts (Klimadatensatz TRY2045_04 (Potsdam)).

Für die in Abbildung 125 enthaltenen Auswertungen folgt mit Tabelle 11 die Zusammenstellung der den Berechnungen zugrunde liegenden Randbedingungen.

Tabelle 11: Parameterset zu Auswertungen in Abbildung 125

Raum	Fensterflächenanteil	Orientierung	Klimadaten	Nutzung
zen1.5b1.5t_breit	hoch	Ost	TRY2010_04 (Potsdam) TRY2045_04 (Potsdam)	links: WG_mK26 rechts: WG_mK22
U _w -Wert	g-Wert	F _c -Wert	Steuerung Sonnenschutz	Lüftung
UW095	g060 - g006	Fall 1: FC100 Fall 2: FC090	a300 (automatische Aktivierung bei	NL2 (erhöhte Nachtlüftung)

		Fall 3: FC070 Fall 4: FC050 Fall 5: FC030 Fall 6: FC010	Überschreiten von 300 W/m ² Einstrahlung)	
--	--	--	---	--

Zur Fallunterscheidung für den Kühlenergiebedarf (rechte Ordinate):

- **Fall 1** (Lila): $F_c = 1,0$ (ohne Sonnenschutz)
- **Fall 2 - Fall 6** (Dunkel- bis Hellblau): $F_c = 0,90 - 0,10$

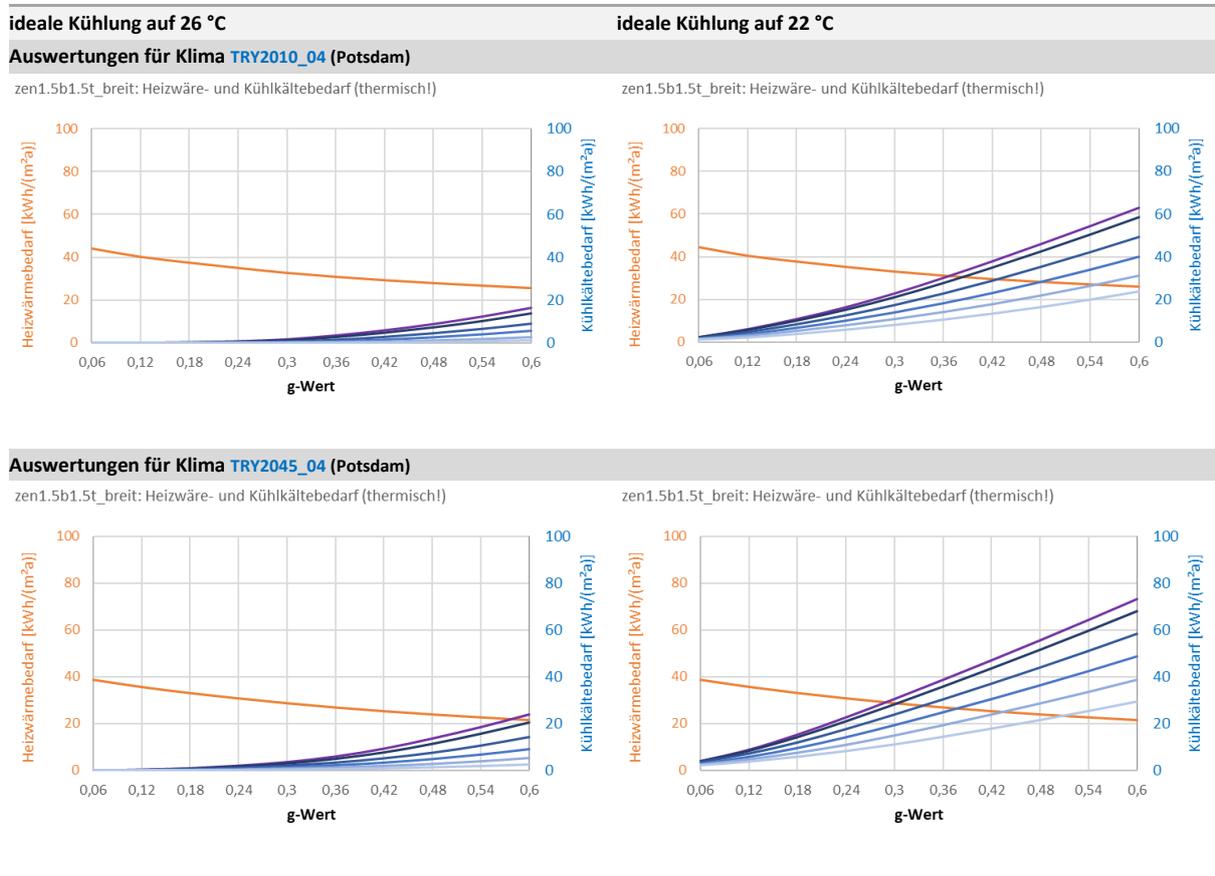


Abbildung 125: Heizwärmebedarfe und Kühlkältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 11

Für die Auswertungen in Abbildung 126 ist das Parameterset gemäß Tabelle 11 mit einer für Wohnnutzung üblicherweise vorhandenen Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung unterstellt. Die Auswertungen zeigen bei einer Betrachtung des Heizwärmebedarfs, dass bei einem üblichen g-Wert bei 3-Scheiben-Ausführung von etwa 0,54 Werte für aktuelles mittleres Klima von etwa 21 kWh/(m²NRF a) und für künftiges Klima von etwa 25 kWh/(m²NRF a) resultieren. Eine Reduzierung des g-Wertes führt analog zu den bereits erläuterten Ergebnissen zu einer deutlichen Erhöhung des Heizwärmebedarfs. Eine ideale Kühlung auf 26 °C unterstellt (jeweils linke Abbildungen, rechte Ordinate) zeigt, dass der Energiebedarf für Kühlung erwartungsgemäß eine sehr starke Abhängigkeit von dem fallweise zugrunde liegenden g-Wert sowie von dem fallweise unterstellten F_c -Wert aufweist. Ebenso kann aus der Gegenüberstellung der idealen Kühlung auf 26 °C (links) und auf 22 °C (rechts) entnommen werden, dass eine Reduzierung der Soll-Temperatur für den Kühlfall zu einer signifikanten Erhöhung des Kühlenergiebedarfs führt. Für die in Abbildung 126 ausgewerteten Fälle und jeweils für einen g-Wert von 0,60 und ohne Sonnenschutz ($F_c = 1,0$) verändern sich die Kühlenergiebedarfe, ausgehend vom aktuellen mittleren Klima für das zukünftige Klima, wie folgt:

- Kühlung auf 26 °C: Erhöhung um 7,7 kWh/(m²a) von 16,4 auf 24,1 kWh/(m²NRF a)
- Kühlung auf 22 °C: Erhöhung um 10,1 kWh/(m²a) von 63,0 auf 73,1 kWh/(m²NRF a)

Wird ein hochwirksamer außenliegender Sonnenschutz ($F_C = 0,10$) unterstellt, sehen die Veränderungen wie folgt aus:

- Kühlung auf 26 °C: Erhöhung um 1,4 kWh/(m²NRF a) von 1,3 auf 2,7 kWh/(m²NRF a)
- Kühlung auf 22 °C: Erhöhung um 5,9 kWh/(m²NRF a) von 23,6 auf 29,5 kWh/(m²NRF a)

Das Vorhandensein eines wirksamen Sonnenschutzes kann hiernach einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der solaren Einstrahlung und somit des Energieaufwands für Kühlung leisten.

Als nächstes Beispiel folgt mit Abbildung 126 die Auswertung für denselben Fall wie zuvor, jedoch ohne den Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung.

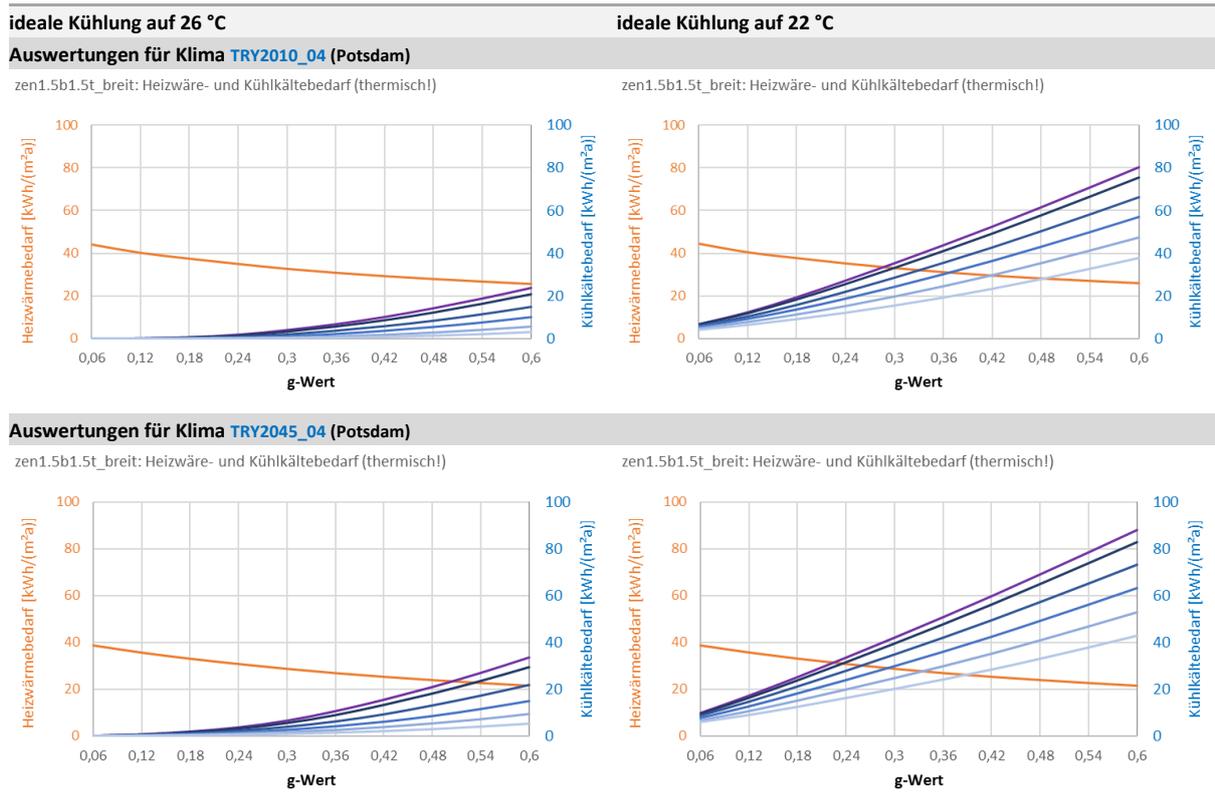


Abbildung 126: Heizwärmebedarfe und Kühlkältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset wie in Tabelle 11, jedoch ohne Nachtlüftung.

Für den Fall ohne Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung erhöht sich der Energiebedarf für Kühlung, für die zuvor bereits exemplarisch benannten Situationen wie folgt:

- Kühlung auf 26 °C: Erhöhung um 9,6 kWh/(m²NRF a) von 23,9 auf 33,5 kWh/(m²NRF a)
- Kühlung auf 22 °C: Erhöhung um 7,7 kWh/(m²NRF a) von 80,3 auf 88,0 kWh/(m²NRF a)

Wird ein hochwirksamer außenliegender Sonnenschutz ($F_C = 0,10$) unterstellt, sehen die Veränderungen wie folgt aus:

- Kühlung auf 26 °C: Erhöhung um 2,3 kWh/(m²NRF a) von 3,1 auf 5,4 kWh/(m²NRF a)
- Kühlung auf 22 °C: Erhöhung um 4,9 kWh/(m²NRF a) von 38,0 auf 42,9 kWh/(m²NRF a)

Inwieweit durch einen beweglichen Sonnenschutz Einsparpotenziale für die Kühlenergie erzielt werden können, geht anschaulich aus Abbildung 126 hervor. Im Vergleich zum Fall ohne Sonnenschutz kann

von mehr als einer Halbierung des Kühlenergieaufwandes ausgegangen werden, was die Sinnhaftigkeit eines beweglichen Sonnenschutzes bei Vorhandensein einer anlagentechnischen Kühlung unterstreicht. Von elementarer Bedeutung dabei ist allerdings, dass die Aktivierung/Steuerung des Sonnenschutzes automatisch erfolgt. Nur auf diese Weise kann das hier ausgewiesene Einsparpotenzial auch im realen Betrieb gewährleistet werden.

Werden Räume auf 22 °C gekühlt, kann der Energieaufwand für Kühlen den Energieaufwand für Heizen deutlich übersteigen. Dies gilt gleichermaßen für die Anwendungsfälle Wohnnutzung und Nichtwohnnutzung. Wenngleich der Einsatz anlagentechnischer Kühlung bei Wohnnutzung (noch) eher die Ausnahme ist, kann festgestellt werden, dass die nachträgliche Installation von Klimageräten derzeit bereits stark zunimmt. Bei weiter voranschreitendem Klimawandel wird sich dieser Trend verstärken. Um den Energieeinsatz für Kühlung zu minimieren, müssen die baulichen Möglichkeiten ausgenutzt werden. Dies bedeutet einerseits, dass die Potenziale zur Kühlung des Gebäudes durch Lüftung insbesondere während der zweiten Nachthälfte ausgenutzt werden müssen, um tagsüber eingespeicherte Wärme wieder abzuführen. Andererseits sollten wirksame Sonnenschutzvorrichtungen die solare Einstrahlung während der Nutzungszeit unterbinden, sodass ggf. nur noch ein „Rest-Kühlbedarf“ für die anlagentechnische Kühlung verbleibt.

Für die Fortschreibung der QNG-Regelungen in Bezug auf eine mögliche Einbeziehung eines Energieaufwands für Kühlung sollten weitergehende Untersuchungen und Bewertungen stattfinden. Im vorliegenden Bericht erfolgt hierzu in Abschnitt 19.2 im Zusammenhang mit einer dynamischen Bewertung der perspektivischen Entwicklung der THG-Emissionen eine exemplarische Auseinandersetzung mit einer nicht gekühlten und einer gekühlten Situation. Hierauf aufbauend könnten weitergehende Bewertungen erfolgen, auf deren Grundlage Empfehlungen für eine Fortschreibung der QNG-Anforderungssystematik unter Einbeziehung eines Energieaufwands für Kühlung erarbeitet werden können.

Teil D: Methodische Fragen

11 Künftiger Umgang mit GWP fossil und GWP biogenic

Gemäß Stand der Normung soll bei der Erfassung und Analyse des ermittelten Treibhauspotenzials eine weitere Ausdifferenzierung erfolgen. Das GWP total soll dazu in ein GWP fossil, GWP biogenic und GWP luluc unterteilt werden. Nachstehend werden Möglichkeiten und Konsequenzen einer Unterteilung in GWP fossil und GWP biogenic diskutiert. Mit der im Forschungsprojekt angelegten Datenbank mit der entsprechenden Aufteilung aller Datensätze zu den Treibhausgasemissionen in fossile und biogene GWP-Anteile konnte eine konsistente Berechnungsgrundlage geschaffen werden und auf dieser Basis eine Berechnung und Auswertung ausgewählter Gebäude erfolgen. Nicht separat ausgewertet und dargestellt wurde der Anteil des Treibhauspotenzials für den Indikator Treibhauspotenzial landuse und landuse change (GWP luluc). Aus diesem Grunde ergeben die Summe der fossilen und biogenen Anteile des GWP nicht den Wert des Treibhauspotenzials gesamt (GWP total).

11.1 Neuberechnung mit der ÖKOBAUDAT 2024-A2

Zusätzlich zu der Aktualisierung aller Datensätze im Kontext der Umsetzung des Amendments der DIN EN 15804 A2 haben sich durch einen in den drei Jahren seit 2020 veränderten Strommix und dessen Berücksichtigung viele Datensätze verändert. Eine wesentliche Änderung ist vor allem bei dem für den betriebs- und nutzungsbedingten Teil bedeutsamen Datensatz „Strom für Gebäudebetrieb“ zu erkennen. Die Werte werden in der Tabelle 12 angegeben.

Tabelle 12: Übersicht Werte Treibhauspotenzial in kg CO₂e/kWh.

Datensatz	Angaben in der RECHENWERTTABELLE ÖKOBAUDAT 2020-II	Angaben in der ÖKOBAUDAT 2023-A2	Differenz in %
	kg CO ₂ e/kWh Endenergie	kg CO ₂ e/kWh Endenergie	
Strom für Gebäudebetrieb 2018	0,532030	-	
Strom für Gebäudebetrieb 2021	-	0,402298	-24,4
Strom für Gebäudebetrieb 2030	-	0,355724	-33,1
Strom für Gebäudebetrieb 2040	-	0,155755	-70,4
Strom für Gebäudebetrieb 2050	-	0,128576	-75,8

Bezugnehmend auf die Erläuterungen im Datensatz der ÖKOBAUDAT kann davon ausgegangen werden, dass diese Werte die Vorketten mit einbeziehen. Der Datensatz für den Strom des Gebäudebetriebs 2021 der ÖKOBAUDAT ist nicht kongruent mit den UBA-Daten.

Unter Berücksichtigung dieser Entwicklung bei den strombezogenen Emissionsfaktoren ist bei Berechnungen mit den neuen Datensätzen der ÖKOBAUDAT 2024-A2 zu erwarten, dass der Anteil der gebäudebezogenen Treibhausemissionen je nach Anteil des Aufwands an Strom bei der Herstellung der Bauprodukte in geringerem Maße und der Anteil der betriebsbedingten Gebäudeemissionen mit dem Datensatz „Strom für Gebäudebetrieb 2021“ in stärkerem Maße abnehmen wird. Diese Erwartung hat sich bestätigt (siehe 11.2). In jedem Fall müssen bei Umstellung der Grundlage für Ökobilanzdaten der Bauprodukte und der Emissionsfaktoren der Energieversorgung auch die künftigen Anforderungswerte für QNG-PLUS und QNG-PREMIUM angepasst werden.

Die Werte bei den Datensätzen „Strom für Gebäudebetrieb 2030 – 2050“ zeigen einen angenommenen Absenkpfad bei den Treibhausgasemissionen für den Strommix in Deutschland mit weiteren

Reduktionsschritten von 33,1 % (erreicht im Jahr 2030) - 75,8 % (erreicht im Jahr 2050). Eine vollständige Dekarbonisierung, von der eigentlich im Jahr 2045 auszugehen wäre, wird hier nicht angenommen.

Bei den Emissionsfaktoren zu Strom ist zwischen den Werten zu unterscheiden, die Emissionen aus den Vorketten entweder berücksichtigen – oder nicht. Um von einheitlichen Systemgrenzen ausgehen zu können, wird empfohlen, Emissionsfaktoren unter Berücksichtigung der Vorketten zu wählen. Auch in der ÖKOBAUDAT und im GEG sollte jeweils ein Hinweis ergänzt werden, der auf Art und Umfang der Berücksichtigung von Vorketten bei den Emissionsfaktoren hinweist.

11.2 Gebäudeauswahl für Untersuchungen zum Einfluss Datensätze aus der Datenbank RECHENWERTE nach 2020-II zur erwarteten ÖKOBAUDAT 2024

Für die Bearbeitung ausgewählt wurden die nachstehend genannten Gebäude, die in wesentlichen Aspekten eine große Bandbreite an wesentlichen Unterschieden abbilden:

- Flächengröße,
- Geschoßanzahl,
- Bauweise,
- ohne und mit Keller

Ausgewählt wurden die Gebäude:

- 36-EFH-1-Z
- 23-EFH-1-MH23-EFH-1-MH
- 34-EFH-2-HT
- 34-EFH-2-HY
- 34-EFH-2-KS
- 34-EFH-2-MH
- 34-EFH-2-Z
- 06-EFH-1-DG-HT
- 04-MFH-2-KG-DG-HT
- 40-MFH-3-KG-KS
- 40-MFH-3-KG-HT
- 35-MFH-2-KG-DG-HY
- 35-MFH-2-KG-DG-MH
- 35-MFH-2-KG-DG-Z
- 19-MFH-6-KG-B
- 19-MFH-6-KG-HAT
- 30-MFH-5-HT
- 21-MFH-4-KG-KS
- 21-MFH-4-KG-HT/MH

Die folgende Abbildung 127 zeigt die m² Nettoraumfläche der ausgewählten Gebäude, wobei jedes Gebäude doppelt besetzt ist für die Auswertung mit den Datensätzen der RECHENWERTE auf Basis der

ÖKOBAUDAT 2020-II und auf Basis der künftigen ÖKOBAUDAT 2024+A2 gemäß Zwischenstand im Frühjahr 2024.

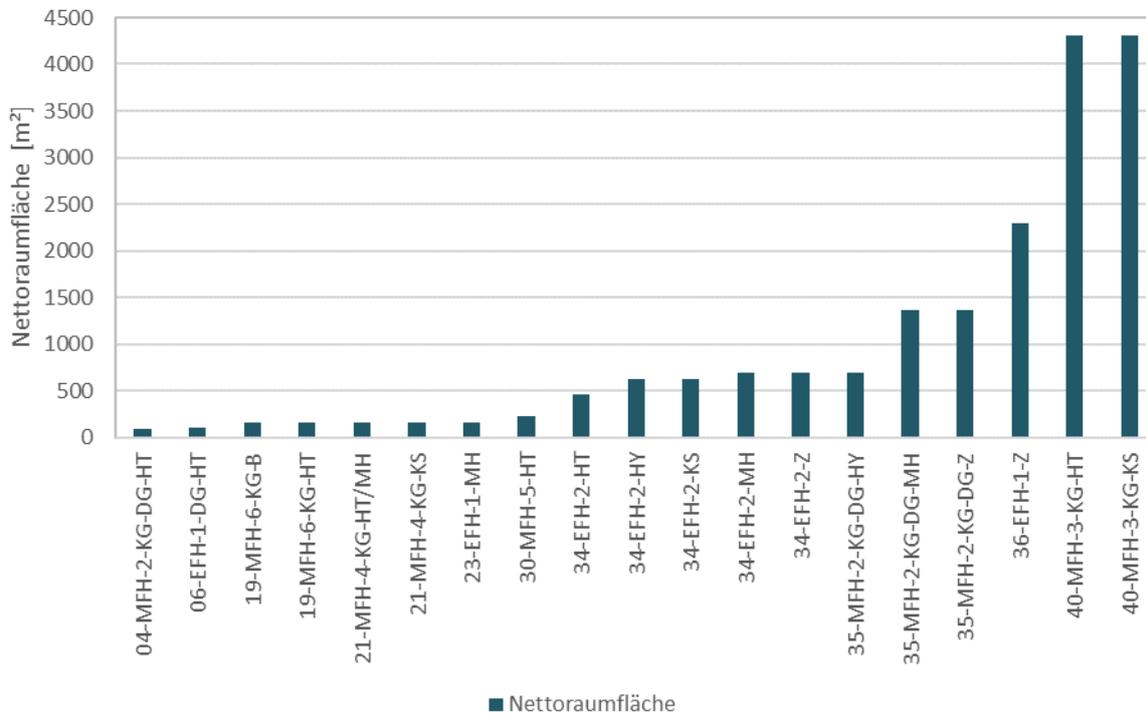


Abbildung 127: Größe der ausgewählten Gebäude nach m²NRF

11.3 Einfluss Datensätze aus der ÖKOBAUDAT 2024

Die folgende Abbildung 128 zeigt den Unterschied der Ökobilanzergebnisse als Gesamtwert der gebäudebezogenen und betriebsbedingten Primärenergie, nicht erneuerbar, bezogen auf einen m² NRF*a. Die helle Säulenfarbe kennzeichnet die Berechnungsergebnisse unter Nutzung der im Frühjahr 2024 noch verbindlich anzuwendenden RECHENWERTE nach ÖKOBAUDAT 2020-II, die dunkle Säulenfarbe kennzeichnet die Berechnungsergebnisse nach künftiger ÖKOBAUDAT 2024+A2. Die rote Linie kennzeichnet den Grenzwert für das QNG-Plus-Niveau gemäß Anforderungsniveau Frühjahr 2024. Dabei ist die Analyse der Erreichbarkeit aktueller Anforderungswerte unter Verwendung künftiger Daten rein fiktiv. Bei der Einführung neuer Datengrundlagen muss auch der Anforderungswert angepasst werden.

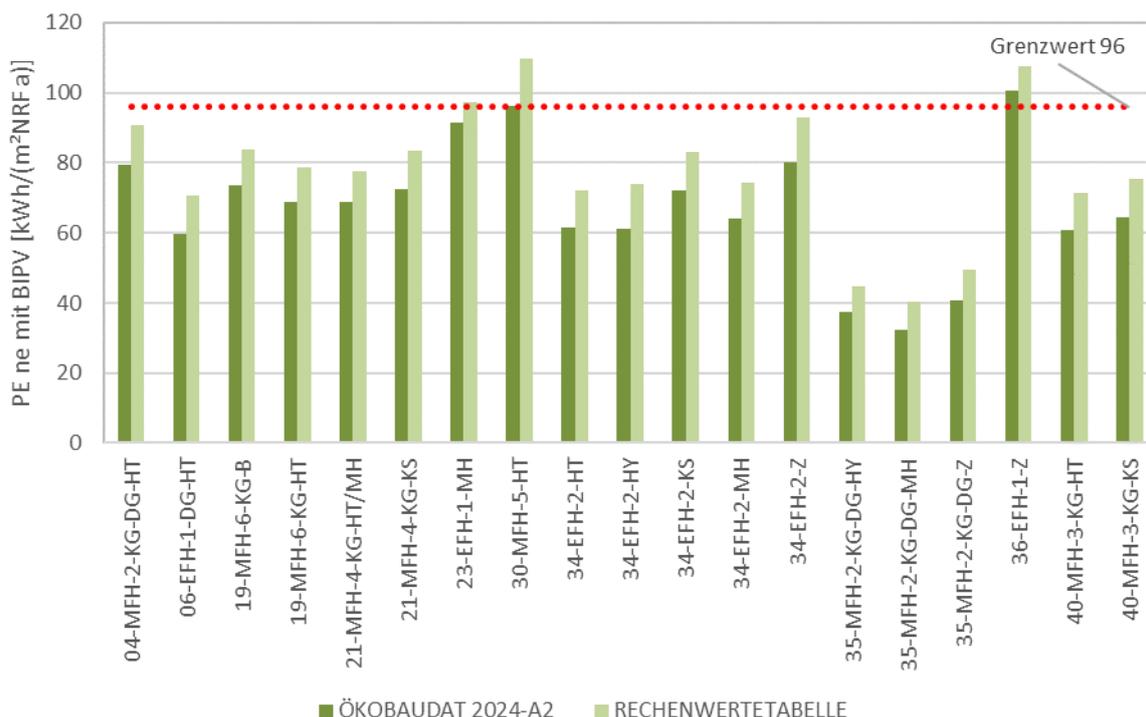


Abbildung 128: Werte der Gebäude mit verschiedenen Datenbanken für PE ne mit BIPV

Es wird deutlich, dass sich für alle ausgewählten Gebäude die Werte für die Primärenergie, nicht erneuerbar verbessern. Alle Gebäude unterschreiten nach Berechnung mit der ÖKOBAUDAT 2024+A2 den Grenzwert für QNG Plus. Dies war bei Nutzung aktuell gültiger Daten nicht der Fall.

Die folgende Abbildung 129 zeigt den Unterschied der Ökobilanzergebnisse als Gesamtwert des gebäudebezogenen und betriebsbedingten Treibhauspotenzials, bezogen auf (m²NRF a). Die helle Säulenfarbe kennzeichnet die Berechnungsergebnisse unter Nutzung aktueller RECHENWERTE nach ÖKOBAUDAT 2020-II, die dunkle Säulenfarbe kennzeichnet die Berechnungsergebnisse nach künftiger ÖKOBAUDAT 2024+A2. Die rote Linie stellt den aktuellen Grenzwert für das QNG-Plus-Niveau dar.

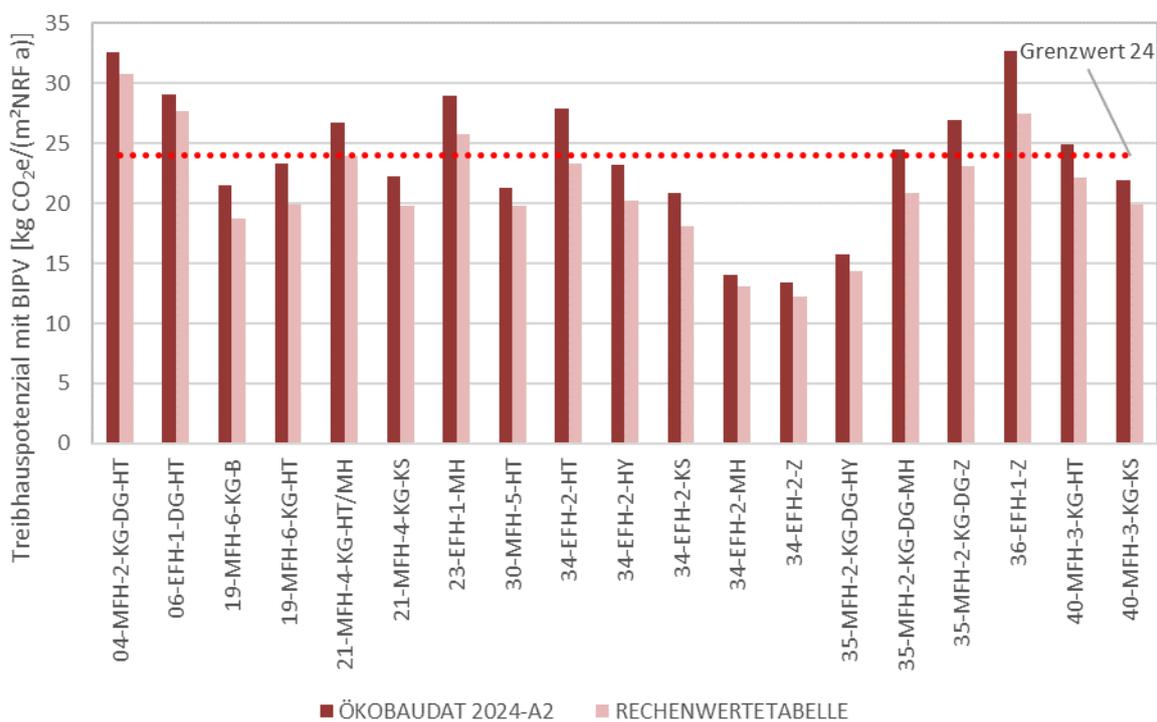


Abbildung 129: Werte unter Nutzung aktueller und künftiger Datengrundlagen bei Gebäuden mit BIPV-Anlage für GWP gesamt

Die Ergebnisse der Berechnung mit zukünftigen Datensätzen erreichen im Mittel um 11,6 % günstigere Werte. Siehe folgende Abbildung.

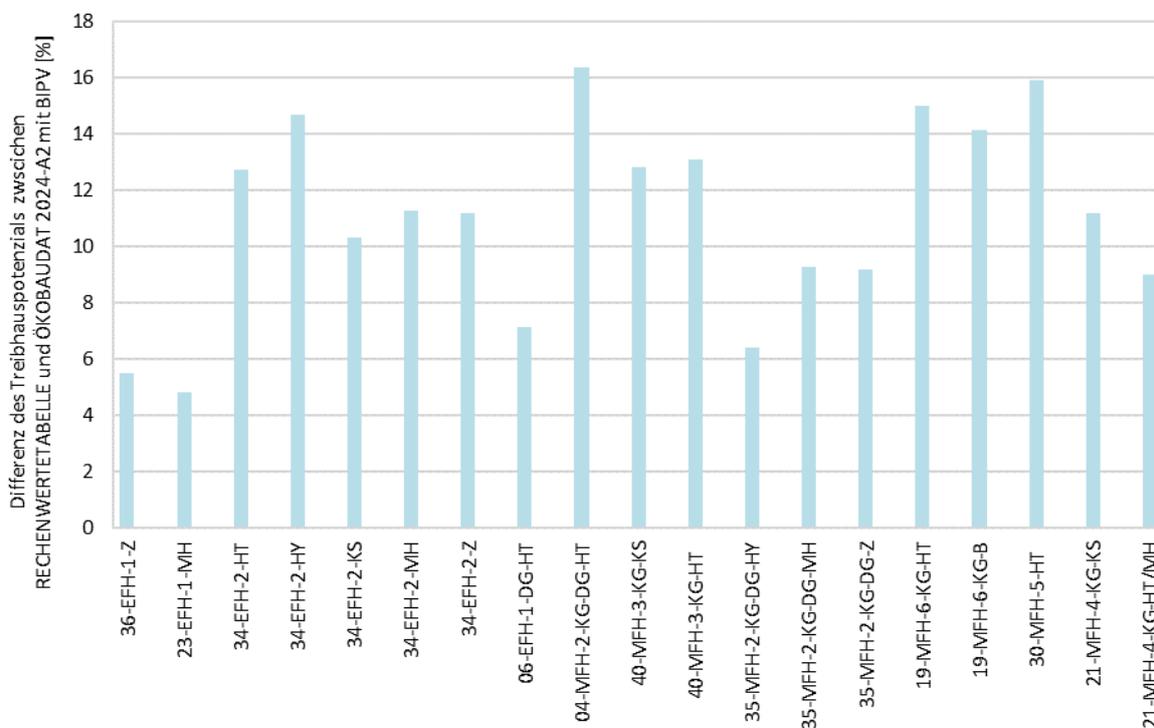


Abbildung 130: Differenz aktueller und zukünftiger Werte des GWP bei Gebäuden mit BIPV-Anlage

Es wird deutlich, dass wie zuvor sich für alle ausgewählten Gebäude die Werte für das Treibhauspotenzial verbessern. Fünf zusätzliche Gebäude unterschreiten nach der Berechnung mit der ÖKOBAUDAT 2024+A2 den Grenzwert für QNG Plus. Die Ursache hierfür ist vor allem die Reduzierung des betriebsbedingten Anteils des Treibhauspotenzials. Dies zeigt die Auswertung des betriebsbedingten Anteils des Treibhauspotenzials in der folgenden Abbildung 131. Die helle Säulenfarbe kennzeichnet die Berechnungsergebnisse unter Nutzung aktueller RECHENWERTE nach ÖKOBAUDAT 2020-II, die dunkle Säulenfarbe kennzeichnet die Berechnungsergebnisse nach künftiger ÖKOBAUDAT 2024+A2.

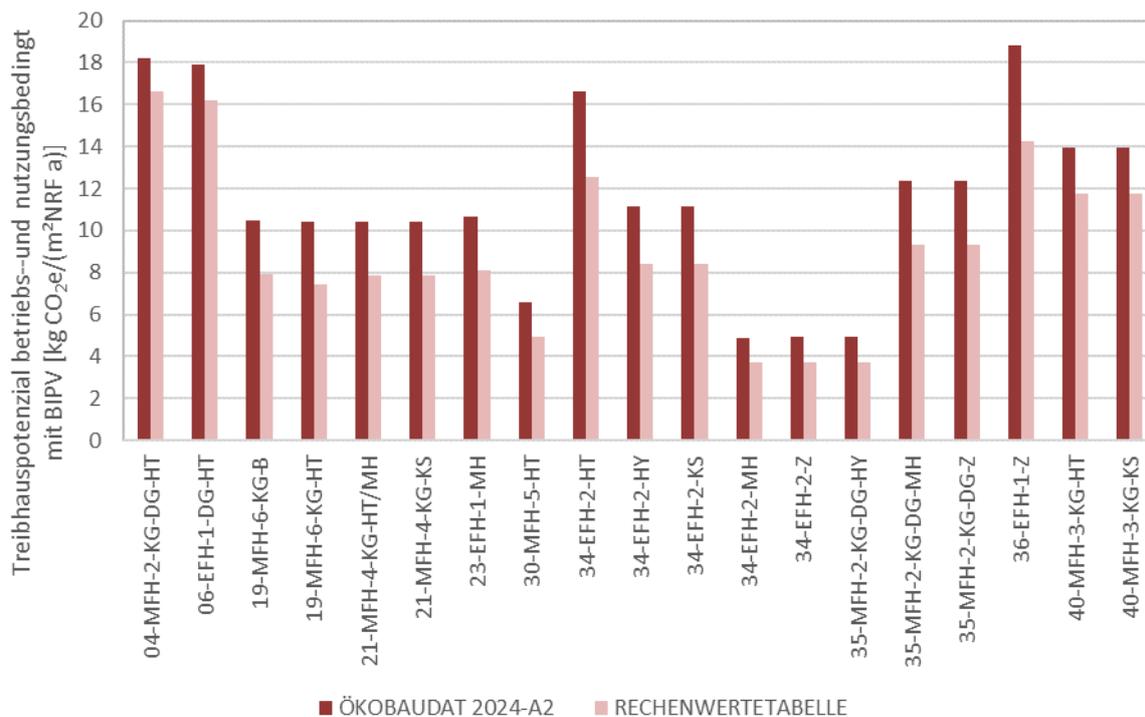


Abbildung 131: Werte für das betriebsbedingte GWP bei Gebäuden mit BIPV-Anlage

Die Gebäude 36 und 23 zeigen nur geringe Verbesserungen, da diese Gebäude über ein Nahwärmenetz beheizt werden. Die Werte dieses Datensatzes werden sich nur geringfügig verändern. Die anderen Gebäude mit Wärmepumpenbetrieb zeigen dagegen starke Reduktionen durch den erheblich verbesserten Emissionsfaktor für den strombasierten Gebäudebetrieb.

Der mit Abbildung 132 dargestellte gebäudebezogene Anteil des Treibhauspotenzials verringert sich nur geringfügig. Die helle Säulenfarbe kennzeichnet die Berechnungsergebnisse unter Nutzung aktueller RECHENWERTE nach ÖKOBAUDAT 2020-II, die dunkle Säulenfarbe kennzeichnet die Berechnungsergebnisse nach künftiger ÖKOBAUDAT 2024+A2.

In Einzelfällen bei einer anderen Beheizungsform als mit Wärmepumpe sind auch höhere Werte möglich.

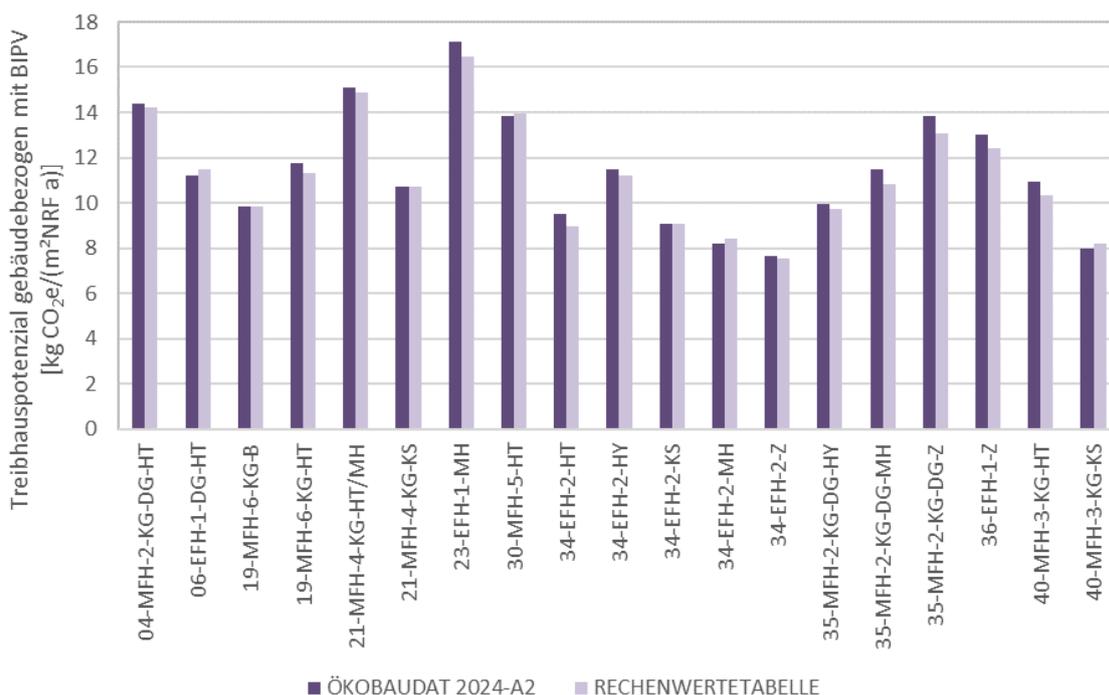


Abbildung 132: Werte für das gebäudebezogene GWP

11.4 Einfluss der Trennung von GWP total in GWP fossil und GWP biogenic

Die mit Abbildung 133 dargestellte Auswertung des Treibhauspotenzials mit Trennung des fossilen und biogenen Anteils zeigt folgende Besonderheiten.

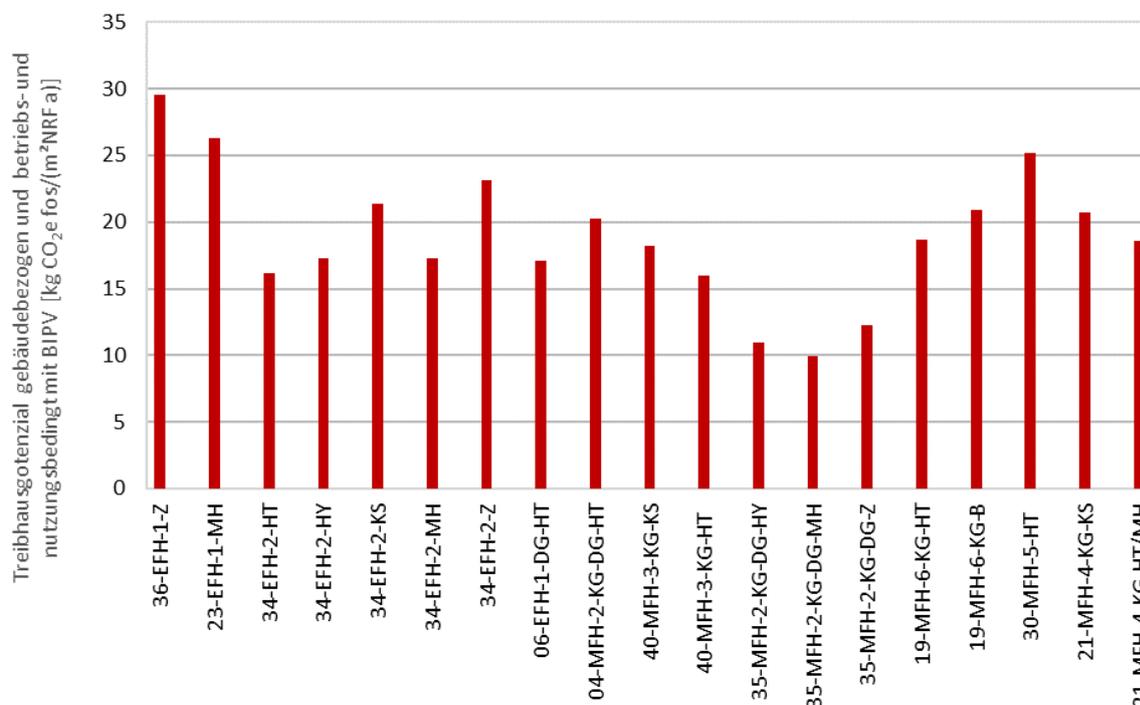


Abbildung 133: Werte des fossilen Anteils des gebäudebezogenen und betriebsbedingten Treibhauspotenzials bei Gebäuden mit BIPV-Anlage

Eine Auswertung des Indikators $\text{CO}_2\text{e fossil}/(\text{m}^2\text{NRF a})$ ergibt eindeutig einen Zusammenhang mit der Bauweise. Die Gebäude 36-EFH-1-Z, 34 EFH-2-KS, 34-EFH-2-Z, 40-MFH-3-KS, 35-MFH-2-KG-DG-Z, 19-MFH-5-KG-B und 21-MFH-4-KG-KS erreichen in ihrer Gruppe die höheren Werte. Deutlich wird ebenfalls, dass sich die Unterschiede durch verschiedene Primärkonstruktionen bei Gebäuden mit großer Nettoraumfläche abschwächen.

Bezüglich des biogenen Treibhauspotenzials ist erwartet worden, dass sich die Werte gemäß -1/+1 Ansatz über den Lebenszyklus ausgleichen und einen Wert von Null ergeben. Dies ist nicht der Fall, sondern es ergeben sich kleine Werte unter $1,0 \text{ kg CO}_2\text{e biogenic}/(\text{m}^2\text{NRF a})$. Siehe auch Abbildung 134.

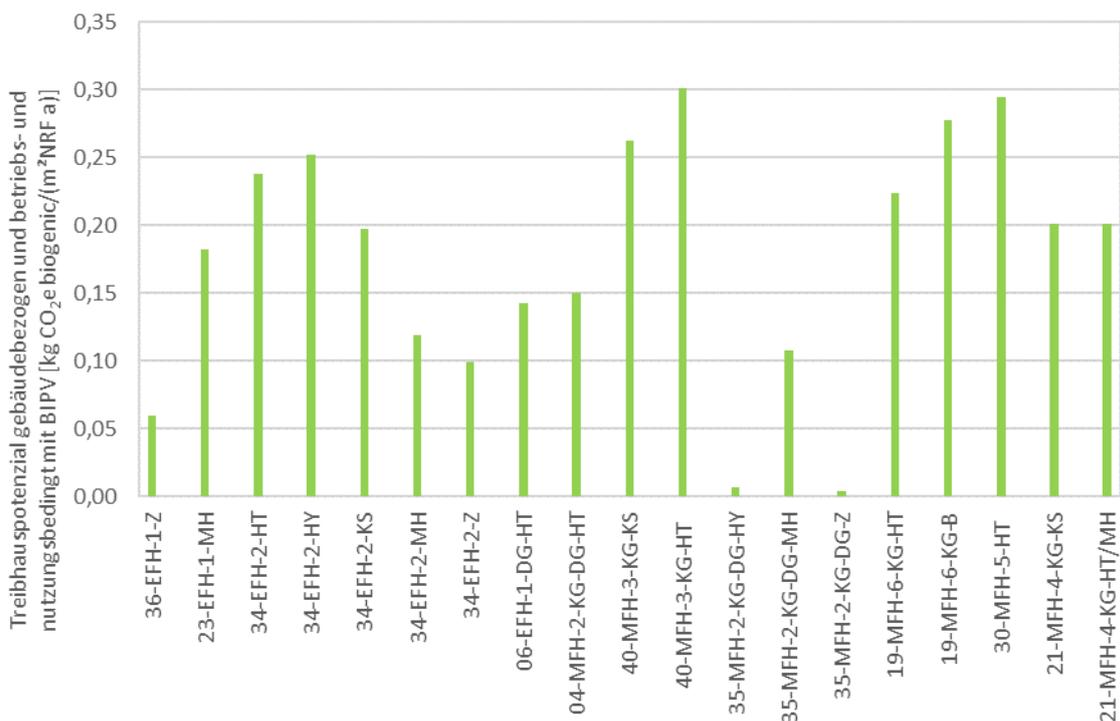


Abbildung 134: Werte für das biogene Treibhauspotenzial bei Betrachtung des gebäudebezogenen und betriebs- und nutzungsbedingten Anteils von Gebäuden mit BIPV-Anlage

Durch Analyse und Identifikation der materialbezogenen Treibhauspotenziale in der verwendeten Software war es möglich, die Verursacher dieser Werte zu ermitteln. Es waren einzelne Datensätze, die den Wert im Modul A (Herstellung) des biogenen Treibhauspotenzials im Modul C (Entsorgung) nicht vollständig ausbuchten. Bezüglich der Bauweise lassen sich dabei keine Unterschiede erkennen. Diese Effekte sollten im Detail weiter untersucht werden.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wird empfohlen, ähnlich wie bei dem Umgang mit Primärenergie, nicht erneuerbar, Primärenergie, erneuerbar und Gesamtprimärenergie den QNG-Grenzwert für die Treibhausgasemissionen auf den Kennwert GWP fossil umzustellen.

12 Begrenzung des Erstaufwands als Nebenforderung?

In diesem Kapitel wird diskutiert, ob und inwieweit es sinnvoll sein kann, u. a. Anforderungen zur Begrenzung des Erstaufwandes im Lebenszyklus von Gebäuden als Teil von Anforderungen an die Umweltqualität (*environmental performance*) zu formulieren. Mit dem Erstaufwand sind hier sowohl der Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar als auch die Treibhausgasemissionen für die Herstellung von Bauprodukten für Neubau- oder Modernisierungsvorhaben sowie für den Transport zur Baustelle und die Prozesse auf der Baustelle gemeint. Die Systemgrenzen des Erstaufwands umfassen daher den Bereich „von der Wiege“ bis zur „Fertigstellung und Übergabe bzw. Inbetriebnahme“ des Gebäudes. In der Ökobilanzierung entspricht dies den Modulen A1 – A5 nach DIN EN 15643 und der künftigen DIN EN 15978. Die aktuellen Systemgrenzen zur Ermittlung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar und der Treibhausgasemissionen sehen eine Ermittlung und Berücksichtigung der Module A4 und A5 nicht vor. Entsprechend konzentriert sich der Erstaufwand damit auf A1-A3. Im übertragenen Sinne ist dies mit den anteiligen Materialkosten bei den Bauwerkskosten vergleichbar.

In der internationalen Literatur wird der Erstaufwand bei Treibhausgasemissionen als *upfront emissions* bezeichnet. Es handelt sich um eine Teilgröße der gebäudebezogenen Treibhausgasemissionen, gemessen in kg CO₂-Äquivalenten (absolut) bzw. in kg CO₂-Äquivalenten / m² Bezugsfläche. Ein Bezug auf ein Jahr des Betrachtungszeitraums ist nicht üblich, kann jedoch zur Darstellung des spezifischen Anteils an den lebenszyklusbezogenen Gesamtemissionen als Zusatzinformation sinnvoll sein.

12.1 Grundlagen

Auf Basis der DIN EN 15643 sowie der (künftigen) DIN EN 15978 wird für die Bewertung der Umweltqualität von Gebäuden u. a. eine Lebenszyklusanalyse eingesetzt. Unter Nutzung der Methode einer angewandten Ökobilanzierung werden die Energie- und Stoffströme sowie die resultierenden Wirkungen auf die globale Umwelt ermittelt. Grundlage sind sowohl ein Gebäude- und Lebenszyklusmodell als auch ein definierter Betrachtungszeitraum, der sich von der geplanten Nutzungsdauer unterscheidet. Im Lebenszyklusmodell werden Lebenszyklusphasen unterschieden, die weiter in Informationsmodule unterteilt werden.

Als Indikatoren werden u. a. der Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar (PE, ne bzw. PENRT) sowie die Treibhausgasemissionen, ausgedrückt als Treibhauspotenzial GWP 100 und gemessen in CO₂-Äquivalenten, verwendet. Die Treibhausgasemissionen können für definierte Randbedingungen und Annahmen sowie unter Beachtung von Systemgrenzen absolut für den Betrachtungszeitraum ermittelt und angegeben und/oder auf eine Bezugsgröße (i. d. R. eine Fläche) bezogen werden. Es ist weiterhin möglich, Ergebnisse für einzelne Phasen des Lebenszyklus bzw. für ausgewählte Module anzugeben. Dies erleichtert es während der Planung, die Beiträge einzelner Phasen und Module zum Gesamtergebnis zu identifizieren und zu analysieren und so eine gezielte Einflussnahme in der Gebäude- und Bauteiloptimierung zu unterstützen.

Üblich ist es weiterhin, die Ergebnisse auf ein Jahr zu beziehen. Es handelt sich dann um einen über den Betrachtungszeitraum gemittelten Wert. Bei der Formulierung von Anforderungswerten oder Bewertungsmaßstäben werden in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen und Förderprogrammen überwiegend Angaben bezogen auf 1 m² Bezugsfläche und 1 Jahr Betrachtungszeitraum verwendet. Sie werden so normalisiert. Damit wird ein Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar bzw. Treibhausgasemissionen zusammengefasst, die in jüngerer Vergangenheit entstanden oder aktuell entstehen bzw. erst in Zukunft entstehen werden. Energieaufwand und Treibhausgasemissionen für die Herstellung von Bauprodukten (Baustoffe, Bauteile, technische Systeme) entstanden in jüngerer

Vergangenheit, werden i. d. R. jedoch dem Zeitpunkt der Errichtung des Gebäudes zugeordnet. Transporte zur Baustelle und Prozesse auf der Baustelle erfolgen zum Zeitpunkt der Errichtung des Gebäudes. Angaben zum Erstaufwand gelten als vergleichsweise sicher, der Aufwand selbst lässt sich in der Zukunft nicht mehr direkt beeinflussen. Ein indirekter und relativer Einfluss auf zeitbezogene Werte ist durch die Verlängerung der Nutzungsdauer des Gebäudes bzw. die Wiederverwendung von Bauteilen und /oder das Recycling jedoch gegeben. Anders ist dies beim Aufwand während des Betriebs und der Nutzung sowie am Ende der Nutzungsdauer. Dieser Aufwand liegt in näherer oder fernerer Zukunft. Die Angaben werden damit unsicherer. Es kann über die Dekarbonisierung der Energieversorgung und der Bauprodukt-herstellung Einfluss u. a. auf den künftigen Energieaufwand und die THG-Emissionen genommen werden. Derzeit macht die Wissenschaft keinen Unterschied zwischen aktuellen und künftigen Emissionen im Hinblick auf das noch zur Verfügung stehende Budget an Treibhausgasemissionen, das eine Begrenzung der globalen Erwärmung noch erlaubt. Eine physische Diskontierung ist nicht vorgesehen. Unterschiede bezüglich heutiger und künftiger Emissionen ergeben sich jedoch hinsichtlich der Unsicherheit und Beeinflussbarkeit.

12.2 Fragestellungen

Vor dem Hintergrund der Besonderheiten des Erstaufwandes bei der Erfassung, Bewertung und gezielten Beeinflussung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar und insbesondere der THG-Emissionen stellen sich Fragen zum Umgang mit der Lebenszyklusphase „Herstellung und Errichtung“ als die dem Betrieb und der Nutzung vorgelagerte Phase. Dies sind:

- Ist es möglich und sinnvoll, Anforderungen an die Begrenzung des Erstaufwandes zu formulieren?
- Welche Besonderheiten sind zu beachten, gibt es Risiken?

12.3 Einordnungen

Die Lebenszyklusphase „Herstellung und Errichtung“ (Module A1-A5) – hier bezeichnet als Erstaufwand bzw. in Bezug auf die Treibhausgasemissionen „*upfront emissions*“ – hat großen Einfluss auf die Energie- und Stoffströme sowie die Wirkungen auf die Umwelt und damit auf das Ergebnis einer Ökobilanz. Bei den Wirkungen auf das Klima entfallen bei energieeffizienten Neubauten ca. -55 % bis 76 % der gebäudebezogenen Emissionen auf den Erstaufwand. Bei den Treibhausgasemissionen eines Gebäudes im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren insgesamt gemäß Systemgrenzen des QNG liegt der Anteil bei ca. 23 % bis 52 %. Der Erstaufwand geht bei den Treibhausgasemissionen sofort zu Lasten des noch zur Verfügung stehenden Budgets, das eine Begrenzung der globalen Erwärmung noch erlaubt.

12.4 Diskussion

Nachstehend erfolgt die Diskussion ausgewählter Teilaspekte.

12.4.1 Art und Umfang einzubeziehender Module

Der Erstaufwand als Teil des gebäudebezogenen Anteils einer Ökobilanz entspricht der Lebenszyklusphase „Herstellung und Errichtung“ und ist der Betriebs- und Nutzungsphase vorgelagert. Nach DIN EN 15643 und künftiger DIN EN 15978 entspricht dies der Lebenszyklusphase A mit den Modulen A1-A5 in den Systemgrenzen *cradle to handover*. Die Module A1-A3 bilden die Herstellung der Bauprodukte inklusive der Vorketten bis zur Systemgrenze „frei Werktor, aufgeladen“ (*cradle to gate*) ab, A4 die Transporte zur Baustelle und A5 die Prozesse (u. a. Einbau) auf der Baustelle ab.

Aus methodischer Sicht ist für die Erfassung und Bewertung des Erstaufwandes die vollständige Einbeziehung der Module A1 – A5 erforderlich. Dies trägt dazu bei, Bauweisen, die überwiegend vorgefertigte Bauteile nutzen, korrekt mit Bauweisen zu vergleichen, bei denen viele Prozesse erst auf

der Baustelle stattfinden (Montage von Betonfertigteilen versus Ortbeton). Eine alleinige Betrachtung der Module A1-A3 führt ggf. zu einer Ungleichbehandlung. Dabei werden u. a. die Baustellenprozesse (A5) nicht betrachtet.

In den Rechen- und Nachweisregeln sowie den Anforderungswerten in Deutschland erfolgt eine Betrachtung der Module A1 – A3. A4 und A5 werden derzeit nicht erfasst. Um eine Ungleichbehandlung unterschiedlicher Bauweisen zu mildern, wird bei Fertigteilen teilweise auf die Erfassung des Aufwands der Vorfertigung verzichtet. In die Bilanz von Fertigteilen gehen dann zwar die Effekte der verbauten Produkte, nicht aber die der direkten und indirekten Herstellungsprozesse ein. Es ist zu diskutieren, ob, wann und wie künftig die Module A4 und A5 in die Betrachtung einfließen können und sollen, insbesondere dann, wenn es zu einer Nebenanforderung zur Begrenzung des Erstaufwands kommt.

12.4.2 Umgang mit dem Faktor Zeit

Im Lebenszyklusmodell eines Gebäudes werden die Effekte (u. a. Inanspruchnahme von Ressourcen, Wirkungen auf die Umwelt) der Lebenszyklusphase „Herstellung und Errichtung“ vereinfachend auf den Zeitpunkt der Errichtung bezogen. Sie entsprechen dem Erstaufwand. Künftige Entwicklungen werden dabei nicht erfasst. Damit gehen (1) die Dauerhaftigkeit bzw. Langlebigkeit der Produkte und Konstruktionen sowie (2) Effekte in Verbindung mit der Nutzung (B1), Instandhaltung (B2), Reparatur (B3), Ersatz (B4) nicht in die Betrachtung ein. Unberücksichtigt bleiben ebenso die Effekte am Ende der Lebens- bzw. Nutzungsdauer des Gebäudes (modelliert als Ende des Betrachtungszeitraums) – die Module C1-C4.

Eine alleinige Betrachtung des Erstaufwandes birgt (ebenso wie eine alleinige Betrachtung der Investitions- bzw. Baukosten) Risiken. Scheinbar vorteilhafte Lösungen könnten sich im Ergebnis ihrer ggf. geringen Nutzungsdauer und eines ggf. hohen Aufwands für Instandhaltung als nachteilig erweisen. Dies trifft auch für Lösungen zu, die später einen hohen Aufwand für Rückbau, Aufbereitung und Entsorgung verursachen können.

12.4.3 Besonderheiten bei der Nutzung der Biomasse

Bei Ökobilanzdaten zu Biomasse und zu Produkten, die überwiegend aus Biomasse (darunter Holz) hergestellt werden, existieren Daten, die den Ansätzen 0/0 bzw. -1/1 folgen. Beim Ansatz 0/0 wird eine ausgeglichene Bilanz im Lebenszyklus angenommen. Beim Ansatz -1/1 werden zu Beginn des Lebenszyklus Treibhausgase gebunden, am Ende jedoch wieder freigesetzt. Dieser Effekt würde bei der Betrachtung des Erstaufwandes nicht berücksichtigt. Es muss entweder von Anfang an der 0/0-Ansatz verfolgt oder eine alternative Lösung gefunden werden. Bei Lebenszyklusbetrachtungen wird in Deutschland der -1/+1-Ansatz verwendet. Eine zusätzliche Betrachtung nach dem 0/0-Ansatz nur für den Teil des Erstaufwandes wäre kaum zu vermitteln. Alternativ kann gemäß DIN EN 15805 A2 bei der Datenbereitstellung für entsprechende Produkte eine Aufteilung in GWP biogenic und GWP fossil erfolgen. Für die Erfassung, Bewertung und Begrenzung des Erstaufwands (die *upfront emissions*) könnten dann ausschließlich die Werte für GWP fossil herangezogen werden.

12.5 Erstaufwand (upfront emissions) – Modul A1-A3 bei untersuchten Gebäuden

Der Erstaufwand wird im Fall der Treibhausgasemissionen als „upfront emissions“ bezeichnet. Im vorliegenden Fall umfasst er die Module A1-A3, da die Module A4 und A5 gemäß der Systemgrenzen zum QNG bisher nicht berücksichtigt werden. Angaben erfolgen zunächst als absolute bzw. flächenbezogene Kennwerte, die nicht auf einen Betrachtungszeitraum aufgeteilt werden. Sie können so u. a. mit Kennwerten aus der internationalen Literatur verglichen und damit einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden. Es wird empfohlen, möglichst schnell nationale Orientierungswerte zu erarbeiten und zu veröffentlichen.

Eine in einem zweiten Schritt erfolgende Aufteilung auf den Bezugszeitraum als Zusatzinformation erlaubt die Ermittlung des Anteils des Erstaufwands am Gesamtaufwand, soweit beide Größen hinsichtlich ihrer Systemgrenzen vergleichbar sind.

Eine gesonderte Angabe des GWP biogenic beim Erstaufwand wird nicht empfohlen. Die Angabe negativer Werte zu Beginn des Betrachtungszeitraums ist zwar korrekt, nicht dargestellt werden jedoch bei einer Konzentration auf die Module A1-A3 die entstehenden Emissionen am Ende des Betrachtungszeitraums gemäß des -1/+1-Ansatzes beim Umgang mit Biomasse. Es wird empfohlen, sich bei Orientierungs- oder Anforderungswerten zur Begrenzung des Erstaufwandes auf GWP fossil zu konzentrieren. Für die Vorgabe konkreter Werte bedarf es weiterer Untersuchungen. Die Abbildung 135 bis Abbildung 137 liefern jedoch erste Hinweise zur zu erwartenden Größenordnung bei Gebäuden mit PV-Anlagen. Bei der Berechnung und Analyse dieser Gebäude werden die mit der Herstellung der PV-Anlage verbundenen Treibhausgasemissionen anteilig, entsprechend dem Eigenbedarfsanteil des Stroms dem Gebäude zugeordnet und erhöhen so den Erstaufwand.

Die folgenden Abbildungen beziehen sich auf den fossilen Anteil der gebäudebezogenen THG-Emissionen (GWP fossil) für den Erstaufwand (upfront emissions) in $\text{kgCO}_2\text{e fossil}/(\text{m}^2\text{NRF})$.

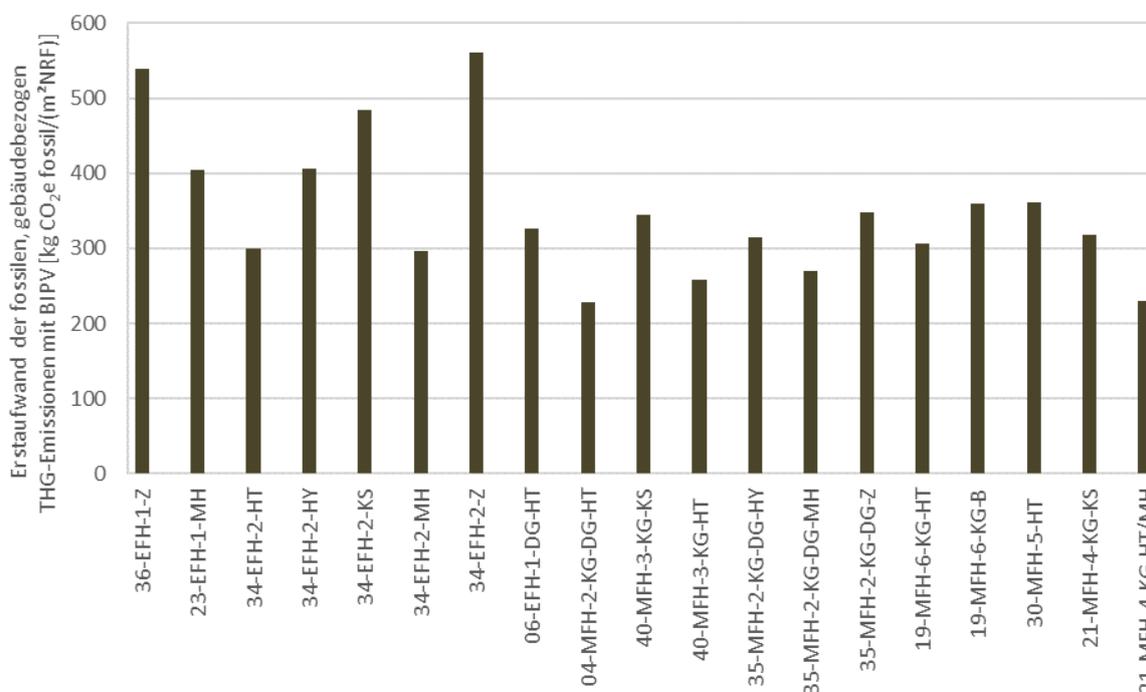


Abbildung 135 Erstaufwand (upfront emissions) zum gebäudebezogenen Anteil der Treibhausgasemissionen fossiler Anteil bei Gebäuden mit PV-Anlage

Die obige Abbildung 135 zeigt die Abnahme der Werte bei größeren Gebäuden im rechten Teil. Innerhalb der Gruppe gleicher Gebäude zeigen sich Abstufungen, die der gewählten Bauweise (Primärkonstruktion) entsprechen. Dies betrifft die Gruppe 36 und 23, die Gruppe 34, die Gruppe 40, die Gruppe 35, die Gruppe 19 und die Gruppe 21. Mit wachsenden Anteilen der nachwachsenden Rohstoffe verringern sich – wie zu erwarten war – die Werte für GWP fossil.

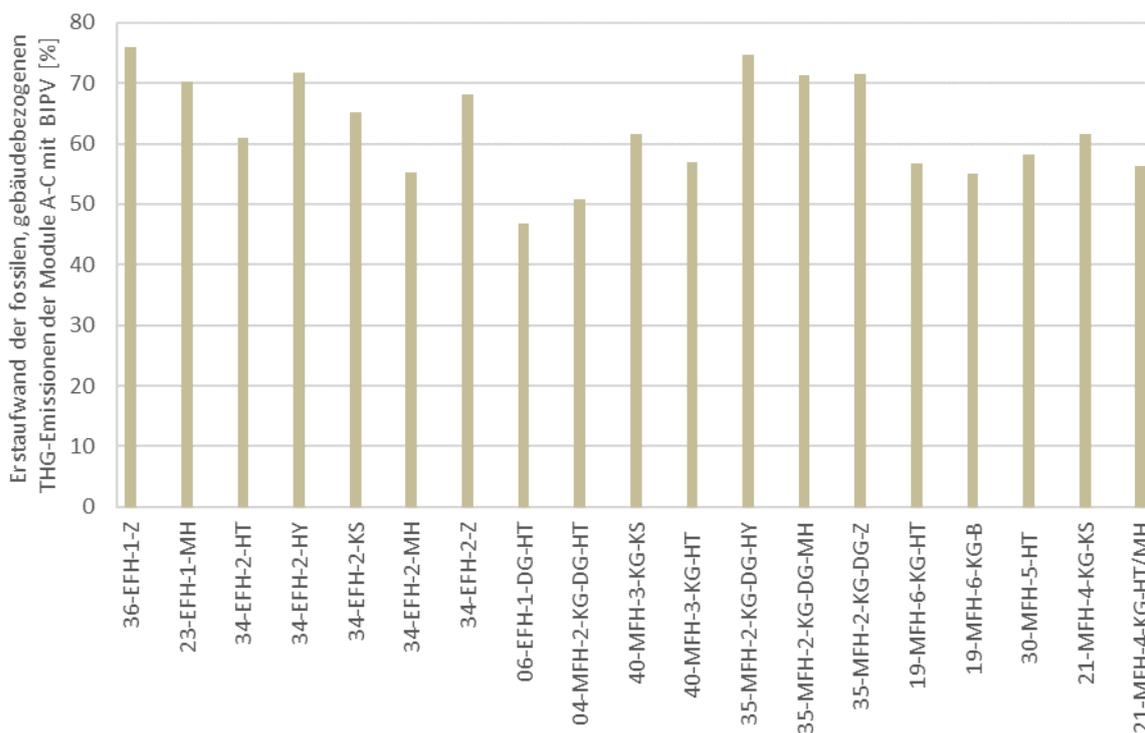


Abbildung 136 Anteil der upfront emissions an der Summe der gebäudebezogenen fossilen THG-Emissionen Modul A-C bei Gebäuden mit PV-Anlage

Die obige Abbildung 136 zeigt Anteile von 47 % bis 77 % der upfront emissions an den gesamten gebäudebezogenen fossilen THG-Emissionen über den Betrachtungszeitraum. Die Gebäude haben alle eine BIPV-Anlage.

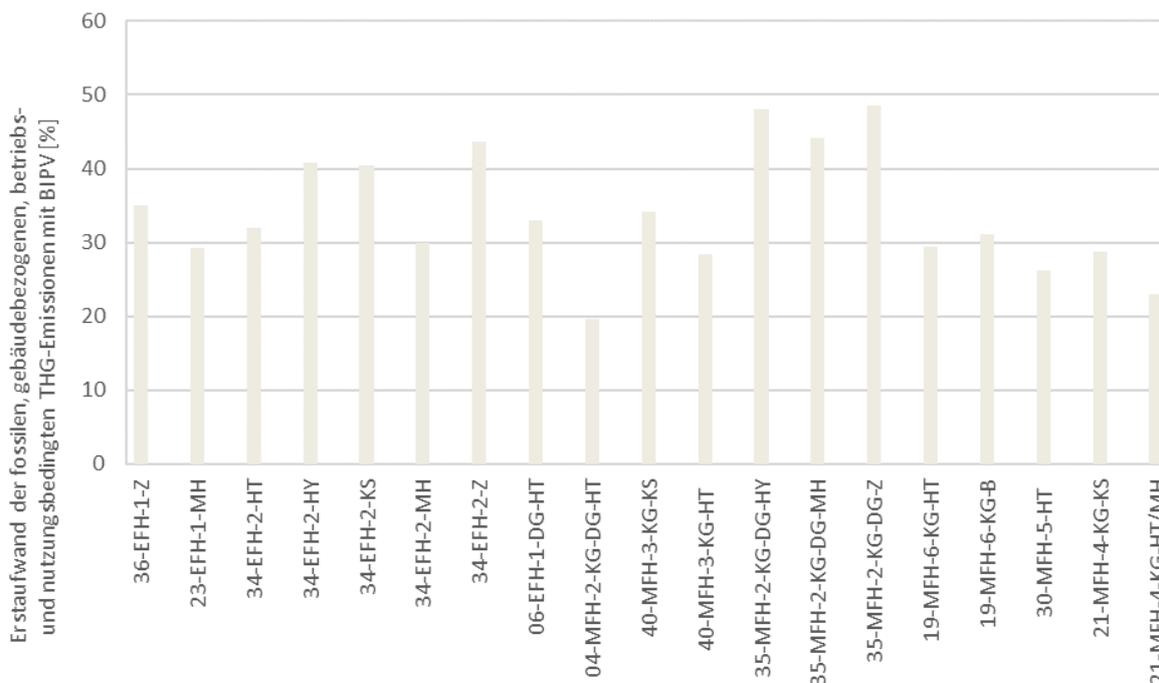


Abbildung 137 Anteil der upfront emissions an den gesamten gebäudebezogenen sowie betriebs- und nutzungsbedingten fossilen THG-Emissionen bei Gebäuden mit PV-Anlage

Die obige Abbildung 137 zeigt Anteile von 23 % bis 44 % der upfront emissions an den gesamten gebäudebezogenen sowie betriebs- und nutzungsbedingten fossilen THG-Emissionen über den Betrachtungszeitraum. Die Gebäude haben alle eine BIPV-Anlage.

12.6 Ergebnisse der Gebäudeauswertung für Modul A1-A3 fossiles und biogenes CO₂e

Werden die beiden, jetzt aufgeteilten THG-Emissionen in Form von GWP fossil und GWP biogenic für den Erstaufwand (Modul A1 – A3) gemeinsam dargestellt, ergeben sich deutliche Auswirkungen der jeweiligen Bauweise der Gebäude.

Die folgende Abbildung 138 zeigt die Aufteilung des GWP total in seine fossilen (positive Werte - blau für GWP fossil) und biogenen (negative Werte - rot für GWP biogenic) Anteile für das Modul A1 – A3. Auf die Ermittlung und Angabe von GWP luluc wurde verzichtet. Es wird deutlich, dass bei Gebäuden mit einem hohen Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen (siehe untersuchte Gebäude 23-EFH-1-MH, 34-EFH-2-MH, 21-MFH-4-KG-HT/MH) der biogene Anteil des GWP den fossilen Anteil ausgleichen oder überschreiten kann.

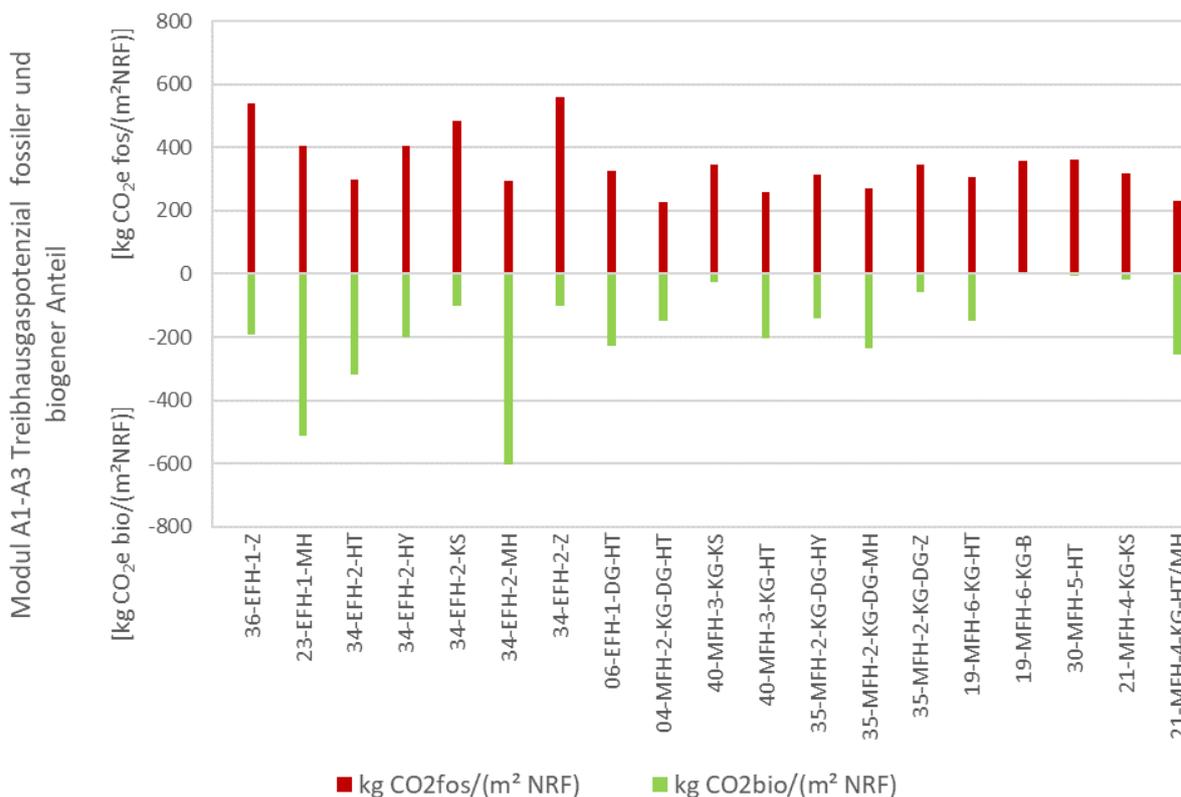


Abbildung 138 Erstaufwand für die Module A1-A3, unterteilt in GWP fossil und GWP biogen

Die Effekte einer überdurchschnittlichen Nutzung von Produkten, die überwiegend unter Nutzung von Holz oder Biomasse hergestellt werden, lassen sich zusätzlich oder alternativ über Angaben zum Gehalt an biogenem Kohlenstoff in kg C bzw. kg C / m² ausdrücken. Auch hierfür sind u. a. Mindestvorgaben denkbar. Manipulationsversuche durch Einbau von nicht benötigtem Holz können allerdings nicht ausgeschlossen werden.

12.7 Empfehlungen

Es werden folgende Empfehlungen gegeben:

- (Teil-)Anforderungen zur Begrenzung des Erstaufwandes sind sinnvoll und möglich. Sie sind jedoch mit Risiken einer Fehlinterpretation verbunden und sollten vorzugsweise als Nebenanforderungen in ein System von Anforderungen integriert werden.
- Anforderungen an die Begrenzung des Erstaufwandes sollten aus theoretischer Sicht die Module A1 – A5 umfassen. Im Bedarfsfall sollten für die Module A4 (Transporte zur Baustelle) und A5 (Baustellenprozesse) Rechen- oder Durchschnittswerte eingeführt werden.
- Eine Nebenanforderung zur Begrenzung des Erstaufwandes sollte vorzugsweise für Treibhausgasemissionen (*upfront emissions*) erfolgen.
- Soweit eine Unterteilung des Treibhauspotenzials GWP100 datentechnisch in ein GWP biogenic und ein GWP fossil möglich ist, sollte die Teilgröße GWP fossil zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen für Herstellung und Errichtung genutzt werden. Zusätzlich kann und soll der biogene Kohlenstoffgehalt, künftig ggf. auch der übrige, nicht biogene Kohlenstoffgehalt, ausgewiesen werden.
- Bei der Darstellung der Ergebnisse einer Ökobilanz sollte neben einer Gesamtbetrachtung des Lebenszyklus eine Unterteilung in einzelne Lebenszyklusphasen erfolgen. Dies wird sowohl von der einschlägigen Normung als auch im Entwurf zur Gebäudeeffizienzrichtlinie (EPBD) so vorgeschlagen. Im Idealfall sollte eine Darstellung – in Anlehnung an einen vollständigen Finanzplan in der Ökonomie – in Jahresscheiben erfolgen. Damit wird eine Anschlussfähigkeit an eine umweltökonomische Betrachtung ermöglicht. Weiterhin ergeben sich Vorteile für den Übergang zu einer dynamischen Betrachtung von Primärenergie- und Emissionsfaktoren sowie von Ökobilanzdaten der Baustoffproduktion.
- Es sollte geprüft werden, ob in Ergänzung der Angaben zu den Modulen A1 – A3 dargestellt werden kann, welcher Anteil des Erstaufwandes (ggf. in Prozent) in das Recyclingpotenzial D1 eingeht.

Würde in die Erfassung und Begrenzung des Erstaufwandes die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen im Sinne primärer Rohstoffe einbezogen, kann der Aufwand an primären Rohstoffen für die Kategorien Biomasse, Erze, mineralische Rohstoffe und fossile Energieträger ausgewiesen werden. Es ergeben sich Überschneidungen zum Thema „graue Energie“. Der Aufwand an fossilen Energieträgern infolge einer energetischen und stofflichen Nutzung entspricht gleichzeitig dem kumulierten Energieaufwand KEA.

13 Auswahl von Bezugsgrößen

Bei der ökobilanziellen Bewertung von Gebäuden spielt die Auswahl geeigneter Bezugsgrößen für die Normalisierung von Kennwerten sowie die Formulierung von Anforderungswerten eine große Rolle. Meist kann ein sinnvoller Vergleich von Varianten erst unter Nutzung von bezogenen Größen erfolgen. Bezugsgrößen sind daher sowohl mit Sorgfalt zu wählen als auch transparent darzustellen. Die Wahl von Bezugsgrößen hat Einfluss auf die Interpretation von Ergebnissen. Für einzelne Möglichkeiten können sich sowohl Vor- als auch Nachteile ergeben.

13.1 Hinweise zur Wahl von Bezugsgrößen

In einem ersten Schritt ist ein Bezugszeitraum zu definieren bzw. aus einer Konvention zu übernehmen. Es wird i. d. R. ein Betrachtungszeitraum (*reference study period*) gewählt bzw. festgelegt, der sich von der geplanten technischen Lebensdauer oder wirtschaftlichen Nutzungsdauer des Gebäudes unterscheidet. In Deutschland wird für die Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenrechnung einheitlich ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren verwendet. Die neue EU-Gebäuderichtlinie (EPBD) aus dem Jahr 2024 sieht für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus eines Gebäudes ebenso einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren vor. Damit wird ein Lebenszyklus modelliert, der die ersten 50 Jahre der geplanten Lebens- oder Nutzungsdauer umfasst und mit einem fiktiven Ende der Nutzung abgeschlossen wird. Vorzugsweise sollte insofern von einem Lebenszyklusmodell gesprochen werden. Der Betrachtungszeitraum hat u. a. Einfluss auf die Anzahl von Ersatzmaßnahmen. Bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren wird der Abnutzungsvorrat langlebiger Produkte nicht immer vollständig ausgenutzt. Ihre Dauerhaftigkeit muss auf anderem Wege in einer umfassenderen Betrachtung der Umweltqualität berücksichtigt werden.

Die zunächst als absolute Werte ermittelten Ergebnisse einer Ökobilanzierung von Wohnbauten für den definierten Betrachtungszeitraum lassen sich anschließend sowohl auf ein Jahr (des Betrachtungszeitraums) als auch auf weitere Größen beziehen, darunter Flächen, den umbauten Raum und/oder – im Fall von Wohnbauten – die Anzahl der Bewohnerinnen und Bewohner. Eine Aufteilung je Jahr Betrachtungszeitraum unterstützt eine Normalisierung, weist jedoch den Nachteil auf, dass der exakte Zeitpunkt der Inanspruchnahme von Ressourcen oder von Wirkungen auf die Umwelt nicht mehr ablesbar ist. Dies erschwert die Anschlussfähigkeit an eine umweltökonomische Gesamtrechnung als Ausdruck einer volkswirtschaftlichen Perspektive mit der Betrachtung von Jahresscheiben. Eine Alternative stellt eine vollständige Bilanz (VoBi) in Anlehnung an den aus der Ökonomie bekannten vollständigen Finanzplan (VoFi) dar. Daten werden hier in eine Matrix eingetragen, die für jedes Jahr eine Spalte aufweist. Daten können zu einem konkreten Jahr (in der Zukunft) zugeordnet werden.

Die Bezugsgröße „umbauter Raum“ ist bei Wohnbauten i. d. R. weder üblich noch erforderlich.

Der Bezug auf die Anzahl der Bewohnerinnen und Bewohner ist als Nebenbetrachtung sinnvoll und möglich. Es ergibt sich eine Anschlussfähigkeit an die Betrachtung der Treibhausgasemissionen pro Kopf (siehe CO₂-Rechner des UBA) und ein persönliches Budget für Emissionen. In der praktischen Umsetzung ist zunächst von einer Normbelegung auszugehen, die reale Nutzung kann hiervon abweichen – mit deutlichen Schwankungen in der realen Belegung. Es ergeben sich Bezüge zur Thematik der Suffizienz. Letztlich stellt sich jedoch die Frage, ob das Gebäude oder der Lebensstil seiner Bewohner inkl. einer Nachfrage nach Wohnfläche der eigentliche Betrachtungsgegenstand sind.

Im Bereich der Flächen stehen im Wohnungsbau unterschiedliche Flächenarten und -definitionen zur Verfügung. Diese werden in Tabelle 13, Tabelle 14 und Tabelle 15 vorgestellt.

Tabelle 13 Begriffe und Definitionen zu Flächenarten im Kontext von Energiekennwerten nach EPBD

Flächenart	kurz	Erläuterung
Useful floor area nach Entwurf zur EPBD vom März 2023	UFA	means the area of the floor of a building needed as parameter to quantify specific conditions of use that are expressed per unit of floor area and for the application of the simplifications and the zoning and (re-)allocation rules, taking into account national, European and international standards.
Reference floor area nach Entwurf zur EPBD vom März 2023		means the floor area used as reference size for the assessment of the energy performance of a building, calculated as the sum of the useful floor areas of the spaces within the building envelope specified for the energy performance assessment (EPBD:2023/1791).
Nutzfläche gemäß EPBD von 2024	NF	Für die Berechnung des Lebenszyklus-Treibhauspotenzials neuer Gebäude gemäß Artikel 7 Absatz 2 wird das Gesamt-Lebenszyklus-Treibhauspotenzial als numerischer Indikator, ausgedrückt in kg CO ₂ e / (m ²) (Nutzfläche), für jede Lebenszyklusphase, berechnet über einen Bezugszeitraum von 50 Jahren angegeben (EPBD:2010/31/EU, 2010).

Tabelle 14 Begriffe und Definitionen zu Flächenarten im Kontext von Energiekennwerten

Flächenart	kurz	Erläuterung
Wohnfläche nach GEG	Wfl.	Fläche, die nach der Wohnflächenverordnung vom 25.11.2003 (BGBl. I S. 2346) oder auf der Grundlage anderer Rechtsvorschriften oder anerkannter Regeln der Technik zur Berechnung von Wohnflächen ermittelt worden ist.
Gebäudenutzfläche nach GEG		Nutzfläche eines Wohngebäudes nach DIN V 18599:2018-09, die beheizt oder gekühlt wird. Die Gebäudenutzfläche eines Wohngebäudes ist nach DIN V 18599-1: 2018-09 Gleichung 30 zu ermitteln. Abweichend von Satz 1 ist die Gebäudenutzfläche nach DIN V 18599-1: 2018-09 Gleichung 31 zu ermitteln, wenn die durchschnittliche Geschosshöhe eines Wohngebäudes, gemessen von der Oberfläche des Fußbodens zur Oberfläche des Fußbodens des darüber liegenden Geschosses, mehr als 3 Meter oder weniger als 2,5 Meter beträgt. Ist die Gebäudenutzfläche nicht bekannt, kann sie bei Wohngebäuden mit bis zu zwei Wohneinheiten mit beheiztem Keller pauschal mit dem 1,35fachen Wert der Wohnfläche, bei sonstigen Wohngebäuden mit dem 1,2fachen Wert der Wohnfläche angesetzt werden. Bei Ermittlung der Gebäudenutzfläche aus der Wohnfläche gemäß § 82 Absatz 2 Satz 4 ist darauf hinzuweisen (BMWSB, 2020).
Gebäudenutzfläche nach DIN V 18599	A _N	Die Gebäudenutzfläche A _N wird im Rahmen des öffentlich-rechtlichen Nachweises bei Wohngebäuden mit den Gleichungen 30 und 31 ermittelt (die „Gebäudenutzfläche“ entspricht nicht der Nutzfläche nach DIN 277) (DIN V 18599-9:2018-09)
Nettogrundfläche nach GEG	NGF	die Nutzfläche eines Nichtwohngebäudes nach DIN V 18599: 2018-09, die beheizt oder gekühlt wird (BMWSB, 2020)
Nettogrundfläche nach DIN V 18599	A _{NGF}	Bezugsfläche in der DIN V 18599: 2018, ihre Bestimmung folgt formal den Festlegungen zur Nettraumfläche A _{NRF} nach DIN 277-1 (DIN V 18599-9:2018-09).
Beheizte Nettogrundfläche		Bezugsfläche für Angaben zum Bedarf an Nutzerstrom im Kontext des Effizienzhauses PLUS (Rose, et al., 2019). (an anderer Stelle auch die Wohnfläche).
Energiebezugsfläche nach SIA 380:2015	EBF	Die Energiebezugsfläche ist die Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist. Sie wird brutto, d.h. aus den äußeren Abmessungen einschließlich der Mauer- und Wandquerschnitten berechnet (SIA380, 2015).

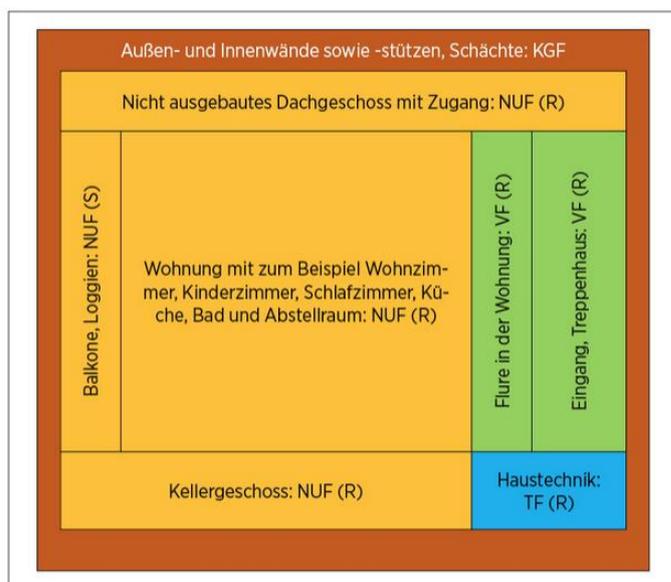
Tabelle 15: Begriffe und Definitionen zu sonstigen Flächenarten bei Wohnbauten

Flächenart	kurz	Erläuterung
Wohnfläche	Wfl.	Gemessen werden müssen alle Räume der Mietwohnung, also auch Küche und Flur. So genannte Zuhörräume, wie Keller, Waschküche, Trocken-raum, Dachboden oder Garage, zählen dagegen nicht mit, wenn es um die Wohnfläche geht. Bei den eigentlichen Wohnräumen wird die Grundfläche voll angerechnet, wenn die Räume oder Raumteile mindestens 2 m hoch sind. Die Grundfläche wird nur zur Hälfte angerechnet, wenn die Räume oder Raumteile zwischen 1 und 2 m hoch sind. Räume oder Raumteile, die weniger als 1 m hoch sind, zählen bei der Wohnflächenberechnung überhaupt nicht mit. Bei sozial- oder preisgebundenen Wohnungen zählt die Grundfläche von Balkon oder Loggia zur Hälfte mit. Bei frei finanzierten Wohnungen kommt es auf den Wohnwert an. Balkonflächen in guten Lagen zählen zu einem Viertel, und in Ausnahmefällen kann der Balkon auch mit der Hälfte der Fläche angerechnet werden (DMB, 2024).
Wohnfläche	Wfl.	Zur Wohnfläche gehören alle Grundfläche der Räume, die ausschließlich zu dieser Wohnung gehören. Es können für die Wohnflächenberechnung mehrere Methoden herangezogen werden. Einzig beim geförderten Wohnbau ist durch das Wohnraum-förderungsgesetz eine Methode zwingend vorgeschrieben. Diese Methoden gibt es: (1) die Wohnflächenberechnung nach der DIN-Norm 277; (2) die Wohnflächenberechnung nach der Zweiten Berechnungsverordnung; (3) die Wohnflächenberechnung nach der Wohnflächenverordnung (für Sozialwohnungen vorgeschrieben und wird im Zweifelsfall von den Gerichten als Berechnung der Wahl herangezogen)
Vermietete Fläche		Wohnfläche, die auf entgeltlich vermieteten Wohnraum entfällt.
Brutto-Grundfläche nach DIN 277	BGF	Gesamtheit der Grundflächen aller Geschosse oder eines Teilbereichs des Bauwerks, die sich in Netto-Raumfläche (NRF) und Konstruktions-Grundfläche (KGF) gliedert (DIN 277:2021-08).
Netto-Raumfläche nach DIN 277	NRF	Anteil der Brutto-Grundfläche (BGF), der sich in Nutzungsfläche (NUF), Technikfläche (TF) und Verkehrsfläche (VF) gliedert (DIN 277:2021-08).
Nutzfläche nach alter DIN 277	NF	Anteil der Netto-Raumfläche (NRF), der den Zweckbestimmungen des Bauwerks dient (DIN 277:2021-08).
Nutzungsfläche nach aktueller DIN 277	NUF	Unter der Nutzungsfläche (kurz NUF) nach DIN 277, bis 2016 Nutzfläche (NF), eines Gebäudes versteht man den Anteil der Geschossfläche, der entsprechend der Zweckbestimmung des Bauwerks genutzt wird (DIN 277:2021-08).
Nutzungseinheit nach BKI	NE	Bei Wohnbauten 1 m ² Wohnfläche nach Wohnflächenverordnung (Stoy, et al., 2015)

Nicht immer liegen die benötigten Angaben zu Flächen vor. Sie können jedoch über vorhandene Werte zu anderen Flächenarten ermittelt werden. Die Nutzungsfläche nach DIN 277 (davor Nutzfläche) lässt sich z. B. über Flächenkennwerte und Umrechnungsfaktoren aus der BGF ermitteln, siehe Tabelle 16 und Abbildung 139.

Tabelle 16: Flächenverhältnisse zur Umrechnung von NUF in BGF nach BKI (Stoy, et al., 2015)

Größe und Standard des Wohngebäudes	NUF/BGF		
	von	mittel	bis
Mehrfamilienhäuser, mit bis zu 6 WE, einfacher Standard, 9 Vergleichsobjekte, S. 548-551	63,5	67,1	69,0
Mehrfamilienhäuser, mit bis zu 6 WE, mittlerer Standard, 25 Vergleichsobjekte, S. 556-559	63,5	68,1	71,5
Mehrfamilienhäuser, mit bis zu 6 WE, hoher Standard, 27 Vergleichsobjekte, S. 568-571	58,8	64,9	70,0
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard, 8 Vergleichsobjekte, S. 584-587	67,5	70,3	72,3
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard, 46 Vergleichsobjekte, S. 590-593	64,3	66,9	70,4
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard, 22 Vergleichsobjekte, S. 606-609	65,9	69,0	73,0
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, einfacher Standard, 16 Vergleichsobjekte, S. 620-623	66,8	69,2	74,0
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard, 35 Vergleichsobjekte, S. 628-631	63,8	66,9	70,9
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard, 13 Vergleichsobjekte, S. 642-645	65,6	68,7	72,8
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser, 22 Vergleichsobjekte, S. 650-653	62,6	68,2	71,6



Erläuterungen:

- BGF** **Brutto-Grundfläche:** Gesamtheit der Grundflächen aller Geschosse des Bauwerks
- KGF** **Konstruktions-Grundfläche:** Anteil der Brutto-Grundfläche (BGF), der die Grundflächen der aufgehenden Baukonstruktionen des Bauwerks umfasst
- NUF** **Nutzungsfläche:** Anteil der Netto-Raumfläche (NRF), der den Zweckbestimmungen des Bauwerks dient, zum Beispiel Wohnen. Nach DIN 277 ohne Flure in der Wohnung.
- TF** **Technikfläche:** Anteil der Netto-Raumfläche (NRF) für die technischen Anlagen zur Versorgung und Entsorgung des Bauwerks, z.B. Raum für Haustechnik.
- VF** **Verkehrsfläche:** Anteil der Netto-Raumfläche (NRF) für die horizontale und vertikale Verkehrserschließung des Bauwerks, innerhalb und außerhalb einer Wohnung, sowie als Eingang und als Treppenhaus.

Abbildung 139: Schematische Darstellung von Grundflächen nach einem Mehrfamilienhaus nach DIN277 (Stoy, et al., 2015)

Soweit erforderlich, lassen sich auch Angaben zur Wohnfläche über Umrechnungsfaktoren aus der BGF ermitteln (Kalusche, 2024). Siehe hierzu Tabelle 17 und Abbildung 140.

Tabelle 17: Faktoren zur Umrechnung von NUF in BGF nach BKI (Kalusche, 2024)

Größe und Standard des Wohngebäudes	BGF/WFL WFL/BGF		
	von	mittel	bis
Mehrfamilienhäuser, mit bis zu 6 WE, einfacher Standard, 9 Vergleichsobjekte, S. 548-551	1,75 0,57	1,87 0,53	1,96 0,51
Mehrfamilienhäuser, mit bis zu 6 WE, mittlerer Standard, 25 Vergleichsobjekte, S. 556-559	1,61 0,62	1,82 0,55	2,32 0,43
Mehrfamilienhäuser, mit bis zu 6 WE, hoher Standard, 27 Vergleichsobjekte, S. 568-571	1,81 0,55	1,95 0,51	2,51 0,40
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard, 8 Vergleichsobjekte, S. 584-587	1,69 0,59	1,83 0,55	2,03 0,49
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard, 46 Vergleichsobjekte, S. 590-593	1,77 0,56	1,88 0,53	2,06 0,49
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard, 22 Vergleichsobjekte, S. 606-609	1,71 0,59	1,90 0,53	2,17 0,46
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, einfacher Standard, 16 Vergleichsobjekte, S. 620-623	1,77 0,56	1,88 0,53	2,10 0,48
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard, 35 Vergleichsobjekte, S. 628-631	1,70 0,59	1,84 0,54	1,97 0,51
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard, 13 Vergleichsobjekte, S. 642-645	1,77 0,56	1,89 0,53	1,99 0,50
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser, 22 Vergleichsobjekte, S. 650-653	1,56 0,64	1,74 0,57	1,85 0,54

Deutlich wird, dass bei Vorliegen von ohnehin notwendigen und üblichen Angaben zur BGF sich Werte zu sonstigen Bezugsflächen ableiten lassen.

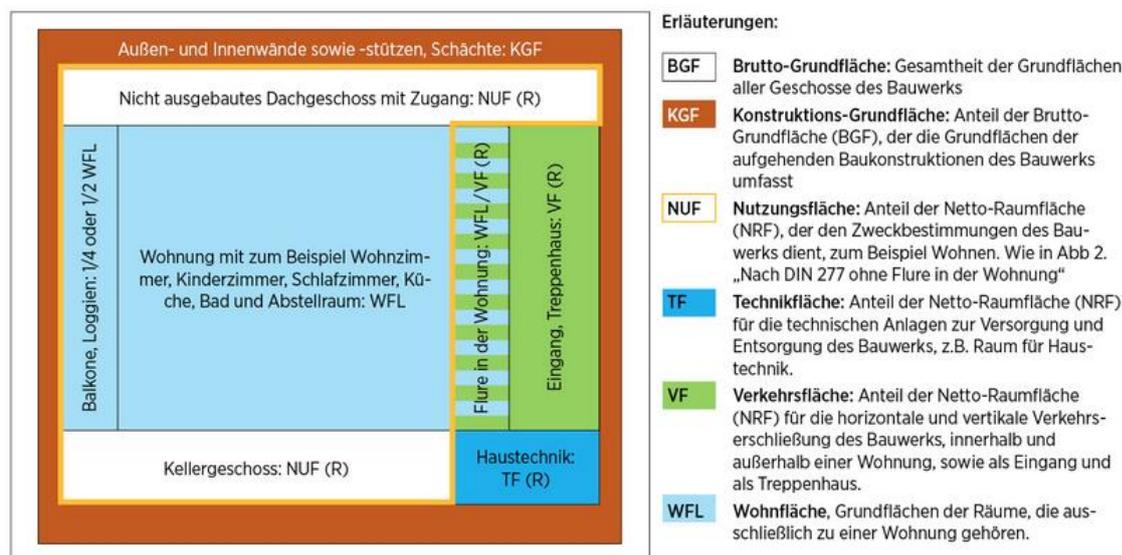


Abbildung 140: Schematische Darstellung der Wohnfläche und andere Flächen eines Mehrfamilienhauses (Kalusche, 2024)

13.2 Fragestellungen

Es kann davon ausgegangen werden, dass der sowohl im nationalen als auch im europäischen Rahmen festgelegte Bezugszeitraum von 50 Jahren allgemein akzeptiert wird und die Grundlage für entsprechende Betrachtungen liefert. Es bleibt unbenommen, bei Forschungsprojekten und Zusatzbetrachtungen zusätzlich davon abweichende Regelungen zu treffen, z. B. einen Betrachtungs-

Zeitraum von 80 oder 100 Jahren. Problematisch ist die zunehmende Unsicherheit bei weit in die Zukunft reichenden Annahmen.

Die Auswahl von geeigneten Flächen als Bezugsgröße wird weiterhin intensiv hinsichtlich der Vor- und Nachteile einzelner Flächenarten diskutiert. Im Kontext von Fragen zur Suffizienz wird teilweise vorgeschlagen, bei Wohnbauten u. a. Treibhausgasemissionen pro Kopf (hier Anzahl der Bewohnerinnen und Bewohner) auszuweisen.

Es ergeben sich folgende Fragen:

- Welche Bezugsfläche soll bei Wohnbauten für die Bildung von Kennwerten und die Formulierung von Anforderungen verwendet werden? Ist es möglich und sinnvoll, informative Werte auf weitere Flächenarten oder sonstige Größen zu beziehen?
- Ist es möglich und sinnvoll, Angaben zur Ressourceninanspruchnahme und zu Wirkungen auf die Umwelt im Lebenszyklus von Wohnbauten zusätzlich auf die (fiktive) Anzahl von Bewohnerinnen und Bewohnern zu beziehen?

13.3 Einordnung

Die Wahl einer (Haupt-) Bezugsgröße – in der Regel Bezugsfläche – hat Einfluss auf das Bewertungsergebnis und damit auf den Grad der Erfüllung von Anforderungen. Derartige Einflüsse können sich aus dem Verhältnis von konditionierten (beheizten und/oder unbeheizten) zu nicht konditionierten Flächenanteilen, unterschiedlichen Raumhöhen bzw. aus Vorgaben zur Einbeziehung oder zum Ausschluss von Flächen bei einer Flächenermittlung entsprechend spezifischer Definitionen von Flächenarten und Regeln zu ihrer Erfassung ergeben. Im Projekt wurde deutlich, dass die Diskussion zur Wahl einer geeigneten Bezugsgröße anhält und die Kritik an der Nutzung der NRF wächst.

13.4 Diskussion

Nachstehend erfolgt die Diskussion ausgewählter Teilaspekte:

13.4.1 Bezugsgrößen für eine summarische Betrachtung von Aufwand und Wirkungen

Sowohl aktuelle Bilanzierungsregeln bei BNB, QNG und KFN sowie bei den Nachhaltigkeitsbewertungssystemen DGNB, NaWoh und BNK als auch der Entwurf zur EPBD sehen vor, das Ergebnis einer Ökobilanz je Indikator bzw. Wirkungskategorie in einem Wert zusammenzufassen. Hierfür wird eine (Haupt-)Bezugsgröße benötigt. Diese gilt auch, wenn das Gesamtergebnis detailliert für einzelne Lebenszyklusphasen angegeben wird. In Normen wie DIN EN 15643 und DIN EN 15978 ist die Bezugsgröße zunächst das funktionale Äquivalent. Dessen Beschreibung schließt u. a. Informationen zur Gebäude- und Nutzungsart sowie zur Intensität der Nutzung ein. Letztlich wird auch hier eine einheitliche Bezugsfläche benötigt. Es ist möglich, neben einer Hauptbezugsgröße zusätzliche weitere Bezugsgrößen zu nutzen und entsprechende Kennwerte ergänzend anzugeben.

Beim QNG und beim Förderprogramm KFN wird für Wohnbauten mit Stand März 2023 (QNG, 2023) die Netto-Raumfläche NRF („Den Regelfall der Raumumschließung (R) stellen Bereiche des Bauwerks dar, die Nutzungen der Netto-Raumfläche (NRF) aufweisen und die bei allen Begrenzungsflächen des Raums vollständig umschlossen sind. Dazu gehören nicht nur Innenräume, die von der Witterung geschützt sind, sondern auch solche allseitig umschlossenen Räume, die über Öffnungen mit dem Außenklima verbunden sind (z. B. über Rollgitter in Garagen) (DIN 277:2021-08).“) verwendet, in älteren Ausgaben der DIN 277 auch als NGF bezeichnet. Sie schließt Technik- und Verkehrsflächen ein und kann damit größer sein als die beheizte und/oder gekühlte Fläche.

Die bestehende Kritik an der Nutzung der NRF als Bezugsfläche besteht darin, dass ein Bewertungsergebnis durch die Einbeziehung von Flächen in Kellern, Tiefgaragen und nicht ausgebauten Dachgeschossen (Spitzboden) stark beeinflusst werden kann. Es wird in der Tendenz günstiger. Ursprüngliches Ziel bei der Wahl der Bezugsfläche und der Festlegung der NRF war es, den baulichen Aufwand möglichst vollständig zu erfassen. Dies ist – auch im Hinblick auf ein Materialinventar als Teil eines Ressourcenpasses für Gebäude – auch weiterhin notwendig und sinnvoll. Nicht zwingend notwendig ist es jedoch, die Bezugsfläche entsprechend zu wählen.

13.4.2 Bezugsgrößen für eine Betrachtung von Teilgrößen bei Aufwand und Wirkungen

Die Ergebnisse einer Ökobilanz können unterteilt werden in einen gebäudebezogenen (grauen) Anteil (umfasst z. B. die Module A1-A3, B4, C3-C4) und einen betriebsbedingten Anteil (umfasst z. B. die Module B6.1 – B6.2). Je nach Systemgrenze für die Erfassung von Aufwand und Wirkungen in der Nutzungsphase kann es sich auch um einen betriebs- und nutzungsbedingten Anteil (umfasst z. B. die Module B6.1-B6.3) handeln.

Für die Teilgrößen werden zum Teil Bezugsgrößen verwendet, die in der Planungspraxis weit verbreitet und/oder geregelt sind. Für den betriebsbedingten Teil ist dies bei Wohnbauten die konditionierte (beheizte und/oder gekühlte) Gebäudenutzfläche. Diese Nutzfläche ist nicht mit der Wohnfläche identisch, sie ist in der Regel größer.

Für die einzelne Betrachtung des gebäudebezogenen Anteils hat sich bisher keine einheitliche Bezugsfläche herausgebildet. International wird z. T. die „*gross floor area*“ (GFA) verwendet. Der Entwurf zur EN 15978 nennt u. a. die *gross floor area* und die *useful floor area* als Möglichkeiten.

Sollten spezifische Kennwerte z. B. in Form von Nebenanforderungen für gebäudebezogene und betriebsbedingte bzw. betriebs- und nutzungsbedingte Anteile einer Ökobilanz eingeführt werden, besteht die theoretische Möglichkeit, spezifische Bezugsflächen zu verwenden und dabei an bestehende Traditionen oder Regelungen anzuknüpfen. Ohnehin müssen beim Nachweis der Erfüllung von Anforderungen nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) dortige Vorgaben zur Bezugsfläche beachtet und umgesetzt werden. Sollten sich Nebenanforderungen für derartige Teilwerte etablieren, ist es möglich, für diese spezifische Bezugsflächen vorzugeben.

13.4.3 System von mehreren Bezugsgrößen

Bei der Angabe von Werten für Bezugsflächen kann nicht ausgeschlossen werden, dass es zu individuellen Berechnungsfehlern oder zu Verwechslungen bei der Übertragung von Angaben Dritter kommt. Durch die Angaben von Kennwerten, die gleichzeitig auf mehrere Flächenarten bezogen werden, kann dieses Risiko minimiert werden. Ein Beispiel sind die vom BKI veröffentlichten Werte zu Baukosten, die parallel auf mehrere Größen bezogen werden.

13.4.4 Empfehlungen

Es werden folgende Empfehlungen unterbreitet:

- Der Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ist breit eingeführt und sollte beibehalten werden. Er wurde in die Anforderungen der EU-Gebäuderichtlinie (EPBD) zur Ermittlung und Angabe von Treibhausgasemissionen von Gebäuden in ihrem Lebenszyklus übernommen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die EU diesen Wert bei der Formulierung von Rechenregeln für die Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus beibehalten wird.
- Die Anzahl von Bewohnerinnen und Bewohnern eignet sich aufgrund von Problemen zur Bestimmung der Belegung nicht als Hauptbezugsgröße. Auch wird hier die Grenze der Bewertung eines Gebäudes in Richtung einer Bewertung von Lebensstilen (hier persönliche Nachfrage nach Wohnfläche) überschritten. Das zusätzliche Ausweisen von Werten mit entsprechender Bezugsgröße

wird jedoch empfohlen, ggf. ergänzt durch Angaben wie Wohnfläche pro Kopf sowie Kennwerte, die das Verhältnis von Flächenarten zueinander beschreiben.

- In die Dokumentation zu untersuchten und bewerteten Wohnbauten sollten Angaben zu mehreren Flächenarten sowie zu Flächenverhältnissen aufgenommen werden. Dies vermeidet Verwechslungen und erleichtert Plausibilitätsprüfungen.
- Bei Nebenanforderungen können spezifische Bezugsflächen verwendet werden.
- Das Ergebnis der Ermittlung der Treibhausgasemissionen kann parallel bezogen auf mehrere Größen angegeben werden, bei Hervorhebung des ausschlaggebenden Wertes mit der Hauptbezugsgröße.
- Die Angabe von Werten pro Jahr Betrachtungszeitraum kann durch eine Matrix ergänzt werden, aus der das Jahr der Emission von THG-Emissionen hervorgeht.
- Die Kritik an der bisherigen Bezugsgröße NRF hält an. Diese Kritik ist z. T. berechtigt. Es ergibt sich in ausgewählten Fällen eine Lenkungswirkung in eine in Bezug auf Ressourcenschonung, Klimaschutz und Flächeneffizienz unerwünschte Richtung. Für die Behebung bestehender Probleme bieten sich folgende Lösungsmöglichkeiten an:
 - a) Ausdifferenzierung der NRF in spezifische Arten von Nutzflächen und Wichtung der Flächenanteile über Minderungsfaktoren. Die Fläche nach NUF 7 Keller, Tiefgarage kann für die Anrechnung mit einem Faktor reduziert werden z. B. 50 %.
 - b) Ersatz der NRF durch die Wohnfläche oder die zu Wohnzwecken verwendete Nutzungsfläche (ehem. Nutzfläche). Bei Umstellung der Bezugsgröße sollte eine Abstimmung mit den künftigen Regelungen der EU im Kontext von Rechenregeln und Berichtspflichten erfolgen.

Die Variante b) wird als Vorzugsvariante empfohlen.

14 Bezüge zu einem Material-/Produktinventar

Im Bereich der ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit werden im Wesentlichen zwei Ziele verfolgt: (1) Schutz des Ökosystems inkl. Schutz des Klimas und (2) Schonung der natürlichen Ressourcen, u. a. in Form der primären Rohstoffe. In der Vergangenheit wurden besonders die methodischen Grundlagen, die planerischen Hilfsmittel sowie die politischen Instrumente vorangetrieben, die sich mit der Erfassung, Bewertung und Beeinflussung von Wirkungen auf die globale Umwelt befassen. Genutzt wurde und wird die angewandte Ökobilanzierung, mit der Energie- und Stoffströme erfasst und Wirkungen auf die Umwelt, darunter das Klima, ermittelt werden können. Parallel dazu wurde der nachhaltige Umgang mit natürlichen Ressourcen als politisches Ziel formuliert und u. a. in die Grundanforderungen an Bauwerke gemäß Bauprodukteverordnung integriert. Über eine längere Zeit hinweg fehlte es jedoch an konkreten Grundlagen und Vorgehensweisen zur Erfassung und Bewertung der Inanspruchnahme der natürlichen Ressourcen, hier der primären Rohstoffe. Jüngere Aktivitäten auf europäischer und nationaler Ebene sind nun darauf gerichtet, zur Verringerung einer Inanspruchnahme primärer Rohstoffe (in den Kategorien Erze, mineralische Rohstoffe, Biomasse, fossile Energieträger) beizutragen. Mittel der Wahl sind der Übergang zu den Prinzipien einer Kreislauf-wirtschaft sowie die Verbesserung der Kreislauffähigkeit von Bauprodukten und Bauwerken. Eine Voraussetzung sind Kenntnisse zu den in Bauwerken verbauten Materialien, Bauteilen und technischen Systemen bzw. zu spezifischen Produkten sowie zu deren Merkmalen und Eigenschaften. Die deutsche Politik sieht hierfür u. a. die Einführung eines digitalen Ressourcenpasses für Gebäude vor. Damit stellt sich die Frage, wie und wo ein derartiger Ansatz integriert und mit einer sonstigen ökologischen Bewertung kombiniert werden kann.

14.1 Grundlagen

Ein Interesse an Informationen zur stofflichen Zusammensetzung von Gebäuden kann aus mehreren Gründen bestehen. Dies sind u. a.

- eine planungsbegleitende Bewertung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen, darunter primärer Rohstoffe, z. T. im Rahmen einer Nachhaltigkeitsbewertung,
- eine Abschätzung der technischen Lebensdauer des Bauwerks bzw. seiner wesentlichen Teile,
- eine planungsbegleitende Bewertung der Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit, z. T. im Rahmen einer Nachhaltigkeitsbewertung,
- eine Abschätzung von Art, Menge und Zeitpunkt eines Anfalls an ausgebautem Material bei Ersatz von Bauwerksteilen oder dem Rückbau des Gebäudes,
- eine Risikobewertung auf Basis von Informationen zu verbauten Produkten,
- eine Wertermittlung sowie
- eine Abschätzung von Rückbau- und Entsorgungskosten.

Damit geht das Interesse an Informationen zur stofflichen Zusammensetzung eines Gebäudes deutlich über das Interesse an den Ergebnissen einer auf die Erfassung von Wirkungen auf die globale Umwelt ausgerichteten Ökobilanz hinaus. Der Indikator einer abiotischen Ressourceninanspruchnahme ADP (*Abiotic resource depletion potential*), der theoretisch im Kontext einer Ökobilanz ermittelt werden kann, jedoch nur selten angewendet wird, ist für die Bereitstellung von Informationen zu oben genannten Anlässen weniger geeignet. Die Beschreibung der stofflichen Zusammensetzung von Bauwerken in Form von Materialauszügen und Stücklisten hat eine lange Tradition und war in der Vergangenheit oft Teil der Dokumentation. In jüngerer Zeit ließ – aus Sicht der Bearbeiter – das Interesse an diesem Thema sowohl auf Seiten der Auftraggeberschaft als auch auf Seiten von Planerinnen und Planern nach. Eine Wiederbelebung erfolgte und erfolgt nun im Zusammenhang mit dem Einsatz von

Nachhaltigkeitsbewertungssystemen, dem europäischen Berichtsformat zur Nachhaltigkeit von Gebäuden LEVEL(s), der Diskussion zur Weiterentwicklung der Gebäudedokumentation in Richtung *digital building logbook* bzw. Gebäudepass sowie der Diskussion zur Einführung eines digitalen Gebäuderessourcenpasses in Deutschland. Es erfolgte eine intensive wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Thematik, u. a. im UBA-Projekt KART AL IV (Schiller, et al., 2022).

Hinsichtlich der Grundlagen wird unterschieden zwischen (1) der Erfassung der stofflichen Zusammensetzung inkl. der Verweise auf Hersteller und Produktbezeichnungen in Form eines Material- und Produktinventars einerseits und einer Darstellung der Inanspruchnahme primärer Rohstoffe als Teil der natürlichen Ressourcen in Form eines gebäudebezogenen „Ressourcenpasses“ andererseits und (2) zwischen beschreibenden und bewertenden Teilen. Dabei ist eine Bewertung an die zu ihrem Zeitpunkt gültigen Bewertungsmaßstäbe gebunden. Unbewertete Angaben lassen sich jederzeit neu interpretieren und bewerten. Die Beschreibung der stofflichen Zusammensetzung im Materialinventar bzw. im Produktinventar ist die Voraussetzung für die Erfassung (und Bewertung) der Inanspruchnahme primärer Rohstoffe. Eine Erfassung der stofflichen Zusammensetzung des Gebäudes inkl. der Erfassung eingebauter technischer Systeme ist gleichzeitig die Grundlage für die Erstellung einer Ökobilanz. Ein Material-/Produktinventar kann für die Dokumentation von Eingangsgrößen zur Ökobilanz genutzt werden.

14.2 Fragestellungen

Im Weiteren wird zwischen allgemeinen und projektspezifischen Fragestellungen unterschieden. Allgemeine Fragestellungen sind u. a.:

- Wie kann ein Eigeninteresse an Angaben zur stofflichen Zusammensetzung von Gebäuden bei unterschiedlichen Akteursgruppen geweckt werden, um Hemmnisse bei einer Einführung abzubauen bzw. zu überwinden?
- Bietet sich eine zentrale Erfassung, Verwaltung und Analyse von Angaben zur stofflichen Zusammensetzung von Gebäuden an, um die Kenntnisse zum Gebäudebestand in Deutschland zu verbessern? Kann damit ein Ressourcenmanagement unterstützt werden?
- Sollen – vergleichbar mit Anforderungen zur Begrenzung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar und zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen – Anforderungen an die Begrenzung der Inanspruchnahme primärer Rohstoffe (Anforderungen zur Begrenzung der Inanspruchnahme primärer Rohstoffe existieren bereits). Ein Ziel des GEG ist die Erfassung, Bewertung und Beeinflussung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar und damit u. a. des Aufwands an fossilen Energieträgern) formuliert werden (Aktuelle Entwürfe zur Präzisierung der EU-Taxonomie mit Stand April 2023 sehen Vorgaben zur Begrenzung der Inanspruchnahme primärer Rohstoffe bei Neubau- und Modernisierungsvorhaben vor) (European Commission, 2024).

Derartige Fragen werden im hier vorgestellten Projekt nicht behandelt. Eingegangen wird hingegen auf folgende Fragen:

- Wie lassen sich Angaben zur stofflichen Zusammensetzung von Gebäuden zeit- und kostensparend ermitteln? Ist eine arbeitsteilige Vorgehensweise mit der Ökobilanz (Material-/Produktinventar als Basis oder Nebenprodukt einer Ökobilanz) ein Ansatz?
- Lässt sich eine Erfassung der Inanspruchnahme primärer Rohstoffe in eine angewandte Ökobilanzierung integrieren? Welche Daten müssen hierfür in der ÖKOBAUDAT als Datenbank für Ökobilanzdaten zu Bauprodukten bzw. in den QNG-Rechenwerten enthalten sein?
- Was sind geeignete Formate für Angaben zur stofflichen Zusammensetzung und zur Inanspruchnahme primärer Rohstoffe?

14.3 Einordnung

In Deutschland werden mit Stand Mai 2024 die Arbeiten an einem digitalen Gebäuderessourcenpass vorangetrieben. Er wird voraussichtlich als Teil eines umfassenderen Ansatzes für einen Gebäudepass unter der Bezeichnung „Digitaler Ressourcenpass für Gebäude“ entwickelt und umfasst ein unbewertetes Material- und Produktinventar, Angaben zur Inanspruchnahme primärer Rohstoffe, Angaben zum Gehalt an Schadstoffen bzw. Aussagen zur Schadstofffreiheit sowie zusätzlich bewertete Angaben zur Kreislauffähigkeit von Baukonstruktionen bzw. des Bauwerks. Aktuelle Arbeiten konzentrieren sich auf die Erarbeitung sowie Abstimmung von Grundlagen und Formatvorgaben für den Teil des Material- bzw. Produktinventars.

Mit dem Materialinventar soll die stoffliche Zusammensetzung des Gebäudes erfasst, beschrieben und dokumentiert werden. Berücksichtigt werden verbaute Materialien, Bauteile und technische Systeme mit ihren Komponenten, letztere in Form von Stücklisten. Durch die Form eines Bauteilkatalogs wird es möglich, verbaute Materialien im Gebäude zu verorten, Bezüge zu einer Verweildauer herzustellen und die Verbindungen von Materialschichten zu charakterisieren. Das Materialinventar entsteht bereits in den früheren Phasen der Planung, muss jedoch bis zum Zeitpunkt der Fertigstellung laufend an den Stand der Planung angepasst werden. Eine Verknüpfung der Angaben zu Art und Mengen verbauter Materialien, Bauteile und technischer Systeme mit Datensätzen der Rechenwerte bzw. der ÖKOBAUDAT ist möglich.

Im weiteren Planungsfortschritt können den Materialien herstellereigentliche Produkte zugeordnet und diese dokumentiert werden. Bei der angestrebten digitalen Lösung erfolgt die Verknüpfung mit einem digitalen Produktpass. Für diese liegen konkrete Beispiele noch nicht vor, ihre Einführung ist jedoch auf europäischer Ebene bereits beschlossen.

In der bisherigen ÖKOBAUDAT sind Angaben zur Inanspruchnahme primärer Rohstoffe noch nicht enthalten, die Aufnahme derartiger Informationen ist jedoch geplant. Orientierungs- bzw. Anforderungswerte zur Begrenzung der Inanspruchnahme primärer Rohstoffe liegen bisher nicht vor.

14.4 Diskussion

Die angewandte Ökobilanzierung bei Gebäuden setzt Kenntnisse zur stofflichen Zusammensetzung ohnehin voraus. Damit ist ein Material- bzw. ein Produktinventar entweder die Ausgangsbasis bzw. Voraussetzung für eine Ökobilanz oder ein automatisch anfallendes Nebenprodukt. Bei ausgewählten Softwarelösungen wurde bereits der Versuch unternommen, ein Materialverzeichnis im Zuge der Ökobilanzierung zu erstellen. Dies erwies sich als unproblematisch. Für die Erfassung und Bewertung der Inanspruchnahme primärer Rohstoffe fehlen bisher sowohl Daten als auch Orientierungs- bzw. Anforderungswerte. Diese Fragen stellen sich daher erst nach Schaffung erforderlicher Voraussetzungen. Dringend erforderlich ist eine Abstimmung von Bezeichnungen und Schlüsselnummern für Materialien in einem Materialinventar, vorzugsweise in Kombination mit einer Weiterentwicklung der Systematik der ÖKOBAUDAT.

14.5 Empfehlungen

Für eine Erstellung von Material- und Produktinventaren parallel zur Ökobilanzierung werden folgende Empfehlungen unterbreitet:

- Erarbeitung einer Formatvorlage für ein Material- und Produktinventar in Anlehnung an einen Bauteilkatalog im Gleichklang mit Arbeiten am digitalen Ressourcenpass für Gebäude

- Erweiterung und Präzisierung der Dokumentationsvorschriften zur Ökobilanzierung durch Vorgaben zur Erstellung eines Materialinventars mit Stückliste für Bauteile und haustechnische Systeme
- Erarbeitung von Vorgaben für die Entwicklung von Ökobilanzierungssoftware zur Erstellung eines Material- und Produktinventars im Kontext der Protokollierung von Eingabedaten
- Erweiterung der ÖKOBAUDAT um Angaben zur Inanspruchnahme primärer Rohstoffe bei der Herstellung von Bauprodukten
- Grundsatzentscheidung zur Frage des Umgangs mit Recyclingprodukten (Berücksichtigung im Produktionsdurchschnitt versus spezifische Angaben als eigenständiges Material/Produkt) in der ÖKOBAUDAT

15 Auswahl der Ökobilanzdaten von Bauprodukten

Eine entscheidende Voraussetzung für die Erfassung, Bewertung und planungsbegleitende Beeinflussung der Umweltqualität von Gebäuden im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse unter Nutzung der angewandten Ökobilanzierung ist das Vorhandensein geeigneter und qualitätsgesicherter Daten. Hierbei handelt es sich um Ökobilanzdaten für Bauprodukte aller Art, darunter Baustoffe, Bauteile und technische Systeme, ergänzt um Daten für Transport- und Baustellenprozesse sowie um Daten für Energiedienstleistungen. Letztere umfassen u. a. die jeweiligen Primärenergie- und Emissionsfaktoren. Damit stellen sich sowohl Fragen nach der Verfügbarkeit und Zugänglichkeit entsprechender Daten als auch nach deren Eignung und Qualität. Zu beachten ist, dass bei einer planungsbegleitenden Nutzung der Ökobilanzierung in unterschiedlichen Planungsphasen ein spezifischer Datenbedarf existiert, der von den jeweils vorliegenden Vorstellungen und Informationen zum in Planung befindlichen Neubau- oder Modernisierungsvorhaben abhängt. Das Thema wird nachstehend am Beispiel der Bilanzierung von Treibhausgasemissionen und der Bewertung des Treibhauspotenzials diskutiert.

15.1 Grundlagen

Die Erfassung von Energie- und Stoffströmen sowie der Wirkungen auf die Umwelt im Lebenszyklus von Gebäuden zum Zwecke der Bewertung der Umweltqualität (*environmental performance*) erfolgt auf Basis der DIN EN 15978-1 (im Frühjahr 2023 noch in Überarbeitung). Dort werden u. a. Anforderungen an die bei der Erstellung einer Ökobilanz zu verwendenden Datengrundlagen formuliert. Vorzugsweise sollen die umweltrelevanten Daten zu Bauprodukten aller Art aus qualitätsgesicherten Umweltproduktdeklarationen (*environmental product declaration EPD*) nach DIN EN 15804 A2 entnommen werden. Für Anforderungen an die Datenqualität sowie die Kommunikation von Daten gelten spezifische Normen, darunter die DIN EN 15942 und die DIN EN 15941. Die DIN EN 15941 enthält auch Anforderungen an die Darstellung der Qualität eines Bilanzierungsergebnisses. Einfließen sollen die Qualität der Daten/Datenbank, die Vollständigkeit des Gebäude- und Lebenszyklusmodells, die Eignung verwendeter Bilanzierungshilfsmittel sowie die Qualifikation/Erfahrung der Bearbeiterinnen und Bearbeiter. Hinweise zur Erfassung der Datenqualität bei umweltbezogenen Produktdaten enthält auch der europäische Berichtsrahmen zur Beschreibung des Beitrags von Einzelbauwerken zu einer nachhaltigen Entwicklung LEVEL(s). Geprüft wird i. d. R. die Eignung/Qualität von Daten aus zeitlicher, territorialer und technologischer Sicht.

In Deutschland wird zusätzlich im Kontext des Nachhaltigkeitsbewertungssystems BNB, des Qualitätssiegels Nachhaltiges Bauen (QNG) sowie des Förderprogramms Klimafreundlicher Neubau (KFN) die Nutzung spezifischer Datenquellen vorgegeben. Dies ist einerseits die öffentlich und frei zugängliche Datenbank ÖKOBAUDAT in der jeweils aktuellen Form sowie andererseits eine Sammlung von Rechenwerten (QNG, 2023). Beide Quellen enthalten Daten, die in frühen Phasen angewendet werden können und sollen, wenn hersteller- und produktspezifische Daten in der Regel noch nicht vorliegen.

Die Anforderungswerte – z. B. zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus – sind auf diese Datengrundlage abgestimmt. Über die Vorgabe einer entsprechenden Datenquelle soll u. a. die Vergleichbarkeit von Bewertungsergebnissen gesichert werden.

Fragen der Erfassung, Bewertung und Beeinflussung z. B. der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden stellen sich im Planungsprozess in einzelnen Planungsschritten. So sehen sowohl die DIN EN 15643 (DIN EN 15643:2021-12) als auch eine Bedarfsplanung nach DIN 18205 (DIN 18205:2016-11) vor, Anforderungen an die Umweltqualität von Gebäuden bereits in die Aufgabenstellung zu integrieren. Eine Formulierung vorausgesetzter und vereinbarter Anforderungen kann sich dabei auch an Förderprogrammen orientieren.

Die Erfassung und Bewertung z. B. der Treibhausgasemissionen, erfasst als Treibhauspotenzial und gemessen in CO₂-Äquivalenten, soll planungsbegleitend für den Vergleich und die Auswahl von Entwurfsvarianten eingesetzt werden. Die künftige DIN EN 15978 sieht u. a. folgende Zwischenstufen vor:

- „Wie geplant“ (*as designed*) - beschreibt den zum Zeitpunkt einer Genehmigungsplanung erreichten Stand, der auch die Grundlage für eine Förderzusage liefern kann. Sollten gesetzliche Anforderungen existieren oder eingeführt werden, ist dieser Stand für den Nachweis der Einhaltung dieser Vorgaben zu nutzen.
- „Wie gebaut“ (*as built*) – beschreibt den zum Zeitpunkt der Übergabe/Inbetriebnahme erreichten Stand. Vergleichbar einem Energieausweis soll der tatsächlich realisierte Zustand abgebildet werden. Entsprechende Informationen können eine Grundlage u. a. in der Vermarktung und/oder Wertermittlung liefern.
- „Wie betrieben“ (*as operated / real performance*) – beschreibt den Zustand, der zu ausgewählten Zeitpunkten in der Nutzungsphase auftritt. Soweit möglich, sollten hier für die Beschreibung des betriebsbedingten Teils Verbrauchsdaten genutzt werden. Unter Umständen muss – auch im Interesse sinnvoller SOLL-Werte das Belegungs- und Nutzungsszenario angepasst werden. Für den gebäudebezogenen Teil bestehen hingegen im Betrieb kaum Möglichkeiten einer Überprüfung. Verfolgt werden kann der tatsächliche Instandhaltungszyklus.

Aus den bei den einzelnen Planungsschritten zu den genannten Zwischenstufen vorliegenden Informationen über die einzubauenden Produkte (Baustoffe, Bauteile und technische Systeme) lassen sich Anforderungen an die Art und Qualität umweltrelevanter Produktinformationen sowohl im Allgemeinen als auch im Besonderen ableiten.

15.2 Fragestellungen

Im Hinblick auf die Qualität und Eignung von Daten für die Erstellung einer Ökobilanz für ein Gebäude, u. a. zur Ermittlung, Bewertung und planungsbegleitenden Beeinflussung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus stellen sich folgende Fragen:

- Können und sollen im Planungsprozess durchschnittliche Daten durch hersteller- und produktspezifische Daten ersetzt werden? Welche Anforderungen sollen dann für hersteller- und produktspezifische Daten gelten?
- Besteht im Falle eines seriellen Planens und Bauens bzw. bei einer Fertigbauweise eine Sondersituation, die zu Ausnahmen führen kann?

15.3 Einordnung

Bei energieeffizienten Neubauten mit BIPV-Anlage beträgt der gebäudebezogene („graue“) Anteil bereits 50 Prozent und mehr an den Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus (vgl. Kapitel 10.5

Abbildung 74). In ausgewählten Fällen liegt der Unterschied zwischen einer Nutzung von generischen/durchschnittlichen Daten und hersteller-/produktspezifischen Daten bei der Erfassung der gebäudebezogenen Treibhausgasemissionen in einer Größenordnung von 10 bis 20 Prozent. In Ausnahmefällen bei stark verbesserten Umweltprodukt Daten für ein Bauprodukt, das in großer Menge in der Primärkonstruktion eingesetzt wird, sind auch stärkere Verbesserungen des Gesamtergebnisses denkbar.

15.4 Diskussion

Nachstehend erfolgt die Diskussion ausgewählter Teilaspekte.

15.4.1 Datengrundlagen für frühe Planungsphasen

In frühen Phasen der Planung – hier bis einschließlich Genehmigungsplanung – sind i. d. R. die konkreten Produkte und ihre Hersteller noch nicht bekannt. Es stellen sich ähnliche Probleme wie bei der Ermittlung der Baukosten ein. Es ist zu erwarten, dass sich auch für die Ermittlung z. B. der Treibhausgasemissionen, insbesondere beim gebäudebezogenen Teil, vergleichbare Ansätze wie Kennwerte je Flächen-, Volumen- oder Nutzungseinheit und/oder für Elemente (u. a. in Form von Bauteilkatalogen) entwickeln werden. Derartige Ansätze werden hier nicht weiterverfolgt.

Zum Zeitpunkt der Genehmigungsplanung kann davon ausgegangen werden, dass die wesentlichen Baustoffe, Bauteile und technischen Systeme hinsichtlich ihrer technischen Parameter bekannt sind, jedoch nicht das jeweilige spezifische Produkt und der konkrete Hersteller. Diesem Aspekt muss bei der Bereitstellung geeigneter Produktdaten Rechnung getragen werden. Prinzipiell geeignet sind

- generische Daten,
- Durchschnittswerte sowie
- Branchen-EPDs.

Daten werden für den Zweck einer Nachhaltigkeitsbewertung mit BNB und QNG sowie zur Überprüfung der Einhaltung von Anforderungen des Förderprogramms KFN in der jeweils aktuellen Version der ÖKOBAUDAT bzw. über die jeweils aktuellen RECHENWERTE zur Ökobilanzierung öffentlich und frei zur Verfügung gestellt. Diese Daten sind normkonform und qualitätsgesichert. Es ist sinnvoll, ihre Nutzung im Interesse der Vergleichbarkeit der Ergebnisse im Regelfall vorzugeben. Datengrundlage und Anforderungsniveau müssen dabei eine Einheit bilden.

Generische Daten werden i. d. R. von externen Dienstleistern erarbeitet. Dieser Prozess verursacht einen zeitlichen und finanziellen Aufwand. Im Minimum werden derartige Daten auch künftig für Plausibilitätsprüfungen und das Schließen von Datenlücken benötigt.

Aus Sicht der Bearbeiter kann und soll ein Übergang zur überwiegenden Nutzung von Branchen-EPDs erfolgen, soweit diese qualitätsgeprüft sind. Erstellt werden sollten sie vorzugsweise durch die Verbände der Hersteller. Im Idealfall können die nach Produktionsanteilen gewichteten Mittelwerte ergänzt werden durch eine Angabe von Bandbreiten sowie einen Ausblick auf künftige Werte im Ergebnis der Umsetzung einer glaubwürdigen Dekarbonisierungsstrategie. Den EPD-Programmhaltern wächst eine besondere Rolle und Verantwortung bei der Qualitätssicherung zu. Eine Angabe von Bandbreiten zur Abbildung der Diversität der Produktpalette im Markt kann in der Forschung, der Konzipierung neuer Anforderungsniveaus sowie in der Planung die Analyse der Wahrscheinlichkeit des Erreichens von Anforderungen unterstützen. Verwendet werden in der Planung und Errichtung von Gebäuden nicht nur Baustoffe, sondern auch komplette bauliche und technische Systeme. Empfohlen wird daher als Sonderform einer Branchen-EPD die System-EPD (z. B. für ein komplettes Heizungssystem). Diese kann einen „Konfigurator“ beinhalten.

Offen ist die Frage, ob und inwieweit die Branchen Werte für low carbon Produkte und Recyclingprodukte gesondert ausweisen und in spezifischen EPDs veröffentlichen sollen und werden. Ausgewählte Branchen führen bereits Klassen ein, die sich am Umfang der Treibhausgasemissionen bei der Herstellung orientieren. Sollte dies der Fall sein, müssten diese Teilmengen für low carbon Produkte oder Recyclingprodukte anteilig aus dem Mittelwert herausgerechnet werden.

15.4.2 Datengrundlagen für die Ausführungsplanung und Dokumentation

In der Ausführungsplanung geht es u. a. um die Auswahl konkreter Baustoffe, Bauteile und Systeme. Eine Basis ist der Vergleich der hersteller- und produktspezifischen Angaben für einzelne Alternativen. Auf das Ergebnis der Genehmigungsplanung kann kein Einfluss mehr genommen werden. Ggf. muss aber überprüft werden, dass im Ergebnis der Ausführungsplanung keine Verschlechterung gegenüber dem Stand aus der Genehmigungsplanung eintritt. Entsprechende Angaben und Nachweise könnten Gegenstand einer „Fertigstellungsmeldung“ bei Übergabe sein.

Hersteller- und produktspezifische Angaben liefern die Basis für die Objektdokumentation. Neben einem Energieausweis und (künftig) einem Ressourcenpass sollte das Ergebnis einer Ökobilanz „wie gebaut“ integriert werden. Der Entwurf zur EU-Gebäuderichtlinie (EPBD) sieht ohnehin vor, Angaben zu den Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus in den Energieausweis zu integrieren. Ein Energieausweis soll und muss den tatsächlich realisierten Zustand abbilden.

Voraussetzung ist das Vorhandensein qualitätsgeprüfter hersteller- und produktspezifischer EPDs oder umweltrelevanter Produktinformationen aus digitalen Produktpässen. Die Freiwilligkeit derartiger Datenangaben muss durch eine Verpflichtung abgelöst werden. Der Entwurf zur EU-Bauproduktenverordnung (CPR) weist in diese Richtung.

Verbände können Unternehmen durch die Bereitstellung von Muster-EPDs unterstützen. Diese lassen eine Anpassung an die konkrete Situation zu. Gleiches gilt für spezifische System-EPDs mit Konfigurator.

15.4.3 Sonderfall von spezifischen Anforderungen in der Ausschreibung

Ein Sonderfall in der Planung ist die Vorgabe der Nutzung von low carbon Produkten oder Recyclingprodukten bereits in der Aufgabenstellung als Teil der Planungs- und Projektziele. Für ausgewählte Produktgruppen existieren bereits Klassen, die sich an den Treibhausgasemissionen bei der Herstellung oder im Lebenszyklus orientieren. Damit lassen sich derartige Anforderungen produktneutral und performanceorientiert formulieren. Das Problem liegt in der Prüfung der Einhaltung derartiger Vorgaben. Voraussetzung ist u. a. die Bereitstellung entsprechender Daten.

15.4.4 Sonderfall des seriellen Planens und Bauens / der Fertigbauweise

Bei einer industriellen Vorfertigung von Modulen oder Elementen herrscht eine Sondersituation. Durch bestehende und i. d. R. langfristige Lieferbeziehungen zu den Herstellern der Vorprodukte sind i. d. R. zum Zeitpunkt der Produktentwicklung und Produktion die konkreten Produkte und ihre Hersteller aus der Vorkette bekannt, Vorprodukte befinden sich z. T. bereits im Lager. Die Notwendigkeit, in frühen Phasen der Planung auf durchschnittliche und damit produkt- und herstellernerneutrale Daten zurückzugreifen, entfällt hier. Es ist im Eigeninteresse der Anbieter, Produkte und Lieferanten auszuwählen, die u. a. zur Umwelt- und Klimafreundlichkeit des Endprodukts beitragen.

Anbieter des seriellen Planens und Bauens und der Fertigbauweise liegen hinsichtlich ihrer Position in der Wertschöpfungskette näher an der Industrie als dem Planungs- und Baubereich. Die Industrie kann bei der Erstellung ihrer EPDs auf spezifische Daten zugreifen, eine Vorgabe von Rechenwerten ist (bisher) nicht üblich. Diskutiert wird allerdings eine Vereinheitlichung von Hintergrunddaten.

Derzeit besteht ein Interesse am Ausbau des seriellen Planens und Bauens sowie der Fertigbauweise. Die Nutzung hersteller- und produktspezifischer Daten kann eine Nachfrage nach low carbon Produkten

und Recyclingprodukten stärken sowie diesen Bauweisen Vorteile bieten. Die Erstellung von Ökobilanzen für eigene Module und/oder Elemente vereinfacht und beschleunigt die Erstellung von Ökobilanzen für Gebäude.

15.5 Empfehlungen

Es werden folgende Empfehlungen gegeben:

- RECHENWERTE sollten für frühe Phasen der Planung beibehalten werden.
- Die Datenbank ÖKOBAUDAT und die RECHENWERTE zur Ökobilanzierung sollten regelmäßig aktualisiert und ergänzt werden. Sie haben für frühe Phasen der Planung und die Sicherung der Vergleichbarkeit der Bewertungsergebnisse zum Zeitpunkt der Genehmigungsplanung eine hohe Bedeutung. Sie stellen eine wichtige Dienstleistung des Staates dar und unterstützen die Verbreitung der angewandten Ökobilanzierung als Teil der Lebenszyklusanalyse.
- Es sollte geprüft werden, ob und inwieweit die künftige Version der ÖKOBAUDAT klarer zwischen durchschnittlichen und spezifischen Daten unterscheidet. Sie sollte dafür entweder in abgegrenzte Bereiche unterteilt werden oder sich auf Durchschnittsdaten für frühe Phasen konzentrieren.
- Es sollte bei den Emissionsfaktoren der ÖKOBAUDAT und des GEG ein Abgleich erfolgen – entweder im Sinne einer Vereinheitlichung oder im Sinne der Benennung und Begründung von Unterschieden (u. a. ohne/mit Vorketten).
- Angaben zu Emissionsfaktoren bei Energiedienstleistungen sollten sich hinsichtlich Endenergieträger unterscheiden, nicht jedoch hinsichtlich Verwendungszweck (z. B. Beleuchtung).
- Empfohlen wird für frühe Phasen der Planung ein Übergang von überwiegend generischen Daten zu Daten aus Branchen-EPDs. Generische Daten behalten ihre Bedeutung für eine Plausibilitätsprüfung und das Schließen von Lücken.
- Empfohlen wird die Ergänzung der Ergebnisse einer Ökobilanzierung „wie geplant“ durch Ergebnisse einer Ökobilanzierung „wie gebaut“. Beide Ergebnisse sollten nachweislich verglichen werden. Die Bedeutung der Ergebnisse „wie gebaut“ sollte aufgewertet werden (Rolle im Kontext der Erstellung eines Gebäudepasses, Wertermittlung, Vermarktung usw. definieren).
- Mit der Industrie sollte diskutiert werden, ob, wann und wie spezifische Daten für low carbon Produkte und Recyclingprodukte ermittelt und veröffentlicht werden und welche Konsequenzen daraus für ein „Durchschnittsprodukt“ erwachsen. Wie kann und soll die tatsächliche Verwendung entsprechender Produkte nachgewiesen werden? Damit verbunden ist die Frage zu klären, ob, wann und wie Daten für low carbon Produkte und Recyclingprodukte in die ÖKOBAUDAT und die RECHENWERTE übernommen werden.
- Anbietern von Gebäuden, Modulen und Elementen aus industrieller Produktion (Vorfertigung) sollte bei nachweisbaren Lieferquellen die Verwendung spezifischer Daten bereits in frühen Phasen der Planung und künftig auch in der Genehmigungsplanung ermöglicht werden, soweit diese qualitätsgeprüft sind. Im Gegenzug ist zu erwarten, dass dann der unternehmensspezifische Aufwand für die Produktion von Modulen bzw. Elementen zusätzlich zur Berücksichtigung verwendeter Produkte im Modul A3 abgebildet wird.
- In der Qualitätsprüfung von Daten sollte die Rolle der EPD-Programmhälter gestärkt werden.
- Es wird empfohlen, Muster- und System-EPDs zu erarbeiten und die Entwicklung von Konfiguratoren voranzutreiben.

- Ein Prozess in Richtung der verpflichtenden Bereitstellung umweltrelevanter Produktinformationen sollte unterstützt werden – einerseits im Rahmen der Diskussion zur EU-Bauproduktenverordnung und andererseits in Form einer nationalen Initiative.
- Es besteht ein Interesse an einem Ausblick auf künftige Daten im Ergebnis einer Dekarbonisierungsstrategie der Branchen. Ein Ausblick auf Daten, welche die Situation im Jahr 2030, 2035, 2040 und 2045 beschreiben, wird als Zusatzinformation in einer EPD empfohlen.
- Es besteht ein Interesse an der Angabe von Bandbreiten in Branchen-EPDs. Entsprechende Bedürfnisse sollten mit der Industrie diskutiert werden.

16 Umgang mit Nutzerstrom

Der Haushalts- bzw. Nutzerstrom spielt in der Ermittlung des Energiebedarfs, der Analyse des Energieverbrauchs sowie der Erstellung von Ökobilanzen zunehmend eine Rolle. Zur Verbesserung der Transparenz wurden und werden in den Normen DIN EN 15643 und DIN EN 15978 die Module zur Beschreibung des Aufwandes an Energie und zur Darstellung der Emissionen an THG-Emissionen und weiterer Wirkungen auf die Umwelt weiter ausdifferenziert. Angegeben werden können nun Energieaufwand, Emissionen und Umweltwirkungen infolge des Gebäudebetriebs in den Systemgrenzen des GEG im Modul B6.1, infolge des nicht geregelten Energieaufwands (u. a. für Aufzüge) im Modul B6.2 sowie infolge des nutzer- und nutzungsbedingten Energieaufwands im Modul B6.3. Da u.a. bei Wohnbauten der Haushaltsstrom in die am Zähler abgelesenen Werte einfließt, erlaubt seine Einbeziehung in die Bedarfsermittlung u. a. eine bessere Übereinstimmung von Prognose und Verbrauch. Der Haushaltsstrom fließt weiterhin über die Berücksichtigung nutzbarer innerer Gewinne indirekt in die Energiebilanz ein. Die Kenntnis seiner zu erwartenden Größenordnung ist eine Voraussetzung für die nachfrageorientierte Dimensionierung von gebäudeintegrierten oder gebäudenahen Anlagen zur solaren Stromerzeugung sowie für die Abschätzung des möglichen Eigennutzungsanteils des Solarstroms.

16.1 Grundlagen

Die Erfassung, Bewertung und Begrenzung des (zusätzlichen) Haushaltsstroms bei Gebäuden in der Bilanzierung des Energieaufwands hat eine lange Tradition. Unter (zusätzlichem) Haushaltsstrom wird hier im Falle von Wohnbauten bzw. Wohnungen der Stromverbrauch abzüglich des bereits im GEG abgebildeten Aufwands an Strom und abzüglich des nicht geregelten, jedoch gebäudebezogenen Aufwands an Strom, u. a. für Aufzüge, verstanden. Der Aufwand an Haushaltsstrom kann aus statistischen Analysen abgeleitet bzw. über eine Bedarfsberechnung für konkrete Fälle ermittelt werden.

Bereits die Anforderungen zur Begrenzung des Aufwandes an nicht erneuerbarer Primärenergie bei Passivhäusern schlossen in der Anfangsphase mit 120 kWh/(m²a) den Haushaltsstrom mit ein. Ziel war es, neben dem Wärmebedarf auch den Strombedarf zu reduzieren und nicht die Bilanz durch hohe innere Gewinne aus Haushaltsgeräten mit hohem Energieverbrauch zu beeinflussen. Auch die aktuellen Anforderungen an die energetische Qualität von Passivhäusern berücksichtigen den Haushaltsstrom und beziehen ihn in die Bilanz ein (Passivhaus Institut, 2024). Berücksichtigt wird die Energie für Heizen, Kühlen, Entfeuchten, Warmwasser, Licht, Hilfsstrom und Elektrogeräte. Gegenüber den Systemgrenzen des GEG wird damit hier der Strombedarf für Beleuchtung und Elektrogeräte bei Wohnbauten zusätzlich einbezogen.

Mit den Systemgrenzen und Bilanzierungsregeln für das Effizienzhaus-PLUS wurde eine pauschale Annahme zur Berücksichtigung des (zusätzlichen) Haushaltsstroms eingeführt. Danach wird „eine Größe von 20 Kilowattstunden pro Quadratmeter beheizter Nettogrundfläche und Jahr für den Haushaltsstrom angesetzt. Es wird empfohlen, Geräte und Leuchtmittel der höchsten Effizienzklasse einzusetzen“. Messreihen bestätigten bei Mehrfamilienhäusern die Unterschreitung dieses Wertes in allen Fällen, bei Einfamilienhäusern im Regelfall. Vgl. (Rose, et al., 2019).

Für die Bilanzierungsregeln des QNG zum betriebs- und nutzungsbedingten Anteil am Energieaufwand und den Treibhausgasemissionen wurde der Ansatz vom Effizienzhaus-PLUS übernommen. Wie bereits dort war und ist das Ziel, eine realitätsnahe Abschätzung des Strombedarfs zu ermöglichen und zur Grundlage einer Dimensionierung von gebäudeintegrierten Anlagen zur Gewinnung von Solarstrom (BIPV) sowie zur Ermittlung des Eigennutzungsanteils zu machen. Der Ansatz ist nicht unumstritten, es kommt zu Fragen.

16.2 Fragestellungen

Folgende Fragestellungen werden untersucht:

- Besteht die Notwendigkeit zur Anpassung und ggf. Ausdifferenzierung der pauschalen Vorgabe für die Berücksichtigung des Haushaltsstroms?
- Ergeben sich Möglichkeiten für eine spezifische Ermittlung des Strombedarfs?
- Ergibt sich eine Notwendigkeit zur Anpassung von Anforderungswerten zur Begrenzung von Energieaufwand und Treibhausgasemissionen in Betrieb und Nutzung bzw. im vollständigen Lebenszyklus von Gebäuden?

16.3 Diskussion

Der Abschätzung des Aufwands an Haushaltsstrom kann man sich auf unterschiedlichen Wegen nähern. Möglich sind u. a. (1) eine Analyse von Trends bei der Ausstattung mit Haushaltsgeräten, (2) die Auswertung von Verbrauchsdaten und (3) spezifische Bedarfsberechnungen.

16.3.1 Ausstattung der Haushalte mit Geräten

Für die Ausstattung der Haushalte mit Geräten existieren verschiedene Statistiken. Das Statistische Bundesamt hält zunächst Angaben zur Ausstattung der Haushalte mit Haushaltsgeräten vor (Destatis, 2022). Erfasst werden u. a. Kühlschränke, Gefrierschränke, Geschirrspülmaschinen, Mikrowellen, Waschmaschinen und Wäschetrockner sowie Kaffeemaschinen. Seit 2017 gibt es nur geringe Veränderungen. In der Tendenz ist die Ausstattung mit Gefrierschränken bzw. Gefriertruhen leicht rückläufig, dafür nimmt die Ausstattung mit Geschirrspülmaschinen leicht zu. Die Ausstattung der Haushalte mit Informations- und Kommunikationstechnik wird vom Statistischen Bundesamt gesondert erfasst (Destatis, 2022). Berücksichtigt werden u. a. Personalcomputer, Drucker sowie Festnetz- und Mobiltelefone. In den Zeitreihen sind nur geringe Veränderungen erkennbar. In der Tendenz nimmt die Ausstattung mit stationären PCs ab und die Anzahl mobiler Geräte zu. In der Tendenz sinkt die Ausstattung mit Festnetztelefonen.

Insgesamt geht u. a. das Umweltbundesamt (UBA) davon aus, dass trotz der Zunahme des Anteils stromsparender Haushaltsgeräte sich der Stromverbrauch der Haushalte seit 2014 kaum verändert hat. Als Gründe werden die wachsende Wohnfläche sowie die Zunahme bei der Anzahl der Geräte angegeben (Umweltbundesamt, 2024).

Vom Stromverbrauch der Haushalte entfielen 2021 ca. 30,6 % auf das Kochen, 22,7 % auf Kühlgeräte, 17 % auf Informations- und Kommunikationstechnik sowie 7,9 % auf die Beleuchtung. Damit haben die Elektroherde und Backöfen, die Kühlschränke und Gefriertruhen, die TV-Geräte und Monitore sowie die Leichtmittel einen großen Einfluss. Übrige Anteile am Stromverbrauch entfallen u. a. auf Raumwärme, Warmwasserbereitung sowie Kühlung/Klimatisierung und sind dem vom GEG erfassten Bereich zuzuordnen. Vorsorglich wird darauf verwiesen, dass Angaben bei anderen Quellen hiervon deutlich abweichen.

Der Strombedarf einzelner Gerätearten unterscheidet sich je nach Effizienzklasse deutlich. Es gibt große Unterschiede bei Geräten mit geringem, mittlerem oder hohem Energiebedarf (Ministerium für Umwelt, Klima Baden-Württemberg, 2022). Über Veränderungen bei den Energieeffizienzklassen einzelner Gerätearten informiert HEA (HEA, 2018). In Abbildung 141 werden die ab 2021 gültigen Energieeffizienzklassen der gerätespezifischen Label angegeben. Geräte, deren Klasse in einen schraffierten Bereich fällt, dürfen nicht mehr in Verkehr gebracht werden.

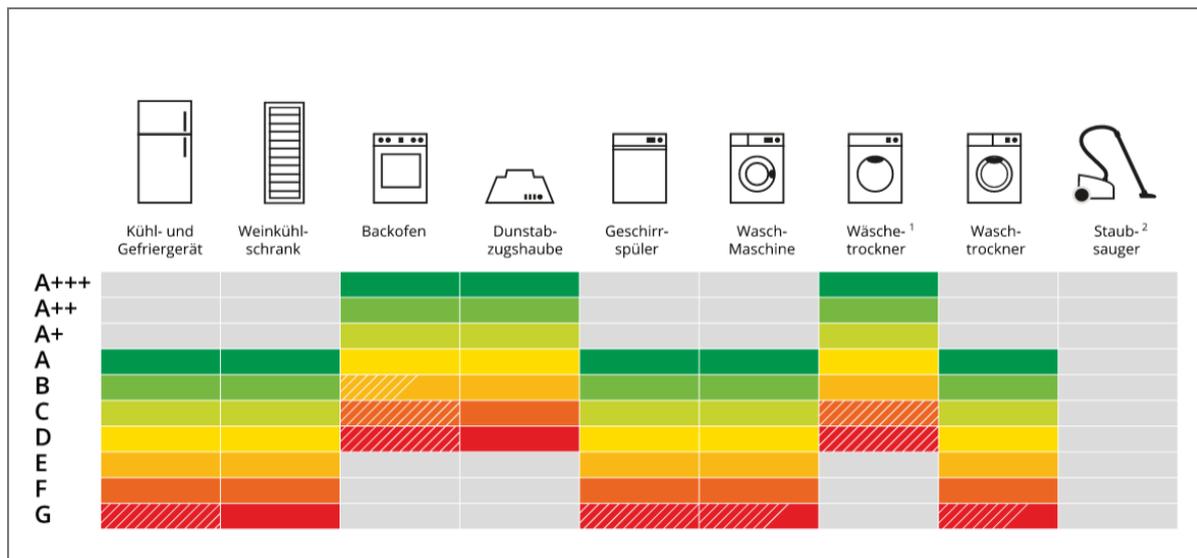


Abbildung 141: Energieeffizienzklassen von Haushaltsgeräten, gültig seit 2011

Das Umweltbundesamt gibt zum Trend in Richtung stromsparender Haushaltsgeräte die in Tabelle 18 angegebenen Einschätzungen (Umweltbundesamt, 2024)

Tabelle 18: Trends beim Einsatz von Haushaltsgeräten (UBA)

Kühlgeräte	„Innerhalb von 10 Jahren ist der Marktanteil von energieeffizienten Kühlschränken (mindestens A++) sprunghaft von unter 10 % auf über 80 % gestiegen. Der Wechsel hin zu den besonders energieeffizienten Geräten (A+++) verläuft hingegen sehr langsam. Der Marktanteil von A+++-Geräten lag im Jahr 2020 bei 27 % und damit nur 4,5 Prozentpunkte über dem Wert von 2015.“
Gefriergeräte	„Energieeffiziente Gefriergeräte (mindestens A++) hatten bereits 2014 einen Marktanteil von über 80 %. Seitdem ist die Dynamik hin zu besonders effizienten Geräten fast zum Erliegen gekommen. Der Marktanteil von besonders energieeffizienten Geräten (A+++) lag im Jahr 2020 bei 34,8 % und damit nur 4,9 Prozentpunkte über dem Wert von 2014.“
Waschmaschinen	„Der Marktumbruch hin zu besonders effizienten Geräten erfolgte nirgends so schnell wie bei den Waschmaschinen. Während der Marktanteil bei effizienten Geräten (mindestens A++) 2008 erst bei 3 % lag, war dieser sechs Jahre später auf 86 % in 2014 gestiegen. Bereits zwei Jahre später hatten auch die besonders energieeffizienten Geräte (A+++) einen Marktanteil von über 85 %. Seitdem stagniert allerdings deren Marktanteil.“
Geschirrspüler	„Innerhalb eines Jahrzehnts stieg der Marktanteil von energieeffizienten Geschirrspülern (mindestens A++) von unter 5 % auf 86,4 % in 2020 (siehe Abb. „Umsatz und Marktanteil von energieeffizienten Geschirrspülmaschinen“). Auch der Marktanteil von A+++-Geräten wuchs seit 2011 von unter 10 % stetig auf 37 % in 2020.“
Elektroherde	„Seit 2017 stagnieren allerdings die Marktanteile effizienter Geräte bei unter 40 %. Besonders energieeffiziente Geräte (A++) spielen bisher mit einem Marktanteil von deutlich unter 1 % keine Rolle.“
TV und Monitore	„Fernsehgeräte werden größer und verbrauchen mehr Strom. Während der Marktanteil von energieeffizienten Flachbildschirmen (mindestens A+) bis 2015 auf 57 % gestiegen war, ist er seitdem auf 31,3 % im Jahr 2020 gefallen. Die besonders energieeffizienten A++-Geräte lagen sogar nur bei 0,5 % Marktanteil, obwohl sie 2014 schon 8,1 % hatten.“
Leuchtmittel	Im Jahr 2009, mit dem Beginn des schrittweisen Marktaus für weniger effiziente Leuchtmittel, hatten klassische Energiesparlampen bereits einen Marktanteil von rund 40 %. Noch effizientere Leuchtmittel (mind. A+) sind dann innerhalb von acht Jahren von 3 % (2012) auf 82 % (2020) Marktanteil sprunghaft gestiegen. Die effizientesten Leuchtmittel (A++) hatten 2020 bereits einen Marktanteil von 32 %.

DIN 18015-2: 2021 *Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Teil 2: Art und Umfang der Mindestausstattung* enthält Hinweise zu den Haushaltsgeräten in Wohnbauten. Aus den Vorgaben zu Anschlüssen kann auf die Ausstattung mit Geräten geschlossen werden. Erwähnt werden Beleuchtung, Kühl-Gefriergerät, Dunstabzug, Elektroherd, Mikrowelle, Geschirrspüler, Waschmaschine, Wäschetrockner, Telefon, Radio/TV.

VDI 4655: 2021 Referenzlastprofile von Wohngebäuden für Strom, Heizung und Trinkwarmwasser sowie Referenzerzeugungsprofile für Fotovoltaikanlagen nennt u. a. Grundlagen zur Abschätzung des Strombedarfs für Ein- und Mehrfamilienhäuser in kWh/Person bei x Personen (VDI 4655:2021-07). Die Werte liegen deutlich über denen des Stromspiegels.

16.3.2 Auswertung des Stromspiegels

Bei der Analyse realer Daten zum Stromverbrauch der Haushalte gibt es große Bandbreiten. Ein Beispiel liefern die in Abbildung 142 dargestellten Ergebnisse des Stromspiegels (Stromspiegel, 2023).

Gebäudetyp	Warmwasser	Personen im Haushalt	Verbrauch in Kilowattstunden (kWh) pro Jahr						
			A	B	C	D	E	F	G
Haus	ohne Strom	1 Person	bis 1.400	bis 1.800	bis 2.200	bis 2.600	bis 3.400	bis 4.500	über 4.500
		2 Personen	bis 2.000	bis 2.500	bis 2.800	bis 3.100	bis 3.500	bis 4.300	über 4.300
		3 Personen	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.500	bis 3.900	bis 4.400	bis 5.200	über 5.200
		4 Personen	bis 2.800	bis 3.500	bis 3.900	bis 4.300	bis 5.000	bis 6.000	über 6.000
		5+ Personen	bis 3.200	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.200	bis 6.000	bis 7.600	über 7.600
	mit Strom	1 Person	bis 1.500	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 4.000	bis 5.500	über 5.500
		2 Personen	bis 2.400	bis 2.900	bis 3.300	bis 3.800	bis 4.500	bis 6.000	über 6.000
		3 Personen	bis 3.000	bis 3.600	bis 4.100	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.500	über 7.500
		4 Personen	bis 3.500	bis 4.200	bis 5.000	bis 5.700	bis 7.000	bis 8.900	über 8.900
		5+ Personen	bis 4.000	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.000	bis 8.200	bis 10.800	über 10.800
Wohnung	ohne Strom	1 Person	bis 800	bis 1.000	bis 1.300	bis 1.500	bis 1.700	bis 2.100	über 2.100
		2 Personen	bis 1.400	bis 1.700	bis 2.000	bis 2.300	bis 2.500	bis 3.000	über 3.000
		3 Personen	bis 1.700	bis 2.100	bis 2.500	bis 2.900	bis 3.300	bis 3.800	über 3.800
		4 Personen	bis 1.800	bis 2.300	bis 2.600	bis 3.000	bis 3.600	bis 4.400	über 4.400
		5+ Personen	bis 1.500	bis 2.100	bis 2.700	bis 3.400	bis 4.100	bis 5.500	über 5.500
	mit Strom	1 Person	bis 1.100	bis 1.400	bis 1.600	bis 1.900	bis 2.200	bis 2.800	über 2.800
		2 Personen	bis 1.900	bis 2.300	bis 2.600	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	über 4.000
		3 Personen	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.500	über 5.500
		4 Personen	bis 2.500	bis 3.400	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.000	bis 6.400	über 6.400
		5+ Personen	bis 2.000	bis 3.000	bis 4.000	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.500	über 7.500

<p>A = gering Glückwunsch, Sie verbrauchen viel weniger Strom als vergleichbare Haushalte.</p>	<p>B = niedrig Sie benötigen weniger Strom als vergleichbare Haushalte. Doch auch Sie können noch sparen.</p>	<p>C und D = mittel Ihr Verbrauch liegt im Schnitt bzw. leicht darunter. Nutzen Sie alle Möglichkeiten zum Stromsparen aus.</p>	<p>E und F = hoch Sie verbrauchen mehr Strom als jeder zweite vergleichbare Haushalt. Stromsparen lohnt sich für Sie besonders.</p>	<p>G = sehr hoch Sie sollten dringend handeln. Sie verbrauchen mehr Strom als 85 % aller vergleichbaren Haushalte.</p>
---	--	--	--	---

Abbildung 142: Ergebnisse des verbrauchten Haushaltsstroms nach Stromspiegel

Bei der Analyse und Interpretation von Angaben im Stromspiegel ist zu beachten, dass bei Häusern mit dem Energieaufwand für Hilfsenergie zur Versorgung mit Wärme und Warmwasser Größen einfließen, die bereits im GEG berücksichtigt und dem Modul B6.1 zuzuordnen sind. Sie können damit nicht als (zusätzlicher) Haushaltsstrom im Modul B6.3 betrachtet werden. Damit sind für die Bearbeitung der Fragestellung Kennwerte für Wohnungen geeignet. Bei diesen müssen die Angaben für den Fall „Warmwasserbereitung mit Strom“ ausgeschlossen werden, da dieser Energieaufwand bereits innerhalb

der Systemgrenzen des GEG abgebildet und damit dem Modul B6.1 zugeordnet wird. Für die Untersuchung des (zusätzlichen) Nutzerstroms eignen sich daher Werte für den Fall einer Wohnung (im Mehrfamilienhaus) ohne Warmwasserbereitung mit Strom. Bei einer Umrechnung der Angaben aus dem Stromspiegel ergeben sich die in Tabelle 19 angegebenen Werte für einen (zusätzlichen) Aufwand an Haushaltsstrom in kWh/m².

Tabelle 19: Haushaltsstrom Angaben zum jährlichen Verbrauch in kWh/m²

Personen in WE	Klasse A	Fläche pro Kopf in m ²					
Anzahl	kWh/a	25	30	35	40	45	50
1	800	32,0	26,7	22,9	20,0	17,8	16,0
2	1.400	28,0	23,3	20,0	17,5	15,6	14,0
3	1.700	22,7	18,9	16,2	14,2	12,6	11,3
4	1.800	18,0	15,0	12,9	11,3	10,0	9,0
5	1.500	12,0	10,0	8,6	7,5	6,7	6,0
> 5	1.500	12,0	10,0	8,6	7,5	6,7	6,0
Personen in WE	Klasse C	Fläche pro Kopf in m ²					
Anzahl	kWh/a	25	30	35	40	45	50
1	1.300	52,0	43,3	37,1	32,5	28,9	26,0
2	2.000	40,0	33,3	28,6	25,0	22,2	20,0
3	2.500	33,3	27,8	23,8	20,8	18,5	16,7
4	2.600	26,0	21,7	18,6	16,3	14,4	13,0
5	2.700	21,6	18,0	15,4	13,5	12,0	10,8
> 5	2.700	21,6	18,0	15,4	13,5	12,0	10,8
Personen in WE	Klasse E	Fläche pro Kopf in m ²					
Anzahl	kWh/a	25	30	35	40	45	50
1	1.700	68,0	56,7	48,6	42,5	37,8	34,0
2	2.500	50,0	41,7	35,7	31,3	27,8	25,0
3	3.300	44,0	36,7	31,4	27,5	24,4	22,0
4	3.600	36,0	30,0	25,7	22,5	20,0	18,0
5	4.100	32,8	27,3	23,4	20,5	18,2	16,4
> 5	4.100	32,8	27,3	23,4	20,5	18,2	16,4

Es wird deutlich, dass unter Nutzung der pauschalen Annahme von 20 kWh/m² im Falle von Geräten der Effizienzklasse A bei kleinen Wohnungen mit geringer Belegung der Stromverbrauch unterschätzt und im Falle größerer Wohnungen mit zunehmender Belegung überschätzt wird. Für die hier ausgewerteten Effizienzklassen C und E verändert sich bereits das Bild. Als Reaktion darauf ist folgender Ansatz denkbar: Die Anforderungswerte zur Begrenzung von Energieaufwand und Treibhausgasemissionen bleiben zunächst unverändert und enthalten die pauschale Annahme von 20 kWh/(m²a) Strom Endenergie). Bezugsfläche ist hier die Wohnfläche. Die Werte würden auch eine geringfügige Erhöhung rechtfertigen. Bei konkreten Nachweisen muss dann - so der Vorschlag der Bearbeiter dieses Teilberichts - mit z. B. 25 kWh/(m²a) bzw. 30 kWh/(m²a) gerechnet werden. Zum Wert von 20 kWh/(m²a) dürfte in dieser Variante erst dann übergegangen werden, wenn das überwiegende Vorhandensein stromsparender Haushaltsgeräte der Effizienzklasse A nachgewiesen werden kann. Zu den Fragen der Nachweismöglichkeit und -pflicht, eines Verschlechterungsverbots sowie zum Umgang mit Nutzerwechseln bedarf es weitergehender Diskussionen.

Die Alternative besteht in einer detaillierten Modellierung bzw. Nutzung der DIN V 18599-10.

16.4 Grundlagen der detaillierten Modellierung des Stromverbrauchs

Einen Überblick zum Thema liefert u. a. die Dissertationsschrift von PFLUGRATH, 2016 (Pflugradt, 2016). Vorgestellt und diskutiert werden mehrere Generatoren von Lastprofilen für Strom. PFLUGRATH unterscheidet bei der Modellierung des Strombedarfs einen personenabhängigen und einen personenunabhängigen Anteil. Letzterer umfasst den Stromverbrauch der Geräte, die unabhängig vom individuellen Nutzerverhalten in Betrieb sind (z. B. der Kühlschrank). Dieser Anteil wird auf 25 % am Haushaltsstromverbrauch geschätzt. Die übrigen 75 % entfallen damit auf den Aufwand, der überwiegend durch Anzahl und Verhalten von Personen beeinflusst wird (u. a. TV-Nutzung). Eine aktuelle Dissertationsschrift von KÖHLER, 2023 widmete sich dem Thema der „Gebäudespezifischen Simulation und Validierung von Stromlastprofilen für Wohn- und Nichtwohngebäude zur Anwendung in der energetischen Quartiersplanung“. Es erfolgte u. a. eine breit angelegte Analyse des Verbrauchs an Haushaltsstrom in Wohnbauten in zwei Kommunen in Baden-Württemberg. Berücksichtigt wurden die Daten von 715 bzw. 976 Gebäuden. Für die 715 Wohngebäude wurde ein Mittelwert von 21,8 kWh/(m²a) und ein Median von 20,9 kWh/(m²a), für die 946 Wohngebäude einen Mittelwert von 21,0 kWh/(m²a) errechnet und einen Median von 19,8 kWh/(m²a) ermittelt. Bezugsgröße war die (automatisiert geschätzte) Wohnfläche. Der flächenspezifische Strombedarf schwankt dabei zwischen 9,2-57,4 kWh/(m²a) bzw. 9,3-55,7 kWh/(m²a) bei einer gebäudespezifischen Auswertung. Ergebnisse im Detail sind in Abbildung 143 dargestellt (Köhler, 2023).

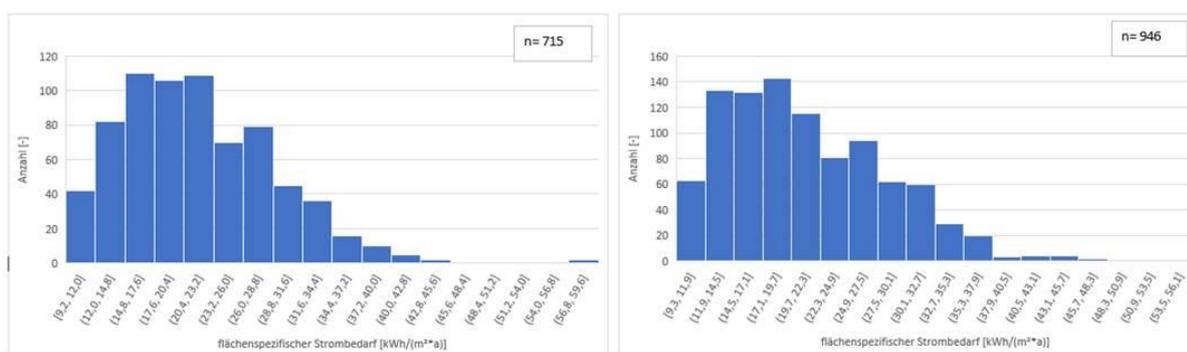


Abbildung 143: Häufigkeitsverteilung des flächenspezifischen Strombedarfs in kWh/m² Wohnfläche und Jahr in 2 Kommunen (Köhler, 2023)

Deutlich wird die in der Realität auftretende große Bandbreite der Stromverbräuche.

16.5 Empfehlungen

Folgende Empfehlungen werden für den künftigen Umgang mit dem Nutzerstrom unterbreitet:

- Der bisherige Pauschalwert für die Erfassung des Bedarfs an Nutzerstrom / zusätzlichem Haushaltsstrom wird hinsichtlich seiner Höhe in der interessierten Fachöffentlichkeit wenig diskutiert und erweist sich als robust. Es wird empfohlen, ihn in der Größenordnung beizubehalten.
- Mittelfristig soll geprüft werden, ob und inwieweit eine Kombination aus flächen- und personenbezogenen Kennwerten zu Größen führt, die näher an der Realität liegen.
- Die Rechenregeln der DIN V 18599-10 weichen bei der Berücksichtigung des Strombedarfs für Nutzeranwendungen mit 23 kWh/(m²a) gegenüber dem gegenwärtigen pauschalen QNG-Ansatz in Höhe von 20 kWh/(m²a) nur um 3 kWh/(m²a) ab. Vor dem Hintergrund der geringen Abweichungen der Ergebnisse in Abschnitt 10.11.3.1 und einer Harmonisierung der Randbedingungen wird empfohlen, die QNG-Regeln perspektivisch auf den Ansatz der DIN V

18599-10 anzupassen. Dabei ist ebenfalls eine entsprechende Anpassung der Anforderungshöhe an den dann höheren Nutzerstrombedarf zu berücksichtigen.

- Es wird empfohlen, über Anreizsysteme zur Minderung des Bedarfs an Nutzerstrom nachzudenken. Anbieter von Fertighäusern könnten z. B. stromsparende Haushaltsgeräte im Paket anbieten.

17 Trends bei Klimadaten

Die aktuelle wissenschaftliche und technologische Entwicklung im Bereich der Klimadaten hat zu einem signifikanten Anstieg an verfügbaren Datensätzen geführt. Diese Entwicklung ist einerseits ein Segen, da sie es ermöglicht, klimatische Bedingungen mit bisher unerreichter Präzision zu analysieren und zu modellieren. Andererseits stellt sie Forscher und Anwender vor neue Herausforderungen, insbesondere im Hinblick auf die Auswahl und Nutzung der Daten. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) hat mit der Veröffentlichung von 333.321 Datensätzen im Jahr 2017 einen Meilenstein in der Bereitstellung von Klimadaten für das Bundesgebiet gesetzt. Diese Daten, die sowohl Messdaten (TRY 2015) für den Klimawandel um das Jahr 2003 als auch Prognosedaten (TRY 2045) für den Klimawandel um das Jahr 2045 umfassen, bieten eine umfassende Grundlage für klimatologische Untersuchungen.

Die Bereitstellung der TRY-Datensätze in drei verschiedenen Ausprägungen (winter-, normal- und sommerrepräsentatives Jahr) spiegelt die Bemühungen wider, unterschiedliche klimatische Bedingungen abzubilden. Für die meisten Studien, einschließlich der Bewertung im Lebenszyklus von Gebäuden, erweisen sich jedoch die normalrepräsentativen Jahre als am nützlichsten, da sie den durchschnittlichen Klimazustand darstellen und nicht durch meteorologische Extreme geprägt sind.

Der Trend zu mehr Datengrundlagen bei Klimadaten zeigt die wachsende Kapazität und den Willen, den Klimawandel und seine Auswirkungen detailliert zu erfassen und zu verstehen. Allerdings führt die Vielzahl der Datenquellen auch zu einer Herausforderung: die Gefahr einer Überforderung durch zu viele Optionen und die mögliche Schwierigkeit, aus einer Fülle von Daten die realitätsgetreuen Szenarien herauszufiltern.

In diesem Kontext ist es wichtig zu erkennen, dass nicht jede Erweiterung der Datengrundlagen automatisch zu einer Verbesserung der Klimamodelle oder -prognosen führt. Die Vielfalt der Daten ist vor allem für spezialisierte Untersuchungen von Bedeutung, bei denen bestimmte Aspekte des Klimas oder spezifische geografische Regionen im Fokus stehen. Für die allgemeine Abbildung des Klimawandels und seiner zukünftigen Entwicklung sollte jedoch ein ausgewogener Ansatz verfolgt werden, der sich auf die Kernszenarien des Klimawandels konzentriert.

Angesichts der Tatsache, dass eine weitere Veröffentlichung von Klimadaten des DWD erst nach 2025 erwartet wird, erscheint es ratsam, auch alternative Datenquellen wie METEONORM in Betracht zu ziehen. Diese können wertvolle zusätzliche Perspektiven und Informationen bieten, u. a. in Bereichen, in denen der DWD möglicherweise Lücken aufweist.

Die Auswahl des richtigen Klimaszenarios ist entscheidend für die Genauigkeit und Relevanz klimatologischer Studien. Während die vorhandenen Datensätze eine solide Grundlage bieten, ist es unerlässlich, die Entwicklungen im Bereich der Klimadaten kritisch zu verfolgen und die Methodik der Datenauswahl kontinuierlich zu hinterfragen und anzupassen. Dies gewährleistet, dass die Forschung und Anwendung von Klimadaten auch in Zukunft den Herausforderungen des Klimawandels gewachsen sind.

Die Umwandlung von Stundenwerten in Monatswerte für Normen wie die DIN V18599 stellt eine Herausforderung dar, die die Bedeutung innovativer Werkzeuge und Methoden unterstreicht. Diese Werkzeuge müssen die umfangreichen Klimadatensätze an die spezifischen Bedürfnisse der Anwender anpassen. Dies erfordert nicht nur technische Lösungen zur Datenumrechnung, sondern auch ein tiefgehendes Verständnis der Klimadaten, einschließlich deren Aufbau und Struktur sowie der Ermittlung

der Werte und Zusammenhänge. Um die Zukunft der Klimadatenforschung und -anwendung voranzutreiben, müssen Ansätze entwickelt werden, die komplexe Datensätze für eine breite Nutzerbasis zugänglich, anpassbar und praktisch anwendbar machen.

Um dies zu erreichen, ist es entscheidend, interdisziplinäre Teams zusammenzubringen, die sowohl über tiefgreifendes Fachwissen in den Klimawissenschaften als auch über Kompetenzen in der Datenverarbeitung und -analyse verfügen. Solche Teams können innovative Lösungen entwickeln, die beispielsweise automatisierte Prozesse für die Datenumrechnung bieten, die Fehlerquellen minimieren und die Effizienz steigern. Darüber hinaus ist die Schaffung von Plattformen und Schnittstellen, die eine intuitive Auswahl und Anpassung der Klimadaten ermöglichen, von zentraler Bedeutung. Dies würde den Nutzern erlauben, die Daten entsprechend ihren spezifischen Anforderungen zu filtern, zu modifizieren und zu analysieren.

In diesem Zusammenhang ist auch die Förderung eines offenen Dialogs zwischen Datenerzeugern, wie dem DWD, und den Anwendern wichtig. Ein solcher Austausch kann dazu beitragen, die Bedürfnisse und Herausforderungen der Anwender besser zu verstehen und die Entwicklung von Klimadatensätzen und -tools zu leiten, die diesen Anforderungen gerecht werden. Letztlich geht es darum, eine solide Basis für die Anwendung von Klimadaten zu schaffen, die sowohl die Genauigkeit der wissenschaftlichen Forschung als auch die praktische Umsetzbarkeit in verschiedenen Bereichen, einschließlich der Gebäudebilanzierung und -planung, verbessert.

17.1 Umrechnung von TRY-Daten in Monatswerte

Die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bereitgestellten Testreferenzjahre (TRY) liefern Klimadaten in Form von Stundenwerten für ein ganzes Jahr, was insgesamt 8760 Werte pro Parameter bedeutet. Diese detaillierte Datenaufschlüsselung ist für viele Anwendungen außerordentlich wertvoll, stößt jedoch bei der Anwendung bestimmter Normen, wie der DIN V 18599 zur Berechnung von Gebäudebilanzen, auf Herausforderungen. DIN V 18599 fordert nämlich Klimadaten in Form von Monatswerten, eine Vorgabe, die von den stundenbasierten Daten des DWD abweicht. Diese Diskrepanz erfordert eine Umrechnung der vom DWD bereitgestellten Stundenwerte in Monatswerte. Diese Umrechnung muss nicht nur die unterschiedlichen Himmelsrichtungen (Nordost, Süd, West) berücksichtigen, sondern auch verschiedene Neigungen. Darüber hinaus muss die Umrechnung standortbezogen und zeitlich präzise erfolgen, was den Prozess besonders fehleranfällig macht.

Zu diesem Zweck wurde ein Python-Code entwickelt, der das PEREZ-Modell nutzt, welches in der offenen BIPVlib-Bibliothek (Holmgren, et al., 2018) implementiert ist, um eine normkonforme Umrechnung zu ermöglichen.

Das PEREZ-Modell ist in der Solarstrahlungssimulation weit verbreitet und ermöglicht eine genaue Bestimmung der Global- und Diffusionsstrahlung auf geneigten Oberflächen. Diese präzise Modellierung ist für die Energiebilanzierung von Gebäuden nach DIN V 18599 von entscheidender Bedeutung. Die BIPVlib-Bibliothek bietet hierfür eine umfangreiche Sammlung von Werkzeugen und Funktionen, die speziell für Anwendungen im Bereich der Photovoltaik und der solaren Energieerzeugung entwickelt wurden.

Der entwickelte Python-Code verwendet diese Werkzeuge, um die stündlichen Daten des DWD in die geforderten Monatsmittelwerte umzuwandeln. Diese Umrechnung ist notwendig, da die DIN V 18599 Monatsmittelwerte für die energetische Bilanzierung vorschreibt. Durch die Anpassung der Klimadaten an die Normvorgaben wird gewährleistet, dass die DWD-Daten korrekt in die Energiebilanzierung von Gebäuden einfließen können.

Dieser Prozess der Datenumrechnung und -anpassung spielt eine wesentliche Rolle bei der Erstellung präziser und normgerechter Energiebilanzen für Gebäude. Er ermöglicht eine realitätsnahe Einschätzung

des Energiebedarfs und der Energieeffizienz, die die lokalen klimatischen Bedingungen und die spezifische Ausrichtung der Gebäudeoberflächen berücksichtigt.

17.2 Entwicklung der DWD-TRY-Datensätze

Die Betriebsphase eines Gebäudes ist entscheidend für dessen Gesamtenergiebilanz. Faktoren wie Energie- und Wasserverbrauch, aber auch die Instandhaltung, werden maßgeblich durch das zugrundeliegende Klima beeinflusst. Die Analyse von Klimadaten bietet daher wesentliche Einblicke in die Optimierung dieser Aspekte. Um eine klare und detaillierte Übersicht der Entwicklung der Klimadaten in Deutschland zu erhalten, sind in Tabelle 20 umfassende Informationen zu den DWD-TRY-Klimadatensätzen sowie weitere relevante Details dokumentiert.

Tabelle 20: Übersicht über die Entwicklung der DWD-TRY-Datensätze

Datensatz	Veröffentlichung im Jahr	Bezugszeitraum	Stand Klimawandel	Stationen bzw. Datensätze	Klima-prognose-modelle	Modell klimatische Veränderungen
TRY 1985	1986	1951-1967	1959	1 × 12 (alte Bundesländer)	-	real / gemessen
TRY 2004	2004	1961-1990	1976	3 × 15	-	real / gemessen
TRY 2010	2011	1988-2007	1998	3 × 15	-	real / gemessen
TRY 2035	2011	2021-2050	2035	3 × 15	5	prognostiziert / A1B
TRY 2015	2017	1995-2012	2003	3 × 333.321	-	real / gemessen
TRY 2045	2017	2031-2060	2045	3 × 333.321	12	prognostiziert / RCP4.5 - RCP8.5

Quelle: (Vukadinovic, 2023), Datengrundlage: (Weller, et al., 2016) (Webs, et al., 2004) (DWD, 2017)

Aus der Tabelle geht hervor, wie verschiedene Testreferenzjahre unterschiedliche Zeiträume und Stände des Klimawandels repräsentieren. Die TRY 2045 stellen den Klimawandel um das Jahr 2045 dar, während die TRY 2010 und TRY 2015 jeweils den Stand des Klimawandels um die Jahre 1998 bzw. 2003 abbilden (jeweils farbig hinterlegt). Diese unterschiedlichen Referenzjahre ermöglichen es, sowohl vergangene als auch zukünftige Klimabedingungen in Betracht zu ziehen.

Der folgende Unterabschnitt widmet sich den Klimadaten aus 2011, welche im Jahr 2024 weiterhin als Grundlage für nachhaltige Betriebsstrategien dienen.

17.3 Derzeitige Referenz für energetische Gebäudebewertungen

Die im Jahr 2011 vom Deutschen Wetterdienst (DWD) veröffentlichten Klimadaten, welche in Form von Testreferenzjahren (TRY) vorliegen, bilden die Grundlage für die energetische Bewertung von Gebäuden in der Bundesrepublik Deutschland. In Übereinstimmung mit dem Gebäudeenergiegesetz, welches sich auf die DIN V 18599:2018-09 bezieht, repräsentiert der Standort Potsdam mit dem TRY 2010-04 ein klimatologisch mittleres Klima, das bisher als repräsentativ für das gesamte Bundesgebiet galt. Diese Daten beschreiben mit Stand des Klimawandels um das Jahr 1998 ein in der näheren Vergangenheit durchschnittliches Klima, das für energetische Berechnungen als Benchmark dient. Sie bilden die Grundlage für die Standardisierung und unterstützen die Entwicklung von Anpassungsstrategien, die die spezifischen klimatischen Bedingungen verschiedener Standorte berücksichtigen.

Angesichts der Variabilität geografischer Lagen, klimatischer Bedingungen und Umgebungsfaktoren erweist sich die Notwendigkeit differenzierter Betrachtungen einzelner Standorte als zunehmend

relevant. Eine Differenzierung ermöglicht es, den Energiebedarf und die Energieeffizienz von Gebäuden präziser zu bewerten und anzupassen. Der folgende Abschnitt beleuchtet aktuelle Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die im Jahr 2017 für das Bundesgebiet im 1 km²-Raster flächendeckend vorliegen. Diese Daten ermöglichen eine umfassende Bewertung, die neben der zeitlichen auch die räumliche Dimension berücksichtigt und damit eine präzise und standortbezogene Analyse der Energieeffizienz von Gebäuden unterstützt.

17.4 Auswirkungen des Klimawandels

Die zurzeit aktuellen vom DWD veröffentlichten Klimadaten stammen aus dem Jahr 2017 und wurden erstmals flächendeckend für das Bundesgebiet veröffentlicht. Sie umfassen eine Datengrundlage von 333.321 Datensätzen. Diese Daten umfassen sowohl Messdaten, bezeichnet als TRY 2015, welche den Klimazustand um das Jahr 2003 repräsentieren, als auch Prognosedaten, genannt TRY 2045, die auf Projektionen für das Jahr 2045 basieren.

Um unterschiedliche klimatische Bedingungen abbilden zu können, wurden die TRY-Datensätze wieder in drei verschiedenen Ausprägungen bereitgestellt: ein winterrepräsentatives Jahr, ein normalrepräsentatives Jahr und ein sommerrepräsentatives Jahr. Für die klimatologischen Untersuchungen dieser Studie werden jedoch nur die normalrepräsentativen Jahre herangezogen, da diese am ehesten den durchschnittlichen Klimazustand widerspiegeln und nicht durch meteorologische Extreme gekennzeichnet sind.

Angesichts der umfangreichen Menge von 333.321 Datensätzen ist es nicht praktikabel, alle Daten im Detail zu analysieren. Daher konzentriert sich diese Untersuchung auf ein spezifisches Gebäude, das sich an denselben Standorten der 15 DWD-Stationen der Klimadaten aus 2011 befindet. Als Grundlage für den Vergleich dienen die Testreferenzjahre TRY 2015 und 2045 (jeweils aus 2017). Die Wahl der Standorte erfolgte mit dem Ziel, eine repräsentative Basis für die Analyse zu schaffen.

Für die langfristige Planung und Bewertung von Gebäuden ist es besonders empfehlenswert, sich auf die Prognosedaten und Charakteristiken des Jahres 2045 zu konzentrieren. Dies ist relevant, weil die angenommene Nutzungsdauer eines Gebäudes, dessen Nutzung ab 2030 beginnt, im Mittel genau in das Jahr 2045 fällt. Die Verwendung von Prognosedaten aus dem Jahr 2045 ermöglicht es, die energetische Performance von Gebäuden für einen Zeitraum zu bewerten, der deren gesamte angenommene Nutzungsdauer umfasst. Die Fokussierung auf zukünftige Klimaprojektionen stellt sicher, dass Gebäude für die zukünftigen klimatischen Bedingungen geeignet sind. Eine vorausschauende Planung und Bewertung trägt dazu bei, Gebäude widerstandsfähiger gegenüber zukünftigen klimatischen Veränderungen zu machen und langfristig deren Nachhaltigkeit und Energieeffizienz zu sichern.

In den letzten zehn Jahren haben klimatische Veränderungen gezeigt, dass die Bedingungen in einigen Regionen bereits jetzt den Projektionen für das Jahr 2045 ähneln können. Diese Entwicklungen deuten darauf hin, dass die Auswirkungen des Klimawandels schneller eintreten könnten als ursprünglich prognostiziert. Daher ist es umso wichtiger, aktuelle und zukünftige Planungen auf die Klimadaten von 2045 auszurichten, um sicherzustellen, dass Gebäude den Herausforderungen der sich verändernden klimatischen Bedingungen gewachsen sind und damit eine langfristige Nachhaltigkeit gewährleistet werden kann. Vgl. (Vukadinovic, 2023).

18 Trends bei BIPV im Zusammenhang mit weiteren Einflussgrößen

18.1 Grundlagen

Die lokale Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen ist ein wesentlicher Bestandteil von nachhaltigen Gebäudekonzepten. Durch vermiedenen Netzstrombezug reduziert sich aus ökologischer Sicht der Bedarf an Primärenergie (nicht erneuerbar) erheblich, werden Treibhausgasemissionen anteilig vermieden und es wird eine ökologische Rückzahldauer von ca. 2-3 Jahren erreicht. Auch aus wirtschaftlicher Sicht amortisiert sich eine Investition in eine PV-Anlage aufgrund der verringerten Energiebezugskosten in der Regel innerhalb von weniger als 10 Jahren. Dabei vorausgesetzt wird eine fallspezifische und den individuellen Gegebenheiten entsprechende Auslegung der Größe einer PV-Anlage und ggf. eines zusätzlichen Speichers.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass die zur Anwendung kommenden Rechenregeln den zu erwartenden Ertrag einer PV-Anlage und im Weiteren, den davon für den Betrieb des Gebäudes nutzbaren Anteil möglichst realistisch und unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussgrößen und Randbedingungen beschreiben.

Der vorliegende Bericht enthält in Abschnitt 10.11 Auswertungen zur Bilanzierung von PV-Anlagen, aus denen hervorgeht, dass für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach GEG, für den Nachweis zum Niveau 40 % $Q_{p,Ref}$ und für GWP-Nachweis nach QNG-Kriterien jeweils unterschiedliche Bilanzierungsregeln zur Anwendung kommen:

- Für den **öffentlich-rechtlichen Nachweis** (Anforderungsniveau **55 % $Q_{p,Ref}$**) gelten die Regelungen gemäß § 23 (2) des GEG:
 - Die PV-Erträge werden dabei auf Grundlage von DIN V 18599-9:2018-09 unter Zugrundelegung des Referenzklimas Deutschland bestimmt. Dabei sind die Standardwerte zur Ermittlung der Nennleistung des Photovoltaikmoduls nach DIN V 18599-9:2018-09 Anhang B zugrunde zu legen.
 - Nutzerstrombedarfe werden nicht berücksichtigt.
 - Die bilanziell nutzbaren bzw. auf den Primärenergiebedarf anrechenbaren Anteile der PV-Erträge werden monatlich ermittelt. Die Erträge dürfen dabei maximal bis zur Höhe der monatlich anfallenden Strombedarfe (Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung) berücksichtigt werden.
 - Ein ggf. vorhandener elektrischer Speicher hat keinen Einfluss auf den anrechenbaren PV-Ertrag.
- Für die **primärenergetische Anforderung nach QNG**, wonach als höchstens zulässiger Primärenergiebedarf das Niveau eines Effizienzhaus 40 mit **40 % $Q_{p,Ref}$** vorgeschrieben ist, gelten die Rechenregeln gemäß der von der KfW veröffentlichten „Liste der technischen FAQ“ (aktuelle Fassung: Version 5.0). Diese Regeln entsprechen den Regeln, die auch für den öffentlich-rechtlichen GEG-Nachweis gelten.
- Für den Nachweis der **höchstens zulässigen CO₂e-Emissionen nach QNG-Kriterien** gelten ebenfalls die Rechenregeln gemäß der von der KfW veröffentlichten „Liste der technischen FAQ“ (aktuelle Fassung: Version 5.0). Die für diesen LCA-Nachweis formulierten Regeln weichen allerdings von den Regeln für den GEG- und EH 40-Nachweis ab:
 - Die PV-Erträge werden dabei ebenfalls auf Grundlage von DIN V 18599-9:2018-09 ermittelt. Allerdings ist dabei für die Klimaregion nicht der Standardwert (Referenzort

Potsdam) sondern der Standort des Gebäudes gemäß DIN V 18599-9 Anhang E (Unterteilung Deutschlands in 15 Klimaregionen) zu verwenden. Es darf ein flächenbezogener Peakleistungskoeffizient der PV-Module nach Herstellerangaben oder ein Standardwert nach Tabelle B.2 in DIN V 18599-9 verwendet werden (Nennleistung der PV-Anlage gemäß GEG-Regelung).

- Zusätzlich zu den Bedarfen aus dem GEG-Bilanzrahmen ist der anfallende Nutzerstrom zu berücksichtigen. Dazu wird 1/12 des jährlich anzusetzenden Nutzerstroms als monatlicher Bedarf in Ansatz gebracht. Nach QNG-Regeln wird die Höhe des **Nutzerstroms abweichend von der Regelungen nach DIN V 18599-10 auf 20 kWh/(m²a) festgelegt.**
- Die bilanziell nutzbaren bzw. auf die CO₂e-Emissionen anrechenbaren Anteile der PV-Erträge werden monatlich ermittelt. Abweichend von § 23 (2) GEG muss der selbst genutzte Anteil der PV-Energie gemäß DIN V 18599-9 Abschnitt 9.3 bestimmt werden.
- Der Mehrnutzen einer Batteriespeicheranlage kann nach DIN V 18599-9 berücksichtigt werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die Rechenregeln und Randbedingungen nach GEG- bzw. EH-Nachweis von denen des QNG-Nachweises für höchstens zulässige CO₂e-Emissionen unterscheiden. In Tabelle 21 sind die Unterschiede gegenübergestellt.

Tabelle 21: Unterschiede Rechenregeln GEG- und EH-Nachweis gegenüber QNG-Nachweis (KfW)

Rechenregel/Randbedingung	GEG-/EH-Nachweis	QNG, CO ₂ e-Emissionen
Standort	Referenzklima Deutschland	„standortbezogen“ (15 Klimaregionen)
Nutzerstrom	ohne Berücksichtigung	20 kWh/(m ² a)
PV-Nennleistung	Standardwerte nach DIN V 18599-9 Tabelle B.2	Standardwerte oder Produktkennwerte
nutzbare PV-Erträge	GEG § 23 (2)	DIN V 18599-9 Abschnitt 7.4.2
Vorhandensein Batteriespeicher	ohne Berücksichtigung	Berücksichtigung nach DIN V 18599-9 Gleichung 77 und 84

18.2 Empfehlung

Vor dem Hintergrund der zuvor benannten Abweichungen in den Rechenregeln wäre eine Angleichung bzw. Vereinheitlichung wünschenswert. Auf die Möglichkeiten und Grenzen der Vereinheitlichung wird im Folgenden für die benannten Elemente eingegangen:

■ Standort

Eine standortbezogene Ermittlung der PV-Erträge, wie sie gemäß Rechenregeln für den Nachweis nach QNG für die höchstens zulässigen CO₂e-Emissionen vorgeschrieben ist, ermöglicht keine wirklich standortbezogene Bewertung, da lediglich eine Zuordnung zu einer von 15 Klimaregionen möglich ist. Tatsächliche örtliche Unterschiede in dem solaren Strahlungsangebot dürften hiermit nicht hinreichend differenziert beschrieben sein. Ferner stellt sich die Frage, warum nur bezogen auf die PV-Erträge eine standortbezogene Bewertung erfolgt und die übrige Bedarfsermittlung weiterhin bezogen auf das Referenzklima Deutschland zu erfolgen hat. Somit werden rechnerisch die am Standort Potsdam (Referenzklima Deutschland) anfallenden Bedarfe anteilig durch für einen anderen Ort ermittelte PV-Erträge gedeckt. Da eine umfassende standortbezogene energetische Bilanzierung sowohl normativ als auch für die Formulierung der öffentlich-rechtlichen Anforderungen derzeit als theoretisch wünschenswert, jedoch noch nicht umsetzbar eingeschätzt

wird, sollte derzeit bei der Fortschreibung der QNG-Regelungen keine Vorgabe einer standortbezogenen Ermittlung der PV-Erträge vorgesehen werden.

■ Nutzerstrom

Die Berücksichtigung eines Nutzerstromanteils hat eine große Bedeutung bei Ermittlung des selbst nutzbaren PV-Ertrags. Wünschenswert ist eine künftige Einbeziehung des Nutzerstrombedarfs in den Bilanzrahmen des GEG-Nachweises. Hierbei kann ohne normativen Anpassungsbedarf auf bestehende Regelungen in DIN V 18599-10 zurückgegriffen werden. Unabhängig davon sollten die QNG-Regelungen, wonach der Nutzerstrombedarf auf 20 kWh/(m²a) festgelegt ist, durch einen Verweis auf DIN V 18599-10 ersetzt werden. Der Nutzerstrombedarf liegt dann bei 23 kWh/(m²a). Die Auswertungen in Abschnitt 10.11.3 zeigen, dass sich aus diesem Ansatz gut vergleichbare nutzbare PV-Erträge ergeben. Nochmals sei an dieser Stelle daran erinnert, dass jede Veränderung der Berechnungsgrundlagen zu einer Anpassung der Anforderungswerte führen muss.

■ PV-Nennleistung

PV-Module und deren spezifische Leistungswerte haben sich in den vergangenen Jahren bzw. Jahrzehnten rasant weiterentwickelt. Die Fortschreibung der normativen Kennwerte konnte in den vergangenen Jahren hier mit dem Produktfortschritt nicht mithalten. So wird z. B. in der aktuellen Fassung der DIN V 18599-9:2018-09 als Standardwert bestenfalls von einem Peakleistungskoeffizienten von 0,182 kW/m² ausgegangen. Die künftige Fassung der Norm (DIN/TS 18599-9:2024-01), die allerdings erst frühestens mit einer Neufassung des GEG in Bezug genommen werden kann, wird als Standardwert bestenfalls von 0,204 kW/m² ausgehen. Vor dem Hintergrund, dass dies bereits jetzt Standardwerte für aktuell verbaute PV-Anlagen sind, sollte grundsätzlich auch für einen öffentlich-rechtlichen Nachweis nach GEG bei der energetischen Bilanzierung der Ansatz von produktspezifischen Werten erlaubt werden.

■ Nutzbare PV-Erträge und Vorhandensein Batteriespeicher

Der aktuell nach § 23 (2) GEG vorgeschriebene Ansatz zur Ermittlung der nutzbaren/anrechenbaren PV-Erträge ist ein stark vereinfachter Ansatz. Hierbei wird nicht berücksichtigt, ob eine Batteriespeicheranlage vorhanden ist oder nicht. Das Vorhandensein einer Batterie ist allerdings für den real nutzbaren Anteil der PV-Erträge von großer Bedeutung. Insofern besteht kein Anpassungsbedarf für die bestehenden QNG-Regelungen. Für die Fortschreibung des GEG und hier für den Anwendungsfall Wohnnutzung wird vorgeschlagen, bereits im künftigen GEG auf die Regelungen nach DIN V 18599-9 zu verweisen. Dann erübrigt sich eine diesbezügliche Vorgabe in den QNG-Regelungen.

19 Dynamische Entwicklung bei Emissionsfaktoren

Bislang formuliert das Gebäudeenergiegesetz lediglich Anforderungen an einen höchstens zulässigen Primärenergiebedarf (nicht erneuerbar) und an einen höchstens zulässigen Transmissionswärmetransferkoeffizienten H_T' und damit an die energetische Qualität von Gebäuden. Die Berücksichtigung der Treibhausgasemissionen unter Nutzung von Emissionsfaktoren für Endenergie und daraus zu berechnende CO₂-Äquivalente ist durch das GEG im Zusammenhang mit der Ausstellung von Energieausweisen vorgesehen. Hierfür werden im GEG mit Anlage 9 Emissionsfaktoren bereitgestellt. Die Festlegung der Höhe der Emissionsfaktoren dort basiert auf einem eher kurz- bis mittelfristigen Blick in die Zukunft und berücksichtigt dabei die mutmaßliche Entwicklung der Dekarbonisierung der Energieversorgung für einen Zeitraum der nächsten 5 bis 10 Jahre. Die Regelungen im GEG selbst beziehen den Betrachtungszeitraum nicht mit ein, auch wenn die Ergebnisse „pro Jahr“ ermittelt werden. Eine Ökobilanzierung hingegen steht für einen Blick auf das globale Erwärmungspotenzial innerhalb der nächsten 50 Jahre, die als Betrachtungszeitraum vorgegeben werden.

Die Hinweise und Auswertungen in diesem Abschnitt widmen sich diesem „Konflikt“. Es wird versucht, Empfehlungen abzuleiten, wie die Anforderungssystematik des GEG einerseits sowie der QNG-Regelungen und QNG-Anforderungen andererseits unter Berücksichtigung der künftigen Entwicklung der Emissionsfaktoren der Energieversorgung auf Basis eines Absenkpfeils infolge ihrer Dekarbonisierung sinnvoll fortgeschrieben und bestenfalls harmonisiert werden können.

19.1 Methodischer Ansatz und Randbedingungen

Die Untersuchungen erfolgen exemplarisch anhand eines Mehrfamilienhauses (40-MFH-3-KG-KS) mit sechs Wohneinheiten. Für Beheizung und Warmwasserbereitung wird eine Luft-Wasser-Wärmepumpe in Ansatz gebracht. Daher wird nur der Energieträger Strom betrachtet. Es wird eine Ausführung der Gebäudehülle unterstellt, mit der die aktuellen QNG-Anforderungen eingehalten werden (EH 40, d.h. 55 % $H_{T,Ref}$).

Der prognostizierten Entwicklung der Emissionsfaktoren werden für den Energieträger Netzstrom Emissionsfaktoren in Anlehnung an (Fritsche & Greß, 2021) zugrunde gelegt. Die Datengrundlage liefert hierbei die für die Berechnungen verwendeten Stützstellen für den Emissionspfad: 2025, 2030 und 2050 (siehe Abbildung 144). Hierzu der Hinweis, dass diese Werte von den in Abschnitt 11.1 dokumentierten Werten gemäß ÖKOBAUDAT 2023-A2 (vgl. Tabelle 12) abweichen. Neben der Entwicklung der Emissionsfaktoren wird die Veränderung der Energiebedarfe für Heizen und Kühlen infolge der veränderten klimatischen Randbedingungen in den Berechnungen berücksichtigt. Somit beinhaltet die hier angestellte dynamische Betrachtung einerseits die Dekarbonisierung der Energieträger und andererseits die Veränderung der betriebsbedingten Emissionen.

Die Bewertung der nicht für das Gebäude selbst genutzten und in das Stromnetz eingespeisten Anteile der PV-Erträge erfolgt zur informativen Ausweisung der Ergebnisse für das Modul D2 (potenziell bei Dritten vermiedene CO₂-Emissionen infolge des exportierten Stromanteils) unter Zugrundelegung von Emissionsfaktoren für den -Verdrängungsstrommix. Hierbei wird für das Jahr 2023 der Emissionsfaktor 860 g CO_{2e}/kWh (Quelle: GEG) verwendet. Hiervon ausgehend wird ein Rückgang der Emissionen auf Null bis zum Jahr 2053 unterstellt (das Jahr 2053 entspricht auch dem Jahr, in dem nach Extrapolation für Netzstrom der Wert null erreicht wird).

Die über den Betrachtungszeitraum 2025 bis 2075 angesetzten Emissionsfaktoren sind in Abbildung 144 dargestellt.

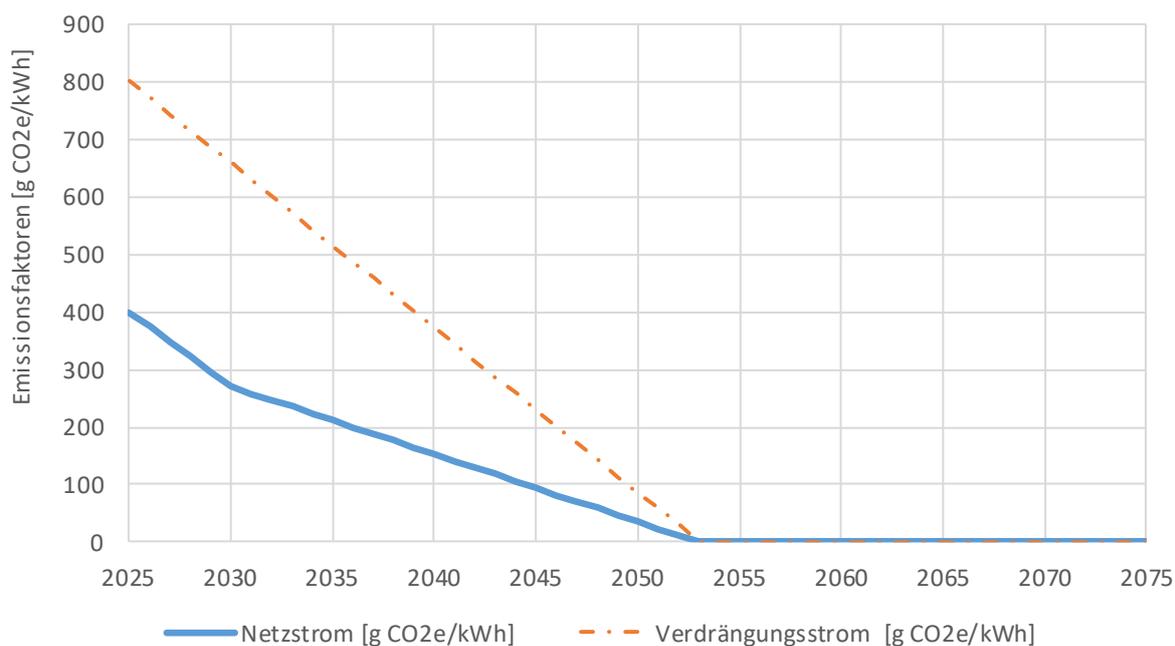


Abbildung 144: Emissionsfaktoren über den Betrachtungszeitraum 2025 bis 2075

Um auch die Klimaveränderung selbst und deren Auswirkung auf die Endenergiebedarfs- und Emissionsentwicklung innerhalb der nächsten 50 Jahre mit einzubeziehen, erfolgen energetische Bilanzierungen auf Grundlage von DIN V 18599 wie folgt:

- Die **energetische Bilanzierung** erfolgt unter Ansatz von Klimadaten für den Standort Potsdam für das Referenzklima Deutschland (Basis: Testreferenzjahr 2010; Klimaregion Potsdam) als Stützstelle für eine lineare Interpolation der Bedarfsentwicklung für das Jahr 2010 sowie für denselben Standort mit einem für die Monatsbilanz generierten Zukunftsklimadatensatz (Basis TRY 2045) als Stützstelle für das Jahr 2045. Hiervon ausgehend wird die Bedarfsentwicklung für nach 2045 linear extrapoliert. Hinweis: In den folgenden tabellarischen Auswertungen (Tabelle 23 und Tabelle 24) sind die Stützstellen grau hinterlegt. In den Tabellen werden nicht alle Jahre dargestellt.
- Neben der Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf wird auch der Einfluss auf den solaren Ertrag der **BIPV-Anlage** und den selbst nutzbaren Anteil dieser Erträge in den Untersuchungen abgebildet.
- Die Auswertungen erfolgen sowohl für den Anwendungsfall **ohne Kühlung** als auch für einen Fall, in dem eine **aktive Kühlung** unterstellt wird. Bei der Einbeziehung der Kühlung wird in Anlehnung an DIN V 18599-12 ein Nutzenergiebedarf für Kühlen für das Bezugsjahr 2010 in Höhe von 5 kWh/(m²a) und hieraus abgeleitet ein Endenergiebedarf von 2,5 kWh/(m²a) unterstellt. Die Zunahme der Kühlenergiebedarfe für den Betrachtungszeitraum ist aus einer Vielzahl korrespondierender Simulationsrechnungen abgeleitet (vgl. auszugsweise Darstellung einzelner Ergebnisse in Abschnitt 10.13). Für den Kühlfall wird eine Solltemperatur von 24 °C angesetzt. Die Zunahme des Kühlenergiebedarfs wird aus Berechnungen mit ortsgenauen Klimadatensätzen für die Jahre 2017 und 2045 abgeleitet (Testreferenzjahresdatensätze, die vom Deutschen Wetterdienst für aktuelles mittleres Klima und künftiges mittleres Klima bereitgestellt werden). Eine Ableitung der Kühlenergiebedarfe aus Bilanzierungen auf Grundlage der DIN V 18599 ist hier nicht möglich, da das dort definierte Monatsbilanzverfahren eigentlich eine Tagesbilanz mit Tagesmittelwerten darstellt und damit nicht in der Lage ist, den Einfluss einer erhöhten Nachtlüftung zur Abfuhr der

tagsüber eingespeicherten Wärmemengen abzubilden. Für die Simulationsrechnungen und den abgebildeten Kühlfall wird die Möglichkeit, einer erhöhten Nachtlüftung unterstellt.

Bei der Bilanzierung der im Gebäude nutzbaren PV-Energie gem. DIN V 18599-9 und -10 wird ein tabellierter Wert verwendet, welcher aus dem Klimadatensatz Potsdam 2010 abgeleitet ist, d.h. die tägliche Stundenzahl mit relevanter solarer Einstrahlung. Dieser Wert konnte/wurde nicht an die modifizierten Klimadatensätze mit anderen Bezugsjahren angepasst. Es ist jedoch zu erwarten, dass der fortschreitende Klimawandel auch hier zu höheren Werten und damit höheren Selbstnutzungsgraden führt. In Tabelle 22 ist die Zeit mit solarer Einstrahlung $t_{d,PV}$ in Form von Monatswerten in [h/d] dargestellt. Die Werte sind dabei mit den Wetterdaten von Potsdam für eine Strahlungsdichte von $\geq 75 \text{ W/m}^2$ auf die Horizontale ermittelt.

Tabelle 22: Tägliche Stundenzahl mit relevanter solarer Einstrahlung $t_{d,PV}$ [h/d], DIN V 18599-10

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
$t_{d,PV}$ [h/d]	2,8	5,6	8,3	10,7	12,4	12,9	12,8	11,5	9,4	6,8	3,7	2,2

19.2 Auswertungen

Mit Abschnitt 19.2.1 folgen zunächst Auswertungen für den Anwendungsfall ohne Kühlung. In Abschnitt 19.2.2 folgen ergänzende Auswertungen, bei denen eine Kühlung unterstellt und im Vergleich zum Fall ohne Kühlung ausgewertet wird.

19.2.1 Anwendungsfall ohne Kühlung

In Tabelle 23 wird die Bedarfsentwicklung zusammen mit der Emissionsentwicklung über den zugrunde gelegten Betrachtungszeitraum von 50 Jahren dargestellt. Das Modul B6 mit der aktuellen Unterteilung in B6.1, B6.2 und B6.3 wurde weiter ausdifferenziert, um einzelne Verursacher für Energiebedarfe identifizieren zu können. Für die Teil-Module B6.1.1 bis B6.1.4 und B6.3.1 erfolgt eine grafische Darstellung mit Abbildung 145. Modul B6.2 wurde nicht berücksichtigt.

Wie in Abschnitt 19.1 bereits zum methodischen Ansatz beschrieben, erfolgt die dynamische Betrachtung der Entwicklung über den Zeitraum mittels linearer Inter- bzw. Extrapolation ausgehend von definierten Stützstellen. In der Tabelle sind diese Stützstellen grau hinterlegt. In der folgenden Auflistung sind die getroffenen Annahmen zusammenfassend dargestellt.

- Energetische Bewertung und PV-Bilanz (Klimadatensatz Standort Potsdam)
 - 1. Stützstelle 2010: aktuell für GEG-Berechnungen relevantes Referenzklima mit Bezugsjahr 2010
 - 2. Stützstelle 2045: Datensatz für zukünftiges Klima mit Bezugsjahr 2045
- Emissionsfaktoren Netzstrom (vgl. Abbildung 144)
 - 1. Stützstelle 2025: 400 g CO₂e/kWh
 - 2. Stützstelle 2030: 270 g CO₂e/kWh
 - 3. Stützstelle 2050: 35 g CO₂e/kWh
- Emissionsfaktoren Verdrängungsstrommix
 - 1. Stützstelle 2023: 860 g CO₂e/kWh gem. GEG 2023, Anlage 9
 - 2. Stützstelle 2053: 0, d.h. Jahr, in dem für Netzstrom der Wert 0 erreicht wird

Zu einzelnen Tabellenwerten aus Tabelle 23 sind im Folgenden graphische Darstellungen enthalten, siehe dazu Abbildung 145 bis Abbildung 149.

Tabelle 23: Tabellarische Auswertungen zur Entwicklung von Energiebedarf und THG-Emissionen - ohne Kühlung

Modul	Endenergiebedarf Strom	Einheit	2010 ...	2025	2026 ...	2029	2030	2031 ...	2044	2045	2046 ...	2050	2051	2052	2053 ...	2075	
B6.1	B 6.1.1 Heizung	[kWh/a]	2.087 ...	1.911	1.899 ...	1.864	1.852	1.840 ...	1.687	1.676	1.664 ...	1.617	1.605	1.593	1.582 ...	1.323	
	B 6.1.2 Warmwasserbereitung	[kWh/a]	4.714 ...	4.654	4.650 ...	4.638	4.634	4.630 ...	4.578	4.574	4.570 ...	4.554	4.550	4.546	4.542 ...	4.454	
	B 6.1.3 Lüftung	[kWh/a]	1.207 ...	1.207	1.207 ...	1.207	1.207	1.207 ...	1.207	1.207	1.207 ...	1.207	1.207	1.207	1.207 ...	1.207	
	B 6.1.4 Hilfsenergie	[kWh/a]	231 ...	220	219 ...	217	216	216 ...	206	206	205 ...	202	201	201	200 ...	184	
	B 6.1.5 Kühlung	[kWh/a]	0 ...	0	0 ...	0	0	0 ...	0	0	0 ...	0	0	0	0 ...	0	
B6.2	B 6.2.1 Aufzüge	[kWh/a]	nicht relevant														
	B 6.2.2 Innen-/Aussenbeleuchtung	[kWh/a]	nicht relevant														
	B 6.2.3 Gebäudeautomation	[kWh/a]	nicht relevant														
B6.3	B 6.3.1 Nutzerstrom	[kWh/a]	8.683 ...	8.683	8.683 ...	8.683	8.683	8.683 ...	8.683	8.683	8.683 ...	8.683	8.683	8.683	8.683 ...	8.683	
B8	B 8 Nutzer - sonstiges (z.B. E-Auto)	[kWh/a]	nicht relevant														
	B6 (+ B8) Summe Strombedarf	[kWh/a]	16.921 ...	16.675	16.658 ...	16.609	16.592	16.576 ...	16.362	16.345	16.329 ...	16.263	16.246	16.230	16.214 ...	15.851	
Lokale Stromerzeugung mit BIPV																	
	Ertrag	[kWh/a]	9.037 ...	9.105	9.110 ...	9.123	9.128	9.132 ...	9.191	9.195	9.200 ...	9.218	9.223	9.227	9.232 ...	9.331	
	Eigennutzung	[kWh/a]	5.398 ...	5.372	5.370 ...	5.365	5.363	5.362 ...	5.339	5.337	5.335 ...	5.329	5.327	5.325	5.323 ...	5.285	
(D2)	an Dritte gelieferter Anteil	[kWh/a]	3.639 ...	3.733	3.739 ...	3.758	3.764	3.771 ...	3.852	3.858	3.864 ...	3.889	3.896	3.902	3.908 ...	4.046	
	Eigennutzungsanteil	[%]	60 % ...	59 %	59 % ...	59 %	59 %	59 % ...	58 %	58 %	58 % ...	58 %	58 %	58 %	58 % ...	57 %	
	Autarkiegrad	[%]	32 % ...	32 %	32 % ...	32 %	32 %	32 % ...	33 %	33 %	33 % ...	33 %	33 %	33 %	33 % ...	33 %	
Lokale Stromerzeugung mit KWK																	
	Erzeugung	[kWh/a]	nicht relevant														
	Eigennutzung	[kWh/a]	nicht relevant														
(D2)	an Dritte geliefert	[kWh/a]	nicht relevant														
Emissionsfaktoren																	
	Netzstrom	[g CO2e/kWh]	2023														
	Sondervertrag	[g CO2e/kWh]	nicht berücksichtigt														
	PV-Strom (Selbstnutzung)	[g CO2e/kWh]	0	0 ...	0	0	0 ...	0	0	0 ...	0	0	0 ...	0	0	0 ...	0
	PV-Strom (exportierter Strom)	[g CO2e/kWh]	nicht berücksichtigt														
	Strom aus eigener KWK	[g CO2e/kWh]	nicht relevant														
	Nah- und Fernwärme	[g CO2e/kWh]	nicht relevant														
	Verdrängungsstrom	[g CO2e/kWh]	860 ...	803	774 ...	688	659	631 ...	258	229	201 ...	86	57	29	0 ...	0	
Deckung des Strombedarf																	
	Eigennutzter Solarstrom	[kWh/a]	5.398	5.372 ...	5.367	5.365	5.363 ...	5.341	5.339	5.337 ...	5.330	5.329	5.327	5.325 ...	5.287		
	Eigennutzter KWK-Strom	[kWh/a]	nicht relevant														
	Bezug über Sondervertrag	[kWh/a]	nicht berücksichtigt														
	Verbleibender Bezug von Netzstrom	[kWh/a]	11.276	11.286 ...	11.242	11.227	11.212 ...	11.021	11.006	10.992 ...	10.933	10.918	10.903	10.888 ...	10.564		
Treibhausgasemissionen																	
B6 (+ B8)	Bilanz (bereinigt) ohne Kühlung	[kg CO2e/a]	4.511	4.221 ...	3.328	3.031	2.896 ...	1.163	1.032	901 ...	383	254	125	0 ...	0		
D2	informativ: bei Dritten potenziell vermieden	[kg CO2e/a]	2.996	2.894 ...	2.586	2.482	2.378 ...	994	885	775 ...	334	223	112	0 ...	0		
	informativ: exportierter Strom		nicht berücksichtigt														
spezifische Treibhausgasemissionen																	
B6 (+ B8)	Emissionen betriebsbedingt	[kg CO2e/ (m²NRF a)]	10,4	9,7 ...	7,7	7,0	6,7 ...	2,7	2,4	2,1 ...	0,9	0,6	0,3	0 ...	0		

Es lassen sich aus Tabelle 23 folgende Aussagen ableiten:

- **B6.1.1 Heizung:** Für den Betrachtungszeitraum 2025 bis 2075 (50 Jahre) wird eine Abnahme des Endenergieaufwands für Heizen von 1.911 auf 1.323 kWh/a ausgewiesen. Dies entspricht einer klimabedingten Reduzierung um rund 31 %.
- **B6.1.2 Warmwasserbereitung:** Der Endenergieaufwand bei der hier unterstellten zentralen Erzeugung durch die Luft/Wasser Wärmepumpe (im Kombibetrieb mit Heizen) sinkt über den Betrachtungszeitraum geringfügig um rund 4 % von 4.654 auf 4.454 kWh/a.
- **B6.1.3 Lüftung:** Der Endenergieaufwand für den Betrieb der Zu-/Abluftanlage bleibt über den Betrachtungszeitraum rechnerisch konstant bei 1.207 kWh/a.
- **B6.1.4 Hilfsenergie:** Der Endenergieaufwand für die Hilfsenergie sinkt über den Betrachtungszeitraum um rund 16 % von 220 auf 184 kWh/a.
- **B6.3.1 Nutzerstrom:** Wird gemäß aktueller QNG-Rechenregeln über den Betrachtungszeitraum konstant in Höhe von 8.683 kWh/a angesetzt.

Die zeitliche Entwicklung der vorbenannten Elemente B6.1.1 bis B6.1.4 sowie B6.3.1 ist in Abbildung 145 grafisch kumuliert dargestellt. Dabei sind die konstanten Energieanteile im unteren Bereich angeordnet (Nutzerstrom, Lüftung, Warmwasserbereitung in etwa konstant): Im oberen Bereich ergibt sich über den Zeitraum eine Reduktion der Werte (Hilfsenergie, Heizung). In der Summe ergibt sich eine Absenkung des Gesamt-Energiebedarfs Strom um etwa 5 %.

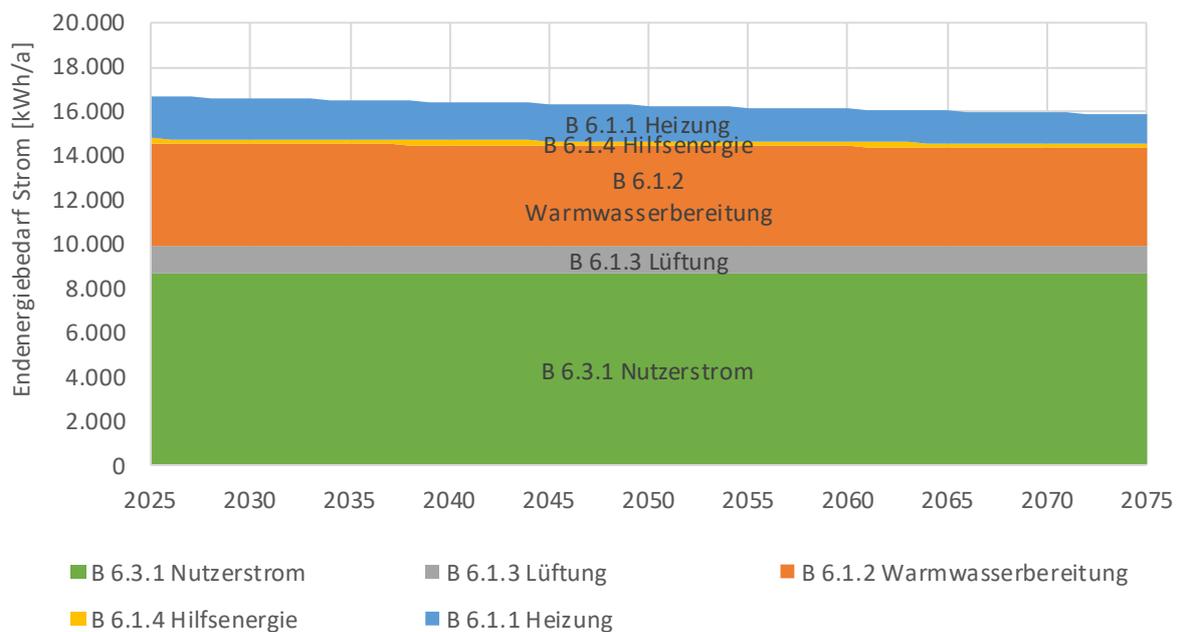


Abbildung 145: Bedarfsentwicklung für die Elemente B6.1.1 bis B6.1.4 und B6.3.1 über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, kumulierte Darstellung

Über die zuvor beschriebene Bedarfsentwicklung im Betrachtungszeitraum hinaus folgt mit Abbildung 146 eine grafische Darstellung der Auswertung der lokalen Stromerzeugung mit BIPV, d.h.

- Gesamt-Strombedarf,
- Ertrag der PV-Anlage sowie
- nutzbarer Anteil der PV-Erträge (Eigennutzung).

Während der Gesamt-Strombedarf über den Betrachtungszeitraum sinkt (5 %) nimmt der **PV-Ertrag** moderat zu (2,5 %), d. h. steigt von 9.105 auf 9.331 kWh/a.

Trotz steigender Erträge ergibt sich in erster Linie bedingt durch den reduzierten Heizenergiebedarf eine Abnahme des bilanziell nutzbaren Ertrags (**Eigennutzungsanteil**) von 5.398 auf 5.287 kWh/a eine geringfügige Reduzierung des Eigennutzungsgrades von 59 % auf 57 % also eine leichte Absenkung um 1,6 %.

Hier kann auch ein kleinerer Einfluss zum Tragen kommen, d. h. die in Abschnitt 19.1 beschriebene Inkonsistenz bei den für die Berechnung der PV-Eigennutzung angesetzten Randbedingungen bezüglich Klimadaten und täglicher Stundenzahl mit relevanter solarer Einstrahlung.

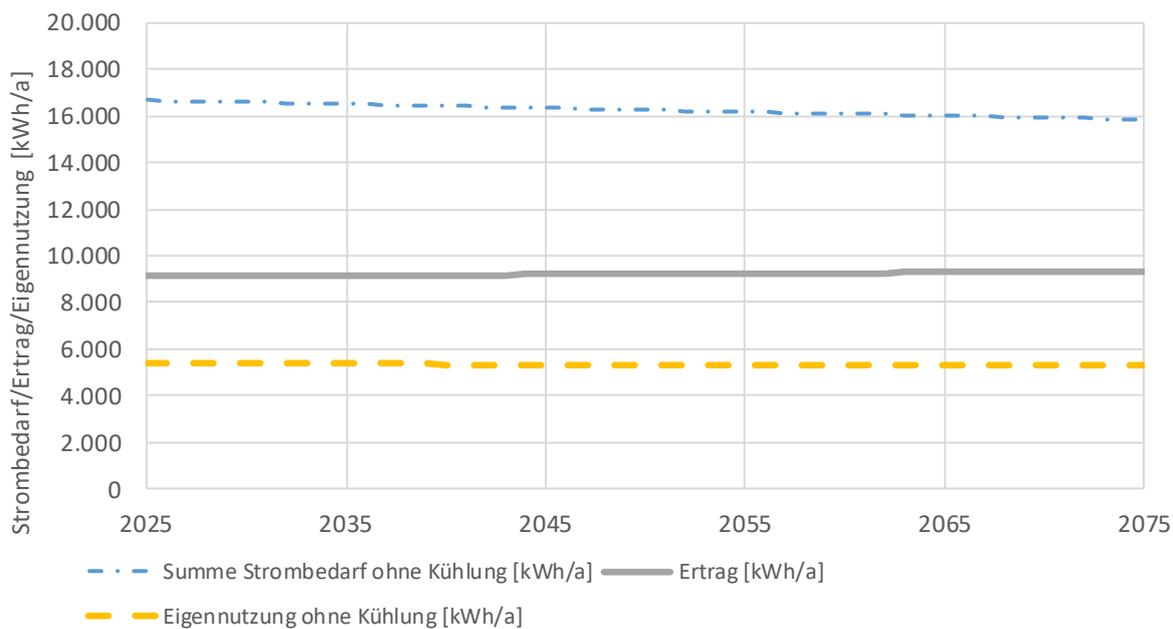


Abbildung 146: Bilanzierter Strombedarf, PV-Ertrag und Eigennutzung über den Betrachtungszeitraum

Wird der Anteil PV-Eigennutzung ins Verhältnis gesetzt zum gesamten PV-Ertrag, so ergibt sich der **Eigennutzungsanteil**, der Bezug auf den Gesamt-Strombedarf des Gebäudes ergibt den **Autarkiegrad**. Beide Größen sind in Abbildung 147 aufgetragen. Es ergibt sich über den Betrachtungszeitraum eine Absenkung des Eigennutzungsanteils von 4 % (von 59 auf 57 %) und eine Erhöhung beim Autarkiegrad um 3,5 %.

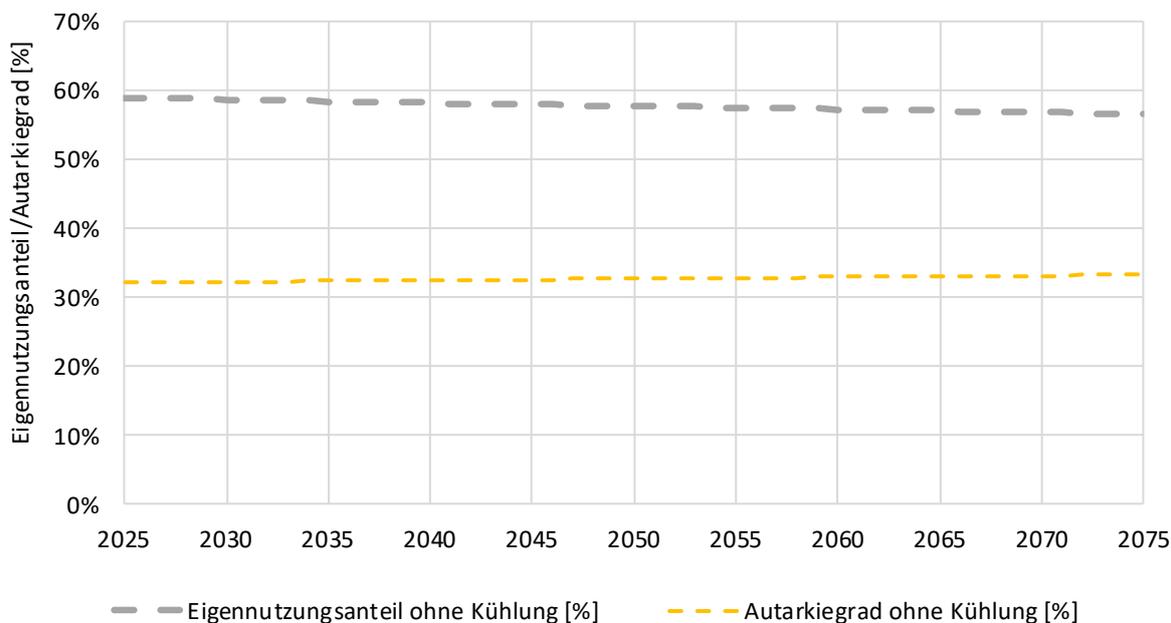


Abbildung 147: Entwicklung von Eigennutzungsanteil und Autarkiegrad über den Betrachtungszeitraum

Für Bedarfsentwicklung und unter Berücksichtigung der selbst nutzbaren Anteile der PV-Erträge ergibt sich über den Betrachtungszeitraum der in Abbildung 148 dargestellte Verlauf der betriebsbedingten Treibhausgasemissionen (Modul B6). In dieser Abbildung erfolgt zusätzlich die informative Ausweisung der potenziell bei Dritten vermiedenen Treibhausgasemissionen (Modul D2), welche nicht in den für das Gebäude bilanzierten Treibhausgasemissionen enthalten sind.

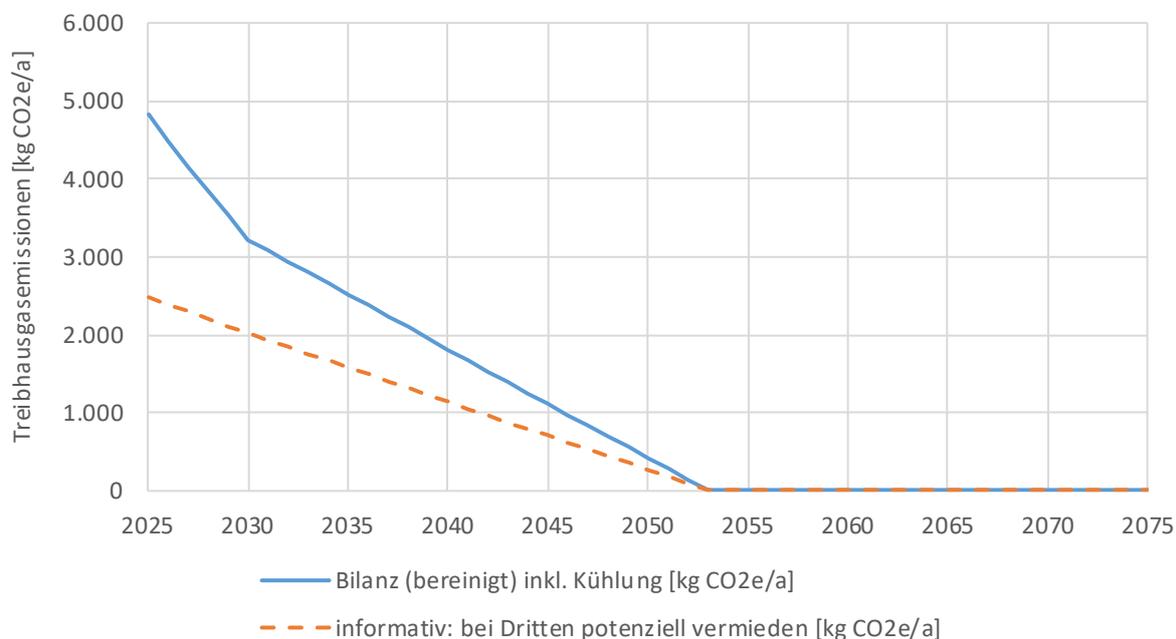


Abbildung 148: Ergebnisse der betriebsbedingten Treibhausgasemissionen (Modul B6) sowie für die potenziell bei Dritten vermiedenen Treibhausgasemissionen (Modul D2)

Zusammenfassend ergeben sich folgende Bewertungen:

- **Gesamtstrombedarf Modul B6:** Über den Betrachtungszeitraum fällt der Endenergiebedarf für Strom um rund 5 % von 16.675 auf 15.851 kWh/a.
- **Treibhausgasemissionen:** Aus der Reduzierung des Strombedarfs und unter zusätzlicher Berücksichtigung der Effekte einer (geplanten) Dekarbonisierung der Stromversorgung ergibt sich eine Reduzierung der dynamisch angepassten THG-Emissionen von 4.511 kg CO₂e/a für das Jahr 2025 bereits im Jahr 2050 (letzte Stützstelle (Fritsche & Greß, 2021)) ein Wert von nur noch 383 kg CO₂e/a. Sie liegen bereits nach der Hälfte des Betrachtungszeitraums nur noch bei rund 8 % vom Ausgangswert.
- **Potenziell bei Dritten vermiedene Emissionen durch exportierte Energie:** Durch die Dekarbonisierung der Energieversorgung reduzieren sich auch die potenziell bei Dritten vermiedenen Emissionen (bewertet mit den Emissionsfaktoren für den Verdrängungsstrommix) und damit die informativen Angaben im Modul D2. Folgende Entwicklung tritt ein: für das Jahr 2025 liegen die vermiedenen Emissionen bei 2.996 kg CO₂e/a. Infolge des unterstellten Absenkpfeils für den Verdrängungsstrommix werden ab dem Jahr 2053 auch bei Dritten infolge der Einspeisung keine Emissionen mehr vermieden.

Die obigen Auswertungen bilanzieren die Treibhausgasemissionen für das exemplarisch betrachtete Gebäude. Dabei werden jeweils absolute Bedarfswerte ausgewiesen. Um einen Bezug zu dem nach QNG-Kriterien festgelegten Höchstwert der spezifischen THG-Emissionen herzustellen, folgt mit Abbildung 149 die zusätzliche Darstellung der bilanzierten Treibhausgasemissionen auf den Quadratmeter NRF bezogen.

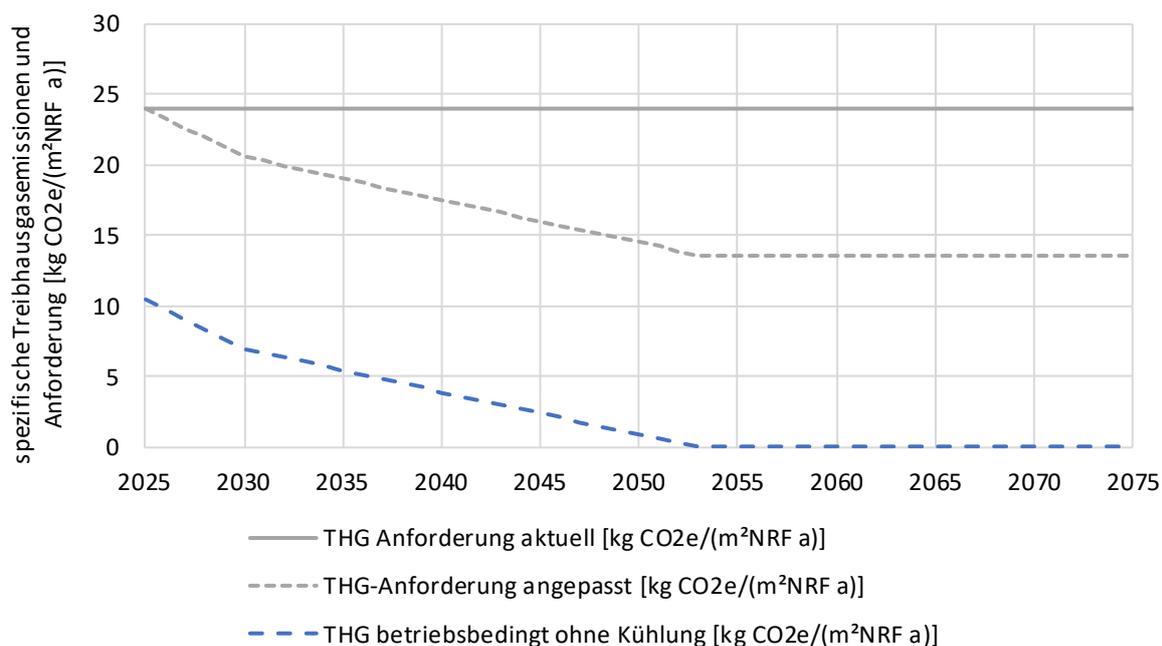


Abbildung 149: Absenkpfad der betriebsbedingten Treibhausgasemissionen im Vergleich zu dem aktuellen QNG-Anforderungswert in Höhe von 24 kg CO₂e/(m²a).

Aus Abbildung 149 kann entnommen werden, dass für das exemplarisch betrachtete Gebäude für das Jahr 2025 für das Modul B6 spezifische Treibhausgasemissionen in Höhe von 10,4 kg CO₂e/(m²NRF a) bilanziert sind. Diese Emissionen reduzieren sich unter Zugrundelegung der benannten Emissionsfaktoren bis zum Jahr 2053 auf null. Würden bei der Bilanzierung der Treibhausgasemissionen dynamisch Emissionsfaktoren berücksichtigt, müsste auch der gegenwärtig bei 24 kg CO₂e/(m²NRF a) liegende Anforderungswert insoweit fortgeschrieben werden, dass dieser mit Erreichen des betriebsbedingten Nullemissionszustands im Jahr 2053 dann 13,6 kg CO₂e/(m²NRF a) beträgt. Hierbei unbeachtet bleibt, dass sich sicherlich auch im Bereich der upfront emissions Veränderungen der Emissionsfaktoren ergeben. Diese Veränderung müsste selbstverständlich analog zur Veränderung der betriebsbedingten Emissionen bei der Fortschreibung der Anforderungswerte berücksichtigt werden.

19.2.2 Anwendungsfall mit Kühlung und Vergleiche zum Fall ohne Kühlung

Für die in diesem Unterabschnitt ausgewiesenen Ergebnisse wird unterstellt, dass zusätzlich zu den in Abschnitt 19.2.1 bilanzierten Energiebedarfen auch ein Energiebedarf für Kühlung anfällt.

Hierzu folgt mit Tabelle 24 zunächst die tabellarische Übersicht für die einzelnen Bedarfsanteile bis hin zu den bilanzierten Treibhausgasemissionen. Die anschließenden grafischen Auswertungen umfassen diejenigen Auswertungen, die wesentlich von dem hinzukommenden Kühlenergiebedarf betroffen sind.

Tabelle 24: Tabellarische Auswertungen zur Entwicklung von Energiebedarf und THG-Emissionen - mit Kühlung

Modul	Endenergiebedarf Strom	Einheit	2010 ...	2025	2026 ...	2029	2030	2031 ...	2044	2045	2046 ...	2050	2051	2052	2053 ...	2075	
B6.1	B 6.1.1	Heizung	[kWh/a]	2.087 ...	1.911	1.899 ...	1.864	1.852	1.840 ...	1.687	1.676	1.664 ...	1.617	1.605	1.593	1.582 ...	1.323
	B 6.1.2	Warmwasserbereitung	[kWh/a]	4.714 ...	4.654	4.650 ...	4.638	4.634	4.630 ...	4.578	4.574	4.570 ...	4.554	4.550	4.546	4.542 ...	4.454
	B 6.1.3	Lüftung	[kWh/a]	1.207 ...	1.207	1.207 ...	1.207	1.207	1.207 ...	1.207	1.207	1.207 ...	1.207	1.207	1.207	1.207 ...	1.207
	B 6.1.4	Hilfsenergie	[kWh/a]	231 ...	220	219 ...	217	216	216 ...	206	206	205 ...	202	201	201	200 ...	184
	B 6.1.5	Kühlung	[kWh/a]	1.085 ...	1.318	1.333 ...	1.380	1.395	1.411 ...	1.612	1.628	1.644 ...	1.706	1.721	1.737	1.752 ...	2.093
B6.2	B 6.2.1	Aufzüge	[kWh/a]	nicht relevant													
	B 6.2.2	Innen-/Aussenbeleuchtung	[kWh/a]	nicht relevant													
	B 6.2.3	Gebäudeautomation	[kWh/a]	nicht relevant													
B6.3	B 6.3.1	Nutzerstrom	[kWh/a]	8.683 ...	8.683	8.683 ...	8.683	8.683	8.683 ...	8.683	8.683	8.683 ...	8.683	8.683	8.683	8.683 ...	8.683
B8	B 8	Nutzer - sonstiges (z.B. E-Auto)	[kWh/a]	nicht relevant													
	B6 (+ B8)	Summe Strombedarf	[kWh/a]	18.007 ...	17.992	17.991 ...	17.989	17.988	17.987 ...	17.974	17.973	17.972 ...	17.968	17.967	17.967	17.966 ...	17.944
Lokale Stromerzeugung mit BIPV																	
		Ertrag	[kWh/a]	9.037 ...	9.105	9.110 ...	9.123	9.128	9.132 ...	9.191	9.195	9.200 ...	9.218	9.223	9.227	9.232 ...	9.331
		Eigennutzung	[kWh/a]	5.938 ...	6.028	6.034 ...	6.051	6.057	6.063 ...	6.141	6.147	6.153 ...	6.177	6.183	6.189	6.195 ...	6.326
(D2)		an Dritte gelieferter Anteil	[kWh/a]	3.099 ...	3.078	3.076 ...	3.072	3.070	3.069 ...	3.050	3.048	3.047 ...	3.041	3.040	3.038	3.037 ...	3.005
		Eigennutzungsanteil	[%]	66 % ...	66 %	66 % ...	66 %	66 %	66 % ...	67 %	67 %	67 % ...	67 %	67 %	67 % ...	68 %	
		Autarkiegrad	[%]	33 % ...	34 %	34 % ...	34 %	34 %	34 % ...	34 %	34 %	34 % ...	34 %	34 %	34 % ...	35 %	
Lokale Stromerzeugung mit KWK																	
		Erzeugung	[kWh/a]	nicht relevant													
		Eigennutzung	[kWh/a]	nicht relevant													
(D2)		an Dritte geliefert	[kWh/a]	nicht relevant													
Emissionsfaktoren																	
				2023													
		Netzstrom	[g CO2e/kWh]		400	374 ...	296	270	258 ...	106	94	82 ...	35	23	12	0 ...	0
		Sondervertrag	[g CO2e/kWh]	nicht berücksichtigt													
		PV-Strom (Selbstnutzung)	[g CO2e/kWh]		0	0 ...	0	0	0 ...	0	0	0 ...	0	0	0	0 ...	0
		PV-Strom (exportierter Strom)	[g CO2e/kWh]	nicht berücksichtigt													
		Strom aus eigener KWK	[g CO2e/kWh]	nicht relevant													
		Nah- und Fernwärme	[g CO2e/kWh]	nicht relevant													
		Verdrängungsstrom	[g CO2e/kWh]	860 ...	803	774 ...	688	659	631 ...	258	229	201 ...	86	57	29	0 ...	0
Deckung des Strombedarf																	
		Eigennutzter Solarstrom	[kWh/a]		5.938	6.028 ...	6.045	6.051	6.057 ...	6.135	6.141	6.147 ...	6.171	6.177	6.183	6.189 ...	6.320
		Eigennutzter KWK-Strom	[kWh/a]	nicht relevant													
		Bezug über Sondervertrag	[kWh/a]	nicht berücksichtigt													
		Verbleibender Bezug von Netzstrom	[kWh/a]		12.055	11.964 ...	11.943	11.936	11.929 ...	11.839	11.832	11.825 ...	11.798	11.791	11.784	11.777 ...	11.624
Treibhausgasemissionen																	
B6 (+ B8)		Bilanz (bereinigt) ohne Kühlung	[kg CO2e/a]		4.822	4.475 ...	3.535	3.223	3.081 ...	1.249	1.109	970 ...	413	274	136	0 ...	0
D2		informativ: bei Dritten potenziell vermieden	[kg CO2e/a]		2.470	2.381 ...	2.113	2.024	1.935 ...	787	699	611 ...	262	174	87	0 ...	0
		informativ: exportierter Strom		nicht berücksichtigt													
spezifische Treibhausgasemissionen																	
B6 (+ B8)		Emissionen betriebsbedingt	[kg CO2e/ (m²NRF a)]		11,1	10,3 ...	8,1	7,4	7,1 ...	2,9	2,6	2,2 ...	1,0	0,6	0,3	0 ...	0

Im Vergleich zu den bilanzierten Endenergiebedarfen für den Fall ohne Kühlung (vgl. Abbildung 145) fällt für den Kühlfall zusätzlich der in Abbildung 150 zusätzlich für das Modul B6.1.5 ausgewiesene Endenergiebedarf Kühlung an.

Wie auch bei der Darstellung ohne Kühlung sind die konstanten Energieanteile im unteren Bereich angeordnet (Nutzerstrom, Lüftung, Warmwasserbereitung in etwa konstant), im oberen Bereich ist über den Zeitraum eine Reduktion der Werte (Hilfsenergie, Heizung) gegeben, bei der Kühlenergie ergibt sich für die Zeitreihe eine Erhöhung des Energiebedarfs um etwa 59 %. In der Summe resultiert eine Absenkung des Gesamt-Energiebedarfs Strom um 0,3 %, die Zunahme der Kühlenergie kompensiert also den Rückgang der Bedarfe für Heizung und Warmwasserbereitung (inkl. Hilfsenergie).

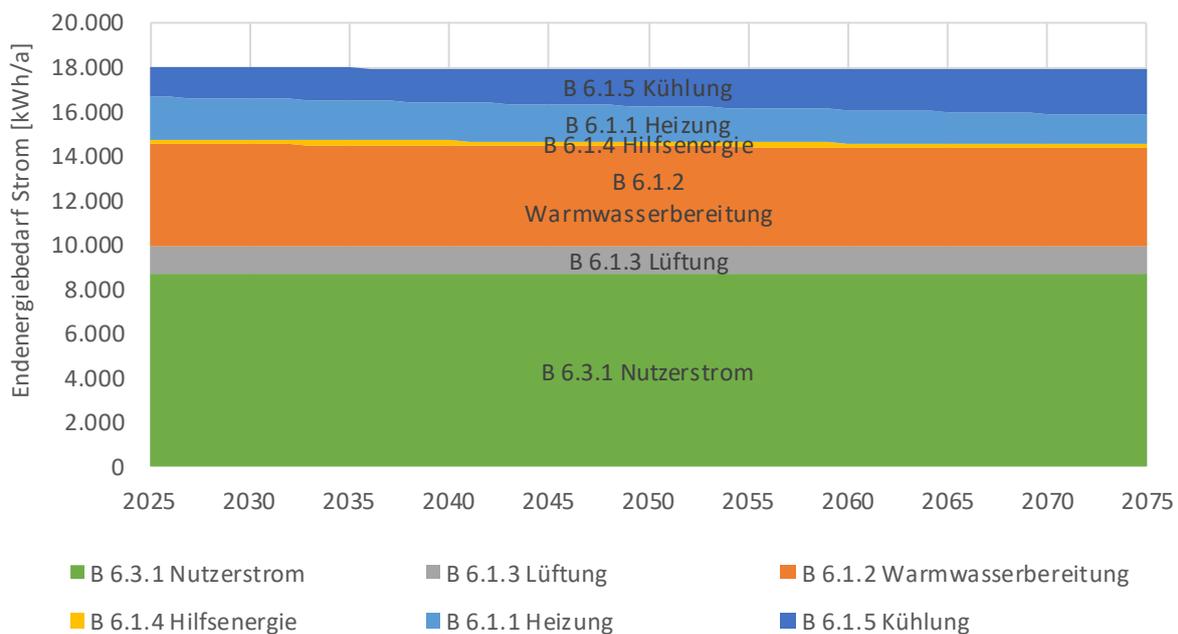


Abbildung 150: Bedarfsentwicklung für die Elemente B6.1.1 bis B6.1.5 und B6.3.1 über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, kumulierte Darstellung

Es lässt sich aus Tabelle 24 folgende Aussage zur Entwicklung des Kühlenergiebedarfs ableiten:

- B6.1.5 Kühlung:** Für den Betrachtungszeitraum 2025 bis 2075 (50 Jahre) wird eine Zunahme des Endenergieaufwands für Kühlen von 1.318 auf 2.093 kWh/a ausgewiesen. Dies entspricht einer klimabedingten Erhöhung um rund 59 %. Bezogen auf den Gesamt-Strombedarf im Jahr 2025 (17.992 kWh/(m²NRF a)) beträgt der Anteil Kühlung 6,8 %. Bezogen auf den Gesamt-Strombedarf im Jahr 2075 (17.944 kWh/(m²NRF a)) beträgt der Anteil Kühlung 11,7 %. Der über den Betrachtungszeitraum hinweg fallende Energiebedarf für Heizen wird durch den steigenden Energiebedarf für Kühlen annähernd kompensiert (Gesamtstrombedarf am Ende des Betrachtungszeitraums: 17.944 kWh/(m²NRF a)), sodass der Anteil für Kühlenergie am Ende des Betrachtungszeitraums auf 11,7 Prozent steigt.
- Da der Energiebedarf für Kühlung die in **Abschnitt 19.2.1** bereits erläuterten **weiteren Energiebedarfe** nicht beeinflusst, wird an dieser Stelle auf eine erneute Dokumentation dieser Anteile verzichtet.

Abschließend folgt mit Abbildung 151 die Ausweisung der spezifischen Treibhausgasemissionen für den gekühlten und ungekühlten Fall. Zusätzlich in dieser Darstellung enthalten sind der gegenwärtige QNG-Anforderungswert in Höhe von 24 kg CO₂e/(m²NRF a) sowie ausgehend hiervon zwei Graphen (blau gestrichelt für den Fall ohne Kühlung und orange gestrichelt für den Fall mit Kühlung), die eine mögliche Fortschreibung dieses Anforderungswertes infolge der Emissionsminderung im Modul B6 beschreiben.

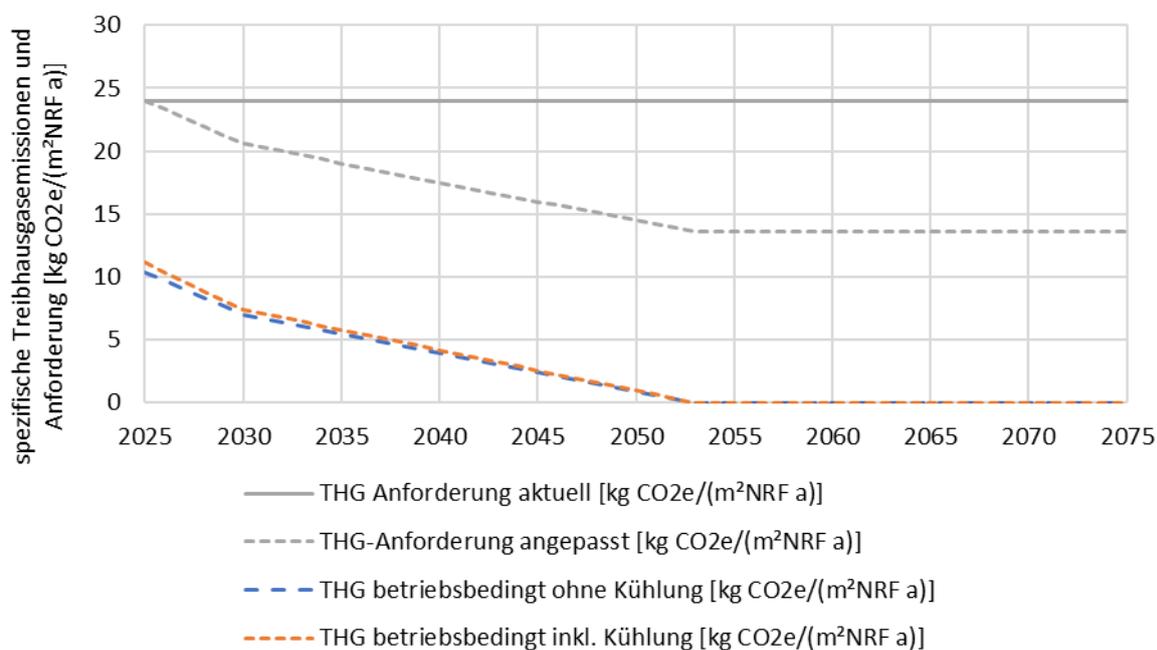


Abbildung 151: Absenkpfad der betriebsbedingten Treibhausgasemissionen für den ungekühlten und gekühlten Fall im Vergleich zu dem aktuellen QNG-Anforderungswert in Höhe von 24 kg CO₂e/(m²NRF a).

Die Ergebnisse in Abbildung 151 zeigen, dass sich die im gekühlten Fall hinzugekommene Kühlung für das Jahr 2025 bei den spezifischen Treibhausgasemissionen in einer Erhöhung von 10,4 auf 11,1 kg CO₂e/(m²NRF a) auswirkt.

19.3 Schlussfolgerungen

Es wird deutlich, dass sowohl in der Frage des künftigen Umgangs mit dynamischen Daten zu den Emissionsfaktoren der Energieversorgung als auch bei der Berücksichtigung der Veränderung von Rahmen- und Randbedingungen über die Zeit (u. a. Klimadaten, Nutzerverhalten, technischer Fortschritt) ein Handlungsbedarf besteht. Aus Sicht der Autoren ergeben sich für den Umgang mit in Folge der Dekarbonisierung der Energieversorgung über die Zeit abnehmenden Emissionsfaktoren u. a. folgende Möglichkeiten:

a) VoBi (Vollständige Bilanz der Treibhausgasemissionen)

In Anlehnung an einen VoFi (Vollständigen Finanzplan) kann eine vollständige Bilanzierung des Energiebedarfs, seiner Deckung und der daraus resultierenden energiebedingten THG-Emissionen erfolgen. Hierzu werden sämtliche Teilgrößen in eine Matrix eingetragen, deren Spalten mit den Jahren des Betrachtungszeitraums korrespondieren (50 Jahre = 50 Spalten). Sämtliche Eingangsdaten und Teilergebnisse der Energie- und Emissionsbilanz werden pro Jahr ausgewiesen. Eine derartige Vorgehensweise bietet

- Hilfestellungen für die Gestaltung künftiger Anforderungswerte für den betriebs- und nutzungsbedingten Teil der Ökobilanz,
- neue Auswertungs- und Bewertungsmöglichkeiten, z. B. Ermittlung des Jahres des Erreichens ausgeglichener Treibhausgasemissionen für Betrieb und Nutzung (B6),

- eine Anschlussmöglichkeit an die Betrachtung von Jahresscheiben bei der Berichterstattung zu den jährlichen Treibhausgasemissionen und
- eine Ermittlung der Summe der Treibhausgasemissionen für den betriebs- und nutzungsbedingten Anteil der Ökobilanz (absolut und mit Flächenbezug).

b) Vorgabe und Nutzung von über definierte Zeiträume gemittelten Emissionsfaktoren (dynamisch-deterministischer Ansatz)

Die Daten machen deutlich, dass eine Berücksichtigung der Entwicklung von Klima- und Emissionsdaten eine stufenweise Anpassung der Anforderungswerte erforderlich macht, sowohl im GEG als auch im QNG und bei KFN und KNN. Unabhängig davon, ob die Dynamik zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen in Form von jahresscharfen oder für definierte Zeiträume festgelegten Mittelwerten der Emissionsfaktoren in einer zukünftigen QNG-Bewertungs- und Anforderungssystematik abgebildet wird, muss in jedem Fall auch die Entwicklung des Energiebedarfs selbst bei der energetischen Bilanzierung (Modul B6) in die Ermittlung der Treibhausgasemissionen einbezogen werden. Am Beispiel des Emissionsfaktors für Strom, welcher in der hier angestellten Untersuchung für das Jahr 2025 mit 400 g CO₂e/kWh unterstellt wird und bis zum Jahr 2053 auf den Wert 0 g CO₂e/kWh absinkt, ist pro Jahr von einer Reduzierung spezifischer Emissionsfaktoren um rund 14,3 g CO₂e/kWh auszugehen. Somit könnte für diesen Zeitraum bei einer dynamischen Betrachtung

- entweder von einem „jahresscharfen“ linearen Absenkpfad ausgegangen werden. Dieser lineare Absenkpfad würde dann der Darstellung in Abbildung 144 entsprechen
- oder es werden z. B. für 5-Jahres- oder 10-Jahresperioden mittlere spezifische Werte vorgegeben.

Bei einer 10-jährigen Periodenlänge würden die mittleren Emissionsfaktoren z. B. wie folgt lauten:

- Periode 2025 - 2034: 336 g CO₂e/kWh
- Periode 2035 - 2044: 193 g CO₂e/kWh
- Periode 2045 - 2054: 57 g CO₂e/kWh
- ab 2055: 0 g CO₂e/kWh

Einhergehend mit einem dynamischen Ansatz wären dann auch die Grenz- bzw. Anforderungswerte ausgehend von demselben Absenkpfad anzupassen. Wie bei einer jahresscharfen Betrachtung die Anforderungswerte anzupassen wären, geht aus Abbildung 149 bzw. Abbildung 151 hervor. Die hierzu dokumentierten Auswertungen zeigen, dass der Energieaufwand für Heizen deutlich abnehmen wird. Bei weiter voranschreitendem Klimawandel ist davon auszugehen, dass auch im Wohngebäudebereich zunehmend Systeme zur anlagentechnischen Kühlung installiert werden. Die Auswertungen hierzu zeigen, dass der sinkende Energieaufwand für Heizen durch einen steigenden bzw. dann überhaupt erst anfallenden Energieaufwand für Kühlen kompensiert wird.

Insgesamt stellt sich damit die Frage, ob, wann und wie eine Umstellung von einer statischen auf eine dynamische Betrachtung erfolgen kann und soll. Bei einem Übergang zu einer dynamischen Betrachtung ist zu klären, ob dies auch auf der Seite der gebäudebezogenen Anteile an den Treibhausgasemissionen erfolgen kann und muss. In jedem Fall müssen die Anforderungswerte angepasst werden. International wird das Thema intensiv diskutiert. Die Vorschläge reichen von einer Beibehaltung eines statischen Ansatzes im Kontext gesetzlicher Anforderungen, ggf. ergänzt um eine informative Zusatzbetrachtung zu den Auswirkungen einer Betrachtung der über die Zeit sinkenden Emissionsfaktoren, bis hin zu einer sofortigen Umstellung auf eine dynamische Betrachtung.

20 Darstellungsmöglichkeiten

Durch die Einbeziehung der Module B1, B6.2 und B6.3 sowie die Ergänzung des Moduls D1 durch das Modul D2 werden die Einflüsse auf das Ergebnis einer Bilanz der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden vielfältiger und komplexer (Hinweis: Im Entwurf zur EN 15978 wird derzeit davon ausgegangen, die Emissionen aus F-Gasen dem Modul B1 zuzuordnen). An anderer Stelle wird eine Zuordnung zum Modul B6 diskutiert. Eine endgültige Zuordnung von B1 zum gebäudebezogenen oder betriebsbedingten Anteil ist mit Stand Sommer 2024 nicht abschließend geklärt, eine gesonderte Darstellung wird daher in jedem Fall empfohlen. Dieser Effekt wird durch die anteilige Zuordnung grauer Emissionen von BIPV-Anlagen und die Auswirkungen des Eigennutzungsanteils von Solarstrom im Modul B6 noch verstärkt. Dies hat auch Auswirkungen auf Möglichkeiten und Formen der Darstellung der Ergebnisse. Diese werden traditionell auch für Analysen im Kontext einer Optimierung von Planungsvarianten und das Identifizieren wesentlicher Verursacher von Treibhausgasemissionen verwendet. Nachstehend werden Darstellungsmöglichkeiten und Formen vorgestellt und diskutiert. Sie betreffen jeweils den Indikator der Treibhausgasemissionen, ausgedrückt als Treibhauspotenzial und gemessen in CO₂-Äquivalenten. Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten für den biogenen Kohlenstoffgehalt werden anschließend dargestellt.

Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten für den gebäudebezogenen Anteil der Ökobilanz, gesamt

Für diesen Teil, der die Module A1-A3, B1, B4, C3-4 zuzüglich der Zusatzinformation zum Modul D1 umfasst, bieten sich folgende Varianten an:

- a) Darstellung der Teilsumme, absolut
- b) Darstellung der Teilsumme, bezogen auf Bezugsgröße und Bezugszeitraum
- c) Darstellung der Anteile KG 300, KG 400/500, B1 an der Teilsumme
- d) Analyse der Anteile ausgewählter Elemente der KG 300 und der KG 400/500
- e) Analyse der Anteile der Lebenszyklusphasen A1-A3, B4, C3-C4

Im Fall von d) wird eine weitere Unterteilung vorgeschlagen, u.a. in Anteile für Sockelbetrag, Großgeräte und anteilige graue Emissionen der BIPV-Anlage.

In einer extrem hoch aufgelösten Darstellung ist eine Kombination aus c), d) und e) denkbar. Denkbar und z. T. realisiert ist eine Analyse der Elemente der KG 300 nach eingesetzten Bauprodukten bzw. Materialien (Hauptbaustoffen). Für Elemente der KG 400/500 bietet sich dies (noch) nicht an, da i.d.R. deren stoffliche Zusammensetzung nicht bekannt ist.

Durch die Unterteilung von GWP gesamt in GWP fossil und GWP biogenic ergeben sich zusätzliche Anforderungen an die Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten. Es wird hier davon ausgegangen, dass eine Ermittlung und Bewertung von GWP luluc für Landnutzung und Landnutzungsänderung nicht erfolgt. Zu beachten ist, dass bei einer Vernachlässigung von GWP luluc sich bei der Addition von GWP biogenic und GWP fossil kleine Abweichungen zum bisherigen Wert GWP, nun GWP total ergeben.

Grundsätzlich kann die oben beschriebene Analyse a) – e) zusätzlich zum GWP gesamt jeweils für GWP fossil und GWP biogenic vorgenommen werden. In einer weiteren Darstellung können dann die jeweiligen Anteile von GWP fossil und GWP biogenic an GWP gesamt dargestellt werden.

Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten für den gebäudebezogenen Anteil der Ökobilanz, Erstaufwand

Für diesen Teil des Erstaufwands (upfront emissions), der die Module A1-A3 zuzüglich der Zusatzinformation zum anteiligen Modul D1 umfasst, bieten sich folgende Varianten an:

- a) Darstellung der Teilsumme, absolut
- b) Darstellung der Teilsumme, bezogen auf Bezugsgröße und Bezugszeitraum
- c) Darstellung der Anteile KG 300, KG 400/500, B1 an der Teilsumme
- d) Analyse der Anteile ausgewählter Elemente der KG 300 und der KG 400/500 in Richtung verbauter Materialien (ggf. unterteilt nach Sockelbetrag, Großgeräte und anteilige graue Emissionen der BIPV-Anlage, soweit vorhanden)

In einer extrem hoch aufgelösten Darstellung ist eine Kombination aus h) und i) denkbar. Denkbar und z. T. realisiert ist eine Analyse der Elemente der KG 300 nach eingesetzten Bauprodukten bzw. Materialien (Hauptbaustoffen). Für Elemente der KG 400/500 bietet sich dies (noch) nicht an, da i.d.R. deren stoffliche Zusammensetzung nicht bekannt ist.

Es besteht weitgehende Einigkeit, dass beim Erstaufwand ausschließlich GWP fossil betrachtet wird. Dies hat u.a. bewertungsmethodische Gründe. Die Angabe von GWP biogenic nur für die Herstellung und Errichtung ohne die Effekte bei Aufbereitung und Entsorgung am Ende des Betrachtungszeitraums würde das Ergebnis verzerren und eine korrekte Interpretation erschweren. Effekte der Nutzung von Biomasse können über Angaben zum Kohlenstoffgehalt der Konstruktion/des Gebäudes zum Ausdruck gebracht werden.

Derzeit wird diskutiert, ob und inwieweit sich Angaben zum Erstaufwand als unverbindlicher Orientierungswert oder als nachzuweisende Nebenanforderung eignen. Bei einer z. T. diskutierten Verwendung als alleinige Hauptanforderung besteht das Risiko einer Bevorzugung kurzlebiger Lösungen.

Analyse und Darstellungsmöglichkeiten für den betriebs- und nutzungsbedingten Anteil

Dieser Anteil – i.d.R. (auch in der deutschen Fassung der EPBD) als die betriebsbedingten Treibhausgasemissionen bezeichnet – umfasst in Deutschland die Module B6.1, B6.2 und B6.3. Durch die Einbeziehung des Nutzerstroms handelt es sich damit um die betriebs- und nutzungsbedingten Treibhausgasemissionen. Für diesen Teil ist es sinnvoll, zwischen dem Bedarf an Energie einerseits und der Art seiner Deckung andererseits zu unterscheiden.

Der Energiebedarf kann als Tabelle dargestellt werden, bei der einzelnen Verbrauchern (Heizung, Kühlung, Warmwasserbereitung, Hilfsenergie, Aufzüge, Automation, Nutzerstrom usw.) die jeweilige Art und Menge an Endenergieträgern bzw. leitungsgebundener Energie zugeordnet wird. Es ist nicht sinnvoll, das Ergebnis als Stapeldiagramm darzustellen.

Die Treibhausgasemissionen werden durch die Art der Deckung des Energiebedarfs verursacht. Es handelt sich damit um energiebedingte Treibhausgasemissionen, sowohl direkte als auch indirekte.

Für den Fall von Gebäuden ohne BIPV, Solarthermie und/oder KWK können dargestellt werden:

- a) die jährlichen Treibhausgasemissionen gesamt
- b) die jährlichen Treibhausgasemissionen bezogen auf eine Bezugsgröße
- c) Darstellung der Anteile für B6.1, B6.2 und B6.3
- d) Darstellung der Anteile für einzelne Endenergieträger bzw. leitungsgebundene Energie

Bei entsprechender Auflösung lassen sich l) und m) kombinieren. Bei dieser Variante gibt es kein Modul D2.

Im Fall von Gebäuden mit BIPV-Anlagen müssen zunächst der jährliche Ertrag und der Eigennutzungsanteil (Eigenverbrauch) ermittelt werden. Es ist möglich, dies darzustellen und gleichzeitig den Eigennutzungsgrad sowie den Selbstversorgungs-/Eigenversorgungsgrad (Autarkiegrad) auszuweisen.

BIPV-Strom kann ausschließlich Strom substituieren. Es kann dargestellt werden, welcher Anteil der strombedingten Treibhausgasemissionen infolge B6.3, B6.2 und ggf. auch B6.1 durch eigengenutzten Solarstrom gedeckt werden kann und zu welchen (verbleibenden) Treibhausgasemissionen der Bezug von Netzstrom führt. Strombasierte Heizungen haben den Vorteil, dass auch Treibhausgasemissionen des Moduls B6.1 substituiert werden können.

Der selbstgenutzte Solarstrom geht mit dem Emissionsfaktor Null in die Bilanz zum Modul B6 ein (die anteiligen Teile der „grauen“ THG-Emissionen werden dem gebäudebezogenen Anteil zugeordnet und erhöhen diesen).

Die rechnerische Berücksichtigung des Bezugs von Öko-Strom (von Stadtwerken usw.) wird bisher nicht zugelassen. Die Ursachen liegen u.a. in bewertungsmethodischen Fragen zum Umgang mit einem verbleibenden Residualmix beim Netzstrom, soweit der Ökostrom gesondert gehandelt wird.

Unklar ist der Fall des Bezugs von BIPV-Strom vom Nachbarn bzw. aus einem speziellen Netz bzw. innerhalb eines Quartiers. Diesem Strom müssten dann die anteiligen grauen Emissionen der Anlage zugeordnet werden.

Zu diskutieren ist, ob die Berücksichtigung von Effekten bei B6.3 in Mehrfamilienhäusern nur dann zulässig ist, wenn ein Mieterstrommodell existiert.

Bei den betriebs- und nutzungsbedingten Treibhausgasemissionen kann sich durch veränderte Primärenergie- und Emissionsfaktoren die Notwendigkeit einer dynamischen Betrachtung ergeben. Darzustellen wären dann entweder Mittelwerte (ggf. für einzelne Zeitabschnitte) oder der zeitliche Verlauf der jährlichen Treibhausgasemissionen über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. (Darstellungsmöglichkeiten in Anlehnung an einen vollständigen Finanzplan)

Im Fall von Gebäuden mit BIPV sollen zusätzlich ausgewiesen werden:

- a) Modul D2 mit Angaben zur exportierten Energie und zu potenziell vermiedenen THG-Emissionen
- b) Emissionsfaktor für exportierte Energie auf Basis zugeordneter Anteile der Anlage

Soll das Laden eines Elektroautos in der Bilanz berücksichtigt werden, muss diese um das nicht verpflichtend zu berücksichtigende Modul B8 erweitert werden.

B6.3 ist (bisher) eine Durchlaufposition. Die Formulierung von unverbindlichen Orientierungswerten und/oder verbindlichen Nebenanforderungen bietet sich für B6.1 + B6.2 an. Die Pflicht zur Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen des GEG bzw. von Anforderungen eines in Anspruch genommenen Förderprogramms besteht unabhängig davon fort.

Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten für Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus

Derzeit umfasst die Ermittlung und Darstellung der Treibhausgasemissionen die Module A1-A3, B1, B4, C3-C4 für den gebäudebezogenen Anteil und die Module B6.1, B6.2 sowie B6.3 für den betriebs- und nutzungsbedingten Anteil. Zusätzlich und gesondert werden die Module D1 und D2 angegeben.

LEVEL(s), Taxonomy und EPBD schreiben Angaben zu den Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus vor, vorzugsweise erkennbar unterteilt in die Lebenszyklusphasen. Eine Zusammenfassung von B4 und B6 ist dabei nicht sinnvoll und sollte unterbleiben. Ebenso kann der Anteil von B1 gesondert angegeben werden.

Dargestellt werden können

- a) die Anteile der gebäudebezogenen sowie der betriebs- und nutzungsbedingten Treibhausgasemissionen, absolut und in %,
- b) die betriebs- und nutzungsbedingten Treibhausgasemissionen bezogen auf eine Bezugsgröße und ein Jahr des Bezugszeitraums,
- c) die Summe (inkl. Anteile) der betriebs- und nutzungsbedingten Treibhausgasemissionen in ihrem zeitlichen Verlauf über die Jahre (in Jahresscheiben bzw. kumuliert) – vorzugsweise bei einer dynamischen Betrachtung,
- d) die betriebs- und nutzungsbedingten Treibhausgasemissionen in sonstiger spezifischer Unterteilung.

Zusätzlich können folgende Sonderauswertungen erfolgen

- e) bei BIPV-Anlagen: Zunahme des gebäudebezogenen Anteils bei gleichzeitiger Reduzierung des betriebs- und nutzungsbedingten Anteils infolge des Eigennutzungsanteils gegenüber einer Variante ohne BIPV
- f) Bauwerksmasse (auch als Größe für eine Plausibilitätsprüfung)
- g) verbaute Materialien/Produkte als Zuarbeit zum Ressourcenpass

Teil E: Empfehlungen für die Weiterentwicklung

21 Vorschläge zur Weiterentwicklung

21.1 Charakterisierung der aktuellen Situation als Ausgangsbasis

Eine Charakterisierung der aktuellen Situation erfolgt zu Beginn der Zusammenfassung. Wichtig ist anzuerkennen, dass sich der Bedarf für eine Anpassung und Weiterentwicklung von Rechen- und Bilanzierungsregeln sowie Anforderungen aus einem dynamischen Umfeld ergibt. Unter gleichbleibenden Bedingungen könnte der Ansatz mit geringen Modifikationen fortgeschrieben werden. Dies ist jedoch nicht gegeben. Es werden daher nachstehend entsprechende Vorschläge unterbreitet.

21.2 Vorschläge für die Präzisierung und Weiterentwicklung von Grundlagen

Für eine anstehende Präzisierung / Weiterentwicklung von Grundlagen werden folgende Vorschläge unterbreitet:

- Überführung ausgewählter Teile der Festlegungen in FAQs in die Rechenregeln (KfW, 2023)
 - 19.02 LCA-Nachweis, baulicher Teil, Systemgrenzen, Tiefgarage, Garage
 - 20.02 LCA-Nachweis, Teil Betrieb und Nutzung Emissionsfaktoren, Fern-Nahwärme, Wärme aus KWK
 - 20.08 LCA-Nachweis, Teil Betrieb und Nutzung, Referenz-PV-Anlage, Ermittlung Stromertrag
- Verbesserung der Nachvollziehbarkeit bei Veränderungen von Rechenregeln.
- Klare Unterteilung der ÖKOBAUDAT in Bereiche mit Angaben zu Ökobilanzdaten und Emissionsfaktoren für frühe Planungsphasen unter Nutzung von generischen Daten, Durchschnittswerten, Angaben der Verbände (vorzugsweise mit Bandbreiten) einerseits und hersteller- sowie produktspezifischen Daten für spätere Phasen der Planung, soweit diese geprüft und qualitätsgesichert sind (BBSR sollte prüfen, ob es dauerhaft für die Qualitätssicherung bei hersteller- und produktspezifischen Daten verantwortlich sein kann und will).
- Anpassung der Klimadaten an den Klimawandel. Einhergehend mit dem Klimawandel verringert sich perspektivisch der Energiebedarf für Heizen. Gleichzeitig ergeben sich signifikante Erhöhungen der thermischen Beanspruchung im Sommer, was zu einer Zunahme der Energiebedarfe für Kühlen führt. Um eine Lebenszyklusbewertung unter Einbeziehung der Auswirkungen des Klimawandels durchführen zu können, muss die Erstellung und Zurverfügungstellung von entsprechenden Zukunftsklimadaten beschleunigt werden.

Aus neuen Zukunftsklimadaten, die in der Regel als stündlich aufgelöste Klimadaten vom Deutschen Wetterdienst entwickelt werden, müssen in einem weiteren Schritt Klimadaten zur Anwendung im Monatsbilanzverfahren der DIN V 18599 (künftig DIN/TS 18599) entwickelt werden.

- Anpassung normativer Grundlagen. Die energetische Bilanzierung zur Quantifizierung der betriebs- und nutzungsbedingten Emissionen erfolgt auf Grundlage der Normenreihe DIN V 18599. Dieses Normenwerk ist zwar grundsätzlich darauf angelegt, auch für ein vom „Referenzklima Deutschland“ abweichendes Klima angewendet werden zu können, zahlreiche Kennwerte, insbesondere für den anlagentechnischen Teil, sind allerdings nur für das Referenzklima Deutschland tabellarisiert in dem Normenwerk angegeben. Bei der Fortschreibung dieser normativen Berechnungsgrundlage sollten klimarelevante Elemente identifiziert und die

zugehörigen Rechenvorschriften insofern angepasst werden, dass diese individuell aus individuellen Klimarandbedingungen der Klimadatensätze abgeleitet werden können. Hierdurch wird das Normenwerk einen erheblichen Mehrwert erlangen, da somit nicht nur Zukunftsklimadaten, sondern z. B. auch ortsgenaue Klimadaten einer energetischen Bilanzierung zugrunde gelegt werden können.

- Anpassung der Anforderungssystematik zum sommerlichen Wärmeschutz an künftige Klimarandbedingungen. Für die Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz sind die öffentlich-rechtlichen Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes zu erfüllen. Dabei wird durch das GEG die DIN 4108-2:2013-02 in Bezug genommen (DIN 4108-2:2013-02). Die in DIN 4108-2 beschriebene Anforderungssystematik basiert allerdings auf veralteten Klimadaten. Auf dieser Grundlage und den bestehenden Anforderungen kann kein sommerlicher Wärmeschutz sichergestellt werden, der einem Zukunftsklima gerecht wird. Insofern besteht ein dringender Handlungsbedarf, die Anforderungssystematik auf künftige Klimarandbedingungen abzustellen. Dies kann entweder durch eine entsprechende Fortschreibung der DIN 4108-2 oder durch direkte Formulierung der Anforderungen in einem künftigen GEG erfolgen.

21.3 Vorschläge für Präzisierung und Weiterentwicklung von QNG-Rechenregeln

Die Festlegung in diesem Projekt für die Austauschregeln von Bauteilen folgt den Regeln im BNB. Dort wird nur im Jahr 50 ein Austausch nicht mehr in Ansatz gebracht. Diese Regelung führt jedoch aus Sicht der Bearbeiter zu einer Überbewertung der Austauschprozesse, die Regelung wird als nicht realitätsnah betrachtet. Es wird vorgeschlagen, sie anzupassen.

Internationale Normen zur Ermittlung des Energieaufwands sowie zur Erfassung der Treibhausgasemissionen in der Nutzungsphase lassen die Einbeziehung z. B. der Aufzüge zu. Die Autoren empfehlen, diesen Ansatz weiter zu prüfen.

Darüber hinaus werden für eine anstehende Präzisierung / Weiterentwicklung von Rechenregeln folgende Vorschläge unterbreitet:

- Modifikation bzw. Veränderung der Hauptbezugsfläche in Richtung Nutzfläche/Wohnfläche sowie ergänzende Angaben unter Nutzung weiterer Bezugsgrößen (weitere Flächenarten sowie Anzahl von Bewohnerinnen und Bewohnern gemäß Sollbelegung) als Zusatzinformation.
- Aufnahme erweiterter Angaben zu Flächen und Kennwerten zu Flächenverhältnissen in die Dokumentation zum Gebäude.
- Ersatz der Abschneiderregeln zur Klärung von vernachlässigbaren Teilen durch konkrete Angaben zu Kleinbauteilen (z.B. Schrauben, Nägel, Klammern), die nicht erfasst werden müssen.
- Berücksichtigung des Ersatzes von Materialschichten (z. B. Anstrich von Fenstern als Instandsetzungsmaßnahme), die theoretisch dem Modul B2 zugeordnet werden, im Modul B4.

21.4 Vorschläge für Anforderungswerte nach Einführung neuer ÖKOBAUDAT-Daten

Für eine anstehende Präzisierung / Weiterentwicklung von Anforderungswerten nach Einführung neuer ÖKOBAUDAT-Kennwerte werden folgende Vorschläge unterbreitet:

- Anpassung der Anforderungswerte von QNG-PLUS und QNG-PREMIUM an neue Datengrundlage und neue Rahmenbedingungen (ggf. u.a. künftige Klimawerte).
- Diskussion zur Beibehaltung von Anforderungswerten an GWP total bzw. zur Aufteilung der Anforderungswerte in GWP fossil und GWP biogenic oder vollständige Umstellung auf GWP fossil.

Bei einer Entscheidung sind letztlich mehrere Dinge zu beachten. Einerseits ist eine komplette Umstellung auf GWP fossil in Kombination mit Angaben zum biogenen Kohlenstoffgehalt aus methodischer Sicht eine Alternative. Andererseits ist die Entwicklung im Kontext der Anforderungen der EPBD sowie bei der europäischen Normung abzuwarten. Im Bereich von Orientierungswerten und Nebenanforderungen besteht aus Sicht der Bearbeiter mehr Handlungsfreiheit.

- Empfehlung zur Einführung von Anforderungen zur Begrenzung des Erstaufwandes bei Treibhausgasemissionen (upfront emissions) für den Teil GWP fossil. Hier würde die Nutzung des Indikators GWP gesamt zu erheblichen methodischen Problemen führen. Es muss auch sichergestellt werden, dass eine Nebenanforderung im Bereich A1 bis A3 nicht zu Fehlanreizen in Richtung von Lösungen mit geringerem Herstellungsaufwand zu Lasten der Nutzungsdauer führt. Eingebettet in ein Nachhaltigkeitsbewertungssystem kann dies durch die Bewertung der „Dauerhaftigkeit“ ausgeglichen werden.

21.5 Diskussion einer Eignung als gesetzliche Anforderungswerte

In Deutschland bilden Grundlagen, Methoden, Rechenregeln und Anforderungswerte in Förderprogrammen häufig die Basis für die Erprobung und Konkretisierung von Vorstellungen für die künftige Ausgestaltung des Ordnungsrechts. Die Aufnahme von Anforderungen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden in das Ordnungsrecht befindet sich aktuell in der Diskussion. Mittel der Wahl für Berechnung und Nachweisführung ist die angewandte Ökobilanzierung.

Die EU-Gebäuderichtlinie (EPBD) fordert auf Basis einheitlicher Regeln die Ermittlung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden sowie das Ausweisen des Ergebnisses als Zusatzangabe im Energieausweis. Mittelfristig sollen nationale Anforderungswerte eingeführt werden. Der Text der EPBD bietet derzeit noch Interpretationsspielräume, u.a. hinsichtlich der Art der Dokumentation der Berechnungsergebnisse. Bereits definiert sind ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren und die Nutzfläche als Bezugsfläche.

Die auf Basis der Vorgaben des QNG ermittelten Werte zu den Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden sind grundsätzlich für eine Nutzung im Rahmen des Ordnungsrechts geeignet, sowohl als Anforderungs- als auch als Nachweisgröße.

Die EPBD erwähnt keine Nebenanforderungen zur Begrenzung des Erstaufwandes. In Deutschland liegen hierfür keine Erfahrungswerte vor. Es wird empfohlen, diese Größe als Teil- bzw. Zusatzinformation mitzuführen und zu einem unverbindlichen Orientierungswert auszubauen. Erst danach kann über die Einführung einer entsprechenden verbindlichen Nebenanforderung nachgedacht werden.

21.6 Ausblick auf Einbeziehung des Themas Ressourceninanspruchnahme

Zu Art und Umfang der Einbeziehung des Themas der Ressourceninanspruchnahme in das QNG werden folgende Hinweise gegeben:

- Es bestehen aktuell Möglichkeiten der Nutzung von Synergieeffekten bei der Beschreibung sowie Dokumentation von Eingangsgrößen in die Ökobilanz und der Erstellung eines Material- und Produktinventars als Teil eines digitalen Ressourcenpasses für Gebäude. Voraussetzung ist die Vereinheitlichung der Materialbezeichner für ÖKOBAUDAT und Materialinventare sowie die Gestaltung der Formblätter für das Material- und Produktinventar.
- Für eine Erfassung und Bewertung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen in Form der primären Rohstoffe fehlen bisher sowohl die endgültige Festlegung der Indikatoren, die Datengrundlagen als auch – in der Folge – die Anforderungswerte.

Teil F: Zusammenfassung und Ausblick

22 Zusammenfassung

Die durchgeführten Analysen machen insgesamt deutlich, dass die Rechen- und Bilanzierungsregeln zur Ermittlung und Bewertung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar und der Emissionen von Treibhausgasemissionen im Kontext des Indikators „Treibhausgase und Primärenergie im Lebenszyklus“ des QNG aktuellen Erfordernissen entsprechen. Sie bauen auf dem Stand der wissenschaftlichen Diskussion sowie der europäischen Normung auf, lassen sich in der Praxis anwenden und führen zu sinnvollen Ergebnissen, die sich sowohl in der Planung als auch im Kontext des Nachweises einer Einhaltung von Anforderungen von Förderprogrammen nutzen lassen. Sie sind prinzipiell geeignet, eine Basis für die Integration von Anforderungen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden in das Ordnungsrecht zu liefern. Die aktuell verwendeten Anforderungswerte selbst entfalten eine Lenkungswirkung und erweisen sich unter den gegenwärtigen Bedingungen der Planungs- und Baupraxis als anspruchsvoll. Mit den Anforderungswerten auf dem Niveau QNG PREMIUM liegen bereits die Grundlagen für eine mögliche Verschärfung zumindest in konzeptioneller Hinsicht vor. Diese Anforderungswerte stimulieren die Verwendung nachwachsender Rohstoffe, von Recyclingprodukten sowie von Produkten mit reduzierten Treibhausgasemissionen in der Herstellung (low carbon Produkten) bei der Wahl von Bauweise und Hauptbaustoffen. Diskutiert wird aktuell die Einführung von Orientierungswerten oder Nebenanforderungen für den gebäudebezogenen sowie den betriebs- und nutzungsbedingten Anteil der Treibhausgasemissionen.

Hingewiesen wird auf den Umstand, dass durch den Ansatz des QNG sowie die Fördervariante KFN mit QNG das Erreichen von Zielen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden als Beitrag zum Klimaschutz mit Mitteln des nachhaltigen Planens und Bauens sichergestellt werden kann.

Die Rechen- und Bilanzierungsregeln werden in einem sich dynamisch verändernden Umfeld angewendet. Die Folgen des Klimawandels, Erfolge bei der Dekarbonisierung der Energieversorgung und der Bauprodukterstellung, neue wissenschaftliche Erkenntnisse sowie gemachte Erfahrungen, die auf noch vorhandene und zur Ergebnisverbesserung nutzbare Interpretationsspielräume hinweisen, zeigen ihre Auswirkungen und müssen bei der Weiterentwicklung der Regeln und der Verschärfung der Anforderungen beachtet werden. Es muss dabei gewährleistet werden, dass methodische Grundlagen, Systemgrenzen, Rechen- und Bilanzierungsregeln, Daten sowie die Anforderungswerte eine untrennbare Einheit bilden. Das Projekt war daher nicht nur auf die Prüfung aktueller Regeln und Anforderungen ausgerichtet, sondern auch auf die Schaffung von Voraussetzungen für eine u.a. durch externe Einflüsse verursachte Notwendigkeit der Anpassung und Weiterentwicklung.

Im Projekt wurden dazu die nachstehenden Forschungsfragen im Detail bearbeitet und, wie hier jeweils zusammenfassend beschrieben, beantwortet. Die Beantwortung der Forschungsfrage 1 bekräftigt dabei nochmals die oben bereits getroffenen Feststellungen.

1. Lassen sich die aktuellen Anforderungsniveaus des QNG zur Begrenzung der THG-Emissionen im Lebenszyklus in der Planungs- und Baupraxis erreichen?

Die mit Stand Frühjahr 2024 gültigen Anforderungswerte zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden auf dem Niveau QNG PLUS lassen sich unter den aktuellen Bedingungen der Planungs- und Baupraxis bei neu zu errichtenden Wohnbauten unterschiedlicher Größe und Bauweise erreichen. Die Anforderungswerte, die um die Treibhausgasemissionen des Nutzerstroms bereinigt die Größenordnung von Anforderungen in z.B. Dänemark vor der im Sommer 2024 stattgefundenen Verschärfung

erreichen, erweisen sich dabei als durchaus anspruchsvoll. Bei größeren Mehrfamilienhäusern fällt es leichter als bei kleineren Einfamilienhäusern, den Nachweis der Erfüllung der Anforderungen zu erbringen. Das Vorhandensein einer Anlage zur gebäudeintegrierten Erzeugung von Solarstrom (BIPV) erweist sich als vorteilhaft. Die Effekte des selbstgenutzten Anteils des erzeugten Solarstroms überwiegen deutlich die Effekte aus der anteiligen Zuordnung der grauen Emissionen im Lebenszyklus der Anlage zum Gebäude.

Die Auswertungen machen deutlich, dass die Anforderungswerte im Bereich der Planung sowie der Bauteil- und Gebäudeoptimierung eine Lenkungswirkung entfalten. Die Planung wird u.a. auch darauf ausgerichtet, den Anforderungswert zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen in einem angemessenen Kostenrahmen zu erreichen. In der Praxis wird in diesem Zusammenhang das Verhältnis von Mehrkosten zum finanziellen Vorteil infolge einer Förderung untersucht.

Die detaillierten Auswertungen können dem Kapitel 9, Abschnitt 9.2, Abschnitt 9.3 und Abschnitt 9.3.7 entnommen werden.

Mit der Beantwortung der zweiten sowie der weiteren Forschungsfragen erfolgt eine Auseinandersetzung mit zukunftsgerichteten Themen. Es werden die Erfordernisse und Möglichkeiten der Anpassung und Weiterentwicklung diskutiert. Aus der Reihenfolge der Behandlung der Fragen lässt sich keine Rangfolge der Bedeutung der Themen ableiten.

2. Führen die lokalen Folgen des Klimawandels zu einem Anpassungsbedarf bei Berechnungsgrundlagen und künftigen Anforderungswerten?

Die bereits eintretenden lokalen Folgen des Klimawandels führen bei den hier relevanten Änderungen der Außentemperaturen zu Auswirkungen auf den Heizenergiebedarf und beeinflussen das solare Strahlungsangebot. Sie können zu einem Entstehen bzw. Anwachsen eines Kühlenergiebedarfs beitragen, was noch genauer untersucht werden sollte. Es ergibt sich zunächst ein Anpassungsbedarf bei den Rechenregeln hinsichtlich der Umstellung auf die Nutzung zukunftsgerichteter Klimadaten. Dies kann und sollte jedoch nicht ausschließlich für die Rechenregeln des QNG erfolgen, sondern muss mit der Anpassung des GEG und von DIN V 18599 einhergehen. In der aktuellen Situation muss daher zwischen „theoretisch wünschenswert“ und „praktisch bereits machbar“ unterschieden werden. Vor dem Hintergrund des bereits eintretenden Klimawandels hat diese über das QNG hinausreichende Thematik eine hohe Priorität. Bei einer Umstellung der Klimadaten muss eine Anpassung der Anforderungswerte vorgenommen werden.

Die detaillierten Auswertungen können dem Abschnitt 10.12 entnommen werden.

3. Ist bei vorgefertigten Gebäuden mit von Anfang an bekannten Lieferketten ein Übergang von durchschnittlichen zu hersteller- und produktspezifischen Ökobilanzdaten zu Bauprodukten aller Art möglich und sinnvoll? In welcher Größenordnung liegen die Unterschiede von hersteller- und produktspezifischen Daten zu generischen bzw. durchschnittlichen Werten?

Im Zuge der Weiterentwicklung von Grundlagen und Regeln zur Ermittlung und Bewertung der Treibhausgasemissionen im Rahmen des QNG werden derzeit ohnehin die Möglichkeiten der Nutzung hersteller- und produktspezifischer Datensätze für Ökobilanzdaten zu Bauprodukten diskutiert. In diesem Kontext könnte u.a. eine Möglichkeit erwogen werden, bereits mit der Aufgabenstellung die Nutzung definierter Produkte vorzugeben. Teilweise bietet die Industrie projektspezifische EPDs an. Die Planung und Herstellung vorgefertigter Bauteile und Gebäude stellt einen Sonderfall dar. In der Regel sind hier die spezifischen Produkte und die konkreten Hersteller von Anfang an bekannt und stabile Lieferbeziehungen gegeben. Teilweise bemühen sich die Anbieter von vorgefertigten Elementen und Bauwerken selbst um die Anforderung hersteller- und produktspezifischer EPDs. Die Möglichkeit der Nutzung von Herstellerangaben,

die normkonform und qualitätsgesichert sind, wird im Falle einer Vorfertigung und bei stabilen Lieferbeziehungen befürwortet. Eine Dokumentation der verbauten Produkte und der genutzten Daten wird hier verpflichtend, es ergeben sich Synergieeffekte mit der Erstellung eines Produktinventars als Teil eines digitalen Ressourcenpasses für Gebäude. Im Projekt wurden folgende Unterschiede bei Nutzung durchschnittlicher bzw. in der ÖKOBAUDAT bereits vorhandener spezifischer Daten festgestellt: (a) bei einzelnen Produkten von 10 % bis 25 %, (b) bei kompletten Gebäuden von 2,3 % bis 3,3 %. Es wird davon ausgegangen, dass sich bei Bereitstellung und Nutzung von spezifischen Daten für Recyclingprodukten und low carbon Produkten größere Unterschiede ergeben. Eine Anpassung der ÖKOBAUDAT in diese Richtung wird erforderlich. Empfohlen wird die Beibehaltung von Rechenwerten zur ÖKOBAUDAT, jedoch stärker ausdifferenziert und erweitert, besonders im Bereich TGA.

Die detaillierten Auswertungen können dem Kapitel 10 Abschnitt 10.3 entnommen werden.

4. Ergeben sich bei der Nutzung von Daten der ÖKOBAUDAT 2020-II, der ÖKOBAUDAT 2021-II, der RECHENWERTTABELLE Ökobilanzierung 2023 bzw. noch aktuellerer, vom BBSR zur Verfügung gestellter Datengrundlagen relevante Unterschiede und damit Konsequenzen für künftige Anforderungswerte?

Bei den ab Sommer 2024 zur Verfügung stehenden Werten ergeben sich größere Unterschiede bei den Emissionsfaktoren der Energieversorgung und geringere Unterschiede bei den Daten zur Bauproduktherstellung. Im Durchschnitt verbessern sich die Ergebnisse beim Indikator GWP um ca. 10 %. Voraussetzung ist die Beibehaltung des im Moment vorgesehenen Strommixdatensatzes der ÖKOBAUDAT auf dem Niveau von 402 g CO₂e/kWh Endenergie. In jedem Fall müssen die Anforderungswerte für QNG PLUS und QNG PREMIUM angepasst werden. Es stellt sich die Frage, wie oft und in welchen Stufen diese Anpassung erfolgen soll. Bis 2030 werden stärkere Effekte der Dekarbonisierung der Bauproduktherstellung erwartet, mit einer Treibhausgasminde rung von ca. 20-30% gegenüber 1990 bei ausgewählten Produktgruppen. Weitere Untersuchungen und die Klärung des Umgangs mit Prognosen zur Treibhausgasminde rung von Herstellern werden notwendig. Dies sollte Überlegungen einschließen, Prognosedaten in die ÖKOBAUDAT für den Fall von Ersatzmaßnahmen (Modul B4) aufzunehmen.

Die detaillierten Auswertungen können dem Kapitel 11 Abschnitt 11.1 entnommen werden.

5. Wie lässt sich der biogene Kohlenstoffgehalt bei Gebäuden ermitteln und interpretieren?

Bei vorliegenden geeigneten Daten in der ÖKOBAUDAT bzw. in relevanten produktspezifischen EPDs ist die Ermittlung des biogenen Kohlenstoffgehalts eines Bauteils oder des Bauwerks problemlos möglich. Voraussetzung ist das Ergebnis einer entsprechenden Mengenermittlung. Die Projektergebnisse zeigen größere Unterschiede, die sich aus der Bauweise und den verwendeten Hauptbaustoffen ergeben. Der biogene Kohlenstoffgehalt in kg Kohlenstoff gibt die Menge an, die während der Verweildauer (nicht auf Dauer!) im Bauteil bzw. Bauwerk dem Kohlenstoffkreislauf entzogen wird. Dies ist die relevante Interpretation. Daraus konkrete und manipulationssichere Anforderungen abzuleiten, ist schwieriger und bedarf weiterer Diskussion.

Die detaillierten Auswertungen können dem Kapitel 10 Abschnitt 10.9 entnommen werden.

6. Welche Erkenntnisse lassen sich aus einer gesonderten Betrachtung von GWPfossil und GWPbiogenic gewinnen, soweit dafür geeignete Daten vorliegen?

Bezüglich des biogenen Treibhauspotenzials ist erwartet worden, dass sich die Werte gemäß -1/+1 Ansatz über den Lebenszyklus ausgleichen und einen Wert von Null ergeben. Dies ist nicht der Fall, sondern es verbleiben bei der Gebäudeauswertung kleine Werte unter 1,0 kg CO₂e biogenic/(m²NRF*a). Durch Analyse und Identifikation der materialbezogenen

Treibhauspotenziale in der verwendeten Software war es möglich, die Verursacher dieser Werte zu ermitteln. Es waren einzelne Datensätze, die den Wert im Modul A (Herstellung) des biogenen Treibhauspotenzials im Modul C (Entsorgung) nicht vollständig ausbuchten. Bezüglich der Bauweise lassen sich dabei keine Unterschiede erkennen. Diese Effekte sollten im Detail weiter untersucht werden. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird empfohlen, ähnlich wie bei dem Umgang mit Primärenergie, nicht erneuerbar, Primärenergie, erneuerbar und Gesamtprimärenergie gesamt eine Umstellung des Indikators sowie des Grenzwerts für die Treibhausgasemissionen auf den Kennwert GWP fossil zu prüfen. Sollte eine Nebenforderung für den Erstaufwand (Module A1-A3) eingeführt werden, wird vorbehaltlos empfohlen, GWP fossil zu verwenden.

Die detaillierten Auswertungen können dem Kapitel 11 Abschnitt 11.4 entnommen werden.

7. Wie hoch ist der Erstaufwand (upfront) an Primärenergie, nicht erneuerbar und resultierenden Treibhausgasemissionen? Eignet sich diese Teilgröße für die Formulierung von Nebenanforderungen? Was wäre dabei zu beachten?

Die berechneten Werte für den Erstaufwand (upfront emissions) für die Treibhausgasemissionen bezogen auf den m^2NRF a zeigen Werte von 230 bis über 500 $kg\ CO_2e / (m^2NRF\ a)$ und liegen damit in der Größenordnung von Werten in der einschlägigen Literatur. Eine deutliche Abnahme der flächenbezogenen Werte bei größeren Gebäuden ist erkennbar. Innerhalb der Gruppe gleicher Gebäude zeigen sich Abstufungen, die der gewählten Bauweise (Primärkonstruktion) entsprechen. Bei Gebäuden mit wachsenden Anteilen an nachwachsenden Rohstoffen verringern sich die Werte für GWP fossil.

Die Anteile der upfront emissions an den gesamten gebäudebezogenen fossilen THG-Emissionen über den Betrachtungszeitraum betragen 47 % bis 77 %. Die Gebäude haben eine PV-Anlage. Die Anteile der upfront emissions an den gesamten gebäudebezogenen sowie betriebs- und nutzungsbezogenen fossilen THG-Emissionen über den Betrachtungszeitraum betragen 23 % bis 44 %.

Eine gesonderte Angabe des GWP biogenic beim Erstaufwand wird nicht empfohlen. Die Angabe negativer Werte zu Beginn des Betrachtungszeitraums ist zwar korrekt, nicht dargestellt werden jedoch bei einer Konzentration auf die Module A1-A3 die entstehenden Emissionen am Ende des Betrachtungszeitraums gemäß des -1/+1-Ansatzes beim Umgang mit Biomasse. Es wird empfohlen, sich bei Orientierungs- oder Anforderungswerten zur Begrenzung des Erstaufwandes auf GWP fossil zu konzentrieren. Für die Vorgabe konkreter Werte bedarf es weiterer Untersuchungen.

Die detaillierten Auswertungen können dem Kapitel 11 Abschnitt 12.5 entnommen werden.

8. Wie wirkt sich die Wahl von Bezugsflächen aus? Welchen Einfluss hat das Vorhandensein von Kellern?

Wie zu erwarten, wirken sich die Wahl der Bezugsfläche sowie die Regeln zu ihrer Ermittlung auf das Ergebnis der Ökobilanz sowie die Erfüllbarkeit von Anforderungen aus. Sie muss damit nach sorgfältigerer Abwägung jeweiliger Vor- und Nachteile erfolgen. Benötigt werden Überlegungen zu einer Erklärung/Rechtfertigung sowie zur Frage, was ein „fairer“ Ansatz wäre. Die bisherige Lösung einer Nutzung der NRF ist nicht unumstritten und birgt das Risiko der gezielten Nutzung von Effekten zur Verbesserung des flächenbezogenen Ergebnisses. Empfohlen wird die parallele Nutzung unterschiedlicher Bezugsflächen (siehe Kostenkennwerte im BKI) mit einer maßgebenden Hauptbezugsfläche in Form der Nutzungs- bzw. Wohnfläche. Ein Bezug auf die Anzahl der Bewohner kann nachrichtlich erfolgen, setzt jedoch die Vorgabe einer Sollbelegung voraus. Für Orientierungswerte oder Nebenanforderungen sind alternative Bezugsflächen denkbar.

Die detaillierten Auswertungen können dem Kapitel 10 Abschnitt 10.1 und 10.2 entnommen werden.

9. Was sind die Auswirkungen einer gebäudeintegrierten Gewinnung und Nutzung erneuerbarer Energie? Wie ist mit exportierter Energie und wie mit der anteiligen Zuordnung von grauen Emissionen der BIPV-Systeme zum Gebäude umzugehen?

Die aktuellen Rechenregeln des QNG zum Umgang mit gebäudeintegrierten Anlagen zur solaren Stromerzeugung und ihrem Ertrag werden von der künftigen EN 15978 nach aktuellem Stand des Entwurfs gedeckt. Sie haben sich in der bisherigen Anwendung und auch im Rahmen der Untersuchungen zu diesem Projekt bewährt. Es stellt sich ein vorteilhaftes Verhältnis von vermiedenen Treibhausgasemissionen durch den Eigennutzungsanteil des erzeugten Solarstroms einerseits und den zusätzlichen, dem Gebäudeanteil zugeordneten grauen Emissionen der Anlage andererseits ein. Mit dem eigengenutzten Anteil des erzeugten Solarstroms lassen sich nur die Treibhausgasemissionen des ansonsten notwendigen Strombezugs aus dem Netz vermeiden. Die Berücksichtigung des Nutzerstroms bei der Ermittlung des Strombedarfs wirkt sich positiv auf die Ausnutzung geeigneter Dachflächen für eine Solaranlage aus. Bei größeren Gebäuden bzw. Gebäuden mit ungünstigem Verhältnis von Dachfläche zur Wohnfläche wird diese Fläche zum limitierenden Faktor. Im Bereich der Rechenregeln kam durch eine von der KfW veranlasste Anpassung eine Verunsicherung auf. In der Konsequenz müssen Änderungen und Anpassungen klarer sowie leicht zugänglich kommuniziert werden. Die Angabe des an Dritte gelieferten oder in das Netz eingespeisten Anteils des Solarstroms (nicht selbstgenutzter Anteil) wird ebenso im Modul D2 angegeben wie die dadurch potenziell vermiedenen Treibhausgasemissionen. Hierfür wird der Trend bei den Emissionsfaktoren zum Vermeidungsstrommix benötigt. Empfohlen wird eine intensive Prüfung und Weiterentwicklung der in DIN V 18599 hinterlegten Rechenregeln.

Die detaillierten Auswertungen können dem Kapitel 9 Abschnitt 9.3 und 9.3.6 entnommen werden.

23 Weitergehender Forschungsbedarf

Im Projekt wurde deutlich, dass zu ausgewählten Themen und Fragestellungen weiterer Forschungsbedarf besteht. Dieser ergibt sich nicht nur aus der Notwendigkeit einer Präzisierung und Weiterentwicklung der Grundlagen, Regeln und Anforderungen zu Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus im Rahmen des QNG mit entsprechenden Konsequenzen für die Förderprogramme KFN und KNN, sondern generell im Zusammenhang mit den Aufgaben der Ermittlung von Energiebedarf und Umweltwirkungen von Gebäuden in Deutschland.

- **Harmonisierung oder klare Unterscheidung von Emissionsfaktoren der Energieversorgung**
Es besteht ein Bedarf, die Emissionsfaktoren der Energieversorgung in ÖKOBAUDAT, dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) und anderen relevanten Zusammenstellungen zu harmonisieren oder deutlich voneinander abzugrenzen. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei dem Umgang mit Vorketten.
- **Klärung der Geschwindigkeit der Dekarbonisierungsprozesse**
Es ist notwendig, die Geschwindigkeit der Dekarbonisierungsprozesse bei der Herstellung von Bauprodukten und in der Energieversorgung präzise zu bestimmen. Diese Analyse wird direkte Auswirkungen auf Ökobilanzdaten und Emissionsfaktoren haben.
- **Gestaltung des Übergangs zu standortspezifischen Ansätzen**
Die Gestaltung des Übergangs von einem durchschnittlichen Standort (Potsdam) zu standortspezifischen Ansätzen ist von hoher Relevanz. Hierbei werden die Auswahl und Anwendung von Klimadatenansätzen sowie Daten zur Solarstrahlung berücksichtigt.
- **Entwicklung und Anwendung von Zukunftsklimadaten**
Eine Weiterentwicklung und verstärkte Anwendung von Zukunftsklimadaten sind erforderlich, besonders vor dem Hintergrund des zeitlichen Drucks seitens des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für Anpassungen in normativen Verfahren bis 2026, um diese dann im GEG 2027 zu berücksichtigen.
- **Fortschreibung normativer Grundlagen zur Berücksichtigung individueller Klimadaten**
Sowohl für eine standortbezogene Bilanzierung als auch für eine Bilanzierung unter Zugrundelegung von künftigen Klimadaten müssen die normativen Verfahren (DIN V 18599) insoweit fortgeschrieben werden, dass eine Verwertung von individuellen Klimadaten vollständig bei der energetischen Bilanzierung berücksichtigt werden kann.
- **Anpassung der Anforderungssystematik zum sommerlichen Wärmeschutz an künftige Klimarandbedingungen**
Die gegenwärtige Anforderungssystematik zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes basiert auf veralteten Klimadaten. Insofern besteht ein dringender Handlungsbedarf, die Anforderungssystematik auf künftige Klimarandbedingungen abzustellen. Dies kann entweder durch eine entsprechende Fortschreibung der DIN 4108-2 oder durch direkte Formulierung der Anforderungen in einem künftigen GEG erfolgen.
- **Weiterentwicklung und Vereinheitlichung von PV-Anlagen**
Die Weiterentwicklung und Harmonisierung von Ansätzen zur Auslegung von gebäudeintegrierten Photovoltaikanlagen (BIPV), zur Ertragsberechnung sowie zur Bestimmung des Eigennutzungsanteils und seiner Berücksichtigung sind von erheblicher Bedeutung. Dies betrifft unter anderem die DIN V 18599 und das GEG. Hinsichtlich der nutzbaren Anteile von PV-Erträgen ist dabei die Einbeziehung von Strombedarfen aus Nutzeranwendungen zu berücksichtigen.
- **Erarbeitung eines Absenkpfeils für Treibhausgasemissionen im Gebäudebestand**

Es ist notwendig, einen klaren Fahrplan für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Gebäudebestand zu entwickeln und abzustimmen, der als Grundlage für einen schrittweisen Plan zur Festlegung von Anforderungswerten dient.

- **Übergang von statischer zu dynamischer Betrachtung bei Anforderungswerten**
Es bedarf einer genauen Untersuchung, wie und in welchem Umfang der Übergang von einer statischen zu einer dynamischen Betrachtung bei der Festlegung von Anforderungswerten und Nachweisgrößen erfolgen soll.

24 Schlussfolgerung

In dem Teil des Projektes, das sich mit der Ausgestaltung der künftigen Regeln für die Berechnung und Bewertung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden sowie für das Führen von Nachweisen zur Einhaltung von Anforderungen befasst, wurden Erfordernisse für eine Weiterentwicklung und Anpassung identifiziert. Bereits die Veränderung der Datengrundlagen durch die Fortschreibung und Erweiterung der ÖKOBAUDAT führt zur Notwendigkeit der Aktualisierung der Anforderungswerte. Darüber hinaus ergibt sich ein Diskussionsbedarf zum Umgang mit u.a. folgenden Themen:

- Anpassung von Klimadaten in Richtung der Beschreibung der zukünftigen Verhältnisse
- Bilanzierung der Systeme und Komponenten der KG 400 bei verbesserter Datenlage
- Umstellung der Abschneideregeln auf zu vernachlässigende Kleinteile
- Vereinheitlichung der Ertragsberechnung und Ermittlung des Eigennutzungsanteils bei BIPV
- Umstellung der Bezugsfläche und Einführung zusätzlicher Bezugsgrößen
- Einführung von Nebenanforderungen zur Begrenzung des Erstaufwands
- Umgang mit über die Zeit sinkenden Emissionsfaktoren der Energieversorgung
- Umgang mit der Dekarbonisierung der Baustoffproduktion
- Zulässigkeit von Ausgleichs- und Kompensationsmaßnahmen
- Vorgehensweise bei Ableitung von Anforderungswerten (bottom-up versus top down)

Im Projekt konnte ein Handlungsbedarf zu den genannten Themen identifiziert und erste Vorschläge zur Lösung von Fragen und zur Festlegung einer künftigen Herangehensweise entwickelt werden. Zur Veranschaulichung der Vielzahl der Themen und Entscheidungen wurde die Darstellungsform eines morphologischen Kastens gewählt. Tabelle 25 stellt die grundsätzliche Herangehensweise vor. Es wird empfohlen, diese Darstellungsform als „Fingerabdruck“ der jeweiligen Berechnungs- und Bewertungsmethodik zu benutzen und so sowohl aktuelle Regelungen als ggf. auch mögliche Veränderungen gegenüber Vorläuferversionen transparent darzustellen. Tabelle 26 gibt zu ausgewählten Themen die Empfehlungen der Bearbeiter wieder. Sie entspricht damit einer Zusammenfassung zuvor unterbreiteter Handlungsempfehlungen.

Tabelle 25: Morphologischer Kasten zur Beschreibung von Optionen bei der Ausgestaltung von Bilanzierungsregeln zur Ermittlung von THG-Emissionen – ohne Empfehlungen

Aspekt/Parameter	Typ	Lfd. Dr.	Parameter	Ausprägung		
				A	B	C
Indikator	1.01		Messgröße / Indikator	CO ₂	CO ₂ -Äquivalente	
	1.02		Detaillierungsgrad GWP100	total	total/fossil/biogenic	
	1.03		Art der Hauptbezugsfläche/Hauptbezugsgröße	NRF	Wohnfläche	Nutzungsfläche
	1.04		Art zusätzlicher Bezugsgröße I	keine	BGF	Wohnfläche
	1.05		Art zusätzlicher Bezugsgröße II	keine	Wohnfläche	Anzahl Bewohner
Zeit	2.01		Umgang mit Faktor Zeit – gebäudebezogener Teil	statisch	Mittelwerte	dynamisch
	2.02		Umgang mit Faktor Zeit – betriebsbedingter Teil	statisch	Mittelwerte	dynamisch
	2.03		Betrachtungszeitraum	50 Jahre		
Datenquellen	3.01		Quelle für Ökobilanzdaten - Bauprodukte	ÖKOBAUDAT 2024	Rechenwerte 2024	Industrie
	3.02		Quelle für Emissionsfaktoren - Energie	ÖKOBAUDAT 2024	Rechenwerte 2024	
	3.03		Sonderfall Emissionsfaktor Fernwärme	ÖKOBAUDAT 2024	Rechenwerte 2024	QNG Rechenregel
	3.04		Quelle für Klimadaten, allgemein	DWD TRYxxx	DWD TRYxxx	DIN V 18599
	3.05		Klimadaten Wärme-/Kühlenergiebedarfsbedarfsberechnung	Referenzwert	regional	standortspezifisch
	3.06		Klimadaten PV-Ertragsberechnung	Referenzwert	regional	standortspezifisch
Grenzen	4.01		Systemgrenzen zu Hauptanforderung für Begrenzung THG - baulich	A1-A3 / B4 / C3-C4	A1-A3 / B2-B4 / C3-C4	
	4.02		Systemgrenzen zu Hauptanforderung für Begrenzung THG - Betrieb	B6.1	B6.1+B6.2	B6.1+B6.2+B6.3
	4.03		Systemgrenzen zur Nebenanforderung 1	keine	A1-A3 GWP total	A1-A3 GWP fossil
	4.04		Systemgrenzen zur Nebenanforderung 2	keine	B6.1 (GEG)	B6.1-B6.2
Regeln	4.05		Angabe Nutzerstrom B6.3	nicht berücksichtigt	20 kWh/m ² a	Simulation
	4.06		Ermittlung Ertrag der PV-Anlage	GEG	DIN 18599-9	Simulation
	4.07		Ermittlung Eigennutzungsanteil PV-Strom	GEG	DIN 18599-9	Simulation
	4.08		Berücksichtigung des Effekts von Speichern	pauschal	Simulation	
	4.09		Berücksichtigung Laden eines E-car	nein	ja	Zusatzangabe B8
	4.10		Zuordnung grauer Emissionen BIPV zum Gebäude	100%	anteilig	anteilig + Synergie
	4.11		Berücksichtigung der Elemente der KG 300	komplett	Abschneideregul	Ausschluss Kleinteile
	4.12		Einbeziehung Tiefgarage (soweit zutreffend)	komplett	eigengenutzter Anteil	Faktor
	4.13		Berücksichtigung der Elemente der KG 400 (ggf. und Teile KG 500)	komplett	Pauschal /Faktor	Sockel + Großgeräte
	4.14		Parkplätze auf dem Grundstück	nicht berücksichtigt	berücksichtigt	
	4.15		Erschließung auf dem Grundstück	nicht berücksichtigt	berücksichtigt	
	4.16		Berücksichtigung F-Gase	nein	pauschal	QNG Rechenregel
	4.17		Mindestanforderungen an energetische Qualität	GEG	EH 55	EH40
Zusatz	5.01		Zusatzangabe Kohlenstoffgehalt (biogenic carbon content)	nicht erforderlich	erforderlich	
	5.02		Zusatzangabe D1	nicht erforderlich	erforderlich	
	5.03		Zusatzangabe D2	nicht erforderlich	erforderlich	

Tabelle 26: Morphologischer Kasten zur Beschreibung von Optionen bei der Ausgestaltung von Bilanzierungsregeln zur Ermittlung von THG-Emissionen – mit Empfehlungen

Aspekt/Parameter	Typ	Lfd. Dr.	Parameter	Ausprägung		
				A	B	C
Indikator	Indikator	1.01	Messgröße / Indikator	CO ₂	CO ₂ -Äquivalente	
		1.02	Detaillierungsgrad GWP100	total	total/fossil/biogenic	
		1.03	Art der Hauptbezugsfläche/Hauptbezugsgröße	NRF	Wohnfläche	Nutzungsfläche
		1.04	Art zusätzlicher Bezugsgröße I	keine	BGF	Wohnfläche
		1.05	Art zusätzlicher Bezugsgröße II	keine	Wohnfläche	Anzahl Bewohner
	Zeit	2.01	Umgang mit Faktor Zeit – gebäudebezogener Teil	statisch	Mittelwerte	dynamisch
		2.02	Umgang mit Faktor Zeit – betriebsbedingter Teil	statisch	Mittelwerte	dynamisch
		2.03	Betrachtungszeitraum	50 Jahre		
	Datenquellen	3.01	Quelle für Ökobilanzdaten - Bauprodukte	ÖKOBAUDAT 2024	Rechenwerte 2024	Industrie
		3.02	Quelle für Emissionsfaktoren - Energie	ÖKOBAUDAT 2024	Rechenwerte 2024	
		3.03	Sonderfall Emissionsfaktor Fernwärme	ÖKOBAUDAT 2024	Rechenwerte 2024	QNG Rechenregel
		3.04	Quelle für Klimadaten, allgemein	DWD TRYxxx	DWD TRYyyy	DIN V 18599
		3.05	Klimadaten Wärme-/Kühlenergiebedarfsbedarfsberechnung	Referenzwert	regional	standortspezifisch (*)
		3.06	Klimadaten PV-Ertragsberechnung	Referenzwert	regional	standortspezifisch (*)
	Grenzen	4.01	Systemgrenzen zu Hauptanforderung für Begrenzung THG - baulich	A1-A3 / B4 / C3-C4	A1-A3 / B2-B4 / C3-C4	
		4.02	Systemgrenzen zu Hauptanforderung für Begrenzung THG - Betrieb	B6.1	B6.1+B6.2	B6.1+B6.2+B6.3
		4.03	Systemgrenzen zur Nebenanforderung 1	keine	A1-A3 GWP total	A1-A3 GWP fossil
4.04		Systemgrenzen zur Nebenanforderung 2	keine	B6.1 (GEG)	B6.1-B6.2	
Regeln	4.05	Angabe Nutzerstrom B6.3	nicht berücksichtigt	20 kWh/m ² a	Simulation	
	4.06	Ermittlung Ertrag der PV-Anlage	GEG	DIN 18599-9	Simulation	
	4.07	Ermittlung Eigennutzungsanteil PV-Strom	GEG	DIN 18599-9	Simulation	
	4.08	Berücksichtigung des Effekts von Speichern	pauschal	Simulation		
	4.09	Berücksichtigung Laden eines E-car	nein	ja	Zusatzangabe B8	
	4.10	Zuordnung grauer Emissionen BIPV zum Gebäude	100%	anteilig	anteilig + Synergie	
	4.11	Berücksichtigung der Elemente der KG 300	komplett	Abschneiderregel	Ausschluss Kleinteile	
	4.12	Einbeziehung Tiefgarage (soweit zutreffend)	komplett	eigegenutzter Anteil	Faktor	
	4.13	Berücksichtigung der Elemente der KG 400 (ggf. und Teile KG 500)	komplett	Pauschal /Faktor	Sockel + Großgeräte	
	4.14	Parkplätze auf dem Grundstück	nicht berücksichtigt	berücksichtigt		
	4.15	Erschließung auf dem Grundstück	nicht berücksichtigt	berücksichtigt		
	4.16	Berücksichtigung F-Gase	nein	pauschal	QNG Rechenregel	
	4.17	Mindestanforderungen an energetische Qualität	GEG	EH 55	EH40	
Zusatz	5.01	Zusatzangabe Kohlenstoffgehalt (biogenic carbon content)	nicht erforderlich	erforderlich		
	5.02	Zusatzangabe D1	nicht erforderlich	erforderlich		
	5.03	Zusatzangabe D2	nicht erforderlich	erforderlich		

(*) Die Nutzung standortspezifischer Klimadaten ist aus theoretischer Sicht wünschenswert, praktisch jedoch noch kaum machbar. Zuvor müssen die dafür notwendigen Voraussetzungen geschaffen werden.

Die Inhalte und Ergebnisse des Forschungsprojekts lassen sich als Beitrag zur internationalen „Buildings Breakthrough“-Initiative nutzen. Diese Initiative baut auf internationalen Beschlüssen der COP28 auf. Ziel ist es, dass Gebäude, die einerseits mit nahezu ausgeglichenen Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus realisiert werden und sich andererseits als widerstandsfähig gegenüber den lokalen Folgen des Klimawandels erweisen, bis zum Jahr 2030 zum Normalfall werden. Nachstehend werden Details und Definitionen in Form von Zitaten vorgestellt (UNEP and GlobalABC, 2024).

- *„**Near-zero emission buildings** are highly energy efficient buildings with minimal carbon footprint, taking into account a whole life cycle assessment (LCA) approach, meaning using a low greenhouse gases (GHG) energy source, and built with low GHG building materials and equipment. It aims to get as close as possible to “net-zero” emissions, as a preparatory step towards full decarbonisation.” ... “The term “near-zero” is used to reflect the fact that the building itself has done what it can to get as close to zero energy demand. Its principles use a whole life cycle approach, considering operational emissions as well as embodied carbon emissions from materials, including transport emissions and waste disposal.” ... “The whole life cycle approach involves all aspects of planning in the construction of new and renovation projects, and is recommended from early planning and design phases.”*
- *“**New normal** refers to the widespread adoption of near-zero emission and resilient buildings, following significant advancements in the construction sector. The aim is to establish an improved level of building performance as mainstream, while considering local realities and means. It is applied to new buildings and major renovations projects.”*

Behandelt werden im Vorfeld von COP29 (2024) und COP30 (2025) u.a. die Möglichkeiten einer Vereinheitlichung der Berechnungsgrundlagen sowie der Darstellung von Berechnungsergebnissen als Grundlage für die Formulierung von Anforderungen an den Beitrag von Gebäuden zum Klimaschutz. Es wird daher abschließend empfohlen, einerseits ausgewählte Ergebnisse des Forschungsprojekts sowie den Stand der Förderprogramme zum klimafreundlichen Bauen in die internationale Diskussion einzubringen. Andererseits wird empfohlen, mit der Bearbeitung der im Bericht benannten weiteren Forschungsfragen zu beginnen. Sie korrespondieren im Detail mit den Themen der oben vorgestellten internationalen Initiative.

Teil G: Verzeichnisse

Literatur

BayFHolz:6, 2023. *Richtlinie zur Förderung von langfristig gebundenem Kohlenstoff in Gebäuden in Holzbauweise in Bayern*. s.l.:BayMBI.

BGBI. I S. 2346, 2003. *Verordnung zur Berechnung der Wohnfläche, über die Aufstellung von Betriebskosten und zur Änderung anderer Verordnungen*. s.l.:s.n.

Birgisdottir, H., Lützkendorf, T., Palaniappan, S. & Passer, A., 2023. *Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings*, Uster: treeze Ltd..

BMJ, 2022. *Verordnung über die Grundsätze für die Ermittlung der Verkehrswerte von Immobilien und der für die Wertermittlung erforderlichen Daten (Immobilienwertermittlungsverordnung - ImmoWertV)*. s.l.:s.n.

BMUB, 2015. *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) - Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude; Bilanzierungsregeln für die Erstellung von Ökobilanzen*. s.l.:Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).

BMWSB, 2024. *Informationsportal Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude*. [Online]
Available at: <https://www.qng.info/>
[Zugriff am 16 06 2024].

BMWSB, 2024. *ÖKOBAUDAT Informationsportal Nachhaltiges Bauen: ÖKOBAUDAT Datenbank*. [Online]
Available at: <https://www.oekobaudat.de/>
[Zugriff am 18 03 2024].

BMWSBE, 2020. *Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden* (Gebäudeenergiegesetz - GEG)*. s.l.:Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB).

BNB, 2017. *Bewertungskriterien für Bürogebäude*. s.l.:BMWSB.

BNB, 2017. *Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*. s.l.:BBSR.

Destatis, 2022. *Ausstattung privater Haushalte mit elektrischen Haushalts- und sonstigen Geräten - Deutschland*. [Online]
Available at: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/liste-haushaltsgeraete-d.html#115474>
[Zugriff am 02 07 2024].

Destatis, 2022. *Daten aus den Laufenden Wirtschaftsrechnungen (LWR) zur Ausstattung privater Haushalte mit Informationstechnik*. [Online]
Available at: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/a-infotechnik-d-lwr.html>
[Zugriff am 02 07 2024].

- DIN 18205:2016-11, 2016. *Bedarfsplanung im Bauwesen*. s.l.:Beuth.
- DIN 276:2018-12, 2018. *Kosten im Bauwesen*. s.l.:Beuth Verlag.
- DIN 277:2021-08, 2021. *Grundflächen und Rauminhalte im Hochbau*. s.l.:Beuth.
- DIN 4108-2:2013-02, 2013. *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*. s.l.:Beuth.
- DIN 4109-1:2018-01, 2018. *Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen*. s.l.:Beuth Verlag.
- DIN EN 15643:2021-12, 2021. *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken; Deutsche Fassung EN 15643:2021*. s.l.:CEN.
- DIN EN 15804:2022-03, 2022. *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products; German version EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021*. s.l.:Beuth Verlag.
- DIN EN 15978:2012-10, 2012. *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011*. Brussels: CEN.
- DIN EN 15978-1:2021-09-Entwurf, 2021. *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Methodik zur Bewertung der Qualität von Gebäuden - Teil 1: Umweltqualität; Deutsche und Englische Fassung prEN 15978-1:2021*. s.l.:Beuth.
- DIN EN ISO 14040:2021-02, 2021. *Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020)*. s.l.:ISO.
- DIN EN ISO 14044:2021-02, 2021. *Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020*. s.l.:ISO.
- DIN V 18599-9:2018-09, 2018. *energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen*. s.l.:Beuth Verlag.
- DIN V 4108-6:2003-06, 2003. *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs*. s.l.:Beuth.
- DIN V 4701-10:2003-08, 2003. *Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung*. s.l.:Beuth.
- DMB, 2024. *Deutscher Mieterbund*. [Online]
Available at: <https://mieterbund.de/?id=588>
- DWD, 2011 und 2014. *Handbuch Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse*, Offenbach am Main: Eigenverlag Deutscher Wetterdienst.
- DWD, 2017. *Handbuch Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse*, Offenbach am Main: Eigenverlag Deutscher Wetterdienst.
- EPBD:2010/31/EU, 2010. *Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*. s.l.:s.n.

EPBD:2023/1791, 2023. *EU-Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie 2023/1791*. s.l.:s.n.

European Commission, 2024. *Sustainable investment – EU environmental taxonomy*. [Online]
Available at: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13237-Sustainable-investment-EU-environmental-taxonomy_en
[Zugriff am 28.05.2024].

Euwid, 2021. Marktanteil von Fertighäusern soll 2021 rund 23 % erreichen. *Holz und Möbel*, 23.09, Band 38.

Fritsche, U. R. & Greß, H.-W., 2021. *Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2020 sowie Ausblicke auf 2030 und 2050*, Darmstadt: IINAS - Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH.

Fritsche, U. R. & Greß, H.-W., 2021. *Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2020 sowie Ausblicke auf 2030 und 2050*, Darmstadt: IINAS GmbH – Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien.

Hafner, A. et al., 2017. *Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren*, Bochum: Ruhr Universität Bochum (RUB).

Hauser, G., 1977. *Rechnerische Vorherbestimmung des Wärmeverhaltens großer Bauten*, Stuttgart: Universität Stuttgart.

HEA, 2018. *HEA-Übersicht zeigt Vielfalt*. [Online]
Available at: <https://www.elektrowirtschaft.de/hea-uebersicht-zeigt-vielfalt%E2%80%A8-beim-energielabel/>
[Zugriff am 19.04.2024].

Holmgren, W. F., Hansen, C. & Mikofski, M., 2018. *pvlib python: a python package for modeling solar energy systems*, s.l.: Journal of Open Source Software, 3(29), 884.

IBH, 2023. *Studie zur integralen Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens - Thermischer Komfort und energetische Performance* -. s.l.:s.n.

Kalusche, D.-I. W., 2024. *Wie groß ist die Wohnfläche von Familien*. [Online]
Available at: <https://www.dabonline.de/2023/05/02/wie-gross-was-gehoert-zu-wohnflaeche-mehrfamilienhaeuser-wfl-bgf-nuf/>

Kellenberger, D., Althaus, H.-J. & Anon., 2009. Relevance of Simplifications in LCA of Building Components. *Building and Environment*, 04. Band 44.

KfW, 2023. *6000004865_Infoblatt_BEG_TFAQ_Effizienzhaus*. s.l.:kfw.

KfW, 2024. *Klimafreundlicher Neubau – Wohngebäude (297, 298)*. [Online]
Available at:
[https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/F%C3%B6rderprodukte/Klimafreundlicher-Neubau-Wohngeb%C3%A4ude-\(297-298\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/F%C3%B6rderprodukte/Klimafreundlicher-Neubau-Wohngeb%C3%A4ude-(297-298)/)
[Zugriff am 19.02.2024].

Köhler, S., 2023. *Gebäudespezifische Simulation und Validierung von Stromlastprofilen für Wohn- und Nichtwohngebäude zur Anwendung in der energetischen Quartiersplanung*, Karlsruhe: Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) am KIT.

Ministerium für Umwelt, Klima Baden-Württemberg, 2022. *Besonders sparsame Haushaltsgeräte 2022*. [Online]

Available at: chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Besonders-sparsame-Haushaltsgeraete-2022-barrierefrei.pdf

[Zugriff am 02.06.2024].

Passer, A., 2023. *IEA EBC - Annex 89 - Ways to Implement Net-zero Whole Life Carbon Buildings*. [Online]

Available at: <https://annex89.iea-ebc.org/>

[Zugriff am 12.06.2024].

Passivhaus Institut, 2024. *Qualitätsanforderungen an Passivhäuser*. [Online]

Available at:

https://passiv.de/de/02_informationen/02_qualitaetsanforderungen/02_qualitaetsanforderungen.htm

[Zugriff am 15.07.2024].

Pflugradt, N. D., 2016. *Modellierung von Wasserund Energieverbräuchen in Haushalten*, Chemnitz: TU Chemnitz.

QNG, 2023. *Ökobilanzierung-Rechenwerte 2023 Anhang Nutzungshinweise v1-0*. [Online]

Available at: chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.qng.info/app/uploads/2023/03/Oekobilanzierung-Rechenwerte_2023_Anhang_Nutzungshinweise_v1-0.pdf

[https://www.qng.info/app/uploads/2023/03/Oekobilanzierung-Rechenwerte_2023_Anhang_Nutzungshinweise_v1-0.pdf](chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.qng.info/app/uploads/2023/03/Oekobilanzierung-Rechenwerte_2023_Anhang_Nutzungshinweise_v1-0.pdf)

[Zugriff am 28.11.2024].

QNG, 2023. *QNG-Handbuch-Anlage3: GEBÄUDEANFORDERUNGEN Besondere Anforderungen im öffentlichen Interesse an den Beitrag von Gebäuden zur Nachhaltigen Entwicklung*. s.l.:QNG.

Richter, M., Safarik, M. & Heinrich, C., 2014. *Klimafreundliche Gebäudeklimatisierung*. Umwelt Bundesamt, Juli.

Rose, A., Wöffen, D. & Erhorn Hans, B. A., 2019. *Wege zum Effizienzhaus Plus*. November, p. 60.

Schiller, G. et al., 2022. *Kartierung des anthropogenen Lagers IV: Erarbeitung eines Gebäudepass- und Gebäudekatasterkonzepts zur regionalisierten Erfassung des Materialhaushaltes mit dem Ziel der Optimierung des Recyclings*, s.l.: Umweltbundesamt.

Schöffel, W. & Drusche, D.-I. V. K., 2023. *Qualitätssicherung von LCASoftware – Teil 2 Anforderungsprofil und Validierung*, Bonn: BBSR.

Schöffel, W. & Drusche, V. K., 2023. *Handlungsplan Nachhaltiges Bauen; Bericht Teilprojekt Qualitätssicherung von LCASoftware – Teil 2 Anforderungsprofil und Validierung*, Bonn: Zukunft Bau - BBSR - Forschungsvorhaben.

SIA380, 2015. *SIA 380:2015 Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden*. s.l.:Schweizerischer ingenieur- und architektenverein (sia).

Stoy, C., Lasshof, B., Quante, K. & Beusker, E., 2015. *BKI Nutzungskosten Gebäude*. s.l.:bauoek.

Stromspiegel, 2023. *Stromspiegel für Deutschland 2022/23*. [Online]
Available at: <https://www.stromspiegel.de/fileadmin/ssi/stromspiegel/Downloads/stromspiegel-tabelle-2023-print.jpg>

Umweltbundesamt, 2024. *Energieeffiziente Produkte - Stromverbrauch der Haushalte*. [Online]
Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/konsum-produkte/energieeffiziente-produkte#stromverbrauch-der-haushalte>
[Zugriff am 19 05 2024].

Umweltbundesamt, 2024. *Marktdaten: Haushaltsgeräte und Beleuchtung*. [Online]
Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/konsum-produkte/gruene-produkte-marktzahlen/marktdaten-bereich-haushaltsgeraete-beleuchtung#kuhlgerate-kaum-zuwachse-mehr-bei-besonders-effizienten-geraten>

UNEP and GlobalABC, 2024. *How to join the Buildings Breakthrough?*, s.l.: s.n.

VDI 4655:2021-07, 2021. *Referenzlastprofile von Wohngebäuden für Strom, Heizung und Trinkwarmwasser sowie Referenzerzeugungsprofile für Fotovoltaikanlagen*. s.l.:Beuth.

Vukadinovic, M., 2023. *Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Überhitzung von Gebäuden und Empfehlungen zur Begrenzung sommerlicher Übertemperaturen*, Kassel: Universität Kassel, Fachbereich Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung, Institut für Architektur, Fachgebiet Bauphysik.

Webs, M., Deutschländer, T. & J., C., 2004. *Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY*, Offenbach am Main: Eigenverlag Deutscher Wetterdienst.

Weller, B. et al., 2016. *Baukonstruktion im Klimawandel*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

WoFIV:2003-11-25, 2003. *Verordnung zur Berechnung der Wohnfläche (Wohnflächenverordnung - WoFIV)*. s.l.:Beuth.

Abbildungen

Abbildung 1 Phasen und Module der Lebenszyklusanalyse von Gebäuden	22
Abbildung 2: Auftretende Probleme bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen	39
Abbildung 3: Hinderungsgründe, die eine Erstellung einer Ökobilanz und eine Zertifizierung nach QNG erschweren oder verhindern	39
Abbildung 4: Einfluss von Teilaufgaben/Bereiche auf die THG-Emissionen im Vgl. zur Standardvariante	40
Abbildung 5: Bevorzugte Datengrundlage der Fertigbauunternehmen	41
Abbildung 6: Status der EPDs in der Zulieferindustrie des Fertigbaus	42
Abbildung 7: Kenntnisstand der Zulieferindustrie zum Entwurf der künftigen Bauproduktenverordnung	42
Abbildung 8: Zusammenhang zwischen Ökobilanzierung und Nachhaltigkeitsberichterstattung	42
Abbildung 9: Bandbreite untersuchter Gebäude nach Nettoraumfläche – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude	46
Abbildung 10: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude	46
Abbildung 11: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude	47
Abbildung 12: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen, Differenz ohne und mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude	48
Abbildung 13: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen ohne und mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude	48
Abbildung 14: Betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude	49
Abbildung 15: Betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude	50
Abbildung 16: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der Primärenergiebedarfe, nicht erneuerbar, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude	51
Abbildung 17: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der Primärenergiebedarfe, nicht erneuerbar, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude	51
Abbildung 18 Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage - für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude	52
Abbildung 19: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.2 ausgewählten Gebäude	53
Abbildung 20: Endenergiebedarf, Abweichung Berechnung „wie gebaut“ zu Neuberechnungen DIN V 18599 – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	54

Abbildung 21: Endenergiebedarf + 20 kWh/(m ² a) Nutzerstrom, Abweichung Berechnung „wie gebaut“ zu Neuberechnungen DIN V 18599 – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	55
Abbildung 22: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	56
Abbildung 23: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	56
Abbildung 24: Anforderungen GEG an Q_P und H_T' (Grenzwerte) und Ergebnisse gegenüber Referenzgebäude – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	57
Abbildung 25: Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	58
Abbildung 26: Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der THG-Emissionen, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	58
Abbildung 27: Gebäudebezogene sowie Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der Anteile der Primärenergiebedarfe, nicht erneuerbar, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	59
Abbildung 28: Gebäudebezogene sowie Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der Anteile der Primärenergiebedarfe, nicht erneuerbar, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	60
Abbildung 29: Gebäudebezogene sowie Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der Anteile der Primärenergiebedarfe, gesamt, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	61
Abbildung 30: Gebäudebezogene sowie Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der Anteile der Primärenergiebedarfe, gesamt, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	62
Abbildung 31: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	62
Abbildung 32: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen, mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	63
Abbildung 33: Gesamterzeugung (Ertrag bzw. „Ernte“) von BIPV-Strom in kWh/a – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude mit BIPV	64
Abbildung 34: Eigennutzungsanteil an BIPV-Strom in kWh/a – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude mit BIPV	65
Abbildung 35: Eigennutzungsgrad (ENG) der BIPV-Anlagen in % nach Simulationsergebnis und Berechnung nach DIN V 18599 – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude mit BIPV	66
Abbildung 36: Eigenversorgungsgrad (EVG) in % nach Simulationsergebnis und Berechnung nach DIN V 18599 – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude mit BIPV	67
Abbildung 37: Eigenversorgungsgrad (EVG) in % inklusive Nutzerstrombedarf nach QNG – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude mit BIPV	68
Abbildung 38: Verhältnis vom gebäudebezogenen zum betriebs- und nutzungsbedingten Treibhauspotenzial, von Gebäuden ohne BIPV – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	69
Abbildung 39: Verhältnis vom gebäudebezogenen zum betriebs- und nutzungsbedingten Treibhauspotenzial, von Gebäuden mit BIPV – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	69

Abbildung 40: Prozentuales Verhältnis vom gebäudebezogenen zum betriebs- und nutzungsbedingten Treibhauspotenzial, für Gebäude ohne PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	70
Abbildung 41: Prozentuales Verhältnis vom gebäudebezogenen zum betriebs- und nutzungsbedingten Treibhauspotenzial, für Gebäude mit PV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	71
Abbildung 42: Zunahme des Treibhauspotenzials des gebäudebezogenen Anteils absolut durch die BIPV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	71
Abbildung 43: Zunahme des Treibhauspotenzials des gebäudebezogenen Anteils durch die BIPV-Anlage absolut – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	72
Abbildung 44: Reduktion des Treibhauspotenzials des betriebs- und nutzungsbedingten Anteils absolut durch die BIPV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	73
Abbildung 45: Reduktion des Treibhauspotenzials des betriebs- und nutzungsbedingten Anteils prozentual durch die BIPV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	73
Abbildung 46: Treibhauspotenzial der gebäudebezogenen und betriebs- und nutzungsbedingten Differenz durch die BIPV-Anlage – für die in Abschnitt 9.3 ausgewählten Gebäude	74
Abbildung 47: Nettoraumflächen von ausgewählten Gebäuden	75
Abbildung 48: BGF, NRF und WF der ausgewählten Gebäude	76
Abbildung 49: Möglichkeiten des Erreichens eines modifizierten Anforderungswertes für Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus, bezogen auf BGF für Gebäude ohne BIPV	77
Abbildung 50: Möglicher Grenzwert für Treibhausgasemissionen bei modifizierter Bezugsfläche m ² WF ohne BIPV	77
Abbildung 51: Möglicher Grenzwert für Treibhausgasemissionen bei modifizierte Bezugsfläche mit PV-Anlage	78
Abbildung 52: Möglicher Grenzwert für THG-Emissionen bei mod. Bezugsfläche für Gebäude mit BIPV	79
Abbildung 53: Nettoraumfläche in m ² der untersuchten Gebäude mit und ohne Keller bzw. Tiefgarage	80
Abbildung 54: Treibhauspotenzial gebäudebezogener Anteil - ohne und mit Tiefgarage	81
Abbildung 55: Erreichbarkeit QNG für den Indikator PE ne	82
Abbildung 56: Erreichbarkeit QNG für den Indikator Treibhauspotenzial	83
Abbildung 57: Erreichbarkeit QNG mit BIPV-Anlage für den Indikator PE ne	84
Abbildung 58: Erreichbarkeit QNG mit BIPV-Anlage für den Indikator Treibhauspotenzial	84
Abbildung 59: Vergleichstabelle für Ökodatensätze (Auszug aus LEGEP-Programm)	88
Abbildung 60: Vergleich zweier Ökodatensätze für eine Gipsfaserplatte mit einer Masse von 1 kg (Auszug aus LEGEP-Programm)	90
Abbildung 61: Vergleich zweier Ökodatensätze für eine Gipsfaserplatte mit einer Masse von 1 m ² (Auszug aus LEGEP-Programm)	90
Abbildung 62: Vergleich der Ökodatensätze dreier Materialien der Module A-C (Auszug aus LEGEP-Programm)	91
Abbildung 63: Unterschiede im Vergleich verschiedener Indikatoren (Auszug aus LEGEP-Programm)	92

Abbildung 64: Gebäudebezogenes Materialranking für den Indikator Treibhauspotenzial in kg CO ₂ e (Auszug aus LEGEP-Programm)	92
Abbildung 65 Ausgetauschte Ökodatensätze in einer Gebäudebeschreibung (Auszug aus LEGEP-Programm)	93
Abbildung 66: Größe der ausgewählten Gebäude nach m ² NRF	94
Abbildung 67: QNG Erreichbarkeit Treibhauspotenzial mit BIPV	95
Abbildung 68: Prozentuales Verhältnis des gebäudebezogenen zum betriebsbedingten Anteil, Indikator Treibhauspotenzial, Gebäude mit BIPV	96
Abbildung 69: Unterschiede zwischen der Nutzung generischer und spezifischer Daten beim gebäudebezogenen Teil	96
Abbildung 70: Verschiedene Kältemittel und das jeweilige Treibhauspotenzial in kg CO ₂ e. (Richter, et al., 2014) S.15 I	98
Abbildung 71: Absolute Menge der Kältemittel in den Wärmepumpen von untersuchten Gebäuden	98
Abbildung 72: Treibhauspotenzial der Kältemittel in den Wärmepumpen von untersuchten Gebäuden	99
Abbildung 73: Nettoraumfläche der Gebäudemit verschiedenen Bauweisen	100
Abbildung 74: Treibhauspotenzial gebäude- und betriebs-/ nutzungsbedingter Anteil mit BIPV	100
Abbildung 75: Treibhauspotenzial gebäudebezogener Anteil bei Gebäuden ohne BIPV – Bauweise variiert	101
Abbildung 76: Treibhauspotenzial gebäudebezogener Anteil bei Gebäuden mit BIPV – Bauweise variiert	102
Abbildung 77: Differenz beim gebäudebezogenen Treibhauspotenzial der Gebäude ohne BIPV und variierender Bauweise	103
Abbildung 78: Bauteile der Kostengruppe 550 ff. für technische Anlagen in den Außenanlagen (Auszug aus LEGEP-Programm)	105
Abbildung 79: Treibhauspotenzial nur Gebäude ohne BIPV	106
Abbildung 80: LCA-Ergebnisse (Indikator GWP) für ein Bürogebäude, gebäudebezogener Aufwand, Module getrennt	107
Abbildung 81: LCA-Ergebnisse (Indikator GWP) für ein Bürogebäude, gebäudebezogener Aufwand, zusätzlich GWP unterteilt	108
Abbildung 82: Nettoraumfläche der ausgewählten Gebäude	109
Abbildung 83: Masse absolut in kg der ausgewählten Gebäude	110
Abbildung 84: Flächenbezogene Masse in kg/m ² NRF bei Berücksichtigung der Bauteile der KG 300 KG 400 der Gebäude	111
Abbildung 85: Absolute und relative Stoffmasse für Bauteile der KG 300 – KG 400 in den Gebäuden	112
Abbildung 86: 35-MFH-2-KG-Z Materialinventar verteilt auf Materialgruppen in kg (Auszug aus LEGEP-Programm)	113
Abbildung 87: 35-MFH-2-Z-KG Materialinventar verteilt auf Materialgruppen - prozentual (Auszug aus LEGEP-Programm)	113

Abbildung 88: 35-MFH-2-KG-MH Materialinventar verteilt auf Materialgruppen prozentual (Auszug aus LEGEP-Programm)	114
Abbildung 89: 30-MFH-5-HT in Stahlbau Materialinventar verteilt auf Materialgruppen prozentual (Auszug aus LEGEP-Programm)	114
Abbildung 90: Gebäude 35-MFH-2-KG-Z: Inventar einzelner Materialien gegliedert nach Masseanteil (Auszug aus LEGEP-Programm)	115
Abbildung 91: 35-MFH-2-KG-Z Inventar der 10 massedominanten Materialien (Auszug aus LEGEP-Programm)	116
Abbildung 92: Stoffmasse der nachwachsenden Rohstoffe in den untersuchten Gebäuden in kg	117
Abbildung 93: Flächenbezogene Stoffmasse der nachwachsenden Rohstoffe in den Gebäuden in kg/m ² NRF	118
Abbildung 94: Anteil der nachwachsenden Rohstoffe an der gesamten Masse der Gebäude	118
Abbildung 95: Absolute und flächenbezogene Masse verbauter nachwachsender Rohstoffe in den Gebäuden	119
Abbildung 96: Kohlenstoffgehalt der nachwachsenden Rohstoffe der Gebäude	120
Abbildung 97: Kohlenstoffgehalt der nachwachsenden Rohstoffe der Gebäude	121
Abbildung 98: Nettoräumflächen – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude	122
Abbildung 99: Transmissionswärmetransferkoeffizienten – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude	123
Abbildung 100: Betriebsbedingte Anteile der Primärenergiebedarfe, nicht erneuerbar (Modul B6.1) – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude	124
Abbildung 101: Betriebsbedingte Anteile der Endenergiebedarfe (Modul B6.1) – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude	124
Abbildung 102: Gebäudebezogene Anteile der THG-Emissionen – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude	125
Abbildung 103: Betriebs- und nutzungsbedingte Anteile der THG-Emissionen (Module B6.1 und B6.3) – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude	125
Abbildung 104: Gebäudebezogene und betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile an nicht erneuerbarer Primärenergie – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude	126
Abbildung 105: Gebäudebezogene sowie betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude	127
Abbildung 106: Gebäudebezogene und betriebs- und nutzungsbedingte (Module B6.1 und B6.3) Anteile der THG-Emissionen – für die in Abschnitt 10.10 ausgewählten Gebäude ohne BIPV	128
Abbildung 107: Anforderungen GEG an Q_P und H_T^1 (Grenzwerte) und Ergebnisse gegenüber dem GEG-Referenzgebäude – für die Gebäude in Tabelle 5	130
Abbildung 108: Primärenergiebedarf Q_P und BIPV-Anrechnung – für die Gebäude in Tabelle 5	131
Abbildung 109: BIPV-Belegung und BIPV-Ertrag – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage	132
Abbildung 110: BIPV-Ertrag und Eigennutzung (Endenergie), Vergleich der drei Ansätze – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage	133

Abbildung 111: Anteil Eigennutzung, Vergleich der drei Ansätze – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage	134
Abbildung 112: Autarkiegrad, Vergleich der der zwei Ansätze mit Nutzerstrom – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage	135
Abbildung 113: Anteil Eigennutzung PV und Autarkiegrad - Regeln gem. DIN V 18599-9 – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage	136
Abbildung 114: Anteil Eigennutzung PV und Autarkiegrad - Regeln gem. QNG – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage	137
Abbildung 115: Endenergie-Bilanz inkl. Nutzerstrom und BIPV – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage	137
Abbildung 116: Deckung Bedarf (positiv) und Einspeisung PV-Strom (negativ) – für die Gebäude in Tabelle 5 mit PV-Anlage	138
Abbildung 117: Anteil Eigennutzung und Autarkiegrad, ohne und mit Batteriespeicher - EFH (1 WE)	140
Abbildung 118: Anteil Eigennutzung und Autarkiegrad, ohne und mit Batteriespeicher - MFH (6 WE)	140
Abbildung 119: Anteil Eigennutzung und Autarkiegrad, ohne und mit Batteriespeicher - MFH (12 WE)	141
Abbildung 120: Endenergiebedarf Strom Gebäude Q_f [kWh/(m ² a)] Mehrfamilienhaus 40-MFH-3-KG-KS für verschiedene Klimadaten	142
Abbildung 121: Erzeugte elektr. Energie $Q_{f,prod,BIPV,a}$ [kWh/(m ² a)] Mehrfamilienhaus 40-MFH-3-KG-KS für verschiedene Klimadaten	143
Abbildung 122: Bilanz Strombedarf, Nutzerstrom und Selbstnutzung BIPV [kWh/(m ² a)] Mehrfamilienhaus 40-MFH-3-KG-KS für verschiedene Klimadaten	144
Abbildung 123: Endenergiebedarfe Q_f [kWh/(m ² a)] ausgewählter Gebäude für verschiedene Klimadaten	145
Abbildung 124: Skizze des Raummodells „zen1.5b_1.5t_breit“	146
Abbildung 125: Heizwärmebedarfe und Kühllkältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset in Tabelle 11	149
Abbildung 126: Heizwärmebedarfe und Kühllkältebedarfe (links: ideale Kühlung auf 26 °C, rechts: ideale Kühlung auf 22 °C) für das Parameterset wie in Tabelle 11, jedoch ohne Nachtlüftung.	150
Abbildung 127: Größe der ausgewählten Gebäude nach m ² NRF	154
Abbildung 128: Werte der Gebäude mit verschiedenen Datenbanken für PE ne mit BIPV	155
Abbildung 129: Werte unter Nutzung aktueller und künftiger Datengrundlagen bei Gebäuden mit BIPV-Anlage für GWP gesamt	156
Abbildung 130: Differenz aktueller und zukünftiger Werte des GWP bei Gebäuden mit BIPV-Anlage	156
Abbildung 131: Werte für das betriebsbedingte GWP bei Gebäuden mit BIPV-Anlage	157
Abbildung 132: Werte für das gebäudebezogene GWP	158
Abbildung 133: Werte des fossilen Anteils des gebäudebezogenen und betriebsbedingten Treibhauspotenzials bei Gebäuden mit BIPV-Anlage	158

Abbildung 134: Werte für das biogene Treibhauspotenzial bei Betrachtung des gebäudebezogenen und betriebs- und nutzungsbedingten Anteils von Gebäuden mit BIPV-Anlage	159
Abbildung 135 Erstaufwand (upfront emissions) zum gebäudebezogenen Anteil der Treibhausgasemissionen fossiler Anteil bei Gebäuden mit PV-Anlage	163
Abbildung 136 Anteil der upfront emissions an der Summe der gebäudebezogenen fossilen THG-Emissionen Modul A-C bei Gebäuden mit PV-Anlage	164
Abbildung 137 Anteil der upfront emissions an den gesamten gebäudebezogenen sowie betriebs- und nutzungsbedingten fossilen THG-Emissionen bei Gebäuden mit PV-Anlage	165
Abbildung 138 Erstaufwand für die Module A1-A3, unterteilt in GWP fossil und GWP biogen	165
Abbildung 139: Schematische Darstellung von Grundflächen nach einem Mehrfamilienhaus nach DIN277 (Stoy, et al., 2015)	170
Abbildung 140: Schematische Darstellung der Wohnfläche und andere Flächen eines Mehrfamilienhauses (Kalusche, 2024)	171
Abbildung 141: Energieeffizienzklassen von Haushaltsgeräten, gültig seit 2001	186
Abbildung 142: Ergebnisse des verbrauchten Haushaltsstroms nach Stromspiegel	188
Abbildung 143: Häufigkeitsverteilung des flächenspezifischen Strombedarfs in kWh/m ² Wohnfläche und Jahr in 2 Kommunen (Köhler, 2023)	190
Abbildung 144: Emissionsfaktoren über den Betrachtungszeitraum 2025 bis 2075	201
Abbildung 145: Bedarfsentwicklung für die Elemente B6.1.1 bis B6.1.4 und B6.3.1 über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, kumulierte Darstellung	204
Abbildung 146: Bilanzierter Strombedarf, PV-Ertrag und Eigennutzung über den Betrachtungszeitraum	205
Abbildung 147: Entwicklung von Eigennutzungsanteil und Autarkiegrad über den Betrachtungszeitraum	205
Abbildung 148: Ergebnisse der betriebsbedingten Treibhausgasemissionen (Modul B6) sowie für die potenziell bei Dritten vermiedenen Treibhausgasemissionen (Modul D2)	206
Abbildung 149: Absenkpfad der betriebsbedingten Treibhausgasemissionen im Vergleich zu dem aktuellen QNG-Anforderungswert in Höhe von 24 kg CO ₂ e/(m ² a).	207
Abbildung 150: Bedarfsentwicklung für die Elemente B6.1.1 bis B6.1.5 und B6.3.1 über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, kumulierte Darstellung	209
Abbildung 151: Absenkpfad der betriebsbedingten Treibhausgasemissionen für den ungekühlten und gekühlten Fall im Vergleich zu dem aktuellen QNG-Anforderungswert in Höhe von 24 kg CO ₂ e/(m ² NRF a).	210

Tabellen

Tabelle 1 Übersicht zu Nachhaltigkeitsbewertungs- und Zertifizierungssystemen	26
Tabelle 2: Untersuchungsobjekte	34
Tabelle 3: Untersuchungsobjekte mit Untersuchungsgegenstand	35
Tabelle 4: Systematik der Codierung der Untersuchungsobjekte	35
Tabelle 5: Untersuchte Gebäude	36
Tabelle 6 Übersicht Anzahl der Gebäude mit Erreichung der QNG-Grenzwerte nach alter und neuer Berechnung	63
Tabelle 7: Übersicht Unterschiede zwischen generischen und spezifischen Daten bei den THG-Emissionen	97
Tabelle 8: Unterschiede der Bauweisen bezogen auf gebäudebezogenes Treibhauspotenzial in kg CO ₂ e/(m ² NRF a) ohne BIPV	103
Tabelle 9: Technische Installationen im Außenbereich	106
Tabelle 10: Übersicht Kennwerte Gebäude für Variation BIPV-Module.	139
Tabelle 11: Parameterset zu Auswertungen in Abbildung 125	147
Tabelle 12: Übersicht Werte Treibhauspotenzial in kg CO ₂ e/kWh.	152
Tabelle 13 Begriffe und Definitionen zu Flächenarten im Kontext von Energiekennwerten nach EPBD	168
Tabelle 14 Begriffe und Definitionen zu Flächenarten im Kontext von Energiekennwerten	168
Tabelle 15: Begriffe und Definitionen zu sonstigen Flächenarten bei Wohnbauten	169
Tabelle 16: Flächenverhältnisse zur Umrechnung von NUF in BGF nach BKI (Stoy, et al., 2015)	170
Tabelle 17: Faktoren zur Umrechnung von NUF in BGF nach BKI (Kalusche, 2024)	171
Tabelle 18: Trends beim Einsatz von Haushaltsgeräten (UBA)	186
Tabelle 19: Haushaltsstrom Angaben zum jährlichen Verbrauch in kWh/m ²	189
Tabelle 20: Übersicht über die Entwicklung der DWD-TRY-Datensätze	193
Tabelle 21: Unterschiede Rechenregeln GEG- und EH-Nachweis gegenüber QNG-Nachweis (KfW)	197
Tabelle 22: Tägliche Stundenzahl mit relevanter solarer Einstrahlung t _{d,PV} [h/d], DIN V 18599-10	202
Tabelle 23: Tabellarische Auswertungen zur Entwicklung von Energiebedarf und THG-Emissionen - ohne Kühlung	203
Tabelle 24: Tabellarische Auswertungen zur Entwicklung von Energiebedarf und THG-Emissionen - mit Kühlung	208
Tabelle 25: Morphologischer Kasten zur Beschreibung von Optionen bei der Ausgestaltung von Bilanzierungsregeln zur Ermittlung von THG-Emissionen – ohne Empfehlungen	228
Tabelle 26: Morphologischer Kasten zur Beschreibung von Optionen bei der Ausgestaltung von Bilanzierungsregeln zur Ermittlung von THG-Emissionen – mit Empfehlungen	229

Anhang 1 Vergleich von Primärenergie- /Emissionsfaktoren

Veranlassung

Die Ergebnisse einer Ökobilanz werden stark durch die verwendeten Daten beeinflusst. Dazu zählen u.a. die Primärenergie- und Emissionsfaktoren der Energieversorgung. Bei Strom ergeben sich durch die voranschreitende Dekarbonisierung häufige Änderungen. Vergleichbar einem Preisstand bei der Ermittlung von Baukosten muss daher im Interesse einer Vergleich- und Interpretierbarkeit von Ökobilanzergebnissen die Quelle der Faktoren inkl. von Angaben zur zeitlich-räumlichen Gültigkeit dokumentiert werden. Es muss weiterhin angegeben werden, ob und inwieweit die Vorketten berücksichtigt wurden. Gemäß der Anforderung zur weiteren Aufschlüsselung des GWP100 in GWP fossil, GWP, biogenic und GWP luluc muss ebenso angegeben werden, ob es sich um die Gesamtsumme GWP total oder um eine entsprechende Teilgröße handelt. Nachstehend werden Angaben aus unterschiedlichen Quellen vorgestellt und kommentiert.

1. Daten aus dem GEG

Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden* (Gebäudeenergiegesetz - GEG) Anlage 4 (zu § 22 Absatz 1) Primärenergiefaktoren			
(Fundstelle: BGBl. I 2020, 1775)			
Nummer	Kategorie	Energieträger	Primärenergiefaktoren nicht erneuerbarer Anteil
1	Fossile Brennstoffe	Heizöl	1,1
2		Erdgas	1,1
3		Flüssiggas	1,1
4		Steinkohle	1,1
5		Braunkohle	1,2
6	Biogene Brennstoffe	Biogas	1,1
7		Bioöl	1,1
8		Holz	0,2
9	Strom	netzbezogen	1,8
10		gebäudenah erzeugt (aus Photovoltaik oder Windkraft)	0,0
11		Verdrängungsstrommix für KWK	2,8
12		Erdwärme, Geothermie, Solarthermie, Umgebungswärme	0,0
13	Wärme, Kälte	Erdkälte, Umgebungskälte	0,0
14		Abwärme	0,0

Quelle: https://www.gesetze-im-internet.de/geg/anlage_4.html

2. Angabe in Energieverbrauchsausweisen

Die mit dem Gebäudebetrieb verbundenen Treibhausgasemissionen berechnen sich als Summe der Energieverbrauchswerte aus dem Energieverbrauchsausweis bezüglich der einzelnen Energieträger, jeweils multipliziert mit den entsprechenden Emissionsfaktoren nach Nummer 3.

3. Emissionsfaktoren

Nummer	Kategorie	Energieträger	Emissionsfaktor [g CO ₂ -Äquivalent pro kWh]
1	Fossile Brennstoffe	Heizöl	310
2		Erdgas	240
3		Flüssiggas	270
4		Steinkohle	400
5		Braunkohle	430
6	Biogene Brennstoffe	Biogas	140
7		Biogas, gebäudenah erzeugt	75
8		Biogenes Flüssiggas	180
9		Bioöl	210
10		Bioöl, gebäudenah erzeugt	105
11	Strom	Holz	20
12		netzbezogen	560
13		gebäudenah erzeugt (aus Photovoltaik oder Windkraft)	0
14		Verdrängungsstrommix	860

Quelle: https://www.gesetze-im-internet.de/geg/anlage_9.html

Ein Primärenergiefaktor von Null sowie ein Emissionsfaktor von Null für PV-Strom deuten darauf hin, dass bei diesen Werten die Vorketten (u.a. graue Emissionen für die Herstellung der Anlagen) nicht berücksichtigt wurden. Eine Berücksichtigung von Vorketten ist jedoch eines der Grundprinzipien einer Ökobilanz.

Im QNG wird dies jedoch dahingehend berücksichtigt, dass graue Energie und graue Emissionen der PV-Anlage anteilig dem Gebäude bzw. dem an Dritte gelieferten Strom zugeordnet werden. Dessen Primärenergie- und Emissionsfaktor ist damit in keinem Fall Null. Es muss beim Netzstrom davon ausgegangen werden, dass hier die Anteile für graue Energie und graue Emissionen infolge der Vorketten fehlen.

Für Netzstrom wird ein Emissionsfaktor für THG-Emissionen von **560 g CO₂-Äquivalente /kWh** angegeben.

2. Daten des BAFA

Tabelle 2: CO₂-Faktoren der Energieträger

Energieträger	Einheit	CO ₂ -Faktor
Altöl	tCO ₂ /MWh	0,288
Biodiesel ⁵	tCO ₂ /MWh	0,070
Bioethanol ⁵	tCO ₂ /MWh	0,043
Biogas ⁵	tCO ₂ /MWh	0,152
Biomasse Holz, trocken <20% Restfeuchte ⁶	tCO ₂ /MWh	0,027
Braunkohle	tCO ₂ /MWh	0,383
Deponiegas	tCO ₂ /MWh	0,05
Erdgas	tCO ₂ /MWh	0,201
Flüssiggas	tCO ₂ /MWh	0,239
Heizöl leicht / Diesel	tCO ₂ /MWh	0,266
Heizöl schwer	tCO ₂ /MWh	0,288
Klärgas	tCO ₂ /MWh	0,05
Klärschlamm	tCO ₂ /MWh	0,010
Nah- / Fernwärme	tCO ₂ /MWh	0,280
Pellets	tCO ₂ /MWh	0,036
Prozessdampf	tCO ₂ /MWh	0,396
Rohbenzin	tCO ₂ /MWh	0,264
Steinkohle	tCO ₂ /MWh	0,335
El. Strom (Effizienzmaßnahme) ⁷	tCO ₂ /MWh	0,435
El. Strom (Energieträgerwechsel zu Strom) ⁸	tCO ₂ /MWh	0,107
El. Strom (Wechsel zu Erneuerbaren Quellen) ⁹	tCO ₂ /MWh	0
Wasserstoff	tCO ₂ /MWh	0,385
Wasserstoff (Erneuerbare Quelle) ¹⁰	tCO ₂ /MWh	0

Quelle: Informationsblatt CO₂-Faktoren 2024, BAFA

Emissionsfaktoren für CO₂ sind für Betrachtungen zu Treibhausgasemissionen nicht geeignet. Sie sind ca. 20% niedriger. Ein Emissionsfaktor von Null bei erneuerbarer Energie deutet auf das Vernachlässigen der Vorketten hin.

3. Daten des UBA

„Die Erzeugung einer Kilowattstunde Strom verursachte 2022 durchschnittlich **434 Gramm CO₂**. In 2021 lag dieser Wert bei **410** und in 2020 bei **369** Gramm pro Kilowattstunde. Generell wirkte sich der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien positiv auf die Emissionsentwicklung der Stromerzeugung aus und trug wesentlich zur Senkung der spezifischen Emissionsfaktoren im Strommix bei. Die wirtschaftliche Erholung nach dem Pandemiejahr 2020 und die witterungsbedingte geringere Windenergieerzeugung führten zu einer vermehrten Nutzung emissionsintensiver Kohle zur Verstromung, wodurch sich die spezifischen Emissionsfaktoren im Jahr 2021 erhöhten. Diese Trendwende setzte sich im Jahr 2022 durch den verminderten Einsatz von emissionsärmeren Brennstoffen für die Stromproduktion und dem dadurch bedingten höheren Anteil von Kohle fort.“

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-stiegen-in>

Jahr	Kohlendi-oxidemissionen der Stromerzeugung ¹ [Mio. t]	Stromverbrauch ² [TWh]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strommix ³ [g/kWh]	Stromverbrauch unter Berücksichtigung des Stromhandelsaldos ⁴ [TWh]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch ⁵ [g/kWh]	Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelsaldos ⁶ [Mio. t]	THG-Emissionsfaktor ohne Vorketten [g CO ₂ -Äquivalente /kWh]	THG-Emissionsfaktor mit Vorketten [g CO ₂ -Äquivalente /kWh]	THG-Emissionen der Stromerzeugung [Mio. t CO ₂ -Äquivalente] ⁷
1990	366	479	764	480	763	367	769	860	369
2016	303	581	522	530	572	277	531	595	309
2017	285	584	488	531	537	259	498	557	290
2018	271	573	472	525	516	248	481	538	276
2019	222	543	408	511	434	208	416	473	226
2020	187	513	364	494	378	180	373	429	191
2021	214	526	407	508	422	207	416	473	219
2022*	221	515	429	488	453	209	439	498	226
2023**	173	454	380	465	371	177	388	445	176

*vorläufig, ** geschätzt

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnung April 2024

Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/23_2024_cc_strommix.pdf

Deutlich wird der Unterschied (Beispiel 2023) zwischen einem Emissionsfaktor für CO₂ ohne Vorketten von **380 g CO₂/kWh** und einem Emissionsfaktor für Treibhausgase mit Vorketten von **445 g CO₂-Äquivalenten/kWh**.

Tabelle III-1

Emissionsfaktoren einschließlich Vorketten für den aus dem allgemeinen Netz bezogenen Strom (allgemeiner Strommix) sowie für eigenerzeugten Strom aus erneuerbaren Energien

Energieträger	Emissionsfaktor in g CO ₂ äq/kWh ¹
Allgemeiner Strommix	551
Biogener Anteil des Abfalls	1
Deponiegas	124
Klärgas	124
Biogas	341
Flüssige Biomasse	252
Feste Biomasse	72
Tiefengeothermie	177
Photovoltaik	67
Windenergie offshore	6
Windenergie onshore	10
Wasserkraft	4

¹ Daten der Tabellen III-1 bis III-3 basieren auf UBA: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger – Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2018, Climate Change 37/2019. Dabei entspricht: 1 g/CO₂äq/kWh = 1 kg CO₂äq/MWh = 1 t CO₂äq/GWh.

Tabelle III-3

Vermeidungsfaktoren für Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (in g CO₂äq pro kWh)

Energieträger	Vermeidungsfaktor in g CO ₂ äq/kWh
Biogener Anteil des Abfalls	733
Deponiegas	612
Klärgas	613
Biogas	394
Flüssige Biomasse	536
Feste Biomasse	665
Tiefengeothermie	556
Photovoltaik	627
Windenergie offshore	701
Windenergie onshore	693
Wasserkraft	736

Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_fb_weg_zur_treibhausgasneutralen_verwaltung_bf.pdf

Auch die Angaben in Publikationen des UBA weichen voneinander ab. Obige Werte entsprechen dem Stand von 2018. Der Emissionsfaktor für Netzstrom wird hier inkl. Vorketten mit **551 g CO₂-Äquivalenten/kWh** angegeben und entspricht etwa dem Wert für 2018 in der ersten Tabelle im Abschnitt zu Daten des UBA. Deutlich wird jedoch, dass bei Einbeziehung der Vorketten der Emissionsfaktor für (extern bezogenen) PV-Strom nicht Null ist!

UBA gibt in obiger Tabelle Werte für Vermeidungsfaktoren vor. Die Werte liegen zwischen **394 und 736 g CO₂-Äquivalenten/kWh**, davon für PV bei **627 g CO₂-Äquivalente/kWh**. Die Systemgrenzen werden nicht beschrieben und müssen geprüft werden. Ggf. werden graue Emissionen berücksichtigt. Im QNG werden die grauen Emissionen anteilig dem Gebäude zugeordnet. Im GEG wird ein allgemeiner Verdrängungstrommix von **860 g CO₂-Äquivalenten/kWh** angegeben.

4. Daten der ÖKOBAUDAT 2020-II

Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes und sonstige Umweltinformationen			
Indikator ☺	Richtung ☺	Einheit ☺	Energieeinsatz B6
Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	Input	MJ	4.495
Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	Input	MJ	0
Total erneuerbare Primärenergie (PERT)	Input	MJ	4.495
Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	Input	MJ	6.596
Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	Input	MJ	0
Total nicht-erneuerbare Primärenergie (PENRT)	Input	MJ	6.596

Indikatoren für die Umweltwirkung		
Indikator ☺	Einheit ☺	Energieeinsatz B6
Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO2 Äquiv.	0.5894

Quelle: https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU_DAT/datasetdetail/process.xhtml?uid=c869c47e-ce43-45b4-b640-b0cd1746e450&version=20.19.120

Der Datensatz aus dem Jahr 2018 hat eine Gültigkeit bis ins Jahr 2022. Angegeben wird ein Emissionsfaktor inkl. Vorketten von **589 g CO₂-Äquivalenten/kWh**. Dieser Wert ist selbst für Werte aus dem Jahr 2018 höher als Angaben vom UBA.

Angaben bei RECHENWERTEN zur ÖKOBAUDAT

Teil B: Tabelle 1.2. Rechenwerte für Prozesse und Dienstleistungen					
CODE	Datensatzbezeichner	deklarierte Einheit	Indikatorenwerte		
			PENRT B6 MJ	GWP B6 kg CO ₂ -Äquival.	GWP D2 kg CO ₂ -Äquival.
B Prozesse					
b 1	Nutzung - 1 kWh Endenergie aus Gas Brennwert (entspr. EnE	kWh	3,9255902	0,2348049	
b 2	Nutzung - 1 kWh Endenergie aus Gas Niedertemperatur (entspr. EnE	kWh	3,9255902	0,2338668	
b 3	Nutzung - 1 kWh Endenergie aus Hackschnitzeln (entspr. EnE	kWh	0,0662346	0,0076469	
b 4	Nutzung - 1 kWh Endenergie aus Holzpellets (entspr. EnEV)	kWh	0,2722469	0,0210824	
b 5	Nutzung - 1 kWh Endenergie aus Öl Niedertemperatur und Br	kWh	4,1915507	0,2995677	
b 6	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Biogas mit KWK	kWh	0,2734621	0,0562922	
b 7	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Biomasse (fest) mit KWK	kWh	0,1168061	0,0115259	
b 8	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Braunkohle mit KWK	kWh	2,7158497	0,3062231	
b 9	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Erdgas mit KWK	kWh	2,4563571	0,1477656	
b 10	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Heizöl (leicht) mit KWK	kWh	2,5193983	0,1888197	
b 11	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Steinkohle mit KWK	kWh	2,8913647	0,2841302	
b 12	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Biogas ohne KWK	kWh	0,8528534	0,1755732	
b 13	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Biomasse (fest) ohne KWK	kWh	0,2567541	0,0253331	
b 14	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Braunkohle ohne KWK	kWh	4,7044418	0,530446	
b 15	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Erdgas ohne KWK	kWh	4,8350355	0,2908654	
b 16	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Heizöl (leicht) ohne KWK	kWh	5,5678702	0,4172915	
b 17	Nutzung - 1 kWh Fernwärme aus Steinkohle ohne KWK	kWh	5,5685761	0,5472028	
b 18	Nutzung - 1 kWh nationaler Netzstrommix	kWh	6,702035	0,53203	
	Angabe exportierte Energie von PV-Anlagen (Verdrängungsstrommix für PV aus DIN 18599-1:2018-09, Tabelle A.1)	kWh			0,55

Quelle: <https://www.qng.info/qng/qng-anforderungen/qng-siegeldokumente/>

Bei den Rechenwerten wird ein Wert von **532 g CO₂-Äquivalenten/kWh** angegeben. Das Alter der Quelle sollte geprüft werden.

5. Für aktuelle Berechnungen im Projekt verwendete Daten

The screenshot shows the LEGEP software interface. On the left, a tree view lists various data sets under the category '9.2.05 Strom für Gebäudebetrieb 2021'. On the right, a table displays environmental indicators and their values. The table has columns for 'Indikator', 'Einheit', 'Herstellung A1-A3', and 'E A'. The indicators listed include 'Globales Treibhauspotential (GWP)', 'Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht (DOP)', and 'Versauerungspotential (AP)'. Values are provided in kg CO2-Äquival or kg SO2-Äquival.

Quelle: Auszug aus Hintergrunddaten zu LEGEP

Deutlich wird, dass die Daten für Strom bereits unterteilt sind in Werte für GWP fossil, GWP biogenic und GWP luluc. Der Wert für GWP luluc ist extrem klein und kann praktisch vernachlässigt werden. Der Wert für GWP biogenic ist ebenfalls sehr klein, jedoch ein Grund für Unterschiede zwischen GWP bzw. GWP total und GWP fossil. Der Wert für GWP total liegt hier für das Jahr 2021 bei **402 g CO₂-Äquivalenten/kWh** und für GWP fossil bei **395 g CO₂-Äquivalenten/kWh**. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Werte mit Stand Sommer 2024 geringer sind. UBA schätzt jedoch den Wert für 2023 für GWP total auf **445 g CO₂-Äquivalenten/kWh**.

Schlussfolgerung und Empfehlung

Das Vorhandensein unterschiedlicher Primär- und Emissionsfaktoren in Quellen, die als „offiziell“ gelten können, ist unbefriedigend, beschädigt das Vertrauen in Datengrundlagen und erschwert die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Ökobilanzen.

Die Angabe von einheitlichen Rechenwerten u.a. für den nationalen Strommix in g CO₂-Äquivalenten / kWh Strom wird dringend empfohlen. Für diesen Wert wird zusätzlich ein allgemein anerkannter Absenkpfad benötigt.

Wird eine gesonderte Betrachtung von erneuerbarer Energie (außer ggf. Direktbezug) zugelassen, muss ein verbleibender Mix (Residualmix) für die Bestimmung des Emissionsfaktors herangezogen werden.

Anhang 2 Darstellungsmöglichkeiten zur VoBi

Im Bericht zum Forschungsprojekt wurden Notwendigkeit und Möglichkeit eines Übergangs von statischen zu dynamischen Betrachtungen bei einer Bilanzierung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden diskutiert. Die Notwendigkeit ergibt sich aus der voranschreitenden Dekarbonisierung der Energieversorgung sowie der Bauproduktherstellung. Es wurde u.a. vorgeschlagen, in Anlehnung an einen Vollständigen Finanzplan, der in der Immobilienwirtschaft zur Darstellung von Zeitpunkten der Ein- und Auszahlungen über einen Betrachtungszeitraum hinweg verwendet wird, eine Vollständige Bilanzierung (VoBi) zu erproben. Im Bericht selbst erfolgte dazu eine komprimierte Darstellung.

Um die komplette Matrix einer VoBi über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren anzugeben und als Darstellungsmöglichkeit vorzustellen, wird nachstehend ein Beispiel gezeigt. Behandelt werden hier die betriebs- und nutzungsbedingten Treibhausgasemissionen. Angegebene Werte beruhen auf Annahmen und Szenarien, im Vordergrund steht die Illustration der Vorgehensweise und Darstellungsart. Die Berechnungen wurden von IBH ausgeführt und setzen einen Vorschlag von T. Lützkendorf um.

Eine komplette VoBi würde zusätzlich die gebäudebezogenen Treibhausgasemissionen enthalten. Damit werden neben dem Erstaufwand im Jahr 1 auch die Zeitpunkte und Emissionsmengen im Zusammenhang mit Ersatzinvestitionen sowie die im Zusammenhang mit dem modellierten Ende des Betrachtungszeitraums ablesbar. Sollten Werte vorliegen, die auf der Basis von Absenkpfeilen für Treibhausgasemissionen der Herstellung einzelner Bauprodukte entsprechende Werte prognostizieren, kann auch hier zu einer dynamischen Betrachtung übergegangen werden.

Aus einer VoBi kann u.a. abgelesen werden, ob und wann der Zustand der Treibhausgasneutralität erreicht wird bzw. im welchem Umfang Ausgleichs- und Kompensationsmaßnahmen, die zu negativen Emissionen führen, ergriffen werden müssen. Ziel ist dann der Nachweis der Netto-Treibhausgasneutralität.

Tabellarische Auswertungen zur Entwicklung von Energiebedarf und THG-Emissionen - ohne Kühlung

Modul	Endenergiebedarf Strom	Einheit	2010	...	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049		
B6.1	B 6.1.1	Heizung	[kWh/a]	2.087	...	1.911	1.899	1.887	1.876	1.864	1.852	1.840	1.829	1.817	1.805	1.793	1.782	1.770	1.758	1.746	1.734	1.723	1.711	1.699	1.687	1.676	1.664	1.652	1.640	1.629	
	B 6.1.2	Warmwasserbereitung	[kWh/a]	4.714	...	4.654	4.650	4.646	4.642	4.638	4.634	4.630	4.626	4.622	4.618	4.614	4.610	4.606	4.602	4.598	4.594	4.590	4.586	4.582	4.578	4.574	4.570	4.566	4.562	4.558	
	B 6.1.3	Lüftung	[kWh/a]	1.207	...	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	
	B 6.1.4	Hilfsenergie	[kWh/a]	231	...	220	219	218	218	218	217	216	216	215	214	214	213	212	211	211	210	209	209	208	207	206	206	205	204	204	203
	B 6.1.5	Kühlung	[kWh/a]	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B6.2	B 6.2.1	Aufzüge	[kWh/a]	nicht relevant																											
	B 6.2.2	Innen-/Aussenbeleuchtung	[kWh/a]	nicht relevant																											
	B 6.2.3	Gebäudeautomation	[kWh/a]	nicht relevant																											
B6.3	B 6.3.1	Nutzerstrom	[kWh/a]	8.683	...	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	
B8	B 8	Nutzer - sonstiges (z.B. E-Auto)	[kWh/a]	nicht relevant																											
	B6 (+ B8)	Summe Strombedarf	[kWh/a]	16.921	...	16.675	16.658	16.642	16.625	16.609	16.592	16.576	16.559	16.543	16.526	16.510	16.493	16.477	16.460	16.444	16.428	16.411	16.395	16.378	16.362	16.345	16.329	16.312	16.296	16.279	
Lokale Stromerzeugung mit BIPV																															
		Ertrag	[kWh/a]	9.037	...	9.105	9.110	9.114	9.119	9.123	9.128	9.132	9.137	9.141	9.146	9.150	9.155	9.159	9.164	9.168	9.173	9.177	9.182	9.186	9.191	9.195	9.200	9.204	9.209	9.214	
		Eigennutzung	[kWh/a]	5.398	...	5.372	5.370	5.369	5.367	5.365	5.363	5.362	5.360	5.358	5.356	5.355	5.353	5.351	5.349	5.348	5.346	5.344	5.342	5.341	5.339	5.337	5.335	5.334	5.332	5.330	
(D2)		an Dritte gelieferter Anteil	[kWh/a]	3.639	...	3.733	3.739	3.746	3.752	3.758	3.764	3.771	3.777	3.783	3.789	3.796	3.802	3.808	3.814	3.821	3.827	3.833	3.839	3.846	3.852	3.858	3.864	3.871	3.877	3.883	
		Eigennutzungsanteil	[%]	60	...	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	
		Autarkiegrad	[%]	32	...	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
Lokale Stromerzeugung mit KWK																															
		Erzeugung	[kWh/a]	nicht relevant																											
		Eigennutzung	[kWh/a]	nicht relevant																											
(D2)		an Dritte geliefert	[kWh/a]	nicht relevant																											
Emissionsfaktoren																															
				2023																											
		Netzstrom	[g CO _{2e} /kWh]	400	...	374	348	322	296	270	258	247	235	223	211	200	188	176	164	153	141	129	117	106	94	82	70	59	47		
		Sondervertrag	[g CO _{2e} /kWh]	nicht berücksichtigt																											
		PV-Strom (Selbstnutzung)	[g CO _{2e} /kWh]	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		PV-Strom (exportierter Strom)	[g CO _{2e} /kWh]	nicht berücksichtigt																											
		Strom aus eigener KWK	[g CO _{2e} /kWh]	nicht relevant																											
		Nah- und Fernwärme	[g CO _{2e} /kWh]	nicht relevant																											
		Verdrängungsstrom	[g CO _{2e} /kWh]	860	...	803	774	745	717	688	659	631	602	573	545	516	487	459	430	401	373	344	315	287	258	229	201	172	143	115	
Deckung des Strombedarf																															
		Eigengenutzter Solarstrom	[kWh/a]	5.398	...	5.372	5.370	5.369	5.367	5.365	5.363	5.362	5.360	5.358	5.356	5.355	5.353	5.351	5.349	5.348	5.346	5.344	5.342	5.341	5.339	5.337	5.335	5.334	5.332		
		Eigengenutzter KWK-Strom	[kWh/a]	nicht relevant																											
		Bezug über Sondervertrag	[kWh/a]	nicht berücksichtigt																											
		Verbleibender Bezug von Netzstrom	[kWh/a]	11.276	...	11.286	11.271	11.257	11.242	11.227	11.212	11.198	11.183	11.168	11.154	11.139	11.124	11.109	11.095	11.080	11.065	11.050	11.036	11.021	11.006	10.992	10.977	10.962	10.947		
Treibhausgasemissionen																															
B6 (+ B8)		Bilanz (bereinigt) ohne Kühlung	[kg CO _{2e} /a]	4.511	...	4.221	3.922	3.625	3.328	3.031	2.896	2.760	2.625	2.491	2.356	2.222	2.089	1.955	1.822	1.690	1.557	1.426	1.294	1.163	1.032	901	771	641	512		
D2		informativ: bei Dritten	[kg CO _{2e} /a]	2.996	...	2.894	2.792	2.689	2.586	2.482	2.378	2.274	2.169	2.064	1.959	1.853	1.747	1.640	1.533	1.426	1.319	1.211	1.102	994	885	775	666	556	445		
		potenziell vermieden																													
		informativ: exportierter Strom		nicht berücksichtigt																											
spezifische Treibhausgasemissionen																															
B6 (+ B8)		Emissionen betriebsbedingt	[kg CO _{2e} / (m ² NRF a)]	10,4	...	9,7	9,0	8,3	7,7	7,0	6,7	6,4	6,0	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	3,9	3,6	3,3	3,0	2,7	2,4	2,1	1,8	1,5	1,2		

Fortsetzung tabellarische Auswertungen zur Entwicklung von Energiebedarf und THG-Emissionen - ohne Kühlung

Modul	Endenergiebedarf	Strom	Einheit	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	
B6.1	B 6.1.1	Heizung	[kWh/a]	1.617	1.605	1.593	1.582	1.570	1.558	1.546	1.535	1.523	1.511	1.499	1.488	1.476	1.464	1.452	1.440	1.429	1.417	1.405	1.393	1.382	1.370	1.358	1.346	1.335	1.323	
	B 6.1.2	Warmwasserbereitung	[kWh/a]	4.554	4.550	4.546	4.542	4.538	4.534	4.530	4.526	4.522	4.518	4.514	4.510	4.506	4.502	4.498	4.494	4.490	4.486	4.482	4.478	4.474	4.470	4.466	4.462	4.458	4.454	
	B 6.1.3	Lüftung	[kWh/a]	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207
	B 6.1.4	Hilfsenergie	[kWh/a]	202	201	201	200	199	199	198	197	197	196	195	194	194	193	192	192	191	190	189	189	188	187	187	186	185	184	184
	B 6.1.5	Kühlung	[kWh/a]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B6.2	B 6.2.1	Aufzüge	[kWh/a]																											
	B 6.2.2	Innen-/Aussenbeleuchtung	[kWh/a]																											
	B 6.2.3	Gebäudeautomation	[kWh/a]																											
B6.3	B 6.3.1	Nutzerstrom	[kWh/a]	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	
B8	B 8	Nutzer - sonstiges (z.B. E-Auto)	[kWh/a]																											
	B6 (+ B8)	Summe Strombedarf	[kWh/a]	16.263	16.246	16.230	16.214	16.197	16.181	16.164	16.148	16.131	16.115	16.098	16.082	16.065	16.049	16.032	16.016	15.999	15.983	15.967	15.950	15.934	15.917	15.901	15.884	15.868	15.851	
	Lokale Stromerzeugung mit BIPV																													
		Ertrag	[kWh/a]	9.218	9.223	9.227	9.232	9.236	9.241	9.245	9.250	9.254	9.259	9.263	9.268	9.272	9.277	9.281	9.286	9.290	9.295	9.299	9.304	9.308	9.313	9.317	9.322	9.326	9.331	
		Eigennutzung	[kWh/a]	5.329	5.327	5.325	5.323	5.322	5.320	5.318	5.316	5.315	5.313	5.311	5.309	5.308	5.306	5.304	5.302	5.301	5.299	5.297	5.296	5.294	5.292	5.290	5.289	5.287	5.285	
(D2)		an Dritte geliefert	[kWh/a]	3.889	3.896	3.902	3.908	3.914	3.921	3.927	3.933	3.939	3.946	3.952	3.958	3.965	3.971	3.977	3.983	3.990	3.996	4.002	4.008	4.015	4.021	4.027	4.033	4.040	4.046	
		Eigennutzungsanteil	[%]	58 %	58 %	58 %	58 %	58 %	58 %	58 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %	57 %		
		Autarkiegrad	[%]	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %		
	Lokale Stromerzeugung mit KWK																													
		Erzeugung	[kWh/a]																											
		Eigennutzung	[kWh/a]																											
(D2)		an Dritte geliefert	[kWh/a]																											
	Emissionsfaktoren																													
		Netzstrom	[g CO2e/kWh]	35	23	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Sondervertrag	[g CO2e/kWh]																											
		PV-Strom (Selbstnutzung)	[g CO2e/kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		PV-Strom (exportierter Strom)	[g CO2e/kWh]																											
		Strom aus eigener KWK	[g CO2e/kWh]																											
		Nah- und Fernwärme	[g CO2e/kWh]																											
		Verdrängungsstrom	[g CO2e/kWh]	86	57	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Deckung des Strombedarf																													
		Eigengenuzter Solarstrom	[kWh/a]	5.330	5.329	5.327	5.325	5.323	5.322	5.320	5.318	5.316	5.315	5.313	5.311	5.309	5.308	5.306	5.304	5.302	5.301	5.299	5.297	5.296	5.294	5.292	5.290	5.289	5.287	
		Eigengenuzter KWK-Strom	[kWh/a]																											
		Bezug über Sondervertrag	[kWh/a]																											
		Verbleibender Bezug von Netzstrom	[kWh/a]	10.933	10.918	10.903	10.888	10.874	10.859	10.844	10.830	10.815	10.800	10.785	10.771	10.756	10.741	10.726	10.712	10.697	10.682	10.668	10.653	10.638	10.623	10.609	10.594	10.579	10.564	
	Treibhausgasemissionen																													
B6 (+ B8)		Bilanz (bereinigt) ohne Kühlung	[kg CO2e/a]	383	254	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
D2		informativ: bei Dritten potenziell vermieden	[kg CO2e/a]	334	223	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		informativ: exportierter Strom																												
	spezifische Treibhausgasemissionen																													
B6 (+ B8)		Emissionen betriebsbedingt	[kg CO2e/ (i	0,9	0,6	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabellarische Auswertungen zur Entwicklung von Energiebedarf und THG-Emissionen - mit Kühlung

Modul	Endenergiebedarf Strom	Einheit	2010	...	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049		
B6.1	B 6.1.1	Heizung	[kWh/a]	2.087	...	1.911	1.899	1.887	1.876	1.864	1.852	1.840	1.829	1.817	1.805	1.793	1.782	1.770	1.758	1.746	1.734	1.723	1.711	1.699	1.687	1.676	1.664	1.652	1.640	1.629	
	B 6.1.2	Warmwasserbereitung	[kWh/a]	4.714	...	4.654	4.650	4.646	4.642	4.638	4.634	4.630	4.626	4.622	4.618	4.614	4.610	4.606	4.602	4.598	4.594	4.590	4.586	4.582	4.578	4.574	4.570	4.566	4.562	4.558	
	B 6.1.3	Lüftung	[kWh/a]	1.207	...	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	
	B 6.1.4	Hilfsenergie	[kWh/a]	231	...	220	219	218	218	218	217	216	216	215	214	214	213	212	211	211	210	209	209	208	207	206	206	205	204	204	203
	B 6.1.5	Kühlung	[kWh/a]	1.085	...	1.318	1.333	1.349	1.364	1.380	1.395	1.411	1.426	1.442	1.457	1.473	1.488	1.504	1.519	1.535	1.550	1.566	1.581	1.597	1.612	1.628	1.644	1.659	1.675	1.690	
B6.2	B 6.2.1	Aufzüge	[kWh/a]	nicht relevant																											
	B 6.2.2	Innen-/Aussenbeleuchtung	[kWh/a]	nicht relevant																											
	B 6.2.3	Gebäudeautomation	[kWh/a]	nicht relevant																											
B6.3	B 6.3.1	Nutzerstrom	[kWh/a]	8.683	...	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	
B8	B 8	Nutzer - sonstiges (z.B. E-Auto)	[kWh/a]	nicht relevant																											
	B6 (+ B8)	Summe Strombedarf	[kWh/a]	18.007	...	17.992	17.991	17.991	17.990	17.989	17.988	17.987	17.986	17.985	17.984	17.983	17.982	17.981	17.980	17.979	17.978	17.977	17.976	17.975	17.974	17.973	17.972	17.971	17.970	17.969	
Lokale Stromerzeugung mit BIPV																															
		Ertrag	[kWh/a]	9.037	...	9.105	9.110	9.114	9.119	9.123	9.128	9.132	9.137	9.141	9.146	9.150	9.155	9.159	9.164	9.168	9.173	9.177	9.182	9.186	9.191	9.195	9.200	9.204	9.209	9.214	
		Eigennutzung	[kWh/a]	5.938	...	6.028	6.034	6.039	6.045	6.051	6.057	6.063	6.069	6.075	6.081	6.087	6.093	6.099	6.105	6.111	6.117	6.123	6.129	6.135	6.141	6.147	6.153	6.159	6.165	6.171	
(D2)		an Dritte geliefert	[kWh/a]	3.099	...	3.078	3.076	3.075	3.073	3.072	3.070	3.069	3.067	3.066	3.064	3.063	3.062	3.060	3.059	3.057	3.056	3.054	3.053	3.051	3.050	3.048	3.047	3.046	3.044	3.043	
		Eigennutzungsanteil	[%]	66	...	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	
		Autarkiegrad	[%]	33	...	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	
Lokale Stromerzeugung mit KWK																															
		Erzeugung	[kWh/a]	nicht relevant																											
		Eigennutzung	[kWh/a]	nicht relevant																											
(D2)		an Dritte geliefert	[kWh/a]	nicht relevant																											
Emissionsfaktoren																															
				2023																											
		Netzstrom	[g CO _{2e} /kWh]	400	...	374	348	322	296	270	258	247	235	223	211	200	188	176	164	153	141	129	117	106	94	82	70	59	47		
		Sondervertrag	[g CO _{2e} /kWh]	nicht berücksichtigt																											
		PV-Strom (Selbstnutzung)	[g CO _{2e} /kWh]	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		PV-Strom (exportierter Strom)	[g CO _{2e} /kWh]	nicht berücksichtigt																											
		Strom aus eigener KWK	[g CO _{2e} /kWh]	nicht relevant																											
		Nah- und Fernwärme	[g CO _{2e} /kWh]	nicht relevant																											
		Verdrängungsstrom	[g CO _{2e} /kWh]	860	...	803	774	745	717	688	659	631	602	573	545	516	487	459	430	401	373	344	315	287	258	229	201	172	143	115	
Deckung des Strombedarf																															
		Eigegenutzter Solarstrom	[kWh/a]		...	5.938	6.028	6.034	6.039	6.045	6.051	6.057	6.063	6.069	6.075	6.081	6.087	6.093	6.099	6.105	6.111	6.117	6.123	6.129	6.135	6.141	6.147	6.153	6.159	6.165	
		Eigegenutzter KWK-Strom	[kWh/a]	nicht relevant																											
		Bezug über Sondervertrag	[kWh/a]	nicht berücksichtigt																											
		Verbleibender Bezug von Netzstrom	[kWh/a]		...	12.055	11.964	11.957	11.950	11.943	11.936	11.929	11.922	11.915	11.908	11.902	11.895	11.888	11.881	11.874	11.867	11.860	11.853	11.846	11.839	11.832	11.825	11.818	11.811	11.804	
Treibhausgasemissionen																															
	B6 (+ B8)	Bilanz (bereinigt) ohne Kühlung	[kg CO _{2e} /a]		...	4.822	4.475	4.161	3.848	3.535	3.223	3.081	2.939	2.797	2.656	2.514	2.373	2.232	2.091	1.950	1.810	1.669	1.529	1.389	1.249	1.109	970	830	691	552	
	D2	informativ: bei Dritten potenziell vermieden	[kg CO _{2e} /a]		...	2.470	2.381	2.292	2.202	2.113	2.024	1.935	1.847	1.758	1.669	1.581	1.492	1.404	1.315	1.227	1.139	1.051	963	875	787	699	611	524	436	349	
		informativ: exportierter Strom		nicht berücksichtigt																											
spezifische Treibhausgasemissionen																															
	B6 (+ B8)	Emissionen betriebsbedingt	[kg CO _{2e} / (m ² NRF a)]		...	11,1	10,3	9,6	8,9	8,1	7,4	7,1	6,8	6,4	6,1	5,8	5,5	5,1	4,8	4,5	4,2	3,8	3,5	3,2	2,9	2,6	2,2	1,9	1,6	1,3	

Fortsetzung tabellarische Auswertungen zur Entwicklung von Energiebedarf und THG-Emissionen - mit Kühlung

Modul	Endenergiebedarf	Strom	Einheit	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	
B6.1	B 6.1.1	Heizung	[kWh/a]	1.617	1.605	1.593	1.582	1.570	1.558	1.546	1.535	1.523	1.511	1.499	1.488	1.476	1.464	1.452	1.440	1.429	1.417	1.405	1.393	1.382	1.370	1.358	1.346	1.335	1.323	
	B 6.1.2	Warmwasserbereitung	[kWh/a]	4.554	4.550	4.546	4.542	4.538	4.534	4.530	4.526	4.522	4.518	4.514	4.510	4.506	4.502	4.498	4.494	4.490	4.486	4.482	4.478	4.474	4.470	4.466	4.462	4.458	4.454	
	B 6.1.3	Lüftung	[kWh/a]	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207
	B 6.1.4	Hilfsenergie	[kWh/a]	202	201	201	200	199	199	198	197	197	196	195	194	194	193	192	192	191	190	189	189	188	187	187	186	185	184	
	B 6.1.5	Kühlung	[kWh/a]	1.706	1.721	1.737	1.752	1.768	1.783	1.799	1.814	1.830	1.845	1.861	1.876	1.892	1.907	1.923	1.938	1.954	1.969	1.985	2.000	2.016	2.031	2.047	2.062	2.078	2.093	
B6.2	B 6.2.1	Aufzüge	[kWh/a]																											
	B 6.2.2	Innen-/Aussenbeleuchtung	[kWh/a]																											
	B 6.2.3	Gebäudeautomation	[kWh/a]																											
B6.3	B 6.3.1	Nutzerstrom	[kWh/a]	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683	8.683
B8	B 8	Nutzer - sonstiges (z.B. E-Auto)	[kWh/a]																											
	B6 (+ B8)	Summe Strombedarf	[kWh/a]	17.968	17.967	17.967	17.966	17.965	17.964	17.963	17.962	17.961	17.960	17.959	17.958	17.957	17.956	17.955	17.954	17.953	17.952	17.951	17.950	17.949	17.948	17.947	17.946	17.945	17.944	
	Lokale Stromerzeugung mit BIPV																													
		Ertrag	[kWh/a]	9.218	9.223	9.227	9.232	9.236	9.241	9.245	9.250	9.254	9.259	9.263	9.268	9.272	9.277	9.281	9.286	9.290	9.295	9.299	9.304	9.308	9.313	9.317	9.322	9.326	9.331	
		Eigennutzung	[kWh/a]	6.177	6.183	6.189	6.195	6.201	6.207	6.213	6.219	6.225	6.231	6.237	6.243	6.249	6.255	6.261	6.267	6.272	6.278	6.284	6.290	6.296	6.302	6.308	6.314	6.320	6.326	
(D2)		an Dritte geliefert	[kWh/a]	3.041	3.040	3.038	3.037	3.035	3.034	3.032	3.031	3.029	3.028	3.027	3.025	3.024	3.022	3.021	3.019	3.018	3.016	3.015	3.013	3.012	3.010	3.009	3.008	3.006	3.005	
		Eigennutzungsanteil	[%]	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	68 %	68 %	68 %	68 %	68 %	68 %	68 %	68 %	68 %	68 %	68 %	
		Autarkiegrad	[%]	34 %	34 %	34 %	34 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	
	Lokale Stromerzeugung mit KWK																													
		Erzeugung	[kWh/a]																											
		Eigennutzung	[kWh/a]																											
(D2)		an Dritte geliefert	[kWh/a]																											
	Emissionsfaktoren																													
		Netzstrom	[g CO2e/kWh]	35	23	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Sondervertrag	[g CO2e/kWh]																											
		PV-Strom (Selbstnutzung)	[g CO2e/kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		PV-Strom (exportierter Strom)	[g CO2e/kWh]																											
		Strom aus eigener KWK	[g CO2e/kWh]																											
		Nah- und Fernwärme	[g CO2e/kWh]																											
		Verdrängungsstrom	[g CO2e/kWh]	86	57	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Deckung des Strombedarf																													
		Eigengenuzter Solarstrom	[kWh/a]	6.171	6.177	6.183	6.189	6.195	6.201	6.207	6.213	6.219	6.225	6.231	6.237	6.243	6.249	6.255	6.261	6.267	6.272	6.278	6.284	6.290	6.296	6.302	6.308	6.314	6.320	
		Eigengenuzter KWK-Strom	[kWh/a]																											
		Bezug über Sondervertrag	[kWh/a]																											
		Verbleibender Bezug von Netzstrom	[kWh/a]	11.798	11.791	11.784	11.777	11.770	11.763	11.756	11.749	11.742	11.735	11.728	11.721	11.714	11.707	11.700	11.694	11.687	11.680	11.673	11.666	11.659	11.652	11.645	11.638	11.631	11.624	
	Treibhausgasemissionen																													
B6 (+ B8)		Bilanz (bereinigt) ohne Kühlung	[kg CO2e/a]	413	274	136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
D2		informativ: bei Dritten potenziell vermieden	[kg CO2e/a]	262	174	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		informativ: exportierter Strom																												
	spezifische Treibhausgasemissionen																													
B6 (+ B8)		Emissionen betriebsbedingt	[kg CO2e/ (i	1,0	0,6	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	