

Tiefenbohrung

Energetische Gebäude- und Quartiersbilanzierung bei
Anwendung von Primärenergiefaktoren und
CO₂-Äquivalenten

Tiefenbohrung

**Energetische Gebäude- und Quartiers-
bilanzierung bei Anwendung von
Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalenten**

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Methodik	5
3	Bewertungsparameter	7
3.1	Primärenergiefaktoren und Primärenergiebedarf	7
3.2	CO ₂ -Äquivalente	10
3.2.1	DIN V 18599:2018-09	11
3.2.2	Datenbank GEMIS	12
3.2.3	Datenbank ÖKOBAUDAT	15
3.2.4	Vergleich der CO ₂ -Äquivalente	18
3.2.5	CO ₂ -äquivalente Emissionen der Nah-/Fernwärme	21
3.3	Gewählte Parameter für die nachfolgenden Studien	30
3.3.1	Primärenergie	30
3.3.2	CO ₂ -Äquivalente	30
4	Bewertungsstudie Einzelgebäude	33
4.1	Festlegung des Beispielgebäudes und des energetischen Standards der Gebäudehülle	33
4.2	Auswahl der anlagentechnischen Varianten	36
4.3	Energetische Berechnung und Berechnungsergebnisse	39
4.4	Vergleich zwischen primärenergetischer und CO ₂ -Äquivalente-Bewertung	47
4.4.1	Vergleich des Primärenergiebedarfs mit dem treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarf	47
4.4.2	Gegenüberstellung der berechneten Primärenergiebedarfswerte und CO ₂ -äquivalenten Emissionen, sortiert nach der Höhe des Primärenergiebedarfs	52
4.4.3	Gegenüberstellung der berechneten Primärenergiebedarfswerte und CO ₂ -äquivalenten Emissionen, sortiert nach der Höhe der CO ₂ -äquivalenten Emissionen	54
4.5	Zusammenfassung der Bewertungsstudie Einzelgebäude	56
5	Anwendungsfall Quartier: Analyse der Ergebnisse von Primärenergie- und CO _{2,äq.} -Bewertung	61
5.1	Gesonderte Randbedingungen für die Quartiersbewertung	61
5.2	Zusammenstellung der ausgewählten Demonstrationsvorhaben	62
5.3	Ergebnisse der primärenergetischen und CO ₂ -Äquivalenz-Bewertung	70
5.4	Zusammenfassung des Anwendungsfalls Quartiere	71
6	Zusammenfassung	73
7	Ausblick	75
8	Literaturverzeichnis	77

9	Anhang	83
9.1	Hintergrundinformationen zu Primärenergiefaktoren	83
9.2	GEMIS	84
9.3	ÖKOBAUDAT	84

1 Aufgabenstellung

Laut Umweltbundesamt wird rund ein Drittel der Treibhausgasemissionen vom Gebäudebereich verursacht [1]. Der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung [2] sieht vor bis 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen. Um die ambitionierten klimapolitischen Ziele der Bundesregierung realisieren zu können, wird angestrebt als Zwischenziel für 2030 die Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich auf 70 bis 72 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr zu mindern (vgl. [2]). Dabei wird seitens der Regierung auf die Steigerung der Energieeffizienz sowie auf die Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien gesetzt. Um die Sensitivität bezüglich der Treibhausgasemissionen zu steigern und die klimapolitischen Ziele der Bundesregierung zu erfüllen, fordern einige Stakeholder (vgl. z. B. [3][4][5]) in der Novellierung des Energiesparrechts für Gebäude (Gebäudeenergiegesetz – GEG [6]), an Stelle von oder zusätzlich zu primärenergetischen Anforderungen die Anforderungsgröße Treibhausgasemissionen in Form von CO₂-äquivalenten Emissionen aufzunehmen.

In der vorliegenden Studie wird die Thematik der energetischen Gebäudebewertung im Betrieb anhand der CO₂-Äquivalente im Vergleich zum nicht erneuerbaren Anteil der Primärenergie aufgegriffen und im Rahmen der Querauswertung der Projekte im BMWi-Forschungsbereich ENERGIEWENDEBAUEN untersucht. In der Studie wird einmal anhand eines Beispielgebäudes und zusätzlich anhand der Quartiere aus EnEff:Stadt [7] untersucht, wie sich der Stellenwert von unterschiedlichen Versorgungskonzepten verändert, wenn anstatt des nicht erneuerbaren Primärenergieanteils die durch die Gebäude emittierten Treibhausgasemissionen betrachtet werden. Dadurch soll aufgezeigt werden, welche der untersuchten Anlagentechniken und -konfigurationen durch die Anforderung an CO₂-äquivalente Emissionen im Vergleich zur derzeitigen primärenergetischen Bewertung begünstigt und welche durch diese Betrachtung eher benachteiligt werden. Die Auswertung wird von der Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN durchgeführt.

2 Methodik

Die energetische Gebäudebewertung mit Hilfe des Bewertungsparameters CO₂-Äquivalente wird in Analogie zur Bewertung über den derzeitigen Bewertungsparameter Primärenergiebedarf durchgeführt. Für die Bewertung des Energiebedarfs der Nutzungsphase werden spezifische Faktoren (Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente) genutzt. Dazu werden verfügbare Informationen zu CO₂-Äquivalenten aus verschiedenen Datenquellen DIN V 18599, GEMIS, ÖKOBAUDAT zur Bewertung des Energiebedarfs der Nutzungsphase herangezogen.

Im ersten Schritt werden für Hauptenergieträger im Gebäudebereich die Primärenergiefaktoren und die CO₂-Äquivalente zusammengestellt. Bei den Primärenergiefaktoren handelt es sich in der gesamten Studie nur um deren nicht erneuerbaren Anteil.

Die Auswirkungen der Anforderungsgröße (Primärenergie oder CO_{2,äq.}-Emissionen) auf die Gebäudeperformance werden anhand von zwei unterschiedlichen Anwendungsfällen ermittelt:

1. Ein typisches Einfamilienhaus mit einer bestimmten Hüllflächenqualität wird mit unterschiedlichen Anlagenkonfigurationen bestückt und jeweils der resultierende nicht erneuerbare Primärenergiebedarf und die resultierenden CO_{2,äq.}-Emissionen ermittelt. Anhand der Ergebnisse wird untersucht, ob sich die Reihenfolge der Gebäudeeffizienz zwischen den beiden Kenngrößen verändert und ob einzelne Anlagenkonfigurationen den zulässigen Bereich der EnEV (maximal zulässiger Primärenergiebedarf bzw. mittels Referenztechnologie und passenden Gebäudehüllflächen auf CO_{2,äq.}-Emissionen umgerechnete „maximal zulässige“ CO_{2,äq.}-Emissionen) verlassen.
2. Die im Rahmen der Begleitforschung zu EnEff:Stadt querausgewerteten Demonstrationsquartiere werden zusätzlich zum Primärenergiebedarf des Quartiers auch anhand der CO_{2,äq.}-Emissionen bewertet. Hier werden Verschiebungen aufgrund der beiden Bewertungskenngrößen zwischen den unterschiedlichen Quartierskonzepten und der angestrebten bzw. erreichten Einsparung zwischen dem Ausgangszustand und Zielzustand bzw. den Messjahren analysiert.

Aus den Ergebnissen werden dann verallgemeinerbare Aussagen bezüglich der unterschiedlichen Bewertungsmethoden erarbeitet.

3 Bewertungsparameter

Die beiden für die Studie relevanten Bewertungsparameter für die Bewertung der Umweltwirksamkeit des Energiebedarfs eines Gebäudes bzw. eines Quartiers sind der nicht erneuerbare Anteil des Primärenergiefaktors zur Berechnung des Primärenergiebedarfs und das CO₂-Äquivalent zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen. Nachfolgend werden der Bewertungsparameter Primärenergiefaktor näher erläutert und die Primärenergiefaktoren aus verschiedenen Geltungszeiträumen der EnEV dargestellt sowie für den Bewertungsparameter CO₂-Äquivalent eine Übersicht der Kennwerte aus unterschiedlichen Quellen DIN V 18599-1:2018-9, GEMIS, ÖKOBAUDAT und teilweise unterschiedlichen Zeiträumen zusammengetragen.

3.1 Primärenergiefaktoren und Primärenergiebedarf

Gemäß der Energieeinsparverordnung EnEV 2016 sind für die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs die Primärenergiefaktoren für den nicht erneuerbaren Anteil nach DIN V 18599-1:2011-12 zu verwenden [8]. Die in der Studie verwendeten Begriffe Primärenergiebedarf oder Primärenergiefaktor beziehen sich immer nur auf deren nicht erneuerbaren Anteil. Laut Definition der DIN V 18599 fließen in die Bemessung der Primärenergiefaktoren sämtliche Vorketten einschließlich Material-vorleistungen und Hilfsenergie für Förderung, Aufbereitung, Umwandlung und den Transport mit ein (vgl. [9]). Außerdem ist in den Faktoren die Verteilung der betrachteten Energieträger bis zur Bilanzgrenze Gebäudehülle berücksichtigt. Da die Bilanzgrenze der Primärenergie nur bis zur Schnittstelle Gebäudehülle definiert ist, werden der Material- und der Herstellungsaufwand von Anlagentechnik am und im Gebäude (wie z. B. Heizungsanlage, Warmwasserbereitungsanlage, Solaranlage usw.) in der Ermittlung von Primärenergiefaktoren nicht berücksichtigt. Die Primärenergiefaktoren entstammen den Stammdatensätzen von GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme) und wurden heizwertbezogen ermittelt (vgl. [9]).

Der Jahresprimärenergiebedarf wird aus dem Endenergiebedarf (also der Energiemenge, die der Anlagentechnik zur Verfügung gestellt und an der „Schnittstelle“ Gebäudehülle übergeben wird) multipliziert mit dem Primärenergiefaktor ermittelt. Da der Endenergiebedarf nach dem in der DIN V 18599 angegebenen Berechnungsverfahren für alle Brennstoffe zunächst brennwertbezogen berechnet wird, ist es erforderlich diesen auf den Heizwert umzurechnen. Die heizwertbezogene Primärenergie kann nach folgender Gleichung berechnet werden (vgl. [9]). Dabei wird die nach Energieträgern getrennt summierte Endenergie auf den Heizwert umgerechnet.

$$Q_p = \sum_j \left(Q_{f,j} \cdot \frac{f_{p,j}}{f_{HS/H1,j}} \right) \quad (1)$$

mit

Q_p : heizwertbezogene Primärenergie

$Q_{f,j}$: Endenergie je nach Energieträger j auf den Brennwert bezogen

f_p : Primärenergiefaktor für den jeweiligen Energieträger j

$f_{HS/H1,j}$: Umrechnungsfaktor für die Endenergie von Brennwert auf Heizwert

In Zusammenhang mit der mehrfachen Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV) wurden auch die Primärenergiefaktoren teilweise angepasst und die Liste der Energieträger erweitert. Eine Übersicht der zeitlichen Entwicklung der Primärenergiefaktoren ist in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Gültigkeit der EnEV-Novellen bzw. vom Zeitpunkt der Gültigkeit der verschärften Anforderung (wie dies bei der EnEV 2014 der Fall ist) in Tabelle 1 gegeben. Die Primärenergiefaktoren für fossile Brennstoffe sowie für Nah- und Fernwärme aus Heizwerken und Heizkraftwerken (mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)) haben sich in der EnEV mit den Jahren nicht verändert. Mit der EnEV-Novelle im Jahr 2007 wurden zusätzlich die Primärenergiefaktoren für die Umweltenergie und mit der Novelle von 2009 Primärenergiefaktoren für die biogenen Brennstoffe Biogas und -öl ergänzt. Mit der EnEV 2014 wurde zum ersten Mal der Primärenergiefaktor für Abwärme aus Prozessen eingeführt. Die größte Dynamik ist bei der Entwicklung des Primärenergiefaktors für Strom zu erkennen. Dieser wurde wiederholt abgesenkt und liegt seit dem 1. Januar 2016 mit einem Wert von 1,8 deutlich unter dem Wert von 2014. Weiterführende Informationen zu den Normenwerken, auf welche sich die EnEV-Novellen jeweils beziehen, können dem Anhang Abschnitt 9.1 entnommen werden.

Tabelle 1: Zeitliche Entwicklung der Primärenergiefaktoren f_p für verschiedene Energieträger in Abhängigkeit des zeitlichen Inkrafttretens der EnEV-Novelle bzw. des zeitlichen Inkrafttretens der verschärften Anforderung

Energieträger		Primärenergiefaktor f_p (nicht erneuerbarer Anteil)					
		EnEV 2002	EnEV 2004	EnEV 2007	EnEV 2009	EnEV 2014	EnEV 2014 Anford. 2016
Fossile Brennstoffe	Heizöl EL	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	Erdgas H	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	Flüssiggas	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	Steinkohle	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	Braunkohle	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas	-	-	-	0,5	0,5	0,5
	Bioöl	-	-	-	0,5	0,5	0,5
	Holz	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK ¹⁾	Fossiler Brennstoff	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	Erneuerbarer Brennstoff	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	Fossiler Brennstoff	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	Erneuerbarer Brennstoff	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Strom	Strommix	3,0	3,0	2,7	2,6	2,4	1,8
	Verdrängungsstrommix	-	-	-	-	2,8	2,8
Umweltenergie	Solarenergie	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
	Erdwärme, Geothermie	-	-	-	-	0,0	0,0
	Umgebungswärme	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
	Umgebungskälte	-	-	-	-	0,0	0,0
Abwärme innerhalb des Gebäudes	Aus Prozessen	-	-	-	-	0,0	0,0

¹⁾ Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) von 70 % (vgl. z. B. [9])

3.2 CO₂-Äquivalente

Gemäß DIN V 18599 wird das CO₂-Äquivalent definiert als berechnete Stoffmasse an Treibhausgasen, welche aus dem Endenergieeinsatz an der Gebäudegrenze resultieren [10]. Außer Kohlenstoffdioxid CO₂ sind auch weitere Treibhausgase, insbesondere Methan CH₄, Distickstoffoxid N₂O (Lachgas), Schwefelhexafluorid SF₆, teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC) und perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC) am Treibhauseffekt beteiligt. Diese einzelnen Treibhausgase tragen unterschiedlich stark zum Treibhauseffekt bei. Da Kohlenstoffdioxid CO₂ eines der bekanntesten und wichtigsten Haupttreibhausgase darstellt, werden weitere klimarelevante Treibhausgase in eine äquivalente CO₂-Menge umgerechnet und auf diese Weise gemäß ihren Treibhausgaspotentialen gewichtet. Das CO₂-Äquivalent ergibt sich damit aus der Summe von Treibhausgasen nach ihrem Treibhauspotenzial. CO₂-Äquivalente für den Energieträger Strom werden in Gramm pro Kilowattstunde elektrischer Energie (g/kWh_{el}), bei allen anderen Energieträgern bezogen auf Kilowattstunde thermischer Energie (g/kWh_{th}) angegeben.

Die CO₂-äquivalenten Emissionen werden analog zum Jahres-Primärenergiebedarf aus der Summe der Endenergiebedarfe der einzelnen Energieträger bewertet mit entsprechendem CO₂-Äquivalent ermittelt. Da CO₂-Äquivalente, wie die Primärenergiefaktoren, heizwertbezogen angegeben werden, muss auch hier die Endenergie, welche in der DIN V 18599 zunächst brennwertbezogen berechnet wird, umgerechnet werden (siehe Gleichung 2).

$$m_{CO_2, \text{äq.}} = \sum_j \left(Q_{f,j} \cdot \frac{x_{CO_2, \text{äq.}, j}}{f_{HS/HI, j}} \right) \quad (2)$$

mit

$m_{CO_2, \text{äq.}}$: Gesamtmasse an CO₂-äquivalenten Emissionen

$Q_{f,j}$: Endenergie je nach Energieträger j auf den Brennwert bezogen

$x_{CO_2, \text{äq.}, j}$: CO₂-Äquivalent für den jeweiligen Energieträger j

$f_{HS/HI}$: Umrechnungsfaktor für die Endenergie von Brennwert auf Heizwert

Anders als die Primärenergiefaktoren sind die CO₂-Äquivalente für verschiedene Energieträger zu diesem Zeitpunkt noch nicht durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) geregelt. Im September diesen Jahres erschien die überarbeitete DIN V 18599 [10] und füllte diese Lücke, indem sie zusätzlich zu den Primärenergiefaktoren entsprechende CO₂-Äquivalente angibt.

Derzeit stehen in Deutschland zwei frei zugängliche Datenbanken zur Verfügung, denen CO₂-Äquivalente entnommen werden können. Beide Datenbanken finden eine breite Anwendung, allerdings in unterschiedlichem Kontext. Die Datenbank GEMIS [11] basiert auf Stoff- und Energieflussmodellen und bietet v. a. nutzungsbezogene Umweltinformationen in verschiedenen Bereichen (Energie, Agrar, ...). Die ÖKOBAUDAT [12], eine Datenbank des Bundes für den Baubereich bietet lebenszyklusbezogene Umweltinformationen. Sie wird beispielsweise im Rahmen des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) für die Ökobilanzierung von Gebäuden verbindlich eingesetzt. In den folgenden Kapiteln werden die verfügbaren Quellen zusammengestellt und erläutert.

3.2.1 DIN V 18599:2018-09

Im Rahmen der Aktualisierung der DIN V 18599, die ab September 2018 die Fassung von 2016 ersetzt, wurde die Tabelle A.1 im Anhang der Vornorm, in welcher bisher nur die Primärenergiefaktoren ausgewiesen wurden, um eine Spalte mit CO₂-Äquivalente erweitert (siehe Abbildung 1). Diese Werte wurden (wie die Primärenergiefaktoren) auf Grundlage der GEMIS-Datensätzen entwickelt und berücksichtigen die vorgelagerten Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe. Für die Nah- und Fernwärme sind in der Tabelle keine CO₂-Äquivalente angegeben, mit dem Hinweis, dass diese für das jeweilige Netz individuell zu berechnen sind.

Tabelle A.1 — A.Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente^a

Energieträger ^a		Primärenergiefaktoren f_p		CO ₂ -Äquivalent ^x _{CO₂}
		[-]		[g/kWh]
		insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil	nicht erneuerbarer Anteil
		A	B	C
dem Bilanzraum zugeführte Endenergien (Index "f _{in} ")				
Fossile Brennstoffe	Heizöl	1,1	1,1	310
	Erdgas	1,1	1,1	240
	Flüssiggas	1,1	1,1	270
	Steinkohle	1,1	1,1	400
	Braunkohle	1,2	1,2	430
Biogene Brennstoffe	Biogas	1,4;	0,4	120
	Bioöl	1,4	0,4	190
	Holz	1,2	0,2	40
Nah-/ Fernwärme	aus KWK ^b , fossiler Brennstoff bzw. Energieträger	0,7	0,7	c,e
	aus KWK ^b , erneuerbarer Brennstoff bzw. Energieträger	0,7	0,0	c,e
	aus Heizwerken, fossiler Brennstoff bzw. Energieträger	1,3	1,3	c,e
	allgemeiner Fall	c	c	c
Fernkälte	allgemeiner Fall	c	c	c
Strom	allgemeiner Strommix	2,8	1,8	550
innerhalb der Bilanzgrenzen nutzbar gemachte Endenergien (Index "f _{prod} ")				
Umweltenergie	Wärme (Erdwärme, Geothermie, Solarthermie, Umgebungswärme)	1,0	0,0	0
	Kälte (Erdkälte, Umgebungskälte)	1,0	0,0	0
	Strom (aus Photovoltaik, Windkraft)	1,0	0,0	0
Abwärme	aus Prozessen, siehe 3.1.32	1,0	0,0	40
aus dem Bilanzraum abgeführte Endenergien (Index "f _{out} ")				
Strom	Verdrängungsstrommix für KWK	2,8	2,8	860
	Verdrängungsstrommix für PV, WEA	2,8	1,8	550
thermische Energien	Wärme für andere Verbraucher	d	d	d
	Kälte für andere Verbraucher	d	d	d
Abwärme	aus Prozessen, siehe 3.1.32	1,0	0,0	40

^a Bezugsgröße Endenergie: Heizwert H_f .
^b Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 %.
^c Individuelle Berechnung für das Netz, aus dem der Bezug erfolgt, siehe A.4.
^d Individuelle Berechnung für das Netz, in welches die Einspeisung erfolgt, siehe A.4.
^e Eine Angabe von Standardwerten ist aufgrund der unterschiedlichen Energieträgermische nicht möglich.

Abbildung 1: Erweiterte Tabelle A.1 mit Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente aus der im September 2018 erschienenen DIN V 18599-1:2018-09 [10]

3.2.2 Datenbank GEMIS

„Globales Emissions-Modell integrierter Systeme“ (GEMIS) ist eine kostenfrei zugängliche Datenbank [11]. Die aktuelle Version 4.95 vom April 2017 wird derzeit überarbeitet und soll demnächst als Version 5.0 freigegeben werden. Weitere Hintergrundinformationen zu GEMIS können im Anhang Abschnitt 9.2 entnommen werden.

Umweltinformationen der Datenbank GEMIS für die Nutzungsphase berücksichtigen alle wesentlichen Schritte von der Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie unter Einbeziehung von Hilfsenergie. Auch der Materialaufwand zur Herstellung von Anlagen und Transportsystemen wird bis zur Bilanzgrenze Gebäude angerechnet. Des Weiteren besteht mit GEMIS die Möglichkeit, die Daten endenergiebezogen zu berechnen, so dass diese zur direkten Verrechnung des Brennstoffeinsatzes (entspricht der Endenergie) verwendet werden können. Die Angaben zum CO₂-Äquivalent werden auf den Heizwert bezogen angegeben und berücksichtigen die Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O).

Die CO₂-Äquivalente für die in dieser Studie relevanten Energieträger aus der Datenbank GEMIS sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Ergänzend zu den Werten wird auch der jeweilige Prozessname aus GEMIS angegeben. Aus dem Prozessnamen können die Energieträger, das Energiesystem, die Landeskennung sowie der Zeitbezug entnommen werden. Der zurzeit aktuellste Zeitbezug der meisten Datensätze ist das Jahr 2010. Ausnahmen stellen Holz-Heizungen mit einem Wert bezogen auf das Jahr 2015 und der Energieträger Strom mit Bezug auf das Jahr 2016 dar. Für die Nah- und Fernwärme müssen aufgrund vielfältiger Möglichkeiten der Wärmeerzeugung und bei gekoppelter Erzeugung (Heizkraftwerke) wegen der Anwendung von unterschiedlichen Allokationsverfahren CO₂-Äquivalente angepasst ermittelt werden (dazu mehr in Abschnitt 3.2.5). Um einen Eindruck für die Größenordnung der CO₂-Äquivalente zu vermitteln, werden für Nah-/Fernwärme aus Heizwerken zwei Beispiele für die Wärmeerzeugung mit den fossilen Brennstoffen Kohle und Gas und zwei weitere mit den erneuerbaren Brennstoffen Holz-Pellet und Geothermie angegeben.

Tabelle 2: CO₂-Äquivalente für verschiedene Energieträger aus der aktuellen GEMIS-Version 4.95 (Bezugsgröße ist der Heizwert)

Energieträger		CO ₂ -Äquivalent	GEMIS Prozessname
		g/kWh	
Fossile Brennstoffe	Heizöl	311,0	Öl-Heizung DE 2010 (Endenergie)
	Erdgas	242,7	Gas-Heizung DE 2010 (Endenergie)
	Flüssiggas	269,4	Flüssiggas (LPG) Heizung DE 2010 (Endenergie)
Biogene Brennstoffe	Biogas	20,2	Biogas-Biomüll-BHKW-GM 500-2010/brutto (ohne Allokation)
		38,5	Biogas-Gülle-BHKW-GM 500-DE 2010/brutto (ohne Allokation)
		111,0	Biogas-Mais-OLUC-BHKW-500 kW 2010/brutto (ohne Allokation)
	Bioöl	216,2	Palmöl-BHKW-gross-DE 2010/en (ohne Allokation)
		169,5	Rapsöl-BHKW-gross-DE 2010 (IST)/en (ohne Allokation)
	Holz	16,1	Holz-Pellet-Holz-wirtsch.-Heizung-10 kW-2015 (Endenergie)
		13,2	Holz-Hackschnitzel-Waldholz-Heizung-10 kW-2015 (Endenergie)
Nah-/Fernwärme aus KWK	Fossiler Brennstoff	Keine Einzelwert-Angabe möglich (siehe dazu Abschnitt 3.2.5)	
	Erneuerbarer Brennstoff		
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	Fossiler Brennstoff	539,0 ²⁾	Netz\Fernwärme mit Kohle-Brikett-HW-klein-DE 2010
		326,2 ²⁾	Netz\Fernwärme mit Gas-HW-mittel-DE 2010
	Erneuerbarer Brennstoff	34,9 ²⁾	Netz\Fernwärme mit Holz-Pellet-Holz-wirtsch.-HW-DE 2010 (IST)
		29,3 ²⁾	Netz\Fernwärme mit Geothermie-HW-DE 2010
Strom	Strommix	567	Strom-lokal-2016 ¹⁾
	Verdrängungsmix	593,2	Strom-Bonus-el-mix-DE 2010
Umweltenergie	Solarenergie	0	Solar-Kollektor-Flach-DE 2010
		0	Solar-Kollektor-Vakuum-Röhre-DE 2010
		0	Solar-PV-multi-Rahmen-mit-Rack-DE 2010
	Erdwärme, Geothermie	-	-
	Umgebungswärme	-	-

¹⁾ mit GEMIS Version 5.0 ermittelter Wert aus Kurzstudie [13]

²⁾ nur Beispielwerte, da aufgrund der unterschiedlichen Wärmebereitstellungsanlagen und Brennstoffeinsätze die Werte deutlich abweichen können

In der GEMIS-Datenbank stehen zusätzlich zu den bereits erwähnten Bezugsjahren 2010 und 2015 auch Datensätze mit den Bezugsjahren 2000, 2005 sowie auch Daten für zukünftige Szenarien (2020 und 2030) zur Verfügung. Basierend darauf lässt sich die zeitliche Entwicklung der CO₂-Äquivalente veranschaulichen (siehe Tabelle 3). Für den Energieträger Strom liegen von 2010 bis 2015 sogar jährliche Datensätze vor; deshalb werden diese zusätzlich gesondert in Tabelle 4 aufgeführt. Außerdem wurden in [13] bereits aktualisierte Daten für die Jahre 2010 bis 2015, ein neuer Wert für 2016, aktualisierte Szenarien für 2020 und 2030 und zusätzlich auch eine Projektion für das Jahr 2050 veröffentlicht. Die Aktualisierung der Daten in [13] erfolgte dabei unter Verwendung von fortgeschriebenen statistischen Grundlagen und wird mit der neuen Version 5.0 verfügbar sein. Auch diese Werte werden zum Vergleich in Tabelle 4 dargestellt.

Bei den meisten Energieträgern haben sich die Treibhausgasemissionen von 2000 bis 2010 verringert. Ausnahmen stellen die fossilen Energieträger Heizöl und Flüssiggas dar, bei welchen die Treibhausgasemissionen minimal angestiegen sind. Für die Zukunft

(2020 und 2030) wird erwartet, dass bei Heizöl und Erdgas die Werte langsam unter den jeweiligen Wert von 2010 sinken. Auch bei Biogas, Bioöl und Holz wird in den Jahren 2020 und 2030 mit einer Reduzierung der THG-Emissionen gerechnet. Anders sieht es bei Flüssiggas aus. Im Jahr 2020 wird bei Flüssiggas mit doppelt so hohen CO₂-Äquivalenten gerechnet als im Jahr 2010. Bei Strom soll, den neuen Untersuchungen in [13] zur Folge, die Reduzierung der CO₂-äquivalenten Emissionen, die bisher erst im Jahr 2030 erwartet wurde, bereits im Jahr 2020 erreicht werden. Im Jahr 2030 wird mit einem Rückgang bis auf ca. 1/3 der Emissionen aus dem Jahr 2016 gerechnet. Die Emissionen durch Strom werden gemäß dem Szenario von 2050 weiter bis auf einen Wert von nahezu Null sinken.

Tabelle 3: Zeitliche Entwicklung der CO₂-Äquivalente für verschiedene Energieträger nach GEMIS-Version 4.95

Energieträger		GEMIS-Prozessname	CO ₂ -Äquivalent in g/kWh					
			2000	2005	2010	2015	2020	2030
Fossile Brennstoffe	Heizöl	Öl-Heizung-DE (Endenergie)	310,8	312,0	311,0	-	308,4	307,5
	Erdgas	Gas-Heizung-DE (Endenergie)	248,7	250,8	242,7	-	232,7	236,9
	Flüssiggas	Flüssiggas (LPG)-Heizung-DE (Endenergie)	269,0	270,2	269,4	-	543,3	514,8
Biogene Brennstoffe	Biogas	Biogas-Mais-ÖLUC-BHKW-500 kW /brutto (ohne Allokation)	-	116,8	111,0	-	104,8	73,9
	Bioöl	Rapsöl-BHKW-gross-DE-/en (ohne Allokation)	-	-	169,5	-	140,0	-
	Holz	Holz-Pellet-Holz-wirtsch.-Heizung-10 kW (Endenergie)	20,5	16,8	16,1	16,1	13,4	11,1
		Holz-Stücke-Heizung-DE (Endenergie)	15,8	12,5	12,5	-	8,7	5,3
Strom	Strommix	Netz-el-DE-lokal-HH/KV	679,1	635,4	605,1	564,7	483,9	386,1
	Verdrängungsmix	Strom-Bonus-el-mix-DE	665,9	623,0	593,2	-	474,4	378,3
Umweltenergie	Solarenergie	SolarKollektor-Flach-DE	0	0	0	-	0	0
		Solar-PV-multi-Rahmen-mit-Rack-DE	-	0	0	-	0	0

Tabelle 4: Gegenüberstellung der zeitlichen Entwicklung der CO₂-Äquivalente für Strom aus der aktuell frei verfügbaren GEMIS-Version 4.95 und den aktualisierten CO₂-Äquivalenten aus [13] (demnächst verfügbar in GEMIS-Version 5.0)

Energieträger	CO ₂ -Äquivalent in g/kWh _{el}									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2020	2030	2050
Strom lokal GEMIS Version 4.95	605	612	613	613	599	565	-	484	386	-
Strom lokal GEMIS Version 5.0	605	611	612	612	598	564	567	380	195	22

3.2.3 Datenbank ÖKOBAUDAT

Die Online-Datenbank ÖKOBAUDAT [12] ist eine spezifisch auf den Baubereich ausgerichtete Datenbank. Sie liefert lebenszyklusbezogene Umweltinformationen auf Basis der DIN EN 15804 [14] und der Methode der Ökobilanz [15][16]. Angaben zu CO₂-Äquivalenten können hierbei den Informationen zur ökologischen Wirkungskategorie Treibhauspotenzial (GWP) entnommen werden, wobei alle Emissionen berücksichtigt sind, die einen Beitrag zur globalen Erderwärmung leisten. Umweltinformationen werden produktspezifisch (über sogenannte Umweltproduktdeklarationen) oder generisch bereitgestellt. Die Nutzungsdatensätze der ÖKOBAUDAT stellen solche generischen Daten dar und werden auf Basis von GaBi-Hintergrunddaten¹ berechnet. Die Informationen in den Datensätzen der ÖKOBAUDAT können vom Nutzer nicht angepasst werden. Weitere Hintergrundinformationen zur ÖKOBAUDAT-Datenbank können im Anhang Abschnitt 9.3 entnommen werden.

Aufgrund des Lebenszyklusansatzes (anders als in GEMIS) werden Umweltinformationen in der ÖKOBAUDAT einzelnen Lebenszyklusphasen wie Herstellungs- und Errichtungsphase, Nutzungsphase, Entsorgungsphase und Recycling-, Rückgewinnungs- oder Wiederverwendungspotenziale gemäß DIN EN 15804 [14] zugeordnet. Für die Ableitung von CO₂-Äquivalenten in dieser Studie werden Informationen der Nutzungsphase (Modul B) bzw. des Moduls B6 (Energieeinsatz für den Betrieb der technischen Gebäudeausrüstung) verwendet. Gemäß DIN EN 15804 [14] umfasst das Modul B6 die Bereitstellung und den Transport aller Stoffe, Produkte und Energien zum Gebäudebetrieb, die vollständige Abfallbehandlung bis zum Ende des Abfallstatus und die Beseitigung der Restabfälle. Die Herstellung der genutzten technischen Anlagen ist den einzelnen Modulen der Herstellungsphase (Modul A) zugeordnet. Die ÖKOBAUDAT weist Umweltinformationen für die Nutzungsphase nutzenergiebezogen (bezogen auf den Output) aus, d. h. bezogen auf die Erzeugernutzwärmeabgabe, d. h. auf die vom Wärmeerzeuger an ein Wärmeübertragemedium abgegebene Wärmemenge (z. B. am Kesselausgang). Dieser Bezug führt dazu, dass die CO_{2,äq.}-Kennwerte nicht nur abhängig vom Energieträger sind, sondern auch vom Anlagentyp und dessen Anlagennutzungsgrad. Aus diesem Grund werden in Tabelle 5 zusätzlich zu den CO₂-Äquivalenten aus ÖKOBAUDAT auch die Datensatz-Bezeichnungen mit angegeben, aus welchen der dem Datensatz zugrunde liegende Wärmeerzeuger entnommen werden

¹ Ganzheitliche Bilanzierung (Ökobilanzdatenbank)

kann. Da der erste Teil der Studie anhand eines kleinen Wohngebäudes durchgeführt wird, werden für die fossilen Brennstoffe Heizöl und Erdgas jeweils ein Nieder- und ein Brennwertkessel mit einer Leistung kleiner 20 kW als repräsentative Wärmeerzeuger aus der ÖKOBAUDAT gewählt. Für den erneuerbaren Brennstoff Holz werden die Emissionen eines Kessels zur Pellet-Verbrennung und eines Kessels für Hackschnitzel, ebenfalls beide mit einer Leistung kleiner 20 kW, ausgewählt. Unterschiede in den $\text{CO}_{2,\text{äq.}}$ -Emissionen bei Nieder- und Brennwertkesseln sind in der Kesselart bedingt. Für den Holz-Kessel ist zusätzlich die Art der Holzverarbeitung (Pellet, Schnitzel, Stücke) von Bedeutung. Zur Wärmeerzeugung aus Flüssiggas, Biogas und Bioöl liegen in der ÖKOBAUDAT derzeit keine Datensätze vor. Für die Nah-/Fernwärme werden keine Standardwerte angegeben. Daher werden hierfür CO_2 -Äquivalente ermittelt und im Abschnitt 3.2.5 gesondert dargestellt.

Die Berechnung der CO_2 -äquivalenten Emissionen erfolgt im Rahmen dieser Studie basierend auf der Endenergie (analog zur Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs (vergleiche Gleichung 2 im Abschnitt 3.2)). Deshalb werden die CO_2 -Äquivalente der Nutzungsdatensätze der ÖKOBAUDAT mit Hilfe des durchschnittlichen Kesselnutzungsgrads, der in der Beschreibung des entsprechenden ÖKOBAUDAT-Datensatzes ausgewiesen ist (vgl. z. B. Datensatz „Nutzung – Öl-Brennwert“ [17]), auf den Energieeinsatz (entspricht der Endenergie) bezogen umgerechnet. Die Ursprungswerte und die umgerechneten Werte sind in Tabelle 5 dargestellt. Die Skalierung der CO_2 -Äquivalente der ÖKOBAUDAT auf die Bezugsgröße Endenergie ermöglicht die Gegenüberstellung mit Werten aus GEMIS und der DIN V 18599 in Kapitel 3.2.4.

Tabelle 5: CO₂-Äquivalente für verschiedene Energieträger aus der aktuellen Online-Datenbank ÖKOBAUDAT mit Originalbezug auf die vom Wärmeerzeuger abgegebene Wärme und mit Anlagennutzungsgrad umgerechnet auf Bezug Endenergie (Bezugsgröße ist der Heizwert)

Energieträger		ÖKOBAUDAT		
		CO ₂ -Äquivalent		Prozess-Datensatz-Bezeichnung
		Originalbezug Erzeugernutzungs-wärmeabgabe g/kWh	Umgerechnet auf Bezug Endenergie g/kWh	
Fossile Brennstoffe	Heizöl	305,6	302,5	Nutzung - Öl Brennvwert (< 20 kW, entspr. EnEV), durchschn. Kesselnutzungsgrad 99 %
		343,4	302,5	Nutzung - Öl Niedertemperatur (<20 kW, entspr. EnEV), durchschn. Kesselnutzungsgrad 88,1 %
	Erdgas	240,7	238,3	Nutzung - Gas Brennvwert (< 20 kW, entspr. EnEV), durchschn. Kesselnutzungsgrad 99 %
		269,5	237,4	Nutzung - Gas Niedertemperatur (< 20 kW, entspr. EnEV), durchschn. Kesselnutzungsgrad 88,1 %
	Flüssiggas	k. K. ¹⁾	-	kein Datensatz vorhanden
Biogene Brennstoffe	Biogas	k. K. ¹⁾	-	kein Datensatz vorhanden
	Bioöl	k. K. ¹⁾	-	kein Datensatz vorhanden
	Holz	33,6	29,2	Nutzung - Pelletkessel (< 20 kW, entspr. EnEV), Kesselnutzungsgrad 87 %
		11,6	9,5	Nutzung - Hackschnitzelkessel (< 20 kW, entspr. EnEV), Kesselnutzungsgrad 82 %
Nah-/Fernwärme aus KWK	Fossiler Brennstoff	Keine Einzelwert-Angabe möglich (siehe dazu Abschnitt 3.2.5)		
	Erneuerbarer Brennstoff			
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	Fossiler Brennstoff	k. K. ¹⁾	kein Datensatz vorhanden	
	Erneuerbarer Brennstoff	k. K. ¹⁾	kein Datensatz vorhanden	
Strom	Strommix	542,6	Strommix 2015	
	Verdrängungsmix	k. K. ¹⁾	-	
Umweltenergie	Solarenergie	0	Nutzung - Röhrenkollektor (1m ² und Jahr), entspr. EnEV	
	Erdwärme, Geothermie	k. K. ¹⁾	kein Datensatz vorhanden	
	Umgebungswärme			

¹⁾Keine Kennwertangabe (k. K.), da in der ÖKOBAUDAT kein Datensatz vorliegt

3.2.4 Vergleich der CO₂-Äquivalente

Im Folgenden werden die CO₂-Äquivalente der DIN V 18599:2018-09 den Datensätzen aus den beiden oben beschriebenen Datenbanken GEMIS und ÖKOBAUDAT gegenübergestellt. Da die Werte in der DIN V 18599 auf der Grundlage der GEMIS-Daten ermittelt worden sind, können diese gut mit den Werten aus der aktuellen GEMIS-Version 4.95 verglichen werden. Eine Gegenüberstellung der Werte der DIN V 18599 bzw. der Werte aus GEMIS mit Werten aus ÖKOBAUDAT-Umweltprofilen ist nur eingeschränkt möglich. Dies liegt u. a. in unterschiedlicher Methodik der Ermittlung und der berücksichtigten Emissionen begründet. Zum anderen werden die verwendeten CO₂-Äquivalente der ÖKOBAUDAT eigenhändig auf den Endenergiebezug umgerechnet. Die verwendeten CO₂-Äquivalente aus allen Informationsquellen sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Der Unterschied der Kennwerte bei den fossilen Brennstoffen aller drei Quellen ist minimal und liegt in einem Bereich von ± 2 %. Das gleiche gilt auch für die CO₂-Äquivalente für Strom, welche bei allen drei Quellen ähnlich hoch sind. Bei biogenen Brennstoffen ist die Vergleichbarkeit abhängig von der Art der Biomasse, aus welcher der jeweilige Brennstoff produziert wird. Bei Biogas liegt der GEMIS-Kennwert für die Herstellung des Biogases aus Mais dem Kennwert aus der DIN V 18599:2018-09 mit einer Abweichung von 7,5 % am nächsten. Bei Bioöl wurden zum Vergleich die GEMIS-Kennwerte für Palm- und Rapsöl herangezogen. Die beiden Werte weichen von dem in der Norm angesetzten Wert für Bioöl um ca. ± 12 % ab. Für die Verbrennung von Holz wurde in der überarbeiteten Vornorm im Vergleich zu den Werten aus den Datensätzen ein um mindestens 28 % höheres CO₂-Äquivalent festgelegt. Für Solarenergie wird in allen drei Quellen ein CO₂-Äquivalent von Null angegeben. Das liegt zum einen daran, dass die Umweltenergie häufig als emissionsneutral angesehen wird. Zum anderen wird der Hilfsstrom für den Betrieb der Anlagen bereits im Rahmen der energetischen Berechnungen nach EnEV berücksichtigt, und daher teilweise aus der Bilanzierung der Umweltwirkungen ausgeklammert (vgl. auch Nutzungsdatensätze gem. EnEV der ÖKOBAUDAT).

Tabelle 6: Vergleich der CO₂-Äquivalente aus der überarbeiteten DIN V 18599:2018-09 mit den Werten der GEMIS-Datenbank und den auf Endenergiebezug (Heizwert) umgerechneten Datensätzen von ÖKOBAUDAT für verschiedene Energieträger

Energieträger	DIN V 18599: 2018-09		GEMIS		ÖKOBAUDAT	
	g/kWh	g/kWh	CO ₂ -Äquivalent	GEMIS-Prozessname	CO ₂ -Äquivalent (auf Endenergie umgerechneter Wert) g/kWh	Prozess-Datensatz-Bezeichnung in ÖKOBAUDAT
Heizöl	310	311	311	Öl-Heizung-DE-2010 (Endenergie)	303	Nutzung - Öl Brennwert (< 20 kW, entspr. EnEV), durchschn. Kesselnutzungsgrad 99 %, CO ₂ -Äq. = 305,6 g/kWh _{Erzeugernutzungsabgabe}
					303	Nutzung - Öl Niedertemperatur (< 20 kW, entspr. EnEV), durchschn. Kesselnutzungsgrad 88,1 %, CO ₂ -Äq. = 343,4 g/kWh _{Erzeugernutzungsabgabe}
Fossile Brennstoffe	240	243	243	Gas-Heizung-DE-2010 (Endenergie)	238	Nutzung - Gas Brennwert (< 20 kW, entspr. EnEV), durchschn. Kesselnutzungsgrad 99 %, CO ₂ -Äq. = 240,7 g/kWh _{Erzeugernutzungsabgabe}
					237	Nutzung - Gas Niedertemperatur (< 20 kW, entspr. EnEV), durchschn. Kesselnutzungsgrad 88,1 %, CO ₂ -Äq. = 269,5 g/kWh _{Erzeugernutzungsabgabe}
Flüssiggas	270	269	269	Flüssiggas (LPG)-Heizung-DE-2010 (Endenergie)	k. K. ¹⁾	kein Datensatz vorhanden
		20	20	Biogas-Biomüll-BHKW-GM 500-2010/brutto (ohne Allokation)		
	120	38	38	Biogas-Gülle-BHKW-GM 500-DE-2010/brutto (ohne Allokation)	k. K. ¹⁾	kein Datensatz vorhanden
		111	111	Biogas-Mais-OLUC-BHKW-500 kW 2010/brutto (ohne Allokation)		
Biogene Brennstoffe	190	216	216	Palmöl-BHKW-gross-DE-2010/en (ohne Allokation)	k. K. ¹⁾	kein Datensatz vorhanden
		170	170	Rapsöl-BHKW-gross-DE-2010 (IST)/en (ohne Allokation)		
Holz	40	16	16	Holz-Pellet-Holz-wirtsch.-Heizung-10 kW-2015 (Endenergie)	29	Nutzung - Pelletkessel (< 20 kW, entspr. EnEV), Kesselnutzungsgrad 87 %, CO ₂ -Äq. = 33,61 g/kWh _{Erzeugernutzungsabgabe}
		13	13	Holz-Hackschnitzel-Waldholz-Heizung-10 kW-2015 (Endenergie)	10	Nutzung - Hackschnitzelkessel (< 20 kW, entspr. EnEV), Kesselnutzungsgrad 82 %, CO ₂ -Äq. = 11,57 g/kWh _{Erzeugernutzungsabgabe}

¹⁾Keine Kennwertangabe (k. K.), da in der ÖKOBAUDAT kein Datensatz vorliegt

Tabelle 6 (Fortsetzung): Vergleich der CO₂-Äquivalente aus der überarbeiteten DIN V 18599:2018-09 mit den Werten der GEMIS-Datenbank und den auf Endenergiebezug (Heizwert) umgerechneten Datensätzen von ÖKOBAUDAT für verschiedene Energieträger

Energieträger	DIN V 18599: 2018-09	GEMIS		ÖKOBAUDAT		
		g/kWh	CO ₂ -Äquivalent g/kWh	GEMIS-Prozessname	CO ₂ -Äquivalent (auf Endenergie umgerechneter Wert) g/kWh	Prozess-Datensatz-Bezeichnung in ÖKOBAUDAT
Nah-/Fernwärme aus KWK ²⁾	Fossiler Brennstoff	k. A. ¹⁾	Keine Einzelwert-Angabe			
	Erneuerbarer Brennstoff	k. A. ¹⁾	Keine Einzelwert-Angabe			
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	Fossiler Brennstoff	k. A. ¹⁾	326 ²⁾	Netz/Fernwärme mit Gas-HW-mittel-DE-2010	k. K. ³⁾	kein Datensatz vorhanden
	Erneuerbarer Brennstoff		539 ²⁾	Netz/Fernwärme mit Kohle-Brikett-HW-klein-DE-2010	k. K. ³⁾	kein Datensatz vorhanden
			35 ²⁾	Netz/Fernwärme mit Holz-Pellet-Holz-wirtsch.-HW-DE-2010 (IST)	k. K. ³⁾	kein Datensatz vorhanden
			29 ²⁾	Netz/Fernwärme mit Geothermie-HW-DE-2010		
Strom	Strommix	550	564	Strom lokal 2015 [13]	543	Strom Mix 2015
	Verdränungs-mix	860	593	Strom-Bonus-el-mix-DE-2010	k. K. ³⁾	kein Datensatz vorhanden
				0	SolarKollektor-Flach-DE-2010	k. K. ³⁾
Umweltenergie	Solarenergie	0	0	SolarKollektor-Vakuum-Röhre-DE-2010	0	Nutzung - Röhrenkollektor (1 m ² und Jahr), entspr. EnEV
	Erdwärme, Geothermie	0	0	Solar-PV-multi-Rahmen-mit-Rack-DE-2010	k. K. ³⁾	kein Datensatz vorhanden
		Umgebungs-wärme	0	k.K. ³⁾	kein Datensatz vorhanden	k. K. ³⁾

¹⁾Es erfolgt keine Angabe (k. A.) aufgrund der unterschiedlichen Energieträgermixe mit Verweis auf eine individuelle Berechnung für das Netz [10]

²⁾Nur Beispielergebnisse, da aufgrund der unterschiedlichen Wärmebereitstellungsanlagen und Brennstoffeinsätze die Werte deutlich abweichen können

³⁾Keine Kennwertangabe (k. K.), da ein entsprechender Datensatz nicht vorliegt

3.2.5 CO₂-äquivalente Emissionen der Nah-/Fernwärme

Bei allen Energieträgern, außer Nah-/Fernwärme, werden die Treibhausgasemissionen auf den von der jeweiligen Anlagentechnik benötigten Energieeinsatz an der Gebäudegrenze bezogen. Im Unterschied dazu sind bei der Nah-/Fernwärme die Treibhausgasemissionen auf die an die Übergabestelle der Verbraucher gelieferte Wärmemenge zu beziehen. Diese Wärmemenge und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen variieren somit mit der Art der Wärmeerzeugungsanlage sowie deren Anlagennutzungsgrad. Außerdem wird bei Heizwerken und Heizkraftwerken als Energiequelle meistens eine Mischung aus verschiedenen Brennstoffen, der sogenannte Energieträger-Mix, eingesetzt, der ebenfalls für die resultierenden Treibhausgasemissionen ausschlaggebend ist. Allein aus diesen beiden Gründen (unterschiedliche Technologie und Brennstoffe) können bei der Nah-/Fernwärmeversorgung keine CO₂-Äquivalente verallgemeinert als Standardwert angegeben werden, sondern sie müssen, wie dies in der DIN V 18599 angemerkt ist, für jedes Wärmenetz individuell berechnet werden [10].

Im Rahmen dieser Studie werden im Bereich der Nah-/Fernwärme vereinfachend nur die Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) betrachtet. Deswegen wird in diesem Abschnitt versucht, für die Nah-/Fernwärme mit KWK-Systemen, in Analogie zu den Primärenergiefaktoren, für fossile und für biogene Brennstoffe anstatt eines einzelnen Kennwertes eine Bandbreite zu definieren, welche die CO₂-äquivalenten Emissionen solcher Wärmebereitstellungsanlagen abdeckt.

In Zusammenhang mit Heizkraftwerken, welche gleichzeitig Wärme und Strom durch einen Kraft-Wärme-Kopplungsprozess erzeugen, ergibt sich eine weitere Problematik für die Ermittlung der CO₂-Äquivalente: Zum einen ist der Anteil der durch die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bereitgestellten Wärme bei jedem Nah-/Fernwärmeversorger unterschiedlich hoch (in vielen Fällen übernimmt ein zusätzliches Heizwerk die Spitzenlast). Zum anderen sind auch die Anteile der beiden Koppelprodukte Wärme und Strom bei jeder Heizkraftwerkanlage verschieden. Da bei der energetischen Gebäudebilanzierung das von der Fernwärmanlage produzierte und an die Übergabestation gelieferte Koppelprodukt Wärme relevant ist, muss eine geeignete Aufteilung der Treibhausgasemissionen auf die beiden Koppelprodukte durchgeführt werden. Die Treibhausgasemissionen des im Bilanzkreis des Wärmenetzes erzeugten Koppelprodukts Strom werden hierbei der Wärme angerechnet. Die Zurechnung kann dabei auf unterschiedliche Weise erfolgen. Dazu gibt es in der Praxis mehrere unterschiedliche Methoden, die so genannten Allokations-Methoden. Die primärenergetische Bewertung eines konkreten Wärmenetzes mit KWK hat nach dem in DIN V 18599 beschriebenen Verfahren zu erfolgen. Laut der Norm darf auch das Arbeitsblatt FW 309-1 des Energieeffizienzverbandes für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW) [18] herangezogen werden. Diesen beiden Werken liegt die so genannte Stromgutschriftmethode zugrunde. AGFW hat auch ein Arbeitsblatt FW 309-6 zur Bestimmung spezifischer CO₂-Emissionsfaktoren²

² Bei den nach Arbeitsblatt FW 309-6 ermittelten spezifischen CO₂-Emissionen handelt es sich um direkte Emissionen, die sich allein auf das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid beziehen. Die spezifischen CO₂-Emissionen nach Arbeitsblatt FW 309-6 stellen somit keine CO₂-Äquivalente dar.

von Fernwärmenetzen [19] veröffentlicht, mit der Absicht, das CO₂-Bilanzierungssystem für Wärmenetze zu vereinheitlichen. Anders als im Arbeitsblatt zur Bestimmung der spezifischen Primärenergiefaktoren (FW 309-1) kommt in diesem Regelwerk die sogenannte Carnot-Methode basierend auf Exergie zur Anwendung. Mit der aktuellen Programmversion von GEMIS 4.95 kann mit der Allokation nach Gutschriften bilanziert werden. Das Carnot-Verfahren ist in der aktuellen Version nicht integriert, soll aber in der neuen Version GEMIS 5.0 ergänzt sein³. Voreingestellt ist in GEMIS aber zunächst die Allokation nach Energieäquivalenten. In der Online-Datenbank ÖKOBAUDAT dagegen, wird laut [20] bei Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung unter Einbeziehung der Exergie („allocation by exergetic content“) allokiert.

Um die Bandbreite der CO₂-Äquivalente für die Nah-/Fernwärmenetze zu definieren, wird wie folgt vorgegangen: Für die Fernwärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen wird zunächst ein in GEMIS verfügbarer Datensatz für Fernwärme aus Erdgas mit dem Bezugsjahr 2005 herangezogen. In diesem Datensatz wird die Wärme zu 85 % aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und zu 15 % von einem reinen Heizwerk (HW) als Spitzenlastkessel bereitgestellt. Der Nutzungsgrad der KWK-Anlage beträgt 53 % und der Nutzungsgrad des Heizwerks 90 %. Der Anteil des produzierten Koppelprodukts Strom liegt bei ca. 63 %. In der DIN V 18599 wird bei den Primärenergiefaktoren für Nah-/Fernwärme aus KWK darauf hingewiesen, dass die Angabe des Primärenergiefaktors typisch für eine durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 % ist [9]. Deswegen wird der gewählte Datensatz von GEMIS zusätzlich mit einem Anteil der Wärmebereitstellung durch KWK-Anlagen mit 70 % und die restlichen 30 % der Wärmebereitstellung durch ein Heizwerk (HW) bilanziert. In diesem Zug wird auch das Bezugsjahr von 2005 auf 2010 umgestellt. In einem weiteren Schritt wird der gleiche Datensatz mit einer 100 %-igen Wärmebereitstellung aus KWK berechnet. Zusätzlich zum fossilen Brennstoff Erdgas wurde auch die Fernwärmeerzeugung mit Kohle als alleinigem Brennstoff ebenfalls mit einem reinen KWK-System bilanziert. Der Nutzungsgrad der KWK-Anlage beträgt bei diesem Modell 53 % und der Anteil an produziertem Koppelprodukt Strom 60 %. Die auf den Output Wärme bezogenen CO₂-Äquivalente der beschriebenen Variationen sind in Tabelle 7 in der beschriebenen Reihenfolge zusammengestellt. Die CO_{2,äq.}-Kennwerte der einzelnen Varianten werden einmal mit dem in GEMIS voreingestellten Allokations-Verfahren nach Energieäquivalenten und zusätzlich, um die Gleichwertigkeit zu den Primärenergiefaktoren der DIN V 18599 herzustellen, auch mit dem Allokations-Verfahren nach Gutschriften berechnet. Da das Carnot-Verfahren in der zu diesem Zeitpunkt verfügbaren GEMIS-Version noch nicht integriert ist, konnten hierfür keine Werte berechnet werden.

Das gleiche Prozedere wird auch für den biogenen Brennstoff Holz vorgenommen. Die Grundlage stellt dabei ein GEMIS-Datensatz mit einer Wärmebereitstellung zu 85 % aus einem Holz-Heizkraftwerk (HKW) und zu 15 % aus einem Heizwerk (HW) mit Brennstoff Erdgas dar. Der Nutzungsgrad des Heizkraftwerks beträgt 60 % und der Nutzungsgrad des Heizwerks 90 %. Der Anteil des produzierten Koppelprodukts Strom liegt hier

³ Laut einer E-Mail von Uwe R. Fritsche vom 16.07.2018 ist es von IINAS beabsichtigt, die Carnot-Methode in die neue Version GEMIS 5.0 zu integrieren. Die Version GEMIS 5.0 soll demnächst zur Verfügung stehen (voraussichtlich Ende Juli/August 2018).

bei ca. 49 %. Für die Variante mit Wärmebereitstellung zu 70 % aus der KWK-Anlage und 30 % aus dem Heizwerk wird ein Heizwerk mit Brennstoff Holz anstatt Erdgas mit einem Nutzungsgrad von 87 % gewählt. Bei biogenem Brennstoff wird zusätzlich noch ein Datensatz mit Biogas aus Mais/Gülle herangezogen. Der Nutzungsgrad des Biogas-Blockheizkraftwerks liegt dabei bei 44 % mit einem Stromanteil von ca. 68 %. Der Nutzungsgrad des Heizwerks in diesem Fall beträgt ebenfalls 90 %.

Da bei Fernwärme üblicherweise ein Energieträger-Mix verwendet wird, wird in Tabelle 7 zusätzlich noch ein GEMIS-Datensatz mit Fernwärme-Mix mit einer Wärmebereitstellung aus KWK-Anlagen von 87,5 % dargestellt. Der Heizkraftwerk-Mix besteht dabei aus zwei unterschiedlichen Kohle-Heizkraftwerken mit einem Wärmebereitstellungsanteil von 20 und 14 %, zwei weiteren Gas-Heizkraftwerken mit einem Wärmebereitstellungsanteil von 20 und 10 %, einem Gas-Blockheizkraftwerk, welches 15 % der Wärme liefert, einem Braunkohle-Heizkraftwerk mit 10 %igem Anteil und einem Müll-Heizkraftwerk, welches noch die restlichen 11 % der Wärme produziert.

Um die Übersicht zu komplettieren, werden noch eine reine Müll-Heizkraftwerkanlage $\text{CO}_{2,\text{äq.}}$ -technisch bilanziert und die Ergebnisse in der Tabelle 7 abgebildet. Der Nutzungsgrad dieses Heizkraftwerks ist im GEMIS-Datensatz mit 29 % und der Strom-Anteil mit 46 % angegeben. Bei einer Müll-Anlage hängen die $\text{CO}_{2,\text{äq.}}$ -Emissionen abgesehen von der Umwandlungstechnologie zusätzlich noch von dem biogenen Müllanteil ab. Je höher der biogene Anteil, desto geringer die Treibhausgasemissionen, da der biogene Müll mit einem CO_2 -Äquivalent von 0 g/kWh bewertet wird.

Zu den beschriebenen Datensätzen aus GEMIS werden in Tabelle 7 auch entsprechende Daten aus den Umweltprofilen der Online-Datenbank ÖKOBAUDAT gegenübergestellt. Auch die Daten von ÖKOBAUDAT beziehen sich auf die thermische Energie, also die Wärmemenge, die dem Verbraucher an die Übergabestation geliefert wird. Einer der wesentlichen Unterschiede zu den GEMIS-Daten liegt am Allokations-Verfahren. Laut [20] wird bei Erstellung der Umweltprofile für Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung die exergetische Methode angewandt. Außerdem beziehen sich die Daten der Fernwärme-Datensätze in ÖKOBAUDAT auf das Referenzjahr 2016. Laut Beschreibung der Umweltprofile bilden die Datensätze die länderspezifische Situation in Deutschland ab und sind damit geeignet, die Lieferkette der jeweiligen Fernwärmeart in einer repräsentativen Weise zu charakterisieren [21]. Somit unterscheidet sich die in den Umweltprofilen definierte repräsentative Nah-/Fernwärme-Technologie für die jeweilige Energieträgerart auch von der Technologie in GEMIS. So hat bei Fernwärme aus Erdgas die Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage eine Effizienz von 71 % und produziert anteilig 60 % Strom. Bei Fernwärme aus einem reinen Steinkohle-Heizkraftwerk beträgt der Nutzungsgrad 80 % und der Anteil an produziertem Koppelprodukt Strom 35 %. Bei Fernwärme aus Biomasse wird die Effizienz der KWK-Anlage mit 55 % angegeben und der Stromanteil mit 60 %. In diesem Datensatz wird die Biomasseart, aus welcher sich der Brennstoff Biomasse zusammensetzt, nicht näher erläutert. Anhand der Recherche in der GaBi-Datenbank⁴, welche die Hintergrunddaten für die Erstellung der Prozesse in

⁴ Ganzheitliche Bilanzierung (Ökobilanzdatenbank)

der ÖKOBAUDAT liefert, konnte zurückverfolgt werden, dass die Biomasse hauptsächlich aus verschiedenen Typen von Holz besteht. Auch beim Datensatz für die Fernwärme aus Abfällen wird die Art der Abfälle in der Datensatzbeschreibung nicht näher definiert. Durch die Zurückverfolgung auf die Hintergrunddaten der GaBi-Datenbank konnte das diesem Fernwärme-Prozess zugrundeliegende Datenprofil nicht eindeutig verifiziert werden. Die recherchierten Datenprofile lassen aber vermuten, dass der biogene Anteil zwischen ca. 18 und 36 % liegt. Der Nutzungsgrad der Abfall-KWK-Technologie liegt bei 67 % und der Stromanteil bei 30 %. Beim Fernwärme-Mix wird im ÖKOBAUDAT-Datensatz auch ein etwas anderer Energieträger-Mix als in GEMIS angenommen. Die einzelnen Anteile des jeweiligen Brennstoffs sind in Abbildung 2 aufgeführt.

Deutscher Fernwärmemix	Heat mix	Anteil der Wärme aus KWK
	[%]	[%]
Braunkohle	8,71	93,72
Steinkohle	24,98	90,95
Kohlegase	0,18	16,43
Erdgas	43,2	62,62
Heizöl	0,89	23,04
Biomasse (fest)	5,22	66,84
Biogas	1,56	65,77
Abfall	15,19	65,98
Geothermie	0,07	0

Abbildung 2: Online-Datenbank ÖKOBAUDAT. Datensatz Fernwärme-Mix: Darstellung der einzelnen Brennstoffanteile sowie der aus dem jeweiligen Brennstoff unter Einsatz einer KWK-Technologie erzeugter Anteil an Wärme [22]

Zur besseren Übersicht sind die wesentlichen Unterschiede in den Datensätzen der beiden Datenbanken ebenfalls in Tabelle 7 angegeben. Tabelle 7 zeigt ansatzweise, wie sich die CO₂-äquivalente Emissionen in Abhängigkeit der gewählten Allokation unterscheiden. Während mit dem Allokations-Verfahren nach Gutschriften bei Fernwärme aus Erdgas und aus Holz kleinere Emissionsmengen als mit der Allokation nach Energieäquivalenten berechnet werden, bedingt das Allokations-Verfahren nach Gutschriften bei Fernwärme aus Kohle und Abfall im Vergleich zu Allokationen nach Energieäquivalenten rechnerisch höhere Treibhausgasemissionen. Das heißt, dass in Abhängigkeit des zur Befeuerung der Anlagen eingesetzten Brennstoffes die Fernwärmelieferanten unterschiedliche Allokations-Methoden bevorzugen würden. Des Weiteren fällt auf, dass mit der Stromgutschriften-Methode bei mit biogenen Brennstoffen erzeugte Nah-/Fernwärme für die Menge an CO₂-äquivalenten Emissionen sogar negative Kennwerte berechnet werden. Nach dem in DIN V 18599 und in dem AGFW-Arbeitsblatt FW 309-1 beschriebenen Verfahren zur Ermittlung der spezifischen Primärenergiefaktoren für Nah-/Fernwärme wird ebenfalls die Stromgutschriftmethode benutzt. Für den Fall der Berechnung von negativen Primärenergiefaktoren, wird hier geregelt, dass diese auf Null zu setzen sind.

In Abhängigkeit der Allokationsmethoden ergeben sich für die Nah-/Fernwärme mit fossilen und erneuerbaren Brennstoffen jeweils drei mögliche Bandbreiten. Für Nah-/Fernwärme KWK mit fossilen Brennstoffen ergibt sich anhand von in GEMIS definierten Umwandlungstechnologien und unter Anwendung der Allokation nach Energieäquivalenten eine Bandbreite von 196 bis 359 g/kWh_{Out}. Mit der Allokation nach Gutschriften wird diese Bandbreite auf 77 bis 453 g/kWh_{Out} erweitert. Die Datensätze der ÖKOBAUDAT mit repräsentativen Nah-/Fernwärmetechnologien für Erdgas und Kohle bilden einen minimalen Wert von 152 g/kWh_{Out} und einen maximalen Wert von 285 g/kWh_{Out} ab. In Abbildung 3 sind alle drei Bandbreiten für den fossilen Energieträger dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Bandbreiten sich in einem Bereich von 195 bis 285 g/kWh_{Out} überschneiden und dass auch der Fernwärme-Mix aus GEMIS mit 261 g/kWh_{Out} und 220 g/kWh_{Out} als auch aus ÖKOBAUDAT mit 254 g/kWh_{Out} abgedeckt ist. Auch die Treibhausgasemissionen der Fernwärme aus Abfällen aus dem ÖKOBAUDAT-Datensatz liegen innerhalb der drei Bandbreiten. Nur die CO₂-Äquivalente der Nah-/Fernwärme aus Abfällen bilanziert in GEMIS fallen aufgrund des schlechten Anlagennutzungsgrades von 29 % zu hoch aus und werden von keiner der drei Bandbreiten abgedeckt.

Bandbreite der CO₂-Äquivalente bei FW KWK fossil

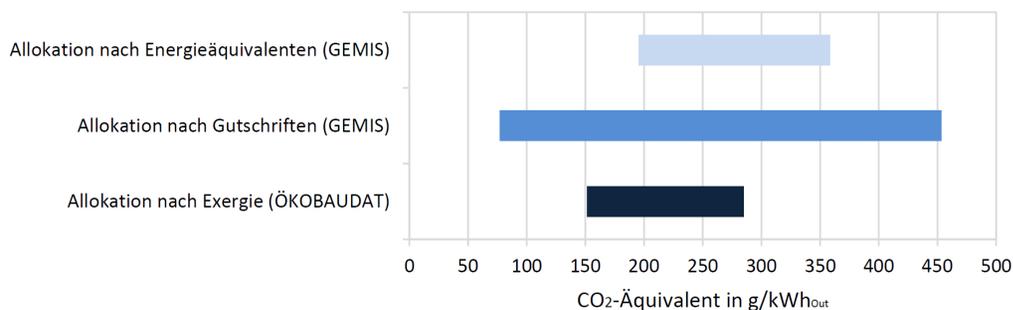


Abbildung 3: Darstellung der Bandbreite von CO₂-Äquivalente in Abhängigkeit der Allokationsverfahren für Fernwärme aus KWK mit den fossilen Brennstoffen Kohle und Erdgas

Anders sieht es bei Nah-/Fernwärme mit biogenen Brennstoffen aus. Die Bandbreiten hier fallen deutlich schmaler aus und überschneiden sich nicht. Für Nah-/Fernwärme KWK mit erneuerbaren Brennstoffen ergibt sich anhand von in GEMIS definierten Umwandlungstechnologien und unter Anwendung der Allokation nach Energieäquivalenten eine Bandbreite von 19 bis 114 g/kWh_{Out}. Mit der Allokation nach Gutschriften wird diese Bandbreite in den negativen Bereich von -139 bis -233 g/kWh_{Out} verschoben. Die Datenbank ÖKOBAUDAT mit repräsentativen Nah-/Fernwärmetechnologien für Biomasse stellt nur einen Datensatz mit einem Wert von 13 g/kWh_{Out} zur Verfügung. Die Bandbreiten von CO₂-Äquivalenten in Abhängigkeit der Allokationsverfahren für erneuerbare Brennstoffe sind in Abbildung 4 dargestellt.

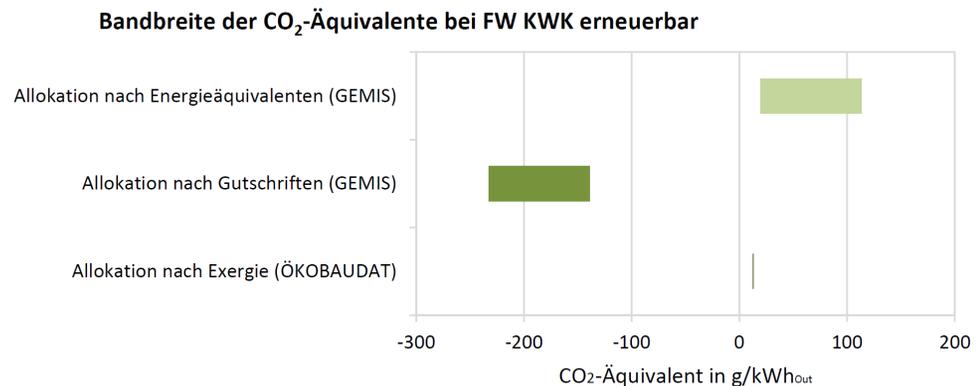


Abbildung 4: Darstellung der Bandbreite von CO₂-Äquivalente in Abhängigkeit der Allokationsverfahren für Fernwärme mit KWK aus erneuerbaren Brennstoffe

In der DIN V 18599 in Tabelle A.1 [9][10] werden für die primärenergetische Bewertung bei Nah-/Fernwärme aus KWK und fossilem Energieträger der Primärenergiefaktor für den nicht erneuerbaren Anteil $f_p = 0,7$ und der für erneuerbare Brennstoffe für den nicht erneuerbaren Anteil $f_p = 0,0$ angegeben. Diese Primärenergiefaktoren wurden unter Anwendung der Stromgutschriften-Methode ermittelt. Um zu vergleichen, inwieweit die in Tabelle 7 beschriebenen Varianten primärenergetisch den Angaben der DIN ähneln, wird für diese Varianten auch der Primärenergiefaktor bzw. bei GEMIS-Berechnungen der so genannte kumulierte Energieverbrauch (KEV) mit berechnet und in der Tabelle mit CO₂-Äquivalenten der einzelnen Varianten ergänzt.

Aus den Prozessketten in GEMIS auf der Ergebnisebene werden keine reinen Primärenergiefaktoren berechnet, sondern „kumulierte Energieaufwände (KEA)“ bzw. „kumulierte Energieverbräuche (KEV)“ [23]. Laut [24] stellt der kumulierte Energieaufwand KEA eine Maßzahl für den gesamten Aufwand an Energieressourcen (Primärenergien) zur Bereitstellung eines Produktes dar. Der kumulierte Energieverbrauch KEV stellt ähnlich wie KEA eine Maßzahl für den gesamten Aufwand an Energieressourcen (Primärenergien) zur Bereitstellung eines Produktes dar, unterscheidet sich vom KEA jedoch darin, dass in KEV die Energieanteile, die bei stofflich genutzten Energieträgern als Heizwert auftreten (z. B. Holz als Baustoff, Kunststoffe, Papier) nicht mit einbezogen sind [24]. Diese Energieanteile sind aber relativ gering, so dass der Unterschied zwischen KEA und KEV meistens vernachlässigbar klein ist. Der KEV wird für erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergieanteile berechnet.

Bei bilanzierter Nah-/Fernwärme mit den fossilen Brennstoffen Erdgas, Kohle und Fernwärme-Mix mit Allokation nach Gutschriften schwankt der KEV-Wert zwischen 0,7 und 0,9 und unterliegt somit einer kleineren Schwankung als die entsprechenden CO₂-Äquivalente. Bei Varianten mit erneuerbaren Brennstoffen mit Allokation nach Gutschriften liegt der KEV im negativen Bereich zwischen -0,6 und -1,4 und wäre gemäß AGFW-Arbeitsblatt FW 309-1 auf Null zu setzen.

Tabelle 7: Zusammenstellung von mit GEMIS bilanzierten Nah-/Fernwärmenetze in Abhängigkeit des Energieträgers mit dessen CO₂-äquivalenten Emissionen bezogen auf den Output thermische Energie unter Anwendung von zwei unterschiedlichen Allokations-Verfahren. Gegenüberstellung der CO₂-Äq.-Kennwerte ermittelt mit GEMIS und der CO₂-Äquivalente aus den entsprechenden Umweltprofilen der ÖKOBAUDAT sowie Auflistung der wesentlichen Kenndaten der den Datensätzen der beiden Datenbanken zugrundeliegenden Technologie

Energieträger	GEMIS						ÖKOBAUDAT			Erläuterungen zu den wesentlichen Unterschieden zwischen den Datensätzen
	GEMIS-Prozessname	Allokation nach Energieäquivalenten		Allokation nach Gutschrift		Allokation nach Carnot (Exergie)		ÖKO-BAUDAT-Prozess-Datensatz	Exergetische Allokation	
		CO ₂ Äq g/kWh	KEV	CO ₂ Äq g/kWh	KEV	CO ₂ Äq g/kWh	KEV			
Fossile Brennstoffe	Fernwärme Erdgas (85/15)	Netz\Nahwärme-DE-2005-mix/en	220,8	0,98	110,4	0,66		-	-	85 % KWK, 15 % HW
	Fernwärme Erdgas (70/30)*		231,7	1,06	148,9	0,90	z. Z. kein Wert	-	-	70 % KWK, 30 % HW Bezugsjahr: 2010
	Fernwärme Erdgas (100/0)*		195,5	0,90	77,2	0,66	z. Z. kein Wert	Fernwärme aus Erdgas	0,68	nur KWK Nutzungsgrad GEMIS: 53 % Nutzungsgrad ÖKO-BAUDAT: 71 %
Biogene Brennstoffe	Fernwärme Kohle*	Netz\Fernwärme-DE-2010/en nur mit Kohle-HKW-GD-REA-DE-2010-th/en	358,6	1,01	453,1	0,95	z. Z. kein Wert	Fernwärme aus Steinkohle	0,80	nur KWK Nutzungsgrad GEMIS: 60 % Nutzungsgrad ÖKO-BAUDAT: 80 %
	Fernwärme Holz (85/15)	Netz\Fernwärme-DE-2010-Holz-HKW-mix/en	67,1	0,26	-139,0	-0,57	z. Z. kein Wert	-	-	85 % KWK (Holz), 15 % HW (Gas)
	Fernwärme Holz (70/30)*		25,4	0,07	-144,4	-0,61	z. Z. kein Wert	-	-	70 % KWK (Holz), 30 % HW (Holz)
Biogene Brennstoffe	Fernwärme Holz (100/0)*		19,4	0,04	-223,1	-0,94	z. Z. kein Wert	Fernwärme aus Biomasse	0,03	nur KWK Strom-Anteil GEMIS: 48,7 % Strom-Anteil ÖKOBAUDAT: 60 %
	Nahwärme Biogas	Netz\Nahwärme-Mix-Biogas-mix-BHKW-DE-2010/en	113,5	0,32	-232,5	-1,36	z. Z. kein Wert	-	-	85 % KWK (Biogas-Mais/Gülle), 15 % HW (Gas)

*eigenhändige Berechnungen mit GEMIS-Datensätzen durch die Anpassung von einzelnen Faktoren in den vorliegenden GEMIS-Prozessen

Tabelle 7 (Fortsetzung): Zusammenstellung von mit GEMIS bilanzierten Nah-/Fernwärmenetze in Abhängigkeit des Energieträgers mit dessen CO₂-äquivalenten Emissionen bezogen auf den Output thermische Energie unter Anwendung von zwei unterschiedlichen Allokations-Verfahren. Gegenüberstellung der CO₂-Kennwerte ermittelt mit GEMIS und der CO₂-Äquivalente aus den entsprechenden Umweltprofilen der ÖKOBAUDAT sowie Auflistung der wesentlichen Kenndaten der Datensätze der beiden Datenbanken zugrundeliegenden Technologie

Energieträger	GEMIS						ÖKOBAUDAT			Erläuterungen zu den wesentlichen Unterschieden zwischen den Datensätzen
	GEMIS Prozessname	Allokation nach Energieäquivalenten		Allokation nach Carnot (Exergie)		ÖKO-BAUDAT Prozess	Exergetische Allokation			
		CO ₂ Äq g/kWh	KEV	CO ₂ Äq g/kWh	KEV		CO ₂ Äq g/kWh	f _p		
Energieträger Mix	Netz\Fernwärme DE-2010/en	260,8	0,91	219,6	0,66	z. Z. kein Wert	z. Z. kein Wert	254,3	0,79	GEMIS: Anteil KWK 87,5 % ÖKOBAUDAT: Anteil KWK ca. 73 %
Abfall	Netz\Fernwärme DE-2010/en nur mit Müll-HKW DT-DE-2010 then	416,1	0,02	538,1	0,88	z. Z. kein Wert	z. Z. kein Wert	210,7	0,11	GEMIS: Nutzungsgrad: 29 % Biogener Anteil 50 % ÖKOBAUDAT: Nutzungsgrad: 67 % Biogener Anteil 18,36 %

* eigenhändige Berechnungen mit GEMIS-Datensätzen durch die Anpassung von einzelnen Faktoren in den vorliegenden GEMIS Prozessen

Um aufzuzeigen, wie vielfältig die Fernwärmeerzeugung sein kann, sind in Tabelle 8 insgesamt sieben Fernwärmeversorger mit den wesentlichen Merkmalen der Fernwärme wie Brennstoffzusammensetzung und Kraft-Wärme-Kopplungs-Anteil aufgeführt. In der Tabelle sind weiterhin der jeweilige Primärenergiefaktor sowie die direkten CO₂-Emissionen (diese beinhalten nur das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid) gemäß Zertifikat bzw. gemäß der Angabe des jeweiligen Energieversorgers angegeben. Die zertifizierten CO₂-Emissionen wurden dabei nach dem Verfahren im Arbeitsblatt FW 309-6 zur Bestimmung spezifischer CO₂-Emissionsfaktoren [19] ermittelt. Bei den Angaben zu CO₂-Kennwerten der Fernwärmelieferanten gilt es aufzupassen, nicht nur, weil bei der Zertifizierungsmethodik nach Arbeitsblatt FW 309-6 die Allokation nach Carnot-Verfahren zugrunde gelegt wird, sondern auch, weil es sich bei den CO₂-Emissionen um direkte Emissionen des Wärmenetzes handelt, d. h., es sind weder die Emissionen durch sämtliche Vorketten noch durch den Materialeinsatz inbegriffen. Die angegebenen Emissionen beziehen sich allein auf das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid. Somit sind die Angaben auf dem Zertifikat nicht mit den CO₂-Äquivalenten der überarbeiteten DIN V 18599 vergleichbar und können nicht ohne weiteres für die CO₂-äquivalente-Emissionen-Bewertung herangezogen werden.

Tabelle 8: Einige ausgewählte Nah-/Fernwärmeversorger mit den wesentlichen Kenndaten der Fernwärmeerzeugung

Fernwärmelieferant	Direkte CO ₂ -Emissionen nach FW 309-6 (Allokation nach Carnot)	Primärenergiefaktor	Anteil KWK	Brennstoffeinsatz
	g/kWh			
EnBW Fernwärme Stuttgart [25][26][27]	187	0,55	90	45 % Kohle 6 % Erdgas 0,1 % Öl 49 % Müll
SWM München [28][29][30]	152	0,11	≤ 90	nicht bekannt
FuG Ulm [31][32][33]	73	0,26	2	56 % Biomasse 42 % Sonstige
Stadtwerke Rostock [34][35][36]	133	0,43	89	87 % fossil
Hanse Werk (Ammersbek) [37][38]	132	0,11	unbekannt	54 % Erdgas 42 % Bioerdgas
Hanse Werk (Gelling) [39]	151	0,70	unbekannt	100 % Erdgas
Vereinigte Stadtwerke (Schanzenbarg) [40][41]	130	0,00	> 53	>30 % regenerativ

3.3 Gewählte Parameter für die nachfolgenden Studien

3.3.1 Primärenergie

Die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs des Einzelgebäudes und der Quartiere erfolgt, wie in der Energieeinsparverordnung EnEV 2016 vorgeschrieben, mit den Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599-1:2011-12. Die für die Analyse relevanten Energieträger und deren Primärenergiefaktoren sind in Tabelle 9 nochmal zusammengefasst. Den Quartieren mit den Phasen Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1 und Messjahr 2 werden Primärenergiefaktoren entsprechend den einzelnen Kalenderjahren zugeordnet. Dies betrifft nur den Stromprimärenergiefaktor.

Tabelle 9: Primärenergiefaktoren f_p für die innerhalb der Analyse relevanten Energieträger nach DIN V 18599-1:2011-12

Energieträger		Primärenergiefaktor f_p (nicht erneuerbarer Anteil)
Fossile Brennstoffe	Heizöl EL	1,1
	Erdgas H	1,1
Biogene Brennstoffe	Holz	0,2
	Biogas	0,5
Nah-/Fernwärme aus KWK	Fossile Brennstoffe	0,7
	Erneuerbare Brennstoffe	0,0
Strom	Strommix	1,8
	Verdrängungsstrommix	2,8
Umweltenergie	Solarenergie	0,0
	Erdwärme, Geothermie	0,0
	Umgebungswärme	0,0

3.3.2 CO₂-Äquivalente

Für die Bewertung der Varianten nach Treibhausgasemissionen werden CO₂-Äquivalente aus Tabelle A.1 im Anhang der DIN V 18599:2018-09 gewählt (siehe Abschnitt 3.2.1 Abbildung 1), da diese wie die Primärenergiefaktoren auf GEMIS-Datensätzen beruhen und so von einer zueinander passenden Bewertungsmethode ausgegangen wird. Außerdem tritt die neue DIN V 18599 bereits im September 2018 in Kraft und wird damit auch verbindlich.

Für die Bewertung der Fernwärme beim Einzelgebäude werden aufgrund der derzeitigen uneinheitlichen Datenlage für den fossilen und erneuerbaren Brennstoffeinsatz je ein minimaler und ein maximaler Wert aus Tabelle 7 im Abschnitt 3.2.5 herangezogen, um auf diese Weise die Bandbreite an CO₂-Äquivalenten abzubilden. Um DIN V 18599 konform zu bleiben, werden die Werte ermittelt durch die Allokation nach Gutschrift verwendet. Bei Nah-/Fernwärme KWK mit fossilen Brennstoffen beträgt das minimale CO₂-Äquivalent 77,2 g/kWh_{Out} und das maximale CO₂-Äquivalent 453,1 g/kWh_{Out}. Bei

Nah-/Fernwärme KWK mit biogenen Brennstoffen würde auf diese Weise die Bandbreite mit einem minimalen CO₂-Äquivalent von -232,5 g/kWh_{Out} und einem maximalen CO₂-Äquivalent von -139,0 g/kWh_{Out} komplett im negativen Bereich liegen. Da nach der überarbeiteten Fassung der DIN V 18599 [10] und dem die Norm ergänzenden AGFW Arbeitsblatt FW 309-1 [18] bei der Ermittlung des Primärenergiefaktors bzw. des CO₂-Äquivalentes die negativ berechneten Faktoren auf Null zu setzen sind, wird analog dazu auch die mit GEMIS anhand der Stromgutschriftenmethode ermittelte Bandbreite mit negativen CO₂-Äquivalente auf den Wert von 0 g/kWh_{Out} angepasst. Die für die Analyse relevanten CO₂-Äquivalente sind in Abhängigkeit des Energieträgers noch einmal in Tabelle 10 zusammengestellt.

Tabelle 10: CO₂-Äquivalente für die innerhalb der Analyse relevanten Energieträger

Energieträger		CO ₂ -Äquivalente
		g/kWh
Fossile Brennstoffe	Heizöl	310
	Erdgas	240
Biogene Brennstoffe	Holz	40
	Biogas	120
Nah-/Fernwärme aus KWK	Fossile Brennstoffe	77 – 453
	Erneuerbare Brennstoffe	-232 – -139 wird zu 0 gesetzt
Strom	Strommix	550
	Verdrängungsstrommix (KWK)	860
	Verdrängungsstrommix PV, Wind	550
Umweltenergie	Solarenergie	0
	Erdwärme, Geothermie	0
	Umgebungswärme	0

Die CO₂-Äquivalente der Fernwärme bei der Quartiersbewertung wird jeweils von den örtlichen Energieversorgern bzw. den zuständigen Projektleitern der EnEff:Stadt-Vorhaben abgefragt.

4 Bewertungsstudie Einzelgebäude

4.1 Festlegung des Beispielgebäudes und des energetischen Standards der Gebäudehülle

Für die Bewertungsstudie wurde basierend auf der Gebäudestatistik Deutschlands der Gebäudetyp Wohngebäude und hieraus das freistehende Einfamilienhaus ausgewählt. Im Rahmen einer umfangreichen Analyse der Neubautätigkeiten im Wohnungsbau in Deutschland hat das Fraunhofer IBP mehrere Typgebäude definiert, welche mit ihren wichtigsten Kenndaten statistisch jeweils Gebäude einer Größenklasse repräsentieren [42]. Eine der Größenklassen stellen freistehende Wohngebäude mit einer Wohnung dar, repräsentiert durch das in Abbildung 5 dargestellte Typgebäude Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 112 m². Dieses Gebäude bildet die Grundlage für die Bewertungsstudie Einzelgebäude. Das Einfamilienhaus hat zwei Geschosse (Erd- und ausgebautes Dach-geschoss) und ist voll unterkellert. Der Keller wird als unbeheizt angenommen. Im Dachgeschoss wird das beheizte Raumvolumen durch eine oberste Geschossdecke begrenzt, in welcher gleichzeitig die Dämmebene verläuft. Die Gebäudekennwerte des Einfamilienhauses können Tabelle 11 entnommen werden. In Abbildung 5 sind die Grundrisse der beiden Geschosse sowie ein Schnitt durch das Gebäude dargestellt.

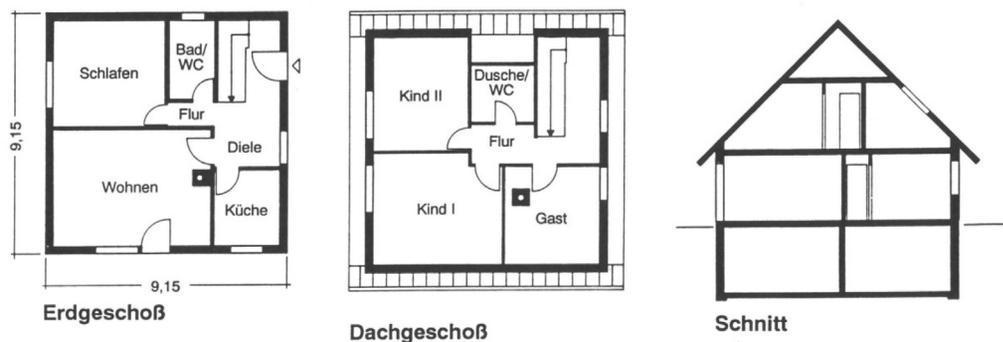


Abbildung 5: Darstellung der Grundrisse aller Wohngeschosse sowie eines Schnittes des Beispielgebäudes ‚Einfamilienhaus‘ [42]

Tabelle 11: Zusammenstellung der Gebäudekennwerte des Beispielgebäudes ‚Einfamilienhaus‘.

Gebäudekenndaten		
Wohnfläche		112,0 m ²
Nettogrundfläche		131,4 m ²
Bruttovolumen		400,5 m ³
Nettovolumen		310,3 m ³
Wandfläche	gesamt	113,7 m ²
	Süd	29,2 m ²
	West	25,3 m ²
	Nord	33,9 m ²
	Ost	25,3 m ²
Fensterfläche	gesamt	22,5 m ²
	Süd	6,9 m ²
	West	6,7 m ²
	Nord	2,2 m ²
	Ost	6,7 m ²
Dachfläche	gesamt	82,2 m ²
	West	41,1 m ²
	Ost	41,1 m ²
Dachneigung		45 °
Oberste Geschossdecke		21,6 m ²
Kellerdecke		83,7 m ²
Anzahl der Geschosse		2
Mittlere Geschosshöhe		2,75 m

Die energetische Bewertung des Einfamilienhauses erfolgt gemäß der Energieeinsparverordnung 2016 [8] mit dem in der DIN V 18599 [9] definierten Berechnungsverfahren. Die der Berechnung zugrundeliegenden Nutzungsrandbedingungen sind in DIN V 18599-10:2011-12 in der Tabelle 4 „Richtwerte der Nutzungsrandbedingungen für die Berechnung des Energiebedarfs von Wohngebäuden“ [43] aufgeführt.

Mit der Verschärfung der Anforderungen an Wohngebäude seit Januar 2016 entspricht die in der Anlage 1 Tabelle 1 der EnEV beschriebene Ausführung des Referenzgebäudes nicht mehr den primärenergetischen Anforderungen für einen Neubau, denn der daraus resultierende Primärenergiebedarf muss um 25 % unterschritten werden. Deshalb wird im ersten Schritt zur Festlegung der Basisvariante das energetische Niveau des Einfamilienhauses so definiert, dass der Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs nach der derzeit gültigen EnEV erfüllt wird. Die Ausführung der Anlagentechnik des Referenzgebäudes gemäß EnEV Anlage 1 Tabelle 1 wird dabei ohne Veränderungen übernommen. Die Ergebnisse des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs des Einfamilienhauses mit der Ausführung gemäß den Vorgaben zur Referenzausführung sowie der daraus resultierende Anforderungswert des Jahres-Primärenergiebedarfs (Primärenergiebedarf des Gebäudes mit Referenztechnologien - 25 %) sind in Tabelle 13 dokumentiert.

Zur Erfüllung der Anforderung an den Jahresprimärenergiebedarf werden die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) des Referenzgebäudes um 30 % vermindert. Die auf diese Weise definierten U-Werte entsprechen den Anforderungen an die einzelnen Bauteile im alternativen Nachweisverfahren des KfW-Effizienzhauses 55 nach Referenzwerten [44]. Somit wird das energetische Niveau des Einfamilienhauses mit um 30 % energetisch besseren Gebäudebauteilen als in der Referenzausführung festgelegt. Die U-Werte der Referenzausführung gemäß EnEV Anlage 1 Tabelle 1 und die neu definierten U-Werte sind in Tabelle 12 dargestellt. Der Wärmebrückenzuschlag wird mit $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen und entspricht dem Wärmebrückenzuschlag der Referenzausführung nach EnEV. Die Berechnungsergebnisse des Einfamilienhauses mit dem neu definierten Standard der Gebäudehülle sind ebenfalls in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 12: Gegenüberstellung der U-Werte des EnEV-Referenzgebäudes nach Anhang 1, Tabelle 1 und die um 30 % reduzierten U-Werte zur Festlegung des energetischen Niveaus der Gebäudehülle des gewählten Beispielgebäudes für die Studie.

Bauteile	U-Wert Referenzgebäude (U-Wert _{Ref.})	U-Wert Beispielgebäude ‚Einfamilienhaus‘ (U-Wert _{Ref.} -30 %)
Außenwand	0,28 W/(m ² K)	0,20 W/(m ² K)
Dach	0,20 W/(m ² K)	0,14 W/(m ² K)
Oberste Geschossdecke	0,20 W/(m ² K)	0,14 W/(m ² K)
Kellerdecke	0,35 W/(m ² K)	0,25 W/(m ² K)
Fenster	1,30 W/(m ² K) (g = 0,60)	0,91 W/(m ² K) (g = 0,60)
Wärmebrücken: ΔU_{WB}	0,05 W/(m ² K)	0,05 W/(m ² K)

Tabelle 13: Vergleich der berechneten Energiekennwerte des Beispielgebäudes ‚Einfamilienhaus‘ in der Ausführung ‚Referenzgebäude‘ gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV), definiert in EnEV Anlage 1, Tabelle 1 und in der Ausführung mit den um 30 % reduzierten U-Werten der Gebäudehülle bei gleichbleibender Anlagentechnik.

Gebäudevariante	Gebäudeenergiekennwerte				EnEV-Anforderung	
	Nutzenergiebedarf	Endenergiebedarf	Primärenergiebedarf	Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T	Maximaler Jahres-Primärenergiebedarf	Maximaler spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	W/m ² K	kWh/m ² a	W/m ² K
Referenzgebäude	70,18	95,54	102,62	0,38	77,0	0,38
Beispielgebäude ‚Einfamilienhaus‘ mit Referenztechnologien aber U-Wert _{Ref.} -30 % (Basisvariante)	48,81	70,57	76,59	0,28	erfüllt	erfüllt

4.2 Auswahl der anlagentechnischen Varianten

Die Basisvariante wird mit dem Beispielgebäude ‚Einfamilienhaus‘ mit dem im vorherigen Abschnitt definierten Gebäudehüllstandard und mit der Referenz-Anlagentechnik gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) Anlage 1 Tabelle 1 berechnet. Im Wesentlichen besteht diese aus einem Öl-Brennwertkessel mit Auslegungstemperatur 55/45 °C sowie einem zentralen Verteilsystem, welches innerhalb der thermischen Gebäudehülle verläuft. Die Trinkwarmwassererwärmung erfolgt mit Hilfe einer Solaranlage mit Flachkollektor auf dem Dach. Die einzelnen Parameter des Flachkollektors sind in DIN V 18599 Teil 8 in Tabelle 15 [45] festgelegt. Die Kollektorfläche wird in Abhängigkeit der Nettogrundfläche des Gebäudes bestimmt (siehe Gleichung (3)) und beträgt für das gewählte Einfamilienhaus 4,71 m². Die Lüftung des Gebäudes übernimmt eine zentrale Abluftanlage.

$$A_C = 0,095 \cdot (A_{NGF})^{0,8} \quad (3)$$

mit

A_C : Kollektorfläche

A_{NGF} : Nettogrundfläche

Im Folgenden werden die in Bezug auf Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen zu bewertende Varianten der Anlagentechnik dargestellt. Hierbei wird versucht, für den gewählten Gebäudetyp Einfamilienhaus sowohl die marktgängigsten Lösungen als auch regenerative Systemlösungen zur Einhaltung des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG, Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich) abzudecken.

Als Wärmeerzeuger werden Brennwertkessel mit den Brennstoffen Heizöl und Erdgas, drei Wärmepumpenarten mit Nutzung der Umweltenergie aus Luft, Grundwasser und Erdreich, Biomassekessel und Nah-/Fernwärme mit Kraft-Wärme-Kopplung und entweder fossilen oder erneuerbaren Brennstoffen untersucht. Die Varianten werden so aufgebaut, dass jede Heizungsanlage einmal in Kombination mit Fensterlüftung, mit einer zentralen Abluftanlage und einmal mit einer zentralen Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung von 80 % untersucht wird. Jede Heizungsanlage mit fossilem Energieträger wird außerdem zusätzlich einmal ohne und einmal mit solarer Trinkwasserunterstützung betrachtet. Auf diese Weise entstehen insgesamt 33 unterschiedliche Systeme, die in Tabelle 14 aufgeführt sind.

Tabelle 14: Zusammenstellung der untersuchten Anlagentechniken

Variante		Anlagentechnik	
Anlage 1	Brennwertkessel-Öl	Heizung	- Brennwertkessel verbessert - Energieträger: Heizöl - Auslegung: 55/45 °C - Wärmeübergabe: Heizkörper
		Trinkwarmwasser	- in Kombination mit Heizungsanlage
		Lüftung	- keine mech. Lüftungsanlage (Fensterlüftung)
Anlage 2	Brennwertkessel-Öl und Abluftanlage	wie Anlage 1, nur mit zentraler Abluftanlage	
Anlage 3	Brennwertkessel-Öl und WRG	wie Anlage 1, nur mit zentraler Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung 80 %	
Anlage 4	Brennwertkessel-Öl mit Solar WW	wie Anlage 1, nur mit solarer Trinkwassererwärmung	
Anlage 5	Brennwertkessel-Öl mit Solar WW und Abluftanlage	wie Anlage 4, nur mit zentraler Abluftanlage	
Anlage 6	Brennwertkessel-Öl mit Solar WW und WRG	wie Anlage 4, nur mit zentraler Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung 80 %	
Anlage 7	Brennwertkessel-Gas	Heizung	- Brennwertkessel verbessert - Energieträger: Erdgas - Auslegung: 55/45 °C - Wärmeübergabe: Heizkörper
		Trinkwarmwasser	- in Kombination mit Heizungsanlage
		Lüftung	- keine mech. Lüftungsanlage (Fensterlüftung)
Anlage 8	Brennwertkessel-Gas und Abluftanlage	wie Anlage 7, nur mit zentraler Abluftanlage	
Anlage 9	Brennwertkessel-Gas und WRG	wie Anlage 7, nur mit zentraler Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung 80 %	
Anlage 10	Brennwertkessel-Gas mit Solar WW	wie Anlage 7, nur mit solarer Trinkwassererwärmung	
Anlage 11	Brennwertkessel-Gas mit Solar WW und Abluftanlage	wie Anlage 10, nur mit zentraler Abluftanlage	
Anlage 12	Brennwertkessel-Gas mit Solar WW und WRG	wie Anlage 10, nur mit zentraler Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung 80 %	
Anlage 13	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Heizung	- Luft-Wasser-Wärmepumpe - Energieträger: Strom - Auslegung: 35/28 °C - Wärmeübergabe: Fußbodenheizung
		Trinkwarmwasser	- in Kombination mit Heizungsanlage
		Lüftung	- keine mech. Lüftungsanlage (Fensterlüftung)
Anlage 14	Luft-Wasser-Wärmepumpe und Abluftanlage	wie Anlage 13, nur mit zentraler Abluftanlage	
Anlage 15	Luft-Wasser-Wärmepumpe und WRG	wie Anlage 13, nur mit zentraler Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung 80 %	
Anlage 16	Wasser-Wasser-Wärmepumpe	Heizung	- Wasser-Wasser-Wärmepumpe - Energieträger: Strom - Auslegung: 35/28 °C - Wärmeübergabe: Fußbodenheizung
		Trinkwarmwasser	- in Kombination mit Heizungsanlage
		Lüftung	- keine mech. Lüftungsanlage (Fensterlüftung)
Anlage 17	Wasser-Wasser-Wärmepumpe und Abluftanlage	wie Anlage 16, nur mit zentraler Abluftanlage	
Anlage 18	Wasser-Wasser-Wärmepumpe und WRG	wie Anlage 16, nur mit zentraler Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung 80 %	

Tabelle 14 (Fortsetzung): Zusammenstellung der untersuchten Anlagentechniken

Variante		Anlagentechnik	
Anlage 19	Sole-Wasser-Wärmepumpe	Heizung	- Sole-Wasser-Wärmepumpe - Energieträger: Strom - Auslegung: 35/28 °C - Wärmeübergabe: Fußbodenheizung
		Trinkwarmwasser	- in Kombination mit Heizungsanlage
		Lüftung	- keine mech. Lüftungsanlage (Fensterlüftung)
Anlage 20	Sole-Wasser-Wärmepumpe und Abluftanlage	wie Anlage 19, nur mit zentraler Abluftanlage	
Anlage 21	Sole-Wasser-Wärmepumpe und WRG	wie Anlage 19, nur mit zentraler Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung 80 %	
Anlage 22	Biomassekessel	Heizung	- Pelletkessel - Energieträger: Holz - Auslegung: 70/55 °C - Wärmeübergabe: Heizkörper
		Trinkwarmwasser	- in Kombination mit Heizungsanlage
		Lüftung	- keine mech. Lüftungsanlage (Fensterlüftung)
Anlage 23	Biomassekessel und Abluftanlage	wie Anlage 22, nur mit zentraler Abluftanlage	
Anlage 24	Biomassekessel und WRG	wie Anlage 22, nur mit zentraler Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung 80 %	
Anlage 25	Nah-/Fernwärme KWK fossil	Heizung	- Nah- und Fernwärme aus Kraft-/Wärme-Kopplung - Energieträger: fossiler Brennstoff - Auslegung: 90/70 °C - Wärmeübergabe: Heizkörper
		Trinkwarmwasser	- in Kombination mit Heizungsanlage
		Lüftung	- keine mech. Lüftungsanlage (Fensterlüftung)
Anlage 26	Nah-/Fernwärme KWK fossil und Abluftanlage	wie Anlage 25, nur mit zentraler Abluftanlage	
Anlage 27	Nah-/Fernwärme KWK fossil und WRG	wie Anlage 25, nur mit zentraler Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung 80 %	
Anlage 28	Nah-/Fernwärme KWK fossil mit Solar WW	wie Anlage 25, nur mit solarer Trinkwassererwärmung	
Anlage 29	Nah-/Fernwärme KWK fossil mit Solar WW und Abluftanlage	wie Anlage 28, nur mit zentraler Abluftanlage	
Anlage 30	Nah-/Fernwärme KWK fossil mit Solar WW und WRG	wie Anlage 28, nur mit zentraler Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung 80 %	
Anlage 31	Nah-/Fernwärme KWK erneuerbar	Heizung	- Nah- und Fernwärme aus Kraft-/Wärme-Kopplung - Energieträger: erneuerbarer Brennstoff - Auslegung: 90/70 °C - Wärmeübergabe: Heizkörper
		Trinkwarmwasser	- in Kombination mit Heizungsanlage
		Lüftung	- keine mech. Lüftungsanlage (Fensterlüftung)
Anlage 32	Nah-/Fernwärme KWK erneuerbar und Abluftanlage	wie Anlage 31, nur mit zentraler Abluftanlage	
Anlage 33	Nah-/Fernwärme KWK erneuerbar und WRG	wie Anlage 31, nur mit zentraler Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung 80 %	

4.3 Energetische Berechnung und Berechnungsergebnisse

Die energetische Gebäudebilanzierung erfolgte anhand des Beispielgebäudes ‚Einfamilienhaus‘ beschrieben in Abschnitt 4.1 mit insgesamt 33 für diesen Gebäudetyp geläufigen Anlagen-Kombinationen dargestellt im Abschnitt 4.2. Für jede Variante wird als Ergebnis zunächst der Endenergiebedarf getrennt nach Energieträgern mit dem Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 ermittelt.

Im nächsten Schritt wird der für die einzelnen Anlagenvarianten erforderliche Energieeinsatz primärenergetisch mit den gewählten Primärenergiefaktoren und mit der im Abschnitt 3.1 angegebenen Gleichung (1) bewertet. Die Ergebnisse der einzelnen Varianten mit Endenergie- und Primärenergiebedarf sind in Tabelle 15 zusammengestellt und in Abbildung 6 graphisch veranschaulicht. Vollständigkeitshalber sind in der Tabelle sowohl die Umrechnungsfaktoren von Brennwert auf Heizwert als auch die Primärenergiefaktoren mit aufgeführt. Es ist anzumerken, dass die Anlagenvarianten 1 bis 4 und 7 bis 10 den maximalen Jahres-Primärenergiebedarf der Energieeinsparverordnung (EnEV 2016) überschreiten und somit die EnEV-Vorgaben nicht erfüllen. Diese Varianten sind in der Tabelle und in der Graphik mit roter Schrift gekennzeichnet. Dabei handelt es sich um Varianten bestehend aus einem Brennwertkessel mit den Energieträgern Heizöl und Erdgas jeweils mit Fensterlüftung oder maschineller Lüftung (Abluftanlage oder Zu- und Abluftanlage mit WRG) sowie in Kombination mit einer Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung mit (reiner) Fensterlüftung.

Der Primärenergiebedarf der Varianten 5, 6, 11 und 12 mit Brennwertkessel als Wärmeerzeuger, welche die Anforderungen der EnEV 2016 erfüllen, liegt jeweils nah am Anforderungswert von $76,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und unterschreitet diesen um maximal 7 %. Die Systemvarianten mit fossil befeuerten Nah-/Fernwärmeanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung weisen einen durchschnittlichen Primärenergiebedarf von $57,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ auf und liegen somit im Schnitt ca. 26 % unter dem Anforderungswert. Der Primärenergiebedarf bei Wärmepumpen als Wärmeerzeuger unterschreitet den Anforderungswert durchschnittlich um ca. 43 %. Die geringsten Primärenergiebedarfswerte ergeben die Varianten mit Biomassekessel mit einem mittleren Jahres-Primärenergiebedarf von $27,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und die Nah-/Fernwärme mit Kraft-Wärme-Kopplung mit erneuerbarem Energieträger mit einem mittleren Primärenergiebedarf von $4,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Tabelle 15: Zusammenstellung des berechneten Endenergiebedarfs (aufgeteilt nach Energieträger) und Primärenergiebedarfs der untersuchten Varianten mit unterschiedlicher Anlagentechnik anhand des Beispielgebäudes ‚Einfamilienhaus‘. Die Umrechnungs- und Primärenergiefaktoren entstammen der DIN V 18599. Die rot eingetragenen Varianten erfüllen nicht die Vorgaben der Energieeinsparverordnung 2016.

Variante	Endenergieanteile nach Energieträger	Umrechnungsfaktor für Endenergie		Primärenergiefaktor f_p (nicht erneuerbarer Anteil)	Primärenergiebedarf	
		Energieträger	kWh/m ² a			f_{H_S/H_T}
0	Basisvariante (Referenzanlagentechnik)	Öl	66,18	1,06	1,1	76,6
		Strom	4,40	1,00	1,8	
1	BWK-Öl und Fensterlüftung	Öl	92,60	1,06	1,1	102,2
		Strom	3,40	1,00	1,8	
2	BWK-Öl und Abluftanlage	Öl	80,85	1,06	1,1	90,9
		Strom	3,86	1,00	1,8	
3	BWK-Öl und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Öl	71,69	1,06	1,1	86,3
		Strom	6,63	1,00	1,8	
4	BWK-Öl mit Solar WW und Fensterlüftung	Öl	77,98	1,06	1,1	88,0
		Strom	3,94	1,00	1,8	
5	BWK-Öl mit Solar WW und Abluftanlage	Öl	66,18	1,06	1,1	76,6
		Strom	4,40	1,00	1,8	
6	BWK-Öl mit Solar WW und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Öl	56,94	1,06	1,1	72,0
		Strom	7,17	1,00	1,8	
7	BWK-Gas und Fensterlüftung	Gas	96,06	1,11	1,1	101,3
		Strom	3,40	1,00	1,8	
8	BWK-Gas und Abluftanlage	Gas	83,55	1,11	1,1	89,8
		Strom	3,86	1,00	1,8	
9	BWK-Gas und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Gas	73,89	1,11	1,1	85,2
		Strom	6,63	1,00	1,8	
10	BWK-Gas mit Solar WW und Fensterlüftung	Gas	81,46	1,11	1,1	87,8
		Strom	3,94	1,00	1,8	
11	BWK-Gas mit Solar WW und Abluftanlage	Gas	68,89	1,11	1,1	76,2
		Strom	4,40	1,00	1,8	
12	BWK-Gas mit Solar WW und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Gas	59,15	1,11	1,1	71,5
		Strom	7,17	1,00	1,8	
13	Luft-Wasser-WP und Fensterlüftung	Strom	29,94	1,00	1,8	53,9
14	Luft-Wasser-WP und Abluftanlage	Strom	26,74	1,00	1,8	48,1
15	Luft-Wasser-WP Zu-/Abluftanlage mit WRG	Strom	26,87	1,00	1,8	48,4
16	Wasser-Wasser-WP und Fensterlüftung	Strom	21,59	1,00	1,8	38,9
17	Wasser-Wasser-WP und Abluftanlage	Strom	19,75	1,00	1,8	35,6
18	Wasser-Wasser-WP und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Strom	20,88	1,00	1,8	37,6
19	Sole-Wasser-WP und Fensterlüftung	Strom	24,85	1,00	1,8	44,7
20	Sole-Wasser-WP und Abluftanlage	Strom	22,61	1,00	1,8	40,7
21	Sole-Wasser-WP und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Strom	23,45	1,00	1,8	42,2

Tabelle 15 (Fortsetzung): Zusammenstellung des berechneten Endenergiebedarfs (aufgeteilt nach Energieträger) und Primärenergiebedarfs der untersuchten Varianten mit unterschiedlicher Anlagentechnik anhand des Beispielgebäudes ‚Einfamilienhaus‘. Die Umrechnungs- und Primärenergiefaktoren entstammen der DIN V 18599. Die rot eingetragenen Varianten erfüllen nicht die Vorgaben der Energieeinsparverordnung 2016.

Variante		Endenergieanteile nach Energieträger		Umrechnungsfaktor für Endenergie f_{H_S/H_t}	Primärenergiefaktor f_p (nicht erneuerbarer Anteil)	Primärenergiebedarf kWh/m ² a
		Energieträger	kWh/m ² a			
0	Basisvariante (Referenzanlagentechnik)	Öl	66,18	1,06	1,1	76,6
		Strom	4,40	1,00	1,8	
22	Biomassekessel und Fensterlüftung	Holz (Pellet)	112,67	1,08	0,2	27,1
		Strom	3,47	1,00	1,8	
23	Biomassekessel und Abluftanlage	Holz (Pellet)	101,59	1,08	0,2	25,9
		Strom	3,94	1,00	1,8	
24	Biomassekessel und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Holz (Pellet)	94,74	1,08	0,2	29,8
		Strom	6,78	1,00	1,8	
25	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) und Fensterlüftung	fossil	93,71	1,00	0,7	67,2
		Strom	0,9	1,00	1,8	
26	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) und Abluftanlage	fossil	81,12	1,00	0,7	59,4
		Strom	1,42	1,00	1,8	
27	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) und Zu-/Abluftanlage mit WRG	fossil	72,14	1,00	0,7	58,2
		Strom	4,29	1,00	1,8	
28	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) mit Solar WW und Fensterlüftung	fossil	79,03	1,00	0,7	58,2
		Strom	1,59	1,00	1,8	
29	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) mit Solar WW und Abluftanlage	fossil	66,39	1,00	0,7	50,3
		Strom	2,12	1,00	1,8	
30	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) mit Solar WW und Zu-/Abluftanlage mit WRG	fossil	57,33	1,00	0,7	49,1
		Strom	4,98	1,00	1,8	
31	Nah-/Fernwärme KWK (erneuerbar) und Fensterlüftung	erneuerbar	93,71	1,00	0,0	1,6
		Strom	0,90	1,00	1,8	
32	Nah-/Fernwärme KWK (erneuerbar) und Abluftanlage	erneuerbar	81,12	1,00	0,0	2,6
		Strom	1,42	1,00	1,8	
33	Nah-/Fernwärme KWK (erneuerbar) und Zu-/Abluftanlage mit WRG	erneuerbar	72,14	1,00	0,0	7,7
		Strom	4,29	1,00	1,8	

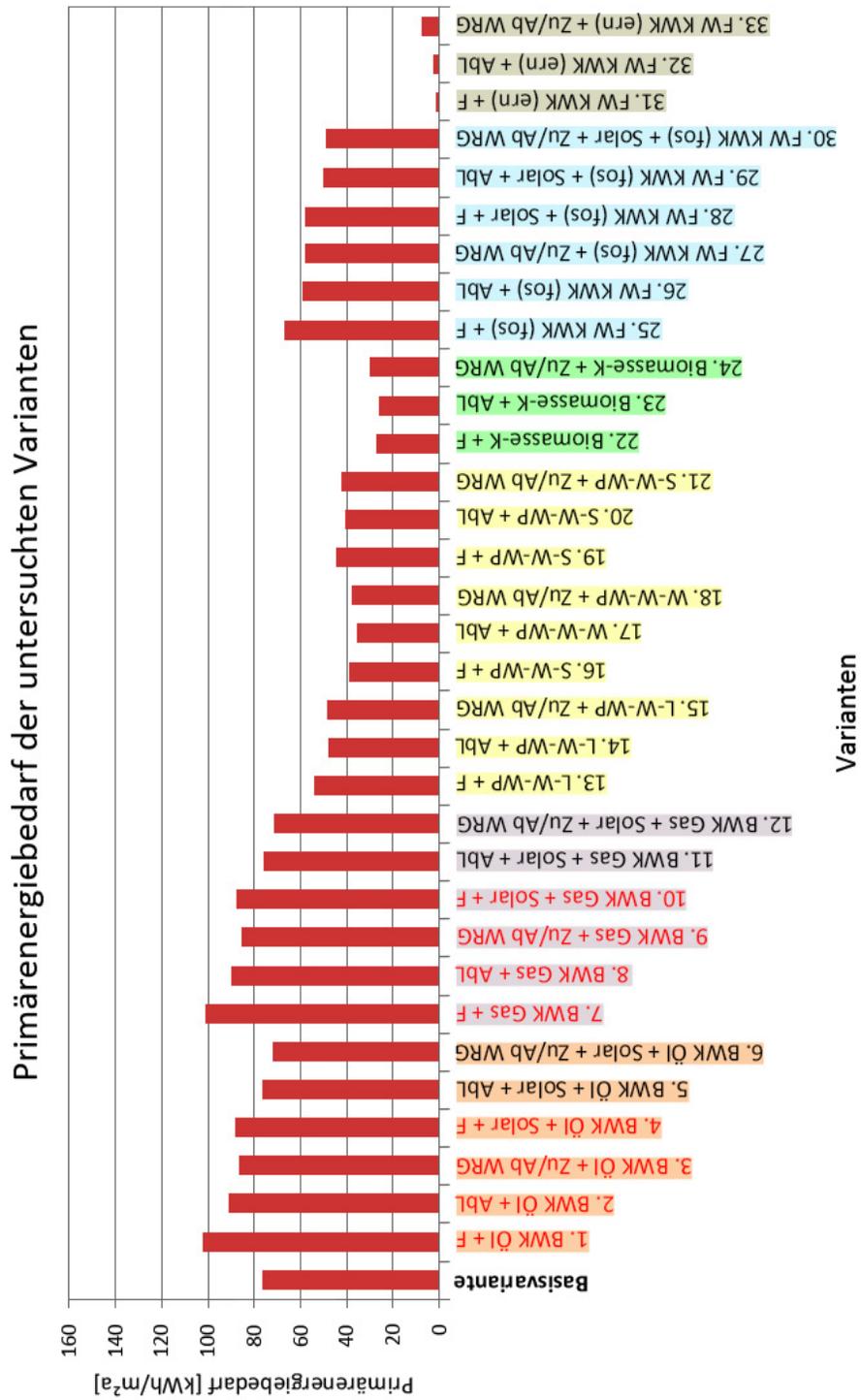


Abbildung 6: Grafische Darstellung des Primärenergiebedarfs der einzelnen Varianten. Die Anlagenvarianten auf der X-Achse wurden in Abhängigkeit des wesentlichen Energieträgers farblich hinterlegt: Heizöl in orange, Erdgas in grau, Biomasse in grün, Fernwärme fossil in blau und Fernwärme erneuerbar in olivgrün. Varianten, die die primärenergetische EnEV-Anforderung nicht erfüllen, sind mit roter Schrift gekennzeichnet.

Im dritten Schritt werden analog zur Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs die CO₂-äquivalenten Emissionen der einzelnen Varianten mit den gewählten CO₂-Äquivalenten und mit der im Abschnitt 3.2 angegebenen Gleichung (2) berechnet. Die Werte der jährlichen Treibhausgasemissionen des Einfamilienhauses in Abhängigkeit der Anlagentechnik in Kilogramm pro Quadratmeter Nutzfläche sowie die gewählten CO₂-Äquivalente sind in Tabelle 16 zusammengestellt. Die Ergebnisse der CO₂-äquivalenten Emissionen sind zusätzlich in Abbildung 7 graphisch veranschaulicht. Auch in dieser Tabelle und Graphik sind die Varianten, welche die primärenergetischen Anforderungen der EnEV 2016 nicht erfüllen, mit roter Schrift gekennzeichnet.

Die CO₂-äquivalenten Emissionen der Basisvariante liegen bei 21,8 kg/(m²a). Würde dieser Wert als Anforderungswert für Treibhausgasemissionen betrachtet, würden im Vergleich zu der primärenergetischen Bewertung zunächst die Varianten 1 bis 4 und die Variante 7 die Anforderungen nicht erfüllen. Die Anlagen-Konfigurationen 8 bis 10, die primärenergetisch durchgefallen sind, hätten aus der solchermaßen übertragenen „CO₂-Sicht“ die „Anforderung“ erfüllt.

Beim Wärmeerzeuger Brennwertkessel bewegen sich die Treibhausgasemissionen des Einfamilienhauses zwischen 16,7 und 29,0 kg/(m²a). Bei den Wärmepumpenvarianten liegen die Werte etwas niedriger zwischen 10,9 kg/(m²a) und 16,5 kg/(m²a). Mit einem Biomassekessel (mit Holz-Pellets als Brennstoff), ergeben sich Emissionen zwischen 5,9 und 7,2 kg/(m²a).

Für die Nah- und Fernwärme mit KWK aus fossilen Brennstoffen erfolgt die Berechnung der jährlichen Treibhausgasemissionen jeweils für einen minimalen und einen maximalen Wert, um auf diese Weise die Bandbreite der möglichen Wärmeerzeugung abzubilden. Bei einer Fernwärmeerzeugung mit erneuerbaren Brennstoffen mit der Allokationsmethode nach Gutschriften ergeben sich negative CO₂-Äquivalente. Diese Varianten werden mit einem CO₂-Äquivalent von Null bewertet. Die Ergebnisse der Varianten für Nah- und Fernwärme sind in der gesonderten Tabelle 17 zusammengefasst. Die graphische Darstellung dieser Varianten erfolgt in Abbildung 7 zusammen mit anderen untersuchten Varianten. Die Bandbreite der CO₂-äquivalenten Emissionen bei einer Wärmeerzeugung mit fossilen Energieträgern umfasst Werte von 6,3 bis 43,0 kg/(m²a). Die Treibhausgasemissionen bei Nah-/Fernwärme mit Einsatz von erneuerbaren Energieträgern liegen zwischen 0,5 und 2,4 kg/(m²a). In Anbetracht des Basiswertes von 21,8 kg/(m²a) liegen die CO₂-Emissionen der fossilen Nah-/Fernwärmeerzeugung bei der Bewertung der Varianten mit den maximalen CO₂-Äquivalenten deutlich über dem Basiswert und würden diese „Anforderung“, wenn es sie in dieser Form gäbe, ebenfalls nicht erfüllen.

Tabelle 16: Zusammenstellung des berechneten Endenergiebedarfs (aufgeteilt nach Energieträger) und der CO₂-äquivalenten Emissionen der untersuchten Varianten mit unterschiedlicher Anlagentechnik (ohne Varianten mit Nah-/Fernwärme) anhand des Beispielgebäudes ‚Einfamilienhaus‘. Die Umrechnungsfaktoren und CO₂-Äquivalente entstammen der DIN V 18599.

Variante	Endenergieanteile nach Energieträger	Umrechnungsfaktor für Endenergie f_{H_2/H_1}		CO ₂ -Äquivalent	CO ₂ -äquivalente Emissionen
		Energieträger	kWh/m ² a	-	g/kWh
0 Basisvariante (Referenzanlagentechnik)	Öl	66,18	1,06	310	21,8
	Strom	4,40	1,00	550	
1 BWK-Öl und Fensterlüftung	Öl	92,60	1,06	310	29,0
	Strom	3,40	1,00	550	
2 BWK-Öl und Abluftanlage	Öl	80,85	1,06	310	25,8
	Strom	3,86	1,00	550	
3 BWK-Öl und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Öl	71,69	1,06	310	24,6
	Strom	6,63	1,00	550	
4 BWK-Öl mit Solar WW und Fensterlüftung	Öl	77,98	1,06	310	25,0
	Strom	3,94	1,00	550	
5 BWK-Öl mit Solar WW und Abluftanlage	Öl	66,18	1,06	310	21,8
	Strom	4,40	1,00	550	
6 BWK-Öl mit Solar WW und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Öl	56,94	1,06	310	20,6
	Strom	7,17	1,00	550	
7 BWK-Gas und Fensterlüftung	Gas	96,06	1,11	240	22,6
	Strom	3,40	1,00	550	
8 BWK-Gas und Abluftanlage	Gas	83,55	1,11	240	20,2
	Strom	3,86	1,00	550	
9 BWK-Gas und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Gas	73,89	1,11	240	19,6
	Strom	6,63	1,00	550	
10 BWK-Gas mit Solar WW und Fensterlüftung	Gas	81,46	1,11	240	19,8
	Strom	3,94	1,00	550	
11 BWK-Gas mit Solar WW und Abluftanlage	Gas	68,89	1,11	240	17,3
	Strom	4,40	1,00	550	
12 BWK-Gas mit Solar WW und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Gas	59,15	1,11	240	16,7
	Strom	7,17	1,00	550	
13 Luft-Wasser-WP und Fensterlüftung	Strom	29,94	1,00	550	16,5
14 Luft-Wasser-WP und Abluftanlage	Strom	26,74	1,00	550	14,7
15 Luft-Wasser-WP Zu-/Abluftanlage mit WRG	Strom	26,87	1,00	550	14,8
16 Wasser-Wasser-WP und Fensterlüftung	Strom	21,59	1,00	550	11,9
17 Wasser-Wasser-WP und Abluftanlage	Strom	19,75	1,00	550	10,9
18 Wasser-Wasser-WP und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Strom	20,88	1,00	550	11,5
19 Sole-Wasser-WP und Fensterlüftung	Strom	24,85	1,00	550	13,7
20 Sole-Wasser-WP und Abluftanlage	Strom	22,61	1,00	550	12,4
21 Sole-Wasser-WP und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Strom	23,45	1,00	550	12,9
22 Biomassekessel und Fensterlüftung	Holz (Pellet)	112,67	1,08	40	6,1
	Strom	3,47	1,00	550	
23 Biomassekessel und Abluftanlage	Holz (Pellet)	101,59	1,08	40	5,9
	Strom	3,94	1,00	550	
24 Biomassekessel und Zu-/Abluftanlage mit WRG	Holz (Pellet)	94,74	1,08	40	7,2
	Strom	6,78	1,00	550	

Tabelle 17: Zusammenstellung des berechneten Endenergiebedarfs (aufgeteilt nach Energieträger) und die minimalen sowie maximalen CO₂-äquivalenten Emissionen für die untersuchten Varianten mit Wärmeerzeugung aus Nah-/Fernwärme anhand des Beispielgebäudes ‚Einfamilienhaus‘. Die Umrechnungsfaktoren und CO₂-Äquivalente entstammen aus Tabelle 7, ermittelt mit dem Allokationsverfahren nach Gutschriften.

Variante	Endenergieanteile nach Energieträger	Umrechnungsfaktor für Endenergie f_{H_s/H_t}	CO ₂ -Äquivalent		CO ₂ -äquivalente Emissionen			
			Minimale Wert	Maximale Wert	Minimale Emissionen	Maximale Emissionen		
			Energieträger	kWh/m ² a	-	g/kWh	g/kWh	kg/m ² a
0	Basisvariante (Referenzanlagentechnik)	Öl	66,18	1,06	310		21,8	
		Strom	4,40	1,00	550			
25 a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) und Fensterlüftung	fossil	93,71	1,00	77	453	7,7	43,0
		Strom	0,9	1,00	550	550		
26 a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) und Abluftanlage	fossil	81,12	1,00	77	453	7,0	37,5
		Strom	1,42	1,00	550	550		
27 a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) und Zu-/Abluftanlage mit WRG	fossil	72,14	1,00	77	453	7,9	35,1
		Strom	4,29	1,00	550	550		
28 a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) mit Solar WW und Fensterlüftung	fossil	79,03	1,00	77	453	7,0	36,7
		Strom	1,59	1,00	550	550		
29 a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) mit Solar WW und Abluftanlage	fossil	66,39	1,00	77	453	6,3	31,3
		Strom	2,12	1,00	550	550		
30 a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) mit Solar WW und Zu-/Abluftanlage mit WRG	fossil	57,33	1,00	77	453	7,2	28,7
		Strom	4,98	1,00	550	550		
31	Nah-/Fernwärme KWK (erneuerbar) und Fensterlüftung	erneuerbar	93,71	1,00	0*		0,5	
		Strom	0,90	1,00	550			
32	Nah-/Fernwärme KWK(erneuerbar) und Abluftanlage	erneuerbar	81,12	1,00	0*		0,8	
		Strom	1,42	1,00	550			
33	Nah-/Fernwärme KWK (erneuerbar) und Zu-/Abluftanlage mit WRG	erneuerbar	72,14	1,00	0*		2,4	
		Strom	4,29	1,00	550			

* Entsprechend Kapitel 3.3.2 werden negative CO₂-Äquivalente zu 0 gesetzt.

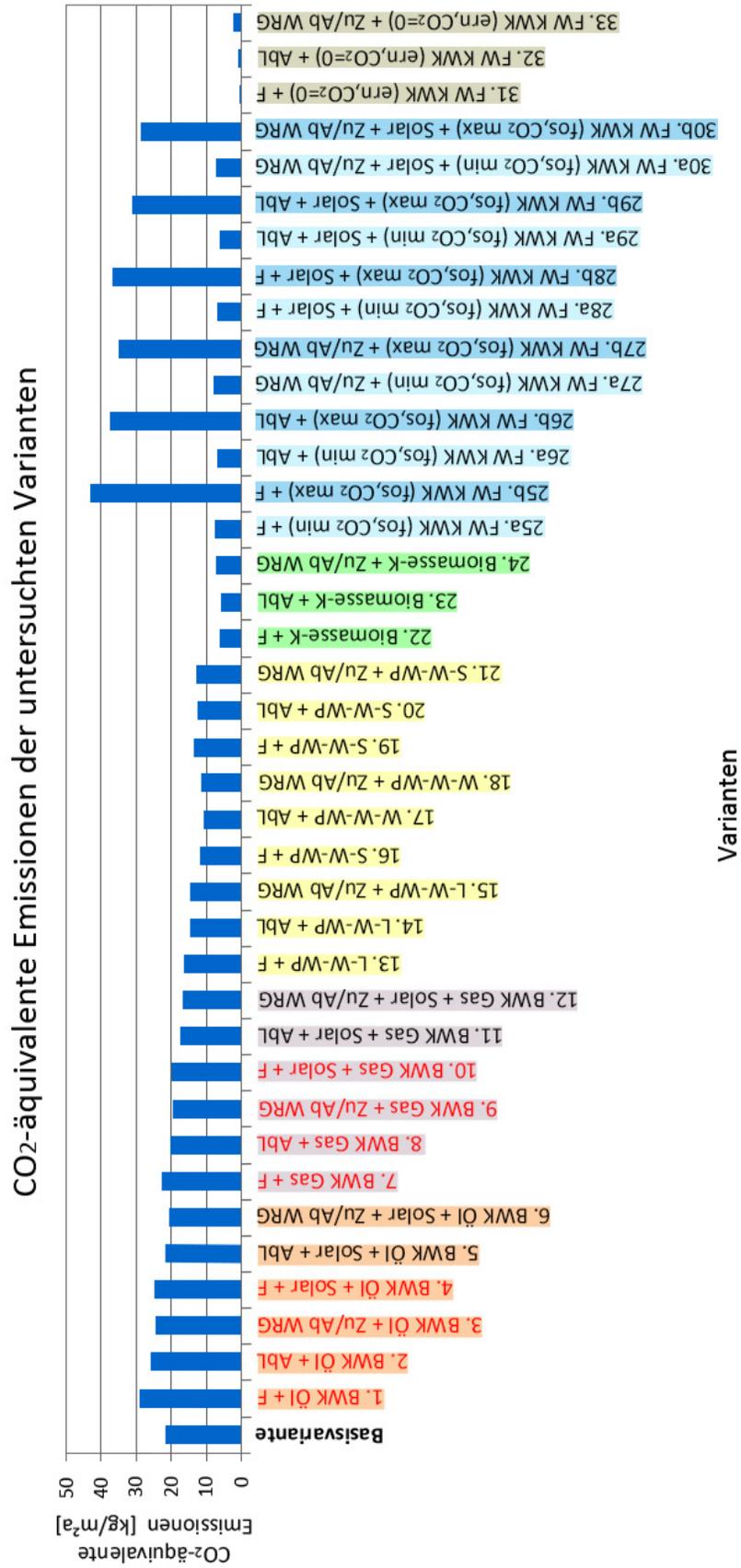


Abbildung 7: Grafische Darstellung der CO₂-äquivalenten Emissionen der einzelnen Varianten. Die Anlagenvarianten auf der X-Achse wurden in Abhängigkeit des wesentlichen Energieträgers farblich hinterlegt: Heizöl in orange, Erdgas in grau, Strom in gelb, Biomasse in grün, Fernwärme fossil in blau und Fernwärme erneuerbar in olivgrün. Varianten, die die primärenergetische EnEV-Anforderung nicht erfüllen, sind mit roter Schrift gekennzeichnet.

4.4 Vergleich zwischen primärenergetischer und CO₂-Äquivalente-Bewertung

Der Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen der einzelnen Varianten sind zunächst nur schwer direkt miteinander vergleichbar. Deshalb werden drei verschiedene Darstellungen gewählt, um die Auswirkungen der beiden möglichen Bewertungsgrößen zu veranschaulichen:

1. Vergleich des Primärenergiebedarfs mit dem treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarf
2. Gegenüberstellung der berechneten Primärenergiebedarfswerte und CO₂-äquivalenten Emissionen, sortiert nach der Höhe des Primärenergiebedarfs
3. Gegenüberstellung der berechneten Primärenergiebedarfswerte und CO₂-äquivalenten Emissionen, sortiert nach der Höhe der CO₂-äquivalenten Emissionen

4.4.1 Vergleich des Primärenergiebedarfs mit dem treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarf

Um die Auswirkung der CO₂-äquivalenten Bewertung der Varianten im Vergleich zur primärenergetischen Bewertung erkennen zu können, werden CO₂-äquivalente Emissionen der einzelnen Varianten in einen treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarf nach Gleichung (4) umgerechnet. Die Jahres-Primärenergiebedarfe der untersuchten Varianten (ohne Varianten mit Nah-/Fernwärme) und das Ergebnis der Umrechnung sind in Tabelle 18 zusammengestellt. Da bei der Nah-/Fernwärme teilweise eine Bandbreite an Treibhausgasemissionen betrachtet wird, abgebildet durch eine minimale und maximale Emissionsmenge, werden die treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarfe in Tabelle 19 ebenfalls mit einem minimalen und einem maximalen Wert angegeben.

$$Q_{p,CO_2,\ddot{a}q.} = Q_{p,Basis} \cdot \frac{m_{CO_2,\ddot{a}q.,i}}{m_{CO_2,\ddot{a}q.,Basis}} \quad (4)$$

mit

$Q_{p,CO_2,\ddot{a}q.}$: Treibhausgasgewichteter Primärenergiebedarf

$Q_{p,Basis}$: Primärenergiebedarf der Basisvariante

$m_{CO_2,\ddot{a}q.,i}$: Masse der CO₂-äquivalenten Emissionen der einzelnen Varianten i

$m_{CO_2,\ddot{a}q.,Basis}$: Masse der CO₂-äquivalenten Emissionen der Basisvariante

Wenn der treibhausgasgewichtete Primärenergiebedarf größer als der Primärenergiebedarf einer Variante ist, schneidet diese Variante bei der CO₂-Äquivalenten-Bewertung im Vergleich zur Primärenergiebewertung schlechter ab. Wenn der treibhausgasgewichtete Primärenergiebedarf kleiner als der Primärenergiebedarf einer Variante ist, schneidet diese Variante bei der CO₂-Äquivalenten-Bewertung im Vergleich zur Primärenergiebewertung besser ab. Die Basisvariante ist auch hier wieder die Referenztechnologie aus der EnEV, d. h. der Ölbrennwertkessel mit solarer Unterstützung und Abluftanlage.

Tabelle 18: Vergleich des Primärenergiebedarfs der untersuchten Varianten (ohne Varianten mit Nah-/ Fernwärme) mit dem treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarf.

Variante	Primärenergiebe- darf	CO ₂ -äquiva- lente Emissio- nen	Treibhausgasgewichte- ter Primärenergiebe- darf	
	kWh/m ² a	kg/m ² a	kWh/m ² a	
0	Basisvariante (Referenzanlagentechnik)	76,6	21,8	76,6
1	BWK-Öl und Fensterlüftung	102,2	29,0	101,8
2	BWK-Öl und Abluftanlage	90,9	25,8	90,6
3	BWK-Öl und Zu-/Abluftanlage mit WRG	86,3	24,6	86,6
4	BWK-Öl mit Solar WW und Fensterlüftung	88,0	25,0	87,8
5	BWK-Öl mit Solar WW und Abluftanlage	76,6	21,8	76,6
6	BWK-Öl mit Solar WW und Zu-/Abluftanlage mit WRG	72,0	20,6	72,4
7	BWK-Gas und Fensterlüftung	101,3	22,6	79,6
8	BWK-Gas und Abluftanlage	89,8	20,2	71,0
9	BWK-Gas und Zu-/Abluftanlage mit WRG	85,2	19,6	69,0
10	BWK-Gas mit Solar WW und Fensterlüftung	87,8	19,8	69,6
11	BWK-Gas mit Solar WW und Abluftanlage	76,2	17,3	60,9
12	BWK-Gas mit Solar WW und Zu-/Abluftanlage mit WRG	71,5	16,7	58,9
13	Luft-Wasser-WP und Fensterlüftung	53,9	16,5	57,9
14	Luft-Wasser- WP und Abluftanlage	48,1	14,7	51,7
15	Luft-Wasser-WP und Zu-/Abluftanlage mit WRG	48,4	14,8	52,0
16	Wasser-Wasser-WP und Fensterlüftung	38,9	11,9	41,8
17	Wasser-Wasser-WP und Abluftanlage	35,6	10,9	38,2
18	Wasser-Wasser-WP und Zu-/Abluftanlage mit WRG	37,6	11,5	40,4
19	Sole-Wasser- WP und Fensterlüftung	44,7	13,7	48,1
20	Sole-Wasser- WP und Abluftanlage	40,7	12,4	43,7
21	Sole-Wasser- WP und Zu-/Abluftanlage mit WRG	42,2	12,9	45,4
22	Biomassekessel und Fensterlüftung	27,1	6,1	21,4
23	Biomassekessel und Abluftanlage	25,9	5,9	20,9
24	Biomassekessel und Zu-/Abluftanlage mit WRG	29,8	7,2	25,5

Tabelle 19: Vergleich des Primärenergiebedarfs der untersuchten Varianten mit Nah-/ Fernwärme mit dem treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarf.

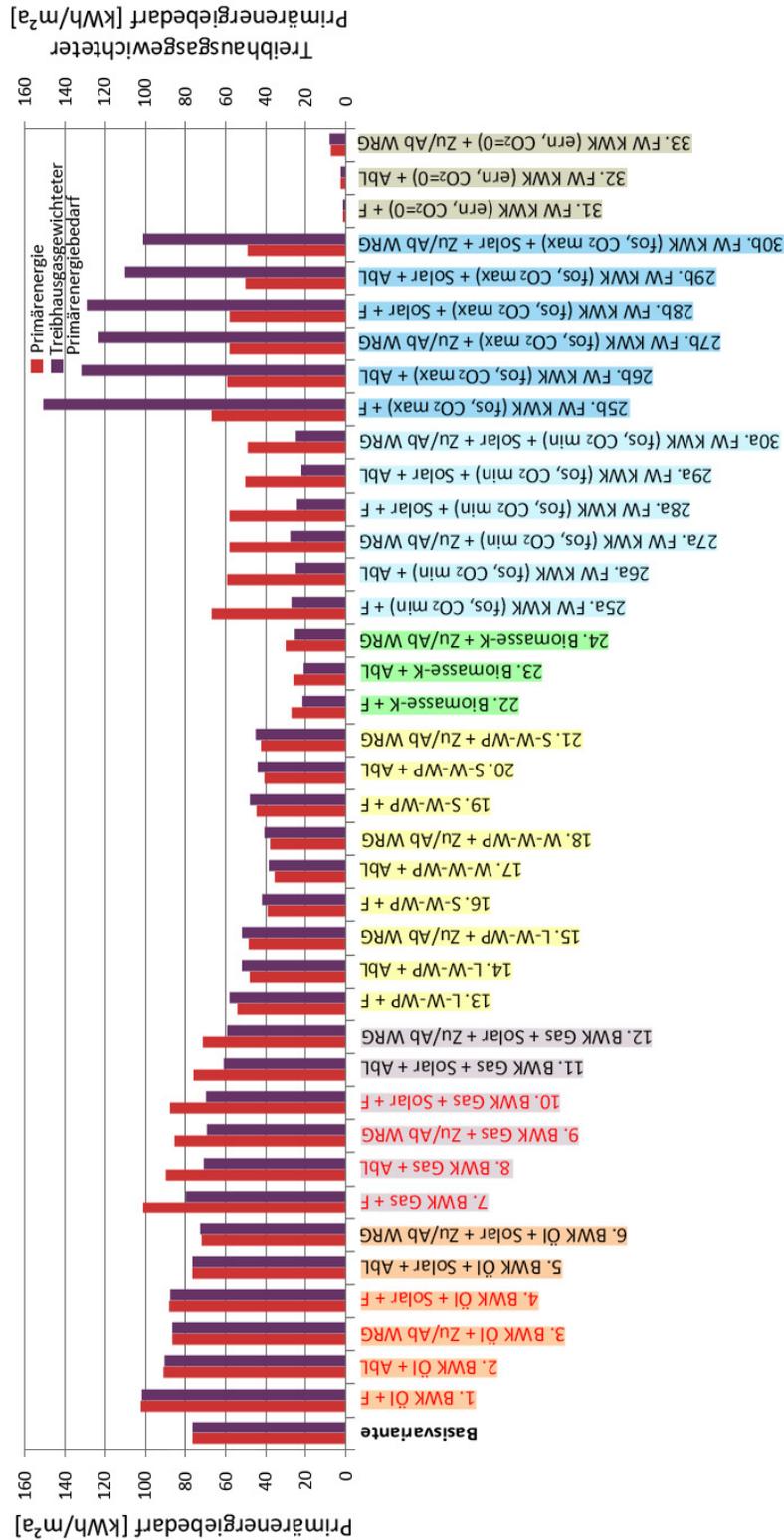
Variante		Primärenergiebedarf kWh/m ² a	CO ₂ -äquivalente Emissionen		Treibhausgasgewichteter Primärenergiebedarf	
			Minimale Emissionen	Maximale Emissionen	Minimaler Wert	Maximaler Wert
			kg/m ² a	kg/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a
0	Basisvariante (Referenzanlagentechnik)	76,6	21,8		76,6	
25a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) und Fensterlüftung	67,2	7,7	43,0	27,2	151,1
26a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) und Abluftanlage	59,4	7,0	37,5	24,8	132,0
27a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) und Zu-/Abluftanlage mit WRG	58,2	7,9	35,1	27,9	123,3
28a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) mit Solar WW und Fensterlüftung	58,2	7,0	36,7	24,5	129,0
29a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) mit Solar WW und Abluftanlage	50,3	6,3	31,3	22,1	109,9
30a,b	Nah-/Fernwärme KWK (fossil) mit Solar WW und Zu-/Abluftanlage mit WRG	49,1	7,2	28,7	25,2	101,0
31	Nah-/Fernwärme KWK (erneuerbar) und Fensterlüftung mit CO _{2,Äq.} = 0	1,6	0,5		1,7	
32	Nah-/Fernwärme KWK (erneuerbar) und Abluftanlage, CO _{2,Äq.} = 0	2,6	0,8		2,8	
33	Nah-/Fernwärme KWK (erneuerbar) und Zu-/Abluftanlage mit WRG, CO _{2,Äq.} = 0	7,7	2,4		8,3	

Die treibhausgasgewichteten Werte aller Varianten werden in Abbildung 8 graphisch veranschaulicht. Da bei der Basisvariante ein Brennwertkessel mit Heizöl als Brennstoff den wesentlichen Wärmeerzeuger darstellt, gibt es zwischen dem Primärenergiebedarf der Varianten 1 bis 6, welche ebenfalls Heizöl als Energieträger beziehen, und dem jeweils treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarf kaum einen Unterschied. Die gleichen Anlagenkonfigurationen wie 1 bis 6 nur mit dem Energieträger Erdgas anstatt Heizöl (Varianten 7 bis 12) stehen bei der Betrachtung der Treibhausgasemissionen um 18 bis 21 % besser da als bei der primärenergetischen Betrachtung. Dies liegt vor allem daran, dass das CO₂-Äquivalent bei Erdgas kleiner ist als bei Heizöl, während die beiden Energieträger mit gleichem Primärenergiefaktor gewichtet werden.

Bei den Varianten mit den strombetriebenen Wärmepumpen als zentralem Wärmeversorger wirkt sich die Bewertung über Treibhausgasemissionen etwas negativer aus als die Bewertung mit Primärenergiefaktoren mit einem Unterschied von ca. 7 %. Bei Varianten mit einem Biomassekessel mit Holz-/Holz-Pellets als Brennstoff fällt die Bewertung mit CO₂-Äquivalenten um 14 bis 21 % günstiger aus als die primärenergetische Betrachtung. Etwas anders sieht es bei der Nah-/Fernwärmeversorgung aus. Wird die Nah-/Fernwärme mit fossilen Energieträgern erzeugt, hängt es stark vom Energieträger bzw. Energieträger-Mix, der Anlagentechnik, dem Anteil an Kraft-Wärme-Kopplung und dem Anteil an produziertem Koppelprodukt Strom ab (alles Faktoren, die im Wesentlichen die Menge der Treibhausgasemissionen beeinflussen), ob die Nah-/Fernwärme bei der CO_{2,Äq.}-Betrachtung im Vergleich zu der Primärenergie vorteilhafter

ausfällt oder dadurch eher benachteiligt wird. Bei Nah-/Fernwärme mit einem CO_2 -Äquivalenten unter $200 \text{ g/kWh}_{\text{th}}$ fällt die Bewertung der Treibhausgasemissionen im Vergleich zur primärenergetischen Bewertung positiver aus; bei einem CO_2 -Äquivalenten über $200 \text{ g/kWh}_{\text{th}}$ werden die Nah-/Fernwärmeanlagen dadurch eher benachteiligt. Bei Nah-/Fernwärme mit erneuerbaren Energieträgern findet durch die zu 0 gesetzten (ursprünglich jeweils zu einem negativen Wert berechneten) Primärenergiefaktoren und CO_2 -Äquivalente der Nah-/Fernwärme nur noch eine Bewertung der Hilfsenergie Strom statt. Deshalb steht die Nah-/Fernwärme aus regenerativen Energieträgern bei der Betrachtung von Treibhausgasemissionen minimal schlechter als primärenergetisch da.

Primärenergiebedarf im Vergleich zum treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarf



Varianten

Abbildung 8: Grafische Gegenüberstellung des Primärenergiebedarfs der einzelnen Varianten mit dem treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarf. Die Anlagenvarianten auf der X-Achse wurden in Abhängigkeit des wesentlichen Energieträgers farblich hinterlegt: Heizöl in orange, Erdgas in grau, Biomasse in grün, Strom in gelb, Fernwärme fossil in blau und Fernwärme erneuerbar in olivgrün. Varianten, die die primärenergetische EnEV-Anforderung nicht erfüllen, sind mit roter Schrift gekennzeichnet.

4.4.2 Gegenüberstellung der berechneten Primärenergiebedarfswerte und CO₂-äquivalenten Emissionen, sortiert nach der Höhe des Primärenergiebedarfs

Um die Auswirkungen der CO_{2,äq.}-bilanztechnischen Bewertung auf die energetische Gebäudebilanzierung eines Einfamilienhauses im Vergleich zu der primärenergetischen Bewertung analysieren zu können, werden jetzt die Ergebnisse der 33 untersuchten Varianten vergleichend in einem Diagramm dargestellt und in Abhängigkeit der primärenergetischen Ergebnisse sortiert. Dabei werden die Varianten mit dem höchsten Ergebnis am Anfang und die mit dem niedrigsten Ergebnis am Ende aufgeführt. Die auf diese Weise entstandene Reihenfolge der Varianten ist in Abbildung 9 veranschaulicht. Im Diagramm sind an erster Stelle die Ergebnisse der Basisvariante abgebildet, welche gleichzeitig die EnEV-Anforderung in Bezug auf den Jahresprimärenergiebedarf darstellen. Dadurch kann auf den ersten Blick erkannt werden, dass die Varianten 1 bis 4 und 7 bis 10 die EnEV-Anforderung überschreiten und somit nicht erfüllen. Diese Varianten sind deshalb auf der X-Achse der Grafik mit roter Schrift gekennzeichnet. Dabei handelt es sich um Varianten bestehend aus einem Brennwertkessel mit den Energieträgern Heizöl und Erdgas jeweils mit Fensterlüftung oder mechanischer Lüftung (Abluftanlage oder Zu- und Abluftanlage mit WRG) sowie in Kombination mit einer Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung mit (reiner) Fensterlüftung.

Des Weiteren kann der Grafik entnommen werden, dass aus primärenergetischer Sicht die Anlagenkonfigurationen mit einem Brennwertkessel mit fossilem Brennstoff tendenziell dicht bzw. nur knapp unter der EnEV-Anforderung liegen. Danach kommt die Gruppe mit Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung und ebenfalls fossilem Energieträger. Dabei ist zu beachten, dass bei Fernwärme die Varianten teilweise doppelt aufgeführt werden, weil diese CO_{2,äq.}-bilanztechnisch mit einem minimalen und einem maximalen CO_{2,äq.}-Kennwert bewertet wurden. Der jährliche Primärenergiebedarf dieser Untervarianten ist aber gleich hoch und macht im Durchschnitt etwa $\frac{3}{4}$ des Primärenergiebedarfs der Basisvariante aus. Nach der Fernwärme KWK fossil folgt die Gruppe der Wärmepumpen mit dem alleinigen Energieträger Strom. Der jährliche Primärenergiebedarf der Anlagenkonfigurationen mit Wärmepumpen liegt etwa bei der Hälfte des Primärenergie-Anforderungswerts. Um mehr als die Hälfte wird der EnEV-Anforderungswert von Varianten mit einem Biomassekessel unterschritten. Am besten stehen jedoch die Varianten mit Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung mit erneuerbarem Brennstoff dar. Da der Anteil des erneuerbaren Brennstoffes mit einem Primärenergiefaktor $f_p = 0$ bewertet wird, hängt der Primärenergiebedarf dieser Varianten allein von der Höhe der Hilfsenergie Strom ab.

Primärenergiebedarf und CO₂-äquivalente Emissionen der untersuchten Varianten
Sortiert absteigend nach Primärenergiebedarf

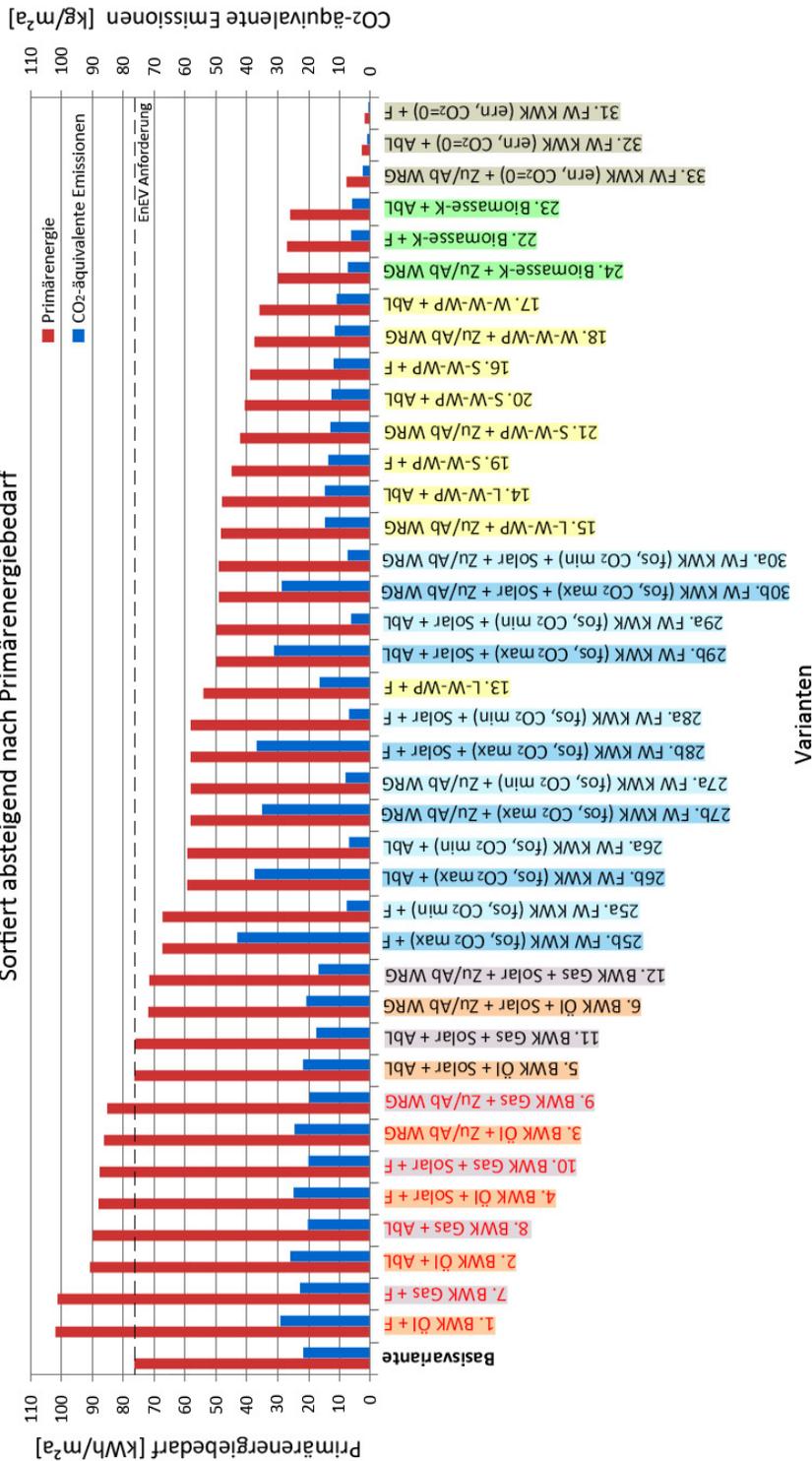


Abbildung 9: Grafische Darstellung des Primärenergiebedarfs im Vergleich mit den CO₂-äquivalenten Emissionen für die untersuchten Varianten. Die Varianten rechts von der Basisvariante wurden nach dem Primärenergiebedarf sortiert, beginnend mit der Variante mit dem höchsten Bedarf. Die Anlagenvarianten wurden in Abhängigkeit des wesentlichen Energieträgers farblich hinterlegt: Heizöl in orange, Erdgas in grau, Strom in gelb, Biomasse in grün, Fernwärme fossil in blau und Fernwärme erneuerbar in olivgrün. Varianten, die die primärenergetische EnEV-Anforderung nicht erfüllen, sind mit roter Schrift gekennzeichnet.

4.4.3 Gegenüberstellung der berechneten Primärenergiebedarfswerte und CO₂-äquivalenten Emissionen, sortiert nach der Höhe der CO₂-äquivalenten Emissionen

Betrachtet man nun die untersuchten Varianten sortiert nach deren jährlicher Menge an Treibhausgasemissionen, dargestellt in Abbildung 10, hat sich die Reihenfolge der Varianten nicht wesentlich verändert. Auch bei dieser Darstellung werden die Varianten mit den höchsten jährlichen Treibhausgasemissionen an den Anfang und die mit den niedrigsten THG-Emissionen an das Ende sortiert. Die entscheidende Verschiebung im Ranking ergibt sich bei den Varianten mit Fernwärmelösungen, weil bei diesen anders als bei der primärenergetischen Bewertung, teilweise eine Bandbreite an CO₂-Äquivalenten jeweils mit einem minimalen und einem maximalen Wert betrachtet wird. Die Fernwärmevarianten mit fossilem Brennstoff bewertet mit dem maximal definierten CO₂-Äquivalent verschieben sich auf den Anfang und stehen CO_{2,äq.}-bilanztechnisch gesehen schlechter da als die Varianten mit Brennwertkessel als Hauptwärmeerzeuger. Die Fernwärmevarianten mit fossilem Brennstoff, welche dagegen mit dem minimal definierten CO₂-Äquivalent bewertet werden, verschieben sich hinter die Gruppe der Wärmepumpen, so dass die Wärmepumpenlösungen, welche primärenergetisch etwas günstiger als Anlagenvarianten mit Fernwärme KWK fossil bewertet werden, CO_{2,äq.}-bilanztechnisch etwas schlechter dastehen. Die Varianten mit Biomassekessel und Fernwärme KWK mit erneuerbarem Brennstoff fallen sowohl in der Bewertung mit Primärenergiefaktoren als auch mit CO₂-Äquivalente gleich günstig aus und stehen beim Ranking in beiden Betrachtungsfällen an letzter Stelle (stellen also in beiden Fällen die „beste“ Systemlösung dar).

Eine kleine Veränderung in der Reihenfolge ergab sich noch innerhalb der Varianten mit einem Brennwertkessel. Da primärenergetisch Heizöl und Erdgas gleich bewertet werden, haben sich diese beim Ranking in Bezug auf Primärenergie in Abhängigkeit der zusätzlichen Anlagentechnik wie Lüftung und Solarkollektor abgewechselt und standen bei gleicher Lüftung- und Solarlösung nebeneinander. Da das CO₂-Äquivalent von Heizöl deutlich höher ist als das von Erdgas, werden alle Varianten mit Heizöl CO_{2,äq.}-bilanztechnisch schlechter bewertet als die Varianten mit Erdgas.

Abschließend kann beim Ranking nach Treibhausgasemissionen beobachtet werden, dass, wenn die CO₂-äquivalenten Emissionen der Basisvariante analog zum Jahresprimärenergiebedarf als maximal zulässiger Höchstwert angesehen werden, die Varianten 8 bis 10 (Brennwertkessel mit dem Energieträger Erdgas jeweils mit mechanischer Lüftung (Abluftanlage oder Zu- und Abluftanlage mit WRG) sowie in Kombination mit einer Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung mit (reiner) Fensterlüftung), die primärenergetisch die Anforderung der EnEV nicht erfüllt haben, den „CO_{2,äq.}- Höchstwert“ jedoch einhalten würden. Die Varianten mit Fernwärme KWK und fossilem Brennstoff mit hohen Treibhausgasemissionen würden dagegen den CO_{2,äq.}- Höchstwert der Basisvariante deutlich überschreiten und diesen nicht einhalten, obwohl sie primärenergetisch im guten Mittelfeld lagen.

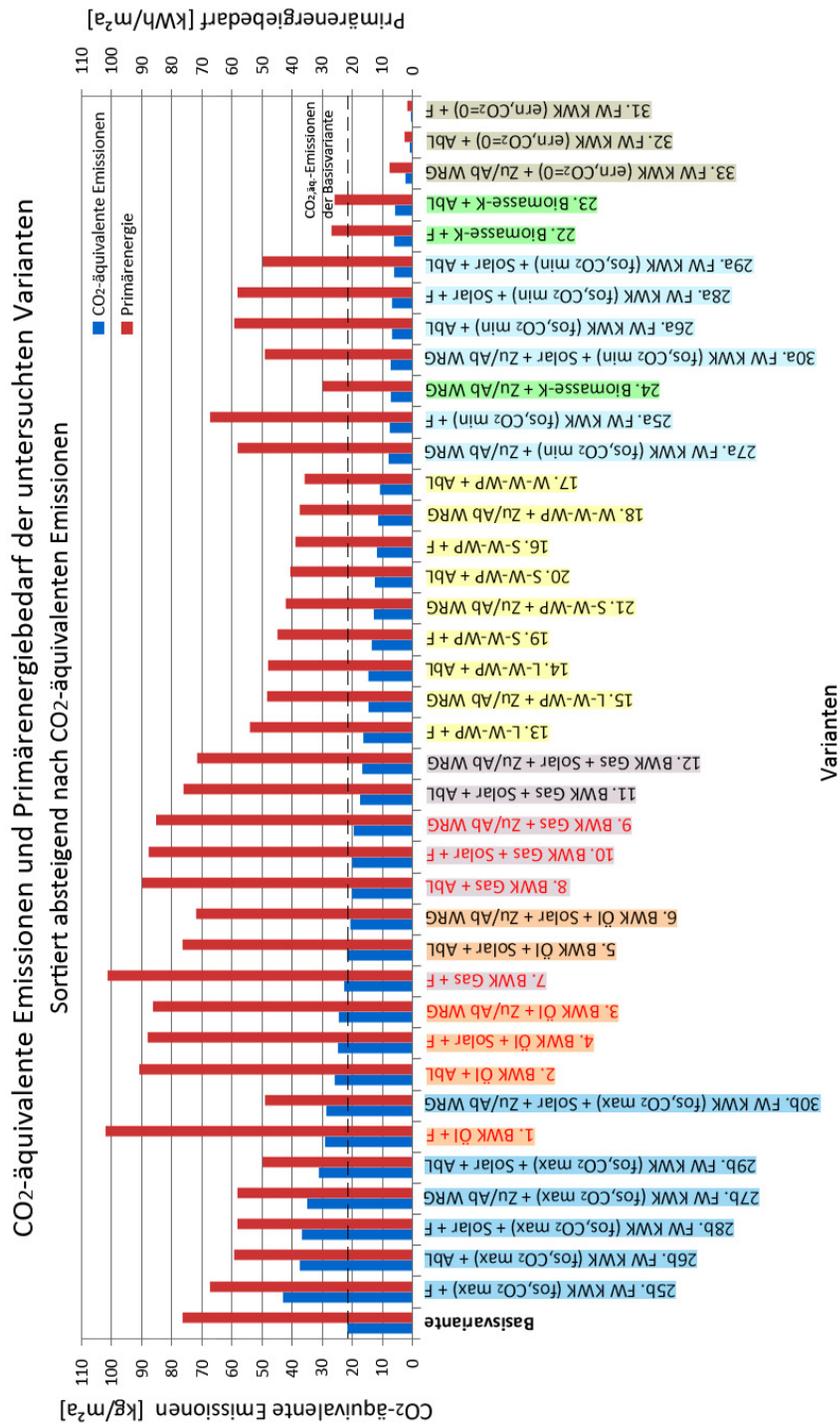


Abbildung 10: Grafische Darstellung des Primärenergiebedarfs im Vergleich mit den CO₂-äquivalenten Emissionen für die untersuchten Varianten. Die Varianten rechts der Basisvariante wurden nach den CO₂-äquivalenten Emissionen sortiert, beginnend mit der Variante mit den höchsten Emissionen. Die Anlagenvarianten wurden in Abhängigkeit des wesentlichen Energieträgers farblich hinterlegt: Heizöl in orange, Erdgas in grau, Strom in gelb, Biomasse in grün, Fernwärme fossil in blau und Fernwärme erneuerbar in olivgrün. Varianten, die die primärenergetische EnEV-Anforderung nicht erfüllen, sind mit roter Schrift gekennzeichnet.

4.5 Zusammenfassung der Bewertungsstudie Einzelgebäude

Im Rahmen der Bewertungsstudie Einzelgebäude wird die Auswirkung durch die Bewertung mit CO₂-äquivalenten Emissionen im Vergleich zur derzeitigen primärenergetischen Bewertung auf die Gebäudeperformance eines typischen Wohnhauses untersucht. Dazu wird ein Wohngebäude mit einer definierten Gebäudehüllflächenqualität in Kombination mit mehreren Anlagentechnikvarianten energetisch bewertet. Als Ergebnis werden der Primärenergiebedarf und die CO₂-äquivalenten Emissionen der untersuchten Varianten ermittelt und analysiert.

Die energetische Bewertung des Wohnhauses erfolgt im Rahmen der Bewertungsstudie Einzelgebäude in Anlehnung an die Energieeinsparverordnung 2016 mit dem in der DIN V 18599 definierten Berechnungsverfahren. Die Grundlage für die Analyse bildet ein freistehendes Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 112 m². Das energetische Niveau der Gebäudehülle des Einfamilienhauses wird mit um 30 % energetisch besseren Gebäudebauteilen als in der Referenzausführung gemäß EnEV festgelegt. Durch diese Vorgehensweise wird in Kombination mit der Referenzanlagentechnik gemäß EnEV, welche im Wesentlichen aus einem Öl-Brennwertkessel, einer Solaranlage und einer zentralen Abluftanlage besteht, die primärenergetische Anforderung eines Neubaus abgebildet. Diese Variante stellt die Basisvariante dar, anhand von welcher die weiteren Anlagentechnikvarianten eingestuft und bewertet werden können.

Die energetische Gebäudebilanzierung des Einfamilienhauses erfolgt unter Einsatz von insgesamt 33 geläufigen Anlagenkombinationen. Gewählt wurden folgende 8 Wärmeerzeuger: Heizöl-Brennwertkessel, Erdgas-Brennwertkessel, drei Wärmepumpenarten mit Nutzung der Umweltenergie aus Luft, Grundwasser und Erdreich, Biomassekessel und Nah-/Fernwärme mit KWK jeweils einmal mit fossilen und einmal mit erneuerbaren Brennstoffen. Jede Heizungsanlage wurde einmal in Kombination mit Fensterlüftung, mit einer zentralen Abluftanlage und einmal mit einer zentralen Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung untersucht. Zusätzlich wurde jede Heizungsanlage mit fossilem Energieträger einmal ohne und einmal mit solarer Trinkwasserunterstützung betrachtet.

Für die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs der einzelnen Varianten werden gemäß EnEV die Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599-1:2011-12 herangezogen. Diese betragen für den nicht erneuerbaren Anteil bei Heizöl und Erdgas jeweils 1,1, bei Holz 0,2, bei Nah-/Fernwärme KWK aus fossilen Brennstoffen 0,7 und bei Nah-/Fernwärme KWK aus erneuerbaren Brennstoffen 0,0, bei Strom 1,8 und bei Umweltenergie 0,0.

Anders als bei Primärenergiefaktoren ist die Datenlage im Bereich der CO₂-Äquivalente komplex, da die Kennwerte noch nicht in der gültigen EnEV definiert sind. Als Quellen stehen frei verfügbare Datenbanken zur Verfügung (z. B. GEMIS, ÖKOBAUDAT), bei welchen jedoch die Kennwertermittlung auf unterschiedliche Weise erfolgt, was zwischen den Datenbanken zu abweichenden Werten führt. Zum ersten Mal wird diese Problematik durch die Überarbeitung der DIN V 18599 aufgenommen, die ab

September dieses Jahres (2018) CO₂-Äquivalente für verschiedene Energieträger normativ festgelegt.

Für die Berechnung der CO₂-äquivalenten Emissionen der einzelnen Varianten der Einzelgebäudestudie werden die CO₂-Äquivalente aus der DIN V 18599:2018-09 gewählt, da diese anhand der gleichen Datengrundlage wie die Primärenergiefaktoren ermittelt worden sind und so bei beiden Bewertungsparameter (Primärenergie und CO_{2,äq.}-Emissionen) von einer zueinander passenden Bewertungsmethode ausgegangen werden kann. Die CO₂-Äquivalente betragen für Heizöl 310 g/kWh, für Erdgas 240 g/kWh, für Holz 40 g/kWh, für Strom 550 g/kWh und für Umweltenergie 0 g/kWh. Für Nah-/Fernwärme wird in der DIN V 18599:2018-09 aufgrund der Individualität jedes Wärmenetzes kein Standardwert für CO₂-Äquivalent angegeben. Aus diesem Grund wird für die Untersuchungen von Nah-/ Fernwärmevarianten mit fossilem und erneuerbarem Brennstoffeinsatz eine Bandbreite mit je einem minimalen und einem maximalen CO₂-Äquivalent mit Hilfe von GEMIS-Datensätzen erarbeitet. Analog zur DIN V 18599 wird auch in GEMIS zur Verrechnung des Koppelproduktes Strom die Stromgutschriftenmethode angewandt. Die definierte Bandbreite für Nah-/Fernwärme KWK aus fossilen Brennstoffen deckt CO₂-Äquivalente von 77 bis 453 g/kWh ab. Bei Nah-/Fernwärme KWK aus erneuerbaren Energien liegt die CO_{2,äq.}-Bandbreite unter Anwendung der Stromgutschriftenmethode in einem negativen Bereich (-233 g/kWh bis -139 g/kWh). Die negativen CO_{2,äq.}-Kennwerte werden analog zu der Regelung in DIN V 18599 auf ein CO₂-Äquivalent von Null gesetzt. Somit kann hier auf eine CO_{2,äq.}-Bandbreite verzichtet werden.

Zur Beurteilung der Auswirkung der beiden Bewertungsgrößen Primärenergiebedarf und CO₂-äquivalente Emissionen auf die Gebäudeperformance eines Wohngebäudes in Abhängigkeit der untersuchten Anlagentechnik-Konfigurationen, werden die als Ergebnis ermittelten Primärenergiebedarfe und Treibhausgasemissionen der einzelnen Varianten anhand von drei verschiedenen Darstellungsarten analysiert.

Zunächst werden die CO₂-äquivalenten Emissionen der einzelnen Varianten in einen treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarf umgerechnet. Dadurch ist es möglich auf den ersten Blick zu erkennen, welche Varianten CO_{2,äq.}-bilanztechnisch im Vergleich zur Primärenergiebewertung besser und welche schlechter abschneiden. Der treibhausgasgewichtete Primärenergiebedarf der Varianten mit Öl-Brennwertkesseln fällt nahezu gleich hoch aus wie der entsprechende Primärenergiebedarf, weil bei der Basisvariante ein Öl-Brennwertkessel den wesentlichen Wärmeerzeuger darstellt. Bei den Varianten mit Erdgas-Brennwertkesseln und mit Biomassekesseln fällt der treibhausgasgewichtete Primärenergiebedarf im Vergleich zum Primärenergiebedarf etwas geringer aus, sodass für diese Varianten die Bewertung mit Treibhausgasemissionen vorteilhafter ist als die primärenergetischen Bewertung. Das Gegenteil ist der Fall bei den Varianten mit den strombetriebenen Wärmepumpen, aber auch bei den Varianten mit Nah-/Fernwärme aus erneuerbaren Energieträgern, bei welchen nur die Hilfsenergie Strom bewertet wird, da der Hauptenergieträger sowohl primärenergetisch als auch CO_{2,äq.}-technisch mit einem Faktor Null gewichtet wird. Bei diesen beiden Varianten-Gruppen übersteigen die treibhausgasgewichteten Primärenergiebedarfe den Primärenergiebedarf der

einzelnen Varianten; das heißt, dass die beiden Variantengruppen bei der Bewertung über Treibhausgasemissionen etwas schlechter dastehen als bei der Bewertung mit Primärenergiefaktoren.

In wie weit bei Varianten mit Nah-/Fernwärme KWK aus fossilen Brennstoffen die $\text{CO}_{2,\text{äq.}}$ -Betrachtung im Vergleich zu der primärenergetischen Bewertung vorteilhafter ausfällt oder dadurch eher benachteiligt wird, hängt von der von dem jeweiligen Fernwärmenetz emittierten Menge an Treibhausgasen ab, die für jede Nah-/Fernwärmeversorgung individuell zu bestimmen ist. Bei den in der vorliegenden Bewertungsstudie gewählten Randbedingungen und Variantenkonstellationen fällt die Nah-/Fernwärme mit CO_2 -äquivalenten Emissionen unter $200 \text{ g/kWh}_{\text{th}}$ bei der Bewertung anhand der Treibhausgasemissionen positiver aus als im Vergleich zur primärenergetischen Bewertung mit einem fixen Primärenergiefaktor von $0,7^5$. Liegen die CO_2 -äquivalenten Emissionen dagegen über $200 \text{ g/kWh}_{\text{th}}$ ist die $\text{CO}_{2,\text{äq.}}$ -technische Bewertung für die Nah-/Fernwärme KWK aus fossilen Brennstoffen im Vergleich zur primärenergetischen Bewertung von Nachteil. Die Faktoren, die im Wesentlichen die Menge der Treibhausgasemissionen eines Nah-/Fernwärmenetzes beeinflussen, sind der eingesetzte Energieträger bzw. der Energieträger-Mix, die verwendete Umwandlungstechnologie, der Anteil an Kraft-Wärme-Kopplung sowie der Anteil an dem produziertem Koppelprodukt Strom.

Die Auswirkungen der $\text{CO}_{2,\text{äq.}}$ -bilanztechnischen Bewertung im Vergleich zu der primärenergetischen Bewertung auf die energetische Gebäudebilanzierung eines Einfamilienhauses werden weiterhin durch die Durchführung eines Rankings über alle Bewertungsergebnisse analysiert. Die Sortierung der beiden Ergebnistypen der untersuchten Varianten erfolgt einmal nach der Höhe des jährlichen Primärenergiebedarfs und einmal nach der jährlichen Menge an Treibhausgasemissionen, beginnend jeweils mit dem höchsten Ergebnis. Auf diese Weise lässt sich die Reihenfolge im Vergleich zu der Basisvariante, welche die EnEV-Anforderung in Bezug auf den Jahres-Primärenergiebedarf darstellt, veranschaulichen sowie die Verschiebungen in der Reihenfolge der Varianten erkennen.

Im Ranking der primärenergetischen Ergebnisse zeigt sich zunächst, dass die Anlagenkonfigurationen mit einem Brennwertkessel mit den fossilen Brennstoffen Heizöl und Erdgas die höchsten Jahres-Primärenergiebedarfswerte verursachen. Dabei stehen die Varianten mit Heizöl-Brennwertkessel und Gas-Brennwertkessel mit jeweils gleichen Lüftungs- und Solarlösungen nebeneinander, da primärenergetisch Heizöl und Erdgas gleich bewertet werden. Aber nur die Varianten in Kombination mit einer Solaranlage und zusätzlich mit einer mechanischen Lüftungsanlage

⁵ Für Nah-/Fernwärmenetze mit einer Brennstoff- bzw. Energieträgerzusammensetzung und/oder einer Wärmeerzeugungstechnologie, für welche normativ festgelegte Standardwerte nicht zutreffend sind, sind die Primärenergiefaktoren für gelieferte Wärme mit dem in der DIN V 18599 angegebenen Rechenverfahren zu bestimmen, wobei die Festlegungen des AGFW-Arbeitsblattes FW 309-1 herangezogen werden können (siehe [47]). Die meisten Wärmeversorgungsunternehmen lassen sich für ihr Versorgungsnetz den Primärenergiefaktor bescheinigen (f_p -Bescheinigung/Zertifikat), der in einem realen (praktischen) Anwendungsfall zu verwenden ist. Gleiches gilt für die CO_2 -Emissionsfaktoren und CO_2 -Äquivalente.

(Abluftanlage oder Zu- und Abluftanlage mit WRG) können die EnEV-Anforderung erfüllen. Die Primärenergiebedarfswerte aller anderen Varianten mit einem Brennwertkessel überschreiten den maximal zulässigen Jahres-Primärenergiebedarf. Nach der Gruppe der Anlagenkonfigurationen mit einem Brennwertkessel folgt im Ranking von Primärenergieergebnissen die Gruppe der Varianten mit Nah-/Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung und fossilem Energieträger. Der jährliche Primärenergiebedarf dieser Varianten macht im Durchschnitt etwa drei Viertel des Primärenergiebedarfs der Basisvariante aus. Nach der Nah-/Fernwärme fossil folgt die Gruppe der Wärmepumpen mit dem alleinigen Energieträger Strom. Der jährliche Primärenergiebedarf der Anlagenkonfigurationen mit Wärmepumpen liegt etwa bei der Hälfte des Primärenergie-Anforderungswerts. Um mehr als die Hälfte wird der EnEV-Anforderungswert von Varianten mit einem Biomassekessel unterschritten. Das Ranking wird mit den Varianten mit Nah-/Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung mit erneuerbarem Brennstoff abgeschlossen. Da der Anteil des erneuerbaren Brennstoffes mit einem Primärenergiefaktor $f_p = 0$ bewertet wird, hängt der Primärenergiebedarf dieser Varianten allein von der Höhe der Hilfsenergie Strom ab.

In der Rangliste der Ergebnisse der CO₂-äquivalenten Emissionen hat sich die Reihenfolge der Varianten im Vergleich zu der Reihenfolge der Varianten sortiert nach Primärenergiebedarf nur innerhalb drei Gruppen verändert. Eine Verschiebung fand in den beiden Gruppen mit dem Hauptwärmeerzeuger Brennwertkessel statt. Alle Varianten mit Erdgas-Brennwertkessel verschieben sich im Ranking nach CO₂-äquivalenten Emissionen hinter die Varianten mit Heizöl-Brennwertkessel und fallen somit CO_{2,äq.}-bilanztechnisch günstiger aus als die gleichen Varianten mit Heizöl. Das liegt daran, dass das CO₂-Äquivalent von Heizöl deutlich höher ist als das von Erdgas, während primärenergetisch Heizöl und Erdgas mit gleichem Faktor bewertet werden. Eine weitere entscheidende Verschiebung ergibt sich bei den Varianten mit Nah-/Fernwärmelösungen, weil bei diesen anders als bei der primärenergetischen Bewertung teilweise eine Bandbreite an CO₂-Äquivalenten jeweils mit einem minimalen und einem maximalen Wert betrachtet wird. Die Nah-/Fernwärmevarianten mit fossilem Brennstoff bewertet mit dem maximal definierten CO₂-Äquivalent verschieben sich auf den Anfang der Rangliste und stehen CO₂-bilanztechnisch gesehen schlechter da als die Varianten mit Heizöl-Brennwertkessel als Hauptwärmeerzeuger. Die Nah-/Fernwärmevarianten mit fossilem Brennstoff, welche dagegen mit dem minimal definierten CO₂-Äquivalent bewertet werden, verschieben sich hinter die Gruppe der Wärmepumpen, so dass die Wärmepumpenlösungen (welche primärenergetisch etwas günstiger als Anlagenvarianten mit Nah-/Fernwärme KWK fossil bewertet werden) CO_{2,äq.}-bilanztechnisch etwas schlechter dastehen. Die Varianten mit Biomassekessel und Nah-/Fernwärme KWK mit erneuerbarem Brennstoff fallen sowohl in der Bewertung mit Primärenergiefaktoren als auch mit CO₂-äquivalenten Faktoren gleich günstig aus und stehen beim Ranking in beiden Betrachtungsfällen an letzter Stelle (stellen also in beiden Fällen die „beste“ Systemlösung dar).

Beim Ranking nach Treibhausgasemissionen fällt außerdem auf, dass, wenn die CO₂-äquivalenten Emissionen der Basisvariante analog zum Jahresprimärenergiebedarf als maximal zulässiger Höchstwert angesehen werden, drei Varianten, die primärenergetisch

die Anforderung der EnEV nicht erfüllt haben, den „CO₂-Höchstwert“ jedoch einhalten würden. Dabei handelt es sich um die Varianten Erdgas-Brennwertkessel mit mechanischer Lüftung (Abluftanlage oder Zu- und Abluftanlage mit WRG) und Erdgas-Brennwertkessel mit einer Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung mit (reiner) Fensterlüftung. Des Weiteren würden die Varianten mit Nah-/Fernwärme KWK und fossilem Brennstoff mit hohen Treibhausgasemissionen den CO₂-Höchstwert der Basisvariante deutlich überschreiten und diesen nicht einhalten, obwohl sie primärenergetisch im guten Mittelfeld lagen.

Zusammenfassend über alle Bewertungsergebnisse hinweg lässt sich beobachten, dass positive Auswirkungen durch die Bewertungsgröße CO₂-äquivalente Emissionen auf die Gebäudeperformance eines Wohngebäudes sich im Bereich der erdgasbefeuerten Heizungsanlagen ergeben, dadurch dass Erdgas einen deutlich niedrigeren CO₂-Äquivalent als Heizöl aufweist. Bei den Anlagenkonfigurationen mit strombetriebenen Wärmepumpen, mit Biomasse-Kessel und Nah-/Fernwärme basierend auf erneuerbare KWK sind die Auswirkungen nur minimal, so dass diese Varianten bei beiden Bewertungsarten (Primärenergie und CO_{2,äq.}-Emissionen) gleich gut dastehen. Die größten Auswirkungen durch die Anforderungsgröße CO_{2,äq.}-Emissionen ergeben sich bei Nah-/Fernwärmelösungen mit fossilen Brennstoff, bei welchen die Spanne von CO₂-Äquivalente in Abhängigkeit von oben genannten Einflussfaktoren deutlich größer ausfällt als bei der primärenergetischen Bewertung. Diese Varianten können daher unter ungünstigen Umständen bei der Bewertung mittels CO₂-äquivalenten Emission schnell in einen anforderungstechnisch kritischen Bereich rutschen.

5 Anwendungsfall Quartier: Analyse der Ergebnisse von Primärenergie- und CO_{2,äq.}-Bewertung

Zusätzlich zu der detaillierten Einzelgebäudebetrachtung aus Kapitel 4 wird in diesem Kapitel analysiert, wie sich ein Wechsel von der primärenergetischen Bewertung anhand CO₂-äquivalenten Emissionen auf eine Anzahl von Quartiersprojekten aus der BMWi-Forschungsinitiative Energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt) [48] auswirkt. Dabei wird auf die bereits im Jahr 2016 innerhalb der EnEff:Stadt-Begleitforschung end- und primärenergetisch bilanzierten Quartiere aus der EnEff:Stadt-Schriftenreihe ‚Energetische Bilanzierung von Quartieren‘ [49] zurückgegriffen, die im Rahmen dieser Tiefenbohrung auf der Basis von neuen Informationen upgedated und mit weiteren Daten verdichtet wurden.

Die Bewertungsmethodik für Quartiere wurde innerhalb der Begleitforschungsarbeiten entwickelt und ist in der Schriftenreihe detailliert beschrieben. Sie erfolgt in weiten Bereichen analog zur energetischen Bewertung von Einzelgebäuden und folgt auch im Bereich der Nahwärmebilanzierung den Formeln aus der DIN V 18599 für Blockheizkraftwerke (Stromgutschriftmethode). Zusätzlich wurden die Quartiere für diese Tiefenbohrung anhand der CO₂-Äquivalente aus Kapitel 3.3.2 bewertet. Beide Bewertungen basieren auf endenergetischen Kennwerten je Energieträger, die von den Projektnehmern auf Gebäudeebene und für die zentrale Energieerzeugung für die vier Phasen Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1 und Messjahr 2 soweit möglich zur Verfügung gestellt wurden. Die Kennwerte wurden von den Projektnehmern in das von der Begleitforschung zur Verfügung gestellte ‚Bilanzierungstool‘ eingetragen.

5.1 Gesonderte Randbedingungen für die Quartiersbewertung

Generell erfolgt die Bewertung analog zur Einzelgebäudestudie aus Kapitel 4. Aufgrund der konkreten, meist in der Praxis realisierten Projekte werden im Folgenden einige spezifische Randbedingungen der Quartiersbewertung aufgelistet:

- Die Quartiersbewertung enthält den gesamten Strombedarf der im Quartier beinhalteten Gebäude inklusive des Nutzerstroms.
- Die CO₂-Äquivalente für Strom (Abnahme aus dem Netz und Verdrängungsstrom) wird im Gegensatz zum Primärenergiefaktor nicht in Abhängigkeit des Jahres der jeweiligen Projektphasen verwendet, sondern konstant mit 550 g/kWh (Strommix) bzw. 860 g/kWh (Verdrängungsstrommix KWK). Die verwendete Norm DIN V 18599:2018 enthält keine Kennwerte für vergangene Zeiträume. Von einer Nutzung anderer Quellen (GEMIS bzw. ÖKOBAUDAT) wurde für diesen Vergleich abgesehen.
- Der Verdrängungsstrom wird unabhängig von der Erzeugungsart durch den höheren CO₂-Äquivalenten von 860 g/kWh bewertet. Dies widerspricht der DIN V 18599:2018 in der für Verdrängungsstrom aus KWK 860 g/kWh aber für Verdrängungsstrom aus PV oder Windkraft nur 550 g/kWh angegeben wird. Da die primärenergetische Bewertung in der gültigen EnEV (mit Bezug auf die DIN V 18599:2011) und auch in der Bilanzierung in [49] diese Unterscheidung nicht trifft, wird das für die CO₂-Äquivalenz-Bewertung gleichermaßen umgesetzt.

- Bei der Quartiersbewertung werden negative Primärenergiefaktoren oder CO₂-Äquivalente der Nahwärme nicht zu Null gesetzt. Dies erfolgte nicht in der bisherigen primärenergetischen Bilanzierung in [49] und wird entsprechend auch nicht bei der Ermittlung der CO₂-äquivalenten Emissionen umgesetzt. (Die hierfür entwickelte Quartiersbewertung unterliegt nicht den EnEV-Vorgaben. Grundsätzlich ließe sich das aber natürlich anpassen).
- Die CO₂-Äquivalente der in den Projekten eingesetzten Fernwärme wurden entsprechend den Angaben der Projektverantwortlichen bzw. der jeweiligen Energieversorger eingesetzt.
- Da in den Zertifikaten der Energieversorger nur die Emissionen aus den Rauchgasen enthalten sind (siehe auch DIN EN 15316-4-5:2017-09 bzw. AGFW Arbeitsblatt 309-6 [19]), werden entsprechend der derzeit vorgesehenen Methode im Gebäudeenergiegesetz (GEG) [50] die Vorkettenemissionen der einzelnen Energieträger und die Netzverluste über einen pauschalen Aufschlag von 20 %, aber mindestens von 40 g CO₂-Äquivalent pro kWh berücksichtigt.
- Der im Vergleich zum Wärme- und Strombedarf geringe Kälteendenergiebedarf aus Fernkälte im Projekt Leuphana Universität Lüneburg wurde für die Bewertungen zu Null gesetzt, weil hierfür kein CO₂-Äquivalent zur Verfügung stand.

5.2 Zusammenstellung der ausgewählten Demonstrationsvorhaben

Für die Analyse standen 11 unterschiedliche Demonstrationsvorhaben zur Verfügung, die mit unterschiedlichen Gebäude- und anlagentechnischen Konzepten ausgestattet sind. Auch die jeweils enthalten Gebäudetypen, die Quartiersgröße und die energetischen Ziele sind divers. Einige Projekte sind Neubauvorhaben, andere Sanierungen. Bei den Neubauvorhaben wurde zur Bestimmung des Ausgangszustands die Referenztechnologien aus der EnEV herangezogen, also z. B. ein Heizölbrennwertkessel mit solarer Unterstützung als Wärmeerzeuger. Dabei ist zu beachten, dass zum Zeitpunkt der primärenergetischen Auswertung (2014 - 2015, Veröffentlichung in 2016) die Anforderungen der EnEV noch direkt über die Anwendung der Referenztechnologien realisierbar waren. Seit 2016 ist hier noch eine Reduzierung um 25 % Primärenergie erforderlich, damit sind die Mindestanforderungen nicht mehr so einfach abbildbar.

Alle Projekte müssen eine Mindestanforderung aus der Förderbestimmung erfüllen: eine 30 %-ige Einsparung beim Primärenergiebedarf durch die geplanten Energiekonzepte. Wie [49] gezeigt hat, wurde dies auch von allen 11 Vorhaben eingehalten. Informationen zu den 11 Quartieren sind in Tabelle 20 enthalten, Tabelle 21 enthält einen Vergleich der Quartiere bezüglich der Größe, des Projekttyps, der beinhalteten Gebäudetypen und der eingesetzten Energieversorgungsarten.

Tabelle 20: Zusammenstellung der für die Bewertung verwendeten 11 Demonstrationsquartiere aus der Forschungsinitiative EnEff:Stadt

Projekt	1. Demonstrationsvorhaben Bad Aibling: Eine Militärbranche auf dem Weg zur Nullenergiestadt	2. Demonstrationsvorhaben Berlin Adlershof: Wärmeverbundnetz „Wohnen am Campus“
Projektleitung	B&O Wohnungswirtschaft GmbH & Co. KG, München	BTB Blockheizkraftwerks-Träger- und Betreibergesellschaft mbH, Berlin
Ausfüllen des Bilanzierungstools	Hochschule Rosenheim	
Projektgröße (Bilanzierungstaum)	Ausgangszustand: 55.467 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 29 Gebäude Zielzustand: 28.753 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 38 Gebäude	90.015 m ² beheizte Wohnfläche, 13 Quartiere (Anzahl Gebäude noch nicht bekannt)
Projekttyp	Rückbau/Sanierung und Verdichtung durch Neubauten	Neubau
Siedlungstyp	Ausgangszustand: Militärgebäude Zielzustand: Mischung aus Einfamilienhaus-/Doppelhaussiedlung, Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser, Zeilenbauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern, Gewerbegebiet	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern
Energieversorgung	Ausgangszustand: Nahwärmerversorgung (Heizöl-Heizwerk) Zielzustand: Nahwärmerversorgung (Erdgas- und Biomasse-Heizwerke, Solarthermie, teilweise Export in ein Fremdnetz), zentrales Photovoltaik-Feld mit Einspeisung in das allgemeine Stromnetz	Ausgangszustand: entsprechend Referenztechnologien aus der Energieeinsparverordnung: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie Zielzustand: Nahwärmerversorgung (Fernwärmeübergabestation), teilweise Fernwärme und Solarthermie
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2	Ausgangszustand, Zielzustand
Weitere Informationen	https://www.tib.eu/de/suchen/download/?tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A64018569X&cHash=3632a2c4b10d037801669461216e3cb0#download-mark	https://projektinfos.energiewendebauen.de/projekt/energiestrategie-fuer-vorzeigequartier-vernetzt-waerme-kaelte-und-strom/

Tabelle 20 (Fortsetzung): Zusammenstellung der für die Bewertung verwendeten 11 Demonstrationsquartiere aus der Forschungsinitiative EnEff-Stadt

Projekt	3. Demonstrationsvorhaben Biberach: Niedrigenergie-Quartiersentwicklung Bürgerheim Biberach	4. Demonstrationsvorhaben Braunschweig (Campus): blueMAP TU Braunschweig
Projektleitung	Assmann Beraten + Planen GmbH	TU Braunschweig
Ausfüllen des Bilanzierungstools		
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	Ausgangszustand: 17.525 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 10 Gebäude Zielzustand: 26.243 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 13 Gebäude	344.174 m ² beheizte Nettogrundfläche, 103 Gebäude
Projekttyp	Sanierung, Rückbau und Nachverdichtung durch Neubauten	Sanierung
Siedlungstyp	Soziale Dienstleistung (Altenpflege, Altenwohnungen), Schule	Universitätscampus
Energieversorgung	Ausgangszustand: Nahwärme (Erdgas-Heizwerk), teilweise dezentrale Erdgaskessel Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Biomasse- und Erdgasheizwerk, Biomasse-BHKW, Solarthermie)	Ausgangszustand: Fernwärmeversorgung Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Biogas-BHKW, Fernwärme), zentrales Photovoltaikfeld
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2
Weitere Informationen	https://www.tib.eu/de/suchen/download/?tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A774645970&cHash=0fe66610df79ea22cf842a938c415e68#download-mark	https://projektinfos.energiewendebauen.de/projekt/campus-der-tu-braunschweig-soll-klimaneutral-werden/

Tabelle 20 (Fortsetzung): Zusammenstellung der für die Bewertung verwendeten 11 Demonstrationsquartiere aus der Forschungsinitiative EnEff-Stadt

Projekt	5. Demonstrationsvorhaben Freiburg Weingarten: Modellhafte Stadtquartierssanierung Freiburg Weingarten-West	6. Demonstrationsvorhaben Karlsruhe Rintheim: Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe Rintheim
Projektleitung	Freiburger Stadtbau GmbH Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE	VOLKSWOHNUNG GmbH Dr. Reinhard Jank
Ausfüllen des Bilanzierungstools		
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	Ausgangszustand: 172.599 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 63 Gebäude Zielzustand: 178.175 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 63 Gebäude	66.310 m ² beheizte Wohnfläche, 32 Gebäude
Projekttyp	Sanierung	Sanierung
Siedlungstyp	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern, Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern und Hochhäusern	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern, Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern und Hochhäusern
Energieversorgung	Ausgangszustand: Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW und Erdgas-Heizwerk) Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW und Erdgas-Heizwerk)	Ausgangszustand: dezentrale Erdgaskessel, teilweise Stromheizungen, teilweise Solarthermie Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Fernwärmeübergabestation), teilweise Strom-Wärmepumpen, teilweise Solarthermie
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2
Weitere Informationen	https://www.tib.eu/de/suchen/download/?tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A815893450&cHash=f7f9dcd7287230ad134ceb118a3b30b8#download-mark	https://www.tib.eu/de/suchen/download/?tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A790783096&cHash=62e497b858330546f6ce0f0c621b2e01#download-mark

Tabelle 20 (Fortsetzung): Zusammenstellung der für die Bewertung verwendeten 11 Demonstrationsquartiere aus der Forschungsinitiative EnEff-Stadt

Projekt	7. Demonstrationsvorhaben Landshut: Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut	8. Demonstrationsvorhaben Ludwigsburg: Integriertes Energie-Quartierskonzept Ludwigsburg Grünbühl/ Sonnenberg
Projektleitung	Ludmilla-Wohnbau GmbH Hochschule München	Hochschule für Technik, Stuttgart (HTF)
Ausfüllen des Bilanzierungstools		
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	5.637 m ² beheizte Wohnfläche, 21 Gebäude	17.524 m ² beheizte Wohnfläche, 21 Gebäude
Projekttyp	Neubau	Neubau
Siedlungstyp	Einfamilienhaus-/Doppelhaussiedlung, Reihenhäuser, Siedlung mit kleinen Mehrfamilienhäusern	Einfamilienhaus-/Doppelhaussiedlung, Reihenhäuser, Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser
Energieversorgung	Ausgangszustand: entsprechend Referenztechnologien aus der Energieeinsparverordnung: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie Zielzustand: Einfamilienhäuser: dezentrale erdreichgekoppelte Strom-Wärmepumpen, Mehrfamilienhäuser: Nahwärmeversorgung (Biogas-BHKW und Heizwerk), dezentrale Photovoltaik, eingespeist ins allgemeine Stromnetz Anmerkung: In den Messjahren wurde statt Biogas Erdgas eingesetzt, die Photovoltaik wurde nicht auf allen Gebäuden umgesetzt.	Ausgangszustand: entsprechend Referenztechnologien aus der Energieeinsparverordnung: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Sole/Wasserwärmepumpe, Erdgas-BHKW und Erdgas-Kessel), abgebildet über einen zertifizierten Primärenergiefaktor für die Nahwärme Anmerkung: Bilanziert wurde ausschließlich das Neubaugelände Sonnenberg. Das Projekt hatte keinen Einfluss auf die energetische Qualität der Gebäude.
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2
Weitere Informationen	https://projektfinfos.energiewendebauen.de/projekt/dezentral-erzeugten-strom-im-quartier-nutzen/	https://www.baufachinformation.de/literatur/1606900248
		0

Tabelle 20 (Fortsetzung): Zusammenstellung der für die Bewertung verwendeten 11 Demonstrationsquartiere aus der Forschungsinitiative EnEff-Stadt

Projekt	9. Demonstrationsvorhaben Lüneburg (Campus): Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg	10. Demonstrationsvorhaben München Lilienstraße: Sanierung und CO₂-neutrale Wärmeversorgung einer 50er-Jahre Wohnanlage
Projektleitung	Leuphana Universität Lüneburg	GWG Städtische Wohnungsgesellschaft München mbH
Ausfüllen des Bilanzierungstools		Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	75.430 m ² beheizte Nettogrundfläche, 21 Gebäude	Ausgangszustand: 7.550 m ² beheizte Wohnfläche, 4 Gebäude Zielzustand: 9.338 m ² beheizte Wohnfläche, 4 Gebäude
Projekttyp	Sanierung und Neubau eines Zentralgebäudes	Sanierung und Nachverdichtung durch Neubau und zusätzliches Dachgeschoss
Siedlungstyp	Universitätscampus	Blockbebauung hoher Dichte
Energieversorgung	Ausgangszustand: Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW und Erdgas-Heizwerk), Neubau entsprechender Referenztechnologien aus der Energieeinsparverordnung: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Biogas-BHKW und Biogas-Heizwerk), zentrale Photovoltaikanlage mit Selbstnutzung	Ausgangszustand: dezentrale Erdgas-Einzelöfen, für Neubau Erdgas-Brennwertkessel Zielzustand: Nahwärmeversorgung (grundwasserkoppelte Erdgas-Motor-Wärmepumpe mit Saug- und Schluckbrunnen, Erdgaskessel, Solarthermie), zentrale Photovoltaikanlage mit Einspeisung ins allgemeine Stromnetz
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2
Weitere Informationen	https://projekttinfos.energiewendebauen.de/projekt/universitaet-setzt-auf-erneuerbare-energien-und-saisonale-waermespeicherung/	https://projekttinfos.energiewendebauen.de/projekt/wohnanlage-peilt-co2-neutrale-versorgung-an/

Tabelle 20 (Fortsetzung): Zusammenstellung der für die Bewertung verwendeten 11 Demonstrationsquartiere aus der Forschungsinitiative EnEff:Stadt

Projekt	11. Demonstrationsvorhaben Weimar Zöllnerviertel: Modellprojekt „Altes Zöllnerviertel“ in der Weimarer Innenstadt
Projektleitung	Max-Zöllner-Stiftung
Ausfüllen des Bilanzierungstools	TU Dresden
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	25.468 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 18 Gebäude
Projekttyp	Sanierung
Siedlungstyp	Blockbebauung niedriger Dichte, Schule, Kindertagesstätte
Energieversorgung	Ausgangszustand: dezentrale Erdgaskessel Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW, erdgekoppelte Erdgas-Wärmepumpe, Erdgas-Heizwerk), ein Gebäude wird durch eine Kombination aus Erdgas- und Biomassekesseln versorgt
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand
Weitere Informationen	https://www.tib.eu/de/suchen/download/?tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A877483221&cHash=0d1358a816e917ff903923643bdaf075#download-mark

Tabelle 21: Vergleich der für die Bewertung verwendeten 11 Demonstrationsquartiere aus der Forschungsinitiative EnEff:Stadt

		Bad Aibling	Berlin Adlershof	Biberach	Braunschweig (Campus)	Freiburg Weingarten	Karlsruhe Rinzheim	Landshut	Ludwigsburg	Lüneburg (Campus)	München Lilienstraße	Weimar Zöllnerviertel
Wohn- u. Nettogrundfläche im Zielzustand	≤ 20.000 m ²											
	> 20.000 m ²											
	≤ 100.000 m ²											
	> 100.000 m ²											
Projekttyp	Sanierung											
	Sanierung + Nachverdichtung											
	Neubau											
Gebäudeart	Wohngebäude											
	Nichtwohngebäude											
	Mix											
Energieversorgung im Ausgangszustand	Dezentral (z. B. Kessel)											
	Zentral (Fernwärme oder Nahwärme)											
	Mix											
Energieversorgung im Zielzustand	Dezentral (z. B. Kessel oder Wärmepumpen)											
	Zentral (Nahwärme)											
	Mix											
Einsatz v. erneuerbaren Energien im Zielzustand	Photovoltaik											
	Solarthermie											
	Biomasse											
	Biogas											
	Geothermie											
Abwasser												

5.3 Ergebnisse der primärenergetischen und CO₂-Äquivalenz-Bewertung

Abbildung 11 vergleicht die Ergebnisse der beiden Bewertungsvarianten Primärenergie und CO₂-äquivalente Emissionen, jeweils bezogen auf die Nettogrundfläche (Nichtwohngebäude) bzw. Wohnfläche (Wohngebäude). Abgesehen von den unterschiedlichen Einheiten und damit verbundenen Größen (-25 kWh/m²a bis 516 kWh/m²a Primärenergie; 18 kg CO₂/m²a bis 133 kg CO₂/m²a CO₂-äquivalente Emissionen) ergibt sich ein sehr ähnliches Bild.

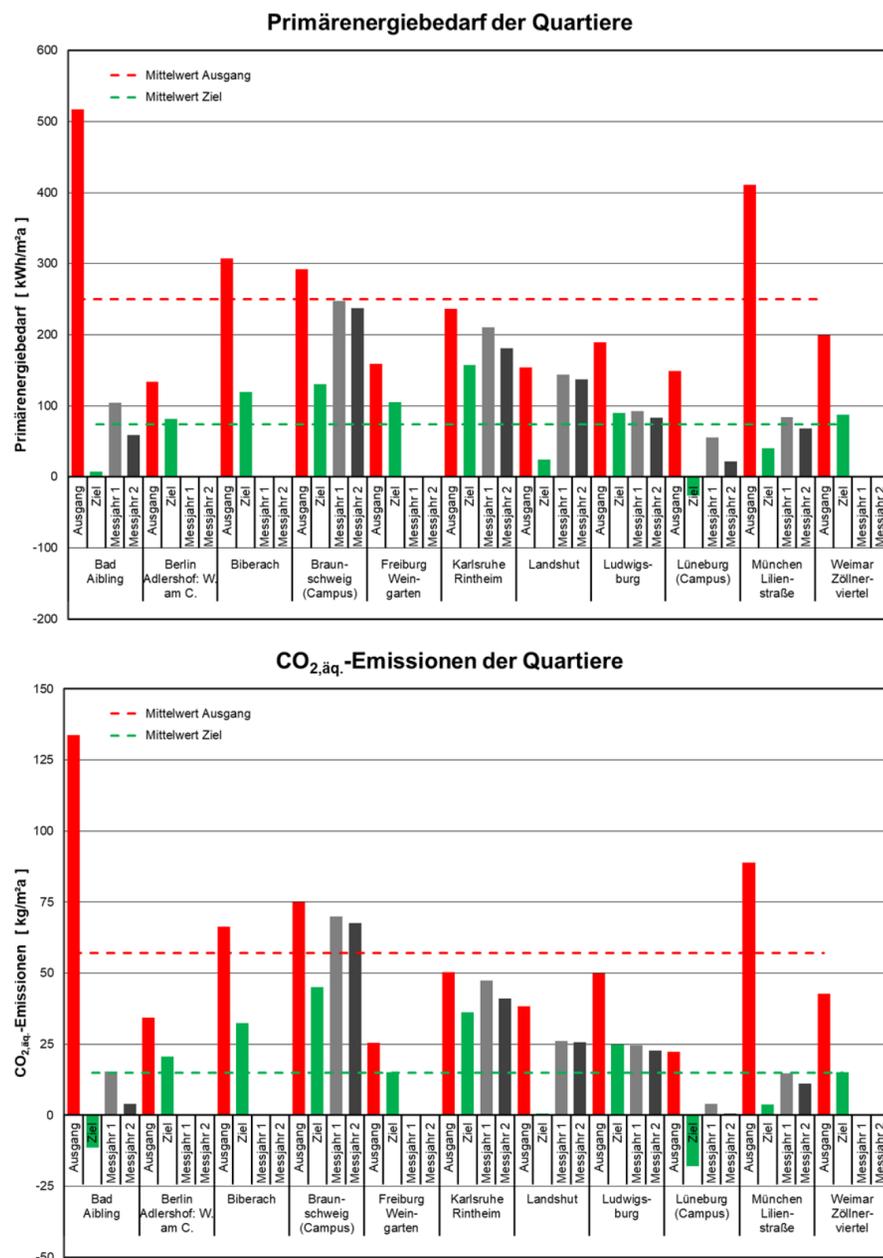


Abbildung 11: Gegenüberstellung der Ergebnisse der primärenergetischen und CO₂-Äquivalenz-Bewertung der 11 Quartiere

Aufgrund der Komplexität der Quartiere mit unterschiedlichen Gebäudetypen, Energieniveaus und Anlagenkonzepten ist es schwierig detailliert Aussagen zu treffen, warum sich einige kleine Veränderungen ergeben. Interessant sind folgende Unterschiede:

- Die Bewertung durch CO₂-äquivalente Emissionen (unter den gewählten an die Primärenergiebewertung angepassten Randbedingungen, siehe Kapitel 5.1) scheint das Erreichen von sehr niedrigen oder negativen Nahwärme-CO₂-Äquivalenten durch KWK (teilweise auch in Kombination mit Biogas) im Vergleich zu den entsprechenden Primärenergiefaktoren zu erleichtern. Beispiele hierfür sind der Zielzustand von Bad Aibling und Lüneburg, aber auch sowohl der Ausgangszustand als auch der Zielzustand in Freiburg. Zumindest für die negativen Äquivalente ist hier aber geplant, diese bei der Gebäudebewertung zu 0 zu setzen. Da der Primärenergiefaktor jeweils passend zum Jahr der Projektphase gewählt wurde, der CO₂-Äquivalent aber immer gleich mit den Daten der DIN V 18599:2018 ist, ist dies vermutlich eine Auswirkung der früher geringeren Differenzen der Primärenergiefaktoren für Einspeisestrom und Strombezug aus dem Netz.
- Die Neubauprojekte, die wie beschrieben im Ausgangszustand über die Referenztechnologien der EnEV abgebildet sind (in diesem Fall Heizölbrennwertkessel und solare Unterstützung), schneiden im Vergleich zu den anderen Projekten bzw. Projektphasen bei der CO₂-äquivalenten Bewertung etwas schlechter als bei der primärenergetischen Bewertung ab. Dies sind Berlin Adlershof, Landshut und Ludwigsburg. Die meisten anderen Projekte und auch die späteren Phasen der genannten Projekte beruhen auf einer Erdgasversorgung. Hier schlägt wie beim Einzelgebäude der Unterschied der CO₂-Äquivalente zwischen Erdgas und Heizöl zu, den es beim Primärenergiefaktor nicht gibt.

Grundsätzlich ergeben sich im Vergleich der 11 Quartiere nur marginale Differenzen zwischen den Bewertungsansätzen, die sich auch nur bedingt nachvollziehen und entsprechend für weitere Projekte oder zukünftige Fördermaßnahmen gezielt nutzen lassen.

5.4 Zusammenfassung des Anwendungsfalls Quartiere

An 11 Demonstrationsquartieren aus der BMWi-Forschungsinitiative EnEff:Stadt wurde vergleichend eine Bewertung auf Basis Primärenergie und CO₂-äquivalente Emissionen durchgeführt. Dabei wurden im Vergleich zur Einfamilienhausstudie teilweise etwas andere Randbedingungen berücksichtigt, die in Kapitel 5.1 zusammengestellt sind. Für die Quartiere wurden jeweils bis zu vier Projektphasen (Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2) bewertet. Da die Quartiere in ihrer Gebäudezusammensetzung und im Energieversorgungskonzept voneinander abweichen, sind die Ursachen von vorgefundenen Unterschieden nur bedingt eindeutig zu ermitteln. Ähnlich wie bei der Einfamilienhausstudie stellen sich heizölbasierte Energieversorgungssysteme bei CO₂-äquivalenter Bewertung schlechter dar als die erdgasversorgten „Vergleichs“-Objekte. Die CO₂-Äquivalenz-Bewertung von Fernwärmever sorgungen ist trotz der Nutzung von Regelwerken wie DIN EN 15316-4-5:2017-09 bzw. AGFW Arbeitsblatt 309-6 aufwändig. Hier muss noch wie im Gebäudeenergiegesetz (GEG) definiert ein Aufschlag für die

Vorkettenemissionen der einzelnen Energieträger und die Netzverluste hinzugefügt werden. Dabei muss der größere Wert aus zwei Rechenfunktionen bestimmt und eingesetzt werden. Auch die verwendete Allokationsmethode für das zertifizierte CO₂-Äquivalent der Fernwärmeversorger entspricht derzeit nicht immer der in Zukunft geforderten Carnot-Methode (die dann aber nicht zur Stromgutschrift-Methode aus der DIN V 18599 für Blockheizkraftwerke passt). Hier müssen noch zusätzliche Vereinheitlichungen durchgeführt werden. Derzeit können die Fernwärmeversorger noch die Methode anwenden, die zu den günstigsten Kennwerten führt.

6 Zusammenfassung

Die Zusammenstellung der verfügbaren Informationsquellen zu CO₂-Äquivalenten ergab kleinere Differenzen bei fast allen Energieträgern. Für die durchgeführten Analysen, einerseits eine theoretische Studie an einem Einfamilienhaus mit 33 Anlagenkonfigurationen und andererseits die Bewertung von 11 realen EnEff:Stadt-Demonstrationsquartieren, wurden die Primärenergiefaktoren und die CO₂-Äquivalente aus der DIN V 18599 gewählt. Eine besondere Herausforderung ist hierbei die Ermittlung der CO₂-Äquivalente von Fernwärmeversorgungen. In der DIN V 18599 gibt es hierfür, anders als für die Primärenergiefaktoren, keine Vorgaben für die vier Varianten Heizwerk und Heizkraftwerk mit fossilen bzw. erneuerbaren Energieträgern. Deshalb musste bei der theoretischen Einfamilienhausstudie mit möglichen Spannen bei der fossil erzeugten Fernwärme gerechnet werden.

Verschiebungen in der nach der Höhe des Ergebnisses geordneten Reihenfolge ergaben sich bei der Einfamilienhausstudie im Bereich der erdgasbetriebenen Heizungssysteme, die bei der CO₂-Äquivalenz-Bewertung besser als die primärenergetisch (nahezu) gleich bewerteten heizölbetriebenen Heizungssysteme abschneiden. Aufgrund der Spanne der CO₂-Äquivalente für fossile Fernwärme (von Erdgas bis hin zu Kohlebetrieb) würden manche Fernwärmeversorgungsarten im Vergleich mit der Referenztechnologie aus der EnEV nicht mehr die direkt auf CO₂-äquivalente Emissionen übertragenen energetischen Anforderungen an Gebäude einhalten.

Der direkte Vergleich der Bewertungsergebnisse bezüglich Primärenergie und CO₂-äquivalenten Emissionen bei den Quartieren zeigt nur geringe Unterschiede (wenn die Kennwerte vergleichbar skaliert werden, d. h. über die Skala der Y-Achse anpasst). Durch die Komplexität der Quartiere mit teilweise unterschiedlichen Versorgungsarten, unterschiedlichen Gebäudetypen und energetischen Gebäudeniveaus und die Bewertung des gesamten Stromverbrauchs inkl. Nutzerstrom wird eine Interpretation der Ergebnisse erschwert. Allerdings lässt sich ebenfalls erkennen, dass ölbefeuerte Heizsysteme gegenüber erdgasbetriebenen Heizsystemen leicht schlechter bewertet werden. Anders als bei der Einfamilienhausstudie wurden bei der Quartiersbewertung Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente bei Fernwärmenutzung direkt bei den Projektnehmern bzw. den betreffenden Energieversorgern abgefragt. Hier ergibt sich die Schwierigkeit, dass die zertifizierten Kenngrößen mit unterschiedlichen Allokationsmethoden ermittelt wurden und die Vorkettenemissionen der einzelnen Energieträger und die Netzverluste noch nicht enthalten sind. Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) enthält einen Rechenansatz um diese Anteile hinzu zu addieren der auch bei der Quartiersbewertung verwendet wurde. Bevor eine Umstellung der Bewertung von Primärenergie auf CO₂-äquivalente Emissionen durchgeführt wird, bedarf es hier noch weitere Vereinheitlichungen in der Zertifizierungsmethode und bzgl. der beinhalteten Vorkettenemissionen.

7 Ausblick

Seit Anfang 2016 wird an der Novellierung des Energiesparrechts für Gebäude in Deutschland gearbeitet. Das Energieeinsparungsgesetz (EnEG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) sollen im Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG) zusammengeführt werden. Mit dem GEG wird das Ziel verfolgt ein einheitliches und dem Stand der Technik entsprechendes Anforderungssystem der drei parallellaufenden und teilweise nicht aufeinander abgestimmten bisherigen Regelwerke zu generieren [50].

Gemäß dem aktuellen Koalitionsbeschluss ist von einer Verschärfung des Anforderungsniveaus gegenüber der aktuell gültigen Energieeinsparverordnung EnEV 2016 abzusehen [52]. Die bestehende Anforderungssystematik an den Jahresprimärenergiebedarf, welche das 0,75-fache des Jahres-Primärenergiebedarfs eines in der EnEV 2016 definierten Referenzgebäudes nicht überschreiten darf, soll vorerst bestehen bleiben. Darüber hinaus wird erwogen die Umstellung der Anforderungssystematik auf $\text{CO}_{2,\text{äq.}}$ -Emissionen zu erproben. Dazu soll im GEG eine bis Ende 2023 befristete Innovationsklausel eingefügt werden. Mit der neuen Klausel besteht auf Antrag die Möglichkeit die Anforderungen des Gesetzes nicht über den zulässigen Jahresprimärenergiebedarf, sondern über eine gleichwertige Begrenzung der Treibhausgasemissionen und die Einhaltung eines Höchstwertes des Endenergiebedarfs, der das 0,75-fache des Jahres-Endenergiebedarfs eines Referenzgebäudes nicht überschreitet, zu erfüllen.

Die Untersuchungen in diesem Dokument haben gezeigt, dass bei einer Umstellung von Primärenergie- auf CO_2 -äquivalente Anforderungen bei den klassischen Heizsystemen (mit Ausnahme der Verbesserung von erdgasbetriebenen Heizsystemen gegenüber Ölheizungen) kaum Verschiebungen in der Wertung zum vergleichenden Referenzgebäude der EnEV stattfinden. Allerdings sind bei Fernwärmeversorgungen bei Verwendung der vier in der DIN V 18599 definierten Varianten (Heizwerk und Heizkraftwerk jeweils fossil und erneuerbar) deutliche Veränderungen zu erwarten, wenn dem definierten Primärenergiefaktor jeweils eine Spanne von zugehörigen CO_2 -Äquivalenten (in Abhängigkeit der möglichen spezifischen Energieträger) zugeordnet wird. Ein einfaches Umrechnen zwischen den beiden Bewertungsvarianten ist hier nicht grundsätzlich möglich. Bei der Verwendung von zertifizierten Kennwerten (Primärenergiefaktor und CO_2 -Äquivalent) von realen Fernwärmeversorgungen ist diese Diskrepanz geringer. Allerdings ergeben sich auch hier Unsicherheiten im Bereich der berücksichtigten Vorketten und der verwendeten Allokationsmethoden. Es ist daher wichtig, dass die einzelnen Elemente der Energie- und Treibhausgasbilanz detailliert analysiert und die Rahmenbedingungen für die Fernwärmezertifizierung konkretisiert und vereinheitlicht werden bevor eine Umstellung erfolgt, um den gewünschten Effekt der Umstellung des Energieversorgungssystems auch wirklich erfolgreich steuern zu können.

Literaturverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt: „Energiesparende Gebäude“, 22.02.2016. [Online]. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energiesparende-gebaeude#textpart-1>
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, November 2016. Online verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf. Letzter Zugriff am 16.07.2018
- [3] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Stellungnahme zum Entwurf eines Gesetzes zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden Gebäudeenergiegesetz (GEG) Berlin, 1. Februar 2017. Online verfügbar unter: http://www.enev-online.eu/geg/referentenentwurf/positionen/bdew_bundesverband_der_energiewirtschaft_und_wasserwirtschaft_ev.pdf. Letzter Zugriff am 28.09.2018.
- [4] BID Bundesarbeitsgemeinschaft Immobilienwirtschaft Deutschland: Stellungnahme der BID Bundesarbeitsgemeinschaft Immobilienwirtschaft Deutschland zum Referentenentwurf des Gebäudeenergiegesetzes vom 23.01.2017. Berlin, 01.02.2017. http://www.enev-online.eu/geg/referentenentwurf/positionen/bid_bundesarbeitsgemeinschaft_immobilienwirtschaft_deutschland.pdf. Letzter Zugriff am 28.09.2018.
- [5] eaD Bundesverbandes der Energie- und Klimaschutzagenturen Deutschlands e. V.: Stellungnahme des Bundesverbandes der Energie- und Klimaschutzagenturen Deutschlands (eaD) e. V. zum „Gebäudeenergiegesetz“. Februar 2017. Online verfügbar unter: http://www.enev-online.eu/geg/referentenentwurf/positionen/ead_bundesverband_energie_klimaschutzagenturen.pdf. Letzter Zugriff am 28.09.2018.
- [6] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Referentenentwurf des Gesetzes zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG). 31.01.2017. Online verfügbar unter: www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Gesetze/energieeinsparung_referentenentwurf_bf.pdf. Letzter Zugriff am 28.09.2018.
- [7] Erhorn-Kluttig, H., Erhorn, H.: Energetische Bilanzierung von Quartieren: Ergebnisse und Benchmarks aus Pilotprojekten – Forschung zur energieeffizienten Stadt. Schriftenreihe EnEff:Stadt. IRB-Verlag. 2016. ISBN 978-3-8167-9629-9.
- [8] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 18. November 2013 mit Änderung ab 1. Januar 2016.
- [9] DIN V 18599-1:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsver-

- fahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger. Beuth-Verlag, Berlin Dezember 2011.
- [10] DIN V 18599-1:2018-09: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger. Verbindlich ab September 2018.
- [11] IINAS GmbH – Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien: Globales Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.95, Stand April 2017. Online verfügbar unter: <http://iinas.org/gemis-download-121.html>.
- [12] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: Online-Datenbank ÖKOBAUDAT, aktuelle Version 2017-I vom 27.11.2017. Online verfügbar unter: <http://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat/daten/db1.html#bereich1>.
- [13] Fritsche, U. R., Greß, H.-W.: Der nicht erneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommixes im Jahr 2016 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. Darmstadt, Januar 2018. Online verfügbar unter: http://iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2018_KEV_THG_Strom-2016_2020-2050.pdf. Letzter Zugriff am 09.08.2018.
- [14] DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A1:2013. Beuth-Verlag, Berlin Juli 2014.
- [15] ISO 14040:2009: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth Verlag, Berlin. 2009.
- [16] ISO 14044:2018: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Beuth Verlag, Berlin. 2018
- [17] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: Online-Datenbank ÖKOBAUDAT, Datensatz Nutzung - Öl Brennwert (< 20 kW, entspr. EnEV). [Online]. Online verfügbar unter: http://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/dataset-detail/process.xhtml?uuid=df0047fc-9bd3-4aab-baa1-25b383c6706f&stock=OBD_2017_I&lang=de. Letzter Zugriff am 24.09.2018.
- [18] Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW): AGFW-Regelwerk, Arbeitsblatt FW 309-1: Energetische Bewertung von Fernwärme – Bestimmung der spezifischen Primärenergiefaktoren für Fernwärmeversorgungssysteme. Stand Mai 2010. Online verfügbar unter: https://www.agfw.de/fileadmin/user_upload/Technik_u_Normung/Erzeugung/Energetische_Bewertung/EnEV_und_Fernwaerme/FW_309_1_Arbeitsblatt_und_Geschaeftsordnung.pdf. Letzter Zugriff am 09.08.2018.
- [19] Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW): AGFW-Regelwerk, Arbeitsblatt FW 309-6: Energetische Bewertung von Fernwärme – Bestimmung spezifischer CO₂-Emmisionsfaktoren. Stand Juni 2016. Online verfügbar unter: https://www.agfw.de/fileadmin/user_upload/Technik_u_Normung/Erzeugung/Energetische_Bewertung/FW_309_6_A_2016-06.pdf. Letzter Zugriff am 09.08.2018.

- [20] thinkstep AG: GaBi Database & Modelling Principles, February 2018. Online verfügbar unter: http://www.gabi-software.com/fileadmin/Documents/GaBi_Modelling_Principles_2018.pdf. Letzter Zugriff am 09.08.2018.
- [21] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: Online-Datenbank ÖKOBAUDAT, Datensätze für Fernwärme. [Online]. Online verfügbar unter: <http://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat/daten/db1/9.2.06/Sonstige/Energietr%C3%A4ger%20-%20Bereitstellung%20frei%20Verbraucher/Fernw%C3%A4rme.html#bereich1>. Letzter Zugriff am 09.08.2018.
- [22] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: Online-Datenbank ÖKOBAUDAT, Datensatz Fernwärme-Mix. [Online]. Online verfügbar unter: <http://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/source.xhtml?u-uid=43a651c2-c915-4972-86a6-1abcf5512cdb&version=33.00.000>. Letzter Zugriff am 09.08.2018.
- [23] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Schüwer, D., Hanke, T., Dr. Luhmann, H.-J.: Diskussionspapier Konsistenz und Aussagefähigkeit der Primärenergie-Faktoren für Energieträger im Rahmen der EnEV. Wuppertal, 18.12.2015.
- [24] Öko-Institut e.V. Institut für angewandte Ökologie, Fritsche, U. R., Schmidt, K.: Handbuch zu GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme), Darmstadt, August 2008.
- [25] EnBW Energie Baden-Württemberg AG: Schriftwechsel am 06.06.2018
- [26] EnBW Energie Baden-Württemberg AG: Zertifikat EnBW Primärenergiefaktor, Bescheinigung über die energetische Bewertung der Fernwärme. TÜV SÜD Industrie Service GmbH. Ausgestellt am 21.03.2013. Gültig bis 20.03.2023. Online verfügbar unter: <https://www.enbw.com/media/privatkunden/docs/zertifikat-enbw-primaeenergiefaktor.pdf>. Letzter Zugriff am 24.09.2018.
- [27] EnBW Energie Baden-Württemberg AG: Produktblatt EnBW Fernwärme. Stand: September 2016. Online verfügbar unter: <https://www.enbw.com/media/industriekunden/docs/produkte/produktblatt-fernwaerme.pdf>. Letzter Zugriff am 24.09.2018.
- [28] SWM - Stadtwerke München GmbH: Schriftwechsel. Datum: 21.06.2018
- [29] SWM - Stadtwerke München GmbH: Bescheinigung über die energetische Bewertung der Fernwärme nach FW 309-1. Pöyry Energy GmbH. Ausgestellt am 26.04.2012. Gültig bis 26.04.2022.
- [30] SWM - Stadtwerke München: „Kraft-Wärme-Kopplung“, 20.06.2018. [Online]. Online verfügbar unter: <https://www.swm.de/privatkunden/unternehmen/engagement/qualitaet-umweltschutz/kraft-waerme-kopplung.html>
- [31] FUG Fernwärme Ulm GmbH: Bescheinigung über den spezifischen CO₂-Emissionsfaktor der Fernwärme nach FW309-6. Ingenieurbüro Gerd Fleischhammer. Ausgestellt am 15.12.2016. Gültig bis 14.12.2026.
- [32] FUG Fernwärme Ulm GmbH: Bescheinigung über die energetische Bewertung der Fernwärme nach FW309-1. Ingenieurbüro Gerd Fleischhammer. Ausgestellt am 12.12.2016. Gültig bis 11.12.2026.
- [33] FUG Fernwärme Ulm GmbH: Bescheinigung des Wärmenetzbetreibers nach § 10 Abs. 3 EEWärmeG. Ingenieurbüro Gerd Fleischhammer. Ausgestellt am 26.02.2018.

- [34] Stadtwerke Rostock AG: Zertifikat CO₂-Emissionen. Technische Universität Dresden. Ausgestellt am 01.11.2017. Gültig bis 31.10.2027. Online verfügbar unter: https://www.swrag.de/fileadmin/media/pdf/fernwaerme/2017/Zerti_FW309_CO2_Rostock_Zertifikat_2018.pdf. Letzter Zugriff am 24.09.2018.
- [35] Stadtwerke Rostock AG: Zertifikat Primärenergiefaktor und KWK-Anteile. Technische Universität Dresden. Ausgestellt am 22.07.2015. Gültig bis 21.07.2025. Verfügbar unter: <https://www.swrag.de/privatkunden/fernwaerme/in-rostock/zertifikate.html>. Letzter Zugriff am 24.09.2018.
- [36] Stadtwerke Rostock AG: Fernwärmenachweis § 10 EEWärmeG Rostock. Technische Universität Dresden. Ausgestellt am 22.07.2015. Verfügbar unter: <https://www.swrag.de/privatkunden/fernwaerme/in-rostock/zertifikate.html>. Letzter Zugriff am 24.09.2018.
- [37] Hanse Werk Natur GmbH: Bescheinigung über die energetische Bewertung des Fernwärmenetzes Bioerdgas-BHKW Ammersbek. Ausgestellt am 22.12.2016. Gültig bis 21.12.2026. Online verfügbar unter: <https://www.district-energy-systems.info/suppliesystems/DEHH0001/certificate/1910>. Letzter Zugriff am 24.09.2018.
- [38] Hanse Werk Natur GmbH: Preisblatt zum Wärmelieferungsvertrag in Ammersbek, Georg-Sasse-Str. Online verfügbar unter: https://www.hansewerk-natur.com/content/dam/revu-global/hansewerk-natur/Files/Service/Waermepreise/Ammersbek_GeorgSasseStr_Preisblatt.pdf. Letzter Zugriff am 24.09.2018.
- [39] Hanse Werk Natur GmbH: Preisblatt zum Wärmelieferungsvertrag in Gelting, Gaarwang. Online verfügbar unter: https://www.hansewerk-natur.com/content/dam/revu-global/hansewerk-natur/Files/Service/Waermepreise/Gelting_Gaarwang_Preisblatt.pdf. Letzter Zugriff am 24.09.2018.
- [40] Vereinigte Stadtwerke GmbH: Schriftwechsel am 20.06.2018.
- [41] Vereinigte Stadtwerke GmbH: Bescheinigung über die energetische Bewertung der Fernwärme für die Wärmeversorgung Schanzenbarg. optiWatt GmbH. Ausgestellt am 12.04.2014. Gültig bis 13.04.2024. Online verfügbar unter: https://www.vereinigte-stadtwerke.de/sites/vereinigte-stadtwerke.de/files/content/pdf/01_bescheinigung_pef_fw_schanzenbarg_vs0001.pdf. Letzter Zugriff am 24.09.2018.
- [42] Reiß, J., Erhorn, H.: Instrumente für die Entwicklung von Strategien zur Reduktion energiebedingter Klimaemission in Deutschland. Analyse und Entwicklung energierelevanter Gebäudekenndaten. Report WB 71/1992 des Fraunhofer Instituts für Bauphysik (1992).
- [43] DIN V 18599-10:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten. Beuth-Verlag, Berlin Dezember 2011.

- [44] Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW): Anlage zum Merkblatt: Energieeffizient bauen – KfW, Technische Mindestanforderungen, Kredit 153. Gültig ab 17.04.2018. Online verfügbar unter: [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-\(Inlandsförderung\)/PDF-Dokumente/6000003465_M_153_EEB_TMA_2018_04.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-(Inlandsförderung)/PDF-Dokumente/6000003465_M_153_EEB_TMA_2018_04.pdf) Letzter Zugriff am 19.07.2018.
- [45] DIN V 18599-8:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen. Beuth-Verlag, Dezember 2011.
- [46] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: Zukunft Bauen, Forschung für die Praxis, ÖKOBAUDAT, Grundlagen für die Gebäudeökobilanzierung, Band 09. Online verfügbar unter: <http://www.oekobaudat.de/fileadmin/downloads/0039bf170209mh1.pdf>. Letzter Zugriff am 19.07.2018.
- [47] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Info-Portal Energieeinsparung: Auslegung XXII-1 zu § 3 Absatz 3 i. V. m. Anlage 1 Nr. 2.1.1 und 2.1.2 EnEV 2013 sowie zu § 4 Absatz 3 i. V. m. Anlage 2 Anlage 2 Nr. 2.1.1 EnEV 2013 (Primärenergiefaktoren bei Wärmeversorgungsnetzen). Online verfügbar unter: <https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/EnEV/Auslegungen/Auslegungen/XXII-1.html;jsessionid=AA7BC692964C9E-74098322A0C3FC4F66.live11293?nn=738208>
- [48] FIZ Karlsruhe: Energieeffiziente Stadt. Webseite zur Forschungsinitiative Energieeffiziente Stadt. Online verfügbar unter <https://projektinfos.energiewendebauen.de/forschung/forschungsfoerderung/energieeffiziente-stadt/>.
- [49] Erhorn-Kluttig, H., Erhorn, H.: Energetische Bilanzierung von Quartieren. Ergebnisse und Benchmarks aus Pilotprojekten – Forschung zur energieeffizienten Stadt. Schriftenreihe EnEff:Stadt. Fraunhofer IRB-Verlag, 2016. ISSN (Print) 978-3-8167-9629-9 bzw. ISSN (E-Book) 978-3-8167-9630-5.
- [50] Bundesregierung: Entwurf zum Gesetzentwurf der Bundesregierung: Entwurf eines Gesetzes zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude. 01.11.2018. Online verfügbar unter: https://www.geb-info.de/gentner.dll/GEG-Entwurf-181101_ODQ5Njc3.PDF?. [Zugriff am 30.11.2018].
- [51] DIN EN 15316-4-5:2017-09: Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen - Teil 4-5: Fernwärme und Fernkälte. Beuth-Verlag, September 2017.
- [52] CDU, CSU und SPD: Ein neuer Aufbruch für Europa. Eine neue Dynamik für Deutschland. Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. Koalitionsvertrag vom 7. Februar 2018.

9 Anhang

9.1 Hintergrundinformationen zu Primärenergiefaktoren

Nachfolgend ist zusammengestellt, auf welches Normenwerk mit ausgewiesenen Primärenergiefaktoren die Energieeinsparverordnung in der jeweils gültigen Fassung verwiesen und welche von dem jeweiligen Normenwerk abweichende Regelungen die EnEV selbst in Bezug auf Primärenergiefaktoren getroffen hat. Mit der Energieeinsparverordnung EnEV 2007 werden die Primärenergiefaktoren als Gesamtwert und zusätzlich für den nichterneuerbaren Anteil angegeben.

EnEV 2002: DIN 4701-10:2001-02

EnEV 2004: DIN 4701-10:2003-08 (Bezug der Faktoren auf unteren Heizwert H_u)

EnEV 2007: DIN 4701-10 geändert durch A1:2006-12
(Bezugsgröße Endenergie: Heizwert H_i)

EnEV 2009: nicht erneuerbarer Anteil nach DIN V 18599-1:2007-02. Dabei ist für flüssige Biomasse der Wert für den nicht erneuerbaren Anteil „Heizöl EL“ und für gasförmige Biomasse der Wert für den nicht erneuerbaren Anteil „Erdgas H“ zu verwenden. Für flüssige oder gasförmige Biomasse im Sinne des § 2 Absatz 1 Nummer 4 des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes kann für den nicht erneuerbaren Anteil der Wert 0,5 verwendet werden, wenn die flüssige oder gasförmige Biomasse im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude erzeugt wird. Für elektrischen Strom ist der Wert 2,6 zu verwenden.

EnEV 2014: nicht erneuerbarer Anteil nach DIN V 18599-1:2011-12. Dabei ist für flüssige Biomasse der Wert für den nicht erneuerbaren Anteil „Heizöl EL“ und für gasförmige Biomasse der Wert für den nicht erneuerbaren Anteil „Erdgas H“ zu verwenden. Für flüssige oder gasförmige Biomasse im Sinne des § 2 Absatz 1 Nummer 4 des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes kann für den nicht erneuerbaren Anteil der Wert 0,5 verwendet werden, wenn die flüssige oder gasförmige Biomasse im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude erzeugt wird. Für elektrischen Strom ist abweichend von Satz 2 als Primärenergiefaktor für den nicht erneuerbaren Anteil ab dem 1. Januar 2016 der Wert 1,8 zu verwenden; für den durch Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten und nach Abzug des Eigenbedarfs in das Verbundnetz eingespeisten Strom gilt unbeschadet des ersten Halbsatzes der dafür in DIN V 18599-1:2011-12 angegebene Wert von 2,8.

9.2 GEMIS

Globales Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS) ist eine kostenfrei zugängliche Datenbank. GEMIS wurde vom Öko-Institut entwickelt und wird seit 2012 vom Internationalen Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS), einer unabhängigen transdisziplinären Forschungseinrichtung, angeboten, kontinuierlich aktualisiert und erweitert. IINAS kooperiert zudem mit dem Umweltbundesamt im Vorhaben "Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme (ProBas)", das umfangreiche Lebenswegdaten u. a. aus GEMIS anbietet, so dass die Datenbasis in beiden Datenbanken größtenteils identisch ist.

GEMIS besteht aus einem Bilanzierungsmodell für Energie- und Stoffströme sowie einer Datenbasis. Mit dem Bilanzierungsmodell werden sogenannte Lebenswege berechnet, so dass von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie bzw. Stoffbereitstellung alle wesentlichen Schritte berücksichtigt werden und auch der Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen mit einbezogen wird. Die Datenbasis von GEMIS enthält die grundlegenden Informationen für das Modell und umfasst Prozesse auch aus den Gruppen Energieträger, Erzeugung von Strom und Wärme, Stoffherstellung und Transporte.

9.3 ÖKOBAUDAT

ÖKOBAUDAT wurde im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau entwickelt und wird vom Deutschen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) zur Verfügung gestellt. ÖKOBAUDAT ist ein Informationsportal mit Daten und Informationen rund um die Ökobilanzierung von Bauwerken. Den Hauptbestandteil des Portals stellt die Online-Datenbank mit Ökobilanz-Datensätzen zu Baumaterialien, Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozessen dar. So kann mit Hilfe der Datenbank der gesamte Lebenszyklus eines Bauwerks bewertet werden. Auch das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) macht sich die ÖKOBAUDAT-Datensätze für die Erstellung von Ökobilanzen zunutze. Alle ÖKOBAUDAT-Datensätze sind konform zur DIN EN 15804.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Herausgeber: Wissenschaftliche Begleitforschung_ENERGIEWENDEBAUEN
RWTH Aachen University
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
Mathieustraße 10
52074 Aachen

E-Mail: begleitforschung@eonerc.rwth-aachen.de
Internet: energiwendebauen.de

Autoren: Linda Lyslow¹, Heike Erhorn-Kluttig¹ und Hans Erhorn¹ unter Mitwirkung weiterer Mitglieder der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN

Bildquelle sofern nicht explizit anders angegeben Wissenschaftliche Begleitforschung.

Für den Inhalt und das Bildmaterial der einzelnen Beiträge tragen alleine die Autoren die Verantwortung. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder in einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN: 978-3-942789-98-1

¹ Fraunhofer-Institut für Bauphysik

