



Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden

Forschung und Anwendung GmbH

Prof. Oschatz - Prof. Hartmann - Prof. Werdin

Energetische Effizienz und Wirtschaftlichkeit der elektrischen Direktheizung

Auftraggeber: Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e. V.
Wandweg 1, 44149 Dortmund
Electric Underfloor Heating Alliance
Avenue des Arts 46, 1000 Brüssel
IG Infrarot Deutschland e.V.
Mittelweg 10, 20148 Hamburg
Bundesverband Infrarot-Heizung e. V.
Schlosserstr. 6, 04442 Zwenkau (Leipzig)

Auftragnehmer: ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Tiergartenstr. 54 in 01219 Dresden
Dr.-Ing. Bernadetta Winiewska
Dipl.-Ing. Bettina Mailach
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz

Dresden, 26. Juni 2019

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Rechtliche und normative Rahmenbedingungen	2
2.1	Status quo – Stand EnEV/EEWärmeG	2
2.2	Gebäudeenergiegesetz	2
2.3	DIN V 18599:2018-09	4
3	Randbedingungen	7
3.1	Gebäude und Wärmeschutz	7
3.2	Anlagentechnik	9
3.3	Endenergiebedarf	10
3.4	Primärenergiebedarf	10
4	Anforderungen an Neubauten	12
4.1	EnEV 2014	12
4.2	GEG	13
4.3	KfW-Effizienzhaus-Standards	14
5	Ergebnisse der energetischen Bewertung – Teil 1	16
5.1	Einführende Bemerkungen	16
5.2	Endenergiebedarf	16
5.2.1	EFH	16
5.2.2	RH	17
5.3	Primärenergetische Bewertung im EFH	19
5.3.1	Anrechenbare Strommenge	19
5.3.2	Primärenergiebedarf nach EnEV 2014	20
5.3.3	Primärenergiebedarf nach GEG	23
5.3.4	Erreichbares Anforderungsniveau in Abhängigkeit vom Bewertungsansatz	25
5.4	Real im Gebäude genutzter PV-Strom	25
5.5	Primärenergetische Bewertung im RH	26
5.5.1	Anrechenbare Strommenge	26
5.5.2	Primärenergiebedarf nach EnEV 2014	27
5.5.3	Primärenergiebedarf nach GEG	29
5.5.4	Erreichbares Anforderungsniveau in Abhängigkeit vom Bewertungsansatz	31
5.6	Real im Gebäude genutzter PV-Strom	32
6	Wirtschaftlichkeitsbewertung – Teil 2	34
6.1	Randbedingungen	34
6.2	Ergebnisse	35
7	Zusammenfassung und Vorschläge für Änderungen im GEG	54
8	Literatur	57

1 Einleitung

EnEV, EnEG und EEWärmeG sollen durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG) abgelöst werden. Bisher liegt ein Entwurf (28.05.2019) des Gesetzes vor.

§ 23 des GEG regelt die Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien und enthält gegenüber der aktuellen EnEV 2014 abweichende Regelungen hinsichtlich der Anrechenbarkeit von selbst erzeugtem PV-Strom. Neu in § 23 des GEG ist der Punkt 3., der eine Anrechenbarkeit ausschließt, wenn gebäudenah erzeugter Strom aus Erneuerbaren Energien für Stromdirektheizungen verwendet wird.

Im Rahmen der Studie werden vergleichende Berechnungen aus Sicht der Effizienz und der Wirtschaftlichkeit für unterschiedliche Anlagenvarianten darunter Anlagenkombinationen mit elektrischer Direktheizung¹ unter Berücksichtigung unterschiedlicher Vorgaben zur Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien und drei Effizienzniveaus vorgenommen.

Die Studie besteht aus drei Teilen:

- Teil 1: Vergleich der energetischen Effizienz
- Teil 2: Vergleich der Wirtschaftlichkeit (aufbauend auf Teil 1)
- Teil 3: Bewertung der Ergebnisse aus Teil 1 und Teil 2 im Kontext des offiziellen GEG Referentenentwurfs vom 28.05.2019

Im Teil 1 der Studie werden die Endenergiebedarfswerte, die die Grundlage zur primärenergetischen Bewertung und der im Teil 2 folgenden Wirtschaftlichkeitsbewertung bilden, berechnet und den jeweiligen Anforderungswerten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Vorgaben zur Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien gegenübergestellt.

Für die Anrechnung des im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude erzeugten erneuerbaren Stroms werden folgende drei Bewertungsansätze berücksichtigt:

- entsprechend der aktuellen EnEV-Bewertung (Status quo)
- entsprechend der gegenwärtigen Formulierung des §23 im GEG-Entwurf von 28. Mai 2019
- wie aktuelle GEG-Formulierung allerdings ohne Ausschluss der Anrechenbarkeit für Elektro-Direktheizungen - GEG ohne § 23 1) und (3)

Teil 2 der Studie schließt sich an die Ergebnisse vom Teil 1 an und beinhaltet eine Wirtschaftlichkeitsbewertung. Dabei werden die resultierenden Jahresgesamtkosten für die betrachteten Anlagenvarianten in den jeweiligen Gebäuden berechnet.

Im Teil 3 werden die Ergebnisse aus Teil 1 und Teil 2 im Kontext des offiziellen GEG Entwurfs bewertet und Vorschläge zu Anpassungen oder neuen Textpassagen für GEG erarbeitet.

Die folgenden Abschnitte 2 und 4 sind als übergreifende Randbedingungen für alle drei Teile der Studie zu sehen.

¹ Im Rahmen der Studie erfolgt die energetische und wirtschaftliche Bewertung der Stromdirektheizung am Beispiel der elektrischen Flächenheizung. Nachtspeicheröfen, elektrische Heizkörper oder elektrische Heizlüfter werden in vorliegender Studie nicht betrachtet. Die Erkenntnisse der Studie können näherungsweise auf Infrarotheizungen übertragen werden

2 Rechtliche und normative Rahmenbedingungen

2.1 Status quo – Stand EnEV/EEWärmeG

Bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs im Sinne der aktuellen Energieeinsparverordnung und den darauf aufbauenden Regelungen wird Strom aus erneuerbaren Energien nur teilweise angerechnet. Im § 5 „Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien“ der aktuell gültigen [EnEV 2014] heißt es dazu:

„(1) Wird in zu errichtenden Gebäuden Strom aus erneuerbaren Energien eingesetzt, darf dieser Strom von dem nach § 3 Absatz 3 und § 4 Absatz 3 berechneten Endenergiebedarf abgezogen werden, soweit er

- 1. im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang zu dem Gebäude erzeugt wird und*
- 2. vorrangig in dem Gebäude unmittelbar nach Erzeugung oder nach vorübergehender Speicherung selbst genutzt und nur die überschüssige Energiemenge in ein öffentliches Netz eingespeist wird.*

Es darf höchstens die Strommenge angerechnet werden, die dem berechneten Strombedarf der jeweiligen Nutzung entspricht.

(2) (...) Der monatliche Ertrag der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien ist nach DIN V 18599-9: 2011-12, berichtigt durch DIN V 18599-9 Berichtigung 1: 2013-05, zu bestimmen. Bei Anlagen zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie sind die monatlichen Stromerträge unter Verwendung der mittleren monatlichen Strahlungsintensitäten der Referenzklimazone Potsdam nach DIN V 18599-10: 2011-12 Anhang E sowie der Standardwerte zur Ermittlung der Nennleistung des Photovoltaikmoduls nach DIN V 18599-9: 2011-12 Anhang B zu ermitteln.“

Die Höhe der anrechenbaren PV-Strommenge richtet sich nach dem Strombedarf der Nutzung. Die danach anzurechnende Strommenge stellt also die Strommenge dar, die nach den Bilanzierungsverfahren nach EnEV als Endenergiebedarf für Strom berechnet wird. Im Sinne der Energieeinsparverordnung werden für Wohngebäude nur Energieaufwendungen für Raumheizung, Lüftung, Kühlung und Trinkwassererwärmung bilanziert. Der Strombedarf für die Beleuchtung oder weitere Nutzeranwendungen (Haushaltsstrom) wird nicht bilanziert.

Erfolgt keine strombasierte Wärmeerzeugung, ist die Höhe des anrechenbaren PV-Stroms auf den Hilfsenergiebedarf (ggf. incl. Hilfsenergie für eine Wohnungslüftungsanlage) begrenzt.

Die elektrische Nutzung von solarer Strahlungsenergie wird aktuell nicht als Erfüllungsmöglichkeit im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz [EEWärmeG] ausgewiesen.

2.2 Gebäudeenergiegesetz

Mit dem Gebäudeenergiegesetz wird das Energieeinsparrecht für Gebäude strukturell neu konzipiert und vereinheitlicht. Das Gesetz führt das Energieeinsparungsgesetz (EnEG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) in einem neuen Gesetz - Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) zusammen.

Die aktuell verfügbare Fassung des Referentenentwurfs zum Gebäudeenergiegesetz [GEG] vom 28.05.2019 enthält gegenüber der aktuellen EnEV 2014 abweichende Regelungen hinsichtlich der Anrechenbarkeit von PV-Strom.

Im § 23 „Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien“ des aktuell verfügbaren Referentenentwurfs zum Gebäudeenergiegesetz heißt es dazu:

„(1) Strom aus erneuerbaren Energien, der in einem zu errichtenden Gebäude eingesetzt wird, darf bei der Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs des zu errichtenden Gebäudes nach § 20 Absatz 1 oder Absatz 2 und nach § 21 Absatz 1 und 2 nach Maßgabe von Absatz 2 bis 4 in Abzug gebracht werden, soweit er

- 1. im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang zu dem Gebäude erzeugt wird,*
- 2. vorrangig in dem Gebäude unmittelbar nach Erzeugung oder nach vorübergehender Speicherung selbst genutzt und nur die überschüssige Strommenge in das öffentliche Netz eingespeist wird und*
- 3. nicht für Stromdirektheizungen genutzt wird.*

(2) Bei der Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs des zu errichtenden Wohngebäudes dürfen vom Ausgangswert in Abzug gebracht werden

- 1. für eine Anlage zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien ohne Nutzung eines elektrochemischen Speichers 150 Kilowattstunden je Kilowatt installierter Nennleistung und ab einer Anlagengröße von 0,02 Kilowatt Nennleistung je Quadratmeter Gebäudenutzfläche zuzüglich das 0,7fache des jährlichen absoluten elektrischen Endenergiebedarfs der Anlagentechnik, jedoch insgesamt höchstens 20 Prozent des Jahres-Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes nach § 15 Absatz 1, und*
- 2. für eine Anlage zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien mit Nutzung eines elektrochemischen Speichers von mindestens 1 Kilowattstunde Nennkapazität je Kilowatt installierter Nennleistung der Erzeugungsanlage 200 Kilowattstunden je Kilowatt installierter Nennleistung und ab einer Anlagengröße von 0,02 Kilowatt Nennleistung je Quadratmeter Gebäudenutzfläche zuzüglich das 1,0fache des jährlichen absoluten elektrischen Endenergiebedarfs der Anlagentechnik, jedoch insgesamt höchstens 25 Prozent des Jahres-Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes nach § 15 Absatz 1.*

Als Ausgangswert ist der Jahres-Primärenergiebedarf nach § 20 Absatz 1 oder Absatz 2 zu verwenden, der sich ohne Anrechnung des Stroms aus erneuerbaren Energien nach Absatz 1 ergibt.

(...).

Die geänderte Berechnungssystematik würde für Wohngebäude einen anrechenbaren Sockelbetrag der an die Nennleistung der PV-Anlage gekoppelt ist (150 kWh/kWp bei Anlagen ohne Speicher bzw. 200 kWh/kWp bei Anlagen mit Speicher) einführen. Gleichzeitig könnten bei Anlagen ohne Stromspeicher und mit einer Anlagengröße ab 0,02 kW_p je m²

Gebäudenutzfläche 70% des tatsächlichen EnEV-relevanten² elektrischen Endenergiebedarfs angerechnet werden. Für Anlagen kleiner 0,02 kWp je m² Gebäudenutzfläche entfällt der 70%-Bonus hingegen ersatzlos. Unberücksichtigt im GEG bleibt ebenfalls die Ausrichtung und Anlageneffizienz der PV-Anlage. In Summe darf jedoch die Anrechnung des PV-Stroms nicht mehr als 20% des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes betragen. Die Anrechenbarkeitsgrenze von 20% (ohne Stromspeicher) bzw. 25% (mit Stromspeicher) bezieht sich auf 100% des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes und nicht auf die 75% des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes, die dem primärenergetischen Anforderungswert nach GEG entsprechen.

Die Formulierung zum Ausschluss der Anrechenbarkeit des PV-Stroms in Verbindung mit Stromdirektheizungen ist nicht eindeutig. Nach gängiger Auffassung, wird allerdings davon ausgegangen, dass aus der Anrechenbarkeit der gesamte PV-Ertrag ausgeschlossen wird, wenn dieser für Stromdirektheizungen genutzt wird. Das bedeutet, dass für diese Anlagen kein PV-Strom angerechnet wird.

Neben den Anforderungen an Primärenergiebedarf und baulichen Wärmeschutz stellt das GEG Anforderungen an die anteilige Nutzung erneuerbarer Energien. Anders als im aktuell gültigen EEWärmeG wird Strom aus erneuerbaren Energien als Erfüllungsoption ausgewiesen. Im § 36 des GEG heißt es dazu:

„Die Anforderung nach § 10 Absatz 2 Nummer 3 ist erfüllt, wenn durch die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien nach Maßgabe des § 23 Absatz 1 der Wärme- und Kälteenergiebedarf zu mindestens 15 Prozent gedeckt wird. Wird bei Wohngebäuden Strom aus solarer Strahlungsenergie genutzt, gilt die Anforderung bezüglich des Mindestanteils nach Satz 1 als erfüllt, wenn Anlagen zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie mit einer Nennleistung von mindestens 0,02 Kilowatt je Quadratmeter Gebäudenutzfläche installiert und betrieben werden.“

2.3 DIN V 18599:2018-09

In der Neuausgabe der DIN V 18599-9 vom September 2018 [DIN V 18599-9:2018] ist ein Berechnungsansatz zur Bestimmung der im Gebäude selbst genutzten PV-Energie enthalten, der eine realitätsnahe Bewertung des im Gebäude genutzten PV-Stroms ermöglicht. Bei einer vorhandenen Batterieanlage wird der Mehrnutzen, den eine Batterieanlage verglichen mit dem Zustand ohne Batterie bietet, rechnerisch berücksichtigt und die im Gebäude genutzte PV-Strommenge entsprechend erhöht.

Die Energiebilanzierung der innerhalb des Gebäudes genutzten Energiemengen einer PV-Anlage greift auf den gesamten Elektroenergiebedarf des Gebäudes zurück. Dieser wird aus den für die Versorgung des Gebäudes bilanzierten EnEV-relevanten Mengen sowie dem Energiebedarf für weitere Anwendungen der Nutzer (Haushaltsgeräte, Medientechnik usw.) berechnet. Der Elektroenergiebedarf für Nutzeranwendungen fasst damit die weiteren Elektroenergieverbräuche des Gebäudes zusammen. Bei einem Wohngebäude kann an dieser Stelle vom Haushaltsstrom gesprochen werden.

² Analog der aktuellen Energieeinsparverordnung werden im Sinne des GEG für Wohngebäude nur Energieaufwendungen für Raumheizung, Lüftung, Kühlung und Trinkwassererwärmung bilanziert. Der Strombedarf für die Beleuchtung oder weitere Nutzeranwendungen (Haushaltsstrom) wird nicht bilanziert. Erfolgt keine strombasierte Wärmeerzeugung, wird der Bonusbetrag aus dem Hilfsenergiebedarf (ggf. incl. Hilfsenergie für eine Wohnungslüftungsanlage) berechnet.

Der Elektroenergiebedarf für Nutzeranwendungen wird monatlich anhand folgender Gleichung berechnet:

$$Q_{el,b,i} = d_{mth} * q_{el,b} * A_{NGF} * 0,001$$

Dabei ist:

$Q_{el,b,i}$	der monatliche Elektroenergiebedarf für Nutzeranwendungen, in kWh
d_{mth}	die Anzahl der Tage je Monat, in d
$q_{el,b}$	der tägliche flächenbezogene Anwendungsstrombedarf, in Wh/(m ² ·d)
A_{NGF}	die Nettogrundfläche, in m ² .

Zur Berechnung des Elektroenergiebedarfes für Nutzeranwendungen in einem Wohngebäude (Haushaltsstrom) wird ein auf die Netto-Grundfläche bezogener täglicher Anwendungsstrombedarf in Höhe von 63 Wh/m²d als Randbedingung definiert.

Die Energiemenge einer PV-Anlage, die innerhalb des Gebäudes genutzt wird, ergibt sich aus einer Monatsbilanz durch den Vergleich mittlerer Leistungen. Es wird zunächst kein Einfluss einer Batterie berücksichtigt:

$$Q_{f,nutz,PV\ oB,i} = \min \begin{cases} Q_{f,prod,PV,i} \\ \frac{t_{d,PV}}{t_d} * (Q_{el,ges,i} - f_{DLE} * Q_{el,DLE,i} + (f_{Hp} - 1) * Q_{el,Hp,i} + (f_{ESP} - 1) * Q_{el,ESP,i}) \end{cases}$$

mit

$Q_{f,nutz,PV\ oB,i}$	die monatliche Energiemenge einer PV-Anlage, die im Gebäude ohne Batterie genutzt wird, in kWh
$Q_{f,prod,PV,i}$	die monatliche Netto-Stromproduktion aus dem Photovoltaiksystem, in kWh
$t_{d,PV}$	die tägliche Stundenanzahl mit relevanter solarer Einstrahlung, in h/d
t_d	die tägliche Stundenanzahl, in h/d
$Q_{el,ges,i}$	der monatliche summierte Elektroenergiebedarf des Gebäudes, in kWh
f_{DLE}	der Korrekturfaktor für Durchlauferhitzer
$Q_{elDLE,i}$	der monatliche Elektroenergiebedarf für Durchlauferhitzer, in kWh
f_{Hp}	der Korrekturfaktor für Wärmepumpen
$Q_{elHp,i}$	der monatliche Elektroenergiebedarf für Wärmepumpen, in kWh
f_{ESP}	der Korrekturfaktor für Trinkwarmwasserspeicher
$Q_{elESP,i}$	der monatliche Elektroenergiebedarf für Trinkwarmwasserspeicher, in kWh.

Ist eine Batterieanlage vorhanden, wird der Mehrnutzen, den eine Batterieanlage verglichen mit dem Zustand ohne Batterie bietet, mit einem Korrekturfaktor f_{Batt} bestimmt. Der Korrekturfaktor für die Batterie wird wie folgt berechnet:

$$f_{Batt} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 * \frac{Q_{el,ges,a} - f_{DLE} * Q_{el,DLE,a}}{Q_{f,nutz,PVoB,a}} \\ \frac{Q_{f,prod,PV,a}}{Q_{f,nutz,PVoB,a}} \\ \max \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ (0,2 * \ln \gamma_Q + 1,85) * c_Q^{(0,1 * \ln \gamma_Q + 0,25)} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Dabei ist

f_{Batt}	der Korrekturfaktor für Batteriespeicher
$Q_{el,ges,a}$	der jährlich summierte Elektroenergiebedarf des Gebäudes, in kWh
f_{DLE}	der Korrekturfaktor für Durchlauferhitzer
$Q_{elDLE,i}$	der jährliche Elektroenergiebedarf für Durchlauferhitzer, in kWh
$Q_{f,nutz,PVoB,a}$	die jährliche Energiemenge einer PV-Anlage, die im Gebäude ohne Batterie genutzt wird, in kWh
$Q_{f,prod,PV,a}$	die jährliche Netto-Stromproduktion aus dem Photovoltaiksystem, in kWh
γ_Q	der Indikator für die Dimensionierung des PV-Generators, in kW/(MWh/a)
c_Q	der Indikator für die Dimensionierung der Batterie, in kW/(MWh/a).

Die jährliche Energiemenge einer PV-Anlage, die innerhalb des Gebäudes unmittelbar nach Erzeugung und nach vorübergehender Speicherung genutzt wird, berechnet sich zu:

$$Q_{f,nutz,PV,a} = f_{Batt} * Q_{f,nutz,PVoB,a}$$

3 Randbedingungen

3.1 Gebäude und Wärmeschutz

Im Rahmen der Studie werden zwei Gebäudetypen berücksichtigt:

- ein freistehendes Einfamilienhaus
- ein Reihenmittelhaus (in Anlehnung an den Modellgebäudekatalog³)

In den folgenden Abbildungen werden die Hauptabmessungen und die Abgrenzung der thermischen Hülle verdeutlicht. Bei beiden Gebäuden handelt es sich um ein nicht unterkellertes Gebäude mit einem beheizten Dachgeschoss.

Die Tabelle 1 enthält Angaben zur Gebäudegeometrie der betrachteten Wohngebäude.

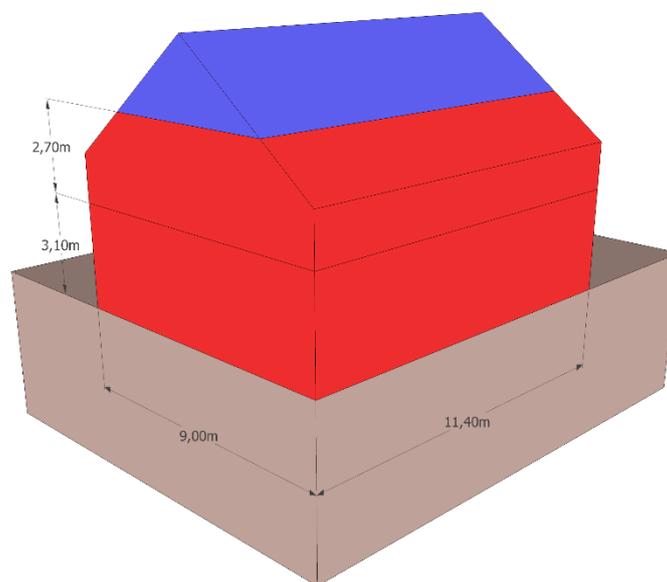


Abbildung 1: Einfamilienhaus (EFH)

Tabelle 1: Kennwerte Gebäudegeometrie

	EFH	DHH
Wohnfläche A_{Wohn} (informativ)	150 m ²	125 m ²
Nettogrundfläche A_{NGF}	162 m ²	177 m ²
Gebäudenutzfläche A_{N}	177 m ²	192 m ²
Bruttovolumen V_{e}	554 m ³	604 m ³
A/V_{e}	0,74 m ⁻¹	0,40 m ⁻¹

³ Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) sowie des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung (BBR): Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit, Aktenzeichen: SF – 10.08.17.7-09.27

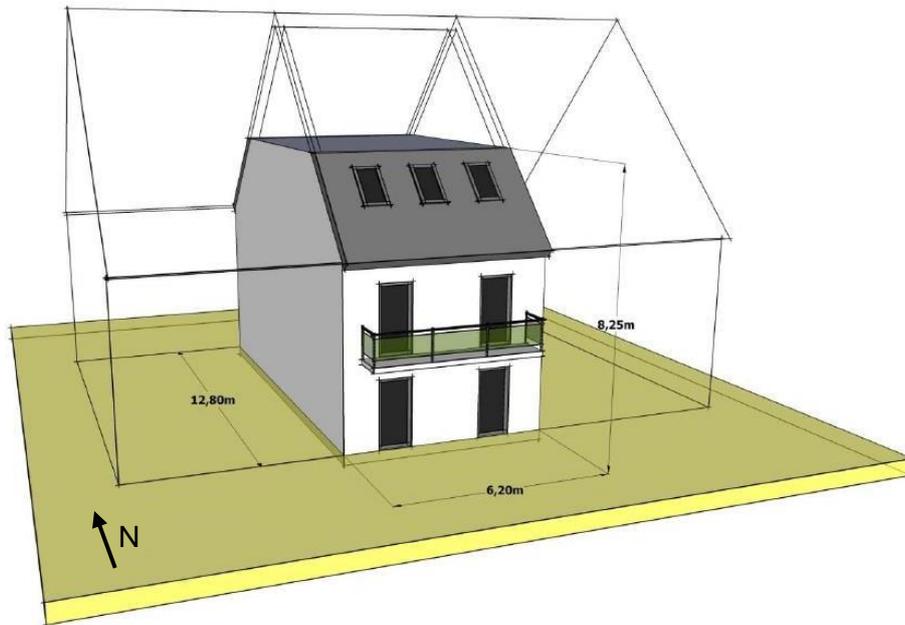


Abbildung 2: Reihenmittelhaus (RH), Bildquelle: Modellgebäudekatalog

Die Gebäudenutzfläche A_N ist die Bezugsfläche nach Energieeinsparverordnung und wird bei Wohngebäuden mit einer Geschosshöhe von $2,5 \text{ m} \leq h_G \leq 3,0 \text{ m}$ wie folgt berechnet:

$$A_N = 0,32 \frac{1}{m} * V_e$$

Die Nettogrundfläche A_{NGF} ist dagegen die Bezugsfläche nach DIN V 18599. Ihre Bestimmung folgt formal den Festlegungen zur Netto-Raumfläche A_{NRF} nach DIN 277-1. Die Netto-Raumfläche (NRF) beinhaltet nach DIN 277-1 - Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen - Teil 1: Hochbau (Ausgabe Januar 2016) "alle Grundflächen der nutzbaren Räume aller Grundrissebenen des Bauwerks" mit ihren lichten Maßen zwischen den Baukonstruktionen in Höhe der Oberseite der Boden- bzw. Deckenbeläge. Sind keine detaillierten Grundrisse verfügbar, kann für die Zwecke der DIN V 18599 für die Wohngebäude die Nettogrundfläche vereinfachend aus der Wohnfläche bzw. der Gebäudenutzfläche berechnet werden.

Der bauliche Wärmeschutz der Gebäude entspricht je nach betrachtetem Effizienzstandard der baulichen Mindestanforderung für das KfW-Effizienzhaus 55, KfW-Effizienzhaus 40 und 40 Plus. Es wird immer mit einem einheitlichen baulichen Wärmeschutz innerhalb eines Effizienzstandards gerechnet.

Die Basis zur Bestimmung des baulichen Wärmeschutzes bildet die bauliche Ausführung des Referenzgebäudes nach EnEV und im Entwurf zum GEG (s. Tabelle 2) sowie die Mindestanforderungen für das jeweilige KfW-Effizienzhaus-Standard.

Tabelle 2: Bauliche Ausführung des Referenzgebäudes im Entwurf zum GEG

Zeile	Bauteil/System	Referenzausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
1.1	Außenwand (einschließlich Einbauten, wie Rollladenkästen), Geschossdecke gegen Außenluft	$U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
1.2	Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	$U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
1.3	Dach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	$U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
1.4	Fenster, Fenstertüren	$U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) / g_{\perp} = 0,60$
1.5	Dachflächenfenster, Glasdächer und Lichtbänder	$U_w = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) / g_{\perp} = 0,60$
1.6	Lichtkuppeln	$U_w = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) / g_{\perp} = 0,64$
1.7	Außentüren; Türen gegen unbeheizte Räume	$U = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
2	Wärmebrückenanschlag für Bauteile 1.1 bis 1.7	$\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
3	Solare Warmgewinne über opake Bauteile	wie das zu errichtende Gebäude
4	Luftdichtheit der Gebäudehülle	Bei Berechnung nach <ul style="list-style-type: none"> • DIN V 4108-6:2003-06: mit Dichtheitsprüfung • DIN V 18599-2:2011-12: nach Kategorie I
5	Sonnenschutzvorrichtung	Keine Sonnenschutzvorrichtung

3.2 Anlagentechnik

Im Rahmen der Berechnungen werden für die Effizienzstandards KfW-55 und KfW-40 folgende sechs Anlagenvarianten berücksichtigt:

- Gas-Brennwertkessel zur Heizung und Trinkwarmwassererwärmung (TWE) + PV-Anlage
- Luft-Wasser-Wärmepumpe (Heizung + TWE) + PV-Anlage
- Luft-Wasser-Wärmepumpe (Heizung) + TWE mittels Elektro-Durchlauferhitzer + PV-Anlage + elektrochemischer Speicher
- Elektrische Direktheizung + Warmwasser-Wärmepumpe + PV-Anlage
- Elektrische Direktheizung + Warmwasser-Speicher + Heizstab + PV-Anlage
- Elektrische Direktheizung + TWE mittels Elektro-Durchlauferhitzer + PV-Anlage + elektrochemischer Speicher

Bei den Betrachtungen zum KfW-Effizienzhaus 40 Plus wird entsprechend dem Plus Paket der KfW für alle Anlagenvarianten ein Stromspeicher unterstellt.

Bei allen Varianten wird eine zentrale Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung unterstellt.

Als Übergabesystem wird bei den wasserbasierten Systemen (Gas-Brennwertkessel und Luft/Wasser-Wärmepumpe) Fußbodenheizung mit Systemtemperaturen von 35/28°C zugrunde gelegt. Bei den Varianten mit elektrischer Direktheizung wird ebenfalls von Fußbodenheizung ausgegangen.

Für die Bestimmung der Größe der PV-Anlage können folgende Überlegungen einbezogen werden:

- übliche Nennleistung der PV-Anlage je Gebäudetyp
- erforderliche installierte Mindest-Nennleistung je Gebäudetyp aus dem Entwurf zum GEG (0,02 kWp je m² Gebäudenutzfläche)
- die theoretisch verfügbare geeignete Dachfläche (Annahme: 80% der Dachfläche mit Süd-Ausrichtung bei EFH und 70% bei dem RH)

Im Rahmen der Studie wird die PV-Anlage so dimensioniert, dass die installierte PV-Fläche der theoretisch verfügbaren geeigneten Dachfläche entspricht. Die installierte Nennleistung ist somit in beiden Fällen deutlich höher als die Mindestanforderung nach GEG (s. Tabelle 3)

Tabelle 3: Kennwerte PV-Anlage

	EFH	RH
Nutzfläche A_N	177,1 m ²	193,2 m ²
Netto-Dachfläche (mit Süd-Ausrichtung)	62,2 m ²	46,7 m ²
Installierte PV-Fläche A (Annahme: $K_{pk}=0,182$ kW/m ²)	49,5 m ²	32,4 m ²
Installierte Nennleistung	9,0 kW _p	5,9 kW _p
Mindestanforderung nach GEG (0,02 kW _p /m ² A_N)	3,54 kW _p	3,86 kW _p

Bei der Dimensionierung des elektrochemischen Speichers wird 1 Kilowattstunde Nennkapazität je Kilowatt installierter Nennleistung der PV-Anlage unterstellt.

3.3 Endenergiebedarf

Für die Vergleichsrechnungen werden die Endenergiebedarfswerte jeweils mit

- DIN V 18599:2011-12 für die Berechnungen nach EnEV 2014
- DIN V 18599:2018-09 für die Berechnungen nach GEG

ermittelt. Die Berechnungen erfolgen mit einer kommerziellen Energieberatersoftware (IBP:18599, Version 6). Die energetischen Kennwerte der Umwälzpumpen erfüllen die aktuellen Mindestanforderungen nach ErP. Für die weiteren Kennwerte werden Standardwerte nach Norm angesetzt.

3.4 Primärenergiebedarf

Bei der Berechnung der Primärenergiebedarfswerte werden die Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599-1:2011-12 unter Berücksichtigung der EnEV- und GEG-Vorgaben für den elektrischen Strom verwendet. Entsprechend EnEV 2014/GEG erfolgt ein Bezug auf den nicht erneuerbaren Anteil des Primärenergiebedarfs.

Die der Berechnung des Primärenergiebedarfs zugrunde liegende Primärenergiefaktoren können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 4: Eingesetzte Primärenergiefaktoren

Energieträger	Primärenergiefaktor f_p		
	gesamt	erneuerbarer Anteil	nicht erneuerbarer Anteil
Erdgas	1,1	0,0	1,1
Strom, allgemeiner Strommix	2,8	1,0	1,8

4 Anforderungen an Neubauten

4.1 EnEV 2014

Die Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung wurde am 16.10.2013 beschlossen und trat am 1. Mai 2014 in Kraft.

Laut Energieeinsparverordnung EnEV 2014 wird das Anforderungsniveau für den Jahres-Primärenergiebedarf für Wohngebäude basierend auf dem Referenzgebäude der EnEV 2009 definiert. Abweichend zur EnEV 2009 ist das Referenzklima nach DIN V 18599-10:2011-12 (Region Potsdam) zugrunde zu legen. Gleichzeitig wird für Strom ein abweichender Primärenergiefaktor eingesetzt.

Für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 ist der nach folgender Tabelle berechnete Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes mit einem Faktor 0,75 zu multiplizieren.

Tabelle 5: Ausführung des Referenzgebäudes nach EnEV 2014

Zeile	Bauteil/System	Referenzausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
1.0	Der nach einem der in Nr. 2.1 angegebenen Verfahren berechnete Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes ist für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 mit dem Faktor 0,75 zu multiplizieren.	
1.1	Außenwand, Geschossdecke gegen Außenluft	$U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
1.2	Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen (außer solche nach Zeile 1.1)	$U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
1.3	Dach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	$U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
1.4	Fenster, Fenstertüren	$U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) / g_{\perp} = 0,60$
1.5	Dachflächenfenster	$U_w = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) / g_{\perp} = 0,60$
1.6	Lichtkuppeln	$U_w = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) / g_{\perp} = 0,64$
1.7	Außentüren	$U = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
2	Wärmebrückenzuschlag	$\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
3	Luftdichtheit der Gebäudehülle	Bei Berechnung nach <ul style="list-style-type: none"> DIN V 4108-6:2003-06: mit Dichtheitsprüfung DIN V 18599-2:2011-12: nach Kategorie I
4	Sonnenschutzvorrichtung	Keine Sonnenschutzvorrichtung
5	Heizungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> Wärmeerzeugung durch Brennwertkessel (verbessert), Heizöl EL, Aufstellung: <ul style="list-style-type: none"> Gebäude mit bis 2 Wohneinheiten innerhalb der thermischen Hülle Gebäude mit mehr als 2 Wohneinheiten außerhalb der thermischen Hülle Auslegungstemperatur 55/45 °C, zentrales Verteilsystem innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, innen liegende Stränge und Anbindeleitungen, Pumpe auf Bedarf ausgelegt (geregelt, Δp konstant), Rohrnetz hydraulisch abgeglichen, Wärmedämmung der Rohrleitungen (Anlage 5) Wärmeübergabe mit freien statischen Heizflächen, Anordnung an normaler Außenwand, Thermostatventile mit Proportionalbereich 1 K

Zeile	Bauteil/System	Referenzausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
6	Anlage zur Warmwasserbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • zentrale Warmwasserbereitung • gemeinsame Wärmebereitung mit Heizungsanlage (Zeile 5) • Solaranlage (Kombisystem mit Flachkollektor) entsprechend den Vorgaben nach DIN V 4701-10: 2003-08 oder DIN V 18599-5:2011-12 • Speicher, indirekt beheizt (stehend), gleiche Aufstellung wie Wärmeerzeuger, Auslegung nach DIN V 4701-10: 2003-08 oder DIN V 18599-5:2011-12 als <ul style="list-style-type: none"> - kleine Solaranlage bei A_N kleiner 500 m² (bivalenter Solarspeicher) - große Solaranlage bei A_N größer gleich 500 m² • Verteilsystem innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, innen liegende Stränge, gemeinsame Installationswand, Wärmedämmung der Rohrleitungen nach Anlage 5, mit Zirkulation, Pumpe auf Bedarf ausgelegt (geregelt, Δp konstant)
7	Kühlung	keine Kühlung
8	Lüftung	Zentrale Abluftanlage, bedarfsgeführt mit geregelter DC-Ventilator, Anlagenluftwechselrate $n=0,40h^{-1}$ entsprechend EnEV-Auslegung

In Tabelle 6 sind die jeweiligen Höchstwerte für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 (EnEV 2016) für den Primärenergiebedarf der betrachteten Wohngebäude angegeben.

Tabelle 6: Höchstwerte für Primärenergiebedarf – EnEV 2016

	Anforderungsniveau EnEV 2016	
	EFH Neubau	RH Neubau
Q _{P, Ref}	86,9 kWh/m ² a	60,0 kWh/m ² a
Faktor	0,75	0,75
Q _{P, zulässig}	65,2 kWh/m ² a	45,0 kWh/m ² a

Die in o.g. Tabelle angegebenen Höchstwerte für den Primärenergiebedarf sind als spezifische Größen bezogen auf die Nutzfläche zu verstehen.

4.2 GEG

Laut Koalitionsvereinbarung soll das zukünftige GEG keine Verschärfung der Anforderungen an die zukünftigen Neubauten zur Folge haben. Der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Kühlung des zu errichtenden Wohngebäudes darf damit weiterhin das 0,75fache des auf die Gebäudenutzfläche bezogenen Wertes des Jahres-Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes nicht überschreiten. Die bauliche und anlagentechnische Referenzausführung bzw. die Berechnungsnorm auf die das GEG verweist wurde allerdings angepasst bzw. präzisiert, so dass die nach EnEV 2016 und GEG berechneten Höchstwerte für den Primärenergiebedarf sich geringfügig unterscheiden.

Nach GEG wird ein erdgasbetriebener Brennwertkessel in die Referenzausführung aufgenommen. Bei der Referenzausführung nach EnEV 2016 ist das ein mit Heizöl betriebener Brennwertkessel. Gegenüber DIN V 18599:2011 auf die EnEV 2016 verweist wurde außerdem in der Neuausgabe der DIN V 18599 von September 2018 der Nutzwärmebedarf für Warmwasser angepasst wird. Das hat zur Folge, dass dieser sowohl im EFH als auch im RH nach der neuen Norm niedriger ist als nach der alten Fassung der Norm. Das betrifft sowohl

die Energiebedarfsberechnung für das Referenzgebäude als auch die Energiebedarfsberechnung für das zu errichtende Gebäude.

Die sich aufbauend auf den GEG-Vorgaben ergebenden Höchstwerte für den Primärenergiebedarf für die beiden betrachteten Gebäude werden in folgender Tabelle ausgewiesen.

Tabelle 7: Höchstwerte für Primärenergiebedarf – GEG

	Anforderungsniveau GEG	
	EFH Neubau	RH Neubau
$q_{P, Ref}$	84,7 kWh/m ² a	57,4 kWh/m ² a
Faktor	0,75	0,75
$q_{P, zulässig}$	63,5 kWh/m ² a	43,1 kWh/m ² a

4.3 KfW-Effizienzhaus-Standards

Im Gegensatz zu den zuvor genannten verordnungsrechtlichen und gesetzlichen Vorgaben/Anforderungen (EnEV/GEG) ist die Erfüllung von KfW-Effizienzhaus-Standards freiwillig und nur bei Inanspruchnahme der KfW-Förderung verbindlich.

Grundsätzlich sind die KfW-Effizienzhaus-Standards ambitionierter als die Vorgaben der Energieeinsparverordnung bzw. des zukünftigen GEG. Die energetische Qualität des Gebäudes wird wie in der EnEV anhand des Jahres-Primärenergiebedarfes und des Transmissionswärmeverlusts bewertet. Den Ausgangspunkt für die Zuordnung in einen der Förderstandards der KfW bilden die Kennwerte des Referenzgebäudes nach EnEV (bzw. zukünftig nach GEG). Die Referenzzahl 55 drückt im Rahmen der Förderlogik der KfW für die KfW-Effizienzhäuser aus, dass die Vorgaben der EnEV (GEG) an den Primärenergiebedarf eines Neubaus um 45 % unterschritten werden.

Der Neubau von Wohnhäusern kann mit den KfW-Effizienzhaus-Standards 40 Plus, 40 und 55 gefördert werden.

Die errechneten Werte für den Jahres-Primärenergiebedarf (q_P) und den Transmissionswärmeverlust (H'_T) für das Neubauobjekt dürfen im Verhältnis zu den jeweiligen Werten des entsprechenden Referenzgebäudes ($q_{P, Ref}$, $H'_{T, Ref}$) die in der folgenden Tabelle angegebenen prozentualen Maximalwerte nicht überschreiten.

Tabelle 8: Anforderungen für KfW-Effizienzhäuser

KfW-Effizienzhaus	40 Plus	40	55
q_P in % $q_{P, Ref}$	40 %	40 %	55 %
H'_T in % $H'_{T, Ref}$	55 %	55 %	70 %
Zusätzliche Anforderung	Plus Paket	-	-

Die aufbauend auf EnEV 2016 resultierenden Höchstwerte für den Primärenergiebedarf stellt Tabelle 9 dar. Die analogen Kennwerte auf Basis von GEG werden in Tabelle 10 ausgewiesen.

Tabelle 9: Höchstwerte für Primärenergiebedarf – KfW-Effizienzhaus-Standard aufbauend auf EnEV 2014

KfW-Effizienzhaus	40 Plus /40		55	
Gebäude	EFH	RH	EFH	RH
q _{P, Ref}	86,9 kWh/m ² a	60,0 kWh/m ² a	86,9 kWh/m ² a	60,0 kWh/m ² a
Faktor	0,40	0,40	0,55	0,55
q _{P, zulässig}	34,8 kWh/m ² a	24,0 kWh/m ² a	47,8 kWh/m ² a	33,0 kWh/m ² a

Tabelle 10: Höchstwerte für Primärenergiebedarf – KfW-Effizienzhaus-Standard aufbauend auf GEG

KfW-Effizienzhaus	40 Plus /40		55	
Gebäude	EFH	RH	EFH	RH
q _{P, Ref}	84,7 kWh/m ² a	57,4 kWh/m ² a	84,7 kWh/m ² a	57,4 kWh/m ² a
Faktor	0,40	0,40	0,55	0,55
q _{P, zulässig}	33,9 kWh/m ² a	23,0 kWh/m ² a	46,7 kWh/m ² a	31,6 kWh/m ² a

Die resultierenden Höchstwerte für den spezifischen Transmissionswärmeverlust und damit den für die weitere Betrachtung unterstellten baulichen Wärmeschutz je nach Effizienzstandard stellt folgende Tabelle dar.

Tabelle 11: Höchstwerte für den spezifischen Transmissionswärmeverlust – KfW-Effizienzhaus-Standard (gilt für EnEV 2014 und GEG-Betrachtung)

KfW-Effizienzhaus	40 Plus /40		55	
Gebäude	EFH	RH	EFH	RH
H' _{T, Ref}	0,394	0,340	0,394	0,340
Faktor	0,55	0,55	0,70	0,70
H' _{T, zulässig}	0,217	0,187	0,276	0,238

5 Ergebnisse der energetischen Bewertung – Teil 1

5.1 Einführende Bemerkungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vergleichenden energetischen Bewertung für die bewerteten Anlagentechnikvarianten in den zwei betrachteten Gebäudetypen mit der unterstellten baulichen Ausführung (jeweils entsprechend der Mindestanforderung für KfW-Effizienzhaus 55, 40 und 40 Plus) unter Berücksichtigung der Vorgaben nach EnEV 2016 und GEG ausgewiesen.

5.2 Endenergiebedarf

5.2.1 EFH

In folgender Tabelle werden die nach DIN V 18599 von 2011 (EnEV-Bewertung) und von 2018 (GEG-Bewertung) berechneten Endenergiebedarfswerte für die betrachteten Varianten im Einfamilienhaus unter Annahme des einheitlichen baulichen Wärmeschutzes, der jeweils der Mindestanforderung für KfW-Effizienzhaus 55, 40 und 40 Plus entspricht, ausgewiesen. Die Kennwerte bilden die Grundlage für die Berechnung des Primärenergiebedarfs (s. Abschnitt 5.3) und für die Wirtschaftlichkeitsbewertung nach Abschnitt 6.

Tabelle 12: EnEV-/GEG-relevanter Endenergiebedarf im EFH - Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-Effizienzhaus 55

Bewertung	Anlagenvariante	Endenergiebedarf, in kWh/a		Hilfsenergiebedarf, in kWh/a		
		Heizung	TWE	Heizung	Lüftung	TWE
EnEV 2014	Gas-BW + PV + WRG	5.502	4.743	183	342	122
EnEV 2014	L/W-WP + PV + WRG	1.472	1.910	99	342	43
EnEV 2014	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	1.819	2.057	179	342	0
EnEV 2014	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	5.037	1.675	0	342	43
EnEV 2014	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	5.139	3.974	0	342	37
EnEV 2014	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	6.071	2.057	0	342	0
GEG	Gas-BW + PV + WRG	5.530	4.229	184	342	123
GEG	L/W-WP + PV + WRG	1.479	1.702	106	342	43
GEG	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	1.819	1.651	179	342	0
GEG	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	5.061	1.493	0	342	43
GEG	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	5.159	3.527	0	342	37
GEG	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	6.071	1.651	0	342	0

Tabelle 13: EnEV-/GEG-relevanter Endenergiebedarf im EFH - Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-Effizienzhaus 40

Bewertung	Anlagenvariante	Endenergiebedarf, in kWh/a		Hilfsenergiebedarf, in kWh/a		
		Heizung	TWE	Heizung	Lüftung	TWE
EnEV 2014	Gas-BW + PV + WRG	3.821	4.779	175	294	128
EnEV 2014	L/W-WP + PV + WRG	1.021	1.907	80	294	43
EnEV 2014	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	1.335	2.056	158	342	0
EnEV 2014	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	3.498	1.673	0	294	43
EnEV 2014	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	3.591	3.969	0	294	37
EnEV 2014	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	4.453	2.056	0	342	0
GEG	Gas-BW + PV + WRG	3.846	4.261	176	294	128
GEG	L/W-WP + PV + WRG	1.028	1.699	85	294	43
GEG	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	1.335	1.650	158	342	0
GEG	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	3.520	1.490	0	294	43
GEG	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	3.609	3.522	0	294	37
GEG	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	4.453	1.650	0	342	0

Tabelle 14: EnEV-/GEG-relevanter Endenergiebedarf im EFH - Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-Effizienzhaus 40 Plus

Bewertung	Anlagenvariante	Endenergiebedarf, in kWh/a		Hilfsenergiebedarf, in kWh/a		
		Heizung	TWE	Heizung	Lüftung	TWE
EnEV 2014	Gas-BW + PV + WRG + Batterie	3.821	4.779	175	294	128
EnEV 2014	L/W-WP + PV + WRG + Batterie	1.021	1.907	80	294	43
EnEV 2014	L/W-WP + DLE + PV + WRG + Batterie	1.335	2.056	158	342	0
EnEV 2014	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG + Batterie	3.498	1.673	0	294	43
EnEV 2014	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG + Batterie	3.591	3.969	0	294	37
EnEV 2014	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	4.453	2.056	0	342	0
GEG	Gas-BW + PV + WRG + Batterie	3.846	4.261	176	294	128
GEG	L/W-WP + PV + WRG + Batterie	1.028	1.699	85	294	43
GEG	L/W-WP + DLE + PV + WRG + Batterie	1.335	1.650	158	342	0
GEG	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG + Batterie	3.520	1.490	0	294	43
GEG	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG + Batterie	3.609	3.522	0	294	37
GEG	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	4.453	1.650	0	342	0

5.2.2 RH

Tabelle 15 bis Tabelle 17 enthalten die ermittelten Endenergiebedarfswerte im betrachteten Reihenmittelhaus. Im Gegensatz zu dem zuvor betrachteten freistehenden Einfamilienhaus ist bei dem Reihenmittelhaus der resultierende Endenergiebedarf für Heizung viel geringer.

Tabelle 15: EnEV-/GEG-relevanter Endenergiebedarf im RH - Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-Effizienzhaus 55

Bewertung	Anlagenvariante	Endenergiebedarf, in kWh/a		Hilfsenergiebedarf, in kWh/a		
		Heizung	TWE	Heizung	Lüftung	TWE
EnEV 2014	Gas-BW + PV + WRG	2.691	5.076	171	321	129
EnEV 2016	L/W-WP + PV + WRG	719	2.029	70	374	43
EnEV 2014	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	1.049	2.241	159	374	0
EnEV 2014	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	2.480	1.779	0	374	43
EnEV 2014	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	2.577	4.235	0	374	37
EnEV 2014	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	3.533	2.241	0	374	0
GEG	Gas-BW + PV + WRG	2.717	4.516	171	321	130
GEG	L/W-WP + PV + WRG	727	1.803	73	374	44
GEG	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	1.049	1.798	159	374	0
GEG	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	2.503	1.581	0	374	44
GEG	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	2.597	3.749	0	374	37
GEG	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	3.533	1.798	0	374	0

Tabelle 16: EnEV-/GEG-relevanter Endenergiebedarf im RH - Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-Effizienzhaus 40

Bewertung	Anlagenvariante	Endenergiebedarf, in kWh/a		Hilfsenergiebedarf, in kWh/a		
		Heizung	TWE	Heizung	Lüftung	TWE
EnEV 2014	Gas-BW + PV + WRG	1.868	5.101	165	321	133
EnEV 2014	L/W-WP + PV + WRG	495	2.026	57	321	43
EnEV 2014	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	796	2.240	140	374	0
EnEV 2014	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	1.715	1.777	0	321	43
EnEV 2014	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	1.803	4.231	0	321	37
EnEV 2014	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	2.684	2.240	0	374	0
GEG	Gas-BW + PV + WRG	1.892	4.536	166	321	133
GEG	L/W-WP + PV + WRG	501	1.801	60	321	44
GEG	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	796	1.797	140	374	0
GEG	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	1.736	1.579	0	321	44
GEG	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	1.820	3.746	0	321	37
GEG	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	2.684	1.797	0	374	0

Tabelle 17: EnEV-/GEG-relevanter Endenergiebedarf im RH - Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-Effizienzhaus 40 Plus

Bewertung	Anlagenvariante	Endenergiebedarf, in kWh/a		Hilfsenergiebedarf, in kWh/a		
		Heizung	TWE	Heizung	Lüftung	TWE
EnEV 2014	Gas-BW + PV + WRG + Batterie	1.868	5.101	165	321	133
EnEV 2014	L/W-WP + PV + WRG + Batterie	495	2.026	57	321	43
EnEV 2014	L/W-WP + DLE + PV + WRG + Batterie	796	2.240	140	374	0
EnEV 2014	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG + Batterie	1.715	1.777	0	321	43
EnEV 2014	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG + Batterie	1.803	4.231	0	321	37
EnEV 2014	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	2.684	2.240	0	374	0
GEG	Gas-BW + PV + WRG + Batterie	1.892	4.536	166	321	133
GEG	L/W-WP + PV + WRG + Batterie	501	1.801	60	321	44
GEG	L/W-WP + DLE + PV + WRG + Batterie	796	1.797	140	374	0
GEG	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG + Batterie	1.736	1.579	0	321	44
GEG	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG + Batterie	1.820	3.746	0	321	37
GEG	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	2.684	1.797	0	374	0

5.3 Primärenergetische Bewertung im EFH

5.3.1 Anrechenbare Strommenge

Entsprechend der EnEV-Systematik darf höchstens die Strommenge angerechnet werden, die dem berechneten Strombedarf der jeweiligen Nutzung entspricht. Die Verrechnung erfolgt monatsweise.

Die Anrechnung nach GEG basiert wiederum auf dem im Abschnitt 2.2 beschriebenen Ansatz und besteht grundsätzlich aus einem Sockelbetrag, der an die Nennleistung der PV-Anlage gekoppelt ist, und, beim Erfüllen der Mindestanforderungen, einem Bonusbetrag, der von dem GEG-relevanten elektrischen Endenergiebedarf abhängig ist. In Summe darf jedoch die Anrechnung des PV-Stroms nicht mehr als 20% des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes bei Anlagen ohne Stromspeicher bzw. 25% bei Anlagen mit Stromspeicher betragen.

Für die Berechnung der maximal in Abzug zu bringenden Energiemenge für das betrachtete EFH wird der Jahres-Primärenergiebedarf des in Anlehnung an das GEG berechneten Referenzgebäudes (s. Tabelle 18) zugrunde gelegt. Die Anrechenbarkeitsgrenze von 20% (ohne Stromspeicher) bzw. 25% (mit Stromspeicher) bezieht sich auf 100% des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes.

Tabelle 18: Energiebedarfskennwerte des Referenzgebäudes für EFH und die maximal in Abzug zu bringende Primärenergie

Endenergiebedarf, Erdgas (brennwertbezogen)		14.138 kWh/a
Hilfsenergiebedarf		552 kWh/a
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes		15.003 kWh/a
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes, spezifisch		84,7 kWh/m ² a
Maximal in Abzug zu bringende Primärenergie nach GEG	ohne Speicher (20%)	3.001 kWh/a
	mit Speicher (25%)	3.751 kWh/a

In Tabelle 19 werden der PV-Ertrag sowie die anrechenbare Strommenge der PV-Anlage in Abhängigkeit von der Bewertungsmethodik und dem Wärmeschutzniveau für die bewerteten Anlagenvarianten ausgewiesen. Entsprechend der EnEV wird die anrechenbare Strommenge als Endenergie ausgewiesen und vom EnEV-relevanten Endenergiebedarf für Strom abgezogen. Entsprechend dem Bewertungsansatz des GEG wird dagegen die anrechenbare Energiemenge aus dem Endenergiebedarf und dem Sockelbetrag bestimmt und ohne weitere Umrechnung als Primärenergie von dem Primärenergiebedarf der Anlagenvariante ohne PV-Anlage in Abzug gebracht. Das endenergetische Äquivalent der anrechenbaren Strommenge für das GEG ist das Ergebnis der Division der in Abzug zu bringenden Primärenergie durch den Primärenergiefaktor $f_{p,Strom}=1,8$. Zusätzlich zu den aus den aktuellen Vorgaben des GEG resultierenden anrechenbaren Strommengen wird die anrechenbare Strommenge ohne Ausschluss der Stromdirektheizungen unter der Bezeichnung GEG ohne § 23 Abs. (1) 3. angegeben.

Tabelle 19: Anrechenbare Strommenge nach EnEV 2016, GEG und GEG ohne § 23 Abs. (1) 3. vs. PV-Ertrag im EFH

Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung	Anlagenvariante	PV-Ertrag, in kWh/a	Anrechenbarer PV-Strom, in kWh/a		
			EnEV 2014	GEG	GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.
KfW-Effizienzhaus 55	Gas-BW + PV + WRG	7.362	648	1.003	1.003
	L/W-WP + PV + WRG		2.144	1.667	1.667
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG		2.414	2.084	2.084
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG		2.259	0	1.667
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG		3.584	0	1.667
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG		2.635	0	2.084
KfW-Effizienzhaus 40	Gas-BW + PV + WRG		596	983	983
	L/W-WP + PV + WRG		2.008	1.667	1.667
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG		2.305	2.084	2.084
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG		2.072	0	1.667
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG		3.509	0	1.667
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG		2.509	0	2.084
KfW-Effizienzhaus 40 Plus	Gas-BW + PV + WRG + Batterie		596	1.332	1.332
	L/W-WP + PV + WRG + Batterie		2.008	2.084	2.084
	L/W-WP + DLE + PV + WRG + Batterie		2.305	2.084	2.084
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG + Batterie		2.072	0	2.084
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG + Batterie		3.509	0	2.084
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG		2.509	0	2.084

5.3.2 Primärenergiebedarf nach EnEV 2014

In den Abbildung 3 bis Abbildung 5 wird der nach Vorgaben der aktuellen EnEV berechnete Primärenergiebedarf in Abhängigkeit von dem baulichen Wärmeschutz für die sechs Anlagenvarianten dem primärenergetischen Anforderungswert nach EnEV (EnEV 2016) gegenübergestellt. Zusätzlich wird das mit dem unterstellten baulichen Wärmeschutz theoretisch erreichbare Anforderungsniveau für KfW-Effizienzhäuser ausgewiesen. Die betrachteten Anlagenvarianten, die das Anforderungsniveau KfW-Effizienzhaus 40 einhalten,

und ein Stromspeicher installiert wird, erfüllen im gleichen Maße die Anforderungen an das KfW-Effizienzhaus 40 Plus.

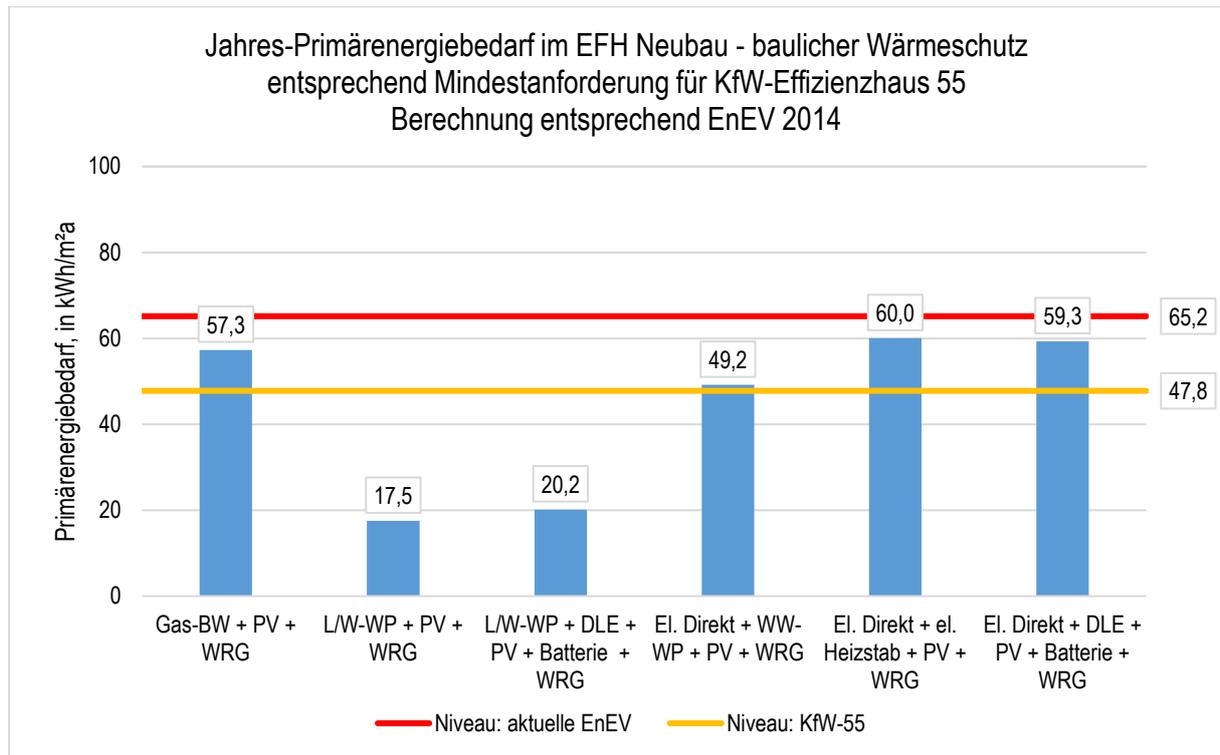


Abbildung 3: Resultierender Primärenergiebedarf (EnEV-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-55 vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV und KfW-55

Nach EnEV 2014 werden die Anlagen mit und ohne Stromspeicher identisch bewertet. Das Vorhandensein eines Stromspeichers hat aktuell keinen Einfluss auf die primärenergetische Bewertung eines Gebäudes. Das ist insbesondere beim Vergleich der Primärenergiebedarfswerte in Abbildung 4 und Abbildung 5 für die Anlagenvarianten zu sehen, die zunächst ohne Stromspeicher betrachtet wurden und die um einen Stromspeicher als Bestandteil des gefordertes Plus Pakets für KfW-Effizienzhaus 40 Plus ergänzt wurden.

Entsprechend der aktuellen EnEV-Bewertung könnten die betrachteten Anlagenvarianten mit Elektrodirektheizung in Verbindung mit baulichem Wärmeschutz, der zumindest der baulichen Mindestanforderung für KfW-Effizienzhaus 55 entspricht, die im Neubau geltenden EnEV-Anforderungen erfüllen. Mit baulichen Wärmeschutz etwa entsprechend der Mindestanforderung für KfW-Effizienzhaus 40 ist die Einhaltung der Anforderungen für KfW-Effizienzhaus 55 möglich.

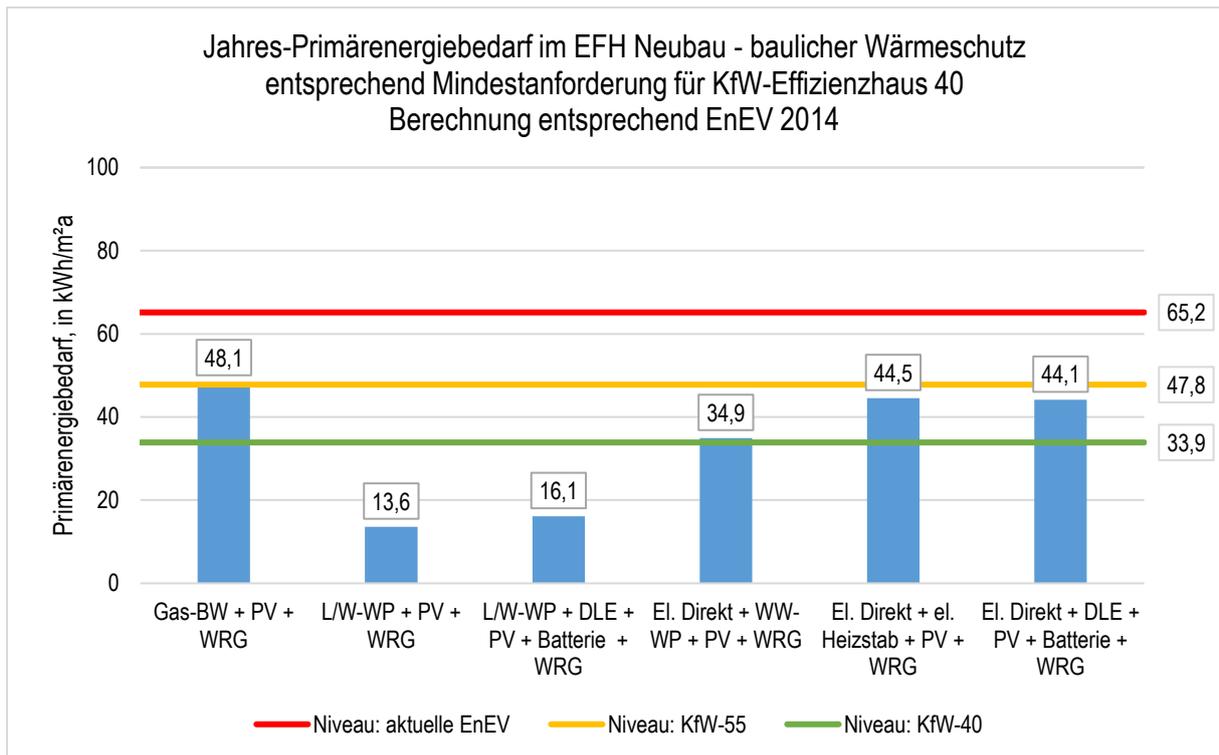


Abbildung 4: Resultierender Primärenergiebedarf (EnEV-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-40 vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV, KfW-55 und KfW-40

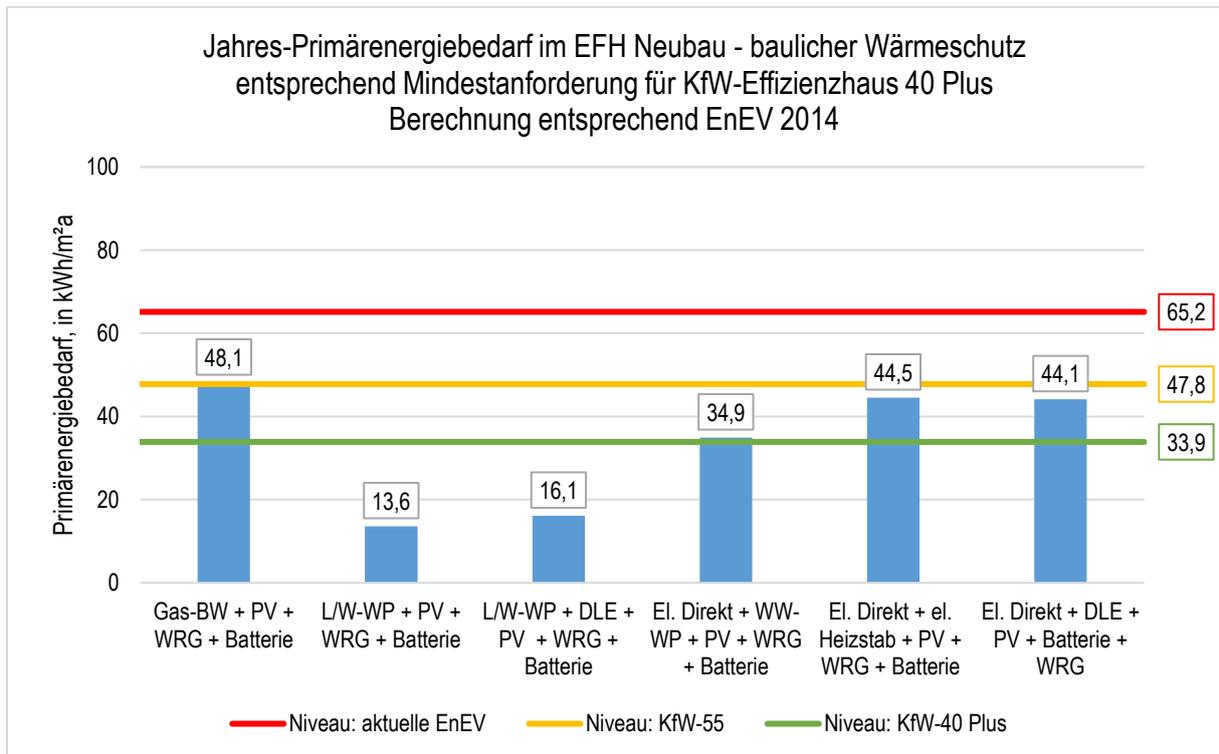


Abbildung 5: Resultierender Primärenergiebedarf (EnEV-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-40 Plus vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV, KfW-55 und KfW-40 Plus

5.3.3 Primärenergiebedarf nach GEG

In den Abbildung 6 bis Abbildung 8 wird der nach Vorgaben aus dem GEG-Entwurf berechnete Primärenergiebedarf in Abhängigkeit von dem baulichen Wärmeschutz für die sechs Anlagenvarianten dem primärenergetischen Anforderungswert nach GEG gegenübergestellt. Darüber hinaus wird der nach GEG-Vorgaben jedoch ohne Ausschluss der Elektrodirektheizung bei der PV-Anrechnung (GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.) berechnete Primärenergiebedarf ausgewiesen. Zusätzlich wird das mit dem unterstellten baulichen Wärmeschutz theoretisch erreichbare Anforderungsniveau für KfW-Effizienzhäuser abgebildet.

Anders als nach EnEV-Bewertung kann der elektrochemische Speicher bei der Bewertung nach GEG berücksichtigt werden und führt tendenziell zu geringerem Primärenergiebedarf als bei vergleichbarer Anlagenvariante ohne Stromspeicher. Diese Aussage trifft bei den Varianten in Verbindung mit Elektrodirektheizung nicht zu, weil für diese nach dem aktuellen GEG-Entwurf und der gängigen Auffassung dazu die Anrechenbarkeit für PV-Strom ausgeschlossen ist.

Der Ausschluss der Anrechenbarkeit hat zur Folge, dass die Anlagenvarianten mit Stromdirektheizung beim baulichen Wärmeschutz entsprechend dem KfW-Effizienzhaus 55 den primärenergetischen Anforderungswert nach GEG nicht einhalten würden (s. Abbildung 6). Durch Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes auf das Niveau eines KfW-Effizienzhauses 40 könnte die Anlagenvariante mit Stromdirektheizung und einer Warmwasser-Wärmepumpe die GEG-Anforderung erfüllen (s. Abbildung 7).

Der Verzicht auf den Ausschluss der Anrechenbarkeit in Verbindung mit Stromdirektheizung würde die Erfüllungsmöglichkeiten dieser Anlagenvarianten steigern und hätte keine nennenswerte Verschlechterung der primärenergetischen Bewertung gegenüber EnEV 2014 zur Folge.

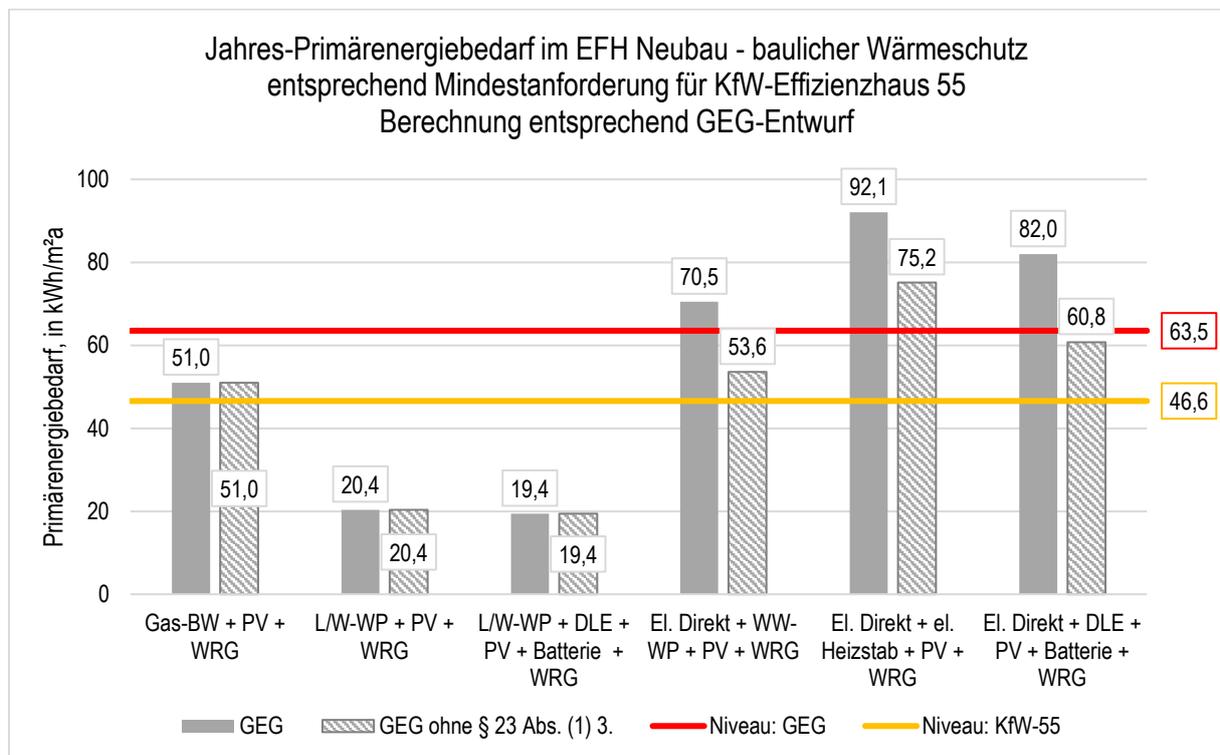


Abbildung 6: Resultierender Primärenergiebedarf (GEG-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-55 vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV und KfW-55

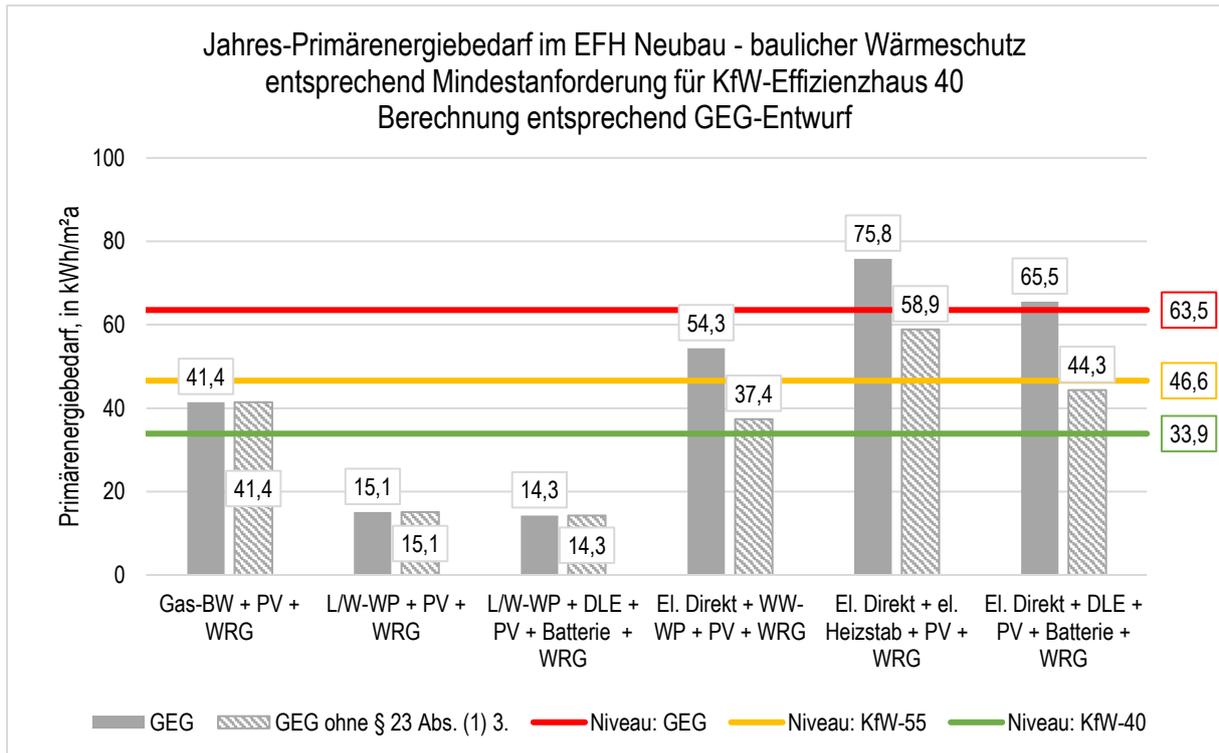


Abbildung 7: Resultierender Primärenergiebedarf (GEG-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-40 vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV, KfW-55 und KfW-40

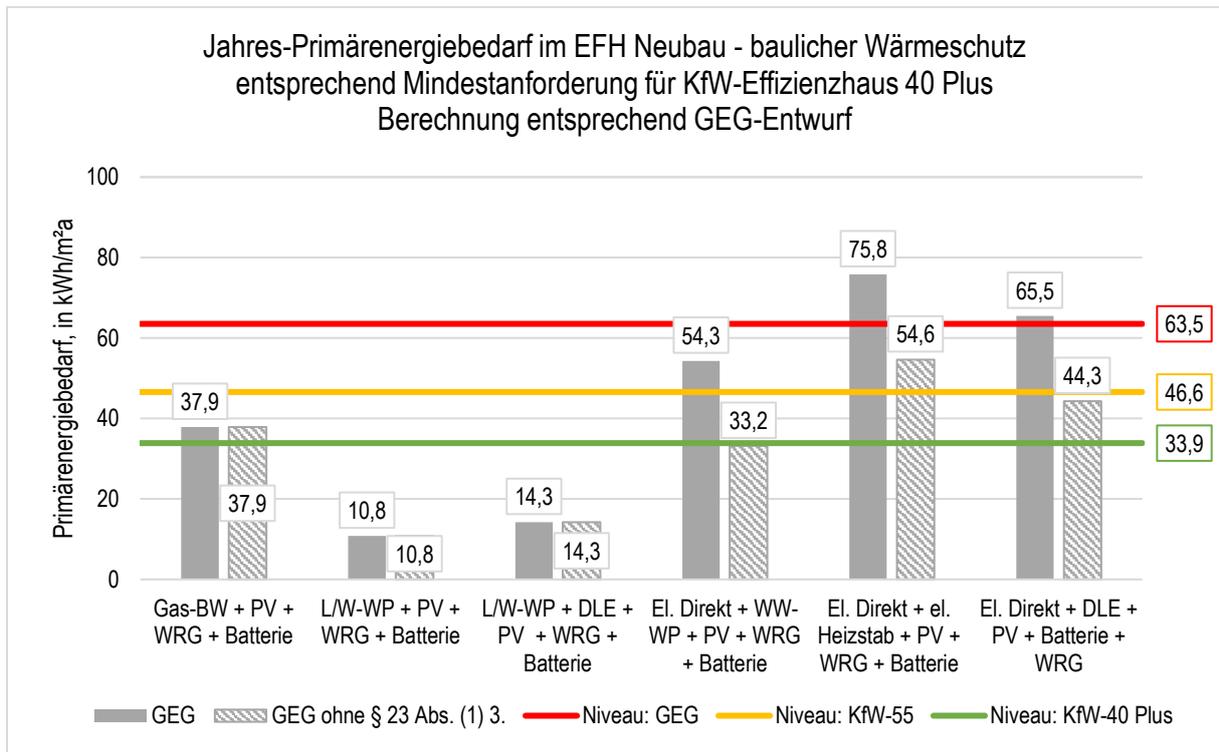


Abbildung 8: Resultierender Primärenergiebedarf (GEG-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-40 Plus vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV, KfW-55 und KfW-40 Plus

5.3.4 Erreichbares Anforderungsniveau in Abhängigkeit vom Bewertungsansatz

Aufbauend auf den in den Abschnitten 5.3.2 und 5.3.3 dargestellten Sachverhalten wird in Tabelle 20 das erreichbare Anforderungsniveau für die drei Bewertungsansätze für PV-Strom (EnEV 2014, GEG und GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.) gegenübergestellt. Die aktuelle Formulierung im GEG führt zu einer gegenüber EnEV deutlichen Verschlechterung der primärenergetischen Bewertung für Anlagenvarianten mit Stromdirektheizungen.

Tabelle 20: Erreichbares Anforderungsniveau nach EnEV 2014, GEG und GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.

Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung	Anlagenvariante	Erreichbares Anforderungsniveau		
		EnEV 2014	GEG	GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.
KfW-Effizienzhaus 55	Gas-BW + PV + WRG	EnEV 2016	GEG	GEG
	L/W-WP + PV + WRG	KfW-55	KfW-55	KfW-55
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-55	KfW-55	KfW-55
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	EnEV 2016	GEG nicht erfüllt	GEG
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	EnEV 2016	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	EnEV 2016	GEG nicht erfüllt	GEG
KfW-Effizienzhaus 40	Gas-BW + PV + WRG	EnEV 2016	KfW-55	KfW-55
	L/W-WP + PV + WRG	KfW-40	KfW-40	KfW-40
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	KfW-55	GEG	KfW-55
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	KfW-55	GEG nicht erfüllt	GEG
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-55	GEG nicht erfüllt	KfW-55
KfW-Effizienzhaus 40 Plus	Gas-BW + PV + WRG + Batterie	EnEV 2016	KfW-55	KfW-55
	L/W-WP + PV + WRG + Batterie	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus
	L/W-WP + DLE + PV + WRG + Batterie	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG + Batterie	KfW-55	GEG	KfW-40 Plus
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG + Batterie	KfW-55	GEG nicht erfüllt	GEG
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-55	GEG nicht erfüllt	KfW-55

5.4 Real im Gebäude genutzter PV-Strom

Mit dem Berechnungsansatz der DIN V 18599-9:2018-09 erfolgt eine realitätsnahe Bewertung der innerhalb des Gebäudes genutzten Energiemengen einer Photovoltaikanlage, da die Energiebilanzierung des innerhalb des Gebäudes genutzten PV-Stroms auf den gesamten Elektroenergiebedarf des Gebäudes zurückgreift. Dieser wird aus den für die Versorgung des Gebäudes bilanzierten EnEV/GEG-relevanten Mengen sowie dem Energiebedarf für weitere Anwendungen der Nutzer (Haushaltsgeräte, Medientechnik usw.) berechnet. Tabelle 21 stellt den nach DIN V 18599-9:2018 berechneten real im Gebäude genutzten PV-Strom dar. Informativ wird dieser dem sich nach der GEG-Bewertung (jeweils mit und ohne Ausschluss der Anrechenbarkeit) berechneten anrechenbaren PV-Strom gegenübergestellt.

Tabelle 21: Real im Gebäude genutzter PV-Strom (Berechnung nach DIN V 18599-9:2018) vs. anrechenbarer PV-Strom nach GEG im EFH

Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung	Anlagenvariante	PV-Ertrag, in kWh/a	Real im Gebäude genutzter PV-Strom		Anrechenbarer PV-Strom, in kWh/a	
			gesamt, in kWh/a	Anteil am PV-Ertrag	GEG	GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.
KfW-Effizienzhaus 55	Gas-BW + PV + WRG	7.362	1.474	20,0%	1.003	1.003
	L/W-WP + PV + WRG		2.447	33,2%	1.667	1.667
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG		3.701	50,3%	2.084	2.084
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG		2.509	34,1%	0	1.667
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG		3.527	47,9%	0	1.667
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG		3.814	51,8%	0	2.084
KfW-Effizienzhaus 40	Gas-BW + PV + WRG		1.452	19,7%	983	983
	L/W-WP + PV + WRG		2.312	31,4%	1.667	1.667
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG		3.562	48,4%	2.084	2.084
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG		2.332	31,7%	0	1.667
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG		3.356	45,6%	0	1.667
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG		3.701	50,3%	0	2.084
KfW-Effizienzhaus 40 Plus	Gas-BW + PV + WRG + Batterie		3.404	46,2%	1.332	1.332
	L/W-WP + PV + WRG + Batterie		4.453	60,5%	2.084	2.084
	L/W-WP + DLE + PV + WRG + Batterie		3.562	48,4%	2.084	2.084
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG + Batterie		4.070	55,3%	0	2.084
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG + Batterie		5.489	74,6%	0	2.084
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG		3.701	50,3%	0	2.084

5.5 Primärenergetische Bewertung im RH

5.5.1 Anrechenbare Strommenge

Für die Berechnung der maximal in Abzug zu bringenden Energiemenge nach GEG für das betrachtete Reihenmittelhaus wird analog der Vorgehensweise im EFH der Jahres-Primärenergiebedarf des in Anlehnung an das GEG berechneten Referenzgebäudes (s. Tabelle 22) zugrunde gelegt. Die Anrechenbarkeitsgrenze von 20% (ohne Stromspeicher) bzw. 25% (mit Stromspeicher) bezieht sich auf 100% des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes.

Tabelle 22: Energiebedarfskennwerte des Referenzgebäudes für RH und die maximal in Abzug zu bringende Primärenergie

Endenergiebedarf, Erdgas (brennwertbezogen)		10.270 kWh/a
Hilfsenergiebedarf		511 kWh/a
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes		11.098 kWh/a
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes, spezifisch		57,4 kWh/m ² a
Maximal in Abzug zu bringende Primärenergie nach GEG	ohne Speicher (20%)	2.220 kWh/a
	mit Speicher (25%)	2.774 kWh/a

In Tabelle 23 Tabelle 19 werden der PV-Ertrag sowie die anrechenbare Strommenge der PV-Anlage in Abhängigkeit von der Bewertungsmethodik und dem Wärmeschutzniveau für die bewerteten Anlagenvarianten im RH ausgewiesen.

Tabelle 23: Anrechenbare Strommenge nach EnEV 2016, GEG und GEG ohne § 23 Abs. (1) 3. vs. PV-Ertrag im RH

Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung	Anlagenvariante	PV-Ertrag, in kWh/a	Anrechenbarer PV-Strom, in kWh/a		
			EnEV 2014	GEG	GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.
KfW-Effizienzhaus 55	Gas-BW + PV + WRG		607	733	733
	L/W-WP + PV + WRG		1.911	1.233	1.233
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG		2.177	1.541	1.541
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG		1.828	0	1.233
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG		3.183	0	1.233
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG		2.195	0	1.541
KfW-Effizienzhaus 40	Gas-BW + PV + WRG		606	732	732
	L/W-WP + PV + WRG		1.829	1.233	1.233
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG		2.155	1.541	1.541
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG		1.744	0	1.233
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG		3.119	0	1.233
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG		2.178	0	1.541
KfW-Effizienzhaus 40 Plus	Gas-BW + PV + WRG + Batterie		606	1.000	1.000
	L/W-WP + PV + WRG + Batterie		1.829	1.541	1.541
	L/W-WP + DLE + PV + WRG + Batterie		2.155	1.541	1.541
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG + Batterie		1.744	0	1.541
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG + Batterie		3.119	0	1.541
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG		2.178	0	1.541

5.5.2 Primärenergiebedarf nach EnEV 2014

Die Abbildung 9 bis Abbildung 11 stellen den nach Vorgaben der aktuellen EnEV berechneten Primärenergiebedarf in Abhängigkeit von dem baulichen Wärmeschutz für die sechs Anlagenvarianten im Reihenmittelhaus dar. Dieser wird wie bereits bei dem EFH dem primärenergetischen Anforderungswert nach EnEV (EnEV 2016) gegenübergestellt. Zusätzlich wird das mit dem unterstellten baulichen Wärmeschutz theoretisch erreichbare Anforderungsniveau für KfW-Effizienzhäuser ausgewiesen.

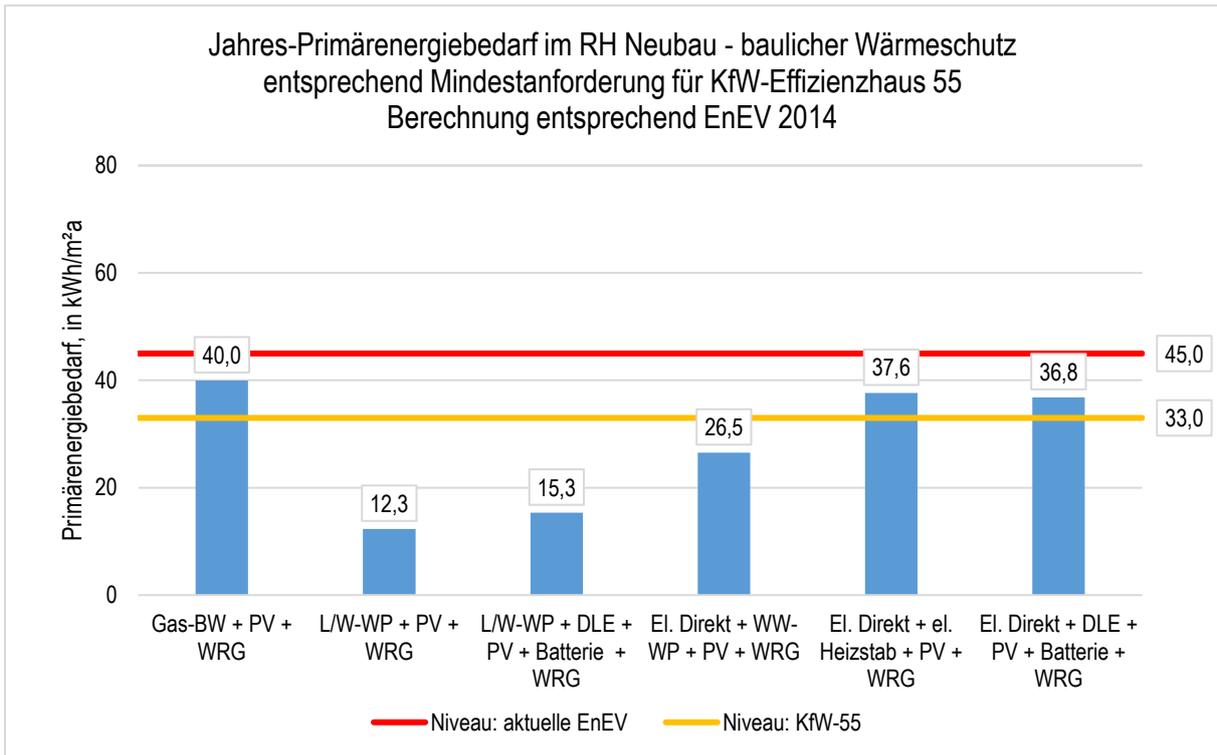


Abbildung 9: Resultierender Primärenergiebedarf (EnEV-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-55 vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV und KfW-55

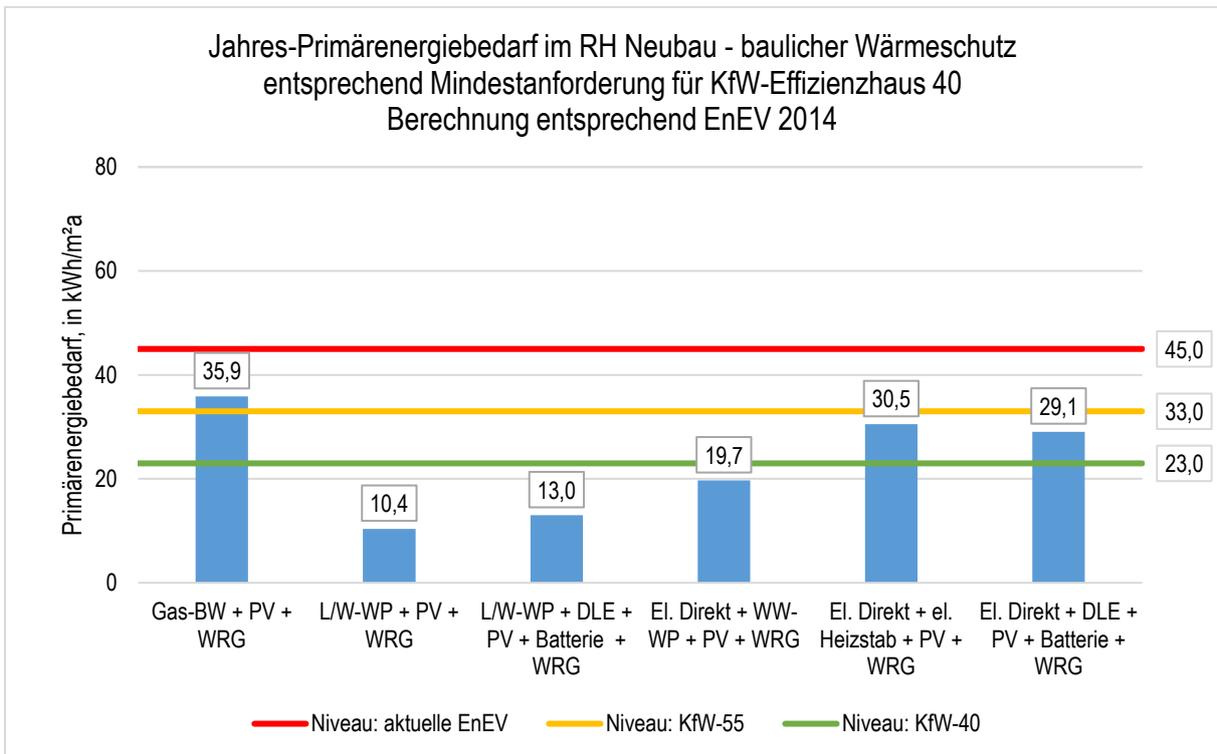


Abbildung 10: Resultierender Primärenergiebedarf (EnEV-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-40 vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV, KfW-55 und KfW-40

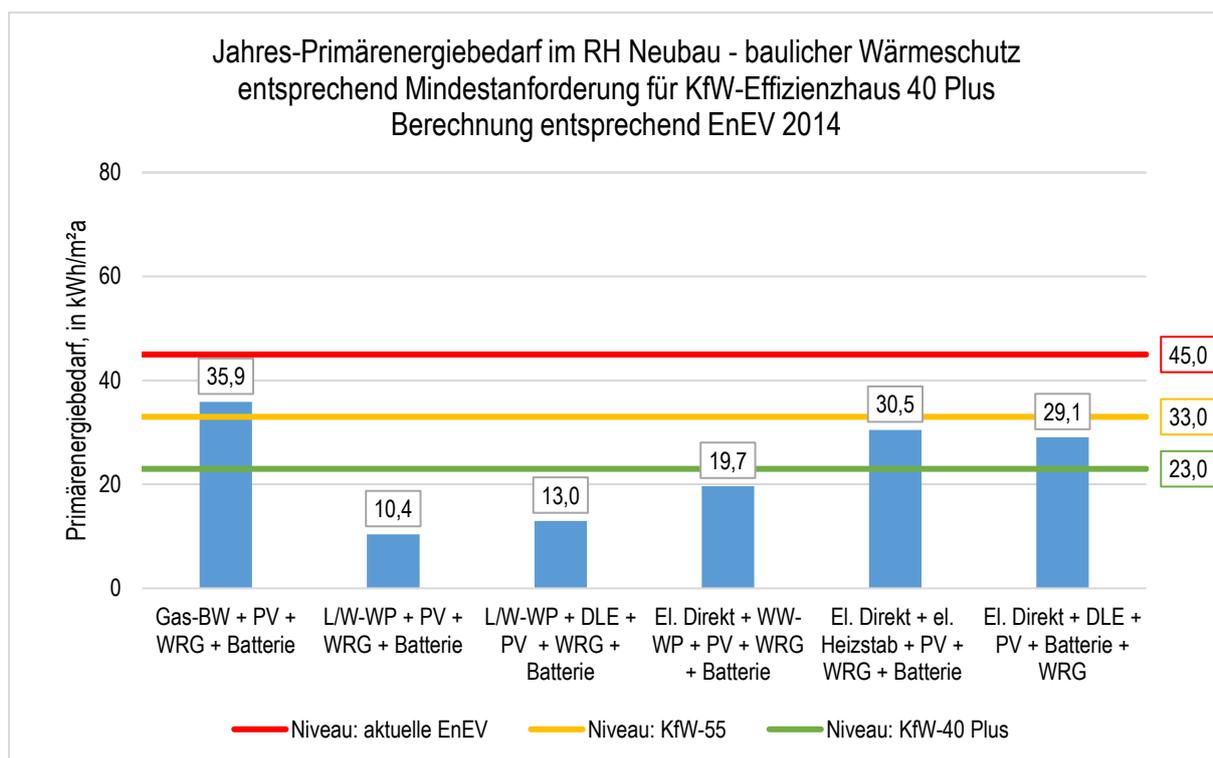


Abbildung 11: Resultierender Primärenergiebedarf (EnEV-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-40 Plus vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV, KfW-55 und KfW-40 Plus

5.5.3 Primärenergiebedarf nach GEG

In den Abbildung 12 bis Abbildung 14 wird der nach Vorgaben aus dem GEG-Entwurf für das betrachtete Reihenmittelhaus berechnete Primärenergiebedarf in Abhängigkeit von dem baulichen Wärmeschutz für die sechs Anlagenvarianten dem primärenergetischen Anforderungswert nach GEG gegenübergestellt. Darüber hinaus wird der nach GEG-Vorgaben jedoch ohne Ausschluss der Elektrodirektheizung bei der PV-Anrechnung (GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.) berechnete Primärenergiebedarf ausgewiesen. Zusätzlich wird das mit dem unterstellten baulichen Wärmeschutz theoretisch erreichbare Anforderungsniveau für KfW-Effizienzhäuser abgebildet.

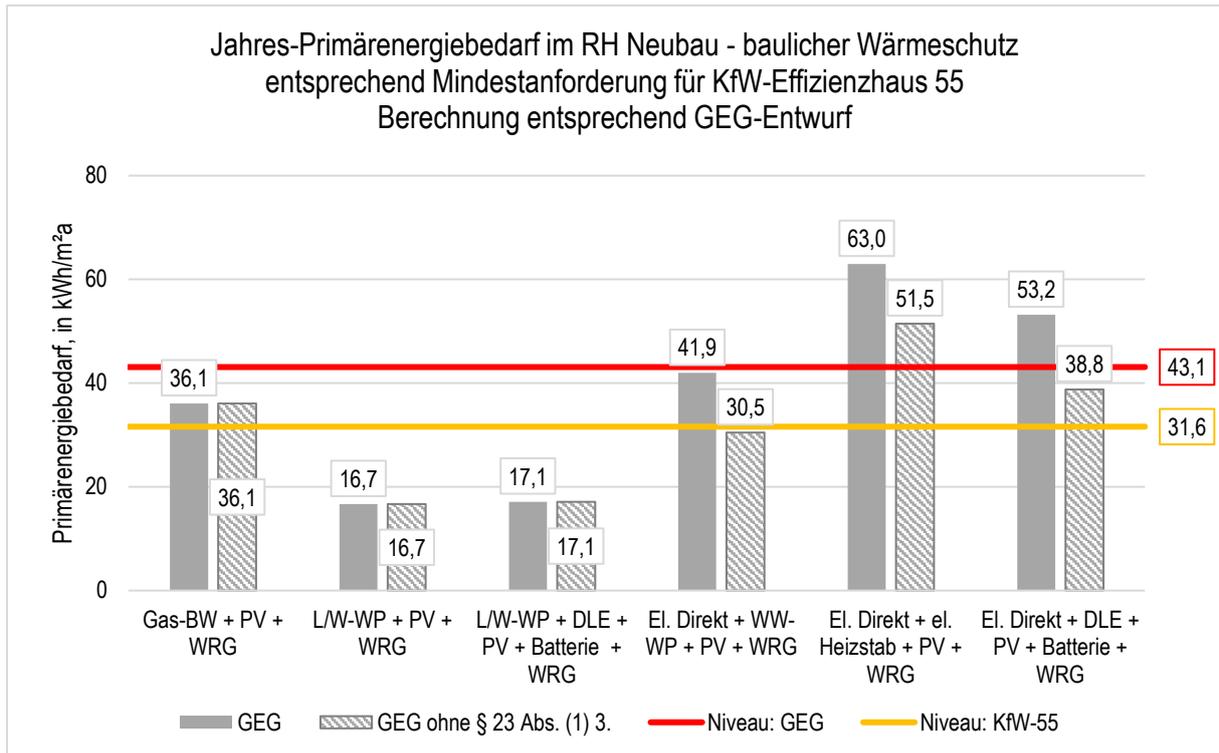


Abbildung 12: Resultierender Primärenergiebedarf (GEG-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-55 vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV und KfW-55

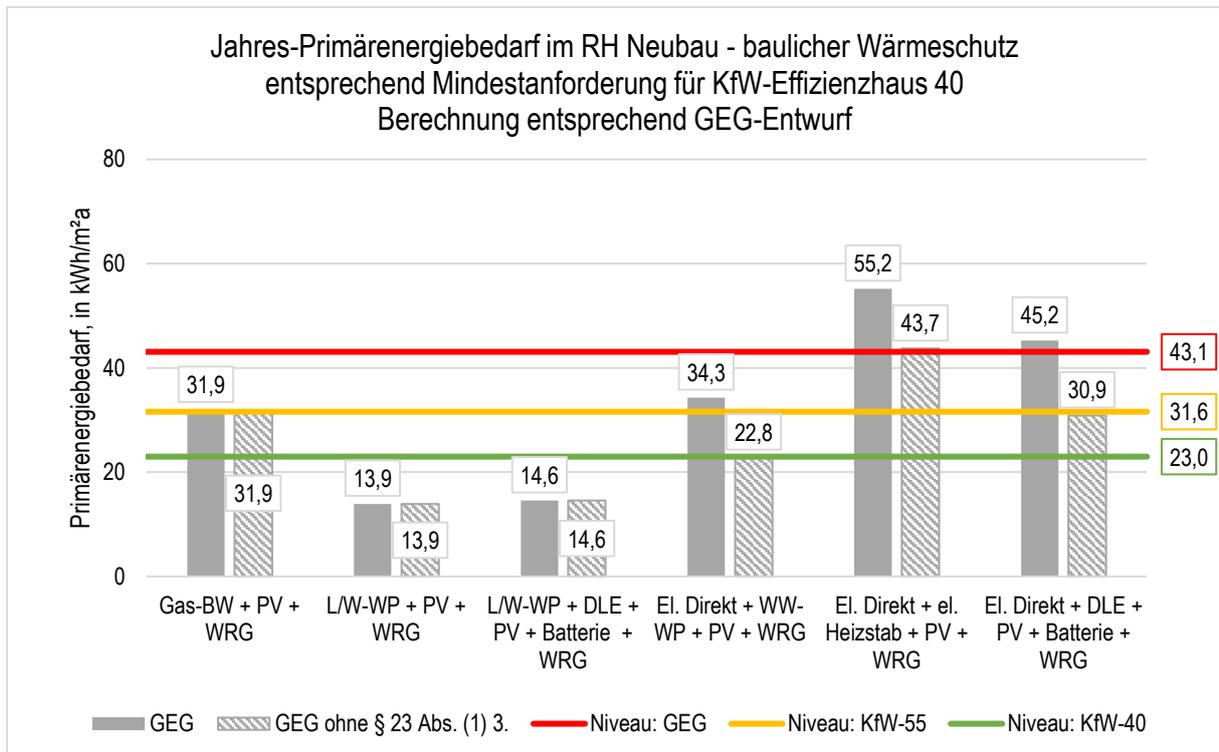


Abbildung 13: Resultierender Primärenergiebedarf (GEG-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-40 vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV, KfW-55 und KfW-40

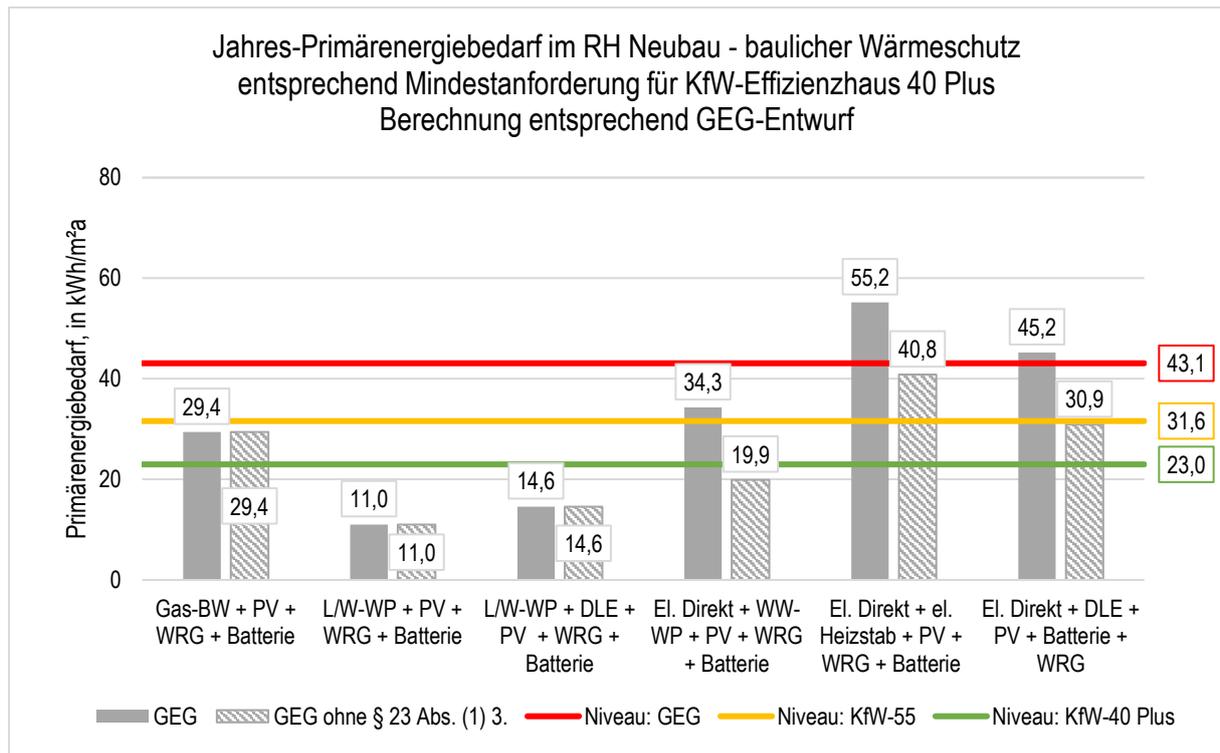


Abbildung 14: Resultierender Primärenergiebedarf (GEG-Bewertung) beim baulichen Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung für KfW-40 Plus vs. primärenergetischer Anforderungswert für EnEV, KfW-55 und KfW-40 Plus

5.5.4 Erreichbares Anforderungsniveau in Abhängigkeit vom Bewertungsansatz

Aufbauend auf den zuvor beschriebenen Abschnitten wird in folgender Tabelle das in dem betrachteten Reihenmittelhaus erreichbare Anforderungsniveau mit den drei Bewertungsansätzen für PV-Strom (EnEV 2014, GEG und GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.) gegenübergestellt. Die aktuelle Formulierung im GEG führt zu einer gegenüber EnEV deutlichen Verschlechterung der primärenergetischen Bewertung für Anlagenvarianten mit Stromdirektheizungen.

Tabelle 24: Erreichbares Anforderungsniveau nach EnEV 2014, GEG und GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.

Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung	Anlagenvariante	Erreichbares Anforderungsniveau		
		EnEV 2014	GEG	GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.
KfW-Effizienzhaus 55	Gas-BW + PV + WRG	EnEV 2016	GEG	GEG
	L/W-WP + PV + WRG	KfW-55	KfW-55	KfW-55
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-55	KfW-55	KfW-55
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	KfW-55	GEG	KfW-55
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	EnEV 2016	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	EnEV 2016	GEG nicht erfüllt	GEG
KfW-Effizienzhaus 40	Gas-BW + PV + WRG	EnEV 2016	GEG	GEG
	L/W-WP + PV + WRG	KfW-40	KfW-40	KfW-40
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	KfW-40	GEG	KfW-40
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	KfW-55	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-55	GEG nicht erfüllt	KfW-55
KfW-Effizienzhaus 40 Plus	Gas-BW + PV + WRG + Batterie	EnEV 2016	KfW-55	KfW-55
	L/W-WP + PV + WRG + Batterie	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus
	L/W-WP + DLE + PV + WRG + Batterie	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG + Batterie	KfW-40 Plus	GEG	KfW-40 Plus
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG + Batterie	KfW-55	GEG nicht erfüllt	GEG
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-55	GEG nicht erfüllt	KfW-55

5.6 Real im Gebäude genutzter PV-Strom

Im Folgenden wird der nach DIN V 18599-9:2018 berechnete real im Gebäude genutzte PV-Strom ausgewiesen und informativ dem sich nach der GEG-Bewertung (jeweils mit und ohne Ausschluss der Anrechenbarkeit) berechneten anrechenbaren PV-Strom gegenübergestellt.

Tabelle 25: Real im Gebäude genutzter PV-Strom (Berechnung nach DIN V 18599-9:2018) vs. anrechenbarer PV-Strom nach GEG im RH

Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung	Anlagenvariante	PV-Ertrag, in kWh/a	Real im Gebäude genutzter PV-Strom		Anrechenbarer PV-Strom, in kWh/a	
			gesamt, in kWh/a	Anteil am PV-Ertrag	GEG	GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.
KfW-Effizienzhaus 55	Gas-BW + PV + WRG	4.794	1.574	32,8%	733	733
	L/W-WP + PV + WRG		2.405	50,2%	1.233	1.233
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG		3.137	65,4%	1.541	1.541
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG		2.273	47,4%	0	1.233
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG		3.345	69,8%	0	1.233
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG		3.172	66,2%	0	1.541
KfW-Effizienzhaus 40	Gas-BW + PV + WRG		1.574	32,8%	732	732
	L/W-WP + PV + WRG		2.344	48,9%	1.233	1.233
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG		3.087	64,4%	1.541	1.541
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG		2.184	45,6%	0	1.233
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG		3.265	68,1%	0	1.233
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG		3.105	64,8%	0	1.541
KfW-Effizienzhaus 40 Plus	Gas-BW + PV + WRG + Batterie	2.984	62,2%	1.000	1.000	
	L/W-WP + PV + WRG + Batterie	3.921	81,8%	1.541	1.541	
	L/W-WP + DLE + PV + WRG + Batterie	3.087	64,4%	1.541	1.541	
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG + Batterie	3.516	73,3%	0	1.541	
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG + Batterie	4.794	100,0%	0	1.541	
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	3.105	64,8%	0	1.541	

6 Wirtschaftlichkeitsbewertung – Teil 2

6.1 Randbedingungen

Allgemeines

Auf Grundlage der vorgenommenen Energiebedarfsberechnungen werden Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der betrachteten Anlagenvarianten beim jeweils angesetzten baulichen Wärmeschutzniveau durchgeführt. Die Betrachtungen erfolgen unabhängig davon, ob beim gewählten Wärmeschutzniveau die energetischen Vorgaben von EnEV bzw. GEG eingehalten werden können. Die zur Erreichung des jeweiligen Wärmeschutzniveaus erforderlichen baulichen Kosten werden nicht berücksichtigt. Beim Vergleich der Gesamtkosten zwischen Varianten mit unterschiedlichem Niveau ist daher zu beachten, dass die baulichen Mehrkosten zur Erreichung des Niveaus nicht erfasst sind. Für jede Variante wird der beim unterstellten baulichen Wärmeschutz erreichte Erfüllungsgrad mit ausgewiesen.

Die Berechnung der Photovoltaiksysteme erfolgt nach [DIN V 18599-9:2018]. Diese bietet einen Bilanzierungsansatz, welcher die erzeugte Strommenge ermittelt und die Gleichzeitigkeit von PV-Erträgen und Stromverbrauchern bewertet. In die Berechnungen sind auch die Nutzerstromanwendungen (Haushaltsstrombedarf) eingeschlossen, es erfolgt somit eine ganzheitliche Betrachtung.

Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden somit folgende Strommengen berücksichtigt:

- Nutzerstrom (Haushaltsstrommenge)
- Erzeugte Strommenge aus PV-Anlage
- PV-Strom im Haus verbraucht (mit und ohne Stromspeicher)
- Strom aus Netz bezogen
- PV-Strom eingespeist.

Jahresgesamtkosten

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Anlagenvarianten werden die Jahresgesamtkosten in Anlehnung an die [VDI 2067] ermittelt. Die Jahresgesamtkosten beinhalten folgende Kostenbestandteile:

- verbrauchsgebundene Kosten
- betriebsgebundene Kosten
- kapitalgebundene Kosten (einschließlich Instandsetzung).

Alle Kosten enthalten die gültige Mehrwertsteuer in Höhe von 19%.

Die Jahresgesamtkosten der jeweiligen Anlagenvariante werden immer auf folgende Vergleichsvariante bezogen und der Kostenindex ausgewiesen: Gas-BW-Gerät + Warmwasserspeicher + PV-Anlage (ggf. mit Stromspeicher) + Lüftungsanlage WRG.

Verbrauchsgebundene Kosten: Energiepreise

Den Berechnungen der Energiekosten liegen die Energiepreise nach Tabelle 26 zu Grunde. Es handelt sich um bundesdeutsche Jahresmittelwerte für den Zeitraum Januar bis Dezember 2018 basierend auf den Angaben des BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Alle Energiepreise beinhalten sämtliche Steuern.

Die Berechnung der Stromvergütung für eingespeisten PV-Strom erfolgt mit dem von der Bundesnetzagentur veröffentlichten Fördersatz ab 01.06.2019 (vgl. [EEG-Fördersatz]) nach dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz [EEG].

Tabelle 26: Energiepreise (Jahresmittelwerte) und Einspeisevergütung

	Grundpreis	Arbeitspreis
Erdgas ⁴	140 €/a	0,052 €/kWh _{HS}
Strom Normaltarif (NT)	-	0,260 €/kWh
Strom Heiztarif (HT)	73 €/a	0,190 €/kWh
Stromvergütung für eingespeisten PV-Strom	-	0,1079 €/kWh

Betriebsgebundene Kosten

Die betriebsgebundenen Kosten enthalten die Kosten für

- Wartung
- Schornsteinfegergebühren
- Versicherung (PV-Anlage).

Die Wartungskosten werden in Anlehnung an die BTGA-Regel 3.001: Wartung heiztechnischer Anlagen [BTGA 3.001] ermittelt. Stehen für Anlagenkomponenten keine Vorgaben zur Verfügung werden diese entsprechend abgeschätzt. Die Schornsteinfegergebühren basieren auf der Kehr- und Überprüfungsgebührenordnung.

Für die Instandhaltung der Photovoltaikanlagen werden zusätzlich Versicherungs- bzw. Rücklagekosten berücksichtigt.

Investitionen und kapitalgebundene Kosten

Grundlage für die Ermittlung der Investitionskosten ist die Dimensionierung der Anlagen entsprechend der Gebäude-Heizlast. Die angesetzten Investitionskosten sind das Ergebnis umfangreicher Recherchen. Sie basieren auf einer Auswertung von Listenpreisen führender Hersteller und umfassen neben den Materialkosten auch die Lieferung, Montage, Inbetriebnahme, typische Rabatte und Preisaufläge. Analog wurden die Investitionskosten für die elektrische Flächenheizung durch den BVF ermittelt.

Die Kalkulation der Kosten für die Photovoltaikanlagen und Stromspeicher erfolgt auf Basis der Angaben des Solaranlagenportals⁵.

Die kapitalgebundenen Kosten beinhalten die in jährliche Kosten umgerechneten Investitionen mit der Annuitätsmethode. Die Berechnung der Annuität erfolgt über die Nutzungsdauer und den Instandsetzungsaufwand der Komponenten entsprechend der Angaben in VDI 2067 Blatt 1 mit einem Kalkulationszinssatz von 3%.

6.2 Ergebnisse

Die Berechnungen und Ergebnisse für die Anlagenvarianten der Gebäude Einfamilienhaus und Reihemittelhaus nach GEG bei unterschiedlichen Wärmeschutzniveau sind in Tabelle 27 bis Tabelle 38 angegeben.

Abbildung 15 bis Abbildung 20 enthalten die Gegenüberstellungen der Jahresgesamtkosten in Abhängigkeit vom Stromtarif (Normaltarif und Heiztarif).

Die Ergebnisse der Anlagenvarianten mit Berechnung nach Vorgaben der EnEV sind für die unterschiedlichen Wärmeschutzniveaus in Tabelle 39 bis Tabelle 50 zusammengefasst.

⁴ Der Endenergiebedarf für Erdgas geht brennwertbezogen in die Berechnung ein.

⁵ Vgl. <https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/kosten>

Tabelle 27: Ergebnisse Einfamilienhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-55, Strom Heiztarif

Einfamilienhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-55 Strom Heiztarif		Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	
Erfüllungsgrad		GEG	KfW-55	KfW-55	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt	
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	9.758	3.181	3.471	6.553	7.723	
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	649	492	522	386	342	
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	816	805	984	1.418	1.745	
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733	
	Haushaltsstromkosten	€/a	971	971	971	971	971	
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	7.362	7.362	7.362	7.362	7.362	
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	1.474	2.447	3.701	2.509	3.814	
	PV-Strom eingespeist	€/a	5.888	4.915	3.661	4.853	3.835	
	eingesparte Energiekosten	€/a	-383	-563	-901	-545	-749	
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-635	-530	-395	-524	-414	
Summe	€/a	768	683	658	1.321	1.629	1.478	
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	195	
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-	
	Versicherung	€/a	95	95	95	95	95	
	Summe	€/a	456	415	405	315	290	280
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	10.200	10.000	-	-	
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	2.200	
	PV-Anlage	€	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	
	Stromspeicher	€	-	-	9.300	-	-	
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	
	Flächenheizung	€	11.300	11.300	11.300	9.000	9.000	
	Warmwasserleitung	€	1.300	1.300	200	1.300	1.300	
	Schornstein	€	2.900	-	-	-	-	
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-	
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150	
Summe	€	47.700	50.400	56.350	38.850	36.850	43.650	
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	844	827	-	-	
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170	
	PV-Anlage	€/a	873	873	873	873	873	
	Stromspeicher	€/a	-	-	534	-	-	
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	659	659	659	659	659	
	Flächenheizung	€/a	552	552	552	530	530	
	Warmwasserleitung	€/a	73	73	11	73	73	
	Schornstein	€/a	142	-	-	-	-	
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-	
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7	
Summe	€/a	2.875	3.249	3.558	2.489	2.312	2.689	
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	4.099	4.347	4.621	4.125	4.231	4.448
	Kostenindex	-	100%	106%	113%	101%	103%	109%

Tabelle 28: Ergebnisse Reihennittelhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-55, Strom Heiztarif

Reihennittelhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-55 Strom Heiztarif		Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		GEG	KfW-55	KfW-55	GEG	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	7.233	2.530	2.847	4.084	5.331
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	622	491	533	411	374
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	678	681	878	958	1.309
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733
	Haushaltsstromkosten	€/a	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	4.794	4.794	4.794	4.794	4.794
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	1.574	2.405	3.137	2.273	3.172
	PV-Strom eingespeist	€/a	3.220	2.389	1.657	2.520	1.449
	eingesparte Energiekosten	€/a	-409	-565	-785	-515	-732
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-347	-258	-179	-272	-156
	Summe	€/a	980	917	973	1.229	1.555
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	195
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-
	Versicherung	€/a	90	90	90	90	90
	Summe	€/a	451	410	400	310	285
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	9.200	9.000	-	-
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	2.200
	PV-Anlage	€	10.400	10.400	10.400	10.400	10.400
	Stromspeicher	€	-	-	7.200	-	-
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
	Flächenheizung	€	9.400	9.400	9.400	7.500	7.500
	Warmwasserleitung	€	1.400	1.400	200	1.400	1.400
	Schornstein	€	3.200	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150
	Summe	€	40.400	41.800	45.550	31.650	29.650
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	761	744	-	-
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170
	PV-Anlage	€/a	597	597	597	597	597
	Stromspeicher	€/a	-	-	413	-	-
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	586	586	586	586	586
	Flächenheizung	€/a	459	459	459	441	441
	Warmwasserleitung	€/a	78	78	11	78	78
	Schornstein	€/a	156	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7
	Summe	€/a	2.453	2.730	2.913	2.058	1.880
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	3.884	4.057	4.287	3.597	3.720
	Kostenindex	-	100%	104%	110%	93%	96%

Tabelle 29: Ergebnisse Einfamilienhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-55, Strom Normaltarif

Einfamilienhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-55 Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	
Erfüllungsgrad		GEG	KfW-55	KfW-55	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt	
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	9.758	3.181	3.471	6.553	8.685	7.723
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	649	492	522	386	379	342
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	816	955	1.038	1.804	2.357	2.097
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733
	Haushaltsstromkosten	€/a	971	971	971	971	971	971
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	7.362	7.362	7.362	7.362	7.362	7.362
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	1.474	2.447	3.701	2.509	3.527	3.814
	PV-Strom eingespeist	€/a	5.888	4.915	3.661	4.853	3.835	3.548
	ingesparte Energiekosten	€/a	-383	-636	-962	-652	-917	-992
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-635	-530	-395	-524	-414	-383
	Summe	€/a	768	759	651	1.599	1.996	1.693
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	195	185
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-	-
	Versicherung	€/a	95	95	95	95	95	95
	Summe	€/a	456	415	405	315	290	280
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	10.200	10.000	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	2.200	800
	PV-Anlage	€	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200
	Stromspeicher	€	-	-	9.300	-	-	9.300
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000
	Flächenheizung	€	11.300	11.300	11.300	9.000	9.000	9.000
	Warmwasserleitung	€	1.300	1.300	200	1.300	1.300	200
	Schornstein	€	2.900	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150	150
	Summe	€	47.700	50.400	56.350	38.850	36.850	43.650
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	844	827	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170	75
	PV-Anlage	€/a	873	873	873	873	873	873
	Stromspeicher	€/a	-	-	534	-	-	534
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	659	659	659	659	659	659
	Flächenheizung	€/a	552	552	552	530	530	530
	Warmwasserleitung	€/a	73	73	11	73	73	11
	Schornstein	€/a	142	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7	7
	Summe	€/a	2.875	3.249	3.558	2.489	2.312	2.689
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	4.099	4.423	4.615	4.403	4.598	4.662
	Kostenindex	-	100%	108%	113%	107%	112%	114%

Tabelle 30: Ergebnisse Reihemittelhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-55, Strom Normaltarif

Reihemittelhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-55 Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		GEG	KfW-55	KfW-55	GEG	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	7.233	2.530	2.847	4.084	5.331
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	622	491	533	411	374
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	678	785	879	1.170	1.483
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733
	Haushaltsstromkosten	€/a	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	4.794	4.794	4.794	4.794	4.794
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	1.574	2.405	3.137	2.273	3.172
	PV-Strom eingespeist	€/a	3.220	2.389	1.657	2.520	1.449
	eingesparte Energiekosten	€/a	-409	-625	-816	-591	-870
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-347	-258	-179	-272	-156
	Summe	€/a	980	961	943	1.366	1.789
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	195
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-
	Versicherung	€/a	90	90	90	90	90
	Summe	€/a	451	410	400	310	285
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	9.200	9.000	-	-
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	2.200
	PV-Anlage	€	10.400	10.400	10.400	10.400	10.400
	Stromspeicher	€	-	-	7.200	-	-
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
	Flächenheizung	€	9.400	9.400	9.400	7.500	7.500
	Warmwasserleitung	€	1.400	1.400	200	1.400	1.400
	Schornstein	€	3.200	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150
	Summe	€	40.400	41.800	45.550	31.650	29.650
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	761	744	-	-
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170
	PV-Anlage	€/a	597	597	597	597	597
	Stromspeicher	€/a	-	-	413	-	-
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	586	586	586	586	586
	Flächenheizung	€/a	459	459	459	441	441
	Warmwasserleitung	€/a	78	78	11	78	78
	Schornstein	€/a	156	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7
	Summe	€/a	2.453	2.730	2.913	2.058	1.880
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	3.884	4.101	4.256	3.734	3.949
	Kostenindex	-	100%	106%	110%	96%	102%

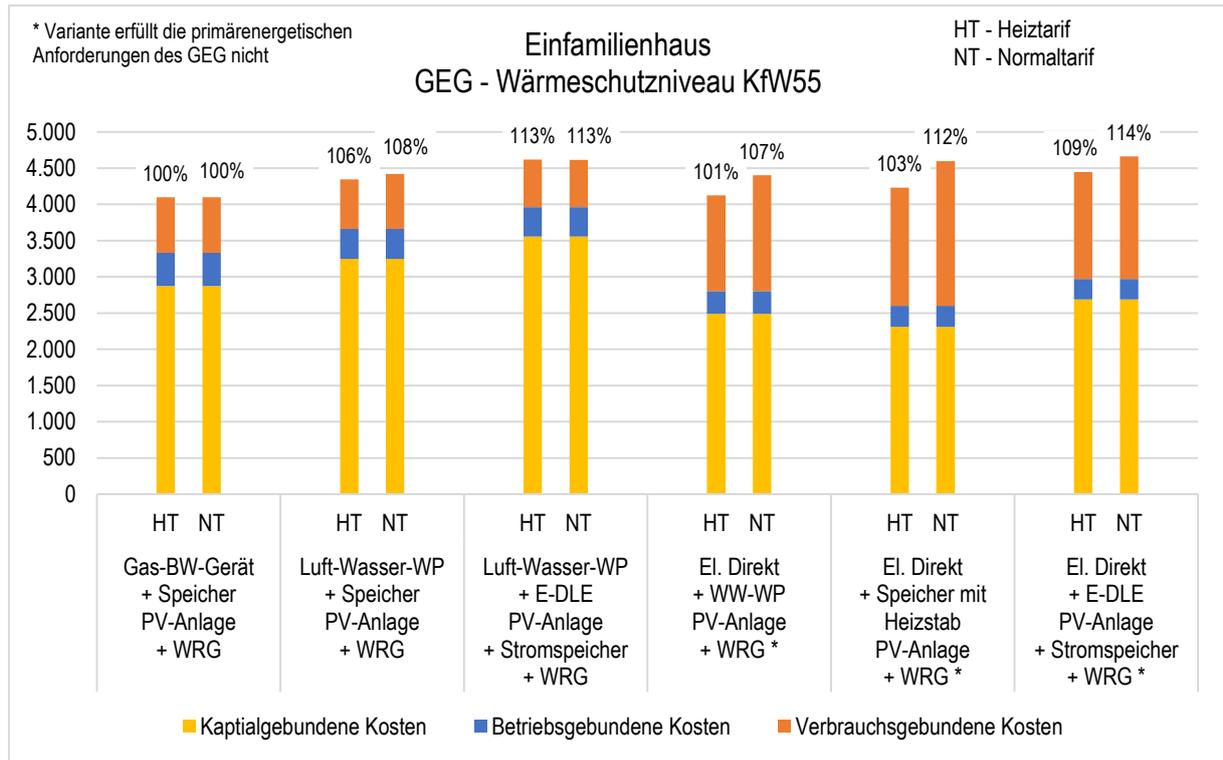


Abbildung 15: Gegenüberstellung Jahresgesamtkosten, Einfamilienhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW55

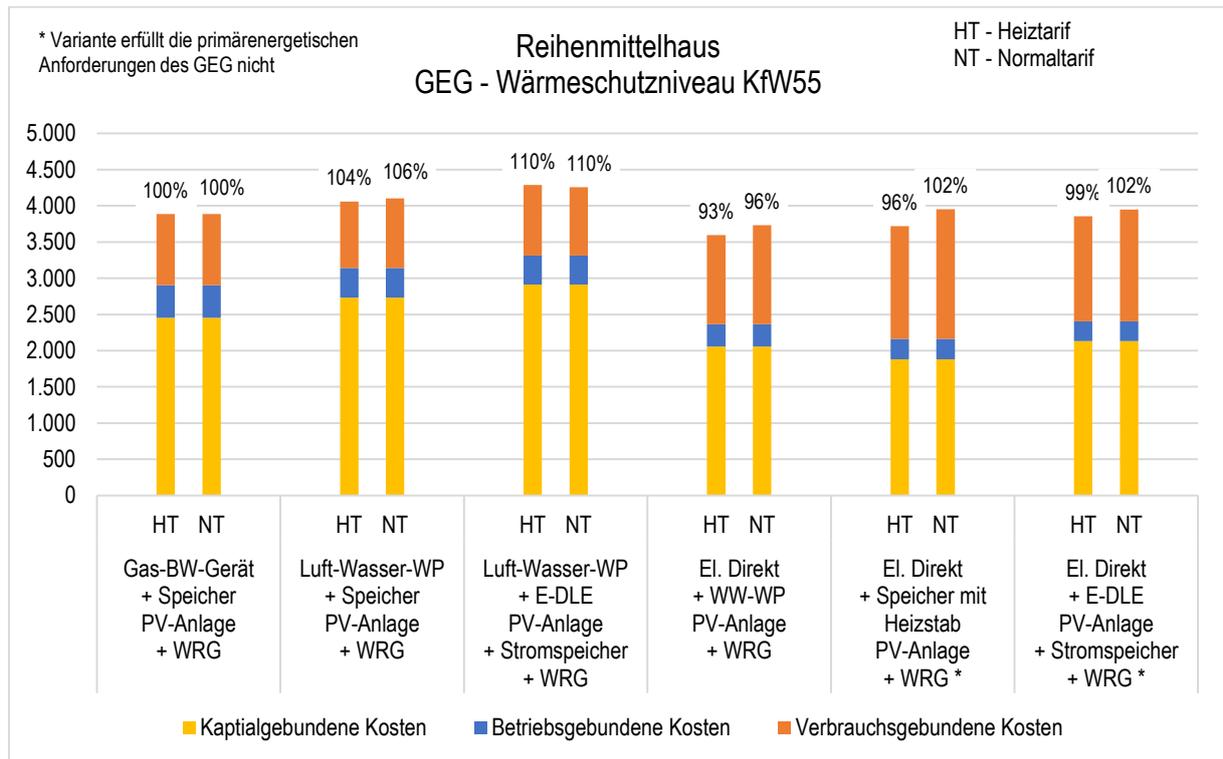


Abbildung 16: Gegenüberstellung Jahresgesamtkosten, Reihenmittelhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW55

Tabelle 31: Ergebnisse Einfamilienhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-40, Strom Heiztarif

Einfamilienhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-40 Strom Heiztarif			Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad			KfW-55	KfW-40	KfW-40+	GEG	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	8.107	2.727	2.985	5.010	7.131	6.103
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	598	422	501	337	331	342
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	717	701	886	1.113	1.514	1.437
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733
	Haushaltsstromkosten	€/a	971	971	971	971	971	971
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	7.362	7.362	7.362	7.362	7.362	7.362
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	1.452	2.312	3.562	2.332	3.356	3.701
	PV-Strom eingespeist	€/a	5.910	5.050	3.801	5.030	4.006	3.661
	eingesparte Energiekosten	€/a	-377	-537	-880	-516	-723	-849
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-638	-545	-410	-543	-432	-395
	Summe	€/a	672	590	567	1.024	1.329	1.164
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	195	185
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-	-
	Versicherung	€/a	95	95	95	95	95	95
	Summe	€/a	456	415	405	315	290	280
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	9.700	9.500	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	2.200	800
	PV-Anlage	€	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200
	Stromspeicher	€	-	-	9.300	-	-	9.300
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000
	Flächenheizung	€	11.300	11.300	11.300	9.000	9.000	9.000
	Warmwasserleitung	€	1.300	1.300	200	1.300	1.300	200
	Schornstein	€	2.900	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150	150
	Summe	€	47.700	49.900	55.850	38.850	36.850	43.650
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	802	786	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170	75
	PV-Anlage	€/a	873	873	873	873	873	873
	Stromspeicher	€/a	-	-	534	-	-	534
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	659	659	659	659	659	659
	Flächenheizung	€/a	552	552	552	530	530	530
	Warmwasserleitung	€/a	73	73	11	73	73	11
	Schornstein	€/a	142	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7	7
	Summe	€/a	2.875	3.207	3.517	2.489	2.312	2.689
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	4.003	4.212	4.489	3.828	3.931	4.133
	Kostenindex	-	100%	105%	112%	96%	98%	103%

Tabelle 32: Ergebnisse Reihenmittelhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-40, Strom Heiztarif

Reihenmittelhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-40 Strom Heiztarif			Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		GEG	KfW-40	KfW-40+	GEG	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt	
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	6.427	2.302	2.593	3.315	5.566	4.481
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	619	424	514	365	358	374
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	635	621	825	798	1.223	1.147
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733
	Haushaltsstromkosten	€/a	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	4.794	4.794	4.794	4.794	4.794	4.794
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	1.574	2.344	3.087	2.184	3.265	3.105
	PV-Strom eingespeist	€/a	3.220	2.449	1.707	2.610	1.529	1.689
	eingesparte Energiekosten	€/a	-409	-554	-779	-503	-722	-742
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-347	-264	-184	-282	-165	-182
	Summe	€/a	937	861	921	1.072	1.396	1.282
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	195	185
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-	-
	Versicherung	€/a	90	90	90	90	90	90
	Summe	€/a	451	410	400	310	285	275
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	9.000	8.700	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	2.200	800
	PV-Anlage	€	10.400	10.400	10.400	10.400	10.400	10.400
	Stromspeicher	€	-	-	7.200	-	-	7.200
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
	Flächenheizung	€	9.400	9.400	9.400	7.500	7.500	7.500
	Warmwasserleitung	€	1.400	1.400	200	1.400	1.400	200
	Schornstein	€	3.200	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150	150
	Summe	€	40.400	41.600	45.250	31.650	29.650	34.250
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	744	720	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170	75
	PV-Anlage	€/a	597	597	597	597	597	597
	Stromspeicher	€/a	-	-	413	-	-	413
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	586	586	586	586	586	586
	Flächenheizung	€/a	459	459	459	441	441	441
	Warmwasserleitung	€/a	78	78	11	78	78	11
	Schornstein	€/a	156	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7	7
	Summe	€/a	2.453	2.713	2.888	2.058	1.880	2.131
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	3.842	3.985	4.209	3.440	3.561	3.688
	Kostenindex	-	100%	104%	110%	90%	93%	96%

Tabelle 33: Ergebnisse Einfamilienhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-40, Strom Normaltarif

Einfamilienhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-40 Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	
Erfüllungsgrad		KfW-55	KfW-40	KfW-40+	GEG	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt	
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	8.107	2.727	2.985	5.010	7.131	6.103
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	598	422	501	337	331	342
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	717	819	906	1.390	1.940	1.676
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733
	Haushaltsstromkosten	€/a	971	971	971	971	971	971
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	7.362	7.362	7.362	7.362	7.362	7.362
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	1.452	2.312	3.562	2.332	3.356	3.701
	PV-Strom eingespeist	€/a	5.910	5.050	3.801	5.030	4.006	3.661
	eingesparte Energiekosten	€/a	-377	-601	-926	-606	-873	-962
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-638	-545	-410	-543	-432	-395
Summe	€/a	672	643	541	1.212	1.606	1.289	
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	195	185
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-	-
	Versicherung	€/a	95	95	95	95	95	95
	Summe	€/a	456	415	405	315	290	280
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	9.700	9.500	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	2.200	800
	PV-Anlage	€	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200
	Stromspeicher	€	-	-	9.300	-	-	9.300
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000
	Flächenheizung	€	11.300	11.300	11.300	9.000	9.000	9.000
	Warmwasserleitung	€	1.300	1.300	200	1.300	1.300	200
	Schornstein	€	2.900	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150	150
Summe	€	47.700	49.900	55.850	38.850	36.850	43.650	
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	802	786	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170	75
	PV-Anlage	€/a	873	873	873	873	873	873
	Stromspeicher	€/a	-	-	534	-	-	534
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	659	659	659	659	659	659
	Flächenheizung	€/a	552	552	552	530	530	530
	Warmwasserleitung	€/a	73	73	11	73	73	11
	Schornstein	€/a	142	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7	7
Summe	€/a	2.875	3.207	3.517	2.489	2.312	2.689	
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	4.003	4.266	4.463	4.016	4.207	4.258
	Kostenindex	-	100%	107%	111%	100%	105%	106%

Tabelle 34: Ergebnisse Reihemittelhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-40, Strom Normaltarif

Reihemittelhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-40 Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		GEG	KfW-40	KfW-40+	GEG	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	6.427	2.302	2.593	3.315	4.481
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	619	424	514	365	374
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	635	709	808	957	1.262
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733
	Haushaltsstromkosten	€/a	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	4.794	4.794	4.794	4.794	4.794
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	1.574	2.344	3.087	2.184	3.105
	PV-Strom eingespeist	€/a	3.220	2.449	1.707	2.610	1.689
	eingesparte Energiekosten	€/a	-409	-610	-803	-568	-849
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-347	-264	-184	-282	-182
	Summe	€/a	937	894	880	1.166	1.331
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	195
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-
	Versicherung	€/a	90	90	90	90	90
	Summe	€/a	451	410	400	310	285
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	9.000	8.700	-	-
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	2.200
	PV-Anlage	€	10.400	10.400	10.400	10.400	10.400
	Stromspeicher	€	-	-	7.200	-	-
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
	Flächenheizung	€	9.400	9.400	9.400	7.500	7.500
	Warmwasserleitung	€	1.400	1.400	200	1.400	1.400
	Schornstein	€	3.200	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150
	Summe	€	40.400	41.600	45.250	31.650	29.650
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	744	720	-	-
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170
	PV-Anlage	€/a	597	597	597	597	597
	Stromspeicher	€/a	-	-	413	-	-
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	586	586	586	586	586
	Flächenheizung	€/a	459	459	459	441	441
	Warmwasserleitung	€/a	78	78	11	78	78
	Schornstein	€/a	156	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7
	Summe	€/a	2.453	2.713	2.888	2.058	1.880
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	3.842	4.017	4.168	3.534	3.738
	Kostenindex	-	100%	105%	108%	92%	97%

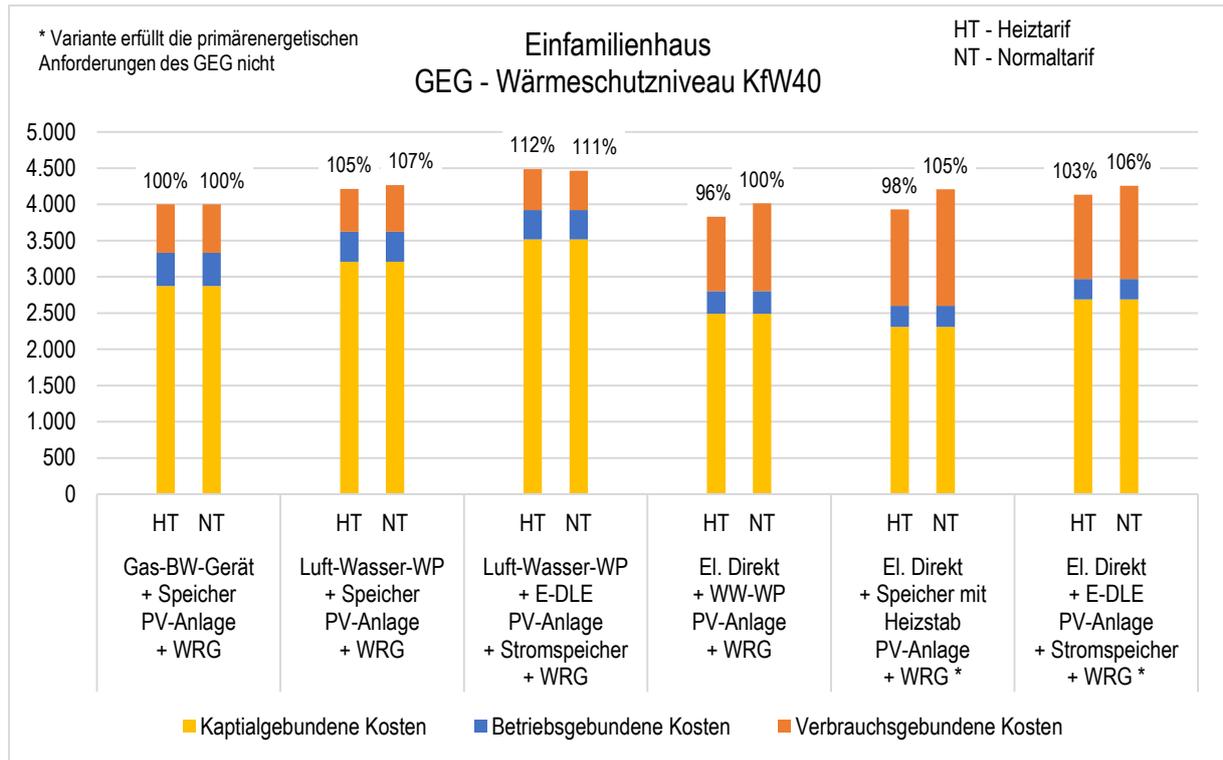


Abbildung 17: Gegenüberstellung Jahresgesamtkosten, Einfamilienhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW40

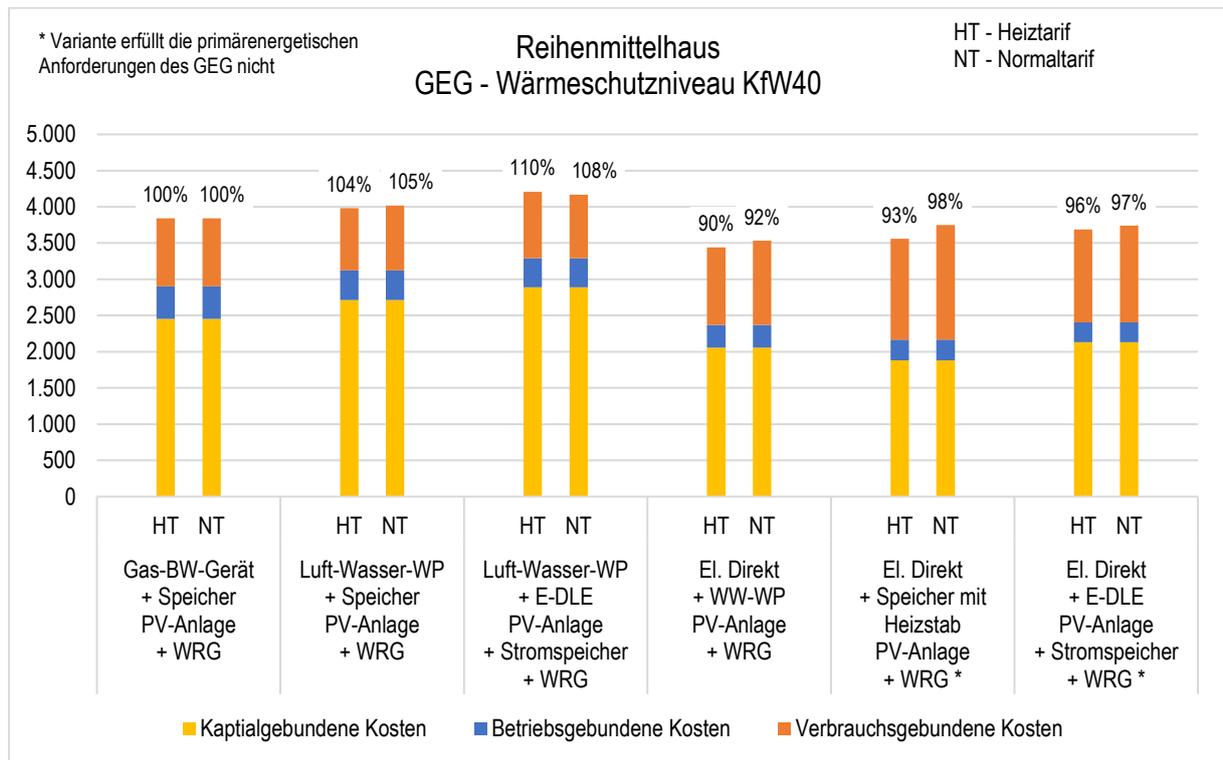


Abbildung 18: Gegenüberstellung Jahresgesamtkosten, Reihenmittelhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW40

Tabelle 35: Ergebnisse Einfamilienhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus, Strom Heiztarif

Einfamilienhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus Strom Heiztarif		Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	
Erfüllungsgrad		KfW-55	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	GEG	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt	
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	8.107	2.727	2.985	5.010	7.131	6.103
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	598	422	501	337	331	342
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	717	701	886	1.113	1.514	1.437
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733
	Haushaltsstromkosten	€/a	971	971	971	971	971	971
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	7.362	7.362	7.362	7.362	7.362	7.362
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	3.404	4.453	3.562	4.070	5.489	3.701
	PV-Strom eingespeist	€/a	3.958	2.909	3.801	3.292	1.873	3.661
	eingesparte Energiekosten	€/a	-885	-1.034	-880	-901	-1.182	-849
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-427	-314	-410	-355	-202	-395
Summe	€/a	375	323	567	827	1.100	1.164	
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	195	185
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-	-
	Versicherung	€/a	95	95	95	95	95	95
	Summe	€/a	456	415	405	315	290	280
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	9.700	9.500	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	2.200	800
	PV-Anlage	€	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200
	Stromspeicher	€	9.300	9.300	9.300	9.300	9.300	9.300
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000
	Flächenheizung	€	11.300	11.300	11.300	9.000	9.000	9.000
	Warmwasserleitung	€	1.300	1.300	200	1.300	1.300	200
	Schornstein	€	2.900	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150	150
Summe	€	57.000	59.200	55.850	48.150	46.150	43.650	
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	802	786	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170	75
	PV-Anlage	€/a	873	873	873	873	873	873
	Stromspeicher	€/a	534	534	534	534	534	534
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	659	659	659	659	659	659
	Flächenheizung	€/a	552	552	552	530	530	530
	Warmwasserleitung	€/a	73	73	11	73	73	11
	Schornstein	€/a	142	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7	7
Summe	€/a	3.409	3.742	3.517	3.023	2.846	2.689	
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	4.240	4.480	4.489	4.165	4.236	4.133
	Kostenindex	-	100%	106%	106%	98%	100%	97%

Tabelle 36: Ergebnisse Reihemittelhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus, Strom Heiztarif

Reihemittelhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus Strom Heiztarif		Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	
Erfüllungsgrad		KfW-55	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	GEG	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt	
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	6.427	2.302	2.593	3.315	4.481	
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	619	424	514	365	374	
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	635	621	825	798	1.147	
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733	
	Haushaltsstromkosten	€/a	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059	
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	4.794	4.794	4.794	4.794	4.794	
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	2.984	3.921	3.087	3.516	3.105	
	PV-Strom eingespeist	€/a	1.810	873	1.707	1.278	1.689	
	eingesparte Energiekosten	€/a	-776	-926	-779	-809	-1.060	-742
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-195	-94	-184	-138	0	-182
	Summe	€/a	723	659	921	910	1.223	1.282
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	195	185
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-	-
	Versicherung	€/a	90	90	90	90	90	90
	Summe	€/a	451	410	400	310	285	275
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	9.000	8.700	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	2.200	800
	PV-Anlage	€	10.400	10.400	10.400	10.400	10.400	10.400
	Stromspeicher	€	7.200	7.200	7.200	7.200	7.200	7.200
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
	Flächenheizung	€	9.400	9.400	9.400	7.500	7.500	7.500
	Warmwasserleitung	€	1.400	1.400	200	1.400	1.400	200
	Schornstein	€	3.200	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150	150
	Summe	€	47.600	48.800	45.250	38.850	36.850	34.250
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	744	720	-	-	-
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170	75
	PV-Anlage	€/a	597	597	597	597	597	597
	Stromspeicher	€/a	413	413	413	413	413	413
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	586	586	586	586	586	586
	Flächenheizung	€/a	459	459	459	441	441	441
	Warmwasserleitung	€/a	78	78	11	78	78	11
	Schornstein	€/a	156	-	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7	7
	Summe	€/a	2.867	3.127	2.888	2.471	2.294	2.131
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	4.041	4.196	4.209	3.691	3.801	3.688
	Kostenindex	-	100%	104%	104%	91%	94%	91%

Tabelle 37: Ergebnisse Einfamilienhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus, Strom Normaltarif

Einfamilienhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	
Erfüllungsgrad		KfW-55	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	GEG	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt	
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	8.107	2.727	2.985	5.010	6.103	
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	598	422	501	331	342	
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	717	819	906	1.390	1.676	
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733	
	Haushaltsstromkosten	€/a	971	971	971	971	971	
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	7.362	7.362	7.362	7.362	7.362	
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	3.404	4.453	3.562	4.070	5.489	
	PV-Strom eingespeist	€/a	3.958	2.909	3.801	3.292	1.873	
	ingesparte Energiekosten	€/a	-885	-1.158	-926	-1.058	-1.427	-962
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-427	-314	-410	-355	-202	-395
Summe	€/a	375	318	541	948	1.281	1.289	
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	195	
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-	
	Versicherung	€/a	95	95	95	95	95	
	Summe	€/a	456	415	405	315	290	280
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	9.700	9.500	-	-	
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	2.200	
	PV-Anlage	€	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	
	Stromspeicher	€	9.300	9.300	9.300	9.300	9.300	
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	
	Flächenheizung	€	11.300	11.300	11.300	9.000	9.000	
	Warmwasserleitung	€	1.300	1.300	200	1.300	1.300	
	Schornstein	€	2.900	-	-	-	-	
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-	
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150	
Summe	€	57.000	59.200	55.850	48.150	46.150	43.650	
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	802	786	-	-	
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170	
	PV-Anlage	€/a	873	873	873	873	873	
	Stromspeicher	€/a	534	534	534	534	534	
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	659	659	659	659	659	
	Flächenheizung	€/a	552	552	552	530	530	
	Warmwasserleitung	€/a	73	73	11	73	73	
	Schornstein	€/a	142	-	-	-	-	
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-	
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7	
Summe	€/a	3.409	3.742	3.517	3.023	2.846	2.689	
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	4.240	4.474	4.463	4.286	4.258	
	Kostenindex	-	100%	106%	105%	101%	100%	

Tabelle 38: Ergebnisse Reihemittelhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus, Strom Normaltarif

Reihemittelhaus GEG - Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Speicher PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-Wärmepumpe + E-DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + WW-Wärmepumpe PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + Speicher mit Heizstab PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG	Elektrische Direktheizung + E- DLE PV-Anlage + Stromspeicher Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		KfW-55	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	GEG	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt
Verbrauchsgebundene Kosten gesamt incl. Haushaltsstrom	Jahresendenergiebedarf	kWh/a	6.427	2.302	2.593	3.315	4.481
	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	619	424	514	365	374
	Jahresenergiekosten Heizung/TWE gesamt	€/a	635	709	808	957	1.262
	Haushaltsstrombedarf (= Nutzerstrom)	kWh/a	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733
	Haushaltsstromkosten	€/a	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059
	PV-Strom erzeugt	kWh/a	4.794	4.794	4.794	4.794	4.794
	PV-Strom im Haus verbraucht	kWh/a	2.984	3.921	3.087	3.516	3.105
	PV-Strom eingespeist	€/a	1.810	873	1.707	1.278	1.689
	eingesparte Energiekosten	€/a	-776	-1.019	-803	-914	-1.246
	Stromvergütung eingespeister Strom	€/a	-195	-94	-184	-138	-182
	Summe	€/a	723	654	880	963	1.331
Betriebsgebundene Kosten	Wartung	€/a	335	320	310	220	185
	Schornsteinfegergebühren	€/a	26	-	-	-	-
	Versicherung	€/a	90	90	90	90	90
	Summe	€/a	451	410	400	310	285
Investitionen	Wärmeerzeuger Heizung	€	3.600	9.000	8.700	-	-
	Trinkwassererwärmung	€	1.600	2.900	800	4.200	800
	PV-Anlage	€	10.400	10.400	10.400	10.400	10.400
	Stromspeicher	€	7.200	7.200	7.200	7.200	7.200
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
	Flächenheizung	€	9.400	9.400	9.400	7.500	7.500
	Warmwasserleitung	€	1.400	1.400	200	1.400	200
	Schornstein	€	3.200	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€	2.100	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€	700	500	550	150	150
	Summe	€	47.600	48.800	45.250	38.850	34.250
Kapitalgebundene Kosten	Wärmeerzeuger Heizung	€/a	316	744	720	-	-
	Trinkwassererwärmung	€/a	124	224	75	347	170
	PV-Anlage	€/a	597	597	597	597	597
	Stromspeicher	€/a	413	413	413	413	413
	Zu-/Abluftanlage mit WRG	€/a	586	586	586	586	586
	Flächenheizung	€/a	459	459	459	441	441
	Warmwasserleitung	€/a	78	78	11	78	11
	Schornstein	€/a	156	-	-	-	-
	Hausanschlusskosten Gas	€/a	103	-	-	-	-
	Gas- / Elektroinstallation	€/a	34	24	27	7	7
	Summe	€/a	2.867	3.127	2.888	2.471	2.131
Jahresgesamtkosten	Summe	€/a	4.041	4.191	4.168	3.744	3.738
	Kostenindex	-	100%	104%	103%	93%	93%

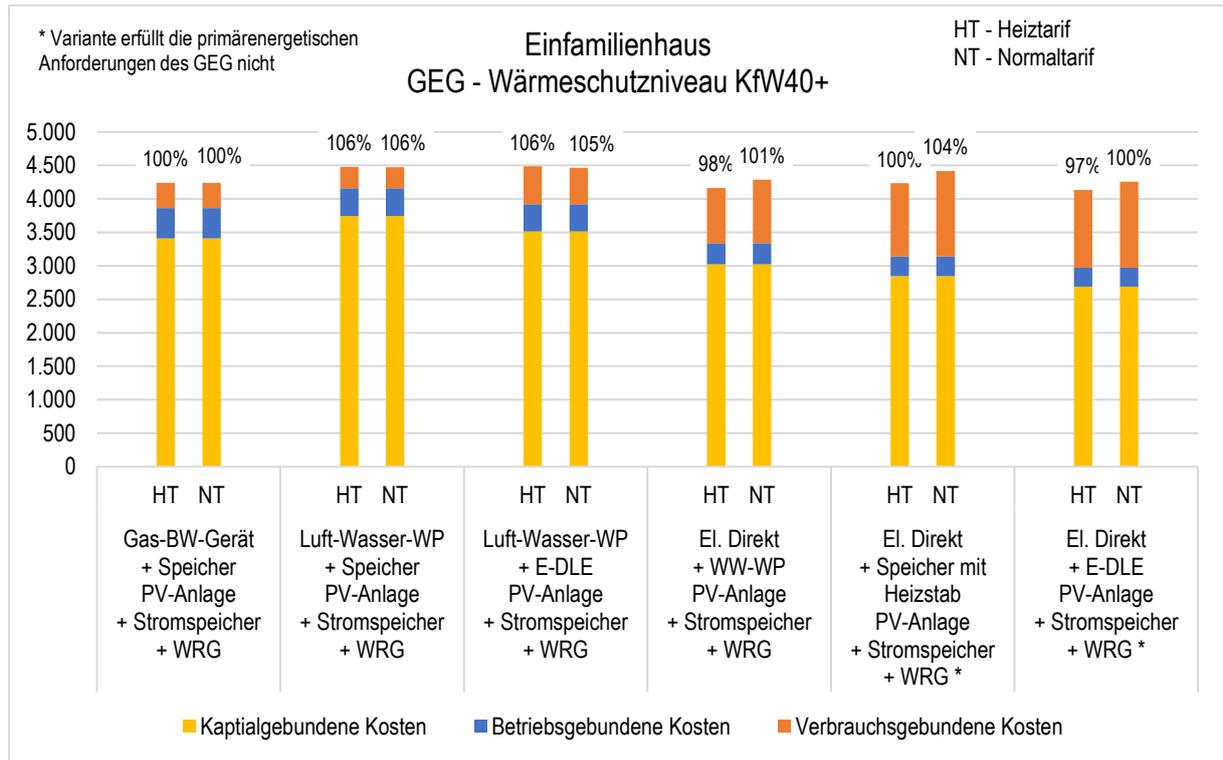


Abbildung 19: Gegenüberstellung Jahresgesamtkosten, Einfamilienhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus

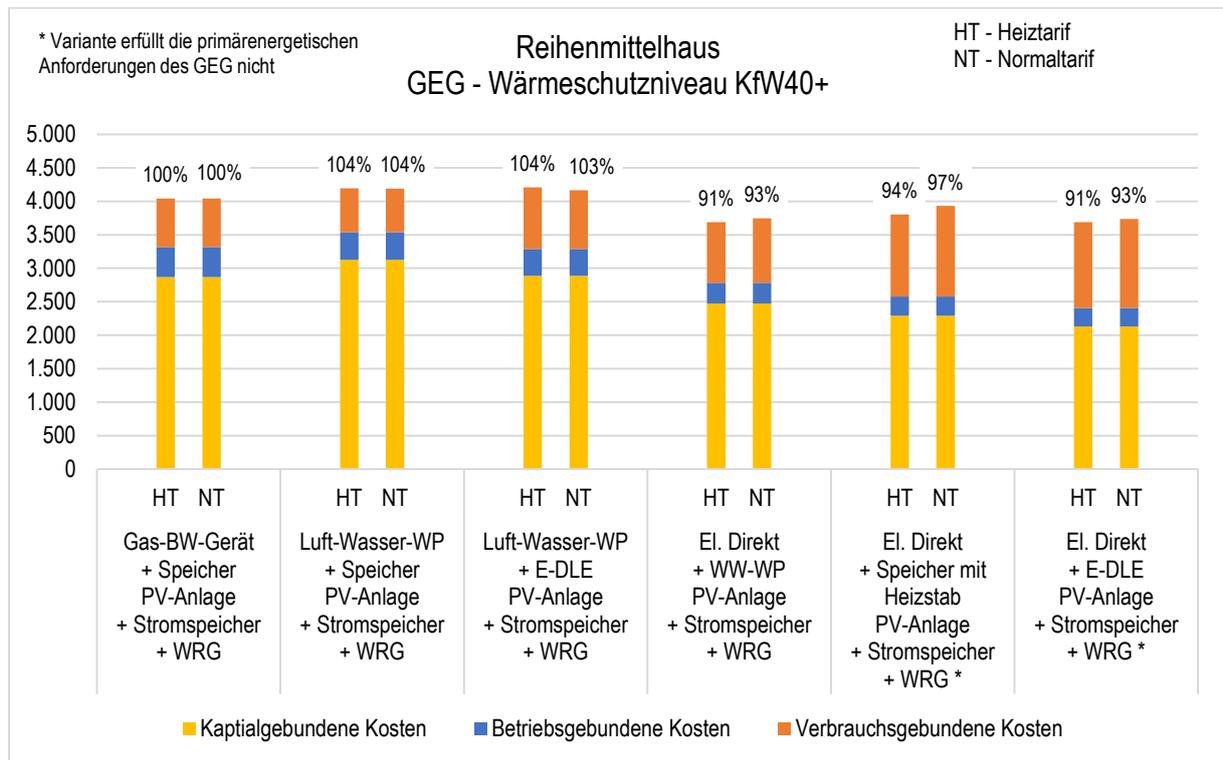


Abbildung 20: Gegenüberstellung Jahresgesamtkosten, Reihenmittelhaus nach GEG, Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus

Tabelle 39: Ergebnisse Einfamilienhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-55, Strom Heiztarif

Einfamilienhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-55 Strom Heiztarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-55	KfW-55	EnEV 2016	EnEV 2016	EnEV 2016
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	793	711	757	1.347	1.694	1.575
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	456	415	405	315	290	280
Kapitalgebundene Kosten	€/a	2.875	3.249	3.558	2.489	2.312	2.689
Jahresgesamtkosten	€/a	4.124	4.375	4.720	4.151	4.296	4.544
Kostenindex	-	100%	106%	114%	101%	104%	110%

Tabelle 40: Ergebnisse Reihemittelhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-55, Strom Heiztarif

Reihemittelhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-55 Strom Heiztarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-55	KfW-55	KfW-55	EnEV 2016	EnEV 2016
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	1.007	950	1.084	1.257	1.629	1.556
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	451	410	400	310	285	275
Kapitalgebundene Kosten	€/a	2.453	2.730	2.913	2.058	1.880	2.131
Jahresgesamtkosten	€/a	3.912	4.090	4.397	3.625	3.794	3.962
Kostenindex	-	100%	105%	112%	93%	97%	101%

Tabelle 41 Ergebnisse Einfamilienhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-55, Strom Normaltarif

Einfamilienhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-55 Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-55	KfW-55	EnEV 2016	EnEV 2016	EnEV 2016
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	793	796	753	1.632	2.080	1.793
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	456	415	405	315	290	280
Kapitalgebundene Kosten	€/a	2.875	3.249	3.558	2.489	2.312	2.689
Jahresgesamtkosten	€/a	4.124	4.460	4.716	4.437	4.682	4.762
Kostenindex	-	100%	108%	114%	108%	114%	115%

Tabelle 42 Ergebnisse Reihemittelhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-55, Strom Normaltarif

Reihemittelhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-55 Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-55	KfW-55	KfW-55	EnEV 2016	EnEV 2016
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	1.007	1.004	1.055	1.403	1.884	1.653
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	451	410	400	310	285	275
Kapitalgebundene Kosten	€/a	2.453	2.730	2.913	2.058	1.880	2.131
Jahresgesamtkosten	€/a	3.912	4.144	4.368	3.771	4.050	4.059
Kostenindex	-	100%	106%	112%	96%	104%	104%

Tabelle 43 Ergebnisse Einfamilienhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-40, Strom Heiztarif

Einfamilienhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-40 Strom Heiztarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-40	KfW-40+	KfW-55	KfW-55	KfW-55
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	698	619	666	1.050	1.395	1.261
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	456	415	405	315	290	280
Kapitalgebundene Kosten	€/a	2.875	3.207	3.517	2.489	2.312	2.689
Jahresgesamtkosten	€/a	4.028	4.241	4.588	3.854	3.996	4.230
Kostenindex	-	100%	105%	114%	96%	99%	105%

Tabelle 44 Ergebnisse Reihemittelhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-40, Strom Heiztarif

Reihemittelhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-40 Strom Heiztarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-40	KfW-40+	KfW-40	KfW-55	KfW-55
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	965	894	1.032	1.101	1.467	1.390
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	451	410	400	310	285	275
Kapitalgebundene Kosten	€/a	2.453	2.713	2.888	2.058	1.880	2.131
Jahresgesamtkosten	€/a	3.869	4.018	4.320	3.469	3.632	3.797
Kostenindex	-	100%	104%	112%	90%	94%	98%

Tabelle 45 Ergebnisse Einfamilienhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-40, Strom Normaltarif

Einfamilienhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-40 Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-40	KfW-40+	KfW-55	KfW-55	KfW-55
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	698	681	643	1.246	1.690	1.390
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	456	415	405	315	290	280
Kapitalgebundene Kosten	€/a	2.875	3.207	3.517	2.489	2.312	2.689
Jahresgesamtkosten	€/a	4.028	4.304	4.565	4.050	4.291	4.359
Kostenindex	-	100%	107%	113%	101%	107%	108%

Tabelle 46 Ergebnisse Reihemittelhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-40, Strom Normaltarif

Reihemittelhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-40 Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-40	KfW-40+	KfW-40	KfW-55	KfW-55
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	965	937	992	1.204	1.677	1.442
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	451	410	400	310	285	275
Kapitalgebundene Kosten	€/a	2.453	2.713	2.888	2.058	1.880	2.131
Jahresgesamtkosten	€/a	3.869	4.060	4.280	3.571	3.842	3.849
Kostenindex	-	100%	105%	111%	92%	99%	99%

Tabelle 47 Ergebnisse Einfamilienhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus, Strom Heiztarif

Einfamilienhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus Strom Heiztarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-40+	KfW-40+	KfW-55	KfW-55	KfW-55
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	401	351	666	852	1.162	1.261
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	456	415	405	315	290	280
Kapitalgebundene Kosten	€/a	3.409	3.742	3.517	3.023	2.846	2.689
Jahresgesamtkosten	€/a	4.266	4.508	4.588	4.190	4.297	4.230
Kostenindex	-	100%	106%	108%	98%	101%	99%

Tabelle 48 Ergebnisse Reihemittelhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus, Strom Heiztarif

Reihemittelhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus Strom Heiztarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-40+	KfW-40+	KfW-40+	KfW-55	KfW-55
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	751	692	1.032	938	1.318	1.390
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	451	410	400	310	285	275
Kapitalgebundene Kosten	€/a	2.867	3.127	2.888	2.471	2.294	2.131
Jahresgesamtkosten	€/a	4.068	4.229	4.320	3.719	3.897	3.797
Kostenindex	-	100%	104%	106%	91%	96%	93%

Tabelle 49 Ergebnisse Einfamilienhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus, Strom Normaltarif

Einfamilienhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-40+	KfW-40+	KfW-55	KfW-55	KfW-55
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	401	351	643	979	1.357	1.390
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	456	415	405	315	290	280
Kapitalgebundene Kosten	€/a	3.409	3.742	3.517	3.023	2.846	2.689
Jahresgesamtkosten	€/a	4.266	4.507	4.565	4.317	4.493	4.359
Kostenindex	-	100%	106%	107%	101%	105%	102%

Tabelle 50 Ergebnisse Reihemittelhaus nach EnEV 2014, Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus, Strom Normaltarif

Reihemittelhaus EnEV 2014 Wärmeschutzniveau KfW-40 Plus Strom Normaltarif		Gas-BW-Gerät + Speicher + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + Speicher + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Luft-Wasser-WP + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + WW-WP + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + Speicher mit Heizstab + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG	Elekt. Direkt + E-DLE + PV-Anlage + Stromspeicher + Lüftungsanlage WRG
Erfüllungsgrad		EnEV 2016	KfW-40+	KfW-40+	KfW-40+	KfW-55	KfW-55
Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	751	694	992	999	1.474	1.442
Betriebsgebundenen Kosten	€/a	451	410	400	310	285	275
Kapitalgebundene Kosten	€/a	2.867	3.127	2.888	2.471	2.294	2.131
Jahresgesamtkosten	€/a	4.068	4.231	4.280	3.780	4.053	3.849
Kostenindex	-	100%	104%	105%	93%	100%	95%

7 Zusammenfassung und Vorschläge für Änderungen im GEG

EnEV, EnEG und EEWärmeG sollen durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG) abgelöst werden. Bisher liegt ein Referentenentwurf (28.05.2019) des Gesetzes vor.

Das vorliegende Gutachten beschäftigt sich vor diesem Hintergrund mit der energetischen Effizienz und der Wirtschaftlichkeit elektrischer Direktheizungen. Dazu werden vergleichende Energiebedarfs- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen für unterschiedliche Anlagenvarianten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Vorgaben zur Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien und drei Effizienzniveaus (KfW-EH 55, EH 40 und EH 40 Plus) vorgenommen.

Die Hauptergebnisse des Gutachtens können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Elektrische Direktheizungen stellen in Gebäuden mit gutem bzw. sehr gutem baulichem Wärmeschutz, einer Zu-Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung und einer PV-Anlage eine anlagentechnische Lösung zur Erfüllung der gegenwärtig geltenden Anforderungen dar. Ein baulicher Wärmeschutz entsprechend KfW-EH 55 führt mindestens zur Erreichung der primärenergetischen Anforderungen der EnEV, mit einer Bauhülle entsprechend KfW-EH 40 werden mindestens KfW 55 Anforderungen erreicht.

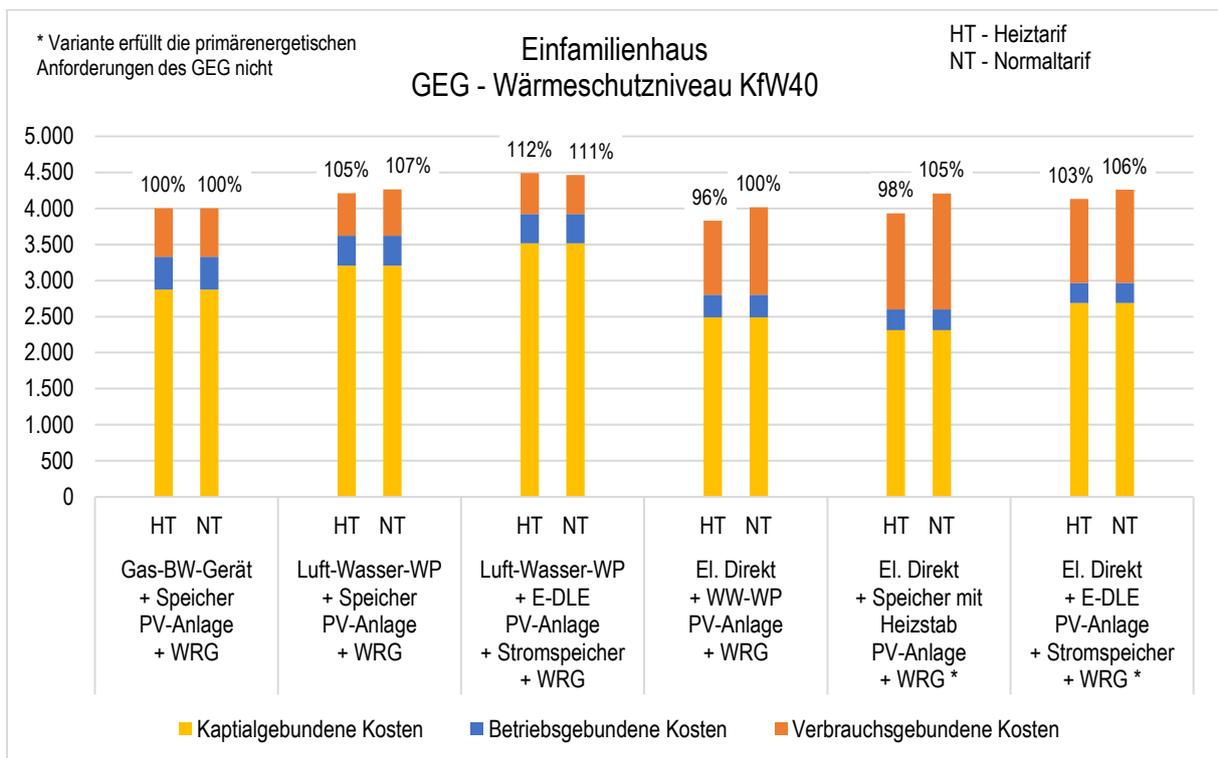
Die Bewertung von elektrischen Direktheizungen und PV-Anlagen entsprechend GEG-Referentenentwurf vom 28.05.2019 führt zu einer gravierenden Schlechterstellung dieser Systeme im Energiesparrecht. Die betrachteten Anlagenvarianten erfüllen vor allem infolge der Nichtanrechenbarkeit des selbst erzeugten und genutzten PV-Stroms für elektrische Direktheizungen häufig auch bei sehr guten baulichen Wärmeschutz entsprechend KfW-EH 40 nicht einmal die Mindestanforderungen des GEG.

Exemplarisch zeigt das die folgende Tabelle für ein Einfamilienhaus.

Baulicher Wärmeschutz entsprechend Mindestanforderung	Anlagenvariante	Erreichbares Anforderungsniveau		
		EnEV 2014	GEG	GEG ohne § 23 Abs. (1) 3.
KfW-Effizienzhaus 55	Gas-BW + PV + WRG	EnEV 2016	GEG	GEG
	L/W-WP + PV + WRG	KfW-55	KfW-55	KfW-55
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-55	KfW-55	KfW-55
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	EnEV 2016	GEG nicht erfüllt	GEG
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	EnEV 2016	GEG nicht erfüllt	GEG nicht erfüllt
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	EnEV 2016	GEG nicht erfüllt	GEG
KfW-Effizienzhaus 40	Gas-BW + PV + WRG	EnEV 2016	KfW-55	KfW-55
	L/W-WP + PV + WRG	KfW-40	KfW-40	KfW-40
	L/W-WP + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus
	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG	KfW-55	GEG	KfW-55
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG	KfW-55	GEG nicht erfüllt	GEG
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-55	GEG nicht erfüllt	KfW-55
KfW-Effizienzhaus 40 Plus	Gas-BW + PV + WRG + Batterie	EnEV 2016	KfW-55	KfW-55
	L/W-WP + PV + WRG + Batterie	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus
	L/W-WP + DLE + PV + WRG + Batterie	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus	KfW-40 Plus

	El. Direkt + WW-WP + PV + WRG + Batterie	KfW-55	GEG	KfW-40 Plus
	El. Direkt + el. Heizstab + PV + WRG + Batterie	KfW-55	GEG nicht erfüllt	GEG
	El. Direkt + DLE + PV + Batterie + WRG	KfW-55	GEG nicht erfüllt	KfW-55

2. Die Jahresgesamtkosten elektrischer Direktheizungen sind in den betrachteten Gebäuden vergleichbar mit denen einer Gas-Brennwertheizung bzw. einer Luft-Wasser-Wärmepumpe, wenn diese ebenfalls mit PV-Anlage und Zu-Abluftanlage mit WRG kombiniert werden. Ein Heizstromtarif verbessert die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Heizsysteme, ist jedoch für eine gute Wirtschaftlichkeit nicht zwingend erforderlich. Beispielhaft zeigt dies die Abbildung für ein EFH mit baulichem Wärmeschutz entsprechend KfW-EH 40.



3. Der in gebäudenahen PV-Anlagen erzeugte Strom wird bei allen betrachteten Möglichkeiten der Anrechnung auf den Gebäudeenergiebedarf nur zum Teil berücksichtigt, der ins Netz eingespeiste PV-Strom wird nicht erfasst. PV-Anlagen leisten damit über den Beitrag zur Effizienzsteigerung des Gebäudes auch immer einen Beitrag zur Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren im allgemeinen Stromnetz. Dies unterscheidet PV-Anlagen von sonstigen Effizienzsteigerungen durch bauliche oder anlagentechnische Komponenten, die vollständig auf den Energiebedarf des Gebäudes angerechnet werden.

Vorschläge für Änderungen im GEG

Grundsatz: Die Bewertungen im GEG sollten technologieoffen entsprechend der physikalischen Realität erfolgen. Für PV-Anlagen muss daher die Strommenge angerechnet werden, die unmittelbar nach Erzeugung oder nach vorübergehender Speicherung im Gebäude genutzt wird. In Wohngebäuden schließt dies den Nutzerstrom bei der Bestimmung der innerhalb des Gebäudes genutzten Strommenge ein. Ein dafür geeignetes Berechnungsverfahren stellt die DIN V 18599-9:2018 zur Verfügung.

Dementsprechend ist für die Anrechenbarkeit von im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude erzeugtem erneuerbarem Strom im GEG Folgendes zu formulieren:

- kein Ausschluss der Stromdirektheizungen, Streichung §23 Absatz (1) Absatz 3.
- Wohngebäude: die innerhalb des Gebäudes unmittelbar nach Erzeugung oder nach vorübergehender Speicherung genutzte Strommenge und damit die anrechenbare PV-Strommenge ist auf Basis DIN V 18599-9:2018 zu ermitteln. Das entsprechende Berechnungsverfahren im GEG („Bonusverfahren“) ist zu streichen.
- Nichtwohngebäude (ersatzweise bis zum Vorliegen eines geeigneten Berechnungsverfahrens): der monatliche Ertrag der Anlage zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien ist dem tatsächlichen Strombedarf gegenüberzustellen. (Die monatliche Verrechnung ist bereits jetzt im GEG der Fall bei zu errichtenden Nichtwohngebäuden in denen „die Nutzung von Strom für Lüftung, Kühlung, Beleuchtung und Warmwasserversorgung die Energienutzung für die Beheizung überwiegt“.)
- Wohn- und Nichtwohngebäude: Für die Berechnung ist der monatliche PV-Ertrag nach DIN V 18599-9: 2018-09 zu bestimmen. Bei Anlagen zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie sind die monatlichen Stromerträge unter Verwendung der mittleren monatlichen Strahlungsintensitäten der Referenzklimazone Potsdam nach DIN V 18599-10: 2018-09 Anhang E sowie der Standardwerte zur Ermittlung der Nennleistung des Photovoltaikmoduls nach DIN V 18599-9: 2018-09 Anhang B zu ermitteln.

8 Literatur

- [BTGA 3.001] BTGA-Regel 3.001 2015-03: Wartung heiztechnischer Anlagen - Richtzeiten für die Durchführung
- [DIN V 18599:2018] Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1-11, Ausgabe September 2018
- [DIN V 18599] Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1-11, Ausgabe Dezember 2011
- [DIN V 18599-9:2018] Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen, Ausgabe September 2018
- [EEG] Gesetz für den Ausbau Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG), Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 29. Juni 2015 (BGBl. I S. 1010) geändert worden ist
- [EEG-Fördersatz] https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDaten/Informationen/EEG_Registerdaten/EEG_Registerdaten_node.html;jsessionid=3D8A113703F196F261858357B55B718B.
- [EEWärmeG] Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz - EEWärmeG) vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), zuletzt geändert durch Artikel 9 des Gesetzes vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1722)
- [EnEV 2014] Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil I Nr. 67, ausgegeben am 21. November 2013, S. 3951
- [GEG] Gesetzentwurf der Bundesregierung: Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude, Bearbeitungsstand: 28.05.2019
- [VDI 2067] VDI 2067 Blatt 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung, September 2012