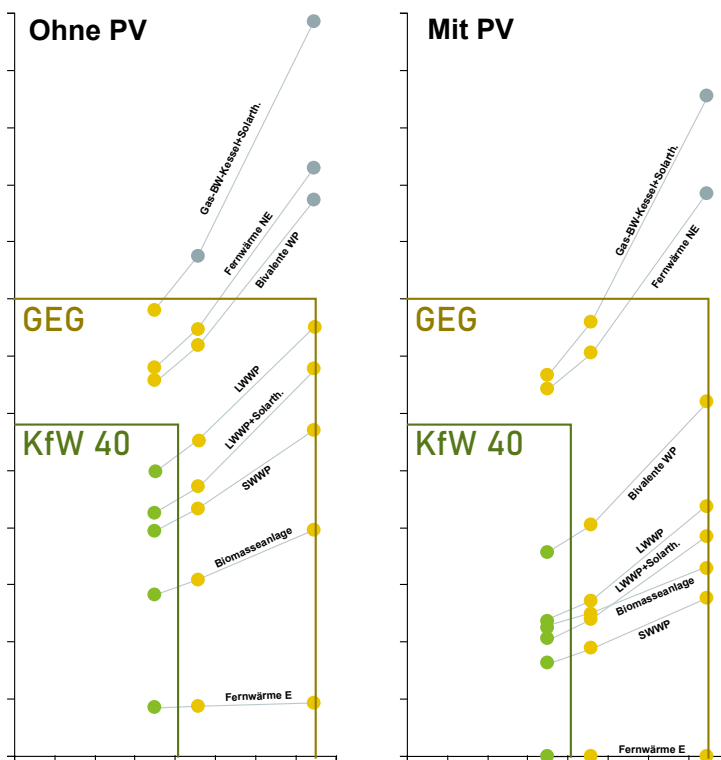


**Teilbericht für das Projekt LezBAU:
Lebenszyklus-Bilanzierung in frühen Bauplanungsphasen
zur Analyse von Umweltauswirkungen**
Forschungsinitiative Energieoptimiertes Bauen (EnOB)

**Bestimmung von Effizienzklassen
zur Einordnung von Bauteilen
nach Energieeffizienzstandards**

Darmstadt, 02.08.2024



Autoren:
Guillaume Behem
Julian Bischof
Stefan Swiderek
Patricia Winkler
Novak Kostic

DOI:
10.13140/RG.2.2.13036.58244



Forschungsbeteiligte



Projektdaten

Fördermittelgeber:

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Fkz. 03EN1074A
Laufzeit: Januar 2023 bis
Dezember 2025
Ansprechpartner:
Julian Bischof
+49 6151 / 2904-48
j.bischof@iwu.de

**Projektmitarbeiter -
Institut Wohnen und
Umwelt GmbH:** Julian
Bischof, Marc Großklos,
Jonas Schönefeld, André
Müller, Guillaume Behem,
Jens Calisti, Stefan
Swiderek.

**Frankfurt University of
Applied Sciences:** Volker
Ritter, Novak Kostic,
Patricia Winkler.

**Deutsche Umwelthilfe
e.V.:** Paula Brandmeyer,
Dora Griechisch, Jurga
Tallat-Kelpsaite.

Arge B.A.U.: Günther
Ludewig, Regine Bühler,
Gesine Stöcker, Hartmut
Scherer, Alexander Böhm,
Klaus-Peter Ruland

Inhalt

Abkürzungen	4
Kurzfassung	5
Einleitung.....	6
1. Ermittlung von Effizienzklassen	6
2. Prüfung der Effizienzklassen mit dem Durchspielen von Anlagentechnik-Varianten.....	8
a. Beispielgebäuden für das variieren der Anlagentechnik.....	8
b. Anlagentechnik-Varianten.....	9
3. Ergebnisse der Varianten aus Energieeffizienzklassen und Anlagentechnik	11
a. Einfamilienhaus Neubau	11
b. Einfamilienhaus Sanierung	13
c. Schulgebäude Neubau	14
d. Schulgebäude Sanierung	15
4. Weiterführende Untersuchungen.....	16
a. Einfluss der Lüftungsart bei Sanierungen: Abluftanlage vs. Fensterlüftung	16
b. Einfluss durch Optimierung von Wärmepumpe und Lüftungsanlage	17
Fazit	19
Anhang	20

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
EG	Effizienzgebäude
EH	Effizienzhaus
EM	Energieeffizienzmaßnahme
GEG	Gebäudeenergiegesetz
LWWP	Luft-Wasser-Wärmepumpe
NWG	Nichtwohngebäude
PV	Photovoltaik
SWWP	Sole-Wasser-Wärmepumpe
TWW	Trinkwarmwasser
WG	Wohngebäude
WRG	Wärmerückgewinnung
WP	Wärmepumpe
WWWP	Wasser-Wasser-Wärmepumpe

Kurzfassung

Das LezBAU-Tool soll eine einfache Lebenszyklusbilanzierung eines Gebäudes ermöglichen. Dabei spielen die betriebsbedingten Energieverbräuche durch Heizung und Warmwasser in der Nutzungsphase eine besonders wichtige Rolle. Eine typische Frage, die bei den Nutzern des Tools auftauchen könnte, ist: „Welche Dämmstoffdicken (Bauteil-U-Werte) sollte ich auswählen, um sicherzustellen, dass das Gebäude, das ich bilanzieren will, einen bestimmten Energieeffizienzstandard erreicht?“ Um diese Frage zu antizipieren, sollen im LezBAU-Tool klare Hinweise gegeben werden. Die Frage ist nicht trivial, da die Standarderreichung nicht nur von den Bauteil-U-Werten und Wärmebrückenzuschlägen abhängt, sondern auch von der Art der Anlagentechnik.

Dieser Bericht beschreibt die Entwicklung von Effizienzklassen, die die Nutzerinnen und Nutzer unterstützen sollen, bestimmte Energieeffizienzstandards für das zu bilanzierende Gebäude zu erreichen, und dies für möglichst viele unterschiedliche Anlagentechnik-Varianten. In Abstimmung mit den Praxispartnern wurden zunächst Effizienzklassen vorgeschlagen: „Geringkonditioniert“, „GEG-Minimum“, „Ambitioniert“ und „Hochambitioniert“ für Neubauten sowie „Denkmalgeschützt“, „GEG-Minimum“, „Ambitioniert“ und „Hochambitioniert“ für Sanierungen. Durch Simulationen an Beispielgebäuden (Einfamilienhaus und Schule, für Neubau und Sanierung) wurden die Klassen jeweils für 30 unterschiedliche Anlagentechnik-Varianten überprüft. Die erwarteten Standards konnten mit den Effizienzklassen bei den meisten Anlagentechnik-Varianten erreicht werden, außer bei nicht-erneuerbaren Varianten (Fernwärme nicht erneuerbar und Gasbrennwertkessel ohne PV) sowie beim Beispielgebäude Schule im Neubau mit Wärmepumpen ohne PV, wo die Standards grenzwertig nicht immer erreicht werden.

Anhand dieser Untersuchungen können also im LezBAU-Tool klare Hinweise gegeben werden, inwiefern eine bestimmte Kombination von Bauteilen und Anlagentechnik tendenziell einen bestimmten Standard erreichen kann oder nicht. Zusätzlich wurden Untersuchungen zum Einfluss der Lüftungsarten (Abluftanlage vs. Fensterlüftung) und zur Optimierung von Wärmepumpen und Lüftungsanlagen durchgeführt.

Einleitung

Im LezBAU-Tool soll den Nutzerinnen und Nutzern die Möglichkeit geboten werden, einen bestimmten Energieeffizienzstandard des Gebäudes zu erreichen. Wenn ein Nutzer zum Beispiel ein GEG-taugliches Neubauvorhaben plant, sollen Bauteile und Anlagentechnik-Systeme angeboten werden, die diesen Anforderungen entsprechen. Sollte im Tool festgestellt werden, dass bestimmte Bauteile oder Anlagentechnik-Systeme diese Anforderungen nicht erfüllen, soll ein Hinweis erscheinen. Im Rahmen von LezBAU können keine Echtzeit-GEG-Berechnungen durchgeführt werden, und es kann nicht garantiert werden, dass ein bestimmter Standard auf Basis der Vorauswahl am Untersuchungsgebäude tatsächlich erreicht wird. Es soll jedoch eine Tendenz aufgezeigt werden, zum Beispiel ob das Gebäude eher GEG-konform ist oder sogar einen KfW-Effizienzhausstandard erreichen könnte. Um diese Orientierung zu bieten, wurden zunächst grobe Effizienzklassen definiert:

- **Effizienzklassen bei Neubauten**
 - „Gering-konditioniert“: entspricht das GEG-Referenzgebäude für gering konditionierte Nichtwohngebäude (NWG) mit Raumtemperaturen von 12 bis 19°C.
 - „GEG-Minimum“: entspricht das GEG-Referenzgebäude beim Neubau für Wohngebäude (WG) und NWG
 - „Ambitioniert“: Anforderungen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) Effizienzhaus (EH) 55 bzw. Effizienzgebäude (EG) 55
 - „Hochambitioniert“: Anforderungen der BEG EH/EG 40 sowie Passivhausstandard
- **Effizienzklassen bei Sanierungen**
 - „Denkmalgeschützt“: Anforderung BEG Denkmal WG/ (EG) NWG
 - „GEG-Minimum“: Anforderung GEG-Sanierung WG/NWG
 - „Ambitioniert“: Anforderungen GEG-Sanierung mit Fossil, BEG EH 85/70 / EG 70/55; GEG-Einzelmaßnahmen (EM)
 - „Hochambitioniert“: Anforderungen BEG EH 55/40 EG 40 EM; Passivhaus

Die Standarderreicherung hängt von zwei Hauptfaktoren ab, die in bestimmten Grenzen gehalten werden müssen: den Transmissionswärmeverlusten durch die thermische Gebäudehülle (H_T -Wert) sowie dem Primärenergiebedarf. Beeinflusst werden diese Faktoren einerseits von der Dämmdicke der Bauteile und andererseits von der Art der Anlagentechnik. Um den Einfluss der Kombination von Dämmung und Anlagentechnik auf die Standarderreicherung zu untersuchen, wurden zwei Beispielgebäude (Einfamilienhaus und Schule) definiert und mithilfe der Energieberatungssoftware ZUB Helena simuliert, jeweils für verschiedene Anlagentechnik-Varianten und Effizienzklassen.

1. Ermittlung von Effizienzklassen

Anhand von vier Beispielgebäuden aus IWU-Eigenprojekten und der Software ZUB Helena wurden zunächst 27 GEG-Berechnungen mit unterschiedlicher Anlagentechnik durchgeführt, um erste Grenzwerte für die U-Werte der oben genannten Klassen zu definieren¹. Auf dieser Basis wurden erste Vorschläge für U-Wert-Grenzwerte erarbeitet und mit den Arge B.A.U. Praxispartnern abgestimmt. Die U-Werte wurden so ausgewählt, dass sie die erzielten Standards bei typischer Anlagentechnik-Ausstattung erreichen. Die resultierenden Klassen sind in den zwei folgenden Tabellen zusammengefasst. Die Klasse „Gering-konditioniert“ wird nur zur Information dargestellt und wurde nicht simuliert.

¹ Als Beispielgebäuden wurden das Einfamilienhaus „EFH-E“ aus der deutsche Wohngebäudetypologie (<https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/gebaeudetypologie/>), das Bürogebäude des IWUs (<https://www.iwu.de/forschung/energie/betriebsoptimierung-iwu-haus/>), das Schulgebäude aus ZUB Helena (siehe Anhang), und das Einfamilienhaus-Beispielgebäude aus ZUB Helena für den Neubaufall verwendet.

Tabelle 1: Definition der Effizienzklassen für den Sanierungsfall

SANIERUNG									
		Wohngebäude			Nichtwohngebäude				
Effizienzklasse		Denkmalgeschützt	GEG-Minimum	Ambitioniert	Hochambitioniert	Denkmalgeschützt	GEG-Minimum	Ambitioniert	Hochambitioniert
Erreichbare Standards		BEG Denkmal WG/ (EG) NWG	GEG-Sanierung WG/NWG ohne Fossil	GEG-Sanierung mit Fossil; BEG EH 85/70 / EG 70/55; GEG EM	BEG EH 55/40 EG 40 EM; Passiv	BEG Denkmal WG/ (EG) NWG	GEG-Sanierung WG/NWG ohne Fossil	GEG-Sanierung mit Fossil; BEG EH 85/70 / EG 70/55; GEG EM	BEG EH 55/40 EG 40 EM; Passiv
U-Werte (obere Grenzwerte) [W/m ² ·K]	Außenwände	0.9	0.4	0.2	0.15	0.9	0.5	0.2	0.15
	Dach/oberste Geschossdecke*	0.9	0.4	0.2	0.1	0.9	0.5	0.2	0.1
	Kellerdecke/Bodenplatte*	1.2	0.4	0.2	0.2	1.2	0.5	0.2	0.2
	Fenster	2.4	1.3	1.2	0.8	2.4	1.3	1.2	0.8
	Wärmebrückenzuschlag	0.1	0.1	0.1	0.02	0.1	0.1	0.1	0.02

* Je nach Beheizungssituation des unteren Gebäudeabschlusses bzw. des oberen Geschosses werden entweder die Kellerdecke oder die Bodenplatte bzw. das Dach oder die oberste Geschossdecke als Teil der thermischen Gebäudehülle betrachtet.

Tabelle 2: Definition der U-Wert-Klassen für den Neubaufall

NEUBAU					
		Wohn- und Nichtwohngebäude			
Effizienzklasse		Gering-konditioniert	GEG-Minimum	Ambitioniert	Hochambitioniert
Erreichbare Standards		GEG Referenzgebäude NWG (12-19°C)	GEG Referenzgeb. Neubau WG/NWG	BEG EH/EG 55; GEG vereinfachtes Verfahren	BEG EH/EG 40; Passiv; GEG vereinfachtes Verfahren
U-Werte (obere Grenzwerte) [W/m ² ·K]	Außenwände	0.4	0.3	0.2	0.15
	Dach/oberste Geschossdecke*	0.4	0.2	0.1	0.1
	Kellerdecke/Bodenplatte*	0.4	0.3	0.2	0.15
	Fenster	1.9	1.3	0.9	0.8
	Wärmebrückenzuschlag	0.1	0.05	0.02	0.02

* Je nach Beheizungssituation des unteren Gebäudeabschlusses bzw. des oberen Geschosses werden entweder die Kellerdecke oder die Bodenplatte bzw. das Dach oder die oberste Geschossdecke als Teil der thermischen Gebäudehülle betrachtet.



2. Prüfung der Effizienzklassen mit dem Durchspielen von Anlagentechnik-Varianten

Um zu überprüfen, bei welchen Anlagentechnik-Varianten die definierten Effizienzklassen die erzielten Standards erreichen, wurden im zweiten Schritt auf Basis von zwei Beispielgebäuden 15 Anlagentechnik-Varianten, jeweils mit und ohne Photovoltaik, für allen Effizienzklassen systematisch durchsimuliert. Dabei wurde geprüft, in welchen Fällen die erzielten Standards unter Berücksichtigung der Anlagentechnik tatsächlich erreicht werden und ob Anlagentechnik-Varianten aufgrund der resultierenden Primärenergieverbräuche für gewissen Zielstandards ausgeschlossen werden sollten.

a. Beispielgebäuden für das variieren der Anlagentechnik

Ein Einfamilienhaus und ein Schulgebäude wurden für die Variantenberechnungen hergenommen. Die zwei Beispielgebäuden wurden detailliert in der Studie von Klauß et al. 2010 beschrieben, weswegen in diesem Bericht nur eine kurze Zusammenfassung präsentiert wird². Die Variantenberechnungen wurden nach dem GEG 2024 und der Standard DIN V 18599:2018 durchgeführt. Die geometrischen Eigenschaften der Beispielgebäude sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Eigenschaften der Beispielgebäuden für die Variantenberechnung

	Schule	EFH
		
Bruttovolumen [m ³]	-	465
Nettovolumen [m ³]	13 113,2	353,4
Nettogrundfläche A _{NGF} nach DIN 277 [m ²]	3.897,5	121
Thermische Hüllfläche [m ²]	7.897,5	243,2
Geschosshöhe [m]	3,35	2,75
Anzahl Geschosse [-]	2	2
Breite [m]	Siehe Anhang 1	9,4
Länge [m]	Siehe Anhang 1	10,5
Bauweise [-]	Mittelschwer	Mittelschwer
Wärmespeicherkapazität [Wh/(m ² K)]	90	90
Lage Windabschirmung	Mittel (Windabschirmfaktor 0,05)	Mittel (Windabschirmfaktor 0,05)
Zonen	Zonenübersicht (Nettogrundflächen): <ul style="list-style-type: none"> Klassenzimmer: 1.628 m² WC und Sanitärräume: 183 m² Verkehrsflächen: 1.122 m² Lager, Technik, Archiv: 68 m² Sonstige Aufenthaltsräume: 427 m² Gruppenbüro: 171 m² Kantine: 206 m² Küche in NWG: 92 m² 	Zonenübersicht (Nettogrundflächen): <ul style="list-style-type: none"> Wohnen: 121 m²
PV-Anlage (wenn vorhanden)	Nennleistung: 72,8 kWp Orientierung: Süd Neigung: 30°	Nennleistung: 9,1 kWp Orientierung: Ost/West Neigung: 45°
Solarthermie (wenn vorhanden)	Flachkollektoren mit Kombispeicher Fläche: 158 m ²	Flachkollektoren mit Kombispeicher Fläche: 4 m ²
Heizungsverteilung	Zweirohrnetz, Etagenringtyp, 1.285 m Leitungslänge mit U-Wert 0,2 W/(mK)	Zweirohrnetz, Etagenringtyp, 150 m Leitungslänge mit U-Wert 0,2 W/(mK)
TWW-Verteilung	Steigstrangtyp, 802 m mit U-Wert 0,2 W/(mK)	Steigstrangtyp, 33 m mit U-Wert 0,2 W/(mK)

² Klauß et al. 2010 "Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit", BBSR https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2010/DatenbankModellgebaeude/04_veroeffentlichungen.html

b. Anlagentechnik-Varianten

Die berechneten Anlagentechnik-Varianten sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Die zu untersuchenden Kombinationen stellen ein breites Spektrum an Anlagentechnik-Systeme dar, welche erfahrungsgemäß bei Neubau und der Sanierung von Bestandsgebäuden umgesetzt werden. Insgesamt wurden 15 unterschiedliche Anlagentechnik-Varianten als relevant identifiziert. Zusätzlich wird jede Variante jeweils mit und ohne Photovoltaik-Anlage (PV) simuliert, daher ergeben sich insgesamt 30 Anlagentechnik-Varianten. Die Berücksichtigung von PV ist besonders bei stromgeführten Wärmeerzeugern (Wärmepumpen) relevant. Insgesamt wurden sieben unterschiedlichen Hauptwärmeerzeuger untersucht, mit Luft-Wasser-Wärmepumpe (LWWP), Wasser-Wasser-Wärmepumpe (WWWP), Sole-Wasser-Wärmepumpe (SWWP), Biomasseanlage (Pelletkessel), Fernwärme erneuerbar bzw. nicht erneuerbar, Gasbrennwertkessel sowie bivalente Wärmepumpensysteme mit Gasbrennwertkessel. Zusätzlich wurde die Wärmeabgabeart variiert. Hierbei wurden hauptsächlich Flächenheizungen untersucht und Radiatoren bei Kessel-basierenden-Varianten untersucht. Eine solarthermische Unterstützung der Warmwasserbereitstellung wurde bei Wärmepumpen- sowie Gasbrennwertkessel-Varianten integriert. Es wurden nach DIN V 18599 berechnete Standardwerte für die Puffer- und Trinkwarmwasser-Speichervolumen angenommen (siehe Tabelle 4). Die Lüftung findet in den Neubau-Varianten über zentralen Lüftungsanlagen, mit bzw. ohne Wärmerückgewinnung, statt. In den Sanierungsvarianten findet die Lüftung hauptsächlich über Fensterlüftung und in wenigen Varianten auch über eine dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung statt.

In den meisten Varianten wurden die Standardannahmen von dem Energieberatungssoftware ZUB Helena übernommen. Zur realistischeren Abbildung von Wärmepumpen und Lüftungsanlagen wurden die vorgegebenen Parameter jedoch angepasst. Eine detaillierte Beschreibung dieser Anpassungen ist im Abschnitt „Einfluss der Optimierung der Wärmepumpe und Lüftungsanlage“ dokumentiert.

Tabelle 4: Eigenschaften der durchgespielten Anlagentechnik-Varianten

ID	Systeme nach Erzeuger	Pufferspeichervolumen [l]		Abgabearart	Solarthermie	TWW-Speichervolumen [l]		Lüftungsanlage Neubau		PV vorhanden
		EFH	Schule			EFH	Schule	Neubau	Sanierung	
1	SWWP (Erdkollektor)	107	2.542	Flächenheizung		157	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	
2	WWWP (Brunnen)	107	2.542	Flächenheizung		157	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	
3	SWWP (Erdkollektor)	107	2.542	Flächenheizung	x	157	6.171	Abluftanlage	Fensterlüftung	
4	LWWP	107	2.542	Flächenheizung	x	157	6.171	Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG	
5	WWWP	107	2.542	Flächenheizung	x	157	6.171	Abluftanlage	Fensterlüftung	
6	Biomasseanlage	564	5.000	Radiatoren		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	
7	Fernwärme (erneuerbar)	0	0	Flächenheizung		108	493	Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG	
8	Fernwärme (erneuerbar)	0	0	Radiatoren		108	493	Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG	
9	LWWP	107	2.542	Flächenheizung		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	
10	Bivalentes WP-System	214	5.083	Flächenheizung		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	
11	Bivalentes WP-System	214	5.083	Radiatoren		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	
12	Fernwärme (nicht erneuerbar)	0	0	Flächenheizung		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	
13	Fernwärme (nicht erneuerbar)	0	0	Radiatoren		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	
14	Gasbrennwertgerät	107	2.542	Flächenheizung	x	157	6.171	Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG	
15	Gasbrennwertgerät	107	2.542	Radiatoren	x	157	6.171	Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG	
16	SWWP (Erdkollektor)	107	2.542	Flächenheizung		0	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	x
17	WWWP (Brunnen)	107	2.542	Flächenheizung		0	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	x
18	SWWP (Erdkollektor)	107	2.542	Flächenheizung	x	157	6.171	Abluftanlage	Fensterlüftung	x
19	LWWP	107	2.542	Flächenheizung	x	157	6.171	Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG	x
20	WWWP	107	2.542	Flächenheizung	x	157	6.171	Abluftanlage	Fensterlüftung	x
21	Biomasseanlage	564	5.000	Radiatoren		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	x
22	Fernwärme (erneuerbar)	0	0	Flächenheizung		108	493	Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG	x
23	Fernwärme (erneuerbar)	0	0	Radiatoren		108	493	Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG	x
24	LWWP	107	2.542	Flächenheizung		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	x
25	Bivalentes WP-System	214	5.083	Flächenheizung		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	x
26	Bivalentes WP-System	214	5.083	Radiatoren		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	x
27	Fernwärme (nicht erneuerbar)	0	0	Flächenheizung		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	x
28	Fernwärme (nicht erneuerbar)	0	0	Radiatoren		108	493	Abluftanlage	Fensterlüftung	x
29	Gasbrennwertgerät	107	2.542	Flächenheizung	x	157	6.171	Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG	x
30	Gasbrennwertgerät	107	2.542	Radiatoren	x	157	6.171	Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG	x

3. Ergebnisse der Varianten aus Energieeffizienzklassen und Anlagentechnik

a. Einfamilienhaus Neubau

Beim Einfamilienhausmodell im Neubau werden die erwarteten Standards in der Regel erreicht. Ausnahmen bilden die Versorgungsvarianten mit Fernwärme (nicht erneuerbar), Gasbrennwertkesseln und bivalenten Luft-Wärmepumpen mit Gasbrennwertkesseln ohne PV. Letztere sind erst ab der ambitionierten Effizienzklasse „Hochambitioniert“ GEG-konform. Ist eine PV-Anlage vorhanden sind Gasbrennwertkessel bereits ab der Effizienzklasse „Ambitioniert“ GEG-kompatibel.

Tabelle 5: Erreichter Effizienzstandard bei verschiedenen Anlagentechnik-Varianten für das EFH-Beispielgebäude (Neubau)

Anlagentechnik-Varianten EFH NEUBAU (optimierte Anlagentechnik)							Erreichter Effizienzstandard		
Anlagentechnik-ID	Systeme nach Erzeuger	Pufferspeicher	Abgabearart	Solarthermie	Lüftungsanlage	PV	Kein Standard erreicht	GEG 2024	EH 40
1	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung		Abluftanlage			●●	●
2	WWWP (Brunnen)	x	Flächenheizung		Abluftanlage			●●	●
3	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung	x	Abluftanlage			●●	●
4	LWWP	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG			●●	●
5	WWWP	x	Flächenheizung	x	Abluftanlage			●●	●
6	Biomasseanlage	x	Radiatoren		Abluftanlage			●●	●
7	Fernwärme (erneuerbar)		Flächenheizung		Lüftungsanlage mit WRG			●●	●
8	Fernwärme (erneuerbar)		Radiatoren		Lüftungsanlage mit WRG			●●	●
9	LWWP	x	Flächenheizung		Abluftanlage			●●	●
10	Bivalentes WP-System	x	Flächenheizung		Abluftanlage			●●	●
11	Bivalentes WP-System	x	Radiatoren		Abluftanlage		●	●●	
12	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Flächenheizung		Abluftanlage		●	●●	
13	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Radiatoren		Abluftanlage		●	●●	
14	Gasbrennwertgerät	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG		●●	●	
15	Gasbrennwertgerät	x	Radiatoren	x	Lüftungsanlage mit WRG		●●	●	
16	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung		Abluftanlage	x		●●	●
17	WWWP (Brunnen)	x	Flächenheizung		Abluftanlage	x		●●	●
18	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung	x	Abluftanlage	x		●●	●
19	LWWP	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG	x		●●	●
20	WWWP	x	Flächenheizung	x	Abluftanlage	x		●●	●
21	Biomasseanlage	x	Radiatoren		Abluftanlage	x		●●	●
22	Fernwärme (erneuerbar)		Flächenheizung		Lüftungsanlage mit WRG	x		●●	●
23	Fernwärme (erneuerbar)		Radiatoren		Lüftungsanlage mit WRG	x		●●	●
24	LWWP	x	Flächenheizung		Abluftanlage	x		●●	●
25	Bivalentes WP-System	x	Flächenheizung		Abluftanlage	x		●●	●
26	Bivalentes WP-System	x	Radiatoren		Abluftanlage	x		●●	●
27	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Flächenheizung		Abluftanlage	x	●	●●	
28	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Radiatoren		Abluftanlage	x	●	●●	
29	Gasbrennwertgerät	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG	x	●	●●	
30	Gasbrennwertgerät	x	Radiatoren	x	Lüftungsanlage mit WRG	x	●	●●	

Legende

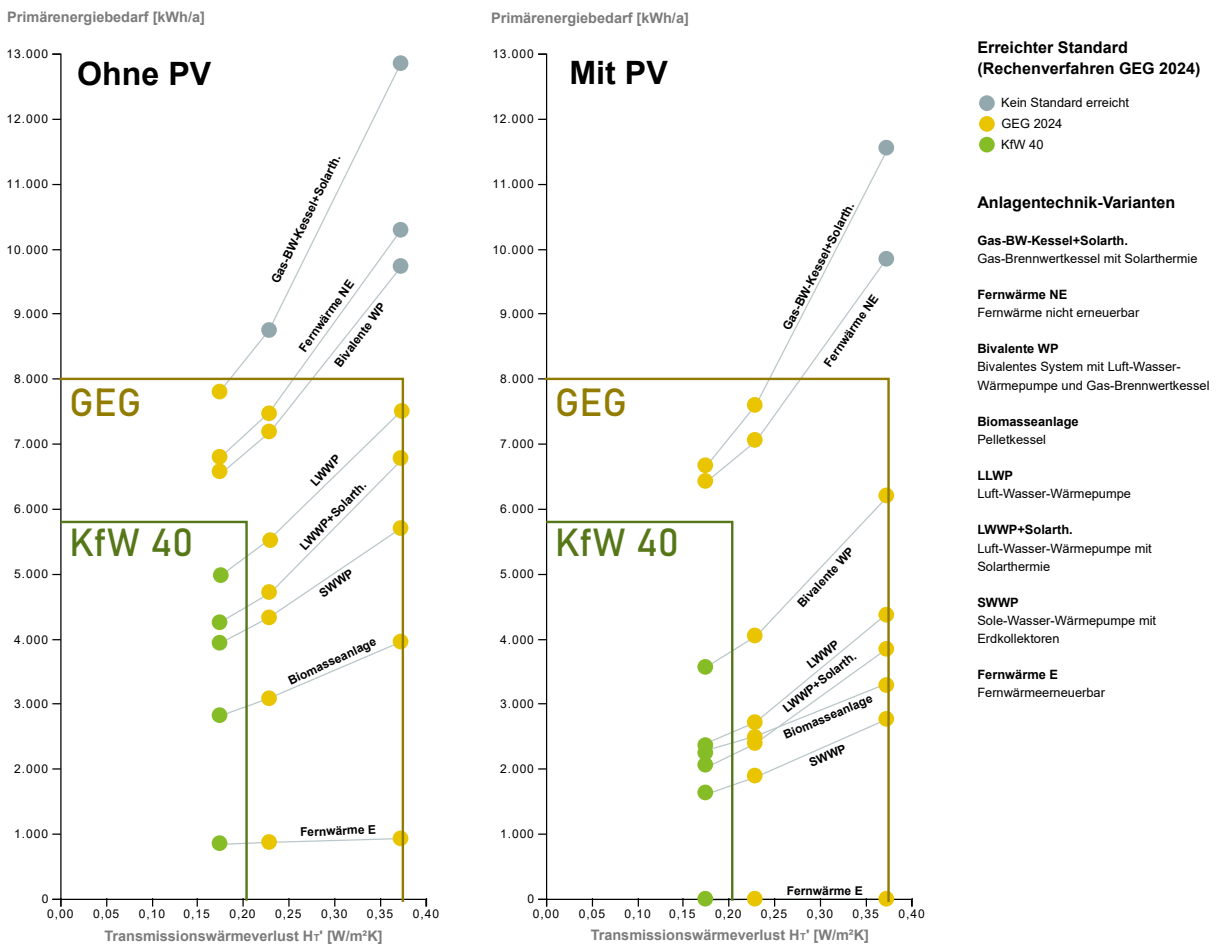
Effizienzklassen Neubau		U-Werte bzw. Wärmebrückenzuschlag [W/(m²·K)]				
		Außenwände	Dach bzw. oberste Geschossdecke	Kellerdecke bzw. Bodenplatte	Fenster	Wärmebrückenzuschlag
GEG-Minimum	●	0,3	0,2	0,3	1,3	0,05
Ambitioniert	●	0,2	0,1	0,2	0,9	0,02
Hochambitioniert	●	0,15	0,1	0,15	0,8	0,02

Eine alternative Darstellung der Ergebnisse in Abbildung 1 zeigt für ausgewählte Anlagentechnikvarianten³, inwiefern die Dämmung der Gebäudehülle über die Transmissionswärmeverluste und die Auswahl der Anlagentechnik über den Primärenergiebedarf die Erreichung des Standards beeinflussen. In der Abbildung sind die Bereiche markiert, innerhalb derer die GEG- bzw. die KfW 40-Anforderungen erfüllt sind (d.h. die Grenzwerte für Primärenergiebedarf und Transmissionswärmeverluste werden eingehalten).

Es zeigt sich, dass fossile Energieträger (Gas-Brennwertkessel mit Solarthermie, sowie Fernwärme nicht erneuerbar) im Neubau bei gut gedämmter Gebäudehülle noch GEG-tauglich sind. Außer mit bivalenter LWWP mit Gas-Brennwertkessel und PV kann allerdings mit reinem fossilem Energieträger kein KfW 40-Standard erreicht werden. Die Verwendung von PV führt zu einer signifikanten Reduzierung des Primärenergiebedarfs, was besonders bei Wärmepumpensystemen vorteilhaft ist. Die Variante LLWP mit Solarthermie schneidet dank PV besser ab als der Biomassekessel mit einer gut gedämmten Gebäudehülle ($H_{tr}' < 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Dank PV erreicht die Variante mit bivalenter Wärmepumpe und Gasbrennwertkessel den Standard KfW 40 bei einer sehr gut gedämmten Gebäudehülle mit $H_{tr}' = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, was der Effizienzklasse „Hochambitioniert“ entspricht. Bei den Varianten mit erneuerbarer Fernwärme ist der PV-Gutschrift größer als der Primärenergiebedarf des Gebäudes.

Abbildung 1: Erreichte Energieeffizienzstandards je nach Anlagentechnik-Variante für das EFH-Beispielgebäude (Neubau)

Welche Standards können mit welchen Anlagentechnik-Varianten erreicht werden? Beispielgebäude Einfamilienhaus Neubau



³ Es handelt sich um den Varianten mit den folgenden IDs: 1, 4, 6, 7, 11, 12, 15, 16, 19, 21, 22, 26, 27, 30.

b. Einfamilienhaus Sanierung

Bei der Sanierungsvariante des Einfamilienhauses werden fast immer den erwarteten Standards erreicht. Ausnahmen bilden teilweise die fossil-basierten Varianten Fernwärme (nicht erneuerbar) und die Versorgung über einen Gasbrennwertkessel.

Tabelle 6: Erreichter Effizienzstandard bei verschiedenen Anlagentechnik-Varianten für das EFH-Beispielgebäude (Sanierung)

Anlagentechnik-Varianten EFH SANIERUNG (Anlagentechnik optimiert)							Erreichter Effizienzstandard						
Anlagentechnik-ID	Systeme nach Erzeuger	Pufferspeicher	Abgabeart	Solarthermie	Lüftungsanlage	PV	Kein Standard erreicht	EH Denkmal	GEG Sanierung	EH 85	EH 70	EH 55	EH 40
1	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung		Fensterlüftung			●	●	●			●
2	WWWP (Brunnen)	x	Flächenheizung		Fensterlüftung			●	●	●			●
3	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung	x	Fensterlüftung			●	●	●			●
4	LWWP	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG			●	●	●			●
5	WWWP	x	Flächenheizung	x	Fensterlüftung			●	●	●			●
6	Biomasseanlage	x	Radiatoren		Fensterlüftung			●	●	●			●
7	Fernwärme (erneuerbar)		Flächenheizung		Lüftungsanlage mit WRG			●	●	●			●
8	Fernwärme (erneuerbar)		Radiatoren		Lüftungsanlage mit WRG			●	●	●			●
9	LWWP	x	Flächenheizung		Fensterlüftung			●	●	●			●
10	Bivalentes WP-System	x	Flächenheizung		Fensterlüftung			●	●	●			●
11	Bivalentes WP-System	x	Radiatoren		Fensterlüftung			●	●	●		●	●
12	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Flächenheizung		Fensterlüftung		●	●	●	●		●	●
13	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Radiatoren		Fensterlüftung		●	●	●	●		●	●
14	Gasbrennwertgerät	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG		●	●	●	●		●	●
15	Gasbrennwertgerät	x	Radiatoren	x	Lüftungsanlage mit WRG		●	●	●	●		●	●
16	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung		Fensterlüftung	x		●	●	●			●
17	WWWP (Brunnen)	x	Flächenheizung		Fensterlüftung	x		●	●	●			●
18	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung	x	Fensterlüftung	x		●	●	●			●
19	LWWP	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG	x		●	●	●			●
20	WWWP	x	Flächenheizung	x	Fensterlüftung	x		●	●	●			●
21	Biomasseanlage	x	Radiatoren		Fensterlüftung	x		●	●	●			●
22	Fernwärme (erneuerbar)		Flächenheizung		Lüftungsanlage mit WRG	x		●	●	●			●
23	Fernwärme (erneuerbar)		Radiatoren		Lüftungsanlage mit WRG	x		●	●	●			●
24	LWWP	x	Flächenheizung		Fensterlüftung	x		●	●	●			●
25	Bivalentes WP-System	x	Flächenheizung		Fensterlüftung	x		●	●	●			●
26	Bivalentes WP-System	x	Radiatoren		Fensterlüftung	x		●	●	●			●
27	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Flächenheizung		Fensterlüftung	x	●	●	●	●		●	●
28	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Radiatoren		Fensterlüftung	x	●	●	●	●		●	●
29	Gasbrennwertgerät	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG	x	●	●	●	●		●	●
30	Gasbrennwertgerät	x	Radiatoren	x	Lüftungsanlage mit WRG	x	●	●	●	●		●	●

Legende:

Effizienzklassen Sanierung		U-Werte bzw. Wärmebrückenzuschlag [W/(m²·K)]				
		Außenwände	Dach bzw. oberste Geschossdecke	Kellerdecke bzw. Bodenplatte	Fenster	Wärmebrücken-Zuschlag
Denkmalgeschützt	●	0,9	0,9	1,2	2,4	0,1
GEG-Minimum	●	0,4	0,4	0,4	1,3	0,1
Ambitioniert	●	0,2	0,2	0,2	1,2	0,1
Hochambitioniert	●	0,15	0,1	0,2	0,8	0,02

c. Schulgebäude Neubau

Die Ergebnisse für das Schulgebäude im Neubau zeigen, dass Gasbrennwertkessel aufgrund des zu hohen Primärenergiebedarfs für die Erreichung der GEG-Standards ausgeschlossen sind, auch in Kombination mit PV-Anlagen. Mit Fernwärme (nicht erneuerbar) ist die Erreichung der erwarteten Standards schwierig und nur mit ambitionierten U-Werten bzw. in Kombination mit PV möglich. Bei bivalenten Wärmepumpensysteme ohne PV ist die Standarderreichung grenzwertig: mit Radiatoren wird den GEG-Standard knapp verpasst, während mit Flächenheizung je nach Ambitionsniveau der GEG-Standard bzw. der KfW EG 55 Standard erreicht wird.

Tabelle 7: Erreichter Effizienzstandard bei verschiedenen Anlagentechnik-Varianten für das Beispielgebäude Schule (Neubau)

Anlagentechnik-Varianten Schule NEUBAU							Erreichter Effizienzstandard			
Anlagen-technik-ID	Systeme nach Erzeuger	Puffer-speicher	Abgabeart	Solar-thermie	Lüftungsanlage	PV	Kein Standard erreicht	GEG 2024	EG 55	EG 40
1	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung		Abluftanlage			●	●	●
2	WWWP (Brunnen)	x	Flächenheizung		Abluftanlage			●		●●
3	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung	x	Abluftanlage			●		●●
4	LWWP	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG			●	●●	
5	WWWP	x	Flächenheizung	x	Abluftanlage			●		●●
6	Biomasseanlage	x	Radiatoren		Abluftanlage			●		●●
7	Fernwärme (erneuerbar)		Flächenheizung		Lüftungsanlage mit WRG			●		●●
8	Fernwärme (erneuerbar)		Radiatoren		Lüftungsanlage mit WRG			●		●●
9	LWWP	x	Flächenheizung		Abluftanlage			●	●●	
10	Bivalentes WP-System	x	Flächenheizung		Abluftanlage			●	●●	
11	Bivalentes WP-System	x	Radiatoren		Abluftanlage		●●●			
12	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Flächenheizung		Abluftanlage		●●●			
13	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Radiatoren		Abluftanlage		●●●			
14	Gasbrennwertgerät	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG		●●●			
15	Gasbrennwertgerät	x	Radiatoren	x	Lüftungsanlage mit WRG		●●●			
16	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung		Abluftanlage	x		●		●●
17	WWWP (Brunnen)	x	Flächenheizung		Abluftanlage	x		●		●●
18	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung	x	Abluftanlage	x		●		●●
19	LWWP	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG	x		●		●●
20	WWWP	x	Flächenheizung	x	Abluftanlage	x		●		●●
21	Biomasseanlage	x	Radiatoren		Abluftanlage	x		●		●●
22	Fernwärme (erneuerbar)		Flächenheizung		Lüftungsanlage mit WRG	x		●		●●
23	Fernwärme (erneuerbar)		Radiatoren		Lüftungsanlage mit WRG	x		●		●●
24	LWWP	x	Flächenheizung		Abluftanlage	x		●		●●
25	Bivalentes WP-System	x	Flächenheizung		Abluftanlage	x		●		●●
26	Bivalentes WP-System	x	Radiatoren		Abluftanlage	x		●	●●	●●
27	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Flächenheizung		Abluftanlage	x	●●		●	
28	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Radiatoren		Abluftanlage	x	●		●●	
29	Gasbrennwertgerät	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG	x	●●●			
30	Gasbrennwertgerät	x	Radiatoren	x	Lüftungsanlage mit WRG	x	●●●			

Legende

Effizienzklassen Neubau		U-Werte bzw. Wärmebrückenzuschlag [W/(m²·K)]				
		Außenwände	Dach bzw. oberste Geschossdecke	Kellerdecke bzw. Bodenplatte	Fenster	Wärmebrückenzu- schlag
GEG-Minimum	●	0,3	0,2	0,3	1,3	0,05
Ambitioniert	●	0,2	0,1	0,2	0,9	0,02
Hochambitioniert	●	0,15	0,1	0,15	0,8	0,02

d. Schulgebäude Sanierung

Im Sanierungsfall für das Schulgebäude werden in den meisten Varianten die erwarteten Standards erreicht. Nur beim Gasbrennwertkessel und bei Fernwärme (nicht erneuerbar) kommt es zu keiner Standarderreicherung.

Tabelle 8: Erreichter Effizienzstandard bei verschiedenen Anlagentechnik-Varianten für das Beispielgebäude Schule (Sanierung)

Anlagentechnik-Varianten Schule SANIERUNG							Erreichter Effizienzstandard					
Anlagentechnik-ID	Systeme nach Erzeuger	Pufferspeicher	Abgabeart	Solarthermie	Lüftungsanlage	PV	Kein Standard erreicht	EG Denkmal	GEG 2024	EG 70	EG 55	EG 40
1	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung		Fensterlüftung			●	●		●	●
2	WWWP (Brunnen)	x	Flächenheizung		Fensterlüftung			●	●		●	●
3	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung	x	Fensterlüftung			●	●		●	●
4	LWWP	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG			●	●	●	●	●
5	WWWP	x	Flächenheizung	x	Fensterlüftung			●	●		●	●
6	Biomasseanlage	x	Radiatoren		Fensterlüftung			●	●		●	●
7	Fernwärme (erneuerbar)		Flächenheizung		Lüftungsanlage mit WRG			●	●		●	●
8	Fernwärme (erneuerbar)		Radiatoren		Lüftungsanlage mit WRG			●	●		●	●
9	LWWP	x	Flächenheizung		Fensterlüftung			●	●		●	●
10	Bivalentes WP-System	x	Flächenheizung		Fensterlüftung			●	●		●	●
11	Bivalentes WP-System	x	Radiatoren		Fensterlüftung			●	●	●	●	●
12	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Flächenheizung		Fensterlüftung			●	●	●	●	●
13	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Radiatoren		Fensterlüftung			●	●	●	●	●
14	Gasbrennwertgerät	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG		●		●	●	●	●
15	Gasbrennwertgerät	x	Radiatoren	x	Lüftungsanlage mit WRG		●		●	●	●	●
16	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung		Fensterlüftung	x		●	●		●	●
17	WWWP (Brunnen)	x	Flächenheizung		Fensterlüftung	x		●	●		●	●
18	SWWP (Erdkollektor)	x	Flächenheizung	x	Fensterlüftung	x		●	●		●	●
19	LWWP	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG	x		●	●		●	●
20	WWWP	x	Flächenheizung	x	Fensterlüftung	x		●	●		●	●
21	Biomasseanlage	x	Radiatoren		Fensterlüftung	x		●	●		●	●
22	Fernwärme (erneuerbar)		Flächenheizung		Lüftungsanlage mit WRG	x		●	●		●	●
23	Fernwärme (erneuerbar)		Radiatoren		Lüftungsanlage mit WRG	x		●	●		●	●
24	LWWP	x	Flächenheizung		Fensterlüftung	x		●	●		●	●
25	Bivalentes WP-System	x	Flächenheizung		Fensterlüftung	x		●	●		●	●
26	Bivalentes WP-System	x	Radiatoren		Fensterlüftung	x		●	●		●	●
27	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Flächenheizung		Fensterlüftung	x		●	●	●	●	●
28	Fernwärme (nicht erneuerbar)		Radiatoren		Fensterlüftung	x		●	●	●	●	●
29	Gasbrennwertgerät	x	Flächenheizung	x	Lüftungsanlage mit WRG	x	●		●	●	●	●
30	Gasbrennwertgerät	x	Radiatoren	x	Lüftungsanlage mit WRG	x	●		●	●	●	●

Legende

Effizienzklassen Sanierung		U-Werte bzw. Wärmebrückenzuschlag [W/(m²·K)]				
		Außenwände	Dach bzw. oberste Geschossdecke	Kellerdecke bzw. Bodenplatte	Fenster	Wärmebrücken-Zuschlag
Denkmalgeschützt	●	0,9	0,9	1,2	2,4	0,1
GEG-Minimum	●	0,5	0,5	0,5	1,3	0,1
Ambitioniert	●	0,2	0,2	0,2	1,2	0,1
Hochambitioniert	●	0,15	0,1	0,2	0,8	0,02

4. Weiterführende Untersuchungen

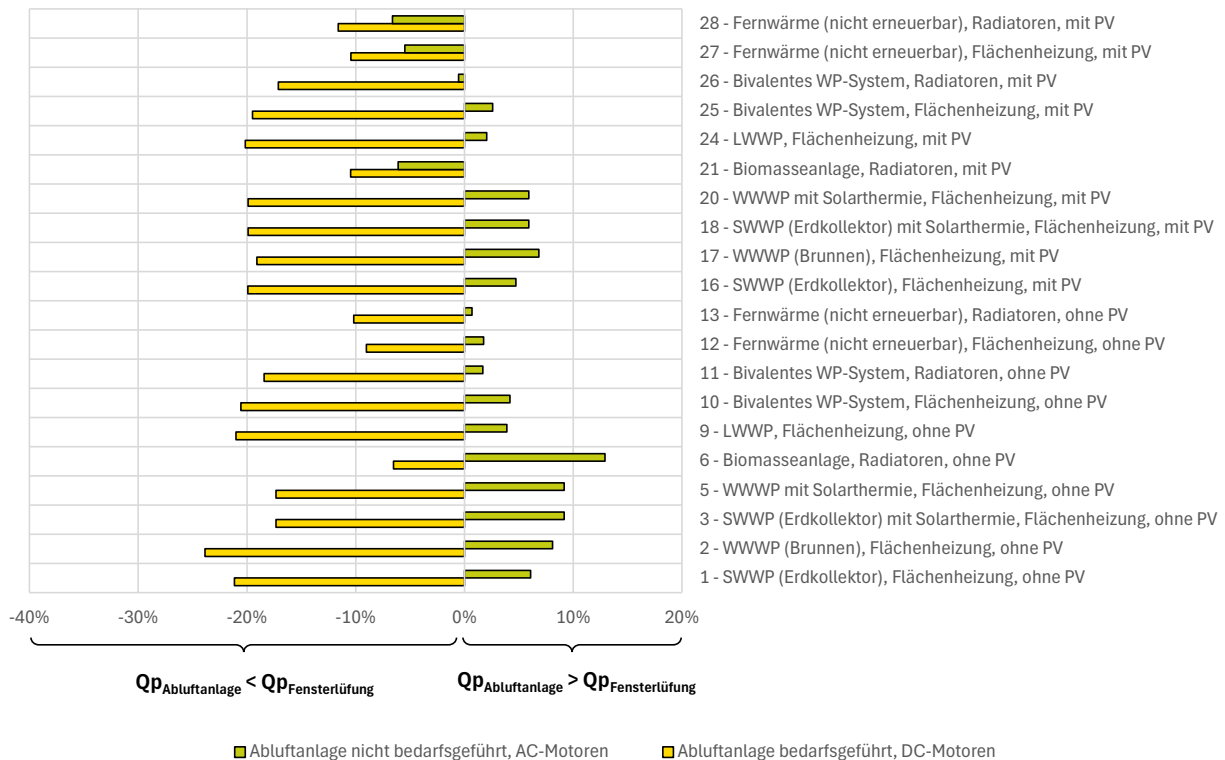
a. Einfluss der Lüftungsart bei Sanierungen: Abluftanlage vs. Fensterlüftung

Die Lüftungsart beeinflusst den Primärenergiebedarf in verschiedener Weise. Einerseits verbraucht eine Abluftanlage Strom, andererseits kann sie dazu beitragen, Lüftungswärmeverluste zu reduzieren, indem nur die benötigten Luftmengen ausgetauscht werden. Bei Sanierungen wurde bei den meisten Varianten davon ausgegangen, dass die Lüftung über Fenster stattfindet (siehe Tabelle 3). Allerdings gibt es auch die Möglichkeit, bei Sanierungen dezentrale Abluftanlagen einzubauen. Es stellt sich also die Frage, inwiefern der Einsatz von Abluftanlagen anstelle von Fensterlüftung die Ergebnisse beeinflusst. Um dies zu untersuchen, wurde am Beispiel des Einfamilienhauses für den Sanierungsfall mit der Effizienzklasse „Ambitioniert“ drei Lüftungskonzepte simuliert und verglichen:

- Fensterlüftung als Referenzvariante
- Eine nicht-bedarfsgeführte Abluftanlage mit AC-Motoren („nicht optimiert“)
- Eine bedarfsgeführte Abluftanlage mit sparsameren DC-Motoren („optimiert“)

Die Ergebnisse der Untersuchung sind als Primärenergieeinsparungen bzw. Mehrverbrauch gegenüber Fensterlüftung in Abbildung 2 dargestellt (die Nummern in den Variantennamen entsprechen den Varianten-IDs aus Tabelle 4). Die Ergebnisse zeigen tendenziell, dass die nicht-optimierte Abluftanlage leicht höhere Primärenergiebedarfe als Fensterlüftung aufweist (bis zu 13 % Mehrverbrauch). Im Gegensatz dazu führt die optimierte Abluftanlage zu Primärenergieeinsparungen von bis zu 24 % im Vergleich zu Fensterlüftung. Insgesamt halten sich die Abweichungen in Grenzen, und sie führen daher auch nicht zu Änderungen in den erreichten Energiestandards. Aus diesem Grund wird für die Anwendung in LezBAU davon ausgegangen, dass die Erreichung der Standards durch die Auswahl zwischen Fensterlüftung und Abluftanlage nicht signifikant beeinflusst wird.

Abbildung 2: Primärenergieeinsparungen (-) bzw. Mehrverbrauch (+) durch den Einsatz einer Abluftanlage im Vergleich zu Fensterlüftung



b. Einfluss durch Optimierung von Wärmepumpe und Lüftungsanlage

Wie im Abschnitt „Anlagentechnik-Varianten“ beschrieben, wurden für Wärmepumpensysteme und Lüftungsanlagen abweichend von den Standardeinstellungen der Energieberatersoftware ZUB-Helena folgende Parameter angepasst:

- Betriebsweise der Wärmepumpe: Parallelbetrieb statt Alternativbetrieb bei monoenergetischem Betrieb (Heizstab als Zusatzheizer) sowie bei bivalentem Betrieb (Gasbrennwertkessel als Zusatzheizer)
- Bei monoenergetischem Betrieb wird der Heizstab nur zur Unterstützung der TWW-Bereitstellung verwendet, und nicht zur Heizungsunterstützung.
- Maximale Temperatur der Trinkwarmwasserversorgung: 60°C
- PI-Regelung für die Wärmeabgabe bei Flächenheizungen, was zu Primärenergieeinsparungen führt im Vergleich zu Systemen ohne Regelung.
- Bei Lüftungsanlagen wurden weitere Optimierungen durchgeführt, die zu Einsparungen führen: DC- statt AC-Motoren und bedarfsgesteuerte Lüftungsanlagen.

Die Primärenergieeinsparungen, die durch die Kombination dieser Optimierungen entstehen, sind in Tabelle 9 zu finden. Wie erwartet, sind die höchsten absoluten Einsparungen bei Systemen mit Wärmepumpen zu finden. Je effizienter die Gebäudehülle, desto höher sind die relativen Einsparungen, die durch diese Optimierungen entstehen.

Tabelle 9: Primärenergieeinsparungen, die durch Optimierung der Wärmepumpen- und Lüftungsanlagen-Systeme entstehen

	EFH NEUBAU						EFH Sanierung							
	Primärenergieeinsparungen absolut [kWh]			Primärenergieeinsparungen relativ			Primärenergieeinsparungen absolut [kWh]				Primärenergieeinsparungen relativ			
	GEG Minimum	Advanced	High Efficiency	GEG Minimum	Advanced	High Efficiency	Heritage Building	GEG Minimum	Advanced	High Efficiency	Heritage Building	GEG Minimum	Advanced	High Efficiency
1 - SWWP (Erdkollektor), Flächenheizung, ohne PV	-1.238	-1.237	-1.237	-18%	-22%	-24%	-1.576	-1.560	-1.179	-1.187	-11%	-17%	-16%	-22%
2 - WWWP (Brunnen), Flächenheizung, ohne PV	-1.302	-1.301	-1.301	-21%	-27%	-30%	-1.683	-1.213	-1.222	-1.227	-13%	-16%	-20%	-27%
3 - SWWP (Erdkollektor) mit Solarthermie, Flächenheizung, ohne PV	-843	-845	-846	-15%	-20%	-23%	-1.155	-686	-697	-707	-9%	-10%	-13%	-18%
4 - LWWP mit Solarthermie, Flächenheizung, ohne PV	-1.200	-1.212	-1.209	-15%	-20%	-23%	-1.365	-1.378	-1.390	-1.410	-7%	-13%	-17%	-24%
5 - WWWP mit Solarthermie, Flächenheizung, ohne PV	-1.054	-1.051	-1.050	-18%	-24%	-27%	-1.155	-686	-697	-707	-9%	-10%	-13%	-18%
6 - Biomasseanlage, Radiatoren, ohne PV	-403	-351	-350	-9%	-10%	-11%	-568	-89	-91	-99	-6%	-2%	-2%	-3%
7 - Fernwärme (erneuerbar), Flächenheizung, ohne PV	-545	-546	-545	-37%	-39%	-39%	-736	-735	-735	-736	-37%	-40%	-41%	-42%
8 - Fernwärme (erneuerbar), Radiatoren, ohne PV	-544	-544	-545	-39%	-40%	-40%	-737	-736	-737	-737	-41%	-42%	-43%	-44%
9 - LWWP, Flächenheizung, ohne PV	-1.798	-1.809	-1.819	-19%	-25%	-28%	-1.719	-1.431	-1.454	-1.497	-9%	-12%	-16%	-22%
10 - Bivalentes WP-System, Flächenheizung, ohne PV	-1.831	-1.843	-1.890	-19%	-25%	-28%	-1.644	-1.406	-1.413	-1.448	-8%	-12%	-15%	-21%
11 - Bivalentes WP-System, Radiatoren, ohne PV	-1.698	-1.703	-1.712	-15%	-19%	-22%	-1.205	-1.298	-1.341	-1.431	-5%	-9%	-12%	-17%
12 - Fernwärme (nicht erneuerbar), Flächenheizung, ohne PV	-580	-563	-554	-5%	-7%	-8%	-300	-219	-234	-262	-1%	-2%	-2%	-4%
13 - Fernwärme (nicht erneuerbar), Radiatoren, ohne PV	-574	-558	-547	-5%	-7%	-8%	127	-227	-242	-270	1%	-2%	-2%	-4%
14 - Gasbrennwertgerät, Flächenheizung, ohne PV	-679	-668	-664	-5%	-7%	-8%	-767	-811	-840	-889	-2%	-4%	-6%	-10%
15 - Gasbrennwertgerät, Radiatoren, ohne PV	-676	-665	-663	-5%	-7%	-8%	-771	-821	-850	-898	-2%	-4%	-6%	-10%
16 - SWWP (Erdkollektor), Flächenheizung, mit PV	-475	-408	-408	-15%	-18%	-20%	-721	-861	-500	-358	-8%	-17%	-14%	-17%
17 - WWWP (Brunnen), Flächenheizung, mit PV	-432	-431	-431	-16%	-24%	-29%	-794	-581	-382	-378	-10%	-15%	-14%	-22%
18 - SWWP (Erdkollektor) mit Solarthermie, Flächenheizung, mit PV	-460	-460	-459	-17%	-24%	-29%	-762	-540	-416	-413	-9%	-14%	-15%	-23%
19 - LWWP mit Solarthermie, Flächenheizung, mit PV	-728	-569	-570	-16%	-19%	-23%	888	886	822	637	-7%	-13%	-18%	-23%
20 - WWWP mit Solarthermie, Flächenheizung, mit PV	-573	-575	-576	-20%	-29%	-34%	-762	-540	-416	-413	-9%	-14%	-15%	-23%
21 - Biomasseanlage, Radiatoren, mit PV	-137	-87	-85	-4%	-3%	-4%	191	-38	-42	-51	2%	-1%	-1%	-2%
22 - Fernwärme (erneuerbar), Flächenheizung, mit PV	0	0	0	-	-	-	-60	-42	-34	-26	-	-	-	-
23 - Fernwärme (erneuerbar), Radiatoren, mit PV	0	0	0	-	-	-	-33	-24	-20	-16	-	-	-	-
24 - LWWP, Flächenheizung, mit PV	-958	-725	-654	-18%	-21%	-23%	-810	-776	-674	-490	-6%	-11%	-13%	-16%
25 - Bivalentes WP-System, Flächenheizung, mit PV	-991	-761	-720	-19%	-21%	-24%	-783	-752	-633	-445	-5%	-10%	-12%	-14%
26 - Bivalentes WP-System, Radiatoren, mit PV	-919	-822	-733	-13%	-17%	-18%	-434	-493	-582	-575	-2%	-5%	-8%	-13%
27 - Fernwärme (nicht erneuerbar), Flächenheizung, mit PV	-324	-307	-297	-3%	-4%	-5%	524	446	-184	-211	2%	3%	-2%	-3%
28 - Fernwärme (nicht erneuerbar), Radiatoren, mit PV	-320	-305	-293	-3%	-4%	-5%	955	-174	-190	-217	4%	-1%	-2%	-3%
29 - Gasbrennwertgerät, Flächenheizung, mit PV	-208	-176	-172	-2%	-2%	-3%	-266	-259	-237	-218	-1%	-2%	-2%	-3%
30 - Gasbrennwertgerät, Radiatoren, mit PV	-186	-175	-170	-2%	-2%	-3%	-220	-194	-183	-221	-1%	-1%	-2%	-3%

Fazit

Die in Tabelle 1 definierten Effizienzklassen können im Rahmen von LezBAU verwendet werden, um den Nutzerinnen und Nutzern Orientierung bei der Erreichung bestimmter Standards zu geben. Die Werte wurden einerseits in einem iterativen Prozess zwischen den (Praxis-)Partnern abgestimmt und andererseits anhand GEG-konformer Berechnungen von zwei Beispielgebäuden geprüft: einem Einfamilienhaus und einem Schulgebäude, jeweils als Neubau und Sanierungsfall.

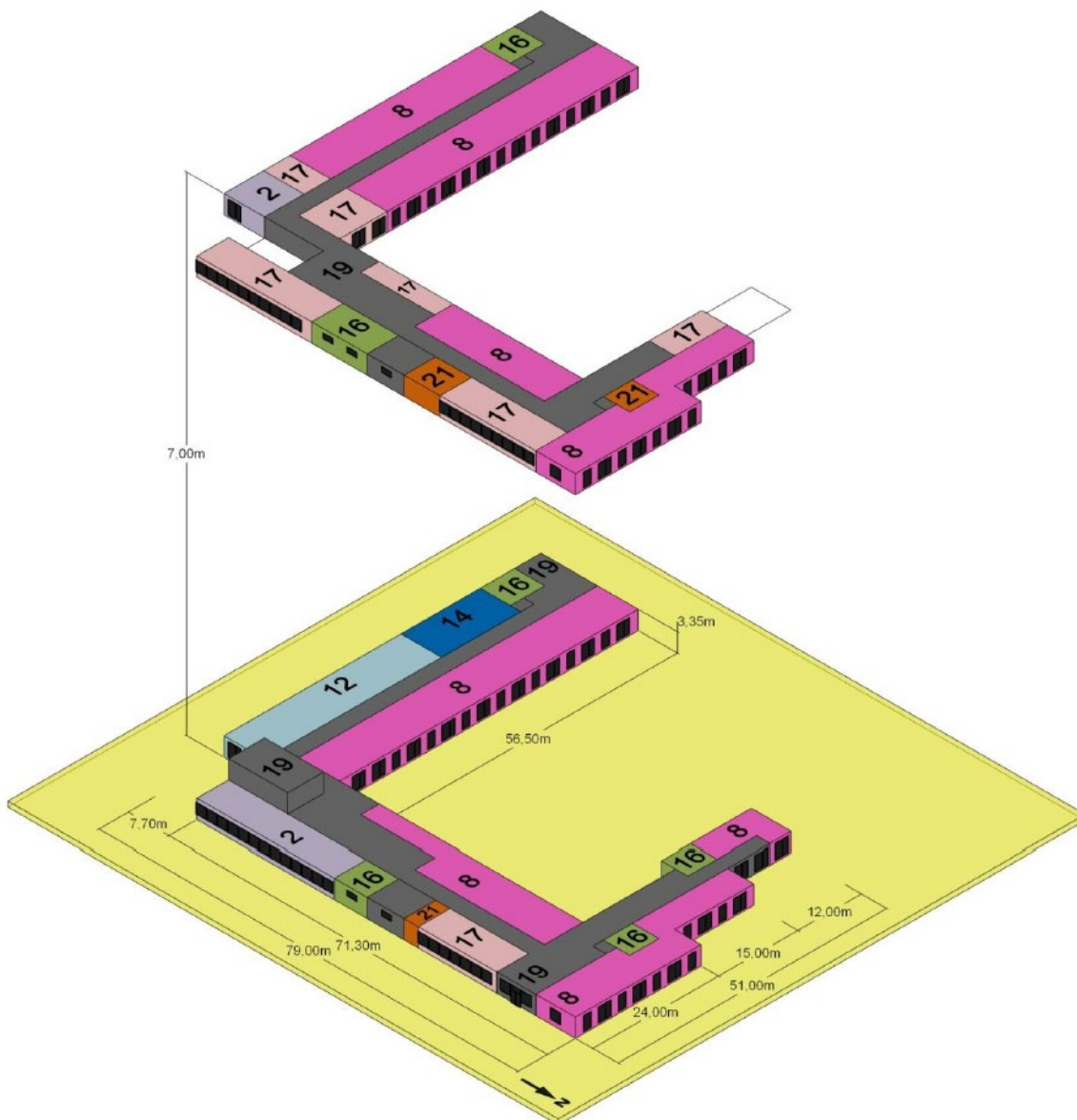
Bei den zwei untersuchten Beispielgebäuden konnten die erwarteten Standards in den meisten Fällen mit der Verwendung der entsprechenden Effizienzklassen erreicht werden. Ausnahmen sind die fossil betriebenen Anlagen mit Gasbrennwertkessel mit Solarthermie und nicht erneuerbarer Fernwärme. Bei diesen zwei Varianten werden sowohl für das EFH- als auch das Nichtwohn-Beispielgebäude die erwarteten Standards in den meisten Fällen nicht erreicht. Dies erscheint angesichts des Klimaschutzes sinnvoll, denn mit einer durchschnittlichen Lebensdauer von 18 Jahren (VDI 2067) ist die Neuinstallation von Gaskesseln als Hauptwärmeerzeuger im Hinblick auf das Ziel der Treibhausgasneutralität 2045 kontraproduktiv. Für das Nichtwohn-Beispielgebäude im Neubau sind Gasbrennwertkessel-Varianten unabhängig von der Dämmung der Gebäudehülle und dem Einsatz von PV von den Standards ausgeschlossen. Beim EFH-Beispielgebäude im Neubau können allerdings diese fossilen Kessel immer noch den GEG-Standard erreichen, wenn eine ambitioniertere Gebäudehülle als die GEG-Mindestanforderung ausgewählt wird.

Beim Nichtwohn-Beispielgebäude konnten die Varianten mit Wärmepumpen (vor allem Luft-Wasser WP) ohne PV nicht immer die erwarteten Standards erreichen. Die Tatsache, dass Wärmepumpen-Varianten nicht immer die besten Standards erreichen, sollte nicht zu der Interpretation führen, dass Wärmepumpen nicht zukunftstauglich im Hinblick auf die Klimaziele sind. Es liegt vielmehr an dem GEG-Rechenverfahren, das den Primärenergiebedarf auf Basis des heutigen deutschen Strommixes berechnet. Würde man mit einem dynamischen Strommix basierend auf der geplanten Dekarbonisierung des Strommixes über die gesamte erwartete Lebensdauer der Wärmepumpe (18 Jahre laut VDI 2067) bilanzieren, würden erheblich niedrigere Primärenergiebedarfe für die Wärmepumpen-Varianten resultieren.

Zusammenfassend wird in der LezBAU-Nutzeroberfläche entsprechend den Ergebnissen aus den Tabellen Tabelle 5 und Tabelle 8 bei der Auswahl der Wärmeerzeuger orientierende Hinweise gegeben, ob die entsprechenden Standards damit wahrscheinlich erreicht werden können oder ob eine bessere Anlagentechnik bzw. Gebäudehülle dafür notwendig ist.

Anhang

Geometrie und Maße des Beispiel-Schulgebäudes aus dem Energieberatung-Software ZUB Helena⁴.



⁴ Klauß et al. 2009, „Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit“, Forschungsinitiative Zukunft Bau https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2010/DatenbankModellgebaeude/04_veroeffentlichungen.html