



Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden

Forschung und Anwendung GmbH

Prof. Oschatz - Prof. Hartmann - Prof. Werdin

Einfluss der durch das Klimaschutzprogramm geänderten Förderlandschaft auf Erdgasheizungen im Gebäudebestand in Bayern

Auftraggeber: Energienetze Bayern GmbH & Co. KG
Frankenthaler Straße 2
81539 München

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

Dresden, 29. März 2020

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Randbedingungen	4
2.1	Gebäude	4
2.2	Wärmeschutzstandard	4
2.3	Anlagentechnik	5
3	Geänderte Förderlandschaft	6
3.1	Einführende Bemerkungen	6
3.2	BAFA-Förderung	6
3.2.1	Neue Förderrichtlinien	6
3.2.2	Antragstellung und Auszahlung	6
3.2.3	Kumulierung	7
3.2.4	Förderkonditionen und -voraussetzungen im Bestand	7
3.3	Zuschuss Brennstoffzelle (KfW)	10
3.4	Steuerliche Förderung der energetischen Gebäudesanierung	10
4	Berechnungen	12
4.1	Endenergiebedarf	12
4.2	Primärenergiebedarf	13
4.3	THG-Emissionen	14
4.4	Wirtschaftlichkeitsbewertung	14
4.4.1	Energiepreise	14
4.4.2	Investitionskosten	15
4.4.3	Jahresgesamtkosten	17
5	Ergebnisse	18
5.1	Ökologische Bewertung	18
5.1.1	Primärenergiebedarf	18
5.1.2	THG-Emissionen	18
5.2	Wirtschaftlichkeitsbewertung	19
5.2.1	Investitionskosten und mögliche Förderung	19
5.2.2	Jahresgesamtkosten	20
6	Übergreifende Aspekte	23
6.1	Präferenzen im Wärmemarkt	23

6.1.1	Beheizungsstruktur im Wohngebäudebestand.....	23
6.1.2	Beheizungsstruktur im Neubau	24
6.1.3	Wärmeversorgungsstruktur in KfW-Effizienzhäusern.....	25
6.1.4	Technologienvergleich – weiche Faktoren	27
6.2	Brennstoffzellen im Wärmemarkt.....	29
6.3	Gaswärmepumpen im Wärmemarkt.....	31
6.4	Brennstoffseitige THG-Minderung – „grünes Gas“	32
7	Zusammenfassung	34
8	Literatur	35

1 Einleitung

Im Rahmen des [Klimaschutzprogramms 2030] sind zum 1. Januar 2020 weitreichende Änderungen bei den Heizungsförderungen durch das BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) und die KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) in Kraft getreten.

Die BAFA-Förderung wurde zu Gunsten der Integration erneuerbarer Energien stark ausgebaut. Neben dem Bestand werden auch erneuerbare Heiztechnologien im Neubau gefördert.

Die Förderung von Einzelmaßnahmen nach KfW wurde zum 01.01.2020 weitgehend eingestellt und im Rahmen der Austauschprämien des BAFA (teilweise) übernommen. Gas-Brennwertkessel und ergänzende Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien werden nicht mehr als Einzelmaßnahme gefördert, können jedoch unter bestimmten Voraussetzungen als Gas-Hybridheizung über BAFA gefördert werden. Wärmeerzeuger auf Öl-Basis werden dagegen sowohl nach KfW als auch BAFA ab 01.01.2020 nicht mehr gefördert.

Alternativ dazu kann die Möglichkeit einer steuerlichen Förderung der energetischen Gebäudesanierung unter bestimmten Konditionen in Anspruch genommen werden.

Im Rahmen der Studie wird überprüft, inwieweit die neuen Förderkonditionen Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von neuen Erdgasheizungen in Bayern haben. Dabei wird die Situation im Bestand, die durch den möglichen Energieträgerwechsel von Öl auf Gas bedingt wäre, betrachtet.

2 Randbedingungen

2.1 Gebäude

Im Rahmen der Studie wird ein freistehendes Bestands-Einfamilienhaus (EFH Bestand) betrachtet.

In der folgenden Abbildung werden die Hauptabmessungen und die Abgrenzung der thermischen Hülle verdeutlicht. Tabelle 1 enthält Angaben zur wärmeübertragenden Umfassungsfläche, zum davon eingeschlossenen Volumen und zum A/V-Verhältnis des betrachteten Wohngebäudes.

Bei dem betrachteten EFH Bestand umschließt die thermische Hülle das Erd- und das Dachgeschoss. Bei dem EFH Bestand liegt der Keller außerhalb der thermischen Hülle.

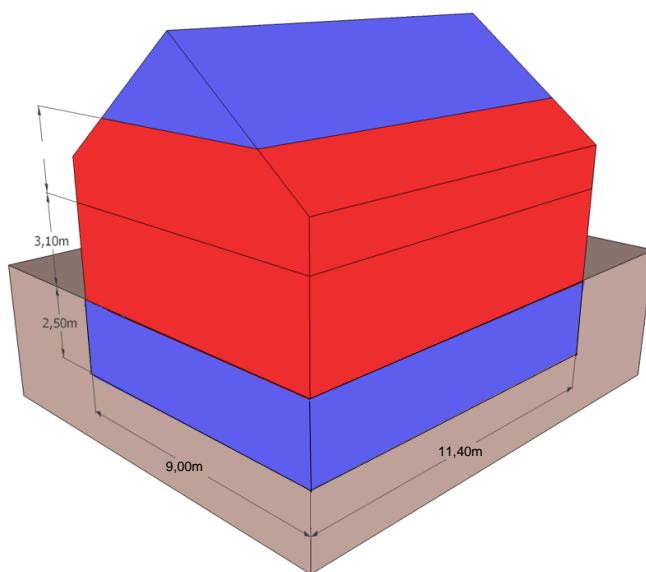


Abbildung 1: EFH Bestand

Tabelle 1: Gebäudedaten

	EFH Bestand
Wohnfläche	150 m ²
Nutzfläche A_N	177 m ²
Bruttovolumen V_e	554 m ³
A/V_e	0,74 m ⁻¹

2.2 Wärmeschutzstandard

Für das Bestands-EFH wird der bauliche Wärmeschutz etwa nach Wärmeschutzverordnung 1984 [WSchV 84] unterstellt.

Die den Berechnungen zugrunde gelegten U-Werte können Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: Baulicher Wärmeschutz, U-Werte

	U-Wert in W/m ² K
	EFH Bestand
Außenwand	0,60
Fenster	2,80
Dach	0,40
oberste Geschossdecke	0,40
Kellerdecke	0,60
Wände gegen Erdreich	0,60
Boden gegen Erdreich	0,60
Wärmebrückenzuschlag	0,10

2.3 Anlagentechnik

Für die Betrachtungen im Bestand wird von einem heizölbetriebenen Alt-Kessel (ohne Austauschpflicht gemäß § 10 EnEV 2014) ausgegangen, für den folgende anlagenseitige Sanierungsvarianten berücksichtigt werden:

- ohne Energieträgerwechsel
 - Öl-Brennwertkessel (Öl-BW)
- mit Energieträgerwechsel
 - Gas-Brennwertkessel (Gas-BW)
 - Gas-Brennwertkessel + solare Trinkwassererwärmung (Gas-BW + sol. TWE)
 - Gas-Brennwertkessel + solare Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Gas-BW + sol. TWE/HeizU)
 - Brennstoffzelle
 - Pelletkessel
 - Luft/Wasser-Elektrowärmepumpe (L/W-WP)

3 Geänderte Förderlandschaft

3.1 Einführende Bemerkungen

Im Rahmen des [Klimaschutzprogramms 2030] sind zum 1. Januar 2020 weitreichende Änderungen bei den Heizungsförderungen durch das BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) und die KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) in Kraft getreten.

Die BAFA-Förderung wurde zu Gunsten der Integration erneuerbarer Energien stark ausgebaut. Neben dem Bestand werden auch erneuerbare Heiztechnologien im Neubau gefördert.

Die Förderung von Einzelmaßnahmen nach KfW wurde zum 01.01.2020 weitgehend eingestellt und im Rahmen der Austauschprämien des BAFA (teilweise) übernommen. Gas-Brennwertkessel und ergänzende Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien werden nicht mehr als Einzelmaßnahme gefördert, können jedoch unter bestimmten Voraussetzungen als Gas-Hybridheizung über BAFA gefördert werden. Wärmeerzeuger auf Öl-Basis werden dagegen sowohl nach KfW als auch BAFA ab 01.01.2020 nicht mehr gefördert.

3.2 BAFA-Förderung

3.2.1 Neue Förderrichtlinien

Bis Ende 2019 förderte das BAFA im Rahmen des Marktanzreizprogramms (MAP) ausschließlich erneuerbare Heiztechnologien (Solarkollektoranlagen, Wärmepumpen, Biomasse-Anlagen) mit Investitionszuschüssen. Neben einer Basisförderung, die ausschließlich im Gebäudebestand galt, bestanden zusätzliche Fördermöglichkeiten u. a. durch eine Innovationsförderung oder einen Zusatzbonus im Rahmen des Anreizprogramms Energieeffizienz (APEE). Im Neubau erfolgte eine Innovationsförderung z.B. für besonders effiziente Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl von mindestens 4,5.

Die Förderhöhe der Basisförderung richtete sich nach der Größe der installierten Anlage, z.B. Solarkollektorfläche bzw. Nennwärmeleistung bei Wärmepumpen und Biomasse-Anlagen, wobei technologieabhängige Mindestfördersätze vorgesehen waren.

Ab 01.01.2020 sieht das BAFA im Rahmen des Programms „Heizen mit Erneuerbaren Energien“ eine prozentuale Förderung vor, deren Höhe als prozentualer Anteil der tatsächlich für den Austausch bzw. die Erweiterung der Heizungsanlage entstandenen förderfähigen Kosten berechnet wird. Grundlage sind die angepassten „Richtlinien zur Förderung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ vom 30.12.2019, die am 01.01.2020 in Kraft getreten sind.

3.2.2 Antragstellung und Auszahlung

Die Antragstellung muss vor Vorhabenbeginn erfolgen. Als Vorhabenbeginn gilt der Abschluss eines der Ausführung zuzurechnenden Lieferungs- oder Leistungsvertrages. Planungsleistungen dürfen vor Antragstellung erbracht werden. Maßgeblich ist das Eingangsdatum des Antrages beim BAFA. Die Erstellung eines Gasanschlusses sowie die

Erschließungen der Wärmequelle einer Sole/Wasser-Wärmepumpe (Bohrung) dürfen zwar vor dem oben definierten Vorhabenbeginn durchgeführt werden, ohne die Förderfähigkeit der Gesamtmaßnahme zu beeinträchtigen. Jedoch sind die Kosten für diese vorbereitenden Maßnahmen in diesem Fall nicht förderfähig. Seit 02.01.2020 können Anträge über das elektronische Antragsformular beim BAFA gestellt werden. Bei der Antragstellung müssen Kostenvoranschläge für die Leistungen, die gefördert werden sollen, bereits vorliegen. Die Summe der im Antrag angegebenen Kosten ist Grundlage für die Zuwendungsentscheidung. Sie kann im späteren Verlauf nicht nach oben korrigiert werden.

Nach Erhalt des Zuwendungsbescheides kann mit der Maßnahme begonnen werden. Anschließend wird der Verwendungsnachweis über das Online-Portal auf der BAFA-Internetseite geführt. Dieser ist zusammen mit den erforderlichen Nachweisen nach Inbetriebnahme und spätestens sechs Monate nach Ende des Bewilligungszeitraums elektronisch einzureichen.

Die Auszahlung des Zuschusses erfolgt nach Abschluss der Prüfung des Verwendungsnachweises.

3.2.3 Kumulierung

Die Kumulierung mit anderen Fördermitteln für die gleichen förderfähigen Kosten ist grundsätzlich möglich, allerdings darf die Summe aus Krediten, Zuschüssen und Zulagen die Summe der förderfähigen Kosten nicht übersteigen.

Mit einer Förderung aus den im Rahmen des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms aufgelegten KfW-Programmen ist eine Kumulierung nur bei den KfW-Programmen „Energieeffizient Bauen - Kredit“ (Programmnummer 153) und „Energieeffizient Sanieren – Ergänzungskredit“ (Programmnummer 167) möglich.

Nicht zulässig ist dagegen eine Kumulierung mit der Steuerermäßigung für energetische Maßnahmen bei zu eigenen Wohnzwecken genutzten Gebäuden (§ 35 c Einkommenssteuergesetz).

3.2.4 Förderkonditionen und -voraussetzungen im Bestand

Als Bestandsgebäude gelten Gebäude, in denen bei Antragsstellung seit mindestens 2 Jahren ein Heizsystem in Betrieb war.

Zur Inanspruchnahme einer Förderung dürfen bestehende Heizanlagen nicht der gesetzlichen Austauschpflicht gemäß § 10 EnEV unterliegen.

Es werden grundsätzlich die in folgender Tabelle ausgewiesenen Anlagen mit den dazugehörigen Fördersätzen, die sich als Förderhöchstgrenze verstehen und auf die förderfähigen Kosten beziehen, nach BAFA gefördert.

Tabelle 3: Fördersätze im Gebäudebestand

Art der Heizungsanlage		Fördersatz	Fördersatz mit Austausch Ölheizung
Solarthermieanlage		30 %	30 %
Biomasseanlage		35 %	45 %
Wärmepumpenanlage		35 %	45 %
Erneuerbare Energien Hybridheizung (EE-Hybride)		35 %	45 %
Nachrüstung eines Sekundärbauteil für die Biomasseanlage u.a. zur Brennwertnutzung		35 %	-
Gas-Hybridheizung	mit erneuerbarer Wärmeerzeugung	30 %	40 %
	mit späterer Einbindung der erneuerbaren Wärmeerzeugung	20 %	-

Die Öl-Austauschprämie kann gewährt werden, wenn im Gebäudebestand eine mit Öl betriebene Heizungsanlage außer Betrieb genommen und gleichzeitig eine förderfähige Biomasseanlage, förderfähige Wärmepumpenanlage oder förderfähige Gas-Hybridheizung installiert wird.

Entsprechend der [Förderrichtlinie] gelten dabei für die förderfähigen Heiztechnologien bestimmte technische Anforderungen:

1. Solarthermieanlage

- a. Grundsätzliche Fördervoraussetzung: Zertifizierungszeichen Solar Keymark
- b. Solarthermieanlagen zur ausschließlichen Warmwasserbereitung
 - mindestens 3 m² Bruttokollektorfläche
 - mind. 200 Liter Pufferspeichervolumen
- c. Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung
 - Mindest-Bruttokollektorfläche
 - Flachkollektoren: 9 m²
 - Vakuumröhrenkollektoren: 7 m²
 - Luftkollektoren: keine Mindestfläche
 - Mindest-Pufferspeichervolumen
 - Flachkollektoren: 40 Liter/m² Kollektorfläche
 - Vakuumröhrenkollektoren: 50 Liter/m² Kollektorfläche
 - Luftkollektoren: kein Pufferspeicher erforderlich

2. Biomasseanlage

- a. Grundsätzliche Fördervoraussetzung:
 - Bestimmung für den Einsatz naturbelassener Biomasse gemäß § 3 Abs. 1 Nr. 4, 5, 5a, 8 oder 13 der 1. BImSchV
 - Einhaltung folgender Emissionsgrenzwerte:
 - Kohlenmonoxid: 200 mg/m³ bei Nennwärmeleistung, 250 mg/m³ bei Teillastbetrieb
 - Staubförmige Emissionen: 15 mg/m³ (Scheitholz-Anlagen), 20 mg/m³ (alle anderen Anlagen)

- b. Nennwärmeleistung ≥ 5 kW
 - c. Kesselwirkungsgrad ≥ 89 % (bei Pelletöfen mit Wassertasche muss der feuerungstechnische Wirkungsgrad mindestens 90 % betragen).
 - d. Pufferspeichervolumen: Hackschnitzelkessel mindestens 30 Liter/kW, Scheitholzvergaserkessel mind. 55 Liter/kW
 - e. Durchführung des hydraulischen Abgleichs der Heizungsanlage
3. Wärmepumpenanlagen
- a. Einbau mindestens eines Wärmemengenzählers
 - b. Einbau eines Stromzählers (bei elektrisch betriebenen Wärmepumpen) bzw. Gaszählers (bei gasbetriebenen Wärmepumpen)
 - c. Einhaltung folgender Jahresarbeitszahlen (JAZ):
 - Luft/Wasser-Wärmepumpen: 3,5
 - Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen in Wohngebäuden: 3,8
 - Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen in Nicht-Wohngebäuden: 4,0
 - Gasbetriebene Wärmepumpen in Wohngebäuden: 1,25
 - Gasbetriebene Wärmepumpen in Nicht-Wohngebäuden: 1,3
 - d. Durchführung des hydraulischen Abgleichs der Heizungsanlage (Nachweis)
 - e. Anpassung der Heizkurve an das entsprechende Gebäude (Nachweis)
 - f. Bei Wärmepumpen mit neuer Erdsondenbohrung muss eine verschuldensunabhängige Versicherung gegen unvorhergesehene Sachschäden abgeschlossen werden und die Bohrfirma nach DVGW zertifiziert sein.
 - g. Fachunternehmererklärung zum Nachweis der Jahresarbeitszahl und über den Einbau von Zählern
4. Erneuerbare Energien Hybridheizungen (EE-Hybride)
- Für jeden regenerativen Wärmeerzeuger müssen die jeweiligen (zuvor genannten), technischen Mindestanforderungen erfüllt werden.
5. Gas-Hybridheizungen
- a. Jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz $\eta_s \geq 92$ % bei Nennlast (Herstellernachweis)
 - b. Gemeinsame Steuerung aller Wärmeerzeuger
 - c. Die thermische Leistung der regenerativen Wärmeerzeuger muss mindestens 25 % der Heizlast des Gebäudes betragen. Die Gebäudeheizlast ist nach EN 12831 zu ermitteln, alternativ sind auch überschlägige Heizlastermittlungen auf der Basis der EN 12831 zulässig. Bei solarthermischen Anlagen wird eine Kollektorleistung von 635 W/m² Bruttokollektorfläche für den Nachweis des Deckungsanteil an der Heizlast zugrunde gelegt.
 - d. Bei Solarthermie als regenerativen Wärmeerzeuger, muss die Solarthermieanlage (zur Raumheizungsunterstützung) förderfähig nach diesen Richtlinien sein (Kollektorfläche ≥ 9 m²).
 - e. Hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage

- f. Der regenerative Wärmeerzeuger (Solarthermieanlage, Biomasseanlage oder Wärmepumpenanlage) darf bereits vorhanden sein oder muss mit der Gas-Brennwertanlage installiert werden.
6. Gas-Brennwertheizungen (Renewable Ready)
 - a. Jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz $\eta_s \geq 92$ % bei Nennlast (Herstellernachweis)
 - b. Installation einer hybridfähigen Steuerungs- und Regelungstechnik
 - c. Bei Wohngebäuden muss ein Speicher installiert werden.
 - d. Hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage.
 - e. Der Einbau eines regenerativen Wärmeerzeugers ist innerhalb von 2 Jahren nachzuweisen. Die thermische Leistung des regenerativen Wärmeerzeugers muss mindestens 25 % der Heizlast des versorgten Gebäudes betragen (s. Gas-Hybridheizungen).

3.3 Zuschuss Brennstoffzelle (KfW)

Entsprechend dem KfW-Programm 433 werden Investitionszuschüsse für den Einbau innovativer Brennstoffzellensysteme in Wohn- und Nichtwohngebäude im Rahmen des "Anreizprogramms Energieeffizienz" des Bundes ausgezahlt. Das Förderprodukt soll die Einführung der Brennstoffzellentechnologie zur Wärme- und Stromversorgung von neuen und bestehenden Wohn- und Nichtwohngebäuden in Deutschland unterstützen.

Die Förderung erfolgt durch einen Investitionszuschuss, der nach Abschluss des Vorhabens auf Konto des Empfängers überwiesen wird. Der Zuschuss setzt sich zusammen aus:

- einem Festbetrag (Grundförderung) von 5.700 Euro und
- einem leistungsabhängigen Betrag (Zusatzförderung) von 450 Euro je angefangene 0,1 kW_{el}.

Es werden maximal 40 % der förderfähigen Kosten bezuschusst.

3.4 Steuerliche Förderung der energetischen Gebäudesanierung

Mit der Schaffung eines neuen § 35c im Einkommensteuergesetz besteht seit 01.01.2020 die Möglichkeit zur Inanspruchnahme einer steuerlichen Förderung der energetischen Gebäudesanierung (vgl. Gesetz zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms 2030 im Steuerrecht, vom 21. Dezember 2019, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2019 Teil I Nr. 52).

Die entsprechende Sanierungsmaßnahme muss nach dem 31.12.2019 begonnen und vor dem 01.01.2030 abgeschlossen sein. Damit können künftig 20 % der Aufwendungen zur energetischen Modernisierung von zu eigenen Wohnzwecken genutzten Gebäuden von der Steuerschuld abgezogen werden. Der Abzug erfolgt innerhalb von drei Jahren (im Kalenderjahr des Abschlusses der energetischen Maßnahme und im nächsten Kalenderjahr: jeweils 7 % sowie 6 % im 3. Jahr) und ist auf insgesamt 40.000 Euro pro Gebäude (jeweils 14.000 € im 1. und 2. Kalenderjahr sowie 12.000 € im 3. Kalenderjahr) begrenzt. Die Förderung

beschränkt sich auf Gebäude, die mindestens zehn Jahre alt sind (gemessen ab Baubeginn). Förderfähig sind insgesamt acht energetische Maßnahmen:

- Wärmedämmung von Wänden,
- Wärmedämmung von Dachflächen,
- Wärmedämmung von Geschossdecken,
- Erneuerung der Fenster oder Außentüren,
- Erneuerung oder Einbau einer Lüftungsanlage,
- Erneuerung der Heizungsanlage,
- Einbau von digitalen Systemen zur energetischen Betriebs- und Verbrauchsoptimierung und
- Optimierung bestehender Heizungsanlagen, sofern diese älter als zwei Jahre sind.

Die Durchführung der Maßnahme muss durch ein Fachunternehmen erfolgen und die Mindestanforderungen aus der Energetische-Sanierungsmaßnahmen-Verordnung [ESanMV] müssen erfüllt werden.

Ergänzend können für Energieberatung, Fachplanung und Baubegleitung 50 % der Kosten steuerlich geltend gemacht werden.

Eine steuerliche Förderung nach § 35c Einkommensteuergesetz kann nicht mit einer Austauschprämie nach BAFA kombiniert werden.

Die in [ESanMV] definierten Mindestanforderungen an Erneuerung der Heizungsanlage entsprechen weitgehend den zuvor beschriebenen Fördervoraussetzungen nach BAFA bzw. KfW. Das bedeutet, dass für Anlagenvarianten, die nach BAFA bzw. KfW nicht förderfähig sind, auch keine steuerliche Förderung möglich ist.

Bei den im Rahmen der Studie betrachteten förderfähigen Heiztechnologien wäre die steuerliche Förderung niedriger als die BAFA-Förderung bzw. der KfW-Zuschuss für Brennstoffzellen. Aus diesem Grund wird die steuerliche Förderung bei der Erneuerung/Optimierung der Heizungsanlage als alternative Förderung im Rahmen der Studie nicht berücksichtigt.

4 Berechnungen

4.1 Endenergiebedarf

Die Berechnung der Endenergiebedarfswerte erfolgt mit einer kommerziellen Energieberatersoftware. Den Berechnungen liegen gebäudeseitig das Monatsbilanzverfahren nach [DIN V 4108-6] und anlagenseitig die [DIN V 4701-10] zugrunde. Die Berechnung der Endenergiebedarfswerte erfolgt bis auf die Kennwerte des Wärmereizers und die elektrische Leistungsaufnahme der Umwälzpumpen mit Standardwerten der Norm (DIN V 4701-10). Den Berechnungen zugrunde gelegte durchschnittliche Produktkennwerte werden in folgenden zwei Tabellen ausgewiesen.

Tabelle 4: Angepasste Kennwerte - Wärmereizer

Komponente / Kennwert		Wert
Gas-Brennwertkessel	Nennwärmeleistung	15 kW
	Wirkungsgrad, heizwertbezogen	$\eta_{30\%} = 107\% / \eta_{100\%} = 97\%$
	Elektrische Leistungsaufnahme	$P_{HE\ 30\%} = 20\ W / P_{HE\ 100\%} = 53,3\ W$
	Bereitschaftswärmeverlust	$q_{B,70} = 1,35\%$
Öl-Brennwertkessel	Nennwärmeleistung	15 kW
	Wirkungsgrad, heizwertbezogen	$\eta_{30\%} = 103\% / \eta_{100\%} = 96\%$
	Elektrische Leistungsaufnahme	$P_{HE\ 30\%} = 87,2\ W / P_{HE\ 100\%} = 199,6\ W$
	Bereitschaftswärmeverlust	$q_{B,70} = 1,78\%$
Luft/Wasser-Wärmepumpe	Jahresarbeitszahl nach VDI 4650 Bl. 1	JAZ=3,0 JAZ=3,5
Pelletkessel	Kesselwirkungsgrad	$\eta_{SB} = 93,9\%$
	Hilfsenergiebedarf Grundzyklus	$0,004 * Q_{N,max}$
	mittlere elektrische Leistungsaufnahme des Kessels	$3,23 * Q_{N,max}$
Solar-Flachkollektor	Kollektorfläche je Kollektor	2,33 m ²
	Konversionsfaktor	0,83
	Wärmedurchgangskoeffizient k1	3,4 W/m ² K
	Wärmedurchgangskoeffizient k2	0,02 W/m ² K ²
	Einstrahlwinkelkorr. bei 50°	0,95
	Effektive Wärmekapazität C	4,9 kJ/m ² K

Tabelle 5: Angepasste Kennwerte - Pumpen

Komponente / Kennwert		Nennleistungsaufnahme
Umwälzpumpe	Nennleistungsaufnahme bei freien Heizflächen	20 W
	Nennleistungsaufnahme bei integrierten Heizflächen	40 W
Zirkulationspumpe		5 W
Speicherladepumpe		30 W
Solarpumpe		20 W

Bei der Größe der Solaranlage zur Trinkwassererwärmung wird für das Bestands-EFH vom Standardwert nach DIN V 4701-10 ausgegangen. Bei der Variante mit solarer Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Gas-Hybridheizung) wird die Anlage so dimensioniert, dass die Fördervoraussetzungen (Bruttokollektorfläche $\geq 9 \text{ m}^2$, Speichervolumen: 40 Liter/m² Kollektorfläche, Deckung von 25 % der Heizlast) erfüllt sind. Der Deckungsanteil der Anlage zur Heizungsunterstützung wird mit GetSolar simuliert.

Für die betrachtete Anlagenvariante „Brennstoffzelle“ wird das Brennstoffzellen-Heizgerät Viessmann-Vitocalor PT2 berücksichtigt. Die energetische Bewertung erfolgt nach [DIN SPEC 32373].

4.2 Primärenergiebedarf

Bei der Berechnung der Primärenergiebedarfswerte werden die Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599-1:2011-12 unter Berücksichtigung der EnEV-Vorgaben für den elektrischen Strom (Anlage 1, Absatz 2.1.1) verwendet. Entsprechend EnEV 2014 erfolgt ein Bezug auf den nicht erneuerbaren Anteil des Primärenergiebedarfs. Der KWK-Strom wird vollständig mit dem Primärenergiefaktor für Verdrängungsstrommix gutgeschrieben. Die der Berechnung des Primärenergiebedarfs zugrunde liegende Primärenergiefaktoren können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 6: Eingesetzte Primärenergiefaktoren

Energieträger	Primärenergiefaktor
Erdgas	1,1
Heizöl	1,1
Solarenergie	0,0
Holz	0,2
Strom, allgemeiner Strommix	1,8
Strom, Verdrängungsstrommix	2,8

4.3 THG-Emissionen

Die Treibhausgasemissionen ergeben sich aus der Multiplikation der ermittelten Endenergiebedarfswerte mit den spezifischen THG-Emissionsfaktoren. Die aktuellen THG-Emissionsfaktoren werden dem Regierungsentwurf zum Gebäudeenergiegesetz [GEG] entnommen. Die der Bewertung zugrunde gelegten Werte werden in der folgenden Tabelle ausgewiesen.

Tabelle 7: Angenommene THG-Emissionsfaktoren

Energieträger	THG-Emissionsfaktoren in g CO ₂ /kWh
Erdgas	240
Heizöl	310
Solarenergie	0,0
Holz	20
Strom, allgemeiner Strommix	540
Strom, Verdrängungsstrommix	860

Bei der Berechnung der THG-Emissionen werden die THG-Emissionen aller zur Beheizung und Trinkwassererwärmung eingesetzter Energieträger incl. der Hilfsenergie und der Stromaufwendungen für die Lüftungsanlage mit WRG bilanziert.

Der KWK-Strom wird vollständig mit dem THG-Emissionsfaktor für Verdrängungsstrommix gutgeschrieben.

4.4 Wirtschaftlichkeitsbewertung

4.4.1 Energiepreise

Den Berechnungen werden bundesdeutsche Jahres-Mittelwerte für den Zeitraum März 2019 bis Februar 2020 entsprechend den Angaben des BDEW e.V. [BDEW], nach [Brennstoffspiegel] sowie den Preisindizes des C.A.R.M.E.N. e.V. zugrunde gelegt.

Die den Berechnungen zugrunde gelegten Energiepreise werden in folgender Tabelle ausgewiesen. Beim Energieträger Erdgas handelt es sich um den brennwertbezogenen Arbeitspreis. Bei den Wärmepumpenvarianten wird ein Betrieb mit einem Strom-Wärmepumpentarif unterstellt. Die durch die vertraglich bedingte EVU-Abschaltung erforderliche höhere Nennwärmeleistung der Wärmepumpe wird bei der Kalkulation der Investitionskosten berücksichtigt.

Die Vergütung für den in einer KWK-Anlage erzeugten Strom erfolgt nach dem KWK-Gesetz. Zudem wird die Rückerstattung der Energiesteuer für das eingesetzte Erdgas in einer KWK-Anlage und die vermiedenen Strombezugskosten berücksichtigt. Es wird unterstellt, dass 60 % des erzeugten KWK-Stroms im Gebäude genutzt wird.

Tabelle 8: Angenommene Energiepreise

Energieträger	Mittelwerte 03/2019 - 02/2020	
	Grundpreis	Arbeitspreis
Erdgas	152,0 €/a	0,0538 €/kWh
Heizöl	0,0 €/a	0,0671 €/kWh
Pellet	0,0 €/a	0,0510 €/kWh
Strom, Wärmepumpentarif	135,0 €/a	0,2020 €/kWh
Strom Haushaltstarif	-	0,2820 €/kWh

4.4.2 Investitionskosten

Die Investitionskosten, welche als Grundlage der folgenden Kostenanalyse dienen, basieren auf einer Auswertung von Listenpreisen führender Hersteller und umfassen neben den Materialkosten auch Posten wie z.B. Lieferung, Montage, Inbetriebnahme sowie typische Rabatte und Preisaufschläge. Zusätzlich werden die typischen Gas-Hausanschlusskosten entsprechend den Angaben des Auftraggebers berücksichtigt. Je nach Besonderheiten der Anlagenvariante werden die einzelnen Bestandteile der neuen Anlage kalkuliert. Zusätzlich werden die Investitionskosten entsprechend der BKI-Regionalfaktoren an den Versorgungsgebiet des Auftraggebers angepasst.

Tabelle 9: Investitionskosten der betrachteten Systeme

Investitionskosten	EFH Bestand	
Wärmeerzeugung (Erzeuger, Regelung, Pumpe, Abgassystem)		
Gas-BW-Gerät	4.100 €	
Öl-BW-Gerät	7.200 €	
solare Heizungsunterstützung (Aufschlag ggü. sol. TWE)	4.400 €	
Mikro-KWK (Systempreis)	27.500 €	
Luft/Wasser-EWP (JAZ=3,5)	22.700 €	
Luft/Wasser-EWP (JAZ=3,0)	20.000 €	
Pelletkessel	16.600 €	
Schornstein (Sanierung)	1.000 € / 1.800€	
Gas-Hausanschluss	2.975 €	
TWW (+ Pumpe, Speicher ...)		
TWW-Speicher für Öl-/Gas-BW	2.000 €	
solare Trinkwassererwärmung	7.400 €	
TWW-Speicher für EWP	3.200 €	
ind. beheizter TWW-Speicher für Pelletkessel	2.200 €	
Versorgung, Installation		
Anschluss Elt/Gas für Öl-/Gas-BW	600 €	
Anschluss Elt/Gas für Gas-BW + Solarthermie	1.000 €	
Anschluss Elt/Gas für Brennstoffzelle	1.500 €	
Anschluss Elt für EWP	500 €	
Heizflächen		
Geringinvestive Maßnahmen	1.300 €	
Heizflächen, Radiatoren 55/45°C	4.600 €	
Heizflächen, Radiatoren 50/40°C	5.700 €	
Sonstiges		
Demontage	Kessel:	400 €
	Öltank:	800 €
	Heizflächen:	150 €

Die Betriebskosten setzen sich je nach Anlagenvariante aus den Wartungskosten und den Schornsteinfegergebühren zusammen. Die Wartungskosten werden in Anlehnung an die BTGA-Regel 3.001: Wartung heiztechnischer Anlagen ermittelt. Stehen für Anlagenkomponenten keine Vorgaben zur Verfügung, werden diese entsprechend abgeschätzt. Die zugrunde gelegten Wartungskosten stellt folgende Tabelle dar.

Die Schornsteinfegergebühren als Bestandteil der Betriebskosten werden nach der seit 01. Januar 2010 bundesweit geltenden und am 8. April 2013 zuletzt geänderten Verordnung über die Kehrung und Überprüfung von Anlagen (Kehr- und Überprüfungsordnung – KÜO) unter

Berücksichtigung der Ersten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes berechnet. Weiterhin werden durchschnittliche Kosten für die notwendige Versicherung des Lagerisikos für Heizöl mit einer jährlichen Zahlungsweise angesetzt.

Tabelle 10: Berücksichtigte Wartungskosten

	Wartungskosten, gesamt System
Gas-BW	165 €/a
Gas-BW + sol. TWE	190 €/a
Gas-BW + sol. TWE/HeizU	215 €/a
Öl-BW	195 €/a
L/W-WP	160 €/a
Pelletkessel	320 €/a
Brennstoffzelle	415 €/a

4.4.3 Jahresgesamtkosten

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird die Wirtschaftlichkeitsberechnung nach Annuitätsmethode in Anlehnung an VDI 2067-1 durchgeführt. Zur Berechnung der Annuitätsfaktoren werden die rechnerische Nutzungsdauer der Anlagenkomponenten der VDI 2067-1 entnommen sowie der Zinssatz in Höhe von 2,5 % vorausgesetzt.

Die berechneten Jahresgesamtkosten beinhalten:

- kapitalgebundene Kosten (einschließlich Instandsetzung und möglicher Förderung),
- verbrauchsgebundene Kosten und
- betriebsgebundene Kosten.

Die Berechnung der Jahresgesamtkosten erfolgt mit Berücksichtigung der möglichen BAFA- bzw. KfW-Förderung entsprechend Abschnitt 3.2.4.

5 Ergebnisse

5.1 Ökologische Bewertung

5.1.1 Primärenergiebedarf

In Abbildung 2 wird der berechnete Jahres-Primärenergiebedarf für die betrachteten Sanierungsvarianten im EFH Bestand dargestellt.

Die beiden Brennwertvarianten ohne Einbindung von Solarthermie weisen erwartungsgemäß den höchsten Primärenergiebedarf (nicht erneuerbar) aus. Beim Einsatz einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung könnte in dem betrachteten Bestand-EFH der Primärenergiebedarf auf ca. 140 kWh/m²a reduziert werden. Durch die primärenergetische Gutschrift für den erzeugten KWK-Strom liegt der Primärenergiebedarf beim Betrieb einer Brennstoffzelle bei ca. 116 kWh/m²a.

Der Betrieb einer Wärmepumpe wäre je nach Jahresarbeitszahl mit einem PE-Bedarf von ca. 82 bis 96 kWh/m²a verbunden.

Aufgrund der günstigen primärenergetischen Bewertung von Holz/Pellets weist die Anlagenvariante mit Pelletkessel den niedrigsten Primärenergiebedarf unter den bewerteten Sanierungsvarianten aus.

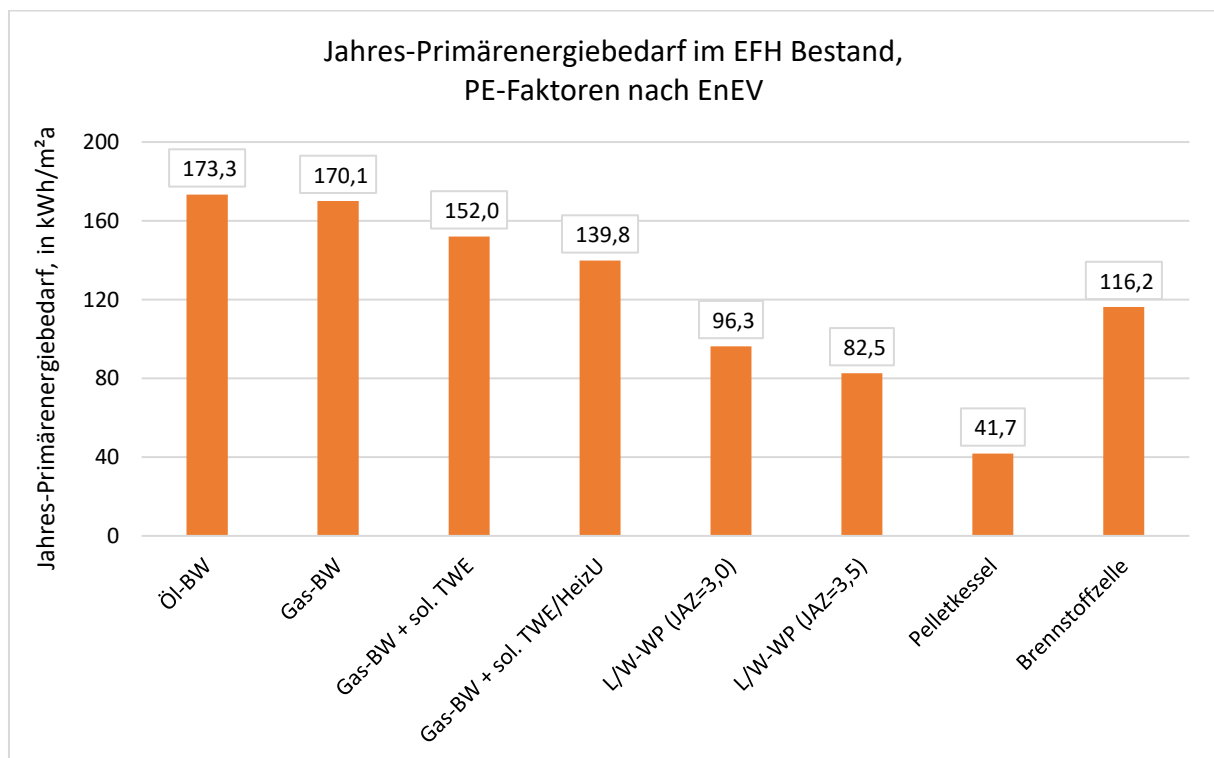


Abbildung 2: Spezifischer Jahres-Primärenergiebedarf im EFH Bestand, bezogen auf Gebäudenutzfläche

5.1.2 THG-Emissionen

Im Folgenden werden die resultierenden Treibhausgasemissionen der betrachteten Sanierungsvarianten im EFH Bestand unter Berücksichtigung aktueller THG-Emissions-

faktoren ausgewiesen. Bedingt durch einen höheren THG-Emissionsfaktor führt der Verbleib beim Energieträger Heizöl in Verbindung mit einem Brennwertkessel zu höheren THG-Emissionen als eine Sanierung mit einem Gas-Brennwertkessel. Die Einbindung von Solarthermie führt zu niedrigeren THG-Emissionen. Die aktuellen THG-Emissionen einer L/W-WP mit einer JAZ=3,0 liegen auf ähnlichem Niveau wie bei der Gas-Brennwerttechnik mit solarer Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung.

Aufgrund von einem niedrigen THG-Emissionsfaktor vom Pellet ist diese Anlagenvarianten mit den geringsten Emissionen verbunden. Die Sanierungsvariante mit Brennstoffzelle profitiert bei der Berechnung der resultierenden Emissionen von der Gutschriftenmethode. Dabei wird der gesamte KWK-Strom mit dem Verdrängungsstrommix von 860 g/kWh gutgeschrieben.

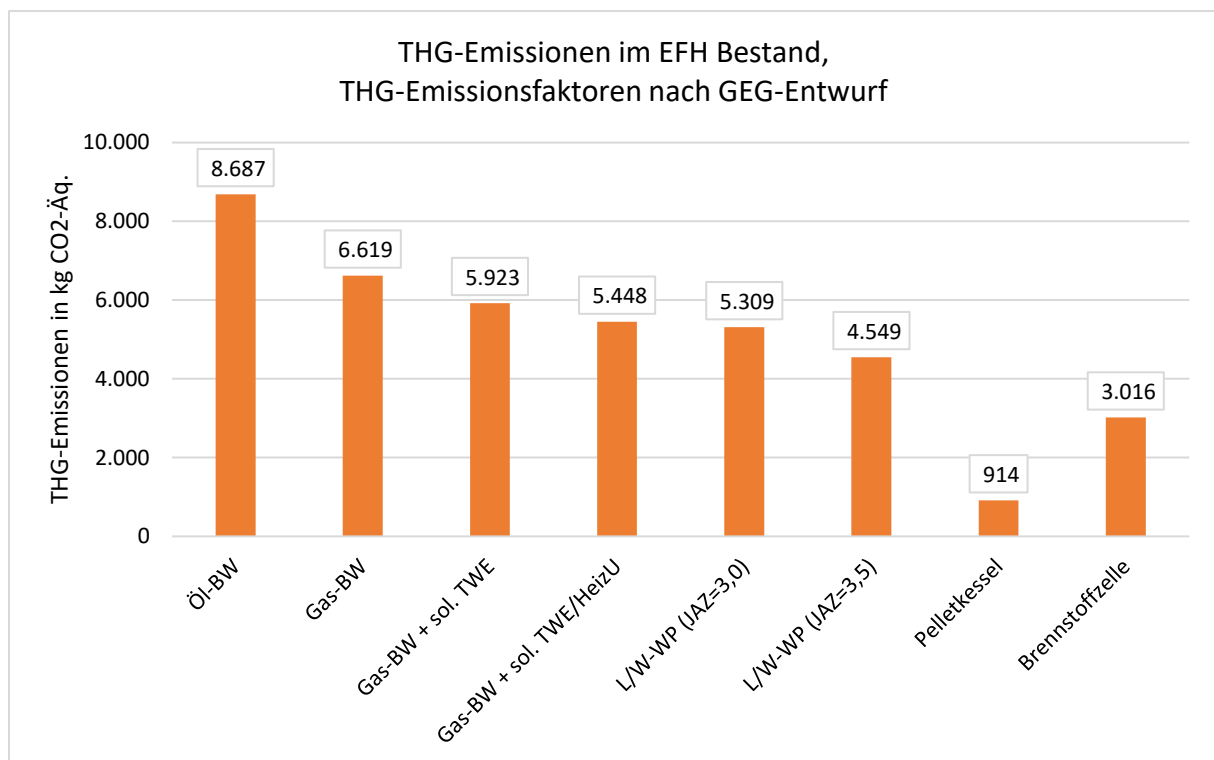


Abbildung 3: Jährliche Treibhausgasemissionen der betrachteten Sanierungsvarianten im EFH Bestand, absolut, Berechnung mit THG-Emissionsfaktoren nach [GEG]

5.2 Wirtschaftlichkeitsbewertung

5.2.1 Investitionskosten und mögliche Förderung

Die für die bewerteten Sanierungsvarianten im Bestand resultierenden Investitionskosten nach Abzug der Förderung stellt folgende Abbildung dar. In Tabelle 11 wird zusätzlich die Höhe der möglichen Förderung ausgewiesen. Entsprechend den Annahmen werden im EFH Bestand zwei Wärmepumpenvarianten betrachtet. Dabei erfüllt nur die Variante „L/W-WP (JAZ=3,5)“ die Fördervoraussetzungen. Der Nachweis der Jahresarbeitszahl von mindestens 3,5 wäre in vergleichbaren Bestandseinfamilienhäusern nur mit ausgewählten leistungsgeregelten Wärmepumpen, die auf Bivalenztemperatur von ca. -6°C ausgelegt sind und in Verbindung mit neuen Heizflächen mit Systemtemperaturen von maximal 50/40°C betrieben werden,

möglich. Die Variante „L/W-WP (JAZ=3,0)“ wäre im Sinne der Förderrichtlinie nicht förderfähig.

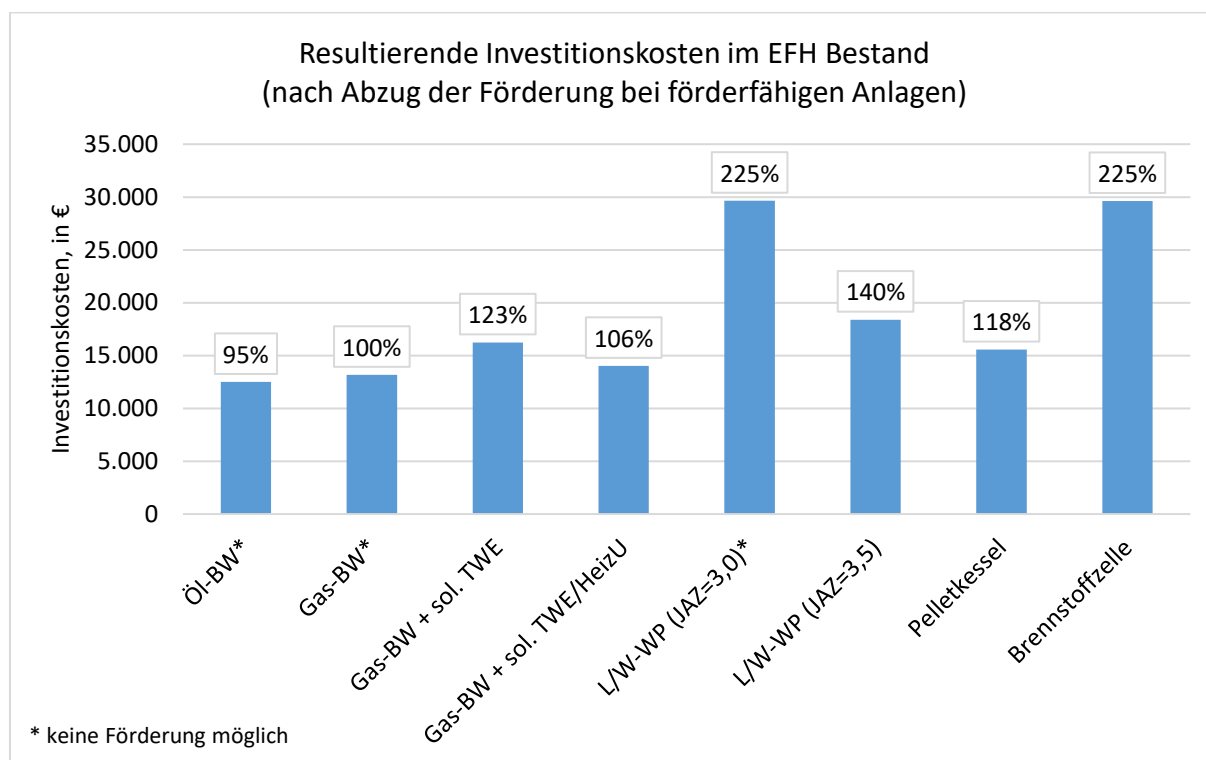


Abbildung 4: Resultierende Investitionskosten für die betrachteten Sanierungsvarianten

Tabelle 11: Resultierende Investitionskosten und mögliche Förderung für die betrachteten Sanierungsvarianten

Sanierungsvariante	Investitionskosten, gesamt, in €	Mögliche Förderung, in €	Investitionskosten nach Abzug der Förderung, in €
Öl-BW	12.500	-	12.500
Gas-BW	13.175	-	13.175
Gas-BW + sol. TWE	18.975	2.730	16.245
Gas-BW + sol. TWE/HeizU	23.375	9.350	14.025
L/W-WP (JAZ=3,0)	29.650	-	29.650
L/W-WP (JAZ=3,5)	33.450	15.053	18.398
Pelletkessel	28.300	12.735	15.565
Brennstoffzelle	38.925	9.300	29.625

5.2.2 Jahresgesamtkosten

Die unter Berücksichtigung der in Abschnitt 4.4.1 ausgewiesenen Energiepreise ermittelten Jahresgesamtkosten der betrachteten Sanierungsvarianten als Summe von kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten werden in Abbildung 5 dargestellt.

Die Gas-Brennwertvarianten mit und ohne Solarthermie liegen auf etwa gleichem Niveau und weisen in dem betrachteten EFH unter Berücksichtigung der aktuellen Energiepreise die niedrigsten Jahresgesamtkosten aus. Diese liegen um ca. 15 bis 20 % unter den Kosten der Variante mit förderfähiger Luft/Wasser-EWP und 40 % unter den beim Einsatz eines Pelletkessels resultierenden Jahresgesamtkosten.

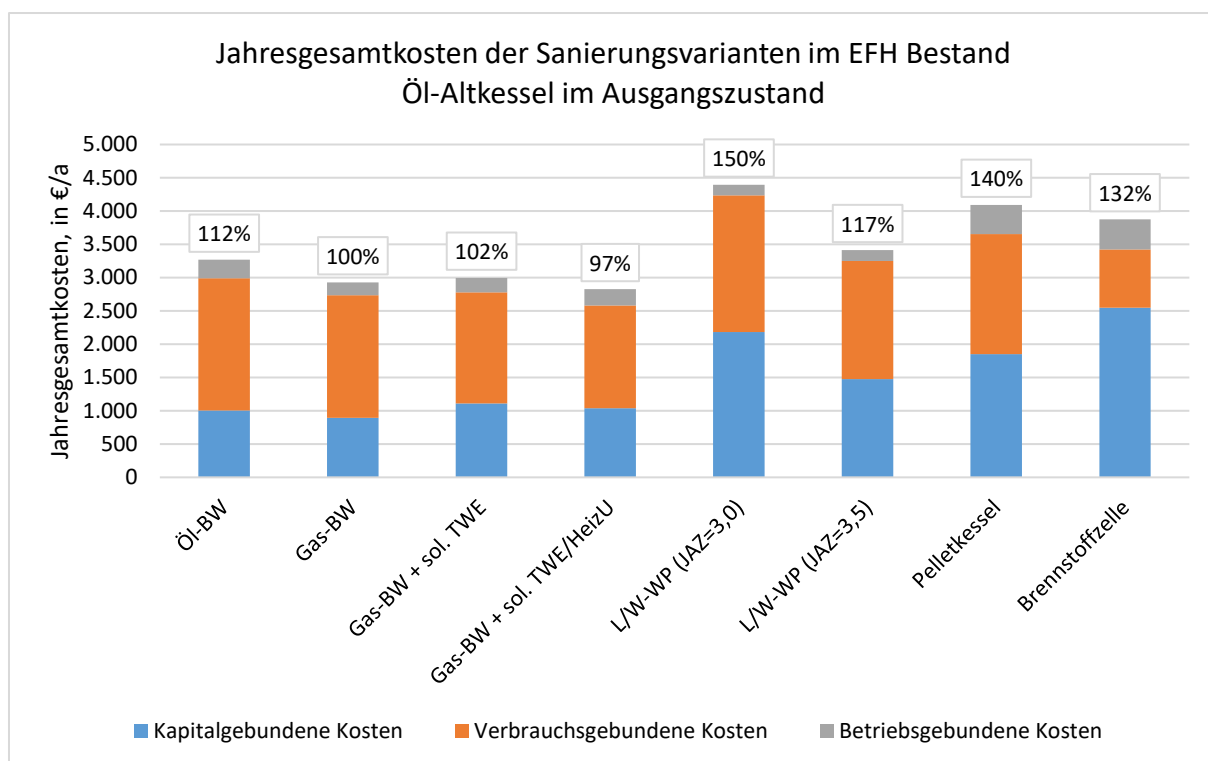


Abbildung 5: Jahresgesamtkosten im EFH Bestand

Die Brennstoffzellenvariante führt bedingt durch die eingesparten Strombezugskosten und die Vergütung des KWK-Stroms zu niedrigsten verbrauchsseitigen Kosten (s. Abbildung 6). Die jährlichen Heizkosten als Summe der verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten der beiden Gas-Brennwertvarianten mit Solarthermie liegen unter den Heizkosten einer Luft/Wasser-EWP (mit Wärmepumpentarif gerechnet).

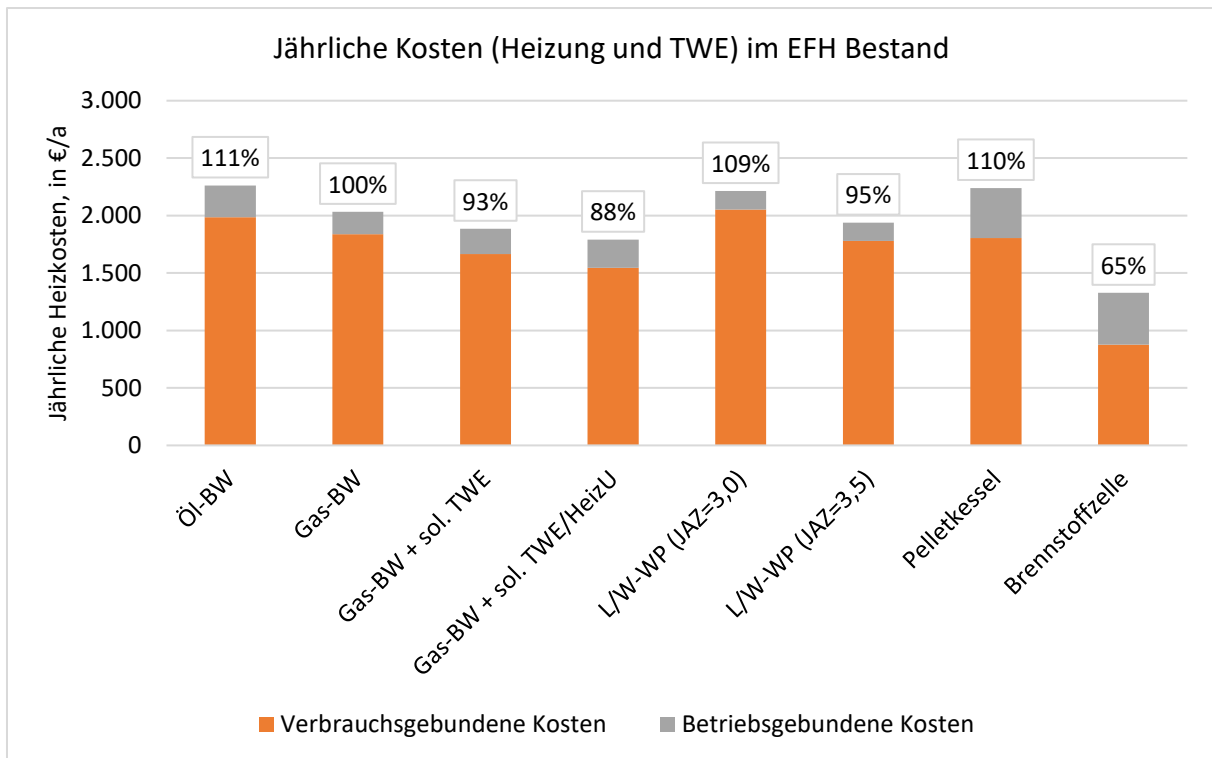


Abbildung 6: Jährliche Heizkosten als Summe der verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten im EFH Bestand

6 Übergreifende Aspekte

6.1 Präferenzen im Wärmemarkt

6.1.1 Beheizungsstruktur im Wohngebäudebestand

Entsprechend [BDEW, 2019] wird für die Beheizung und Trinkwarmwasserversorgung von Wohngebäuden in Deutschland Erdgas als Energieträger am häufigsten eingesetzt. Etwa die Hälfte der Bestandsgebäude wurden im Jahr 2018 mit Erdgas beheizt. Im Gebäudebestand liegt an zweiter Stelle Heizöl mit einem Anteil von gut 25 %. Der Anteil von zentraler netzgebundener Wärmeversorgung beträgt rund 14%. Im Gebäudebestand liegt der Anteil von strombasierten Heizungen bei etwa 5 %. Im Gegensatz zum Neubau sind dabei relativ viele Elektro-Nachtspeicherheizungen zu finden (s. Abbildung 7).

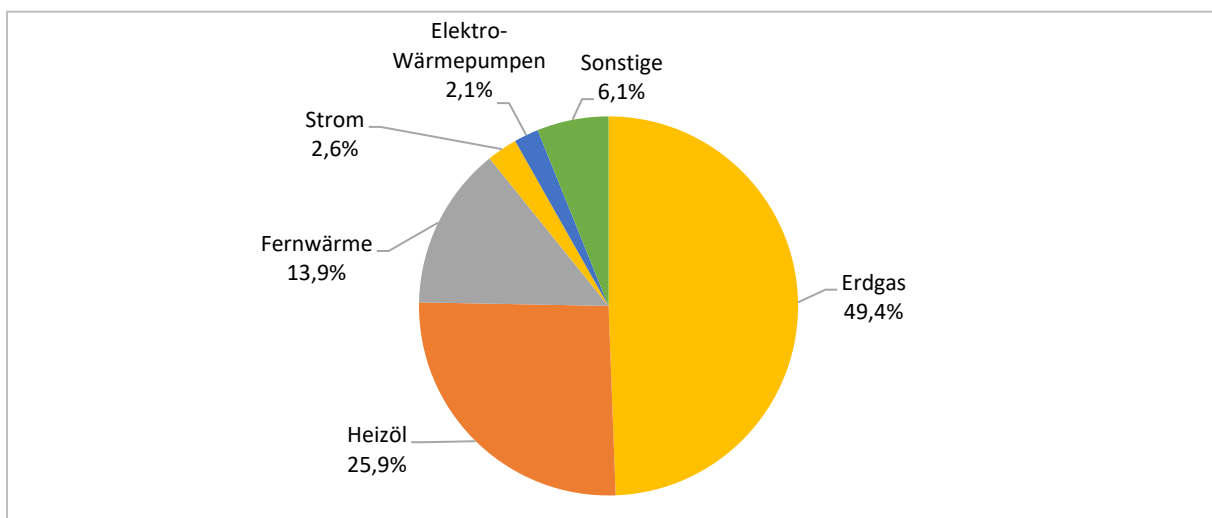


Abbildung 7: Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes 2018, Datenquelle: [BDEW, 2019]

Die prozentualen Anteile für den Energieträger Erdgas haben sich in den letzten Jahren im Bereich der Bestandsgebäude kaum verändert (s. Abbildung 8).

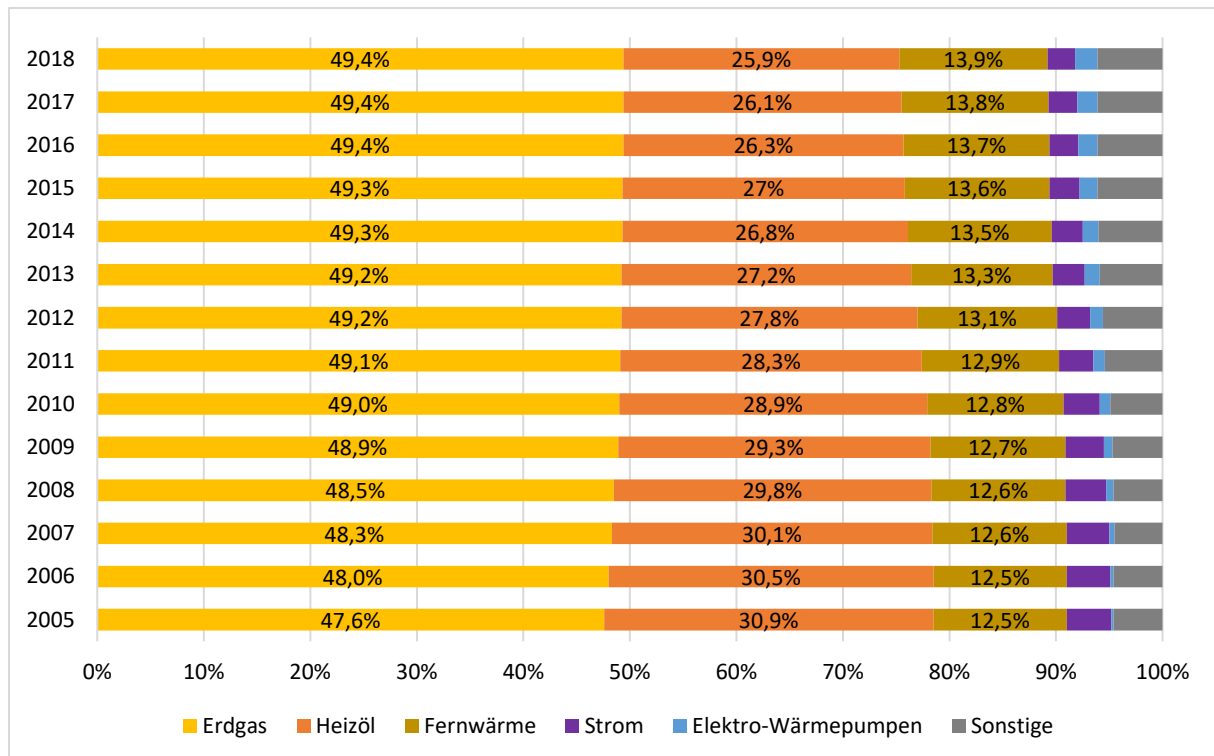


Abbildung 8: Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes, Datenquelle: [BDEW, 2019]

Zur Konditionierung des Gebäudebestandes werden derzeit ca. 20,7 Mio. zentrale Wärmeerzeuger eingesetzt, davon werden ca. 13,4 Mio. mit Erdgas betrieben. Gut ein Viertel der zentralen Wärmeerzeuger werden mit Heizöl betrieben. Dabei sind viele der installierten Wärmeerzeuger unzureichend effizient und ein großer Erneuerungsbedarf besteht (vgl. Abbildung 9).

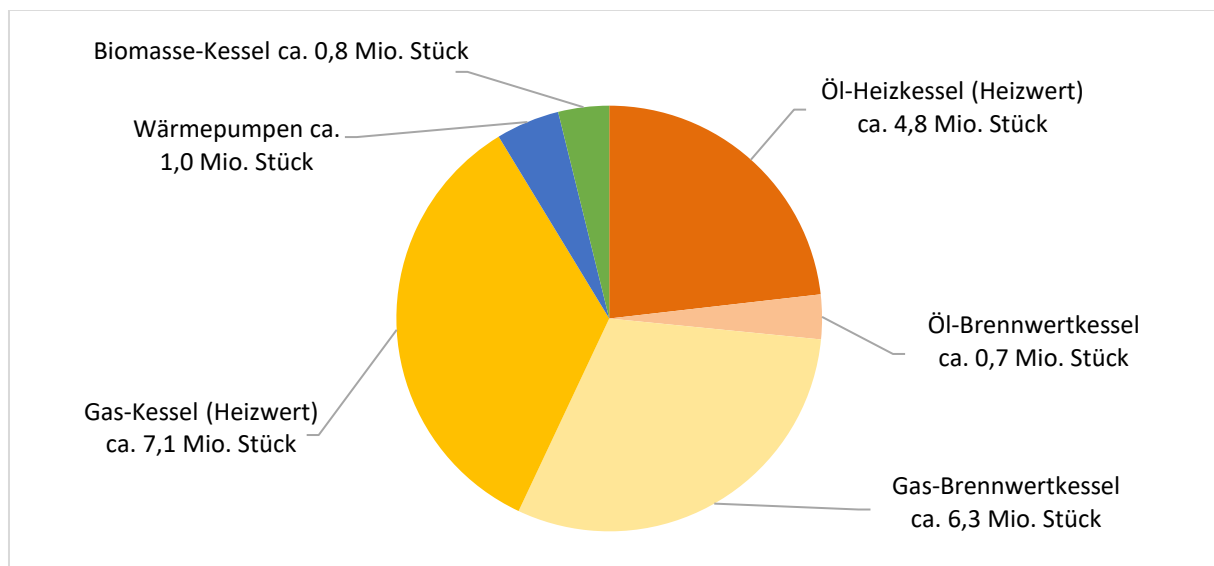


Abbildung 9: Gesamtbestand zentraler (gebäude-/etagenweise) Wärmeerzeuger 2018, Datenquelle: [BDH]

6.1.2 Beheizungsstruktur im Neubau

Anders als im Gebäudebestand hat im Neubau in den letzten Jahren eine deutliche Veränderung der Beheizungsstruktur stattgefunden. Etwa 39 % der im Jahr 2018 genehmigten Wohneinheiten wurden mit Erdgas beheizt, im Jahr 2005 waren es noch rund 75 %. Der Anteil

von Wärmepumpen ist von rund 5 % auf knapp 29 % im Jahr 2018 angestiegen. Analog dazu hat sich der Anteil der mit Nah-/Fernwärme beheizten Wohneinheiten von ca. 9 % auf über 25 % erhöht. Holz als Hauptenergieträger wird im Neubau überwiegend in Form von Pellets eingesetzt, jedoch mit einem vergleichsweise geringem Anteil. Heizöl spielt im Neubau dagegen fast keine Rolle (s. Abbildung 10).

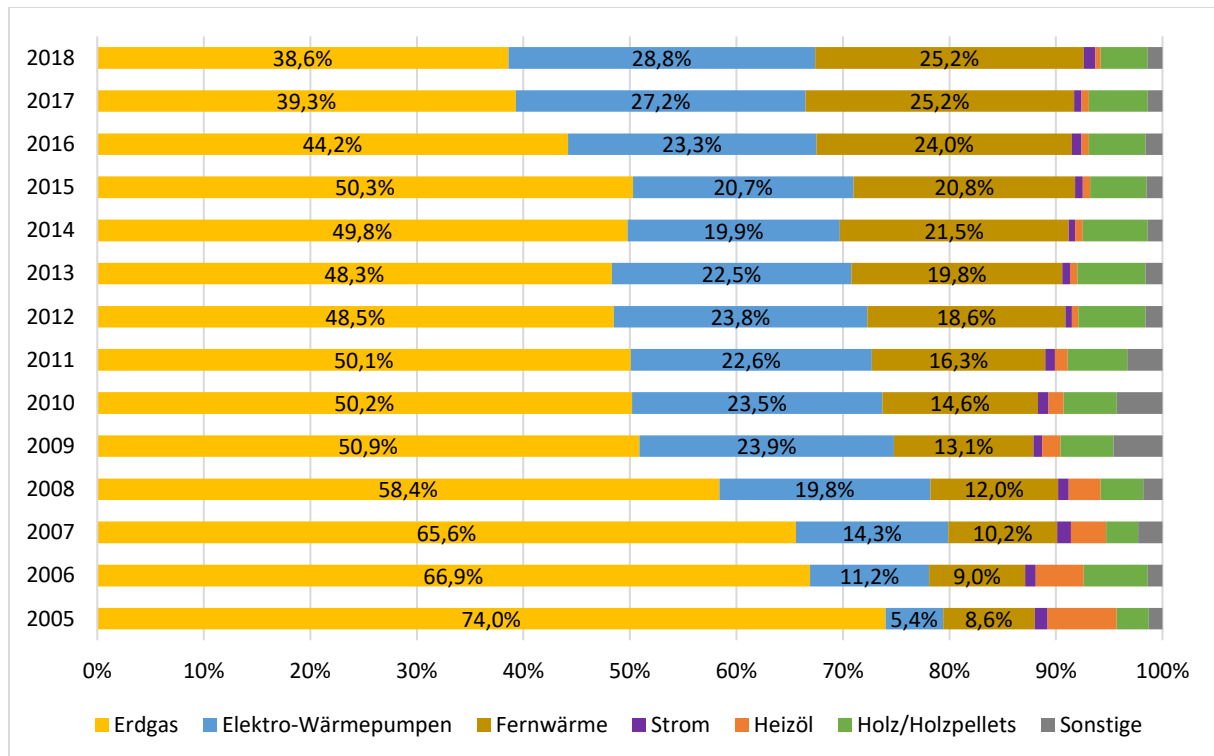


Abbildung 10: Entwicklung der Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau, Datenquelle: [BDEW, 2019]

6.1.3 Wärmeversorgungsstruktur in KfW-Effizienzhäusern

Ergänzend zu der zuvor beschriebenen Beheizungsstruktur für alle Wohngebäude im Bestand und Neubau des jeweiligen Jahres wird im Folgenden die Wärmeversorgungsstruktur ausschließlich in KfW-Effizienzhäusern (Neubau/Sanierung) ausgewiesen.

Die Wärmeversorgungsstruktur der verschiedenen KfW-Effizienzhausstandards im Neubau ist in Abbildung 11 dargestellt. Auffallend sind die hohen Anteile von elektrisch betriebenen Wärmepumpen. Diese liegen bei den KfW-Effizienzhäusern 55 und 40 bei 64 % bzw. 66 % und beim KfW-Effizienzhaus 40 Plus bei 91 %. In 13 % der KfW-Effizienzhäuser 55 sind solarthermische Anlagen vorhanden, bei den KfW-Effizienzhäusern 40 sind es 17 %, bei den Effizienzhäusern 40 Plus 9 %. Photovoltaikanlagen werden bei 21 % der KfW-55, 27 % der KfW-40 bzw. 94 % der KfW-40 Plus installiert. Mechanische Lüftung (insbesondere Zu-/Abluftanlagen mit WRG) werden in den KfW-Effizienzhäusern 55 in 63 % der Fälle eingesetzt, in den KfW-Effizienzhäusern 40 und 40 Plus steigen die Anteile auf 84 % bzw. 100 %.

Erdgas war 2017 bei 16 % der KfW-Effizienzhäusern 55 vertreten, in den KfW-Effizienzhäusern 40 und 40 Plus sinken die Anteile auf 10 % bzw. 4 %.

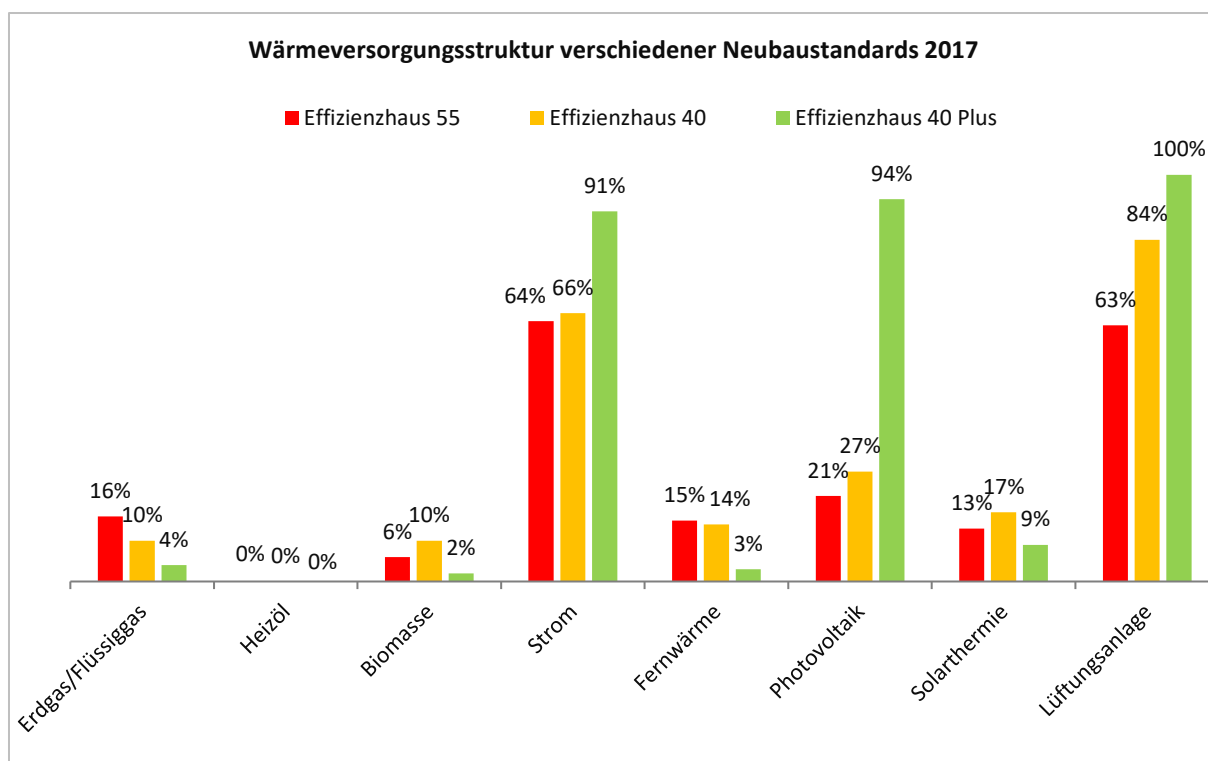


Abbildung 11: Wärmeversorgungsstruktur von KfW-Effizienzhäusern, Neubau, Datenquelle: IWU Darmstadt/Fraunhofer IFAM: Monitoring der KfW-Programme "Energieeffizient Sanieren" und "Energieeffizient Bauen" 2017 (Auswertung von Stichproben)

In Abbildung 12 ist die Wärmeversorgungsstruktur nach Abschluss der Modernisierungsmaßnahmen zum KfW-Effizienzhaus dargestellt. Ähnlich wie im Neubau sind die Anteile von Wärmepumpen, Lüftungsanlagen und Photovoltaikanlagen bei den ambitionierten Effizienzstandards höher, während der Einsatz von Gaskesseln bei den ambitionierteren Standards tendenziell geringer ist. Im Fall von Solarthermie weisen die Effizienzhäuser 100 und 115 die höchsten Anteile auf. Anders als im Neubau wird Biomasse als Hauptenergieträger bei den ambitionierten Standards in bis zu 34 % der Fälle eingesetzt.

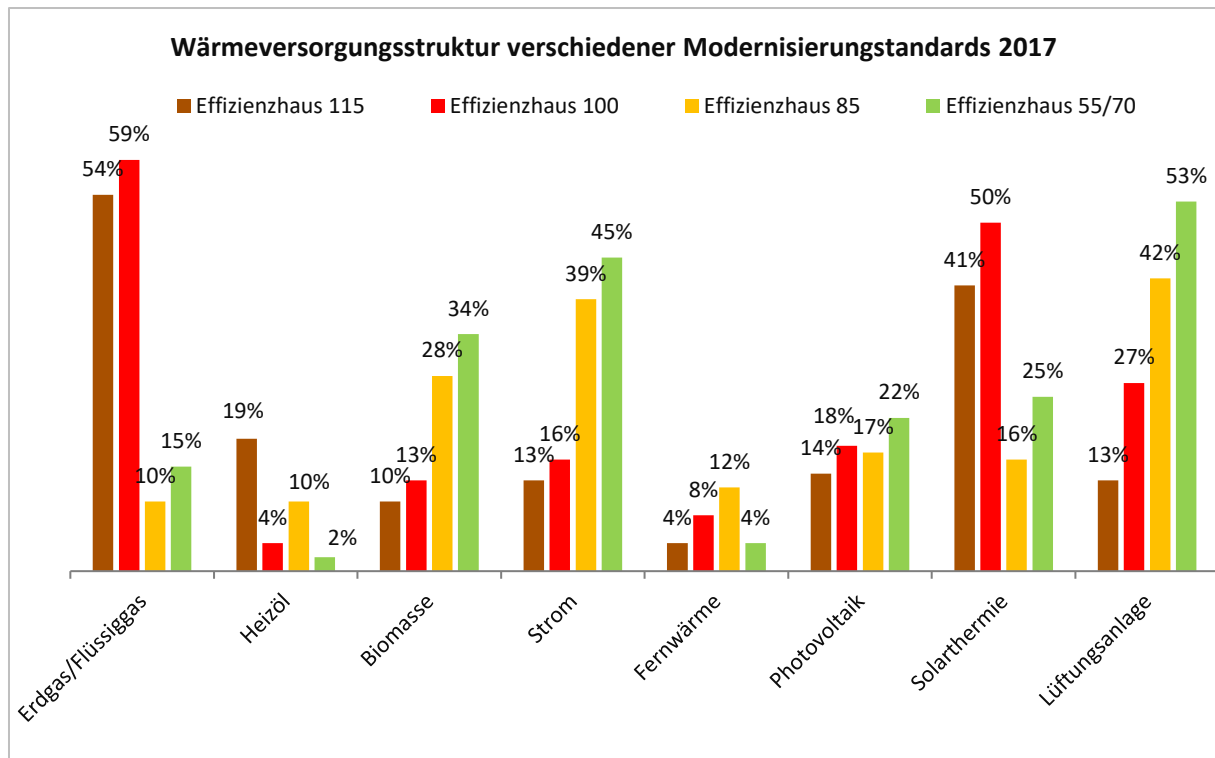


Abbildung 12: Wärmeversorgungsstruktur von KfW-Effizienzhäusern, Modernisierung, Datenquelle: IWU Darmstadt/Fraunhofer IFAM: Monitoring der KfW-Programme "Energieeffizient Sanieren" und "Energieeffizient Bauen" 2017 (Auswertung von Stichproben)

6.1.4 Technologienvergleich – weiche Faktoren

Im Folgenden werden für Gas-Brennwertkessel, Pelletkessel und Wärmepumpen die s.g. weichen Faktoren beschrieben, die durchaus neben den Investitions- und Energiekosten sowie ökologischen Aspekten die Wahl der Heiztechnologie beeinflussen können.

Gas-Brennwertkessel

Gas-Brennwertkessel sind seit Anfang der 90-Jahre marktverfügbar. Heute sind Gas-Brennwertkessel Stand der Technik. Moderne Brennwertkessel verfügen über eine optimierte Regelung im Rahmen des Gesamtsystems.

Der Hilfsenergiebedarf von Brennwertsystemen ist beim Einsatz von hocheffizienten Umwälzpumpen in hydraulisch optimierten Heizungsnetzen gering.

Wandgeräte haben einen geringen Platzbedarf, etwa vergleichbar mit einem schmalen Hängeschrank, ein Warmwasserspeicher kann häufig darunter montiert werden. Sie können problemlos auch in Küchen, Bädern oder Hauswirtschaftsräumen integriert werden. Für die Abgasführung gibt es speziell zugelassene Systeme, wegen der niedrigen Ausgastemperaturen sind die meist aus Kunststoff. Bei Dachaufstellung kann die Abgasführung ohne Schornstein über Dach erfolgen.

Brennwertkessel eignen sich besonders für bi- bzw. multivalente Systeme. So erfolgt häufig eine Kombination mit solarthermischen Anlagen.

Brennwertkessel stellen keine besonderen Anforderungen an den Installateur oder den Betreiber der Anlage. Sie können auch in Verbindung mit vorhandenen Heizflächen bei höheren Systemauslegungstemperaturen eingesetzt werden.

Der Wartungsaufwand von Brennwertkesseln ist relativ gering. Die Geräte werden seit Jahren in großen Stückzahlen verkauft und sind technisch ausgereift, so ist eine hohe Betriebssicherheit gewährleistet. Die rechnerische Lebensdauer beträgt etwa 18-20 Jahre.

Die Überprüfung nach der Kehr- und Überprüfungsordnung (KÜO) soll bei Brennwertkesseln ohne selbstkalibrierende kontinuierliche Regelung des Verbrennungsprozesses (Lambda-Regelung) einmal in jedem zweiten Kalenderjahr stattfinden. Bei Anlagen mit Lambda-Regelung erfolgt diese Überprüfung nur einmal in jedem dritten Kalenderjahr. Gegenüber den Pelletkesseln entstehen daher deutlich geringere Schornsteinfegerkosten.

Pelletkessel

Im Vergleich mit Gas-Brennwertkesseln sind Pelletkessel deutlich größer, schwerer und bis auf wenige Ausnahmen fast immer bodenstehend.

Für einen vollautomatischen Betrieb sind ein Brennstofflager und eine Einrichtung zur Brennstoffzuführung erforderlich. Für die Lagerung von Pellets muss eine ausreichend große Fläche möglichst nah am Heizraum zur Verfügung stehen. Damit weisen Pelletkessel einen relativ hohen Platzbedarf aus.

Bei modernen Pelletkesseln ist die Brennerleistung regelbar, der Modulationsbereich ist jedoch brennstoffbedingt kleiner als bei Gasbrennern.

Festbrennstoffkessel sind thermisch vergleichsweise träge. Nach einer Betriebsunterbrechung benötigen sie i.d.R. deutlich länger, um Wärme bereitstellen zu können, als etwa ein wandhängendes Gas-Brennwertgerät. Außerdem entstehen erhöhte Schadstoffemissionen und Wärmeverluste bei Anfahr- und Abschaltvorgängen. Pelletkessel werden deshalb i.d.R. mit einem Pufferspeicher gekoppelt, aus dem dann bedarfsweise die Wärme abgerufen werden kann.

Die Häufigkeit der Schornsteinfegerarbeiten ist bei Biomasse-Festbrennstoffkesseln höher als bei Gas-Brennwertkesseln. Bei Pelletkesseln soll die Kehrung nach der Kehr- und Überprüfungsordnung zweimal in jedem Kalenderjahr stattfinden. Die widerkehrende Überwachung nach § 15 der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV) erfolgt bei den Biomasse-Festbrennstoffkesseln einmal in jedem zweiten Kalenderjahr. Wegen der häufigeren Wartung und Schornsteinfegeraktivitäten fallen daher die Betriebskosten höher aus als bei Gas-Brennwertkesseln aus.

Wärmepumpen (elektrisch betrieben)

Ein Wärmepumpenheizsystem besteht aus der Wärmequellenanlage und der eigentlichen Wärmepumpe. Entsprechend ihrer Wärmequelle werden Wärmepumpen in Luft/Wasser-, Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen unterschieden.

Die Erschließung von Außenluft als Wärmequelle ist häufig mit dem geringsten technischen und finanziellen Aufwand verbunden. In vielen Fällen, z.B. bei größeren innerstädtisch gelegenen Bestandsgebäuden mit dichter Bebauungsstruktur ist diese Wärmequelle die einzig aus technischen Gründen mögliche Lösung, die gleichzeitig drei Möglichkeiten zur Aufstellung der Wärmepumpe (Innenaufstellung, Außenaufstellung und Splitgerät) anbietet. Allerdings sind die möglichen Lärmemissionen und die notwendigen Abstände zu den angrenzenden schutzbedürftigen Räumen zu beachten und können sich im Einzelfall als Hindernis erweisen.

Das Erdreich als Wärmequelle ist dagegen in der Regel mit höheren Erschließungskosten und höherem technischem Aufwand sowie einem größeren Eingriff auf dem Grundstück verbunden. Der wesentliche Vorteil gegenüber Außenluft als Wärmequelle liegt darin, dass eine höhere Wärmequellentemperatur bei niedrigen Außentemperaturen erzielt werden kann und damit höhere Jahresarbeitszahlen möglich sind.

Für effizienten Betrieb der Wärmepumpe sind außerdem niedrige Systemtemperaturen erforderlich. Besonders geeignet für Wärmepumpen sind daher Fußbodenheizungen, bedingt auch Radiatorheizungen mit Vorlauftemperaturen bis max. 55°C. In Bestandsgebäuden ist daher der Einsatz einer Wärmepumpe i.d.R. mit Heizflächentausch verbunden, da die vorhandenen Heizflächen meist auf die für den effizienten Betrieb der Wärmepumpe erforderlichen niedrigen Systemtemperaturen nicht abgesenkt werden können.

Der Einsatz von Pufferspeichern ist grundsätzlich abhängig vom hydraulischen System. In Verbindung mit Heizkörpern und zur Überbrückung der EVU-Abschaltung bei Nutzung eines Wärmepumpenstromtarifs werden Pufferspeicher meist eingebaut.

Wärmepumpen, die mindestens 5 Tonnen CO₂-Äquivalente fluorierte Treibhausgase enthalten (betrifft insbesondere Luft/Wasser-Wärmepumpen in un- bzw. teilsanierten Bestands-EFH bzw. Wärmepumpen in kleinen bis mittelgroßen Mehrfamilienhäusern) müssen vor zertifiziertem Personal einmal alle 12 Monate auf Dichtheit kontrolliert werden (nach Verordnung (EU) Nr. 517/2014). Im größeren Leistungsbereich verkürzen sich die Intervalle.

Gegenüber brennstoffgespeisten Wärmeerzeugern entfallen bei elektrisch betriebenen Wärmepumpen dagegen die Schornsteinfegerkosten.

6.2 Brennstoffzellen im Wärmemarkt

Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht eine deutliche Stärkung der Energieerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen vor. Die erneuerbaren Energien werden zwar als tragende Säule der zukünftigen Energieversorgung gesehen. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen ist aber zeitlich sehr starken Schwankungen unterworfen. Eine Kompensation der Schwankungen könnte grundsätzlich durch intelligente Stromnetze, die sämtliche Akteure auf dem Strommarkt durch das Zusammenspiel von Erzeugung, Speicherung, Netzmanagement und Verbrauch in ein Gesamtsystem integrieren, erfolgen. Die Verschiebung von der bisherigen "verbrauchsorientierten Stromerzeugung" hin zu einem "erzeugungsoptimierten Verbrauch" findet jedoch gegenwärtig noch nicht im nennenswerten Umfang statt. Zukünftig werden daher zusätzliche Stromerzeuger benötigt, die schnell regelbar

sind und die Lücken der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien schließen können. Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist dafür entsprechend [Prognos, 2014] prädestiniert. Im Wohngebäudebereich können vor allem gebäudeintegrierte KWK-Systeme zur Stärkung der Energieerzeugung aus KWK-Anlagen beitragen. Der Markt für Mikro-KWK-Geräte ist auf der Anbieterseite gegenwärtig durch eine außerordentliche Dynamik geprägt.

Brennstoffzellen-Heizsysteme haben in Deutschland dank einer hohen Erdgasverfügbarkeit, einem gut ausgebauten Erdgasnetz und einer verbreiteten Erdgasanwendung im Wärmemarkt grundsätzlich ein sehr großes Marktpotenzial, befinden sich aktuell noch in einer Markteinführungsphase.

Wirtschaftlichkeitsaspekte spielen eine große Rolle bei der Erreichung einer größeren Marktpräsenz von Brennstoffzellen. Die wirtschaftliche Bewertung von dieser Technologie ist relativ stark von den konkreten Randbedingungen abhängig. Brennstoffzellen, wie andere Effizienztechnologien, sind mit höheren Investitionskosten als die preiswerten Gasbrennwertlösungen, auch wenn diese durch Solarthermie ergänzt werden, verbunden.

Die Entwicklungen auf dem Wärmemarkt zeigen jedoch, dass die Marktanteile von Effizienztechnologien in den vergangenen Jahren stetig angestiegen sind. Dies wurde u.a. durch unterschiedliche Förderprogramme sowohl auf der bundesweiten Ebene und der Länderebene, als auch durch Förderprogramme einzelner Energieversorger/Stadtwerke begünstigt. Eine analoge Entwicklung ist bei den Brennstoffzellen-Heizsystemen zu erwarten.

Seit 2016 bezuschusst die KfW den Einbau von Brennstoffzellen in Privathaushalten. Das Förderprogramm 433 (Zuschuss Brennstoffzelle, vgl. Abschnitt 3.3) wurde 2017 auch auf Unternehmen und Kommunen ausgeweitet. Im Rahmen der KfW-Anschubfinanzierung wurden in neuen und bestehenden Wohn- und Nichtwohngebäuden in Deutschland seit 2016 insgesamt 10.528 Förderzusagen erteilt. Dabei wurden die meisten Geräte in bestehenden Wohngebäuden installiert. Die Anzahl der bewilligten Förderanträge pro Jahr hat seit Förderbeginn eine steigende Tendenz (vgl. Abbildung 13).

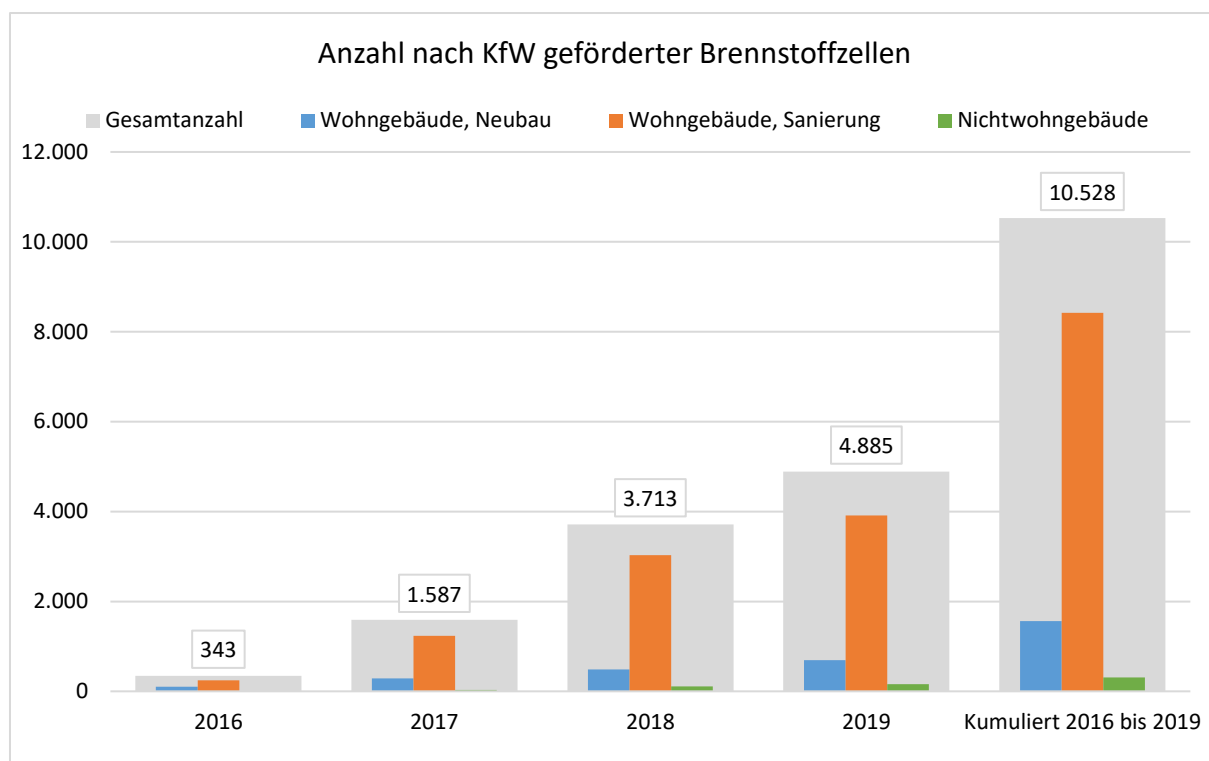


Abbildung 13: Anzahl nach KfW geförderter Brennstoffzellen in den Jahren 2016 bis 2019, Datenquelle: Förderreports KfW Bankengruppe für die Jahre 2016 bis 2019

6.3 Gaswärmepumpen im Wärmemarkt

Im Wärmemarkt, insbesondere im Bereich der Bestandsgebäude, könnten Gaswärmepumpen einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der angestrebten Klimaschutzziele leisten. Im Vergleich zu konventionellen Wärmeerzeugern, beispielsweise Brennwertkesseln, sind Gaswärmepumpen energetisch effizienter und führen zur Verringerung des Primärenergiebedarfes und der Kohlendioxidemissionen im Wärmemarkt. Durch die Einbindung von Umweltwärme erreichen Gaswärmepumpen einen für erdgasbetriebene Systeme hohen regenerativen Anteil. Dieser kann durch die Kombination mit Solarthermie oder durch die Nutzung eines Erdgas-Biogas-Gemisches bzw. Erdgas-PtG-Gemisches weiter gesteigert werden. Dies führt zu einer nochmaligen Absenkung von THG-Emissionen und Primärenergiebedarf. Regenerative Anteile von bis zu 40 % lassen sich mit den Gaswärmepumpen bereits bei einem Biogasanteil von 20 % erreichen.

Analog zu Brennstoffzellen haben Gaswärmepumpen als erdgasbasierte Lösung grundsätzlich ein sehr großes Marktpotential. Für den Bereich von Ein- und Zweifamilienhäusern sind aktuell jedoch keine Gaswärmepumpen marktverfügbar. Die Zeolith-GWP zeoTHERM der Firma Vaillant GmbH mit Solarkollektoren als Wärmequelle war seit Frühjahr 2010 marktverfügbar. Die Markteinführung der Zeolith-Gaswärmepumpe Vitosorp 200-F der Firma Viessmann Werke GmbH & Co. KG fand im Frühjahr 2014 statt. Zum Marktstart wurde diese mit einer Nennwärmeleistung von 10 kW und mit Umweltwärmequelle Erdsonde angeboten. Ab September 2014 wurde die Vitosorp 200-F mit Solarkollektoren als Umweltwärmequelle und zwei weiteren Erdreich-Wärmequellenvarianten angeboten. Beide Hersteller haben inzwischen die o. g. Gaswärmepumpen aus dem Produktportfolio herausgenommen.

Im Leistungsbereich bis ca. 40 kW sind seit 2009 modulierende Absorptionswärmepumpen mit Wärmequelle Erdreich, Außenluft und Wasser der italienischen Firma Robur GmbH in Deutschland erhältlich. Der Einsatzbereich dieser Gaswärmepumpen erstreckt sich aufgrund der Heizleistung auf mittelgroße Mehrfamilienhäuser und Nichtwohngebäude. Die Geräte werden mit geringen Anpassungen inzwischen durch andere Heiztechnikanbieter wie z. B. Bosch Thermotechnik GmbH, De Dietrich Remeha GmbH und OERTLI-ROHLEDER Wärmetechnik GmbH in Deutschland vertrieben. Die Bosch Thermotechnik GmbH bietet in der Buderus-Produktpalette seit Herbst 2011 die Absorptionsgaswärmepumpe Logatherm GWPL41 mit Außenluft als Wärmequelle an. Die seit Herbst 2012 angebotene Logatherm GWPS41 und Logatherm GWPW41 mit Erdreich und Wasser als Wärmequelle wurde inzwischen aus dem Produktportfolio herausgenommen.

6.4 Brennstoffseitige THG-Minderung – „grünes Gas“

Die deutsche Energie- und Klimapolitik verfolgt das Ziel einer weitgehenden Treibhausgasneutralität bis 2050. In dem Energiekonzept hat die Bundesregierung im Jahr 2010 beschlossen, die Treibhausgasemissionen bis 2050 gegenüber 1990 um 80 bis 95% zu senken. Mit dem im November 2016 beschlossenen [Klimaschutzplan 2050] wurden diese Ziele bekräftigt und präzisiert. Gemäß dem Zwischenziel für 2030 sollen die gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland um mindestens 55 % gegenüber 1990 gemindert werden. Dabei variieren die Sektorenziele zwischen 31 % und 67 %. Im Gebäudebereich soll die Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2030 66 bis 67 % (gegenüber 1990) betragen (s. Tabelle 12).

Tabelle 12: Sektorenziele für 2030 entsprechend dem [Klimaschutzplan 2050]

Handlungsfeld	1990 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2030 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2030 (Minderung gegenüber 1990)
Energiewirtschaft	466	175 - 183	62 – 61%
Gebäude	209	70 - 72	67 – 66%
Verkehr	163	95 - 98	42 – 40%
Industrie	283	140 - 143	51 – 49%
Landwirtschaft	88	58 - 91	34 – 31%
Teilsomme	1.209	538 - 557	56 – 54%
Sonstige	39	5	87%
Gesamtsumme	1.248	543 - 562	56 – 55%

Bei der Erreichung der klimapolitischen Ziele spielt daher der Gebäudeenergiesektor eine wesentliche Rolle, da dieser ein großes Minderungspotenzial an Treibhausgasemissionen aufweist.

Um die Klimaziele zu erreichen, ist ein ambitioniertes Vorgehen bei der Gebäude- und Anlagensanierung (energetische Verbesserung der Gebäudehülle, Heizungsmodernisierung, Hybridsysteme mit Einbindung von erneuerbarer Energie) sowie Einsatz treibhausgasreduzierter Energieträger unumgänglich. Bei dem gasförmigen Energieträger wird in diesem Zusammenhang häufig die Bezeichnung „grünes Gas“ verwendet. Der

zukünftige gasförmige Energieträger sollte zunehmende Anteile von Biogas und synthetisch erzeugtem Gas, z.B. in Power-to-Gas-Anlagen beim Einsatz von erneuerbar erzeugtem Strom, ausweisen. Bei PtG-Verfahren wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff unter Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien aufgespalten. Der Wasserstoff lässt sich entweder direkt oder nach einer Methanisierung als erneuerbares Gas in das Gasnetz einspeisen. Power-to-Gas könnte dabei den erneuerbaren Strom unter Nutzung der vorhandenen Infrastrukturen (Gasnetze, -speicher) saisonal speichern und insbesondere dort eingesetzt werden, wo strombasierte Anwendungen nicht möglich oder nicht wirtschaftlich sind. Das betrifft insbesondere viele Bestandsgebäude.

Durch die brennstoffseitige THG-Minderung könnten die Treibhausgasemissionen eines aktuell mit fossilem Energieträger Erdgas beheizten Gebäudes zukünftig deutlich reduziert werden, ohne dass z.B. zusätzliche Investitionen bei der Anlagentechnik¹ erforderlich sind. Dabei ist die resultierende Minderung nahezu proportional zu dem energiebezogenen Anteil der THG-neutralen Gase in dem zukünftigen Gasgemisch. Der Vergleich mit anderen Systemen ist davon abhängig, in welchen Maße die jeweiligen Energieträger perspektivisch dekarbonisiert werden können (vgl. Abbildung 14).

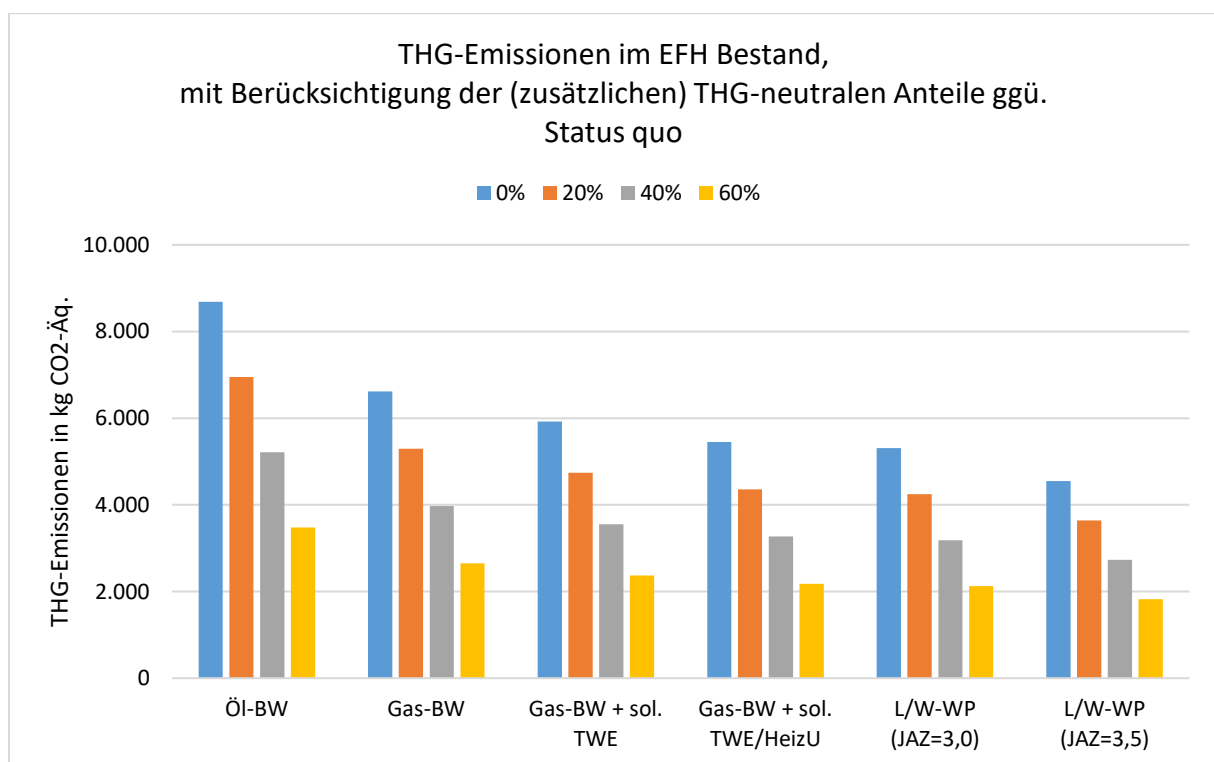


Abbildung 14: THG-Emissionen im EFH Bestand unter Berücksichtigung THG-reduzierter Energieträger

THG-reduzierter Brennstoff ist daher in vielen aktuellen Studien/Untersuchungen zum Thema Energiewende ein maßgeblicher Treiber für die Erreichung ambitionierter Klimaziele (vgl. z.B. [dena-Leitstudie]).

¹ Die Steigerung der Energieeffizienz bleibt weiterhin ein zentraler Meilenstein zur Senkung der THG-Emissionen im Gebäudebestand.

7 Zusammenfassung

Zum 1. Januar 2020 sind weitreichende Änderungen bei den Heizungsförderungen durch das BAFA und die KfW in Kraft getreten. Die BAFA-Förderung wurde zu Gunsten der Integration erneuerbarer Energien stark ausgebaut. Neben dem Bestand werden auch erneuerbare Heiztechnologien im Neubau gefördert. Die Förderung von Einzelmaßnahmen nach KfW wurde zum 01.01.2020 weitgehend eingestellt und im Rahmen der Austauschprämien des BAFA (teilweise) übernommen. Gas-Brennwertkessel und ergänzende Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien werden nicht mehr als Einzelmaßnahme gefördert, können jedoch unter bestimmten Voraussetzungen als Gas-Hybridheizung über BAFA gefördert werden. Wärmeerzeuger auf Öl-Basis werden dagegen sowohl nach KfW als auch BAFA ab 01.01.2020 nicht mehr gefördert.

Im Rahmen der Studie wird überprüft, inwieweit die neuen Förderkonditionen Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von neuen Erdgasheizungen in Bayern haben. Dabei wird die Situation im Bestand, die durch den möglichen Energieträgerwechsel von Öl auf Gas bedingt wäre, betrachtet.

Hinsichtlich der Jahresgesamtkosten liegt die Gas-Brennwertvariante ohne Solarthermie (keine Förderung) und die förderfähigen Gas-Brennwertvarianten mit Solarthermie in dem betrachteten EFH Bestand auf etwa gleichem Niveau. Die Gasbrennwertvarianten weisen unter Berücksichtigung der aktuellen Energiepreise die niedrigsten Jahresgesamtkosten aus. Diese liegen um ca. 15 bis 20 % unter den Kosten der Variante mit förderfähiger Luft/Wasser-EWP und 40 % unter den beim Einsatz eines Pelletkessels resultierenden Jahresgesamtkosten. Die Brennstoffzellenvariante führt bedingt durch die eingesparten Strombezugskosten und die Vergütung des KWK-Stroms zu niedrigsten verbrauchsseitigen Kosten. Die jährlichen Heizkosten als Summe der verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten der beiden Gas-Brennwertvarianten mit Solarthermie liegen unter den Heizkosten einer Luft/Wasser-EWP.

8 Literatur

- [BDEW] BDEW-Gaspreisanalyse Januar 2020, BDEW-Strompreisanalyse Januar 2020
- [BDEW, 2019] BDEW Bundesverband der Energie - und Wasserwirtschaft e.V.: Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland 2018, Stand 07/2019, Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau in Deutschland 2018, Stand 10/2019
- [BDH] BDH Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie: Gesamtbestand zentraler Wärmeerzeuger 2018
- [Bundesrat, 2019] <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Reden/2019/2019-12-20-Rede-Klima-Bundesrat.html>
- [Brennstoffspiegel] UNITI-Mediengruppe GmbH: Brennstoffspiegel + Mineralölrundschau, 03/2020
- [dena-Leitstudie] Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende, Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050, Juli 2018
- [DIN SPEC 32737] Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Brennstoffzellen, Ausgabe Dezember 2014
- [DIN V 4108-6] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, Ausgabe Juni 2003
- [DIN V 4701-10] Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Ausgabe August 2003
- [ESanMV] Verordnung zur Bestimmung von Mindestanforderungen für energetische Maßnahmen bei zu eigenen Wohnzwecken genutzten Gebäuden nach § 35c des Einkommensteuergesetzes (Energetische Sanierungsmaßnahmen-Verordnung) vom 02.01.2020
- [Förderrichtlinie] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt, vom 30. Dezember 2019
- [GEG] Gesetzentwurf der Bundesregierung: Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude - (Gebäudeenergiegesetz), vom Bundeskabinett am 23.10.2019 beschlossene Fassung

- [Klimaschutzplan 2050] BMU (Hrsg.): Klimaschutzplan 2050, Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, November 2016
- [Klimaschutzprogramm 2030] Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050
- [Prognos, 2014] Prognos AG: Potenzial - und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienz-richtlinie) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014, Endbericht zum Projekt I C 4 - 42/13, Berlin, 2014
- [WSchV84] II. Verordnung über einen energieeinsparenden Wärmeschutz bei Gebäuden vom 24.02.1982 (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV)