

Teil-Energienutzungsplan für die Stadt Herzogenaurach

Detailprojekt „Sanierungsleitfaden“

Autor:

Kathrin Wild
Abteilung Gebäudetechnik

Sven Schuller
Abteilung Kommunalunternehmen

Institut für Energietechnik IfE GmbH
Kaiser-Wilhelm-Ring 23a
92224 Amberg



Infobroschüre

„Sanierung von Wohngebäuden“

**Erarbeitet im Rahmen des Energiekonzeptes
für die Stadt Herzogenaurach**

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis	III
Formelzeichen, Indizes und Einheiten	VI
1 Einleitung / Vorwort	7
2 Beschreibung der ausgewählten Gebäudetypen und allgemeine Begriffserklärungen	9
2.1 Allgemeine Begriffserklärungen.....	9
2.2 Beschreibung der betrachteten Gebäudetypen	11
2.3 Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle	16
2.4 Fördermittelübersicht (Gebäudesanierung)	22
3 Ermittlung der Energieeinsparpotenziale und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach Baualtersklasse	28
3.1 Baualtersklasse I: Baujahr bis 1948.....	30
3.2 Baualtersklasse II: Baujahr 1949 bis 1968.....	35
3.3 Baualtersklasse III: Baujahr 1969 bis 1978.....	40
3.4 Baualtersklasse IV: Baujahr 1979 bis 1983	45
3.5 Baualtersklasse V: Baujahr 1984 bis 1994	50
3.6 Baualtersklasse VI: Baujahr ab 1995 (bis 2002)	55
4 Aktuelle Energieversorgungslösungen	60
4.1 Allgemeines.....	60
4.2 Wirtschaftliche Randbedingungen.....	68
4.3 Ökologische Rahmenbedingungen	72
4.4 Energiebedarfsklasse 1 (20.000 kWh _{Hi} /a; 10 kW _{Nennleistung})	73
4.5 Energiebedarfsklasse 2 (25.000 kWh _{Hi} /a; 15 kW _{Nennleistung})	78
4.6 Energiebedarfsklasse 3 (32.500 kWh _{Hi} /a; 20 kW _{Nennleistung})	83
4.7 Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh _{Hi} /a; 25 kW _{Nennleistung})	88
4.8 Energiebedarfsklasse 5 (50.000 kWh _{Hi} /a; 30 kW _{Nennleistung})	93

4.9	Energiebedarfsklasse 6 (65.000 kWh _{Hi} /a; 40 kW _{Nennleistung})	98
4.10	Energiebedarfsklasse 7 (80.000 kWh _{Hi} /a; 50 kW _{Nennleistung})	103
4.11	Fördermittelübersicht (Energieversorgung)	108
Abbildungsverzeichnis		112
Tabellenverzeichnis		116

Abkürzungsverzeichnis

abzgl.	abzüglich
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BHKW	Blockheizkraftwerk
BJ	Baujahr
BKZ	Baukostenzuschuss
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
d. h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
DG	Dachgeschoss
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbarer Energien Gesetz
EG	Erdgeschoss
el.	elektrisch(-e,-er)
EnEV	Energieeinsparverordnung
ENP	Energienutzungsplan
etc.	et cetera
exkl.	exklusive
GEG	Gebäude Energie Gesetz
ggf.	gegebenenfalls
ggü.	gegenüber

HEL	leichtes Heizöl
HLS	Heizung, Lüftung, Sanitär
HÜS	Hausübergabestation (Wärmeverbund)
inkl.	inklusive
iSFP	Individueller Sanierungsfahrplan
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LS	Liegenschaft(en)
lt.	laut
max.	maximal
min.	minimal
MSR	Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
MwSt.	Mehrwertsteuer
NGF	Nettogrundfläche
o. ä.	oder ähnliche(-r; -s)
OGD	oberste Geschossdecke
p. a.	pro anno ; pro Jahr
PV	Photovoltaik
RL	Rücklauf
sog.	sogenannte(-n; -r)
spez.	spezifisch(-e; -er; -es)
TfZ	Technologie- und Förderzentrum
THG	Treibhausgas(-e)
u. a.	unter anderem
UG	Untergeschoss
usw.	und so weiter
u. U.	unter Umständen

v. a.	vor allem
vbh	Vollbenutzungsstunden
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
versch.	verschieden(-e)
vgl.	vergleiche
VL	Vorlauf
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WGK	Wärmegestehungskosten
WLG	Wärmeleitgruppe
WW	Warmwasser
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

Formelzeichen, Indizes und Einheiten

Einheiten		Indizes	
MWh	Megawattstunde	el	elektrisch
kWh	Kilowattstunde	th	thermisch
MW	Megawatt	Hi	Heizwert
kW	Kilowatt	peak	Spitzenleistung
W	Watt		
€	Euro		
Ct	Euro-Cent		
l	Liter		
a	Jahr		
h	Stunde		
m	Meter		
cm	Zentimeter		
m ²	Quadratmeter		
m ³	Kubikmeter		
t	Tonne		
kg	Kilogramm		
%	Prozent		
°C	Grad Celsius		

1 Einleitung / Vorwort

Als fundamentaler Teil eines Energiekonzeptes im Hinblick auf das Ziel der „klimaneutralen Stadt Herzogenaurach 2030“ wurde dieser Sanierungsleitfaden für Wohngebäude zur Unterstützung der Bürger erstellt. Er soll in erster Linie durch übersichtliche Zahlen und Fakten Sanierungspotenziale aufzeigen. Weiterhin soll er Gebäudeeigentümer dazu animieren, so bald wie möglich mit der energetischen Sanierung zu beginnen, um so einen wesentlichen Beitrag zur klimaneutralen Stadt zu leisten.

Hierzu werden für unterschiedliche Baualterklassen jeweils vier typische Bauformen von Wohnhäusern herangezogen. Als Ergebnis werden die durch verschiedene Sanierungsmaßnahmen an der wärmeübertragenden Gebäudehülle exemplarisch erzielbaren Energieeinsparungen kalkuliert und abgebildet.

Die ermittelten Einsparpotenziale und die anschließende wirtschaftliche Betrachtung können den Eigentümern von Wohngebäuden als Orientierungshilfe bei der Planung zukünftiger Sanierungsmaßnahmen dienen.

Um besser einschätzen zu können, wie hoch das Sanierungspotenzial insgesamt ist, zeigt Abbildung 1 die Gesamtwohnflächen im Stadtgebiet von Herzogenaurach aufgeteilt in die verschiedenen Baualterklassen der Gebäude.

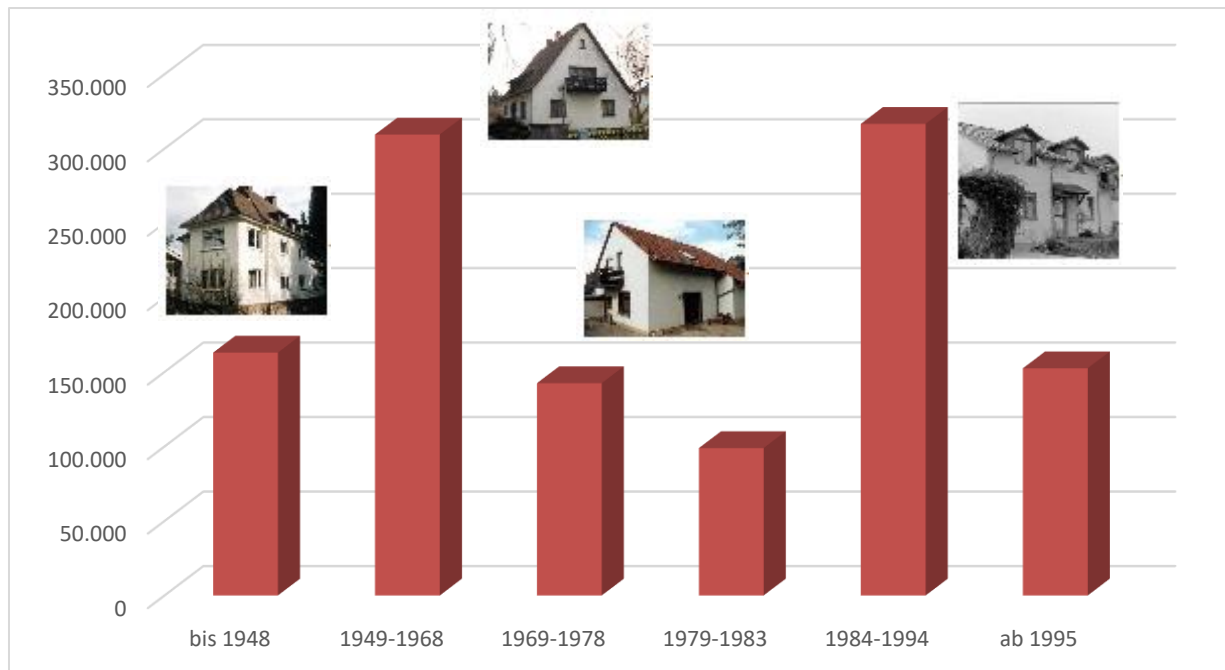


Abbildung 1: Aufteilung der Wohnflächen in m² von Herzogenaurach nach Baualter [Quelle: Statistikdaten Bayerisches Landesamt für Statistik 2021, Wärmekataster]

Wie in Abbildung 1 ersichtlich, stammen rund 40 % des Wohnflächenbestandes aus den Jahren bis 1968. Der Anteil der ab Mitte der 1990er Jahre errichteten Wohnflächen beträgt ca. 13 %. Es ist davon auszugehen, dass Wohnungen ab der Mitte der 1990er Jahre kaum sanierungsrelevant sind. Somit liegen rund 87 % der Wohnflächen im Stadtgebiet von Herzogenaurach in einer sanierungsrelevanten Baualterklasse. Ausgenommen sind hierbei bereits voll- oder teilsanierte Gebäude, die jedoch statistisch nicht erfasst sind und daher nicht abgebildet werden können.

2 Beschreibung der ausgewählten Gebäudetypen und allgemeine Begriffserklärungen

2.1 Allgemeine Begriffserklärungen

U-Wert

Sämtliche Hüllflächen werden in der folgenden bauphysikalischen Begutachtung auf so genannte U-Werte bezogen. Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) ist das Maß für den Umfang des Wärmedurchgangs durch einen bestimmten Gesamt-Bauteilaufbau wie etwa einer Außenwand. Der U-Wert einer Wand von beispielsweise $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ sagt aus, dass bei einem Kelvin Temperaturunterschied von innen nach außen, 2 Watt Wärmeleistung pro Quadratmeter durch die Wand verloren gehen. Je niedriger der U-Wert eines Bauteils ist, desto günstiger wirkt sich dieses auf den Wärmeverlust des gesamten Gebäudes aus.

Hinweis: Je kleiner der U-Wert, desto besser isoliert das Bauteil.

Im Folgenden werden die Hüllflächenbauteile nach den jeweiligen Gebäudeteilen und Baualtersklassen geordnet, dargestellt und bewertet.

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt den Transport von Energie in Form von Wärme durch einen bestimmten Baustoff aufgrund eines Temperaturunterschiedes. Je geringer die Wärmeleitfähigkeit, desto weniger Wärme kann durch ein Material fließen. Dämmstoffe werden nach ihrer Wärmeleitfähigkeit in Wärmeleitgruppen eingeteilt (z. B. Wärmeleitfähigkeit $0,04 \text{ W}/(\text{mK})$ entspricht Wärmeleitgruppe 040). Durch Addition mehrerer Wärmeleitfähigkeiten von einzelnen Baustoffschichten, lässt sich hinterher rechnerisch der gesamte U-Wert eines Bauteils ermitteln.

Wärmeleitgruppe

Die Wärmeleitgruppe trifft eine Aussage über die wärmeschutztechnische Wertigkeit eines spezifischen Baustoffs. Je niedriger der Wert, desto besser sind die Dämmeigenschaften. Sie wird bei jeder Art des Dämmstoffs vom Hersteller, meist auf der Verpackung, angegeben. Gängige Wärmeleitgruppen liegen im Bereich von WLG 030 bis WLG 040. Werden bei Sanierungen aufgrund von beschränkten Platzverhältnissen (z.B. Kellerdecke, Dachdämmung) jedoch besonders gute Dämmstoffe benötigt, die dann bei identischem U-Wert auch eine geringere Materialstärke aufweisen dürfen, sind hierfür Hochleistungsdämmstoffe mit einer Wärmeleitgruppe von WLG 020 erhältlich.

Endenergie

Der thermische Endenergiebedarf gibt die nach technischen Regeln berechnete, jährlich benötigte Energiemenge für Heizung, Warmwasser und Kühlung an. Er wird unter Standardklima- und Standardnutzungsbedingungen errechnet und ist das Maß für die Energieeffizienz eines Gebäudes und seiner Anlagentechnik. Der Endenergiebedarf ist die Energiemenge, die dem Gebäude bei standardisierten Bedingungen unter Berücksichtigung der Energieverluste zugeführt werden muss, damit die standardisierte Innentemperatur und der Warmwasserbedarf sichergestellt werden können (bspw. Erdgasbedarf auf der Abrechnung = Endenergie).

Referenzklima

Klimareferenzort:	Deutschland
Norm-Außentemperatur ϑ_e :	-12 °C
Mittlere Außentemperatur $\vartheta_{e,mittel}$:	8,9 °C

Verbrauchsangaben

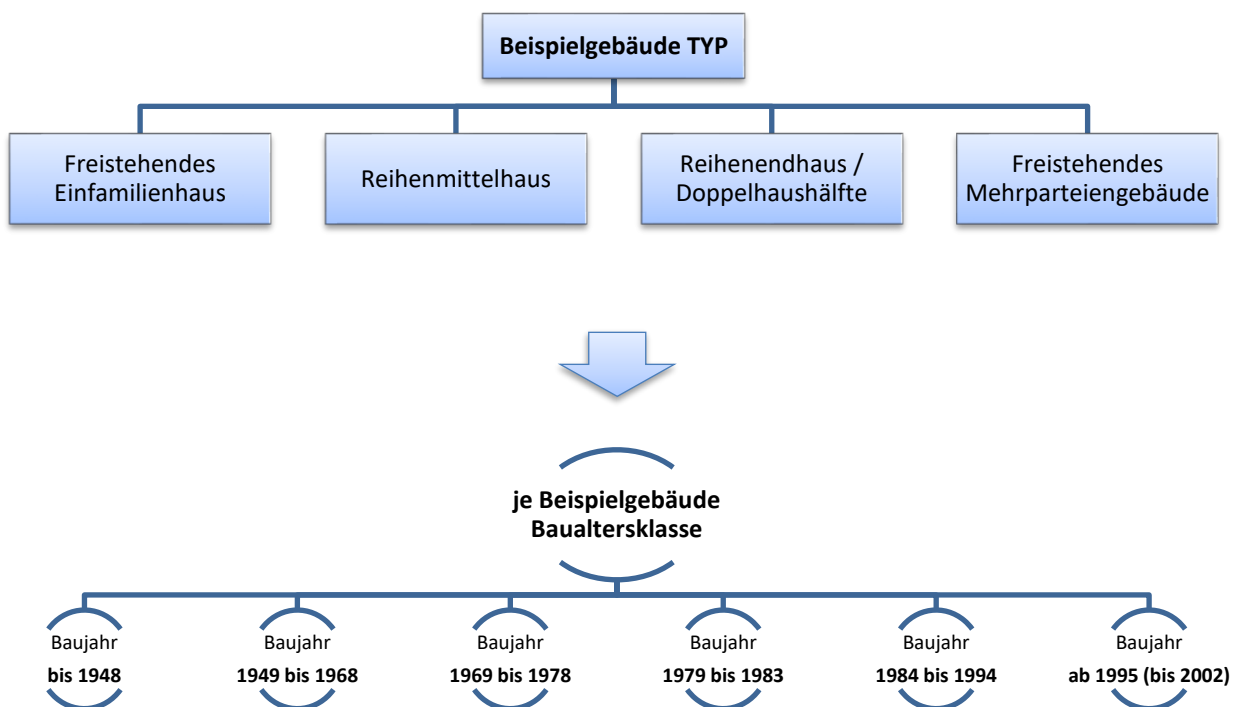
Für die in dieser Broschüre enthaltenen Berechnungen wurde das „Standardnutzerverhalten“ nach Gebäudeenergie-Gesetz (GEG) auf Grundlage der DIN 18599 sowie die Standardklimabedingungen für den Standort Deutschland zugrunde gelegt. Daher können aus den Ergebnissen keine genauen Rückschlüsse auf die absolute Höhe des Brennstoffverbrauchs eines spezifischen Wohngebäudes in der Stadt Herzogenaurach gezogen werden. Meist liegen die standardisierten Berechnungen, besonders wenn Keller in der thermischen Hülle mitbetrachtet werden, über dem tatsächlichen Verbrauch. Es sollte daher durch den Eigentümer*in immer ein Vergleich mit den eigenen vorliegenden Heizenergieabrechnungen der letzten drei Jahre durchgeführt werden.

Software

Zur Berechnung wird die Software „Energieberater 18599“ der Firma Hottgenroth in der Programmversion 11.6.2 verwendet.

2.2 Beschreibung der betrachteten Gebäudetypen

Damit der Bauherr*in sein Haus in dieser Broschüre einordnen kann, werden im Folgenden vier typische Bauweisen von Wohngebäuden näher betrachtet. Bei allen Gebäudetypen wird für die Kalkulation der Energiebedarfswerte das Standardnutzerverhalten nach GEG, mit Raumtemperaturen von 19°C und einer Luftwechselrate von 0,7 pro Stunde, zugrunde gelegt (d. h. 70 % des Luftvolumens werden in einer Stunde ausgetauscht). Es wird weiterhin angenommen, dass bei den Gebäudetypen der Wärmeerzeuger nicht älter als 20 Jahre ist und dass kein Denkmalschutz besteht.



2.2.1 Gebäudetyp 1: „freistehendes Einfamilienhaus“

Das betrachtete Referenzgebäude hat einen unbeheizten Keller. Das Erdgeschoss ist als Vollgeschoss ausgebildet. Darüber befindet sich ein ausgebautes Dachgeschoss. Den unteren Abschluss der thermischen Gebäudehülle bildet die Kellerdecke. Den seitlichen Abschluss im Obergeschoss bilden die Dachflächen (ca. 45 m²) mit Kniestock (ca. 0,6 m) und einer angenommenen Neigung von 45°. Die Dachfenster (gesamt ca. 4 m²) werden bei den Sanierungsbetrachtungen den Fensterflächen zugerechnet. In der Mitte schließt die als oberste Geschossdecke ausgeführte Zangenkonstruktion des Dachstuhls die thermische Hülle. Abbildung 2 zeigt zur Übersicht eine Darstellung des als Referenz betrachteten Gebäudetyps 1. Grüne Flächen kennzeichnen beheizte Räume.



Abbildung 2: Darstellung Gebäudetyp 1

Für Gebäudetyp 1 gelten folgende Annahmen:

Grundfläche (10m x 10m)	100 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,50 m
Beheiztes Brutto-Gebäudevolumen:	509 m ³
Beheiztes Luftvolumen:	426 m ³
Thermisch wirksame Hüllfläche:	390 m ²
Verhältnis Oberfläche zu Volumen:	0,76 1/m
Nutzfläche An:	163 m ²
Wohnfläche:	ca. 137 m ²

Bauteile der Gebäudehülle von Gebäudetyp 1 für Kostenberechnung:

Dach gesamt:	145 m ²
Oberste Geschossdecke:	65 m ²
Außenwände EG-Giebel inklusive Fenster:	196 m ²
Fenster und Außentür:	29 m ²
Kellerdecke:	100 m ²

2.2.2 Gebäudetyp 2: „Reihenmittelhaus“

Das betrachtete Referenzgebäude ist ein Reihenmittelhaus, wodurch die seitlichen Wände (rot dargestellt) rechnerisch nicht betrachtet werden, da sie an beheizte Flächen der Nachbarn anschließen. Das Haus hat einen unbeheizten Keller. Das Erdgeschoss und das erste Obergeschoss sind jeweils als Vollgeschoss ausgebildet. Darüber befindet sich ein ausgebautes Dachgeschoss. Den unteren Abschluss der thermischen Gebäudehülle bildet die Kellerdecke. Den seitlichen Abschluss im Obergeschoss bilden die Dachflächen (ca. 42 m²) mit Kniestock (ca. 0,2 m) und einer angenommenen Neigung von 35°. Die Dachfenster (gesamt ca. 4 m²) werden bei den Sanierungsbetrachtungen den Fensterflächen zugerechnet. In der Mitte schließt die als oberste Geschossdecke ausgeführte Zangenkonstruktion des Dachstuhls die thermische Hülle. Abbildung 3 zeigt zur Übersicht eine Darstellung des als Referenz betrachteten Gebäudetyps 2. Grüne Flächen kennzeichnen beheizte Räume.

Für Gebäudetyp 2 gelten folgende Annahmen:



Grundfläche (10m x 6m):	60 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,50 m
Beheiztes Brutto-Gebäudevolumen:	445 m ³
Beheiztes Luftvolumen:	358 m ³
Thermisch wirksame Hüllfläche:	199 m ²
Verhältnis Oberfläche zu Volumen:	0,45 1/m
Nutzfläche A _n :	142 m ²
Wohnfläche:	ca. 138 m ²

Bauteile der Gebäudehülle von Gebäudetyp 2 für Kostenberechnung:

Dach gesamt:	78 m ²
Oberste Geschossdecke:	22 m ²
Außenwände EG-Giebel inklusive Fenster:	67 m ²
Fenster und Außentür:	21 m ²
Kellerdecke:	60 m ²

Abbildung 3: Darstellung Gebäudetyp 2

2.2.3 Gebäudety 3: „Reihenendhaus und Doppelhaushälfte“

Das betrachtete Referenzgebäude ist ein Reihenendhaus bzw. eine Doppelhaushälfte, wodurch eine seitliche Wand (rot dargestellt) rechnerisch nicht betrachtet wird, da sie an beheizte Flächen zum Nachbarn anschließt. Das Haus hat einen unbeheizten Keller. Das Erdgeschoss und das erste Obergeschoss sind jeweils als Vollgeschoss ausgebildet. Darüber befindet sich ein ausgebautes Dachgeschoss. Den unteren Abschluss der thermischen Gebäudehülle bildet die Kellerdecke. Den seitlichen Abschluss im Obergeschoss bilden die Dachflächen (ca. 42 m²) mit Kniestock (ca. 0,2 m) und einer angenommenen Neigung von 35°. Die Dachfenster (gesamt ca. 4 m²) werden bei den Sanierungsbetrachtungen den Fensterflächen zugerechnet. In der Mitte schließt die als oberste Geschossdecke ausgeführte Zangenkonstruktion des Dachstuhls die thermische Hülle. Abbildung 4 zeigt zur Übersicht eine Darstellung des als Referenz betrachteten Gebäudety 3. Grüne Flächen kennzeichnen beheizte Räume.

Für Gebäudety 3 gelten folgende Annahmen:



Grundfläche (10m x 6m):	60 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,50 m
Beheiztes Brutto-Gebäudevolumen:	445 m ³
Beheiztes Luftvolumen:	358 m ³
Thermisch wirksame Hüllfläche:	273 m ²
Verhältnis Oberfläche zu Volumen:	0,61 1/m
Nutzfläche A _n :	142 m ²
Wohnfläche:	ca. 138 m ²

Bauteile der Gebäudehülle von Gebäudety 3 für Kostenberechnung:

Dach gesamt:	78 m ²
Oberste Geschossdecke:	22 m ²
Außenwände EG-Giebel inklusive Fenster:	144 m ²
Fenster und Außentür:	29 m ²
Kellerdecke:	60 m ²

Abbildung 4: Darstellung Gebäudety 3

2.2.4 Gebäudetyp 4: „Mehrfamilienhaus“

Das betrachtete Referenzgebäude ist ein Mehrfamilienhaus mit 10 Wohneinheiten. Das Haus hat einen unbeheizten Keller. Die Geschosse zwischen Erdgeschoss und 2. Obergeschoss sind jeweils als Vollgeschoss ausgebildet. Darüber befindet sich ein ausgebautes Dachgeschoss. Den unteren Abschluss der thermischen Gebäudehülle bildet die Kellerdecke. Den seitlichen Abschluss im Dachgeschoss bilden die Dachflächen mit Kniestock (ca. 0,5 m) und einer angenommenen Neigung von 30°. Die Dachfenster (gesamt ca. 21 m²) werden bei den Sanierungsbetrachtungen den Fensterflächen zugerechnet. Abbildung 5 zeigt zur Übersicht eine Darstellung des als Referenz betrachteten Gebäudetyps 4. Gelbe Flächen kennzeichnen beheizte Räume.

Für Gebäudetyp 4 gelten folgende Annahmen:



Grundfläche (26m x 9,4m):	245 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,55 m
Beheiztes Brutto-Gebäudevolumen:	2.481 m ³
Beheiztes Luftvolumen:	1.991 m ³
Thermisch wirksame Hüllfläche:	1.273 m ²
Verhältnis Oberfläche zu Volumen:	0,51 1/m
Nutzfläche A _n :	ca. 770 m ²
Wohnfläche:	ca. 700 m ²

Abbildung 5: Darstellung Gebäudetyp 4

Bauteile der Gebäudehülle von Gebäudetyp 4 für Kostenberechnung:

Dach gesamt:	283 m ²
Oberste Geschossdecke:	0 m ²
Außenwände EG-Giebel inklusive Fenster:	680 m ²
Fenster und Außentür:	119 m ²
Kellerdecke:	245 m ²

2.3 Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle

Anmerkungen zum mittleren Kostenniveau:

Alle folgenden Kosten beinhalten nur die rein energetischen Kostenanteile der Sanierungsmaßnahme. Das wären bei einer Fassadendämmung z. B. die Kosten für den Dämmstoff mit Verlegung, neuen Fensterbrettern, Verlängerung des Dachüberstands. Das heißt es wird davon ausgegangen, dass die Maßnahmen zusammen mit notwendigen Umfeldmaßnahmen wie z. B. eines neuen Fassadenputzes und Fassadenanstriches umgesetzt werden. So sind bei der Umsetzung energetischer Sanierungsmaßnahmen Synergieeffekte nutzbar, was sich indirekt auf die Investitionskostenanteile auswirkt.

Darüber hinaus wird bei Fenstern eine mittlere Lebensdauer von 40 Jahren angesetzt und der jeweilige Restwert nach Baujahr berücksichtigt.

Heiztechnik:

In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu beachten, dass jede energetische Sanierung an der Gebäudehülle die notwendige Heizlast für das Gebäude senkt und somit die Kosten für einen zukünftigen Wärmeerzeuger u. U. verringert, da dieser dann kleiner ausfallen kann. Nach größeren Sanierungsmaßnahmen sollte außerdem geprüft werden, ob das Temperaturniveau (VL- und RL-Temperatur; vgl. „Heizkurve“) am Wärmeerzeuger ggf. abgesenkt werden kann. Dies kann nochmals zusätzlich zu einer Einsparung führen bzw. den effizienten Einsatz von Wärmepumpen im Bestand ermöglichen. Diese Punkte wurden hinsichtlich der zusätzlichen Kostenersparnis in den folgenden Betrachtungen noch nicht mitberücksichtigt. In Kapitel 4 wird von einer umfassenden Gebäudesanierung (Gesamtsanierung) sowie dadurch einhergehend von einem abgesenkten Temperaturniveau in den Heizkreisen ausgegangen. D. h. für die Betrachtungen verschiedener Energieversorgungssysteme wird eine effiziente Nutzung von Wärmepumpen durch ein angepasstes VL- / RL- Temperaturniveau (max. 55°C im VL) vorausgesetzt. Der Betrieb von Wärmepumpen ist auch bei höheren Temperaturanforderungen technisch möglich, jedoch aus Effizienzgründen nicht empfehlenswert.

Für die bauphysikalische Bewertung wird das in Herzogenaurach mit Abstand häufigste Energieversorgungssystem berücksichtigt (Erdgaskessel). Eine Weitergehende Analyse möglicher Wärmeerzeugungssysteme ist im Anschluss in Kapitel 4 ausführlich für verschiedene Energiebedarfswerte abgebildet.

Beschreibung und Kostenschätzung:

Dämmung der Außenwände

Eine Möglichkeit zur Reduktion des Wärmebedarfs ist die Dämmung der Außenwände mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Im Folgenden wird die mögliche Heizenergieeinsparung durch Montage einer 16 cm starken Dämmung der Wärmeleitgruppe (WLG) 035 betrachtet. Wärmedämmverbundsysteme zählen mittlerweile zu den sog. Standardmaßnahmen. Auf eine detaillierte Beschreibung wird deshalb verzichtet.

Verfügt ein Gebäude bereits über eine Fassadendämmung mit geringer Dämmstärke ist vor der Montage einer zusätzlichen Dämmung die Tragfähigkeit des Untergrundes zu überprüfen.

Die Vollkosten für die Montage eines Wärmedämmverbundsystems liegen, abhängig vom jeweiligen Gebäude, im Bereich von ca. 120 €/m² bis 170 €/m² inkl. Mehrwertsteuer. Für die beispielhafte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand der Referenzgebäude werden für diese Maßnahme spezifische Bruttokosten in Höhe von **140 €/m²** angesetzt (ohne Umfeldmaßnahmen z. B. Anstrich, Putz etc.).

Investitionskostenprognose bei Dämmung der gesamten Außenwandflächen:

Gebäudetyp 1 (196 m ²)	ca. 27.400,- €
Gebäudetyp 2 (67 m ²)	ca. 9.400,- €
Gebäudetyp 3 (144 m ²)	ca. 20.200,- €
Gebäudetyp 4 (680 m ²)	ca. 95.200,- €

Fenstertausch / Austausch der Eingangstüren

Zur Ermittlung der energetischen Qualität eines Fensters müssen zum einen die bauphysikalischen und zum anderen die mechanischen Eigenschaften des Bauteils betrachtet werden. Die bauphysikalische Betrachtung erfolgt über den U-Wert von Glasflächen und Rahmenbauteilen, die mechanischen Eigenschaften beziehen sich auf die Dichtheit des Fensters und dessen Funktionalität. Bei nicht richtig schließenden Fenstern entsteht ein unkontrollierter Luftaustausch, die sogenannte Infiltration. Dies führt zu unnötigem Wärmeverlust. Heizenergieverluste durch undichte Fenster lassen sich im Rahmen dieses

Konzeptes nicht detailliert ermitteln. Es sollten daher generell diejenigen Fenster eines Gebäudes getauscht werden, bei denen der bauliche Zustand dies erfordert. In der folgenden Betrachtung wird ein, besonders in Bezug auf Dichtheit, einwandfreier Zustand der Bestandsfenster angenommen.

Der angesetzte U-Wert von $2,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bezieht sich auf Fenster mit Holzrahmen. Die U-Werte von vor 1994 hergestellten Fenstern mit Isolierverglasung und Stahl- bzw. Alurahmen liegen bei ca. $4,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, mit Kunststoffrahmen bei ca. $3,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Verfügen die Stahl- und Alufenster aus dieser Zeit bereits über eine Wärmeschutzverglasung liegt der U-Wert bei rund $3,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Einsparpotenziale sind dementsprechend höher als bei Fenstern mit Holzrahmen.

Die Bestandsfenster werden in den betrachteten Sanierungsfällen durch Fenster mit einem U-Wert von $0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. mit Dachflächenfenstern mit einem U-Wert von $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ersetzt. Mit diesem U-Wert werden die Anforderungen an die Förderung von Einzelmaßnahmen nach der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) erreicht. Um Schimmelbildung zu vermeiden ist darauf zu achten, dass der U-Wert der neuen Fenster den U-Wert der Außenwände nicht unterschreitet. Bei Austausch der Fenster sollte, im Zuge der steigenden Temperaturen im Sommer, auch immer ein Sonnenschutz berücksichtigt werden. Bauherren*innen können ihren Fensterbauer*in hierfür z. B. nach geeigneten Sonnenschutzverglasungen fragen.

Die Haustür wird mit einem mittleren U-Wert von $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt.

Die Kosten bei einem Austausch der Bestandsfenster gegen Kunststofffenster mit Wärmeschutzverglasung inkl. Austausch der Rollos liegen zwischen rund 700,- und 1.100,- €/m². Für die wirtschaftliche Betrachtung der Sanierung der Referenzgebäude werden Investitionskosten von **900,- €/m²** inkl. MwSt. angesetzt. Für die Haustür werden pauschal **4.000,- €** angesetzt. Die Dachfenster sollten, um Kosten zu sparen, am besten im Zuge einer Dachsanierung ausgetauscht werden. Werden sie einzeln ausgetauscht, ist je nach Fenstergröße mit Kosten ab ca. **1.600,- €/m²** zu rechnen.

Investitionskostenprognose bei Austausch aller Bestandsfenster mit Haustür unabhängig von der Restnutzungsdauer:

Gebäudetyp 1 (Mischkalkulation 29 m ²)	ca. 31.100,- €
Gebäudetyp 2 (Mischkalkulation 21 m ²)	ca. 23.900,- €
Gebäudetyp 3 (Mischkalkulation 29 m ²)	ca. 31.100,- €
Gebäudetyp 4 (Mischkalkulation 119 m ²)	ca. 124.000,- €

Dämmung der Kellerdecke

Bei dieser Maßnahme werden die Unterseiten der Decken von unbeheizten Kellerräumen gedämmt. Um jedoch die Nutzung nicht zu beeinträchtigen, ist vor der Durchführung die im jeweiligen Raum für die weitere Nutzung notwendige lichte Höhe festzulegen. Zu beachten sind u. a. auch Installationen (Leitungen), welche unterhalb der Kellerdecke verlaufen können. Die Stärke der Dämmung sollte so gewählt werden, dass sich nach der Maßnahme keine Nutzungseinschränkungen ergeben. In der folgenden Betrachtung wird die Verwendung einer ca. 12 cm starken Dämmung (WLG 035) angenommen.

Die Kosten für diese Sanierungsmaßnahme liegen, je nach Ausführungsart, im Bereich von 70,- bis 110,- €/m². Die spezifischen Kosten der Maßnahme werden für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei **100,- €/m²** inkl. Mehrwertsteuer angesetzt.

Die Dämmung der Kellerdecke kann alternativ in Eigenleistung ausgeführt werden, um Kosten zu sparen und die Amortisation zu beschleunigen. Um Wärmebrücken zu vermeiden, empfiehlt es sich hier ein Nut-Feder-System zu verwenden. Bei den Aussparungen für Installationen ist auf eine möglichst unterbrechungsfreie Anarbeitung bzw. Ausschäumung oder Ausstopfen der Spalte zu achten. Eigenleistungen sind derzeit nach BAFA-/KfW- Förderprogrammen jedoch nicht förderfähig.

Investitionskostenprognose bei Dämmung der gesamten Kellerdecken:

Gebäudetyp 1 (100 m ²)	ca. 10.000,- €
Gebäudetyp 2 (60 m ²)	ca. 6.000,- €
Gebäudetyp 3 (60 m ²)	ca. 6.000,- €
Gebäudetyp 4 (245 m ²)	ca. 24.500,- €

Dämmung der obersten Geschossdecken (OGD)

Es wird die oberste Geschossdecke eines Gebäudes oder Gebäudeabschnitts gedämmt. Dies erfolgt bei Gebäudetyp 1-3 durch die Verlegung einer 20 cm starken Dämmung (WLG 032). Es sollte vor Durchführung der Maßnahme im jeweiligen Gebäude geprüft werden, ob eine Begehbarkeit der Dämmung notwendig ist. Eine nicht begehbare Dämmung verursacht in der Regel einen geringeren Sanierungsaufwand und somit niedrigere Investitionskosten. Für zugängliche und ungedämmte oberste Geschossdecken besteht zudem nach § 47 GEG eine Dämmpflicht.

Die Investitionskosten für die Maßnahme liegen zwischen 70,- und 100,- €/m². Für eine nicht begehbare Dämmung wären ca. **50,- €/m²** zu kalkulieren.

Um Kosten zu sparen und die Amortisationszeit zu verkürzen kann die Dämmung der obersten Geschossdecke ebenso in Eigenleistung ab ca. 25€/m² ausgeführt werden. Eigenleistungen sind derzeit nach BAFA-/KfW- Förderprogrammen jedoch nicht förderfähig.

Investitionskostenprognose bei Dämmung der obersten Geschossdecke:

Gebäudetyp 1 (100 m ²)	ca. 5.000,- €
Gebäudetyp 2 (60 m ²)	ca. 3.000,- €
Gebäudetyp 3 (60 m ²)	ca. 3.000,- €
Gebäudetyp 4	kein thermisch wirksamer Flächenanteil

Dämmung der Schrägdächer

Bei den Gebäudetypen 1-3 werden eine erstmalige Einbringung bzw. Erneuerung der Zwischensparrendämmung und die Montage einer zusätzlichen Untersparrendämmung zu einer Gesamtdämmstärke von 24 cm in den bauphysikalischen Kalkulationen beachtet. Die betrachtete Maßnahme wird mit einer Dämmung der Wärmeleitgruppe 035 ausgeführt. Es wird angenommen, dass die Abnahme der Dachinnenverkleidung, das Einbringen von Dämmstoff, die Anbringung der Dampfbremse sowie eine neue Dachinnenverkleidung durch Gipsplatten berücksichtigt werden.

Für die **Gebäudetypen 1-3** werden mittlere, spezifische Investitionskosten von rund **160,- €/m²** brutto angenommen.

Bei diesem Bauteil wird beim Gebäudetyp 4 die Montage einer Aufsparrendämmung mit einer Gesamtdämmstärke von 24 cm in den bauphysikalischen Berechnungen beachtet. Die betrachtete Maßnahme wird mit einer Dämmung der Wärmeleitgruppe 035 ausgeführt. Es wird angenommen, dass die Abnahme der Dacheindeckung, die neue Dacheindeckung sowie eine neue Innenverkleidung unberücksichtigt bleiben, da sie nicht energetisch relevant und als Umfeldmaßnahmen dem Gebäudeerhalt zuzurechnen sind. Das Aufbringen von Dämmstoff, Dampfbremse und Unterdeckplatte wird kostentechnisch betrachtet.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden für den **Gebäudetyp 4** Investitionskosten von rund **180,- €/m²** brutto angenommen.

Bei einer Untersparrendämmung geht mitunter viel Raum verloren, da die Sparrenstärke für eine Zwischensparrendämmung im Regelfall nur 12 – 14 cm beträgt. Somit werden weitere 10 – 12 cm auf der Rauminnenseite benötigt, um einen U-Wert nach Vorgabe der Förderrichtlinien (KfW / BAFA) zu erreichen. Die Alternative wäre hier die aufwändigere, jedoch auch teurere Aufsparrendämmung (Außendämmung der Dachhaut; vgl. Gebäude 4).

Über die hier genannten Baumaßnahmen hinaus sollten die Dachsparren im Vorfeld beispielsweise durch einen Zimmereibetrieb / Dachdeckerbetrieb begutachtet werden. Dies ist wichtig, um Schäden auszuschließen und entstehende Kosten für das Öffnen des Dachaufbaus nach bereits durchgeführter Sanierung zu vermeiden.

Investitionskostenprognose bei Dämmung aller thermisch wirksamen Dachflächen:

Gebäudetyp 1 (ca. 45 m ²)	ca. 7.200,- €
Gebäudetyp 2 (ca. 42 m ²)	ca. 6.700,- €
Gebäudetyp 3 (ca. 42 m ²)	ca. 6.700,- €
Gebäudetyp 4 (ca. 283 m ²)	ca. 50.940,- €

2.4 Fördermittelübersicht (Gebäudesanierung)

Mindestanforderungen

Bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden, insbesondere bei der Wärmedämmung, sind entsprechende Regeln zu beachten und Grenzwerte einzuhalten. Diese sind an oberster Stelle durch das Gebäudeenergie-Gesetz (GEG) geregelt. In Anlage 7 des GEG sind die Anforderungen, welche bei einer nachträglichen Änderung von Außenbauteilen (Dach, Außenwände etc.) gestellt werden, enthalten. Eine amtliche Lesefassung des GEG ist unter <https://geg-info.de/> abrufbar.

Um Fördermittel zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen zu erhalten sind über die gesetzlich einzuhaltenden Rahmenbedingungen aus dem GEG weitere, darüber hinausgehende Vorgaben seitens der Fördermittelgeber einzuhalten (z. B. nochmals verbesserte U-Werte usw.). Diese „fördertechnischen Mindestanforderungen“ z. B. der KfW sind den jeweiligen technischen Merkblättern zu entnehmen. Eine detaillierte Fördermittelberatung (und Beantragung) vor Umsetzung von Maßnahmen kann durch einen Energie-Effizienz-Experten*in erfolgen.

Hinweis:

Fördermittel sind in der Regel immer vor Beginn einer Maßnahme zu beantragen. Zudem darf mit der Umsetzung frühestens nach Erhalt des Förderbescheides begonnen werden. Ein frühzeitiger Baubeginn kann sich auf den Erhalt von Fördermitteln negativ auswirken.

KfW-Förderung



Die KfW-Bank gibt in ihren Programmen „KfW 261 – Kredit für Sanierung zum Effizienzhaus“ und „KfW 461 – Zuschuss bei Sanierung zum Effizienzhaus“ zur Gewährung von Krediten und Investitionskostenzuschüssen technische Mindestanforderungen vor. Die KfW-Programme sind als Anreiz für einen erhöhten Dämmstandard, der über dem des GEG liegt, gedacht.

Die KfW-Förderung kann z.B. gewährt werden, wenn in einem Sanierungsschritt ein Effizienzhaus-Standard erreicht wird. Dieser ist beim Altbau nahezu ausschließlich in Kombination mit einer Heizungsanlage auf Basis regenerativer Energieträger möglich. Das heißt, es ist zur Einhaltung der KfW-Förderkriterien zum Effizienzhaus meist auch ein Austausch der Heizungsanlage notwendig. Wichtig ist zudem, dass die Förderung nur unter Einbezug eines Energie-Effizienz-Experten*in beantragt werden kann. Dieser muss den erreichten Energiestandard des Gebäudes rechnerisch nachweisen und dem Fördermittelgeber mitteilen.

Des Weiteren besteht seit Kurzem bei Einzelmaßnahmen ebenfalls wieder die Möglichkeit einer Kreditvariante mit Tilgungszuschuss. Es gelten hier die gleichen Zuschusssätze wie bei den BAFA-Einzelmaßnahmen (vgl. Tabelle 2).

Nähere Informationen sind unter www.kfw.de abrufbar.

Anschließende Tabelle zeigt einen Überblick derzeit möglicher Effizienzhausniveaus sowie den jeweils damit verbundenen Förderhöchstsatz bzw. das maximale Kreditvolumen, welches in Anspruch genommen werden kann. Eine Kumulierung mit weiteren Fördermitteln ist immer im Vorfeld zu prüfen (keine Kumulierung mit BAFA-BEG-Fördermitteln möglich (Einzelmaßnahmen)).

Tabelle 1: KfW-Förderungen im Überblick Stand Mai 2022 [Quelle: www.kfw.de]

Der max. Zuschussbetrag für ein Effizienzhaus liegt bei 75.000 Euro je Wohneinheit.

Effizienzhaus	Zuschuss in % je Wohneinheit 	Betrag je Wohneinheit 
Effizienzhaus 40	45 % von max. 120.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 54.000 Euro
Effizienzhaus 40 Erneuerbare-Energien-Klasse	50 % von max. 150.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 75.000 Euro
Effizienzhaus 55	40 % von max. 120.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 48.000 Euro
Effizienzhaus 55 Erneuerbare-Energien-Klasse	45 % von max. 150.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 67.500 Euro
Effizienzhaus 70	35 % von max. 120.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 42.000 Euro
Effizienzhaus 70 Erneuerbare-Energien-Klasse	40 % von max. 150.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 60.000 Euro
Effizienzhaus 85	30 % von max. 120.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 36.000 Euro
Effizienzhaus 85 Erneuerbare-Energien-Klasse	35 % von max. 150.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 52.500 Euro
Effizienzhaus 100	27,5 % von max. 120.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 33.000 Euro
Effizienzhaus 100 Erneuerbare-Energien-Klasse	32,5 % von max. 150.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 48.750 Euro
Effizienzhaus Denkmal	25 % von max. 120.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 30.000 Euro
Effizienzhaus Denkmal Erneuerbare-Energien-Klasse	30 % von max. 150.000 Euro förderfähigen Kosten	bis zu 45.000 Euro

BAFA-Förderung



Die Vorgaben zum Gebäudestandard zur Erlangung von Fördermitteln durch das BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) liegen ebenfalls über den Bauteilanforderungen des GEG. Grundlage der Förderung durch das BAFA ist die „Bundesförderung für Effiziente Gebäude“, kurz BEG. Für eine Gewährung der BAFA-Förderung muss kein Effizienzhaus-Standard erreicht werden (keine Gesamtanierung notwendig). Nur das jeweils betrachtete, auszutauschende Bauteil muss die vorgegebenen Mindestanforderungen erfüllen. Die BAFA-Förderung eignet sich daher optimal für Schritt-für-Schritt-Sanierungen über mehrere Jahre hinweg.

Die im Rahmen dieses Konzeptes berechneten Energieeinsparpotenziale beziehen sich jeweils auf eine Sanierung, die den förderfähigen BAFA-Mindestanforderungen entsprechen. Somit können bis zu 25 % der Kosten für die Sanierung der Gebäudehülle nach Umsetzung der Maßnahme durch das BAFA rückerstattet werden (Beantragung und Förderbescheid vor der Maßnahmendurchführung beachten).

Anschließende Tabelle zeigt im Überblick die im Rahmen der BEG-Einzelmaßnahmen durch das BAFA förderfähigen Sanierungs- und Effizienzsteigerungsmaßnahmen mit den jeweils erreichbaren Förderhöchstätzen.

Nähere Informationen zur Förderung finden sich unter www.bafa.de.

Tabelle 2: BAFA-BEG-Förderungen im Überblick Stand Mai 2022 [Quelle: www.bafa.de]

Einzelmaßnahmen zur Sanierung von Wohngebäuden (WG) und Nichtwohngebäuden (NWG)		Fördersatz	Fördersatz mit Austausch Ölheizung	Fachplanung und Baubegleitung
Gebäudehülle ¹⁾	Dämmung von Außenwänden, Dach, Geschossdecken und Bodenflächen; Austausch von Fenstern und Außentüren; sommerlicher Wärmeschutz	20 %		50 %
Anlagentechnik ¹⁾	Einbau/Austausch/Optimierung von Lüftungsanlagen; WG: Einbau „Efficiency Smart Home“; NWG: Einbau Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Raumkühlung und Beleuchtungssysteme	20 %		
Heizungsanlagen ¹⁾	Gas-Brennwertheizungen „Renewable Ready“	20 %	20 %	
	Gas-Hybridanlagen Solarthermieanlagen	30 % 30 %	40 % 30 %	
	Wärmepumpen Biomasseanlagen ²⁾ Innovative Heizanlagen auf EE-Basis EE-Hybridheizungen ²⁾	35 % 35 % 35 % 35 %	45 % 45 % 45 % 45 %	
	Anschluss an Gebäude-/Wärmenetz mind. 25 % EE mind. 55 % EE	30 % 35 %	40 % 45 %	
Heizungsoptimierung ¹⁾		20 %		

¹⁾ iSFP-Bonus: Bei Umsetzung einer Sanierungsmaßnahme als Teil eines im Förderprogramm „Bundesförderung für Energieberatung für Wohngebäude“ geförderten individuellen Sanierungsfahrplanes (iSFP) ist ein zusätzlicher Förderbonus von 5 % möglich.

²⁾ Innovationsbonus: Bei Einhaltung eines Emissionsgrenzwertes für Feinstaub von max. 2,5 mg/m³ ist ein zusätzlicher Förderbonus von 5 % möglich.

Förderprogramm der Stadt Herzogenaurach



Zusätzlich zu den vorher aufgeführten, nicht kumulierbaren Fördermitteln, fördert die Stadt Herzogenaurach ebenfalls Sanierungsmaßnahmen sowie eine Energieberatung im Zuge des „Förderprogramms zur CO₂-Minderung“. Die Fördervoraussetzungen sowie damit verbundene Fördermittelhöhen sind für den Bauherrn*in auf <https://www.herzogenaurach.de/stadtraum/klima-energie/foerderprogramm-co2> detailliert dargelegt. Nähere Informationen erhalten Sie zudem bei den örtlichen Ansprechpartnern*innen der Stadtverwaltung. Auch hier gilt, dass mit den Maßnahmen erst nach schriftlicher Zusage durch den Fördermittelgeber (Stadt Herzogenaurach) begonnen werden darf.

Erster Schritt in die Sanierung

Da die Fördermöglichkeiten für den Laien nicht leicht zu überschauen sind und ein Energieberater*in für die Gewährung des überwiegenden Anteils der aktuell verfügbaren Förderungen notwendig ist, empfiehlt es sich im ersten Schritt einen Energie-Effizienz-Experten*in für einen individuellen Sanierungsfahrplan (iSFP) zu beauftragen. Hierdurch kann noch einmal im Detail geklärt werden welche Sanierungsmaßnahmen für das zu betrachtende Gebäude sinnvoll sind. Über die eigentlichen Sanierungsmaßnahmen hinaus besteht auch die Möglichkeit zur Förderung der Leistungen eines Energieberaters*in. Für den Bauherren*in hat dies zudem den Vorteil eines fachkundigen, produktneutralen Ansprechpartners*in welcher die Maßnahmen begleitet und deren fachgerechte Ausführung überwacht.

Einen antragsberechtigten Experten*in mit den notwendigen Qualifikationen finden Bauherren*innen u. a. auf der Internetseite www.energie-effizienz-experten.de oder bspw. bei der Verbraucherzentrale bzw. dem örtlichen Ansprechpartner*in der Stadtverwaltung.

Hinweis:

*Der Energieberater*in sollte bereits mehrere Monate vor dem gewünschten Baubeginn angefragt werden, da die Bearbeitung und Beantragung einige Zeit in Anspruch nehmen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass es derzeit zu einer erhöhten Nachfrage im Bereich der Energieberatung kommen kann.*

3 Ermittlung der Energieeinsparpotenziale und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach Baualtersklasse

Im folgenden Kapitel werden für die verschiedenen Baualtersklassen und Gebäudetypen jeweils mittlere, erreichbare Einsparpotenziale an Heizenergie ermittelt und anschließend deren Wirtschaftlichkeit anhand der statischen sowie der dynamischen Amortisationszeit ausgewiesen. Statische Amortisationszeit bedeutet in diesem Zusammenhang die Rückflussdauer der Investitionskosten allein durch die Kostenersparnis beim Brennstoff- bzw. Energieträgerbezug ohne Berücksichtigung einer jährlichen Preissteigerungsquote. Die dynamische Amortisationszeit hingegen beachtet eine konservative Steigerung der Bezugskosten für die notwendigen Energieträger. Die in den Berechnungen abgebildete automatische Kostensteigerung der Energiebezugskosten beträgt hierbei im Mittel 2 % pro Jahr.

Im weiteren Verlauf dargestellte Diagramme zeigen für jeden Gebäudetyp, bezogen auf die jeweilige Baualtersklasse, das mögliche, mittlere Einsparpotenzial an Heizenergie. Die ausgewiesenen Prozentwerte beziehen sich hierbei auf die einzelnen Sanierungsmaßnahmen und werden abschließend als sog. Gesamtsanierung im Hinblick auf ein Effizienzgebäude aufsummiert. Die angegebenen Werte helfen den Hauseigentümern*innen bei der Einschätzung des Potenzials zur Energieeinsparung am eigenen Gebäude anhand des tatsächlichen Heizenergieverbrauchs (Umrechnung erforderlich).

Darüber hinaus zeigen Tabellen in den folgenden Abschnitten für jeden Gebäudetyp / jede Baualtersklasse ebenso eine beispielhafte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Hinblick auf die Maßnahmenumsetzung. Die ermittelten Amortisationszeiten ergeben sich aus den unter Punkt 2.3 angegebenen Investitionskostenprognosen. Der mittlere, angesetzte Preis für Heizenergie beträgt **12 Cent/kWh_{Hi} brutto**.

Zur leichteren Einordnung der Endenergiebedarfswerte (Energieverbrauch) kann bezüglich verschiedener Energieträger folgender Zusammenhang dienen:

1 Ster Holz	≈ ca. 1.500 kWh _{Hi}
1 kg Holzpellets	≈ ca. 5 kWh _{Hi}
1 m ³ Erdgas	≈ ca. 11 kWh _{Hi}
1 Liter Heizöl	≈ ca. 10 kWh _{Hi}

Die in dieser Broschüre berücksichtigten Investitionskosten gelten im Rahmen der Umsetzung durch eine Fachfirma, als Einzelmaßnahme zur energetischen Verbesserung der Gebäudehülle. Kann ein Teil der jeweiligen Maßnahme in Eigenleistung erbracht werden, ist von einem geringeren Kostenaufwand

auszugehen, was eine Verkürzung der Amortisationszeit zur Folge hat. Sind bei einem Gebäude ohnehin Reparatur- oder Renovierungsmaßnahmen notwendig, lässt sich die wärmeschutztechnische Qualität der betreffenden Bauteile durch einen wesentlich geringeren Kostenaufwand erhöhen, so können sich hierbei Synergieeffekte ergeben, die ebenso zur Verkürzung der Amortisationszeit führen.

3.1 Baualtersklasse I: Baujahr bis 1948

Private Wohngebäude aus dieser Bauzeit sind vor allem zweckorientiert erstellt worden. Geschossdecken wurden meist in Holzbauweise, Kellerdecken oft als Gewölbe- oder Kappendecke ausgeführt. Die Außenwände bestehen meist aus Vollziegelmauerwerk oder Fachwerk. Bei Fachwerkwänden liegt der U-Wert meist höher als bei den im Folgenden betrachteten massiven Wänden. Stammen die Fenster im Gebäude noch aus der Bauzeit sind diese einfach verglast. Oft wurden diese einfach verglasten Fenster jedoch im Laufe der Jahre gegen Verbund- oder Kastenfenster aus Holz ausgetauscht. Die möglichen Einsparungen bei einem Austausch der Fenster liegen dann eher im Bereich der Baualtersklasse II bzw. III.

Die technische Gebäudeausstattung spielte in dieser Bauzeit eine geringe Rolle. Die Gebäude wurden überwiegend raumweise anhand von Einzelöfen beheizt. Eine zentrale Heizungsanlage und eine Elektroinstallation wurden oft nachgerüstet. Heizkörper und Heizungsverteilung entsprechen deshalb meist nicht mehr dem heutigen Stand der Technik (Nachrüstung Heizungsanlage 1970er / 1980er Jahre).

Für die betrachteten Referenzgebäude ergibt sich unter Berücksichtigung des GEG-Standardnutzerverhaltens folgender Heizendenergiebedarf (vgl. Brennstoffbedarf):

Gebäudetyp 1 (Nutzfläche ca. 163m ²)	69.800 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 2 (Nutzfläche ca. 142m ²)	39.500 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 3 (Nutzfläche ca. 142m ²)	54.700 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 4 (Nutzfläche ca. 770m ²)	192.600 kWh _{Hi} /a

Für die Baualtersklasse I können folgende U-Werte angenommen werden:

Oberste Geschossdecke (massiv)	2,10 W/m ² K
Oberste Geschossdecke (Holzbauweise)	1,00 W/m ² K
Dachflächen (Holzkonstruktion)	1,40 W/m ² K
Außenwände (massiv)	1,80 W/m ² K
Fenster (einfach verglast)	5,00 W/m ² K
Kellerdecke (massiv)	1,20 W/m ² K

3.1.1 Gebäudetyp 1 (freistehendes Einfamilienhaus)

Abbildung 6 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 1 in Baualtersklasse I.

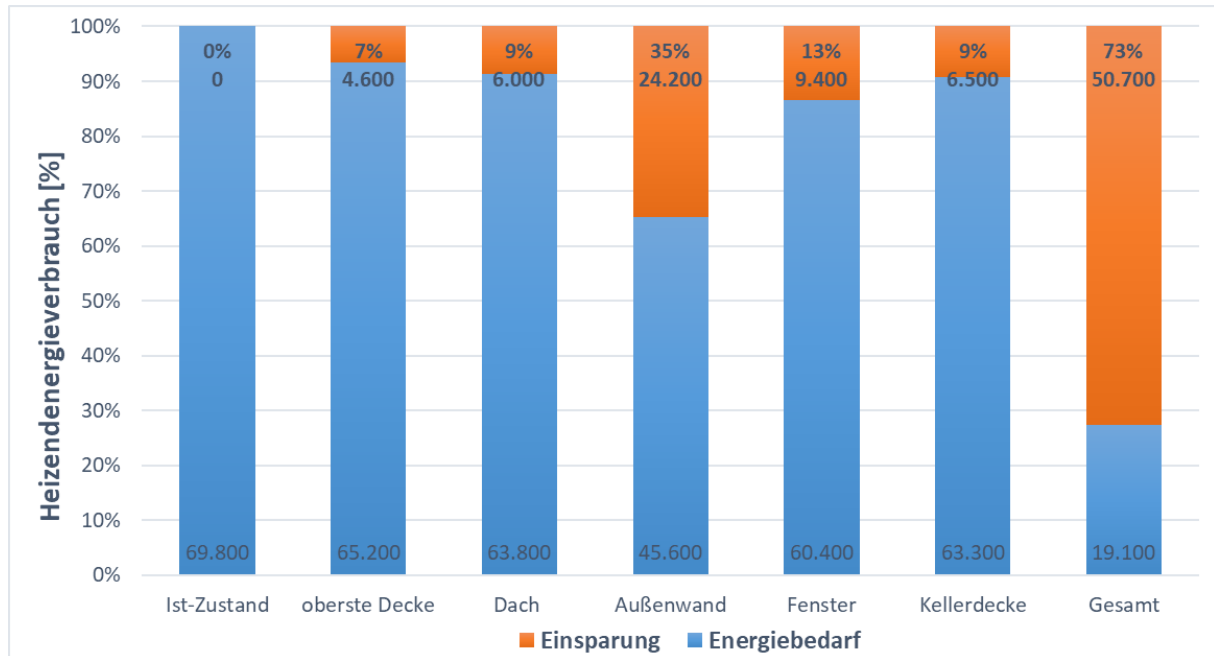


Abbildung 6: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 1 in Baualtersklasse I

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 3: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualtersklasse I mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + ISFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	1,00	0,14	4.600	552	3.750	7	6
Dach	Dämmung	1,40	0,14	6.000	720	5.400	8	7
Außenwand	Dämmung	1,80	0,20	24.200	2.904	20.550	7	7
Fenster	Tausch	5,00	0,95	9.400	1.128	0	0	0
Kellerdecke	Dämmung	1,20	0,25	6.500	780	7.500	10	9
Gesamt				50.700	6.084	37.200	6	6

3.1.2 Gebäudetyp 2 (Reihenmittelhaus)

Abbildung 7 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse I.

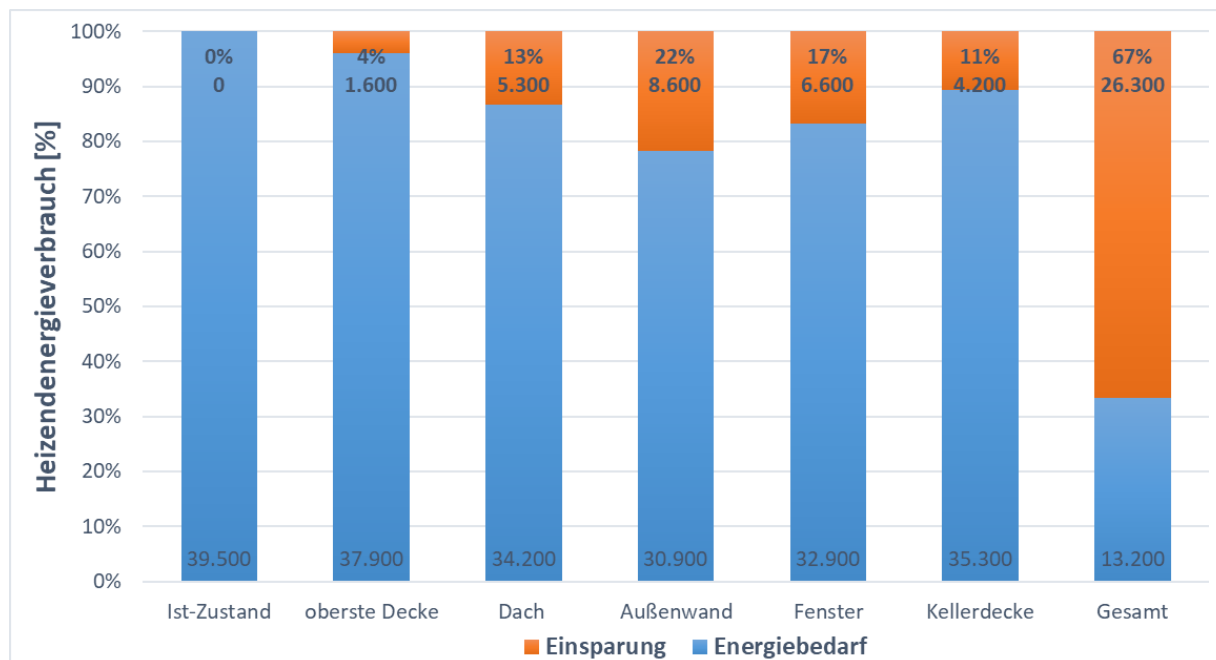


Abbildung 7: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse I

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 4: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse I mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	1,00	0,14	1.600	192	2.250	12	10
Dach	Dämmung	1,40	0,14	5.300	636	5.025	8	7
Außenwand	Dämmung	1,80	0,20	8.600	1.032	7.050	7	6
Fenster	Tausch	5,00	0,95	6.600	792	0	0	0
Kellerdecke	Dämmung	1,20	0,25	4.200	504	4.500	9	8
Gesamt				26.300	3.156	18.825	6	6

3.1.3 Gebäudetyp 3 (Reihenendhaus und Doppelhaushälfte)

Abbildung 8 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 3 in Baualtersklasse I.

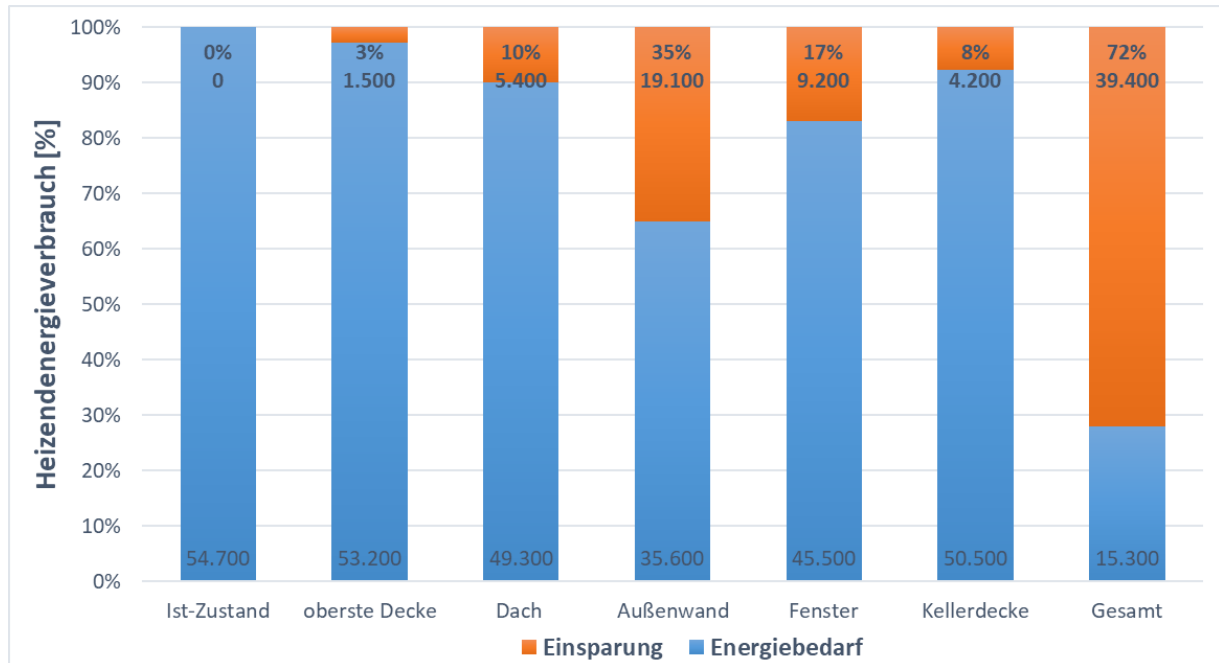


Abbildung 8: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 3 in Baualtersklasse I

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 5: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualtersklasse I mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	1,00	0,14	1.500	180	2.250	13	11
Dach	Dämmung	1,40	0,14	5.400	648	5.025	8	7
Außenwand	Dämmung	1,80	0,20	19.100	2.292	15.150	7	6
Fenster	Tausch	5,00	0,95	9.200	1.104	0	0	0
Kellerdecke	Dämmung	1,20	0,25	4.200	504	4.500	9	8
Gesamt				39.400	4.728	26.925	6	5

3.1.4 Gebäudetyp 4 (Mehrfamilienhaus)

Abbildung 9 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse I.

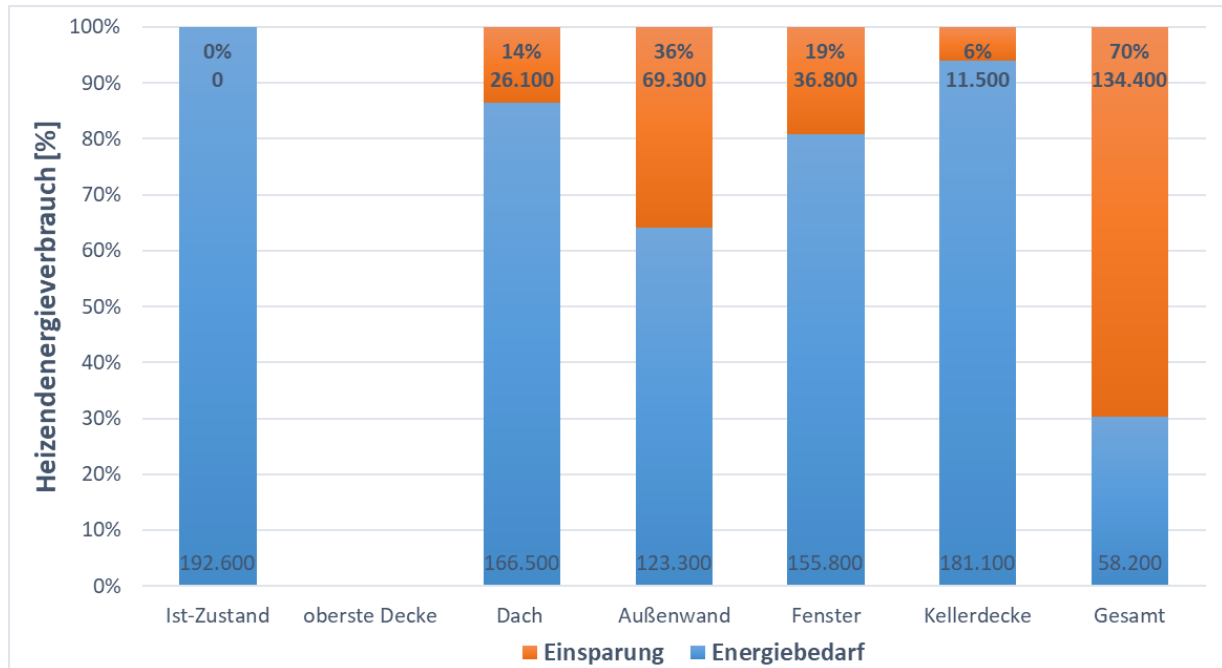


Abbildung 9: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse I

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 6: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse I mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
Dach	Dämmung	1,40	0,14	24.400	2.928	38.175	13	11
Außenwand	Dämmung	1,80	0,20	64.800	7.776	71.400	9	8
Fenster	Tausch	5,00	0,95	34.400	4.128	0	0	0
Kellerdecke	Dämmung	1,20	0,25	10.800	1.296	18.375	14	12
Gesamt				134.400	16.128	127.950	8	7

3.2 Baualtersklasse II: Baujahr 1949 bis 1968

Der Beginn dieser Baualtersklasse war geprägt von der Nachkriegszeit und der damals herrschenden Wohnungsnot. Die Ansprüche waren oftmals nicht besonders hoch und Baumaterial war knapp. Die Baustoffe wurden deshalb nicht nach ihren physikalischen Eigenschaften ausgewählt, sondern eher nach ihrer Verfügbarkeit. Ab den 1960er Jahren setzte ein Boom im Wohnungsbau ein. Die Ansprüche an die Wohnqualität stiegen und es wurde verstärkt Beton als Baustoff eingesetzt, vor allem bei den Geschossdecken. Neben der Ausführung als Vollziegelmauerwerk wurden die Außenwände nun vermehrt aus Lochziegeln oder Hohlblocksteinen und in höheren Wandstärken erstellt. Die Fenster in dieser Baualtersklasse sind meist als Kasten- oder Verbundfenster mit Holzrahmen ausgeführt.

Die raumweise Beheizung über Einzelöfen wird immer mehr durch den Einbau von zentralen Heizungsanlagen ersetzt. Als Brennstoff kam hauptsächlich Heizöl zum Einsatz. Heizkessel, Umwälzpumpen und Heizkörper wurden meist überdimensioniert (höhere Leistung / größere Modelle als notwendig).

Für die betrachteten Referenzgebäude ergibt sich unter Berücksichtigung des GEG-Standardnutzerverhaltens folgender Heizendenergiebedarf (vgl. Brennstoffbedarf):

Gebäudetyp 1 (Nutzfläche ca. 163m ²)	54.100 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 2 (Nutzfläche ca. 142m ²)	31.700 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 3 (Nutzfläche ca. 142m ²)	41.900 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 4 (Nutzfläche ca. 770m ²)	149.700 kWh _{Hi} /a

Für die Baualtersklasse II können folgende U-Werte angenommen werden:

Oberste Geschossdecke (massiv)	2,10 W/m ² K
Oberste Geschossdecke (Holzbauweise)	0,80 W/m ² K
Dachflächen (Holzkonstruktion)	1,40 W/m ² K
Außenwände (massiv)	1,30 W/m ² K
Fenster (zweifach verglast)	2,70 W/m ² K
Kellerdecke (massiv)	1,00 W/m ² K

3.2.1 Gebäudetyp 1 (freistehendes Einfamilienhaus)

Abbildung 10 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 1 in Baualterklasse II.

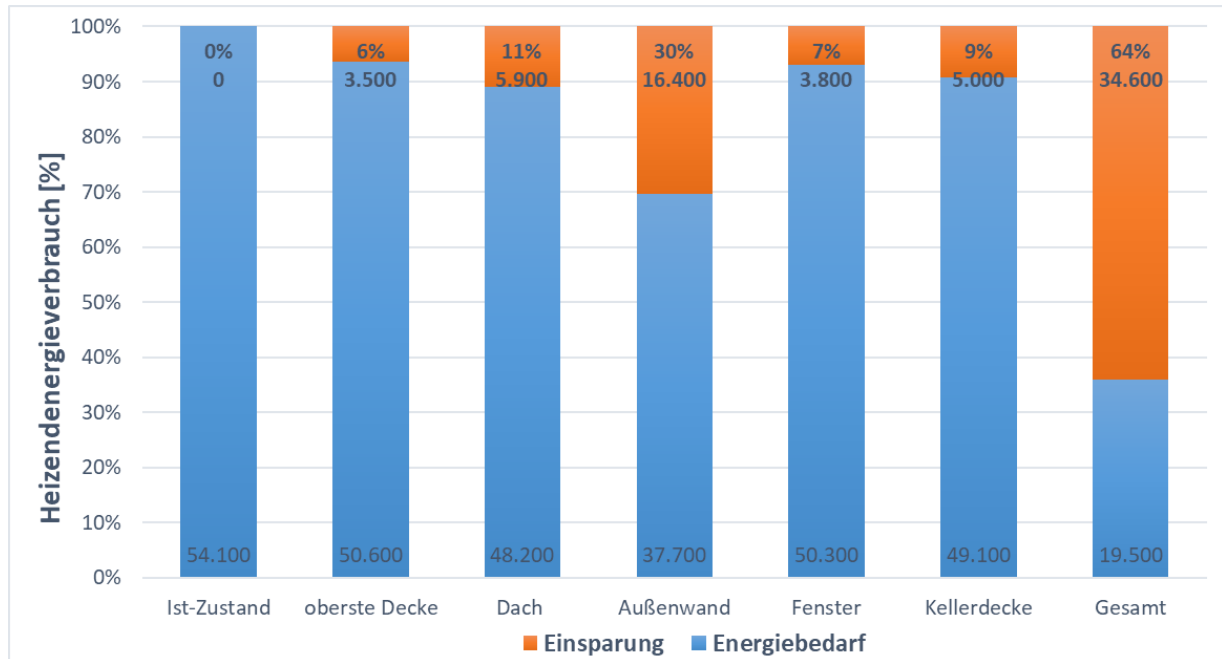


Abbildung 10: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 1 in Baualterklasse II

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 7: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualterklasse II mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,80	0,14	3.500	420	3.750	9	8
Dach	Dämmung	1,40	0,14	5.900	708	5.400	8	7
Außenwand	Dämmung	1,30	0,20	16.400	1.968	20.550	10	9
Fenster	Tausch	2,70	0,95	3.800	456	7.580	17	14
Kellerdecke	Dämmung	1,00	0,25	5.000	600	7.500	13	11
Gesamt				34.600	4.152	44.780	11	10

3.2.2 Gebäudetyp 2 (Reihenmittelhaus)

Abbildung 11 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse II.

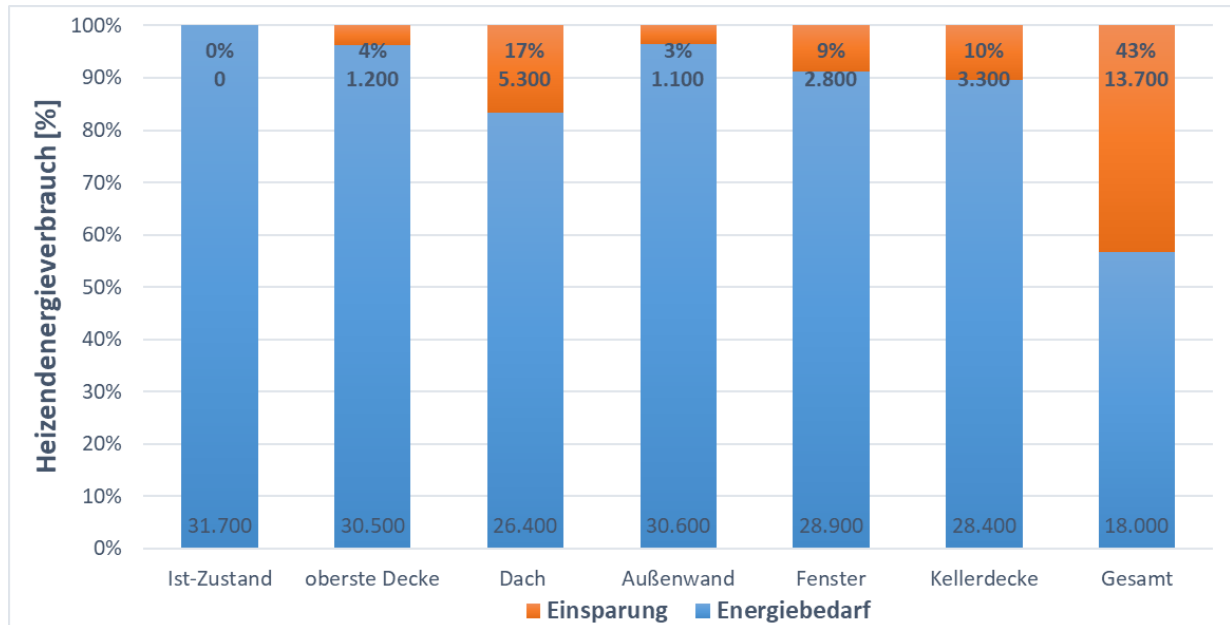


Abbildung 11: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse II

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 8: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse II mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,80	0,14	1.200	144	2.250	16	13
Dach	Dämmung	1,40	0,14	5.300	636	5.025	8	7
Außenwand	Dämmung	1,30	0,20	1.100	132	7.050	53	36
Fenster	Tausch	2,70	0,95	2.800	336	5.830	17	15
Kellerdecke	Dämmung	1,00	0,25	3.300	396	4.500	11	10
Gesamt				13.700	1.644	24.655	15	13

3.2.3 Gebäudetyp 3 (Reihenendhaus und Doppelhaushälfte)

Abbildung 12 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 3 in Baualterklasse II.

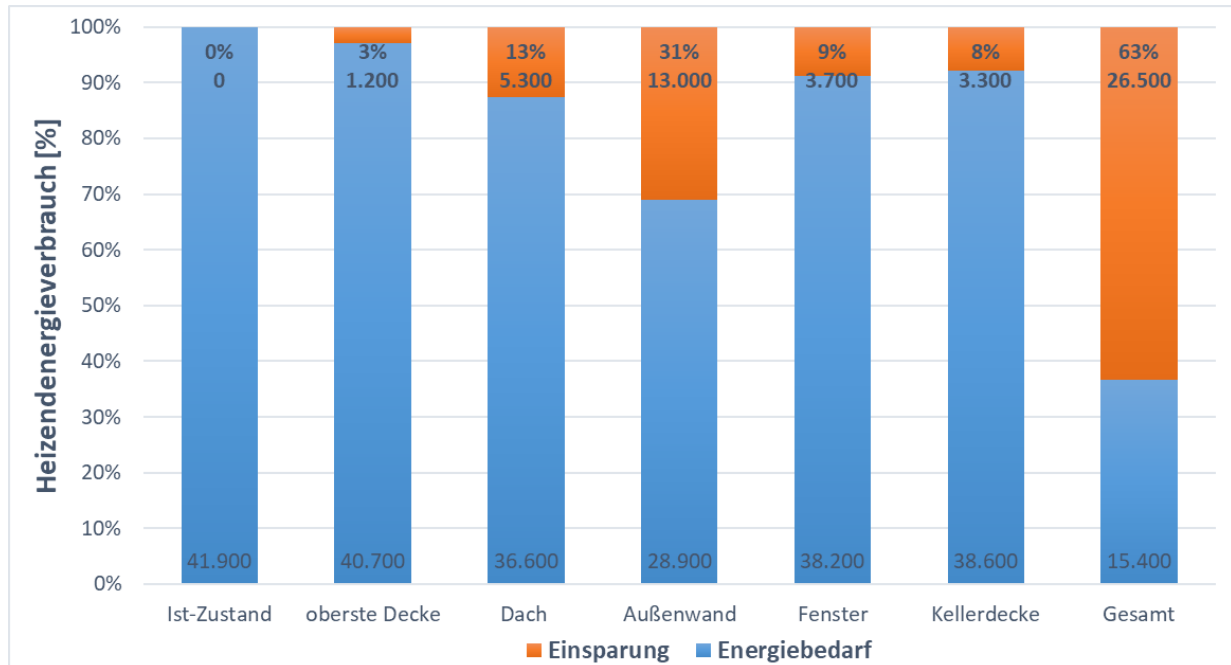


Abbildung 12: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 3 in Baualterklasse II

Anschließend sind in der Tabelle die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 9: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualterklasse II mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,80	0,14	1.200	144	2.250	16	13
Dach	Dämmung	1,40	0,14	5.300	636	5.025	8	7
Außenwand	Dämmung	1,30	0,20	13.000	1.560	15.150	10	9
Fenster	Tausch	2,70	0,95	3.700	444	7.580	17	15
Kellerdecke	Dämmung	1,00	0,25	3.300	396	4.500	11	10
Gesamt				26.500	3.180	34.505	11	10

3.2.4 Gebäudetyp 4 (Mehrfamilienhaus)

Abbildung 13 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse II.

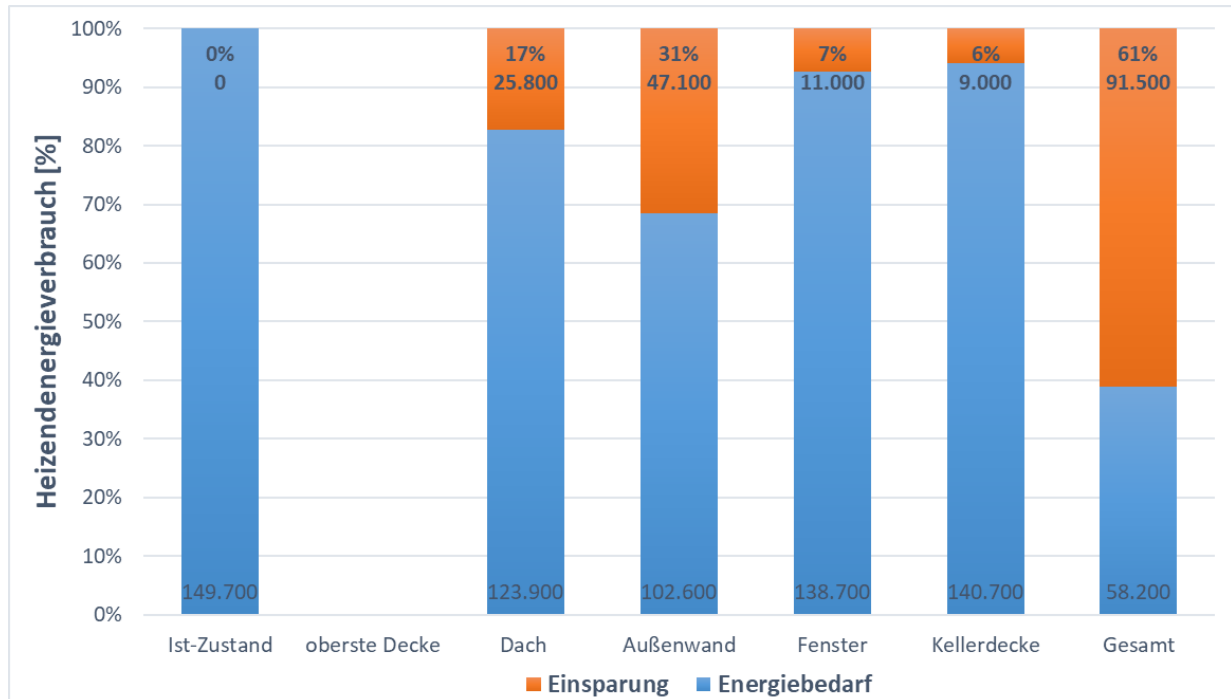


Abbildung 13: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse II

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 10: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse II mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
Dach	Dämmung	1,40	0,14	25.400	3.048	38.175	13	11
Außenwand	Dämmung	1,30	0,20	46.400	5.568	71.400	13	11
Fenster	Tausch	2,70	0,95	10.800	1.296	30.225	23	19
Kellerdecke	Dämmung	1,00	0,25	8.900	1.068	18.375	17	15
Gesamt				91.500	10.980	158.175	14	13

3.3 Baualtersklasse III: Baujahr 1969 bis 1978

Die Mindestanforderungen an Wärme- und Schallschutz waren in dieser Zeit noch sehr gering. Allerdings wurde unabhängig von Wärmeschutzverordnungen zu Beginn der 1970er Jahre zunehmend auf eine wärmedämmende Bauweise geachtet. Im Jahr 1974 gab es aufgrund der Ölkrise erstmals ergänzende Bestimmungen zum Wärmeschutz. Seitdem war ein 24 cm starkes Mauerwerk aus Vollziegeln beispielsweise nicht mehr zulässig. Im Fensterbau kam vermehrt Isolierverglasung zum Einsatz. Die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz wurden in der im Jahr 1977 verabschiedeten 1. Wärmeschutzverordnung erstmals gesetzlich festgelegt. Das Jahr 1978 ist somit in Bezug auf die energetische Qualität der Gebäudehülle als eine Art Übergangsjahr anzusehen.

Die raumweise Beheizung über Einzelöfen wurde ab dieser Bauzeit nahezu vollständig von zentralen Heizungsanlagen ersetzt. Anlagenteile wie Kessel, Umwälzpumpen oder Heizkörper sind, wie in der vorherigen Baualtersklasse, häufig überdimensioniert ausgeführt (höhere Leistung / größere Modelle als notwendig).

Für die betrachteten Referenzgebäude ergibt sich unter Berücksichtigung des GEG-Standardnutzerverhaltens folgender Heizendenergiebedarf (vgl. Brennstoffbedarf):

Gebäudetyp 1 (Nutzfläche ca. 163m ²)	45.700 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 2 (Nutzfläche ca. 142m ²)	27.200 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 3 (Nutzfläche ca. 142m ²)	35.400 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 4 (Nutzfläche ca. 770m ²)	124.600 kWh _{Hi} /a

Für die Baualtersklasse III können folgende U-Werte angenommen werden:

Oberste Geschossdecke (massiv)	0,60 W/m ² K
Oberste Geschossdecke (Holzbauweise)	0,60 W/m ² K
Dachflächen (Holzkonstruktion)	0,80 W/m ² K
Außenwände (massiv)	1,00 W/m ² K
Fenster (zweifach verglast)	2,70 W/m ² K
Kellerdecke (massiv)	1,00 W/m ² K

3.3.1 Gebäudetyp 1 (freistehendes Einfamilienhaus)

Abbildung 14 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 1 in Baualterklasse III.

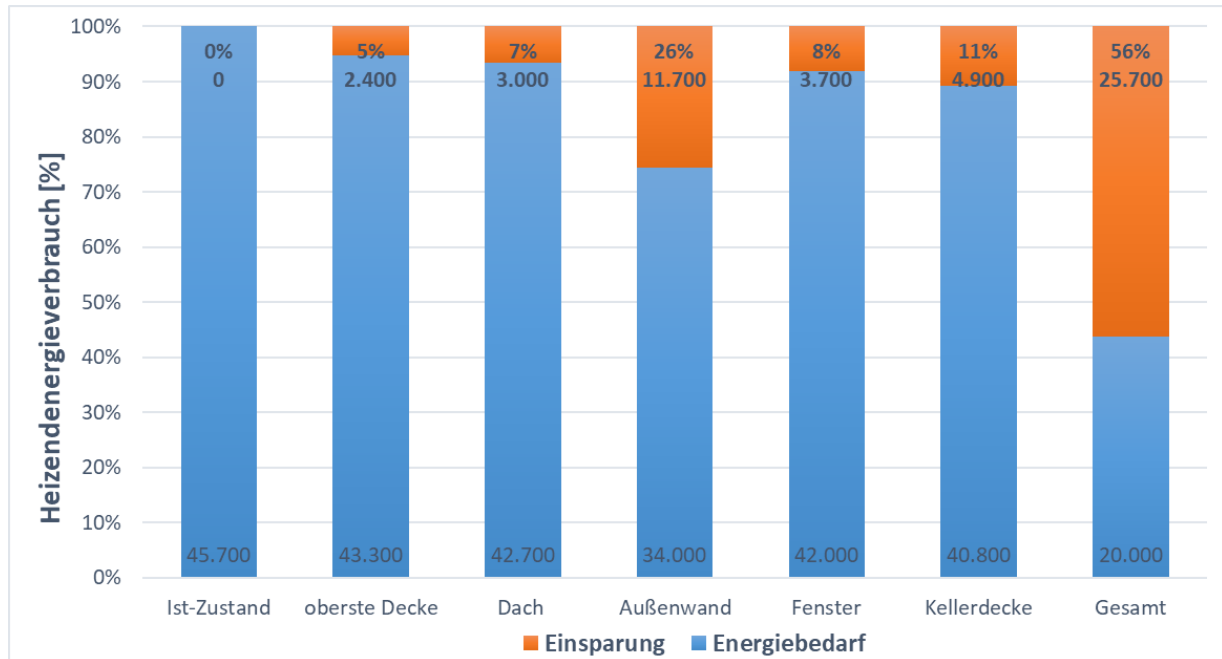


Abbildung 14: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 1 in Baualterklasse III

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 11: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualterklasse III mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,60	0,14	2.400	288	3.750	13	11
Dach	Dämmung	0,80	0,14	3.000	360	5.400	15	13
Außenwand	Dämmung	1,00	0,20	11.700	1.404	20.550	15	13
Fenster	Tausch	2,70	0,95	3.700	444	7.580	17	15
Kellerdecke	Dämmung	1,00	0,25	4.900	588	7.500	13	11
Gesamt				25.700	3.084	44.780	15	13

3.3.2 Gebäudetyp 2 (Reihenmittelhaus)

Abbildung 15 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 2 in Baualterklasse III.

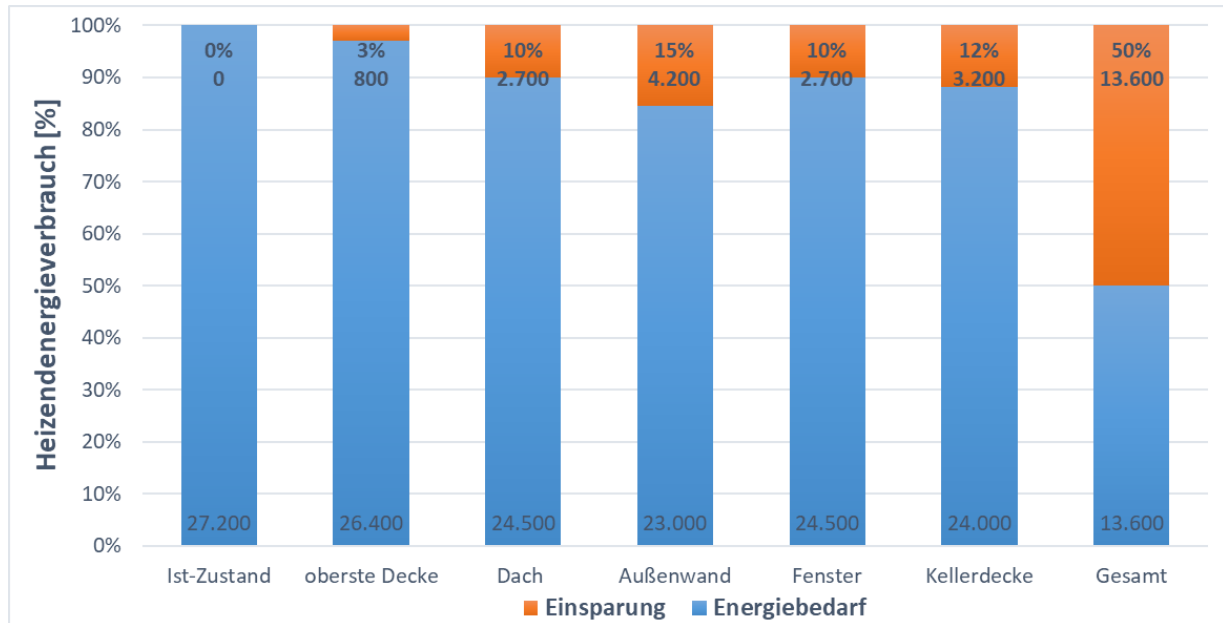


Abbildung 15: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 2 in Baualterklasse III

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 12: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualterklasse III mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + ISFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,60	0,14	800	96	2.250	23	19
Dach	Dämmung	0,80	0,14	2.700	324	5.025	16	13
Außenwand	Dämmung	1,00	0,20	4.200	504	7.050	14	12
Fenster	Tausch	2,70	0,95	2.700	324	5.830	18	15
Kellerdecke	Dämmung	1,00	0,25	3.200	384	4.500	12	10
Gesamt				13.600	1.632	24.655	15	13

3.3.3 Gebäudetyp 3 (Reihenendhaus und Doppelhaushälfte)

Abbildung 16 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 3 in Baualterklasse III.

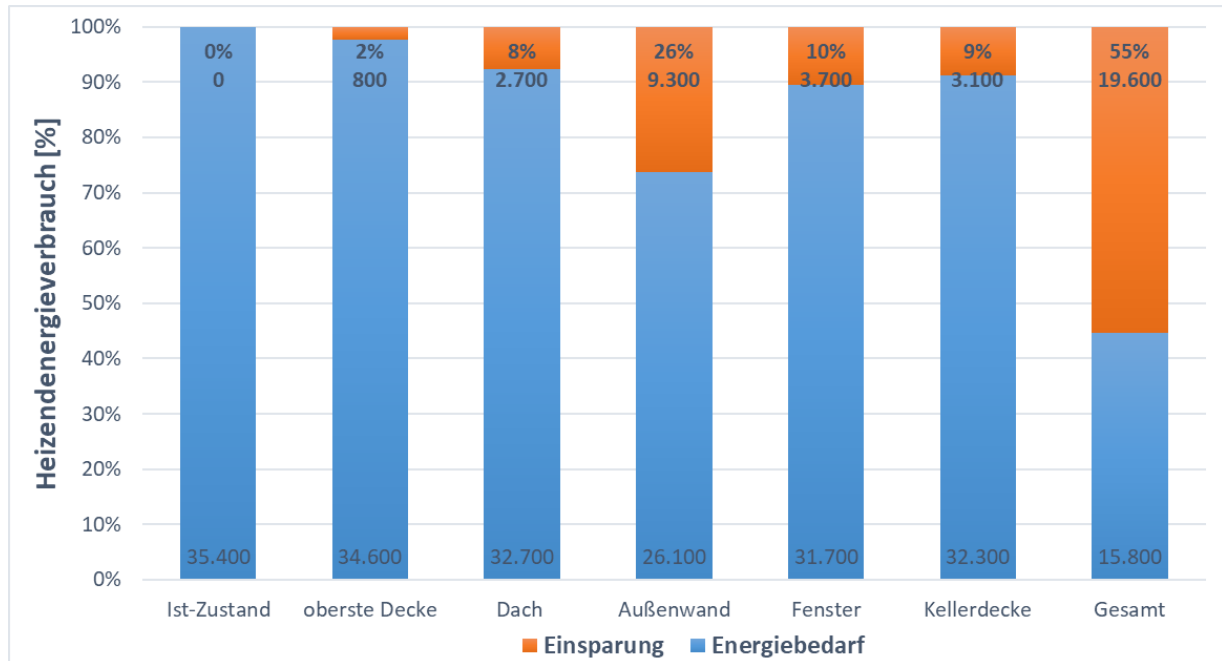


Abbildung 16: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 3 in Baualterklasse III

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 13: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualterklasse III mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,60	0,14	800	96	2.250	23	19
Dach	Dämmung	0,80	0,14	2.700	324	5.025	16	13
Außenwand	Dämmung	1,00	0,20	9.300	1.116	15.150	14	12
Fenster	Tausch	2,70	0,95	3.700	444	7.580	17	15
Kellerdecke	Dämmung	1,00	0,25	3.100	372	4.500	12	11
Gesamt				19.600	2.352	34.505	15	13

3.3.4 Gebäudetyp 4 (Mehrfamilienhaus)

Abbildung 17 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse III.

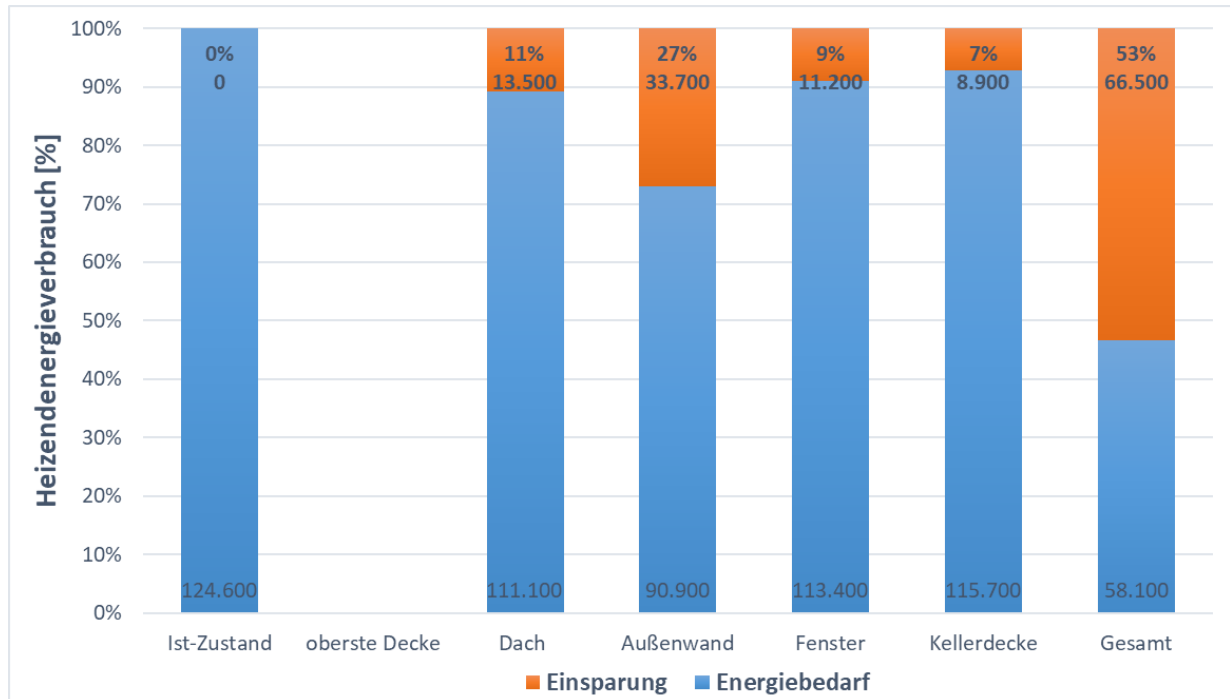


Abbildung 17: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse III

Anschließend Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 14: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse III mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m²K]	U-Wert Saniert [W/m²K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
Dach	Dämmung	0,80	0,14	13.300	1.596	38.175	24	19
Außenwand	Dämmung	1,00	0,20	33.300	3.996	71.400	18	15
Fenster	Tausch	2,70	0,95	11.100	1.332	30.225	23	19
Kellerdecke	Dämmung	1,00	0,25	8.800	1.056	18.375	17	15
Gesamt				66.500	7.980	158.175	20	17

3.4 Baualtersklasse IV: Baujahr 1979 bis 1983

Diese Baualtersklasse ist als eine Übergangszeit zwischen 1. und 2. Wärmeschutzverordnung zu betrachten. In der Wärmeschutzverordnung aus dem Jahr 1977 wurden erstmals verbindliche und nachweispflichtige Mindestanforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizienten (damals k-Wert, heute U-Wert) gestellt. Die Mindestanforderungen waren an das Verhältnis von Gebäudehüllfläche zu Gebäudevolumen (A/V-Verhältnis) gebunden. Je niedriger dieses Verhältnis, desto geringer waren die Anforderungen an die U-Werte der Bauteile.

Die Zentralheizung ist mittlerweile Stand der Technik. Überdimensionierte Anlagen werden hauptsächlich aufgrund der Heizanlagenverordnung von 1978 immer seltener.

Für die betrachteten Referenzgebäude ergibt sich unter Berücksichtigung des GEG-Standardnutzerverhaltens folgender Heizenergiebedarf (vgl. Brennstoffbedarf):

Gebäudetyp 1 (Nutzfläche ca. 163m ²)	39.900 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 2 (Nutzfläche ca. 142m ²)	24.500 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 3 (Nutzfläche ca. 142m ²)	31.400 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 4 (Nutzfläche ca. 770m ²)	111.700 kWh _{Hi} /a

Für die Baualtersklasse IV können folgende U-Werte angenommen werden:

Oberste Geschossdecke (massiv)	0,50 W/m ² K
Oberste Geschossdecke (Holzbauweise)	0,40 W/m ² K
Dachflächen (Holzkonstruktion)	0,70 W/m ² K
Außenwände (massiv)	0,80 W/m ² K
Fenster (Isolierverglasung)	2,70 W/m ² K
Kellerdecke (massiv)	0,80 W/m ² K

3.4.1 Gebäudetyp 1 (freistehendes Einfamilienhaus)

Abbildung 18 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 1 in Baualterklasse IV.

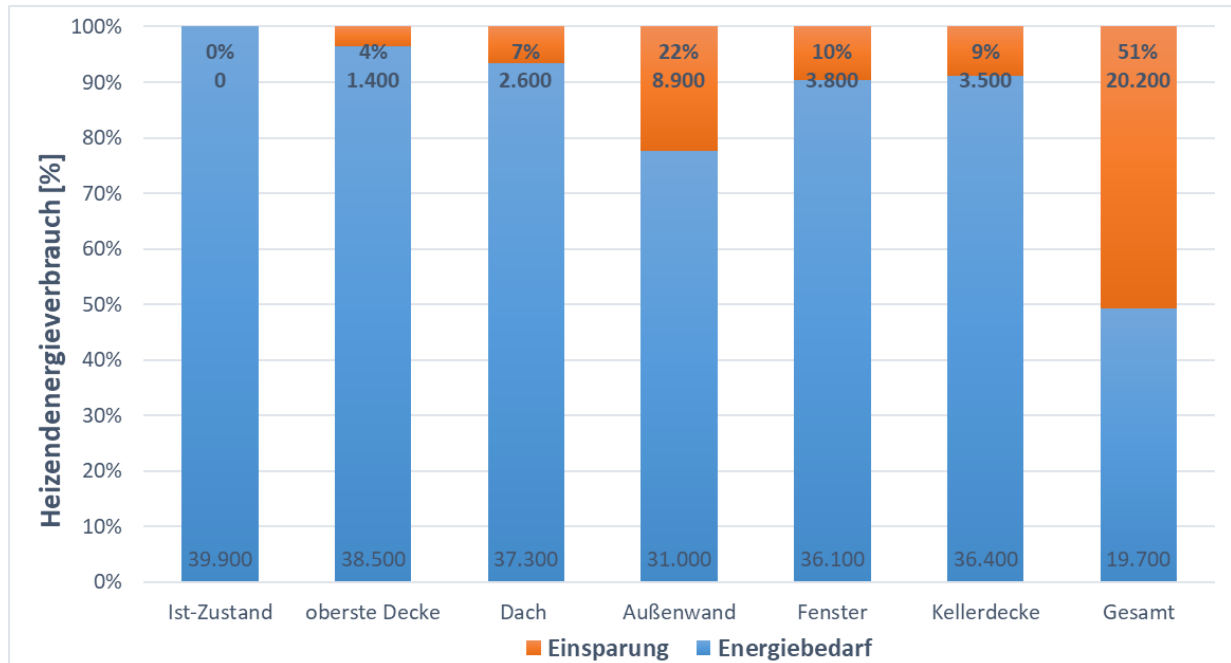


Abbildung 18: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 1 in Baualterklasse IV

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 15: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualterklasse IV mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,40	0,14	1.400	168	3.750	22	18
Dach	Dämmung	0,70	0,14	2.600	312	5.400	17	15
Außenwand	Dämmung	0,80	0,20	8.900	1.068	20.550	19	16
Fenster	Tausch	2,70	0,95	3.800	456	7.580	17	14
Kellerdecke	Dämmung	0,80	0,25	3.500	420	7.500	18	15
Gesamt				20.200	2.424	44.780	18	16

3.4.2 Gebäudetyp 2 (Reihenmittelhaus)

Abbildung 19 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 2 in Baualterklasse IV.

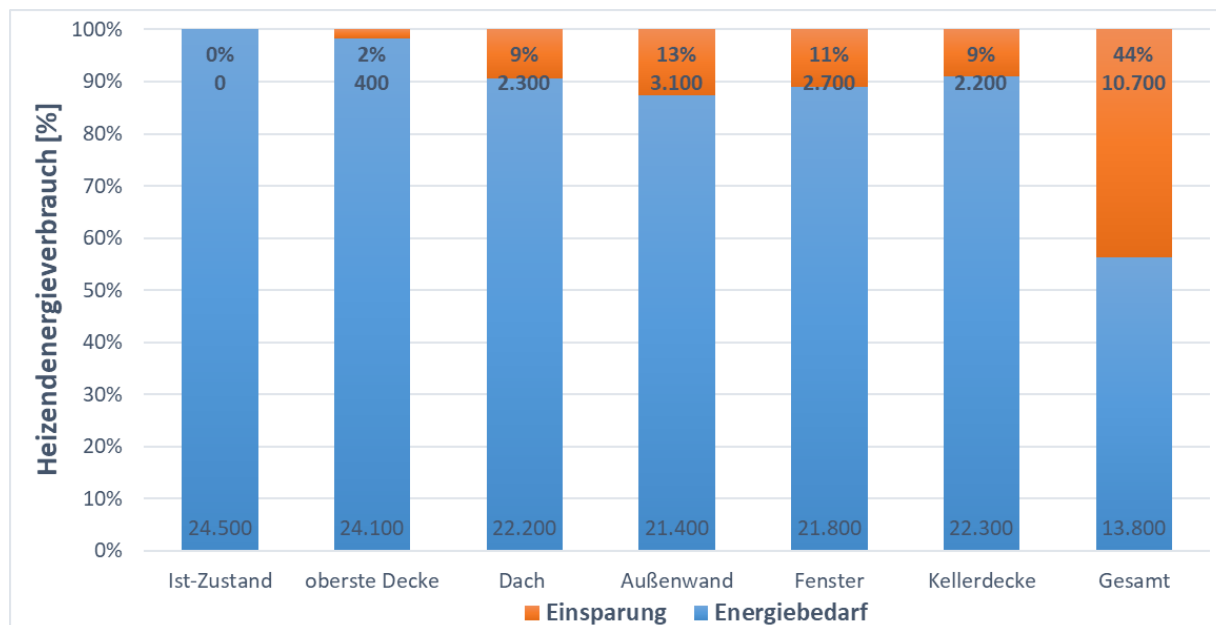


Abbildung 19: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 2 in Baualterklasse IV

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 16: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualterklasse IV mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + ISFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,40	0,14	400	48	2.250	47	33
Dach	Dämmung	0,70	0,14	2.300	276	5.025	18	15
Außenwand	Dämmung	0,80	0,20	3.100	372	7.050	19	16
Fenster	Tausch	2,70	0,95	2.700	324	5.830	18	15
Kellerdecke	Dämmung	0,80	0,25	2.200	264	4.500	17	15
Gesamt				10.700	1.284	24.655	19	16

3.4.3 Gebäudetyp 3 (Reihenendhaus und Doppelhaushälfte)

Abbildung 20 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 3 in Baualterklasse IV.

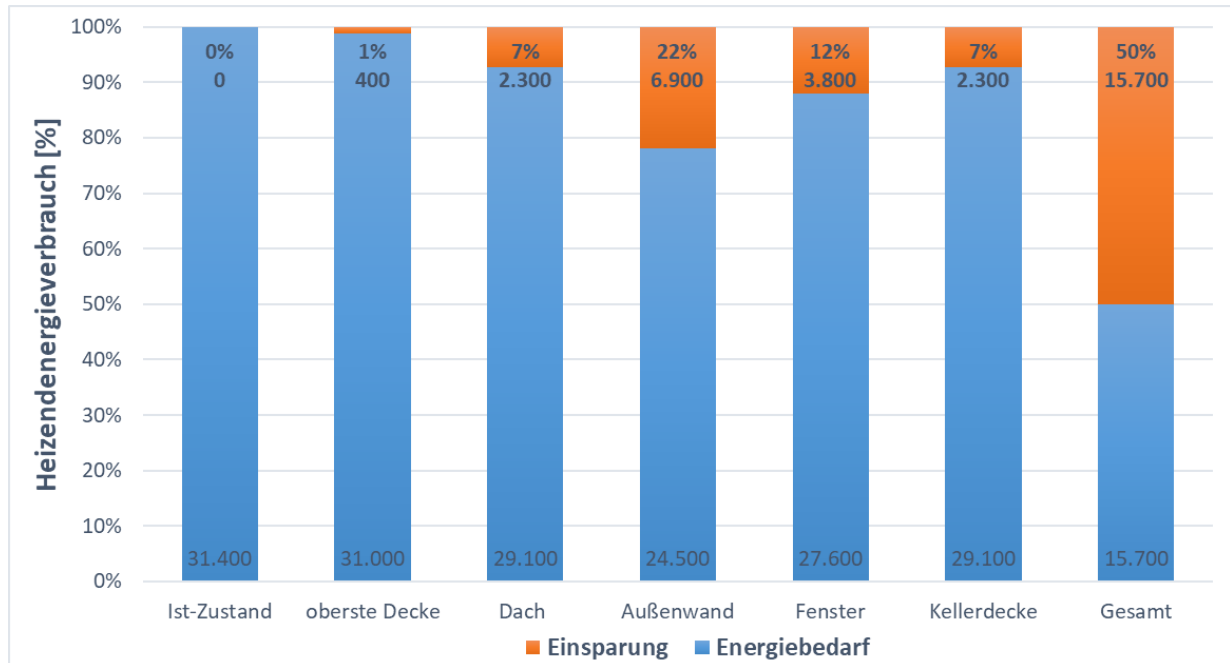


Abbildung 20: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 3 in Baualterklasse IV

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 17: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualterklasse IV mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,40	0,14	400	48	2.250	47	33
Dach	Dämmung	0,70	0,14	2.300	276	5.025	18	15
Außenwand	Dämmung	0,80	0,20	6.900	828	15.150	18	15
Fenster	Tausch	2,70	0,95	3.800	456	7.580	17	14
Kellerdecke	Dämmung	0,80	0,25	2.300	276	4.500	16	14
Gesamt				15.700	1.884	34.505	18	15

3.4.4 Gebäudetyp 4 (Mehrfamilienhaus)

Abbildung 21 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse IV.

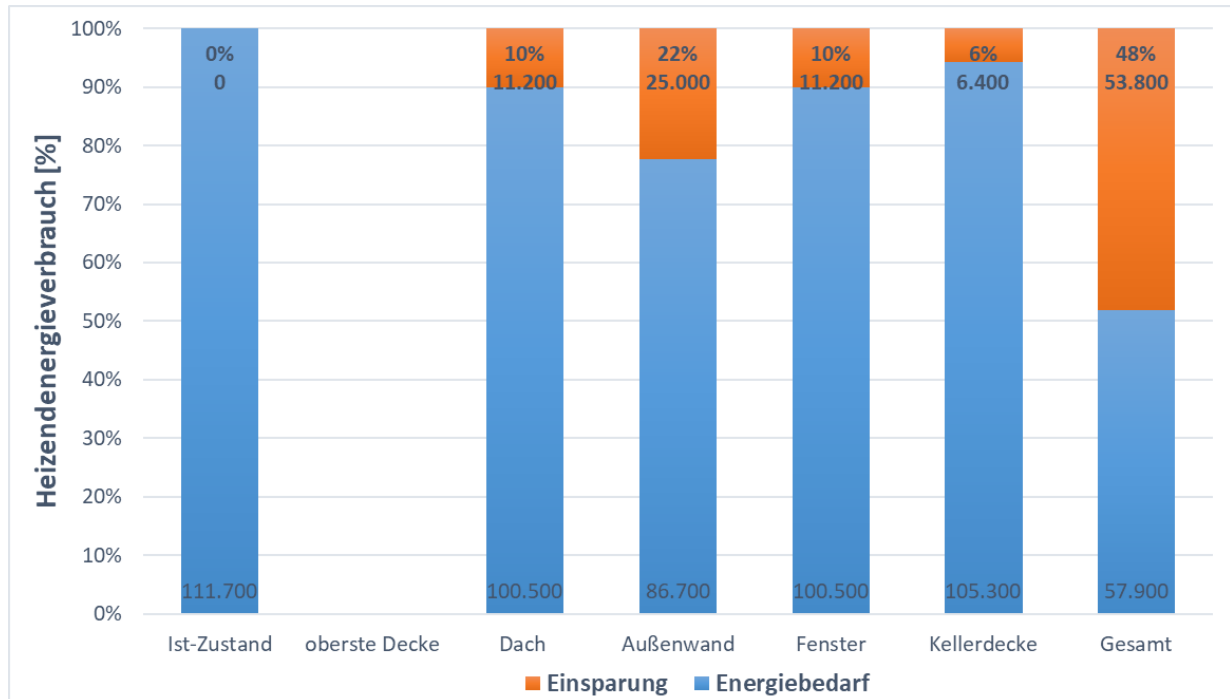


Abbildung 21: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse IV

Anschließend Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 18: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse IV mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
Dach	Dämmung	0,70	0,14	11.200	1.344	38.175	28	22
Außenwand	Dämmung	0,80	0,20	25.000	3.000	71.400	24	19
Fenster	Tausch	2,70	0,95	11.200	1.344	30.225	22	18
Kellerdecke	Dämmung	0,80	0,25	6.400	768	18.375	24	19
Gesamt				53.800	6.456	158.175	25	20

3.5 Baualtersklasse V: Baujahr 1984 bis 1994

Diese Baualtersklasse ist, von der im Jahr 1982 verabschiedeten und 1984 in Kraft getretenen, novellierten Wärmeschutzverordnung geprägt. Die Mindestanforderungen an die energetische Qualität der Gebäudehülle wurden im Vergleich zur vorherigen Verordnung weiter erhöht und so dem Stand der Technik angepasst. In dieser Bauzeit erstellte Gebäude erfüllen daher die Mindestanforderungen dieser Verordnung (höherwertige Gebäude sind selten der Fall).

Die nahezu ausnahmslos installierten Zentralheizungen werden mit immer effektiveren Heizkesseln ausgestattet und die Dämmstärken an den Verteilungsleitungen werden erhöht. Zur Wärmeübergabe werden ab dieser Zeit vermehrt Flächenheizungen, wie z. B. Fußbodenheizungen eingebaut. Dies ist bei einer Sanierung v. a. im Hinblick auf einen effizienten Betrieb von Wärmepumpenanlagen von Bedeutung. Für die, in diesem Bauzeitabschnitt installierten, Heizungsanlagen ergeben sich ansonsten keine großen Unterschiede zur vorherigen Baualtersklasse (überwiegend fossil).

Für die betrachteten Referenzgebäude ergibt sich unter Berücksichtigung des GEG-Standardnutzerverhaltens folgender Heizendenergiebedarf (vgl. Brennstoffbedarf):

Gebäudetyp 1 (Nutzfläche ca. 163m ²)	34.700 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 2 (Nutzfläche ca. 142m ²)	23.800 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 3 (Nutzfläche ca. 142m ²)	27.400 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 4 (Nutzfläche ca. 770m ²)	97.000 kWh _{Hi} /a

Für die Baualtersklasse V können folgende U-Werte angenommen werden:

Oberste Geschossdecke	0,30 W/m ² K
Dachflächen (Holzkonstruktion)	0,50 W/m ² K
Außenwände (massiv)	0,60 W/m ² K
Fenster (Isolierverglasung)	2,70 W/m ² K
Kellerdecke (massiv)	0,60 W/m ² K

3.5.1 Gebäudetyp 1 (freistehendes Einfamilienhaus)

Abbildung 22 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 1 in Baualterklasse V.

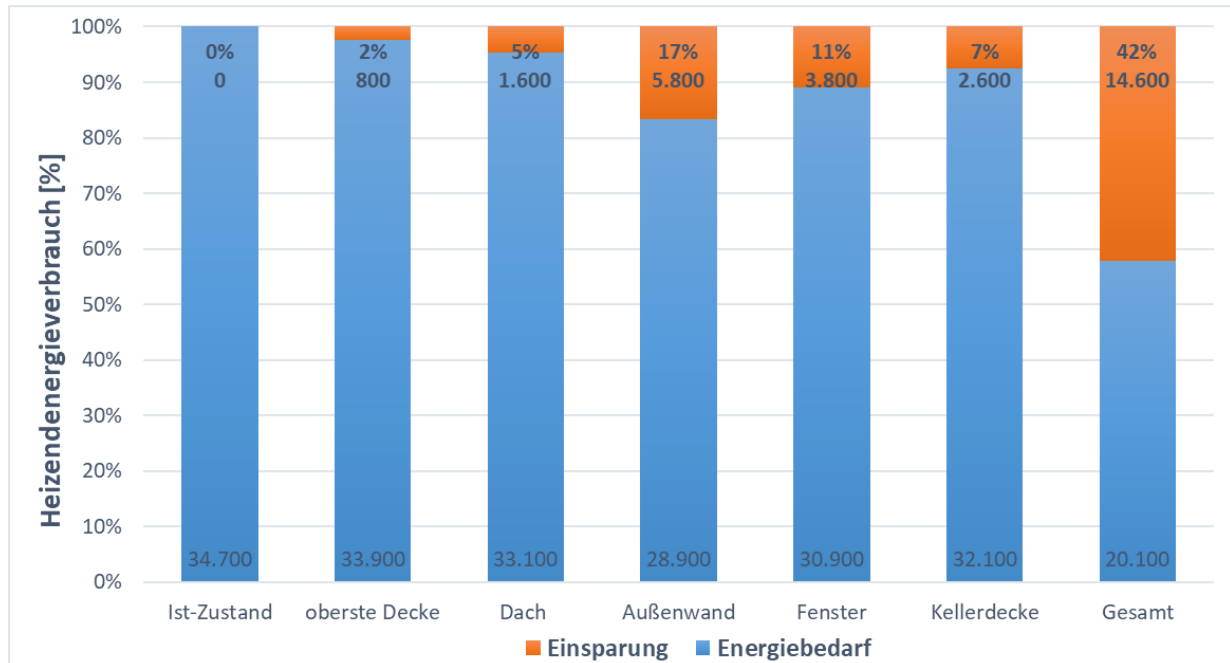


Abbildung 22: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 1 in Baualterklasse V

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 19: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualterklasse V mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,30	0,14	800	96	3.750	39	29
Dach	Dämmung	0,50	0,14	1.600	192	5.400	28	22
Außenwand	Dämmung	0,60	0,20	5.800	696	20.550	30	23
Fenster	Tausch	2,70	0,95	3.800	456	7.580	17	14
Kellerdecke	Dämmung	0,60	0,25	2.600	312	7.500	24	19
Gesamt				14.600	1.752	44.780	26	20

3.5.2 Gebäudetyp 2 (Reihenmittelhaus)

Abbildung 23 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse V.

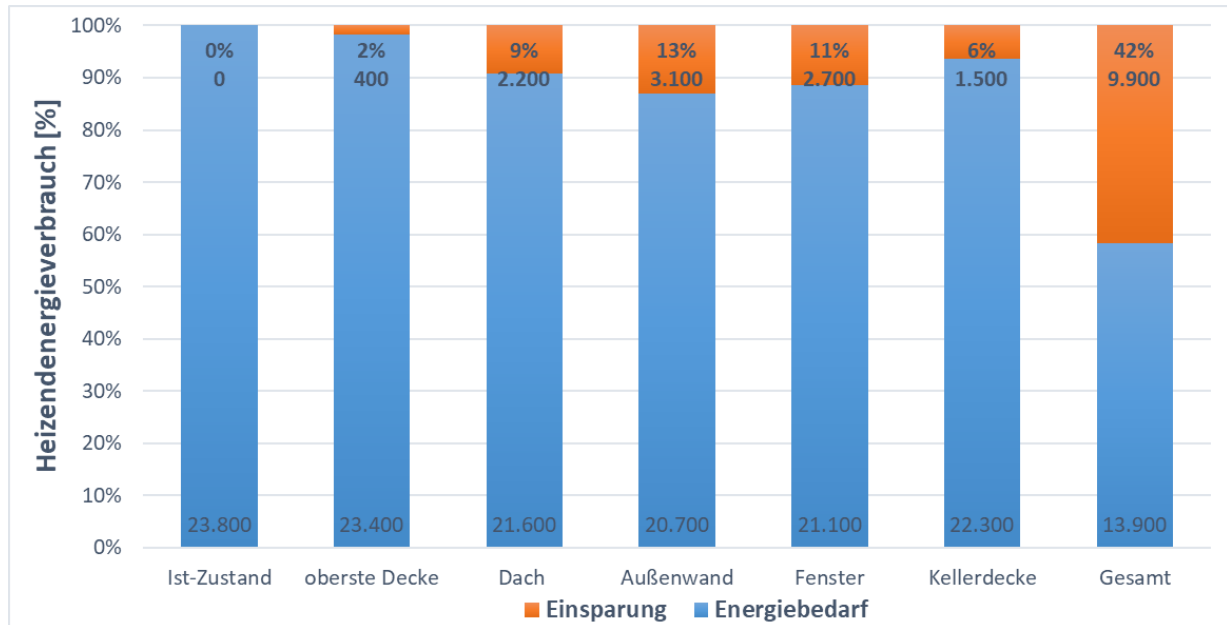


Abbildung 23: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse V

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 20: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse V mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + ISFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,30	0,14	400	48	2.250	47	33
Dach	Dämmung	0,50	0,14	2.200	264	5.025	19	16
Außenwand	Dämmung	0,60	0,20	3.100	372	7.050	19	16
Fenster	Tausch	2,70	0,95	2.700	324	5.830	18	15
Kellerdecke	Dämmung	0,60	0,25	1.500	180	4.500	25	20
Gesamt				9.900	1.188	24.655	21	17

3.5.3 Gebäudetyp 3 (Reihenendhaus und Doppelhaushälfte)

Abbildung 24 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 3 in Baualterklasse V.

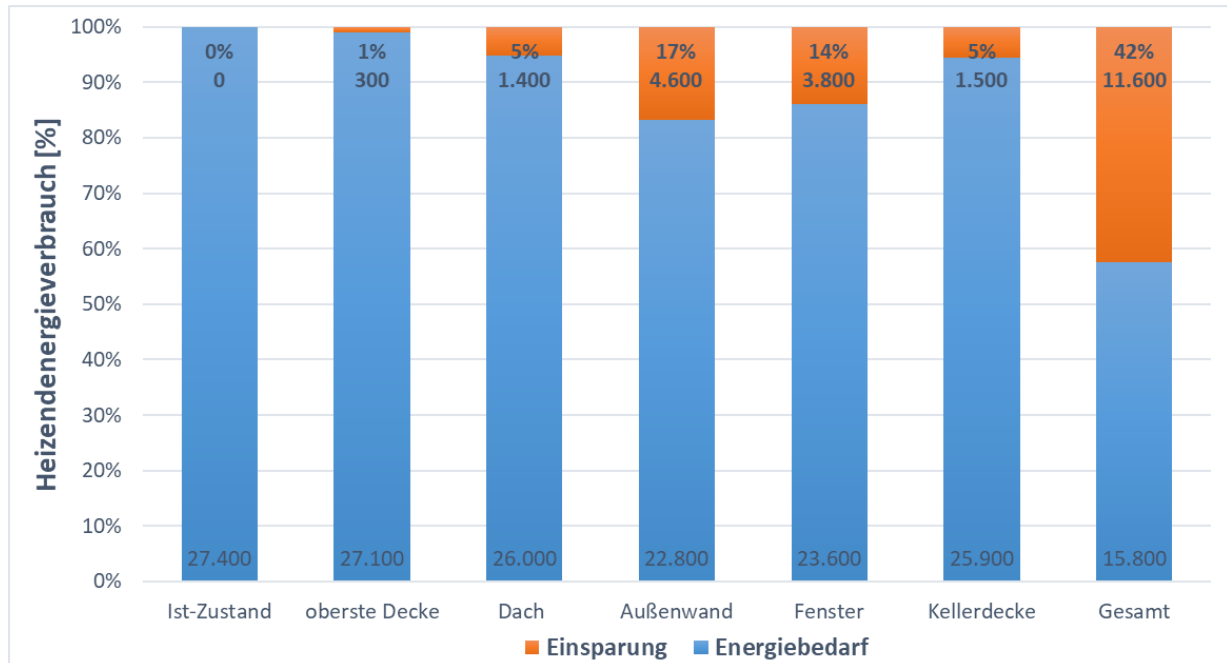


Abbildung 24: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 3 in Baualterklasse V

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 21: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualterklasse V mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,30	0,14	300	36	2.250	63	40
Dach	Dämmung	0,50	0,14	1.400	168	5.025	30	23
Außenwand	Dämmung	0,60	0,20	4.600	552	15.150	27	22
Fenster	Tausch	2,70	0,95	3.800	456	7.580	17	14
Kellerdecke	Dämmung	0,60	0,25	1.500	180	4.500	25	20
Gesamt				11.600	1.392	34.505	25	20

3.5.4 Gebäudetyp 4 (Mehrfamilienhaus)

Abbildung 25 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 4 in Baualterklasse V.

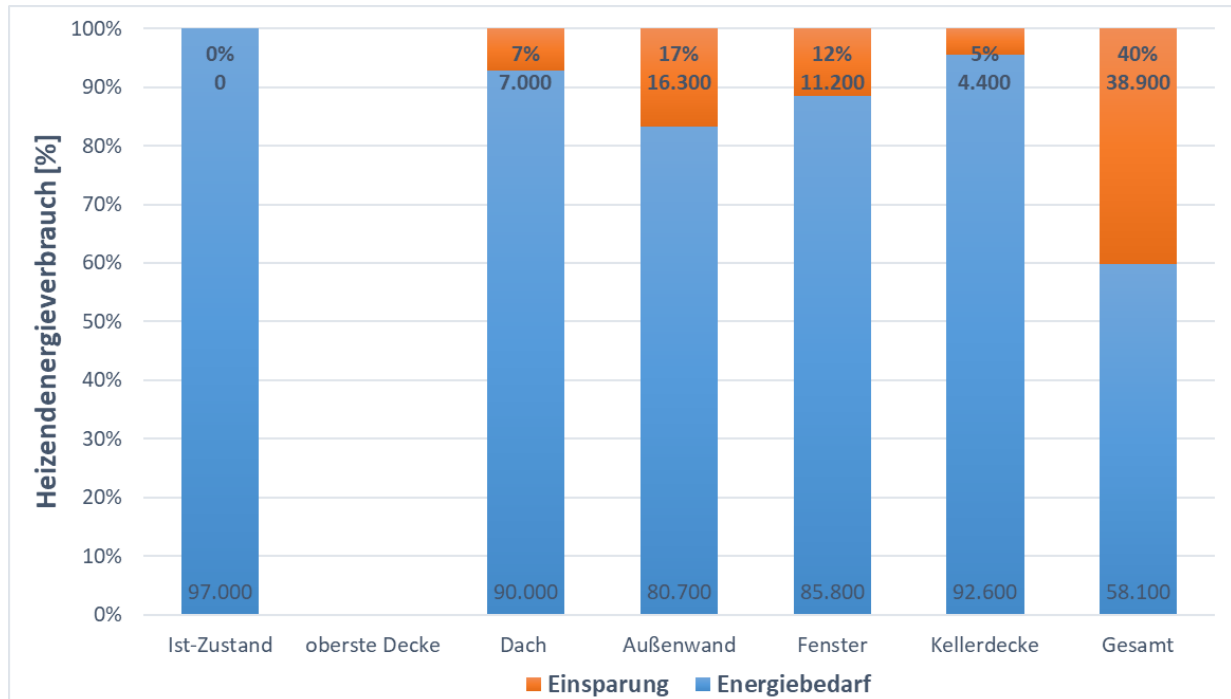


Abbildung 25: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 4 in Baualterklasse V

Anschließend Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 22: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualterklasse V mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
Dach	Dämmung	0,50	0,14	7.000	840	38.175	45	32
Außenwand	Dämmung	0,60	0,20	16.300	1.956	71.400	37	27
Fenster	Tausch	2,70	0,95	11.200	1.344	30.225	22	18
Kellerdecke	Dämmung	0,60	0,25	4.400	528	18.375	35	26
Gesamt				38.900	4.668	158.175	34	26

3.6 Baualtersklasse VI: Baujahr ab 1995 (bis 2002)

Mit Blick auf das Kyoto-Abkommen und der eingegangenen Verpflichtung zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen wurde im Jahr 1994 eine weitere Wärmeschutzverordnung verabschiedet. Diese trat 1995 in Kraft. Sämtliche in dieser Zeit erstellten Gebäude erfüllen die Mindestanforderungen dieser Verordnung (bis 2002). Abgelöst wurde diese mit der Verabschiedung der Energieeinsparverordnung (EnEV) im Jahr 2002, welche seither mehrere Novellierungen mit weiter angehobenen Vorgaben zur energetischen Qualität der Gebäude einherging und anschließend durch das aktuell gültige GEG 2020 ersetzt wurde.

Die Heiztechnik aus dieser Zeit weist keine wesentlichen Unterschiede zur vorherigen Baualtersklasse. Der Anteil an Gebäuden mit Fußbodenheizungen nimmt in dieser Bauzeit weiter zu. Ebenso steigt der Anteil alternativer Heiztechnik in den kommenden Jahren (Wärmepumpen- und Solarthermieanlagen sowie Pelletheizungen).

Für die betrachteten Referenzgebäude ergibt sich unter Berücksichtigung des GEG-Standardnutzerverhaltens folgender Heizendenergiebedarf (vgl. Brennstoffbedarf):

Gebäudetyp 1 (Nutzfläche ca. 163m ²)	30.400 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 2 (Nutzfläche ca. 142m ²)	19.500 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 3 (Nutzfläche ca. 142m ²)	23.700 kWh _{Hi} /a
Gebäudetyp 4 (Nutzfläche ca. 770m ²)	81.100 kWh _{Hi} /a

Für die Baualtersklasse VI können folgende U-Werte angenommen werden:

Oberste Geschossdecke	0,30 W/m ² K
Dachflächen (Holzkonstruktion)	0,30 W/m ² K
Außenwände (massiv)	0,50 W/m ² K
Fenster (Wärmeschutzverglasung)	1,80 W/m ² K
Kellerdecke (massiv)	0,60 W/m ² K

3.6.1 Gebäudetyp 1 (freistehendes Einfamilienhaus)

Abbildung 26 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 1 in Baualterklasse VI.

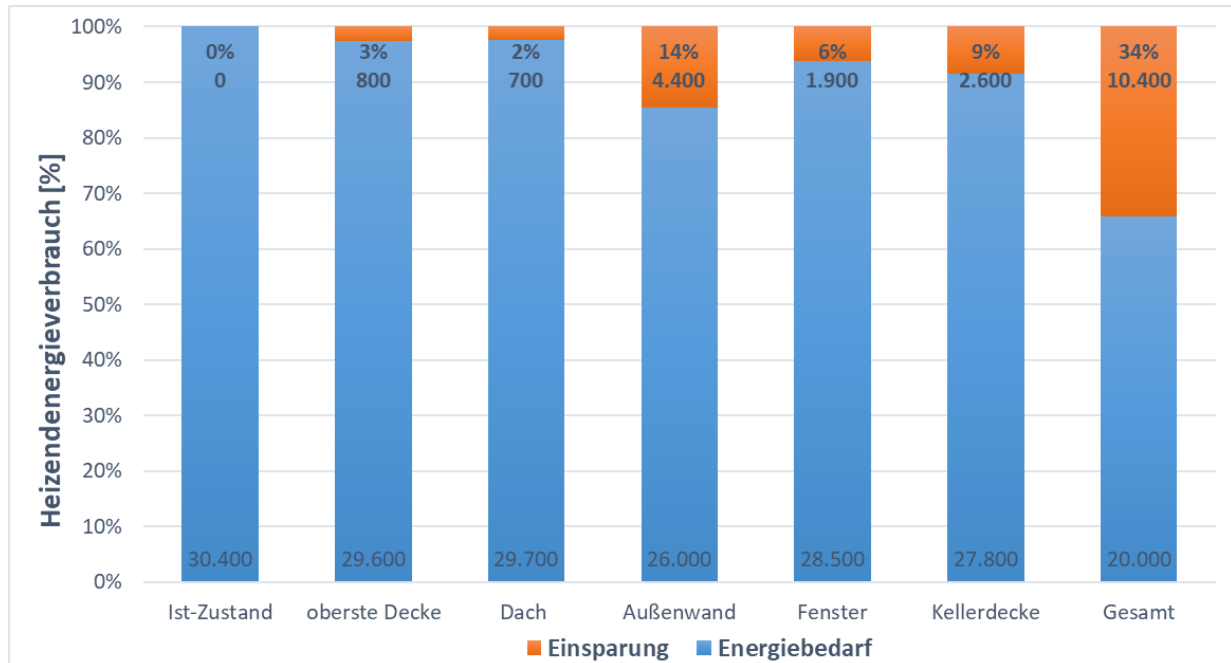


Abbildung 26: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 1 in Baualterklasse VI

Anschließend Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 23: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualterklasse VI mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,30	0,14	800	96	3.750	39	29
Dach	Dämmung	0,30	0,14	700	84	5.400	64	41
Außenwand	Dämmung	0,50	0,20	4.400	528	20.550	39	28
Fenster	Tausch	1,80	0,95	1.900	228	7.580	33	25
Kellerdecke	Dämmung	0,60	0,25	2.600	312	7.500	24	19
Gesamt				10.400	1.248	44.780	36	27

3.6.2 Gebäudetyp 2 (Reihenmittelhaus)

Abbildung 27 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 2 in Baualterklasse VI.

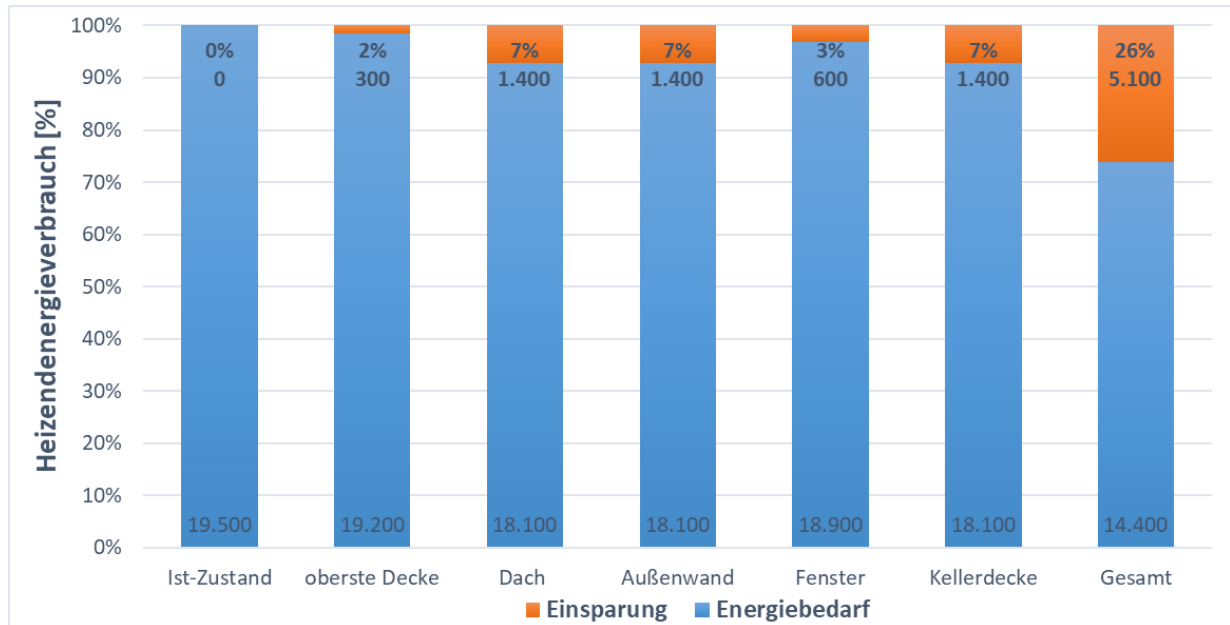


Abbildung 27: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 2 in Baualterklasse VI

Anschließend der Tabelle können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 24: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualterklasse VI mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,30	0,14	300	36	2.250	63	40
Dach	Dämmung	0,30	0,14	1.400	168	5.025	30	23
Außenwand	Dämmung	0,50	0,20	1.400	168	7.050	42	30
Fenster	Tausch	1,80	0,95	600	72	5.830	81	48
Kellerdecke	Dämmung	0,60	0,25	1.400	168	4.500	27	21
Gesamt				5.100	612	24.655	40	29

3.6.3 Gebäudetyp 3 (Reihenendhaus und Doppelhaushälfte)

Abbildung 28 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 3 in Baualterklasse VI.

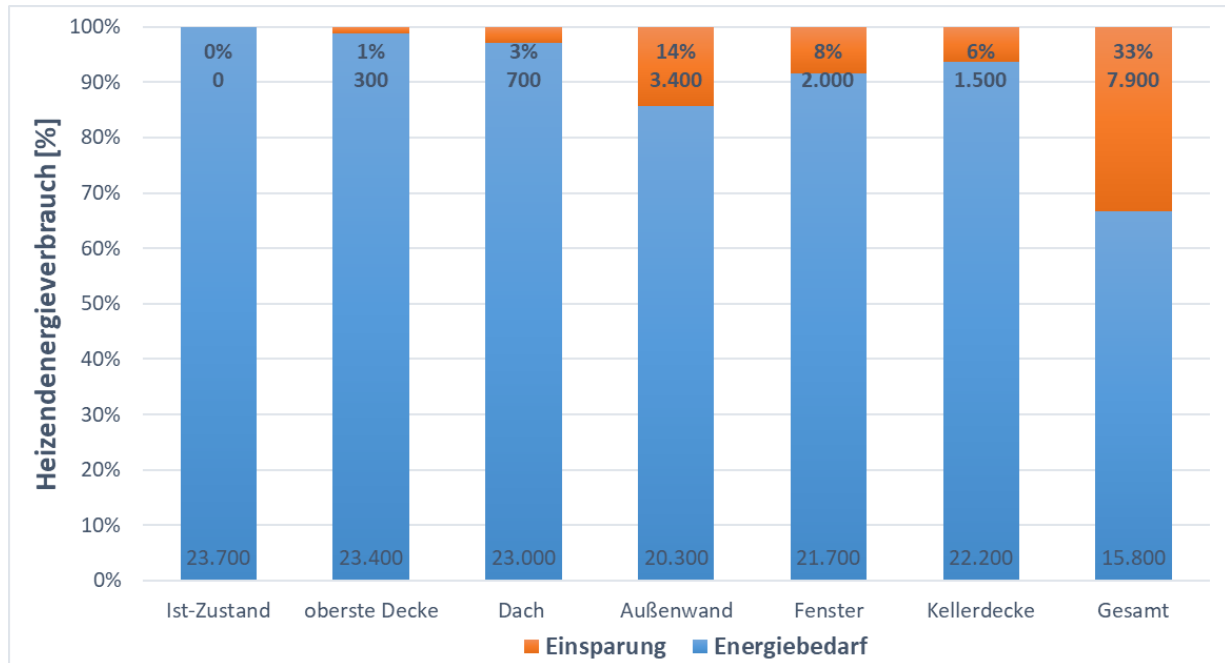


Abbildung 28: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 3 in Baualterklasse VI

Anschließend in Tabelle 25 können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 25: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualterklasse VI mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
oberste Decke	Dämmung	0,30	0,14	300	36	2.250	63	40
Dach	Dämmung	0,30	0,14	700	84	5.025	60	39
Außenwand	Dämmung	0,50	0,20	3.400	408	15.150	37	27
Fenster	Tausch	1,80	0,95	2.000	240	7.580	32	24
Kellerdecke	Dämmung	0,60	0,25	1.500	180	4.500	25	20
Gesamt				7.900	948	34.505	36	27

3.6.4 Gebäudetyp 4 (Mehrfamilienhaus)

Abbildung 29 zeigt die prozentualen Einsparpotenziale für ein Wohnhaus nach Gebäudetyp 4 in Baualterklasse VI.

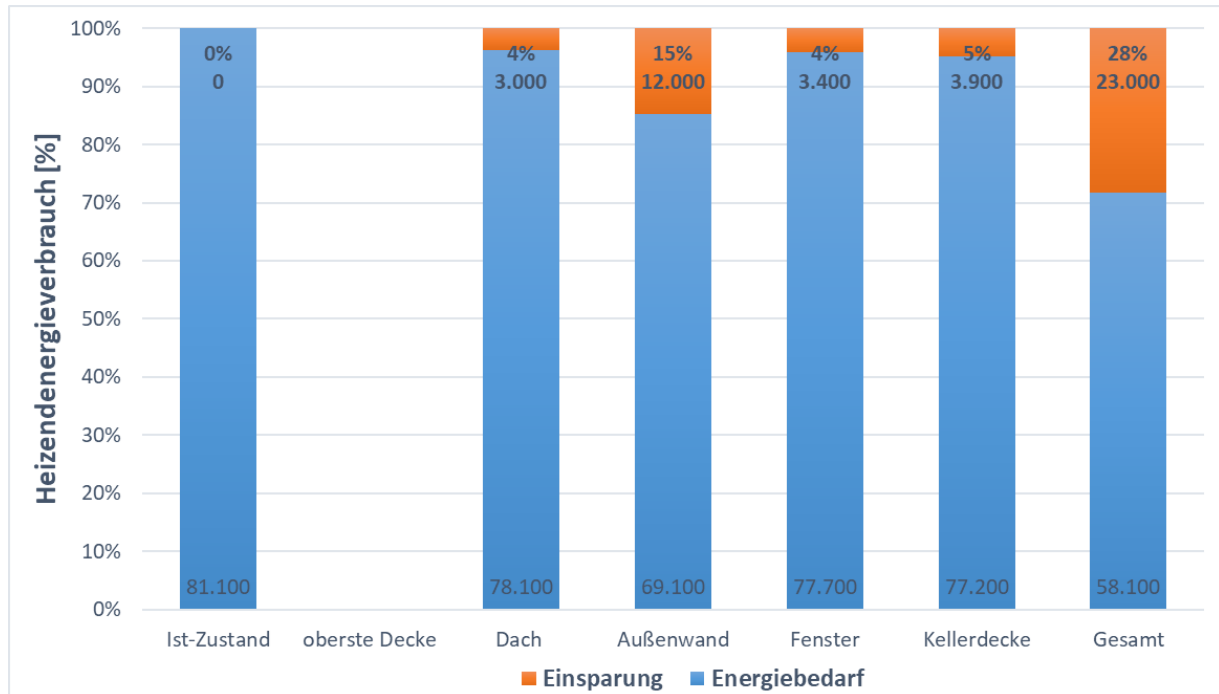


Abbildung 29: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 4 in Baualterklasse VI

Anschließend in Tabelle 26 können nochmals die wesentlichen Parameter hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (U-Werte, Energie- und Kosteneinsparungen je Maßnahme) entnommen werden. Darüber hinaus ist die zu erwartende mittlere Amortisationszeit sowohl ohne als auch mit einer berücksichtigten Kostensteigerung beim Energiebezug ausgewiesen.

Tabelle 26: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualterklasse VI mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)

Bauteil	Maßnahme	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	angesetzte Kosten [€]	statische Amortisation [a]	dyn Amort. mit 2%/a [a]
Dach	Dämmung	0,30	0,14	3.100	372	38.175	103	55
Außenwand	Dämmung	0,50	0,20	12.400	1.488	71.400	48	33
Fenster	Tausch	1,80	0,95	3.500	420	30.225	72	44
Kellerdecke	Dämmung	0,60	0,25	4.000	480	18.375	38	28
Gesamt				23.000	2.760	158.175	57	38

4 Aktuelle Energieversorgungsösungen

4.1 Allgemeines

Ergänzend zu den Kalkulationen des Energiebedarfs im (teil-)sanierten Gebäudezustand wird im Anschluss ein Überblick über derzeit einsetzbare Anlagen zur Gebäudebeheizung im Wohnsektor dargestellt. Hierbei soll es sich nicht um eine konkrete Anlagenbeschreibung handeln, vielmehr ist es das Ziel, anhand ökologischer sowie ökonomischer Aspekte das passende Heizsystem für ein zu versorgendes Gebäude zu ermitteln und abzubilden.

Grundlage für den Vergleich der verschiedenen Wärmeerzeuger bildet wie bereits zuvor eine Einteilung in unterschiedliche Klassen. Diese „Energiebedarfsklassen“ dienen der Orientierung für die Einordnung des eigenen Energiebedarfs bzw. der ökonomischen und ökologischen Bewertung der zu betrachtenden Liegenschaft. Diesen Energiebedarfsklassen liegen Endenergiebedarfswerte zwischen 20.000 kWh_{Hi} (\approx 2.000 Liter Heizöl / 2.000 m³ Erdgas) und 80.000 kWh_{Hi} (\approx 8.000 Liter Heizöl / 8.000 m³ Erdgas) zugrunde. Eine detaillierte Darstellung der untersuchten Heizenergiebedarfswerte zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 27: Übersicht – Endenergiebedarfsklassen

Endenergiebedarfsklasse	Leistungsklasse	Endenergiebedarf
	[kW _{Nennleistung}]	[kWh _{Hi} /a]
Endenergiebedarfsklasse 1 - 20 MWh _{Hi}	10	20.000
Endenergiebedarfsklasse 2 - 25 MWh _{Hi}	15	25.000
Endenergiebedarfsklasse 3 - 32,5 MWh _{Hi}	20	32.500
Endenergiebedarfsklasse 4 - 40 MWh _{Hi}	25	40.000
Endenergiebedarfsklasse 5 - 50 MWh _{Hi}	30	50.000
Endenergiebedarfsklasse 6 - 65 MWh _{Hi}	40	65.000
Endenergiebedarfsklasse 7 - 80 MWh _{Hi}	50	80.000

Aus den jeweils zugrunde liegenden Endenergiebedarfswerten können nun der Nutzwärmebedarf (Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasserbereitung ohne Anlagenverluste $\eta \approx 90\%$) sowie die mittlere, benötigte Heizleistung abgeschätzt werden (Leistungsklasse). Dies sind wichtige Parameter zur Dimensionierung der Heizungsanlagen. Um die Wahl der richtigen Anlagengröße sicher zu stellen, sollte im Regelfall immer eine detaillierte Heizlastberechnung durch die ausführende Fachfirma (oder den Energieberater*in) für das zu betrachtende Gebäude (nach DIN 12831) durchgeführt werden. Bei den hier angegebenen Nennleistungswerten handelt es sich um näherungsweise bestimmte Angaben auf Basis üblicher Volllaststunden in Wohngebäuden (1.400 – 1.700 h/a), dies ersetzt keine detaillierte Berechnung nach Norm.

Auf Grundlage des kalkulierten Energiebedarfs können mit Hilfe der mittleren Gradtagszahlen des Deutschen Wetterdienstes die monatlichen Wärmebedarfswerte zur Beheizung der Räumlichkeiten der Liegenschaft ermittelt werden. Exemplarisch ist dies für die Energiebedarfsklasse 4 dargestellt.

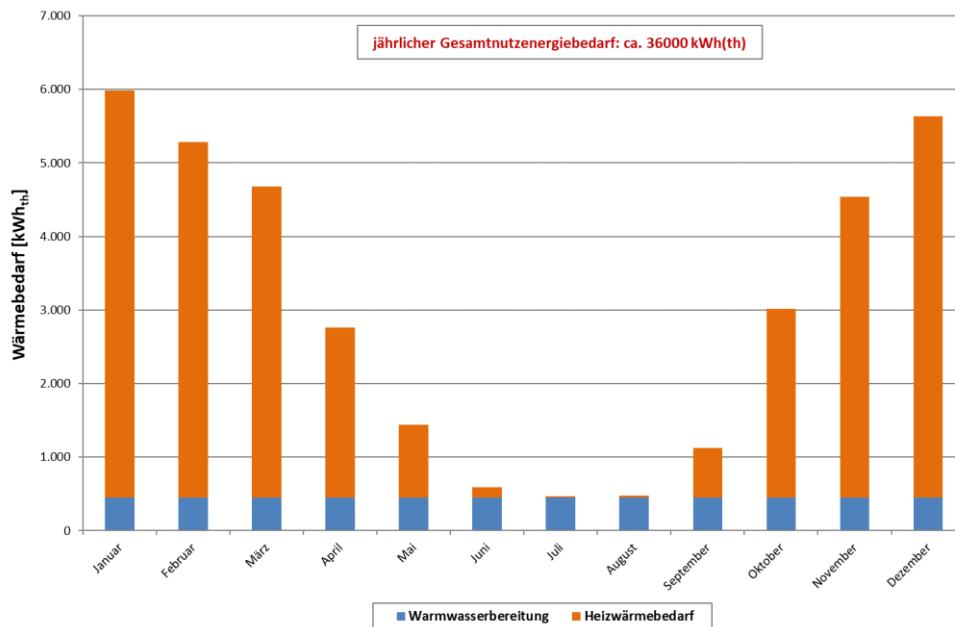


Abbildung 30: Näherungsweise bestimmter, jährlicher Gesamtnutzenergiebedarf auf Basis der mittleren Gradtagsverteilung am Standort Herzogenaurach exemplarisch für die Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh_{Hi}/a)

Vor dem Hintergrund der hygienischen Warmwasserbereitung sowie zu vermeidender Speicherverluste erfolgt die Warmwasserbereitstellung in allen Varianten mittels des zentralen Wärmeerzeugers oder teilweise mittels einer solarthermischen Anlage. Hierfür ist in jeder Variante ein Trinkwarmwasserspeicher bzw. ein sog. Solarspeicher berücksichtigt. Der Warmwasserwärmebedarf wird vereinfacht als nahezu gleichmäßig über das Jahr hinweg beachtet.

Anhand dieser Werte wird die geordnete Jahresdauerlinie des thermischen Leistungsbedarfs erstellt. Die geordnete Jahresdauerlinie ist das zentrale Instrument für den Anlagenplaner*in. Die Fläche unter der Jahresdauerlinie entspricht dem Jahresnutzwärmebedarf.

Die zu installierende Nennleistung richtet sich nach Kennwerten der Kesselvollbenutzungsstunden sowie dem Wärmebedarf. Diese beruht in vorliegender Betrachtung nicht auf einer detaillierten Heizlastberechnung nach DIN 12831 und ersetzt somit nicht die technische Detailplanung des ausführenden Fachhandwerksbetriebs.

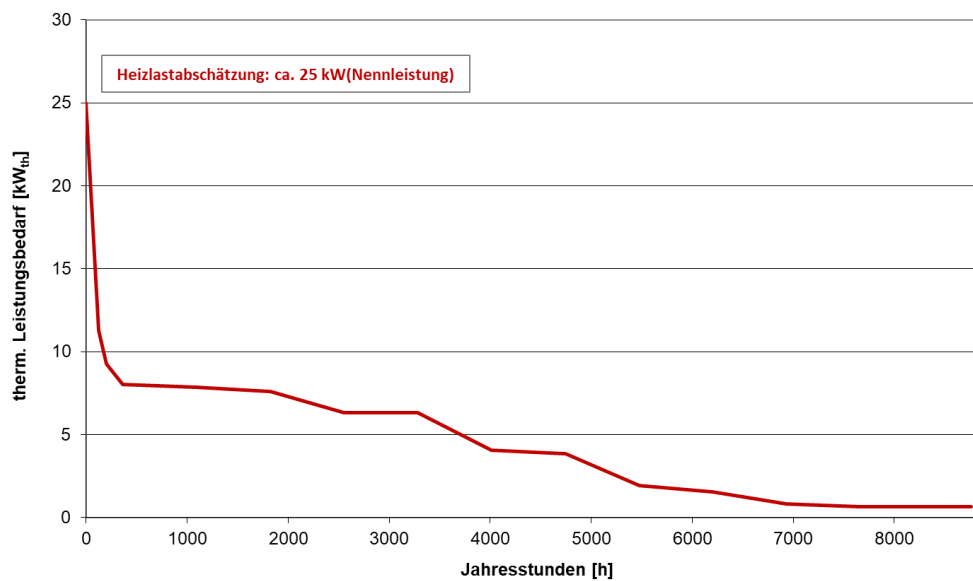


Abbildung 31: Näherungsweise bestimmte Gebäudeheizlast auf Basis des Energiebedarfs sowie typischer Anlagenvollbenutzungsstunden exemplarisch in der Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh_{Hi}/a)

Als ökonomisches und ökologisches „Referenzsystem“ kann in den anschließenden Auswertungen die Versorgung auf Basis des Energieträgers Erdgas (in versorgten Gebieten; bodenstehender Erdgaskessel) sowie alternativ die Wärmebereitstellung anhand eines Heizölkessels herangezogen werden.

Weiterhin beziehen sich die Betrachtungen auf einen energetisch (teil-)sanierteren Gebäudezustand mit einem überschlägigem Temperaturniveau des Heizsystems von:

- Warmwasserbereitung (15 % des Gesamtwärmebedarfs) ca. 65°C
- Vorlauftemperatur ca. 55°C
- Rücklauftemperatur ca. 45°C

Es wird zudem davon ausgegangen, dass als wärmeübertragende Flächen zum überwiegenden Anteil klassische (Niedertemperatur-)Radiatoren zum Einsatz kommen. Sollten zu sanierende Gebäude bereits großflächig mit Niedertemperaturheizsystemen (z. B. Fußbodenheizungen, Wand- oder Deckenheizsysteme oder spezielle Niedertemperaturradiatoren) ausgerüstet sein oder im Zuge der Sanierung diese Heizsysteme nachträglich eingebaut werden, so ist vor allem beim Einsatz von Wärmepumpenlösungen mitunter nochmals eine deutliche Effizienzsteigerung zu beachten (höherer Anlagenwirkungsgrad → niedrigere Energiebezugskosten).

Aktuelle Möglichkeiten der Wärmeversorgung in Wohngebäuden:

Im Folgenden werden auf den dargestellten Grundlagen basierend, verschiedene effiziente und moderne Energieversorgungsvarianten für Wohngebäude detailliert sowohl auf deren ökologische Wertigkeit als auch auf deren ökonomischen Aspekte hin untersucht und dargestellt.

Mögliche Anforderungen an ein Heizsystem sind nicht nur von rein technischen Aspekten abhängig. Diese können unter anderem auf folgenden Gesichtspunkten basieren:

- Ökologische Aspekte (Energieträger, effizienter Energieeinsatz, Energieeinsparung)
- Energetische Qualität der Gebäudehülle, Art der Wärmeübergabe und Nutzung des Gebäudes (erforderliche Temperaturniveaus im Gebäude, Betriebsdauer)
- Versorgungssicherheit
- Kosten (Investitionsvolumen und Anlagenbetrieb)
- Raumbedarf der Heizanlage (Brennstofflagerung; Anlagentechnik etc.)
- Schallemissionen (z. B. Luft-/Wasser-Wärmepumpen mit Außeneinheit)
- Optische Aspekte
- etc. ...

Betrachtete Energieversorgungslösungen (exemplarisch):

- Variante 1: Pelletkessel
- Variante 2: Pelletkessel + Solarthermieanlage
- Variante 3: Luft-/Wasser-Wärmepumpe
- Variante 4: Luft-/Wasser-Wärmepumpe + Solarthermieanlage
- Variante 5: Sole-/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden)
- Variante 6: Sole-/Wasser-Wärmepumpe (Flächenkollektoren / Erdkollektoren)
- Variante 7: Wasser-/Wasser-Wärmepumpe (Brunnenanlage)
- Variante 8: Erdgasbrennwertkessel + Solarthermieanlage
- Variante 9: Erdgasbrennwertkessel
- Variante 10: Heizölbrennwertkessel (im Hochpreisszenario)
- Variante 11: Heizölbrennwertkessel
- Variante 12: Fernwärmeanschluss (Herzowerke)

Die Dimensionierung einer möglichen Solarthermieanlage (Varianten 2, 4 und 8) erfolgt in allen Varianten im Hinblick auf die Warmwasserbereitstellung und deckt rund 2/3 der notwendigen Energiemenge zur Trinkwarmwasserbereitung ab. Dies entspricht einem Anteil am Gesamtwärmebedarf von ca. 10 %. Die Einbindung als sog. „heizungsunterstützende“ Anlage bedarf je nach Gebäudeenergieverbrauch und Ausrichtung der Anlage deutlich größere Anlagendimensionen. Da sich in der Vergangenheit bereits herausgestellt hat, dass es sich hierbei lediglich um einzelne Liegenschaften handelt, die ein solches System einsetzen, wird dies im Zuge der Betrachtungen nicht speziell dargestellt.

Zur Abbildung der Energiepreisentwicklung Ende 2021 / Anfang 2022 wird anhand der Variante 10 (Heizölbrennwertkessel) ein sog. „Hochpreisszenario“ beschrieben. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um die Randbedingungen aus Variante 11 jedoch mit angepasstem Energiepreis für leichtes Heizöl (höchstes Preisniveau mit 2,04 €/Liter).

Anschließende Abbildungen sollen einen kurzen Überblick über mögliche **Vor- und Nachteile aktueller Möglichkeiten der Wärmeversorgung** in Wohngebäuden aufzeigen.

Vor- und Nachteile Biomassekessel (allgemein)

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> + Höhere Vorlauftemperaturen möglich (Sanierung) + Regenerativer Brennstoff (ggf. auch regional) + Homogener Brennstoff (Pellets) + Mittlerweile ausgereifte Technik + Relativ „günstiger“ Brennstoff + Aktuell hohe Förderquote | <ul style="list-style-type: none"> - Platzbedarf (Lager, Pufferspeicher) - Hohe Investitionskosten - Wartungsaufwand (z.B. Mechanische Bauteile etc.) - Höherer Betriebsaufwand (Scheitholz- & Hackgutkessel – z.B. Brennstoffbeschickung) - Höhere Feinstaubbelastung, <u>ohne</u> Filtertechnologie - Zukunftssicherheit des Brennstoffpreises / -angebots (begrenzte, nachhaltige Brennstoffmenge) |
|---|---|

Fazit

- Für Bestandsgebäude ist ein Pelletkessel für den Ersatz einer Heizölfeuerung bisher meist die erste Wahl
- Hackschnitzelkessel können z.B. für MFH oder kleine Wärmeverbundvarianten sowie landwirtschaftliche Liegenschaften interessant sein
- Bei großen Anlagen kann der Vorteil des geringeren Brennstoffpreises von Hackschnitzeln überwiegen, besonders bei zentralen Anlagen in Wärmeverbundlösungen
- Nachhaltige Biomassenutzung ist begrenzt → Einsatz sollte in Liegenschaften erfolgen, in denen ein alternatives System auf Basis regenerativer Energien nicht sinnvoll einsetzbar ist
- Rohstoffproduktion vor Ort ist zu beachten → nicht alle Liegenschaften können künftig mit Biomasse beheizt werden!

Abbildung 32: Vor- und Nachteile – Biomassekessel

Vor- und Nachteile Wärmepumpen (allgemein)

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> + Nutzung „kostenloser“ Umweltenergie + Sehr effiziente Nutzung des Energieträgers möglich + Aktuell hohe Förderquote + Ökologische Energieversorgung auch bei Netzstrombezug (verbessert sich bei weiterem Ausbau der EE) + In Kombination mit einer PV-Anlage vor Ort <ul style="list-style-type: none"> → höhere Eigenstromnutzung → (teilweise) dezentrale Energieversorgung + wirtschaftlicher Vorteil + Kein Schornstein erforderlich (Monovalenter Betrieb) + Platzbedarf im Gebäude niedrig | <ul style="list-style-type: none"> - Effizienz abhängig vom geforderten Temperaturniveau (sinkt mit steigender Temperatur im Heizsystem) - Idealerweise Kombination mit Flächenheizungen - Je nach System mittlere (Luft-Wasser-WP) bis sehr hohe (Erdsonden) Investitionen nötig - Erdsonden und Grundwassernutzung nicht an jedem Standort möglich - Erdkollektoren nicht „überbaubar“ → Freiflächen nötig - Schallemissionen bei Luft-Wasser-WP |
|--|--|

Fazit:

- Im Wohngebäude-Neubau mittlerweile ca. 45% Anteil (weiter steigend)
- Kann nicht ausnahmslos empfohlen werden (Einzelfallprüfung → Bestandsgebäude)
- Aktuell bereits überwiegend regenerativer Energieträger im Einsatz (Anteil EE im Stromnetz 41,1% in 2021)
- Sehr gut kombinierbar mit Photovoltaikanlage

Abbildung 33: Vor- und Nachteile - Wärmepumpenlösungen

Vor- und Nachteile (Öl- und Gaskessel)

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> + Vergleichsweise niedrige Investitionskosten + „Bewährte“ Technik + „Geringer“ Wartungsaufwand neuer Kessel/Thermen + Hohe Vorlauftemperaturen möglich (Sanierung) + Platzbedarf meist niedrig (HEL-Lageraum beachten) + Neue Geräte mit der Möglichkeit zur Brennwertnutzung (Anforderungen im Gebäude beachten!) + Mögliche Übergangstechnologie (H₂-ready, Biomethan, ...) | <ul style="list-style-type: none"> - Fossile Brennstoffe → Umweltaspekte - Fossile Brennstoffe → CO₂-Steuer - „Zukunftssicherheit“ des Brennstoffpreises ungewiss (Politik; Nachfrage; Produktionskapazitäten) - Gesetze und Förderrichtlinien erschweren den Einsatz (Detailprüfung bei Sanierung und Neubau) - Aktuell deutliche, sprunghafte Preissteigerung bei den Energieträgern Heizöl und Erd- bzw. Flüssiggas - Gasanschluss erforderlich (wenn noch nicht vorhanden) |
|---|---|

Fazit:

- Derzeit erfolgt nach wie vor häufig ein Einbau / Wechsel auf einen Gaskessel / Gastherme
- Ab 2026 Einbau eines Heizölkessels nur noch in Ausnahmefällen zulässig
- Wenn kein Gasanschluss möglich ist (ländliche Gebiete) kommen nicht selten auch Flüssiggaskessel zum Einsatz
- Entscheidung über einen Zeitraum von ca. 20 Jahren (fossile Energien bis 2045 → „0“)
- Kann nicht mehr empfohlen werden (nur in begründeten Ausnahmefällen)

Abbildung 34: Vor- und Nachteile - Öl- und Gaskessel

Vor- und Nachteile (KWK im Gebäudesektor)

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> + Hohe Vorlauftemperaturen möglich (Sanierung) + Sehr effiziente Nutzung des Energieträgers + Erzeugung von Strom und Wärme + Gewinne/Einsparungen durch die Stromerzeugung + Mögliche Übergangstechnologie (H₂-ready, Biomethan, ...) | <ul style="list-style-type: none"> - Platzbedarf „höher“ gegenüber konv. Heizkessel - fossiler Brennstoff (CO₂-Steuer, Umweltaspekte) - Schallemissionen sind zu beachten - Zukunftssicherheit des Brennstoffpreises (Politik) - ggf. Spitzenlastkessel notwendig - Wartungsaufwand - Stand 2021: Für kleine Liegenschaften i.d.R. kaum wirtschaftlich zu betreiben → hohe Investitionskosten |
|---|---|
- Mikro-BHKW: Kaum noch am Markt verfügbar aufgrund der geringen Verkaufszahlen
 - Mini-BHKW: Für größere Liegenschaften umsetzbar (Mehrfamilienhäuser, Wärmeverbundlösungen)
 - Brennstoffzelle: Mit fossilem Spitzenlastkessel mit H₂- oder Erdgas-Brennstoffzelle in Kombination
→ Derzeit aufgrund der Kosten kaum umgesetzt (Kostenniveau zuletzt jedoch fallend)

Fazit:

- Vergleichsweise wenige Anlagen in Wohngebäuden in Betrieb
- Anlagentechnik für größere Liegenschaften mit Strom- und Wärmebedarf (z.B. Wohnen (MFH) + Gewerbe)
- Kann nicht ausnahmslos empfohlen werden (Einzelfallprüfung)
- Aktuell überwiegend fossile Energieträger im Einsatz → hocheffizienter Einsatz!

Abbildung 35: Vor- und Nachteile - Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen; BHKW; Brennstoffzellen)

Da KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung; Blockheizkraftwerke (BHKW) und Brennstoffzellen) lediglich eine untergeordnete Rolle bei der Energieversorgung kleinerer Liegenschaften spielen, werden diese nicht explizit in einer Versorgungsvariante abgebildet.

Vor- und Nachteile Solarthermie (allgemein)

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> + Nutzung „kostenloser“ Umweltenergie + Ökologische Energieversorgung <u>ohne</u> Emissionen + Aktuell hohe Förderquote + Kesselaufzeit im Sommer/Übergang reduzieren
→ Brennstoffeinsparung + Haltbarkeit des Wärmeerzeugers und ineffizienten Teillastbetrieb reduzieren (Biomasse, Wärmepumpe) + Hohe Effizienz der Wärmegegewinnung + Meist wartungsarmer Betrieb möglich | <ul style="list-style-type: none"> - Energieerzeugung ist vom Wetter abhängig - Flächenkonkurrenz zu PV-Systemen - Aufwendiges, zusätzliches System (Rohrleitungssystem, Druckausgleichsgefäß, Pumpe, Regelung, Speicher etc.) - Investitionskosten vergleichsweise hoch - Eventuell (kleinere) bauliche Eingriffe am (Bestands-) Gebäude notwendig |
|---|--|

Fazit:

- Wärmeerzeuger ohne Verbrennung → keine Emissionen, Brennstoffeinsparung beim Primärsystem!
- Kann mit nahezu jedem Wärmeerzeuger kombiniert werden
- Nachrüstung meist problemlos möglich
- Warmwasserbetrieb grundsätzlich empfehlenswert; Heizungsunterstützender Betrieb → Detailprüfung

Abbildung 36: Vor- und Nachteile - Solarthermieranlagen (Wärmeproduktion)

Nah- und Fernwärme (allgemein)

Nah- bzw. Fernwärmearbeitung:

Zentrale Energieerzeugung auf Basis unterschiedlicher Anlagentypen z.B.:

- Hackgut- / Pelletkessel
- Biogasanlagen (KWK)
- Erd-/Flüssiggas-BHKW (KWK)
- Solarthermie (großflächig)
- etc. ...

- Betrieb meist durch Stadtwerke, Kommunalbetriebe, Genossenschaften oder eigenständige Unternehmen (z.B. Biogasanlagenbetreiber oder Wärme-Contractoren)
- Einfacher Anschluss mittels Anschlussleitung (vgl. Gasanschluss)
- Anbindung beim Kunden über eine Hausübergabestation
→ ersetzt den bisherigen Wärmeerzeuger
→ Heizsystem im Haus bleibt in der Regel unberührt
- Abschluss eines Wärmelieferungsvertrags über einen bestimmten Zeitraum (z. B. 10 Jahre)

Abbildung 37: Vor- und Nachteile / Allgemeines - Fernwärmearbeitung

4.2 Wirtschaftliche Randbedingungen

Basierend auf den in den entwickelten Energieversorgungsvarianten wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Ermittlung der ökonomisch günstigsten Variante durchgeführt. Dabei werden im Rahmen einer Vollkostenrechnung nach der sog. Annuitätenmethode die Jahresgesamtkosten ermittelt. Dies erfolgt in Anlehnung an die in der VDI-Richtlinie 2067 beschriebenen Vorgehensweise. Weiterhin werden die jährlichen Gesamtkosten berechnet und dargestellt. Die Jahresgesamtkosten geben an, welche Ausgaben unter Berücksichtigung von Kapital-, Instandhaltungs- und Wartungskosten, Verbrauchskosten sowie sonstigen Kostenfaktoren jährlich anfallen.

Als wesentliche Aussage stehen am Ende jeder Wirtschaftlichkeitsbetrachtung als Ergebnis die sog. Wärmegestehungskosten. Diese beziffern die Kosten pro kWh Nutzwärme, die sich je nach eingesetzter Anlagentechnik bzw. Energieträger ergeben. Ein reiner Vergleich mit den Brennstoff- bzw. Energieträgerbezugskosten darf hier nicht erfolgen, da dieser weitere wichtige Kostenfaktoren für Anschaffung und Unterhalt nicht berücksichtigt.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung gelten folgende Grundannahmen:

- Bezugsjahr ist 2022; Betrachtungszeitraum 20 Jahre bei linearer Abschreibung
- Preisangaben zur Kostenschätzung inkl. MwSt. (brutto)
- kalkulatorischer Zinssatz für Fremdkapital beträgt konstant 2,0 % über 20 Jahre
- Die Brennstoffkosten bleiben im Betrachtungszeitraum konstant (Momentaufnahme)

Folgende jährliche Kosten werden berücksichtigt und dargestellt:

- Kapitalkosten auf Basis der Investitionskosten und dem Kapitalzins (durchschnittliche Marktpreise für die einzelnen Komponenten)
- Betriebsgebundene Kosten (Wartung, Instandhaltung)
- Verbrauchsgebundene Kosten (Brennstoffe / Energieträger, Hilfsenergie, CO₂-Abgabe)

Die **Investitionskosten** sind nicht als konkrete Angebotspreise, sondern lediglich als durchschnittliche Marktpreise für einzelne Komponenten zu verstehen (Richtpreise; Listenpreise verschiedener Hersteller). Diese können in der tatsächlichen Umsetzung sowohl positive als auch negative Abweichungen aufzeigen (bspw. von Hersteller und Typ sowie der aktuellen Marktsituation abhängig).

Ebenso basieren die Brennstoff- und Betriebskosten auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Angebotseinholung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier kalkulierten abweichen. Vor allem im Hinblick auf die

aktuelle Situation der Kostenentwicklung im Baugewerbe / Handwerk ist in einzelnen Kostengruppen die weitere Entwicklung vor Umsetzung von Maßnahmen kurzfristig zu prüfen.

Die Investitionskosten umfassen im Einzelnen:

- Wärmeerzeuger
- benötigte Anlagentechnik zur Einbindung (HLS, Elektro, MSR)
- Brennstofflagerung ggf. mit Austragung und Zuführung
- Technische Installationskosten inkl. Planung (pauschal je nach Anlagendimension)

Die Investitionskosten beziehen sich auf die Installation der Wärmeerzeuger bis zur Heizkreisverteilung. Die Heizungsverteilung inkl. deren Installation, das Wärmeverteilsystem im Gebäude (z. B. Niedertemperaturradiatoren) sowie eine übergeordnete Gebäudeleittechnik oder Sonstiges sind je nach Gebäude und Eigentümer*in äußerst individuell und werden daher nicht berücksichtigt.

Aus den Investitionskosten werden die jährlichen **kapitalgebundenen Kosten** nach der Annuitätenmethode für einen Abschreibungszeitraum von 20 Jahren gebildet. Gebäude und Gebäudeteile zur Brennstofflagerung (Pelletbunker) sowie Erdwärmesonden, Erdkollektoren und Brunnenanlagen werden mit höheren, mittleren Standzeiten in den Kalkulationen berücksichtigt.

Die **betriebsgebundenen Kosten** beinhalten die Kosten für die Wartung und Instandhaltung der technischen Anlagen und Komponenten. Kosten für Kaminkehrer und technische Überwachung werden pauschal je nach eingesetzter Anlagentechnik angesetzt.

Die **verbrauchsgebundenen Kosten** setzen sich aus den jährlichen Brennstoff- bzw. Energieträgerkosten, den Kosten für Hilfsenergie (Strom für Pumpen und Antriebe) sowie in Variante 12 den Kosten für Wärmebezug aus dem Fernwärmenetz zusammen.

In Abstimmung mit dem Energieversorger konnte eine Abschätzung hinsichtlich des künftig zu erwartenden bzw. sich mittelfristig einstellenden Kostenniveaus zum Energiebezug festgelegt werden.

Den Kalkulationen zur ökonomischen Bewertung liegen daher folgende, **mittlere Brutto-Preise für Brennstoffe bzw. Energieträger und Wärmebezug aus Fernwärme** zugrunde:

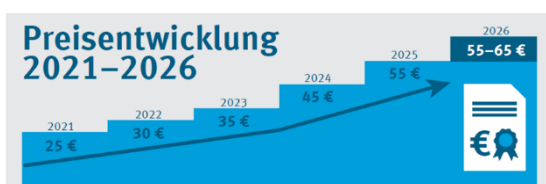
Leichtes Heizöl:	1,37 €/Liter	($\approx 13,6 \text{ Ct/kWh}_{\text{Hi}}$)
Leichtes Heizöl (Hochpreisszenario):	2,05 €/Liter	($\approx 20,4 \text{ Ct/kWh}_{\text{Hi}}$)
Erdgas:	11,9 Ct//kWh _{Hi}	
Pellets:	442 Euro/t	($\approx 8,8 \text{ Ct/kWh}_{\text{Hi}}$)
Allgemeinstromtarif:	40,0 Ct/kWh _{el}	
Wärmestromtarif:	33,0 Ct/kWh _{el}	

Leitungsgebundene Energieversorgung (Erdgas, Fernwärme und Strom) inkl. Berücksichtigung eines anfallenden jährlichen Grundpreises.

Weiterhin kann an dieser Stelle bereits darauf hingewiesen werden, dass v. a. der Betrieb einer Photovoltaikanlage einen positiv zu bewertenden Einfluss auf die Wärmegestehungskosten von effizienten, stromgeführten Heizsystemen (Wärmepumpen) bieten kann.

So können für eine kleinere Photovoltaikanlage mit rund $10 \text{ kW}_{\text{peak}}$ maximaler Leistung Solarstromgestehungskosten in Höhe von rund $12 - 13 \text{ Ct/kWh}_{\text{el}}$ am Standort Herzogenaurach ausgewiesen werden (Kostenniveau 04/2022; Südausrichtung mit 40° Dachneigung; 20 Jahre Betriebsdauer bei $0,5 \% \text{ p. a.}$ Leistungsminderung und $2,0 \% \text{ Kapitalzins}$).

Darüber hinaus wird in den Berechnungen ein mittlerer CO_2 -Preis in Höhe von $65 \text{ €/t}_{\text{CO}_2}$ für eingesetzte fossile Energieträger (Heizöl, Erdgas) entsprechend den derzeit gültigen, gesetzlichen Vorgaben berücksichtigt (vgl. folgende Abbildung).



Hinweis

- Ab 2026 werden die Zertifikate versteigert
- zunächst in festem Preiskorridor ($55 - 65 \text{ €/Zertifikat}$)
- ab 2027 soll sich der Preis frei am Markt bilden

Abbildung 38: Preisentwicklung CO_2 -Abgabe auf fossile Energieträger [Quelle: Umweltbundesamt – Hintergrundpapier]

Berücksichtigte Investitionsfördermittel nach BEG-Einzelmaßnahmen (Wärmeerzeuger):

Varianten mit Pelletkessel oder Wärmepumpenlösung	35%
→ bezogen auf gesamte Investitionskosten inkl. „Umfeldmaßnahmen“	
Varianten mit „EE-Hybridlösungen“ (Pelletkessel / Wärmepumpe + Solarthermieanlage)	35 %
→ bezogen auf gesamte Investitionskosten inkl. „Umfeldmaßnahmen“	
Variante mit fossilem Gaskessel und Solarthermieanlage	30 %
→ ausschließlich bezogen auf die Investitionskosten der Solarthermieanlage	
Variante mit Anbindung an die Fernwärme der Herzowerke (ca. 66 % Anteil EE und KWK)	35 %
→ bezogen auf die entstehenden Anschlusskosten an das Fernwärmenetz (Hausanschluss)	

4.3 Ökologische Rahmenbedingungen

Zur Beurteilung der ökologischen Verträglichkeit wird für die verschiedenen Energieversorgungsszenarien bzw. -varianten eine Bilanzierung der CO₂-Emissionen durchgeführt (sog. CO₂-Äquivalent). Dabei wird neben dem jährlichen Energiebedarf für den Wärmeerzeuger (Brennstoffe bzw. Energieträger und Wärmebezug) auch der Hilfsenergiebedarf (Strom für den Anlagenbetrieb z. B. Pumpen, Brennstoffzuführung etc.) berücksichtigt. Je nach Energieträger werden alle bei der Nutzung frei gesetzten Emissionen auf das Treibhausäquivalent von CO₂ umgerechnet und als spezifische CO₂-Emissionen in g pro kWh dargestellt. In den Emissionsfaktoren werden alle anfallenden Emissionen von der Gewinnung bis zur Energiewandlung des jeweiligen Energieträgers in der Anlagentechnik bilanziert.

Die Faktoren der CO₂-Äquivalente wurden auf Basis der im Gebäudeenergiegesetz verankerten Werte in den Kalkulationen berücksichtigt (vgl. Tabelle 28).

Tabelle 28: CO₂-Emissionsfaktoren lt. GEG (Ausfertigungsdatum: 08.08.2020; Anlage 9 Nr.3 GEG)

Nummer	Kategorie	Energieträger	Emissionsfaktor [g CO ₂ -Äquivalent pro kWh]
1	Fossile Brennstoffe	Heizöl	310
2		Erdgas	240
3		Flüssiggas	270
4		Steinkohle	400
5		Braunkohle	430
6	Biogene Brennstoffe	Biogas	140
7		Biogas, gebäudenah erzeugt	75
8		Biogenes Flüssiggas	180
9		Bioöl	210
10		Bioöl, gebäudenah erzeugt	105
11		Holz	20
12	Strom	netzbezogen	560
13		gebäudenah erzeugt (aus Photovoltaik oder Windkraft)	0
14		Verdrängungsstrommix	860
15	Wärme, Kälte	Erdwärme, Geothermie, Solarthermie, Umgebungswärme	0
16		Erdkälte, Umgebungskälte	0
17		Abwärme aus Prozessen	40
18		Wärme aus KWK, gebäudeintegriert oder gebäudenah	nach DIN V 18599-9: 2018-09
19		Wärme aus Verbrennung von Siedlungsabfällen (unter pauschaler Berücksichtigung von Hilfsenergie und Stützfeuerung)	20
20	Nah-/Fernwärme aus KWK mit Deckungsanteil der KWK an der Wärmeerzeugung von mindestens 70 Prozent	Brennstoff: Stein-/Braunkohle	300
21		Gasförmige und flüssige Brennstoffe	180
22		Erneuerbarer Brennstoff	40
23	Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	Brennstoff: Stein-/Braunkohle	400
24		Gasförmige und flüssige Brennstoffe	300
25		Erneuerbarer Brennstoff	60

4.4 Energiebedarfsklasse 1 (20.000 kWh_{Hi}/a; 10 kW_{Nennleistung})

Ökonomische Bewertung:

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Anlagentechnik sowie der notwendigen baulichen Maßnahmen nur näherungsweise festgelegt werden. In der tatsächlichen Umsetzung kann das Kostenniveau daher, je nach Ausführungsstandard und zu berücksichtigenden örtlichen Gegebenheiten, von den hier kalkulierten abweichen. Die Investitionskostenprognose beschränkt sich auf die in den einzelnen Varianten vorgesehenen Wärmeerzeuger inkl. deren Einbringung, Einbindung, Brennstoffversorgung und der notwendigen Anlagentechnik (Bilanzgrenze: Heizkreisverteilung).

In der folgenden Abbildung sind die prognostizierten Investitionskosten (grau) der betrachteten Energieversorgungsvarianten sowie mögliche Fördersummen nach BEG (grün) dargestellt. Ausgewiesen werden die mittleren, zu erwartenden Investitionsvolumina (Eigenanteil) nach Abzug der Fördermittel (blau).

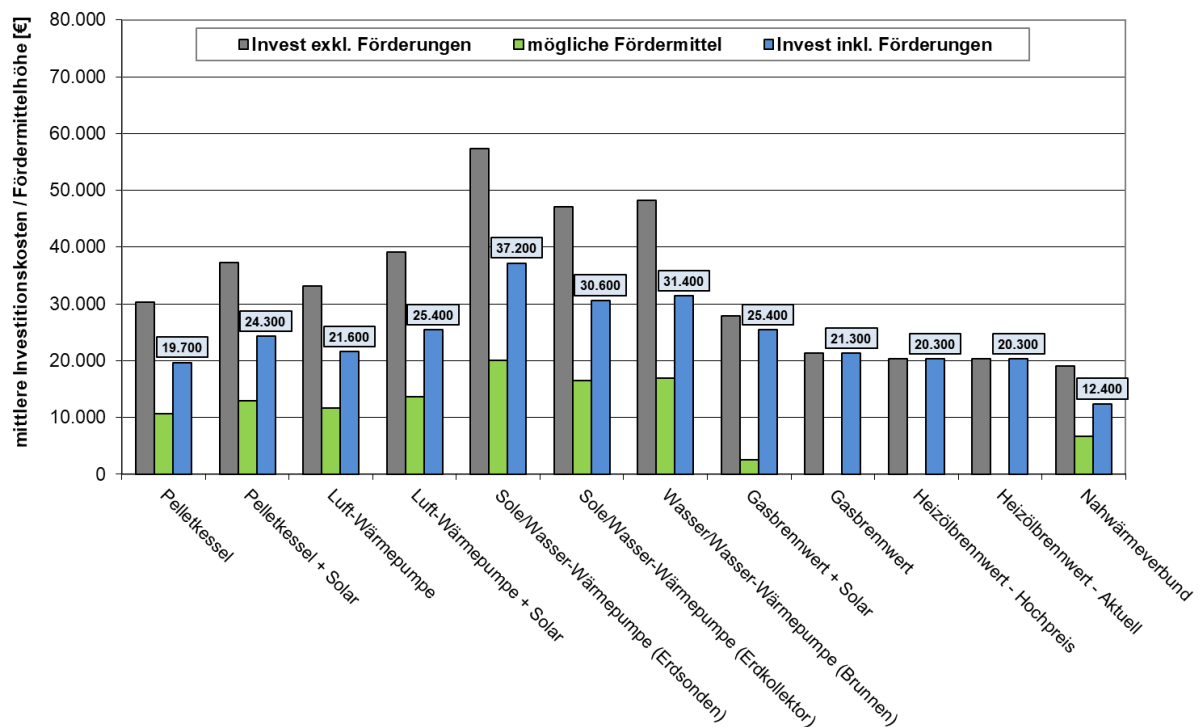


Abbildung 39: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 1 (20.000 kWh_{Hi}/a; 10 kW_{Nennleistung})

Bei Ersatz eines Heizölkessels und / oder bei Einsatz eines Biomassekessels können über die hier genannten und berücksichtigten Fördermittel hinaus sog. Innovationsboni bzw. erhöhte Fördersätze in An-

spruch genommen werden (z. B. +10 % bei Ersatz eines Heizölkessels; +5 % niedrige Feinstaubemissionen bei Biomasse). Dies kann nochmals zu einer Verringerung der notwendigen Eigeninvestitionsanteile führen.

Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten und den verbrauchsgebundenen Kosten zu den Jahresgesamtkosten addieren. Die Kostenfaktoren werden nach den Grundannahmen aus Kapitel 4.2 (inkl. Fördermittel nach BEG-Einzelmaßnahmen) berechnet und in Summe als Jahresgesamtkosten abgebildet. Die Aufteilung der jährlichen Ausgaben auf die einzelnen Kostenarten ist in folgendem Diagramm ablesbar.

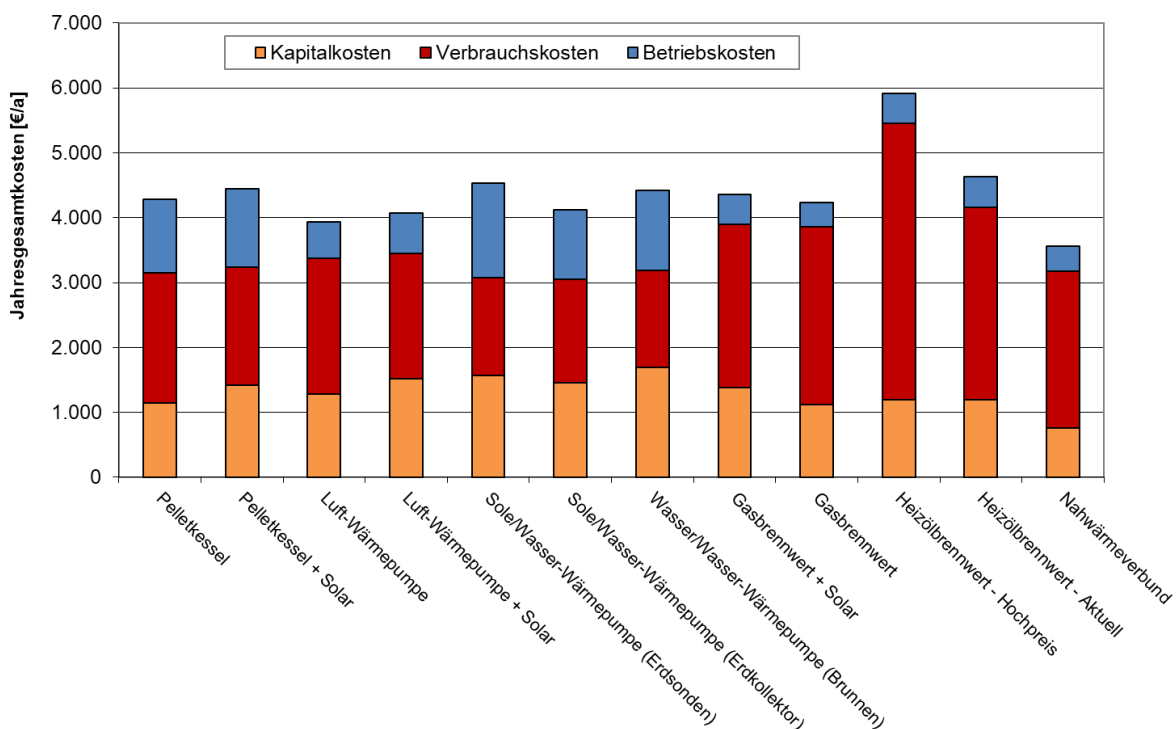


Abbildung 40: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 1 (20.000 kWh_{Hi}/a; 10 kW_{Nennleistung})

Anschließende Abbildung zeigt die kalkulierten Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der geprüften Wärmeversorgungsanlagen. Aus den bereits zuvor dargestellten Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, welche die Kosten pro Kilowattstunde Nutzwärme (Raumwärme und Warmwasserbereitung inkl. Berücksichtigung des Anlagenwirkungsgrades) beziffern.

Die spezifischen Wärmegestehungskosten (WGK) dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen.

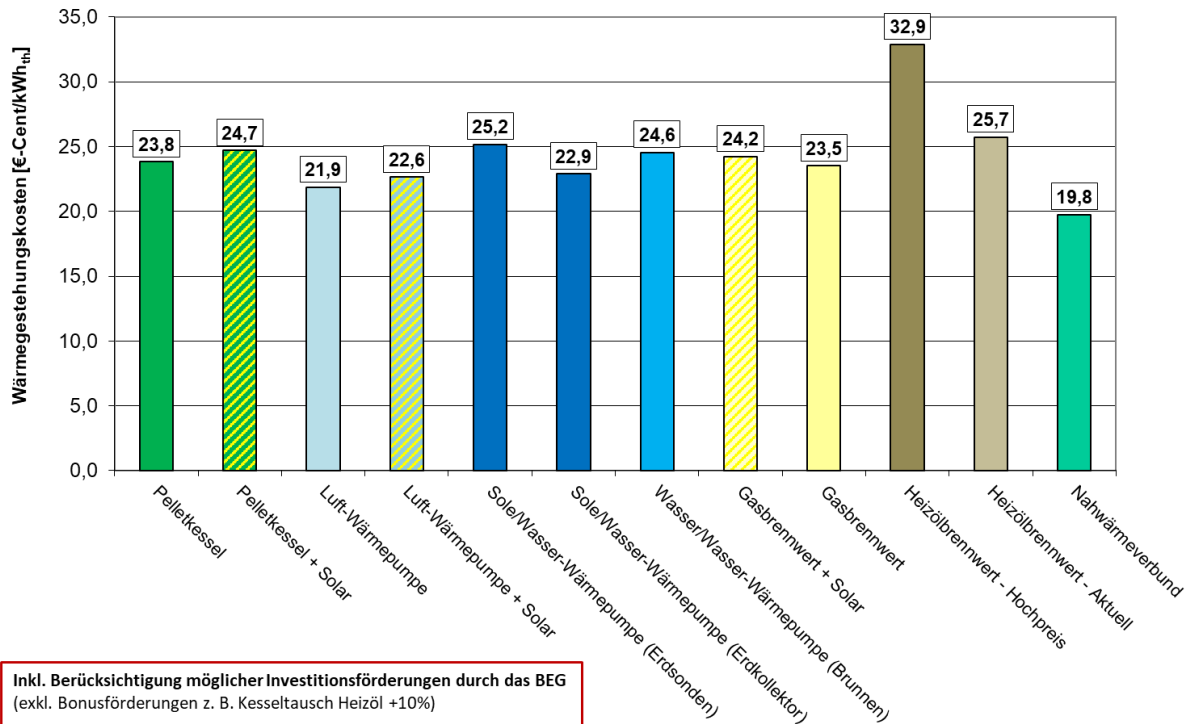


Abbildung 41: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 1 (20.000 kWh_{HI}/a; 10 kW_{Nennleistung})

Wird zusätzlich zur Inanspruchnahme von Investitionsfördermitteln durch Einzelmaßnahmen oder durch die Erlangung eines Effizienzgebäudestandards hinaus auch eine Photovoltaikanlage installiert, können die Wärmegestehungskosten durch eine anteilige Nutzung des selbst erzeugten Stromes v. a. bei den auf Wärmepumpen basierenden Versorgungslösungen weiter gesenkt werden. Berechnungen zeigen, dass der Effekt bei den auf Strom als Energieträger basierenden Wärmepumpenaggregaten zu einer Verringerung der WGK führen kann (-1,0 bis -2,5 Ct/kWh_{th} abhängig von der Anlagengröße und dem direkt nutzbaren Stromanteil im Wärmeerzeuger).

Ökologische Bewertung:

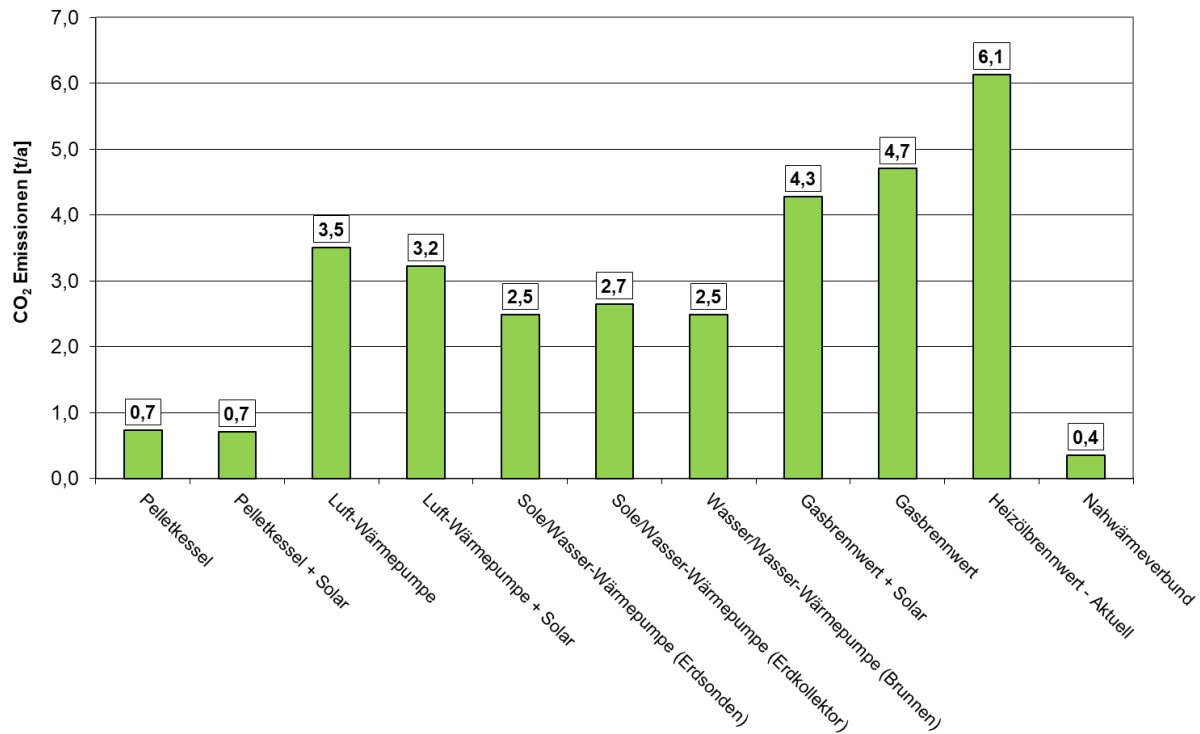


Abbildung 42: Mittlere, absolute CO₂-Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 1 (20.000 kWh_{Hi}/a; 10 kW_{Nennleistung})

Die fossile Referenzvariante „Heizölbrennwertkessel“ hat mit rund 6,1 t_{CO2}/a die mit Abstand höchsten kalkulatorischen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) zu verbuchen. Auch beim Erdgasbrennwertkessel ist es mit rechnerisch ca. 4,7 t_{CO2}/a ein noch immer deutlich höherer Wert als bei allen anderen Versorgungslösungen.

Kalkulatorisch betrachtet kann die Versorgung mittels Fernwärme mit nur 0,3 - 0,4 t_{CO2}/a die niedrigsten Emissionen bei der Wärmebereitstellung verbuchen. Der äußerst niedrige THG-Emissionswert ergibt sich hierbei durch den Einsatz von Biomethan in einem Blockheizkraftwerk in Kombination mit fossiler Kraft-Wärme-Kopplung (gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom → Gutschrift für vermiedene Emissionen bei der Stromerzeugung). Insgesamt werden im Fernwärmenetz so rund 66 % der Energie aus EE und fossiler KWK bereit gestellt.

Die niedrigsten, rechnerischen CO₂-Emissionen einer Eigenversorgung weisen die beiden auf Biomasse basierenden Varianten auf (100 % Biomasse / Solarthermie; -90 % CO₂-Emissionen). Zu beachten ist hierbei jedoch, dass es sich um kalkulatorische Werte handelt, welche auf dem Bilanzsystem gründen. Dieses geht davon aus, dass das eingesetzte Holz während seiner Lebensdauer nahezu dieselbe Menge an CO₂ gebunden hat, wie bei der Verbrennung wieder an die Umgebung abgegeben wird. Nicht berücksichtigt

ist hierbei die innerstädtische Problematik hinsichtlich Feinstaubemissionen. Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass eine stoffliche Nutzung ggü. einer energetischen Nutzung vorzuziehen ist.

Ebenfalls z. T. deutlich geringere CO₂-Emissionen können die auf dem Einsatz von Wärmepumpen (Umweltwärme / Strom) basierenden Varianten gegenüber den noch immer vorherrschenden, fossilen Energieversorgungssystemen vorweisen.

Da sowohl der Anteil an regenerativ erzeugtem Strom als auch der Anteil regenerativer Energieträger im Fernwärmeverbund kurz- bis mittelfristig weiter ansteigen sollen, kann darauf hingewiesen werden, dass sich die mittleren Treibhausgasemissionen bei diesen Wärmeversorgungslösungen bereits deutlich verbessert haben und auch mittelfristig von einer weiteren Verringerung ausgegangen werden kann.

In Verbindung mit einer Photovoltaikanlage könnte zudem ein Teil der notwendigen elektrischen Energie direkt vor Ort erzeugt und somit der rechnerische bzw. der tatsächliche CO₂-Ausstoß, welcher auf die Wärmeversorgung zurückzuführen ist, weiter reduziert werden (CO₂-Emissionen für PV-Strom 0 g/kWh_{el}; Verringerung je nach direkt nutzbarem Anteil am Strombedarf).

4.5 Energiebedarfsklasse 2 (25.000 kWh_{Hi}/a; 15 kW_{Nennleistung})

Ökonomische Bewertung:

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Anlagentechnik sowie der notwendigen baulichen Maßnahmen nur näherungsweise festgelegt werden. In der tatsächlichen Umsetzung kann das Kostenniveau daher, je nach Ausführungsstandard und zu berücksichtigenden örtlichen Gegebenheiten, von den hier kalkulierten abweichen. Die Investitionskostenprognose beschränkt sich auf die in den einzelnen Varianten vorgesehenen Wärmeerzeuger inkl. deren Einbringung, Einbindung, Brennstoffversorgung und der notwendigen Anlagentechnik (Bilanzgrenze: Heizkreisverteilung).

In der folgenden Abbildung sind die prognostizierten Investitionskosten (grau) der betrachteten Energieversorgungsvarianten sowie mögliche Fördersummen nach BEG (grün) dargestellt. Ausgewiesen werden die mittleren, zu erwartenden Investitionsvolumina (Eigenanteil) nach Abzug der Fördermittel (blau).

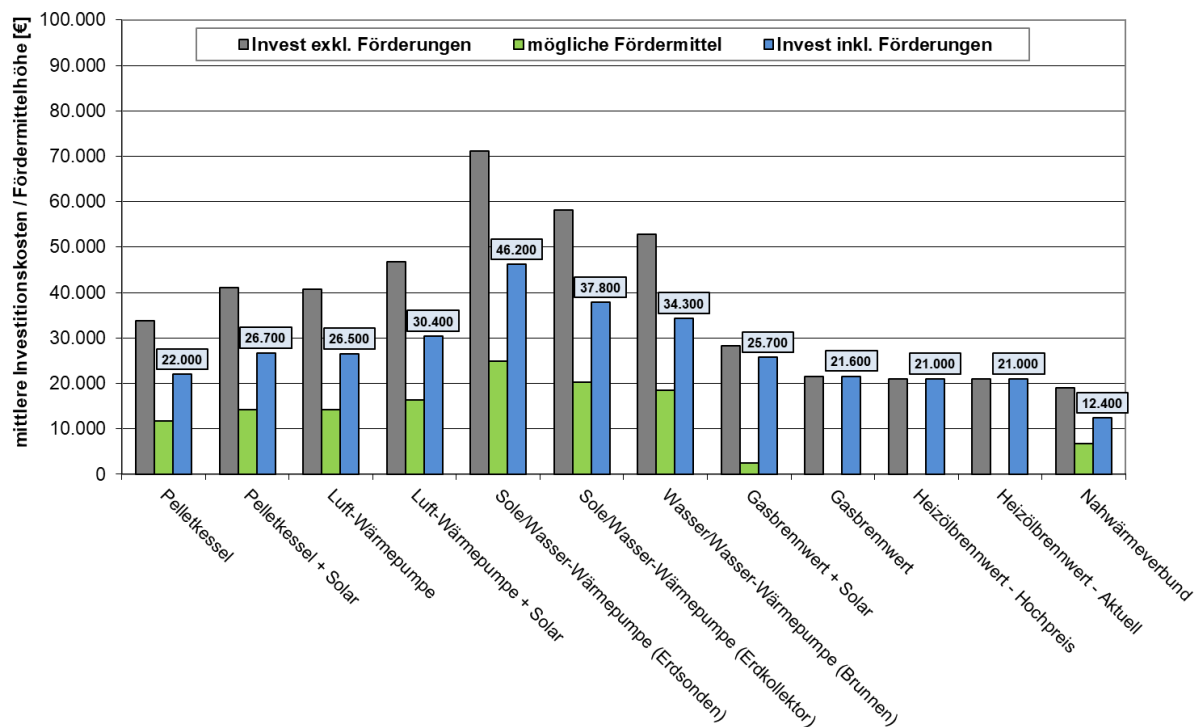


Abbildung 43: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 2 (25.000 kWh_{Hi}/a; 15 kW_{Nennleistung})

Bei Ersatz eines Heizölkessels und / oder bei Einsatz eines Biomassekessels können über die hier genannten und berücksichtigten Fördermittel hinaus sog. Innovationsboni bzw. erhöhte Fördersätze in An-

spruch genommen werden (z. B. +10 % bei Ersatz eines Heizölkessels; +5 % niedrige Feinstaubemissionen bei Biomasse). Dies kann nochmals zu einer Verringerung der notwendigen Eigeninvestitionsanteile führen.

Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten und den verbrauchsgebundenen Kosten zu den Jahresgesamtkosten addieren. Die Kostenfaktoren werden nach den Grundannahmen aus Kapitel 4.2 (inkl. BEG-EM Fördermittel) berechnet und in Summe als Jahresgesamtkosten abgebildet. Die Aufteilung der jährlichen Ausgaben auf die einzelnen Kostenarten ist in folgendem Diagramm ablesbar.

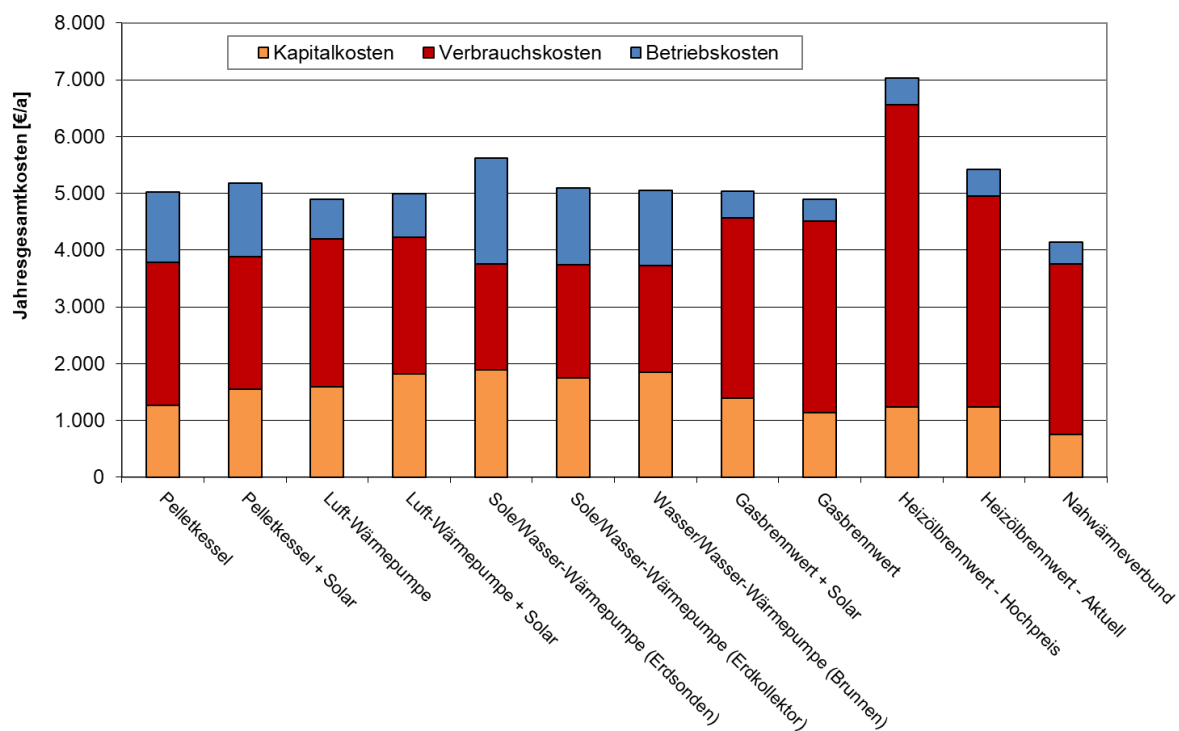


Abbildung 44: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 2 (25.000 kWh_{Hi}/a; 15 kW_{Nennleistung})

Anschließende Abbildung zeigt die kalkulierten Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der geprüften Wärmeversorgungslösungen. Aus den bereits zuvor dargestellten Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, welche die Kosten pro Kilowattstunde Nutzwärme (Raumwärme und Warmwasserbereitung inkl. Berücksichtigung des Anlagenwirkungsgrades) beziffern.

Die spezifischen Wärmegestehungskosten (WGK) dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen.

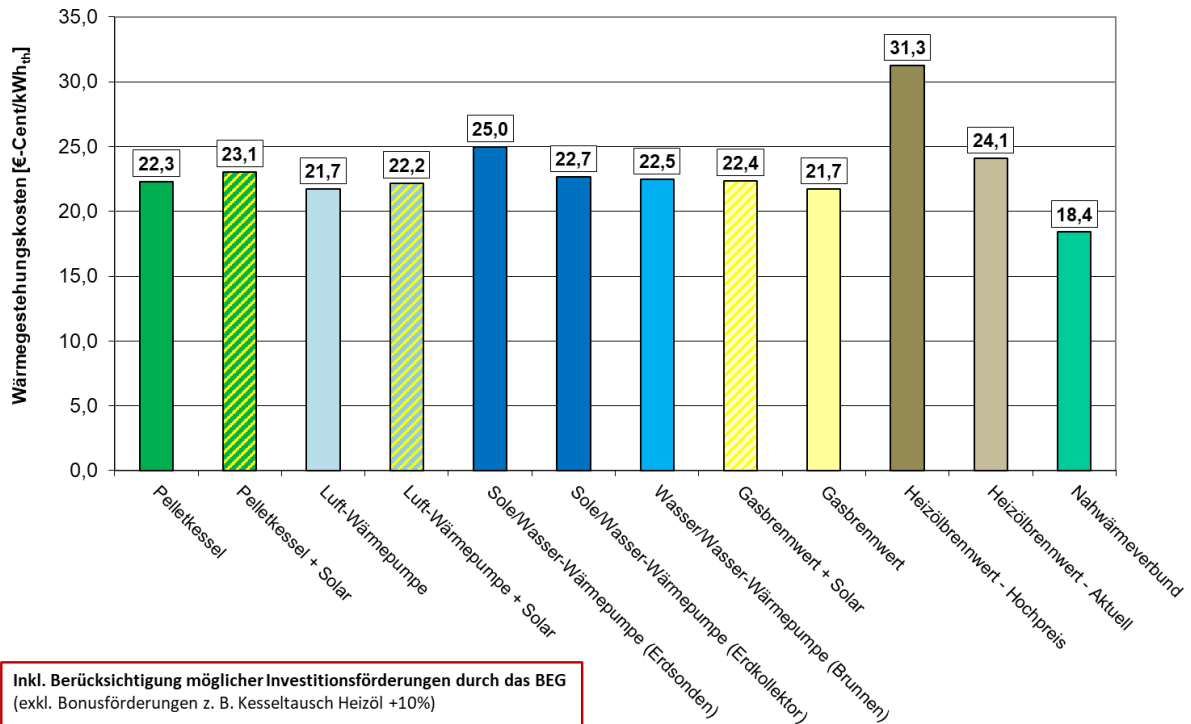


Abbildung 45: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 2 (25.000 kWh_{HI}/a; 15 kW_{Nennleistung})

Wird zusätzlich zur Inanspruchnahme von Investitionsfördermitteln durch Einzelmaßnahmen oder durch die Erlangung eines Effizienzgebäudestandards hinaus auch eine Photovoltaikanlage installiert, können die Wärmegestehungskosten durch eine anteilige Nutzung des selbst erzeugten Stromes v. a. bei den auf Wärmepumpen basierenden Versorgungslösungen weiter gesenkt werden. Berechnungen zeigen, dass der Effekt bei den auf Strom als Energieträger basierenden Wärmepumpenaggregaten zu einer Verringerung der WGK führen kann (-1,0 bis -2,5 Ct/kWh_{th} abhängig von der Anlagengröße und dem direkt nutzbaren Stromanteil im Wärmeerzeuger).

Ökologische Bewertung:

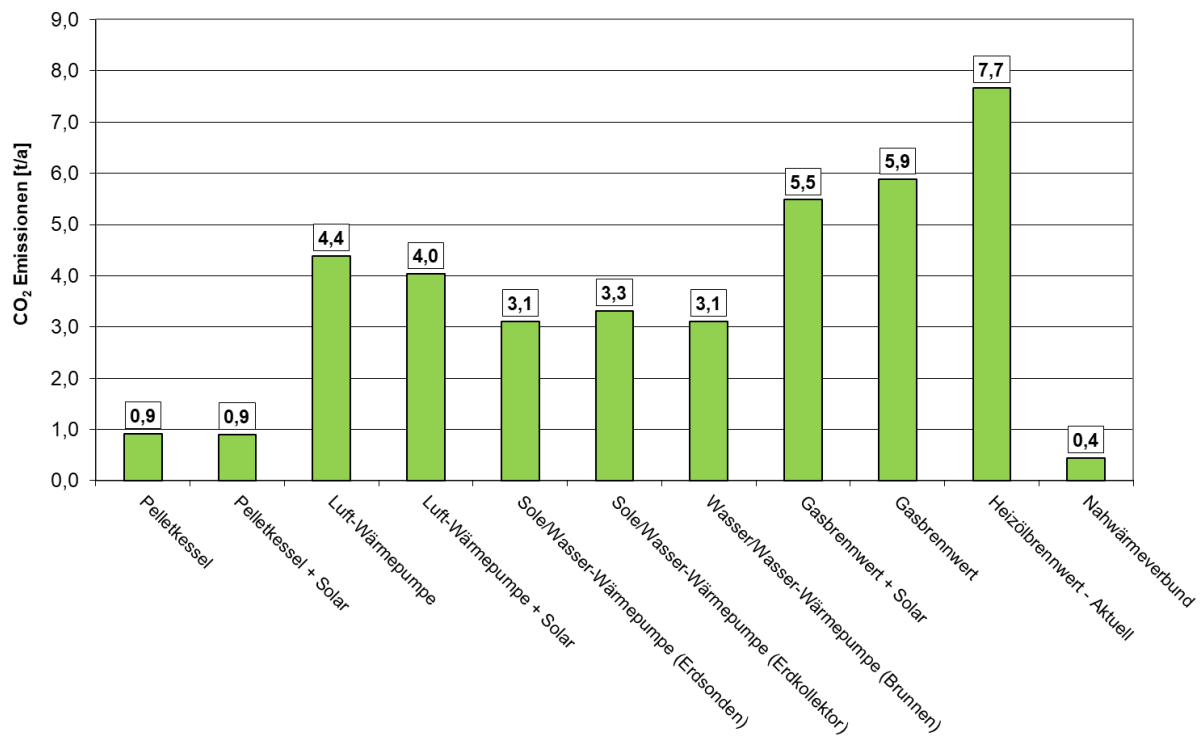


Abbildung 46: Mittlere, absolute CO₂-Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 2 (25.000 kWh_{Hi}/a; 15 kW_{Nennleistung})

Die fossile Referenzvariante „Heizölbrennwertkessel“ hat mit rund 7,7 t_{CO2}/a die mit Abstand höchsten kalkulatorischen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) zu verbuchen. Auch beim Erdgasbrennwertkessel ist es mit rechnerisch ca. 5,9 t_{CO2}/a ein noch immer deutlich höherer Wert als bei allen anderen Versorgungslösungen.

Kalkulatorisch betrachtet kann die Versorgung mittels Fernwärme mit nur 0,4 - 0,5 t_{CO2}/a die niedrigsten Emissionen bei der Wärmebereitstellung verbuchen. Der äußerst niedrige THG-Emissionswert ergibt sich hierbei durch den Einsatz von Biomethan in einem Blockheizkraftwerk in Kombination mit fossiler Kraft-Wärme-Kopplung (gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom → Gutschrift für vermiedene Emissionen bei der Stromerzeugung). Insgesamt werden im Fernwärmenetz so rund 66 % der Energie aus EE und fossiler KWK bereit gestellt.

Die niedrigsten, rechnerischen CO₂-Emissionen einer Eigenversorgung weisen die beiden auf Biomasse basierenden Varianten auf (100 % Biomasse / Solarthermie; -90 % CO₂-Emissionen). Zu beachten ist hierbei jedoch, dass es sich um kalkulatorische Werte handelt, welche auf dem Bilanzsystem gründen. Dieses geht davon aus, dass das eingesetzte Holz während seiner Lebensdauer nahezu dieselbe Menge an CO₂ gebunden hat, wie bei der Verbrennung wieder an die Umgebung abgegeben wird. Nicht berücksichtigt

ist hierbei die innerstädtische Problematik hinsichtlich Feinstaubemissionen. Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass eine stoffliche Nutzung ggü. einer energetischen Nutzung vorzuziehen ist.

Ebenfalls z. T. deutlich geringere CO₂-Emissionen können die auf dem Einsatz von Wärmepumpen (Umweltwärme / Strom) basierenden Varianten gegenüber den noch immer vorherrschenden, fossilen Energieversorgungssystemen vorweisen.

Da sowohl der Anteil an regenerativ erzeugtem Strom als auch der Anteil regenerativer Energieträger im Fernwärmeverbund kurz- bis mittelfristig weiter ansteigen sollen, kann darauf hingewiesen werden, dass sich die mittleren Treibhausgasemissionen bei diesen Wärmeversorgungs-lösungen bereits deutlich verbessert haben und auch mittelfristig von einer weiteren Verringerung ausgegangen werden kann.

In Verbindung mit einer Photovoltaikanlage könnte zudem ein Teil der notwendigen elektrischen Energie direkt vor Ort erzeugt und somit der rechnerische bzw. der tatsächliche CO₂-Ausstoß, welcher auf die Wärmeversorgung zurückzuführen ist, weiter reduziert werden (CO₂-Emissionen für PV-Strom 0 g/kWh_{el}; Verringerung je nach direkt nutzbarem Anteil am Strombedarf).

4.6 Energiebedarfsklasse 3 (32.500 kWh_{Hi}/a; 20 kW_{Nennleistung})

Ökonomische Bewertung:

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Anlagentechnik sowie der notwendigen baulichen Maßnahmen nur näherungsweise festgelegt werden. In der tatsächlichen Umsetzung kann das Kostenniveau daher, je nach Ausführungsstandard und zu berücksichtigenden örtlichen Gegebenheiten, von den hier kalkulierten abweichen. Die Investitionskostenprognose beschränkt sich auf die in den einzelnen Varianten vorgesehenen Wärmeerzeuger inkl. deren Einbringung, Einbindung, Brennstoffversorgung und der notwendigen Anlagentechnik (Bilanzgrenze: Heizkreisverteilung).

In der folgenden Abbildung sind die prognostizierten Investitionskosten (grau) der betrachteten Energieversorgungsvarianten sowie mögliche Fördersummen nach BEG (grün) dargestellt. Ausgewiesen werden die mittleren, zu erwartenden Investitionsvolumina (Eigenanteil) nach Abzug der Fördermittel (blau).

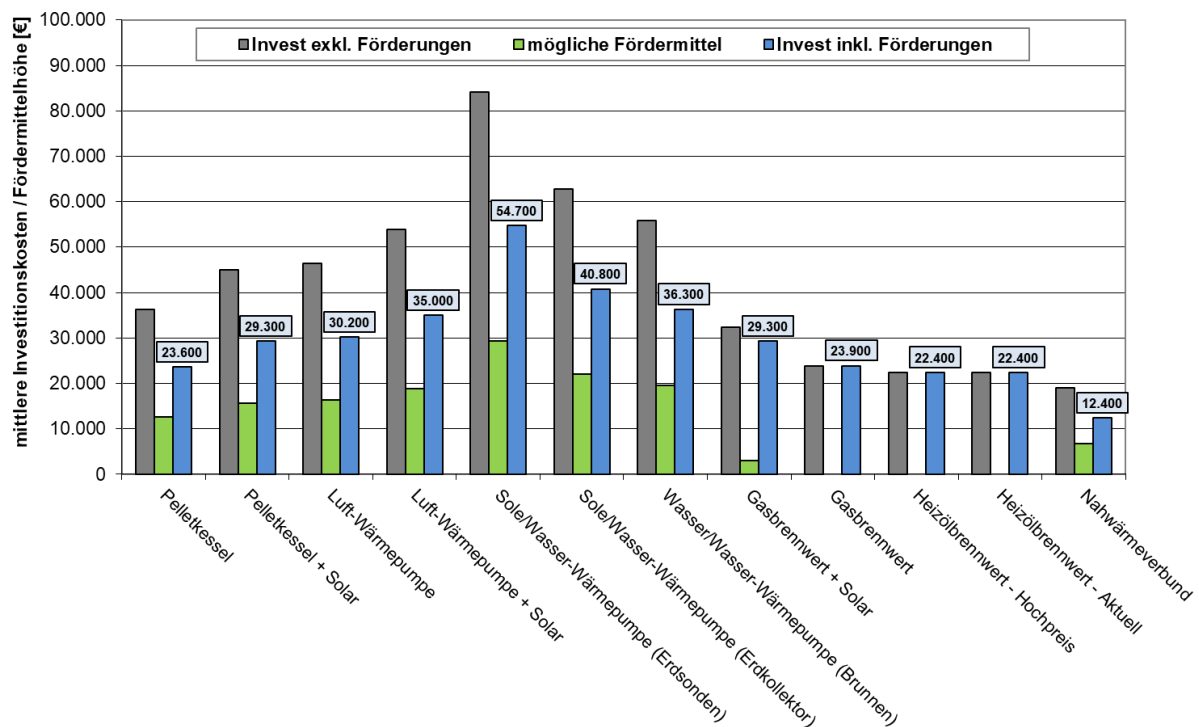


Abbildung 47: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 3 (32.500 kWh_{Hi}/a; 20 kW_{Nennleistung})

Bei Ersatz eines Heizölkessels und / oder bei Einsatz eines Biomassekessels können über die hier genannten und berücksichtigten Fördermittel hinaus sog. Innovationsboni bzw. erhöhte Fördersätze in An-

spruch genommen werden (z. B. +10 % bei Ersatz eines Heizölkessels; +5 % niedrige Feinstaubemissionen bei Biomasse). Dies kann nochmals zu einer Verringerung der notwendigen Eigeninvestitionsanteile führen.

Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten und den verbrauchsgebundenen Kosten zu den Jahresgesamtkosten addieren. Die Kostenfaktoren werden nach den Grundannahmen aus Kapitel 4.2 (inkl. BEG-EM Fördermittel) berechnet und in Summe als Jahresgesamtkosten abgebildet. Die Aufteilung der jährlichen Ausgaben auf die einzelnen Kostenarten ist in folgendem Diagramm ablesbar.

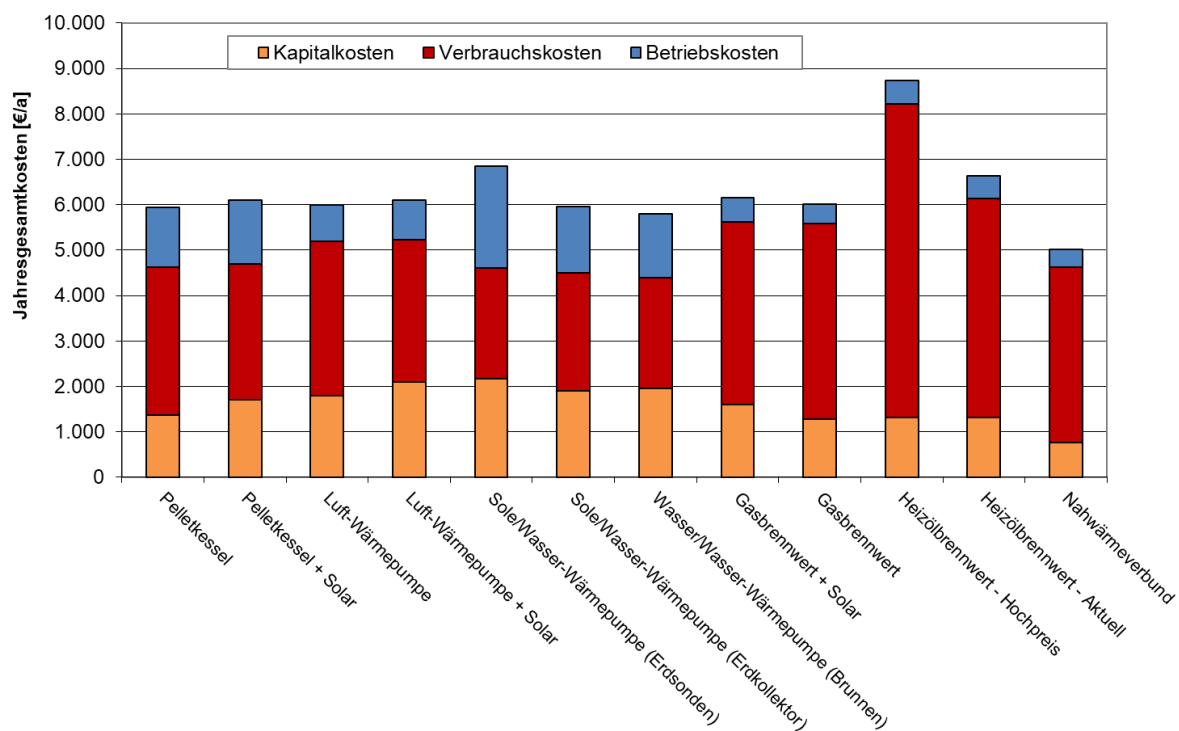


Abbildung 48: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 3 (32.500 kWh_{Hi}/a; 20 kW_{Nennleistung})

Anschließende Abbildung zeigt die kalkulierten Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der geprüften Wärmeversorgungslösungen. Aus den bereits zuvor dargestellten Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, welche die Kosten pro Kilowattstunde Nutzwärme (Raumwärme und Warmwasserbereitung inkl. Berücksichtigung des Anlagenwirkungsgrades) beziffern.

Die spezifischen Wärmegestehungskosten (WGK) dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen.

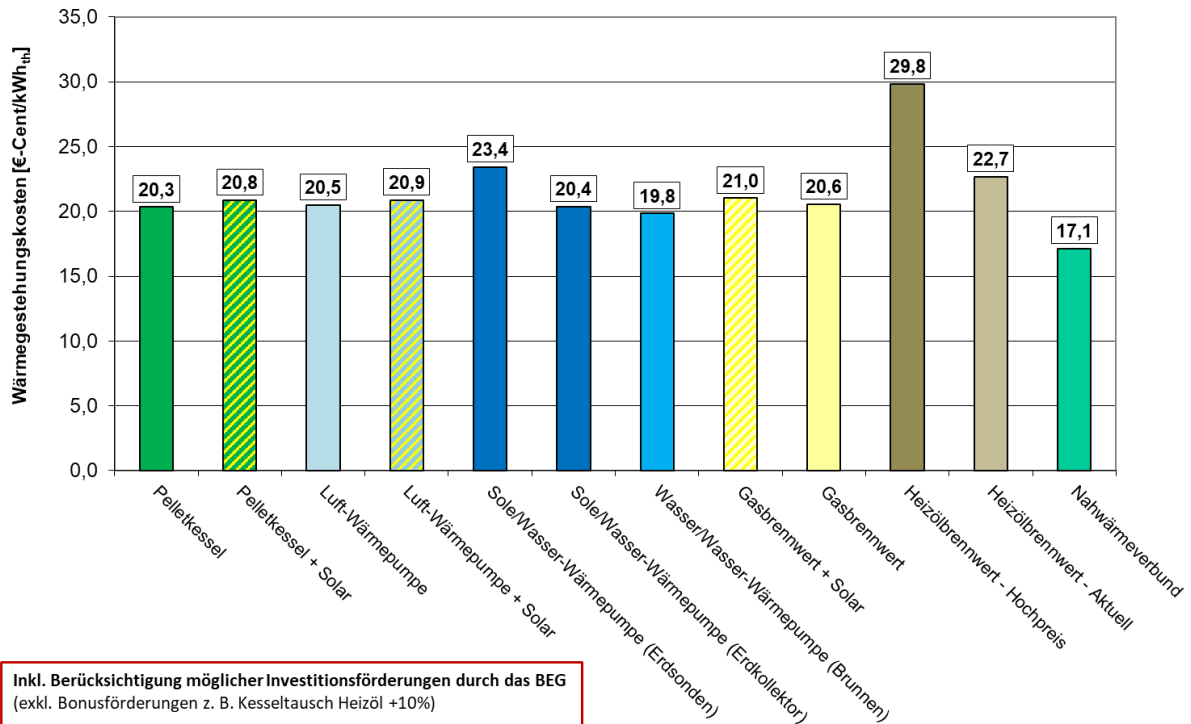


Abbildung 49: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 3 (32.500 kWh_{HI}/a; 20 kW_{Nennleistung})

Wird zusätzlich zur Inanspruchnahme von Investitionsfördermitteln durch Einzelmaßnahmen oder durch die Erlangung eines Effizienzgebäudestandards hinaus auch eine Photovoltaikanlage installiert, können die Wärmegestehungskosten durch eine anteilige Nutzung des selbst erzeugten Stromes v. a. bei den auf Wärmepumpen basierenden Versorgungslösungen weiter gesenkt werden. Berechnungen zeigen, dass der Effekt bei den auf Strom als Energieträger basierenden Wärmepumpenaggregaten zu einer Verringerung der WGK führen kann (-1,0 bis -2,5 Ct/kWh_{th} abhängig von der Anlagengröße und dem direkt nutzbaren Stromanteil im Wärmeerzeuger).

Ökologische Bewertung:

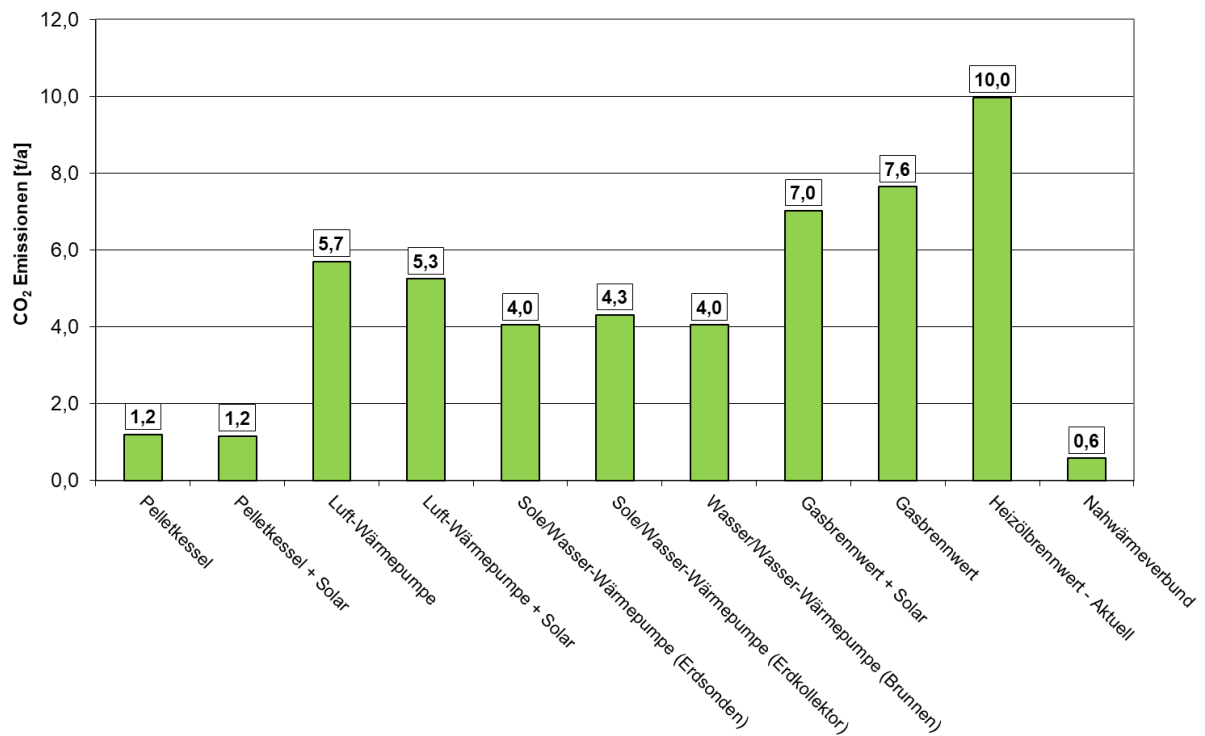


Abbildung 50: Mittlere, absolute CO₂-Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 3 (32.500 kWh_{Hi}/a; 20 kW_{Nennleistung})

Die fossile Referenzvariante „Heizölbrennwertkessel“ hat mit rund 10,0 t_{CO2}/a die mit Abstand höchsten kalkulatorischen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) zu verbuchen. Auch beim Erdgasbrennwertkessel ist es mit rechnerisch ca. 7,6 t_{CO2}/a ein noch immer deutlich höherer Wert als bei allen anderen Versorgungslösungen.

Kalkulatorisch betrachtet kann die Versorgung mittels Fernwärme mit nur rund 0,6 t_{CO2}/a die niedrigsten Emissionen bei der Wärmebereitstellung verbuchen. Der äußerst niedrige THG-Emissionswert ergibt sich hierbei durch den Einsatz von Biomethan in einem Blockheizkraftwerk in Kombination mit fossiler Kraft-Wärme-Kopplung (gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom → Gutschrift für vermiedene Emissionen bei der Stromerzeugung). Insgesamt werden im Fernwärmenetz so rund 66 % der Energie aus EE und fossiler KWK bereit gestellt.

Die niedrigsten, rechnerischen CO₂-Emissionen einer Eigenversorgung weisen die beiden auf Biomasse basierenden Varianten auf (100 % Biomasse / Solarthermie; -90 % CO₂-Emissionen). Zu beachten ist hierbei jedoch, dass es sich um kalkulatorische Werte handelt, welche auf dem Bilanzsystem gründen. Dieses geht davon aus, dass das eingesetzte Holz während seiner Lebensdauer nahezu dieselbe Menge an CO₂ gebunden hat, wie bei der Verbrennung wieder an die Umgebung abgegeben wird. Nicht berücksichtigt

ist hierbei die innerstädtische Problematik hinsichtlich Feinstaubemissionen. Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass eine stoffliche Nutzung ggü. einer energetischen Nutzung vorzuziehen ist.

Ebenfalls z. T. deutlich geringere CO₂-Emissionen können die auf dem Einsatz von Wärmepumpen (Umweltwärme / Strom) basierenden Varianten gegenüber den noch immer vorherrschenden, fossilen Energieversorgungssystemen vorweisen.

Da sowohl der Anteil an regenerativ erzeugtem Strom als auch der Anteil regenerativer Energieträger im Fernwärmeverbund kurz- bis mittelfristig weiter ansteigen sollen, kann darauf hingewiesen werden, dass sich die mittleren Treibhausgasemissionen bei diesen Wärmeversorgungslösungen bereits deutlich verbessert haben und auch mittelfristig von einer weiteren Verringerung ausgegangen werden kann.

In Verbindung mit einer Photovoltaikanlage könnte zudem ein Teil der notwendigen elektrischen Energie direkt vor Ort erzeugt und somit der rechnerische bzw. der tatsächliche CO₂-Ausstoß, welcher auf die Wärmeversorgung zurückzuführen ist, weiter reduziert werden (CO₂-Emissionen für PV-Strom 0 g/kWh_{el}; Verringerung je nach direkt nutzbarem Anteil am Strombedarf).

4.7 Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh_{Hi}/a; 25 kW_{Nennleistung})

Ökonomische Bewertung:

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Anlagentechnik sowie der notwendigen baulichen Maßnahmen nur näherungsweise festgelegt werden. In der tatsächlichen Umsetzung kann das Kostenniveau daher, je nach Ausführungsstandard und zu berücksichtigenden örtlichen Gegebenheiten, von den hier kalkulierten abweichen. Die Investitionskostenprognose beschränkt sich auf die in den einzelnen Varianten vorgesehenen Wärmeerzeuger inkl. deren Einbringung, Einbindung, Brennstoffversorgung und der notwendigen Anlagentechnik (Bilanzgrenze: Heizkreisverteilung).

In der folgenden Abbildung sind die prognostizierten Investitionskosten (grau) der betrachteten Energieversorgungsvarianten sowie mögliche Fördersummen nach BEG (grün) dargestellt. Ausgewiesen werden die mittleren, zu erwartenden Investitionsvolumina (Eigenanteil) nach Abzug der Fördermittel (blau).

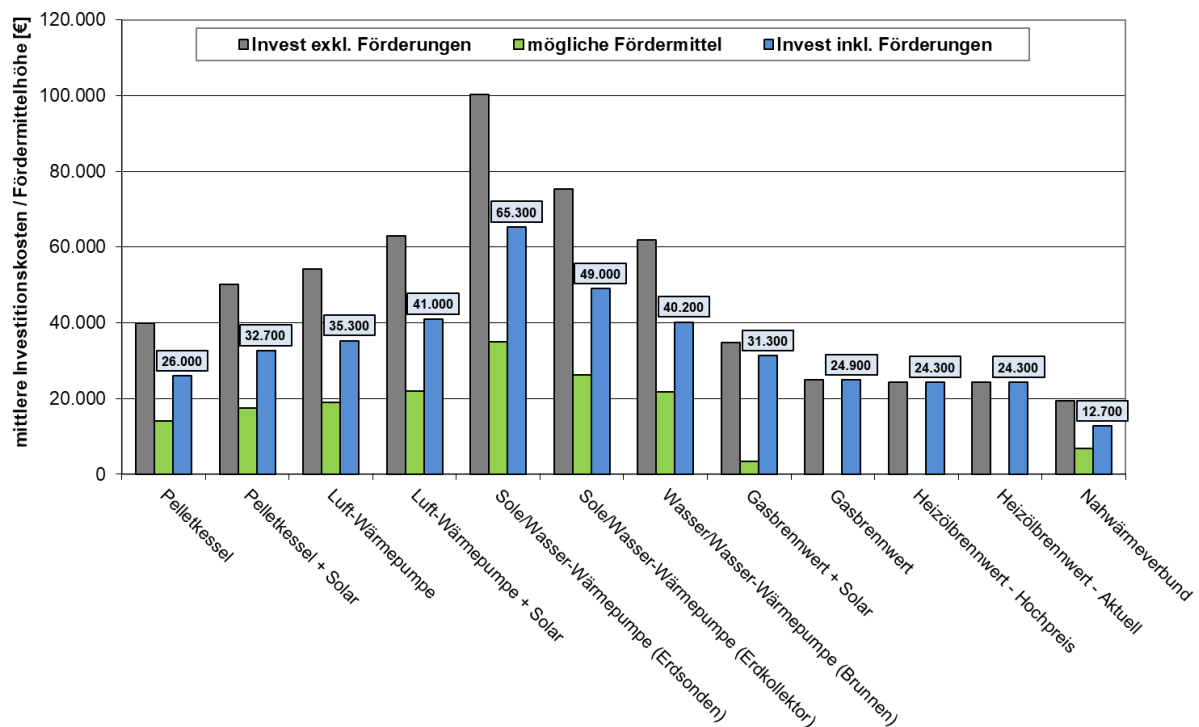


Abbildung 51: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh_{Hi}/a; 25 kW_{Nennleistung})

Bei Ersatz eines Heizölkessels und / oder bei Einsatz eines Biomassekessels können über die hier genannten und berücksichtigten Fördermittel hinaus sog. Innovationsboni bzw. erhöhte Fördersätze in An-

spruch genommen werden (z. B. +10 % bei Ersatz eines Heizölkessels; +5 % niedrige Feinstaubemissionen bei Biomasse). Dies kann nochmals zu einer Verringerung der notwendigen Eigeninvestitionsanteile führen.

Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten und den verbrauchsgebundenen Kosten zu den Jahresgesamtkosten addieren. Die Kostenfaktoren werden nach den Grundannahmen aus Kapitel 4.2 (inkl. BEG-EM Fördermittel) berechnet und in Summe als Jahresgesamtkosten abgebildet. Die Aufteilung der jährlichen Ausgaben auf die einzelnen Kostenarten ist in folgendem Diagramm ablesbar.

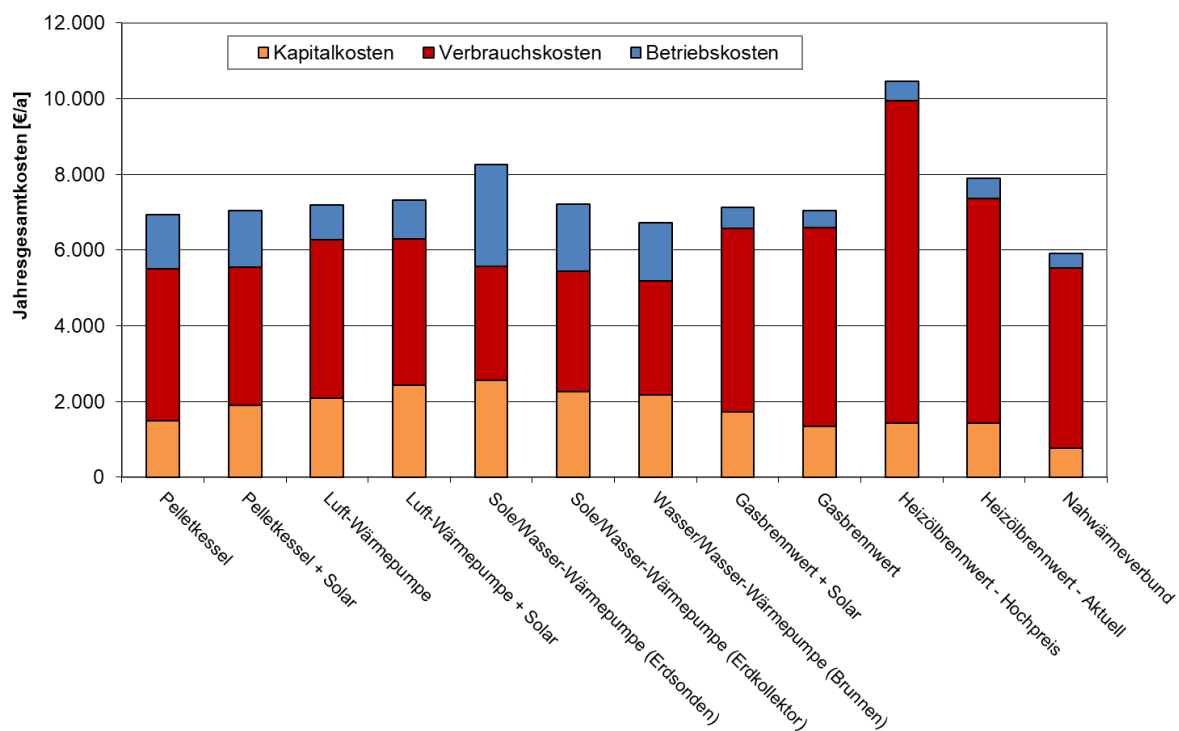


Abbildung 52: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh_{Hi}/a; 25 kW_{Nennleistung})

Anschließend zeigt die Abbildung die kalkulierten Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der geprüften Wärmeversorgungsanlagen. Aus den bereits zuvor dargestellten Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, welche die Kosten pro Kilowattstunde Nutzwärme (Raumwärme und Warmwasserbereitung inkl. Berücksichtigung des Anlagenwirkungsgrades) beziffern.

Die spezifischen Wärmegestehungskosten (WGK) dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen.

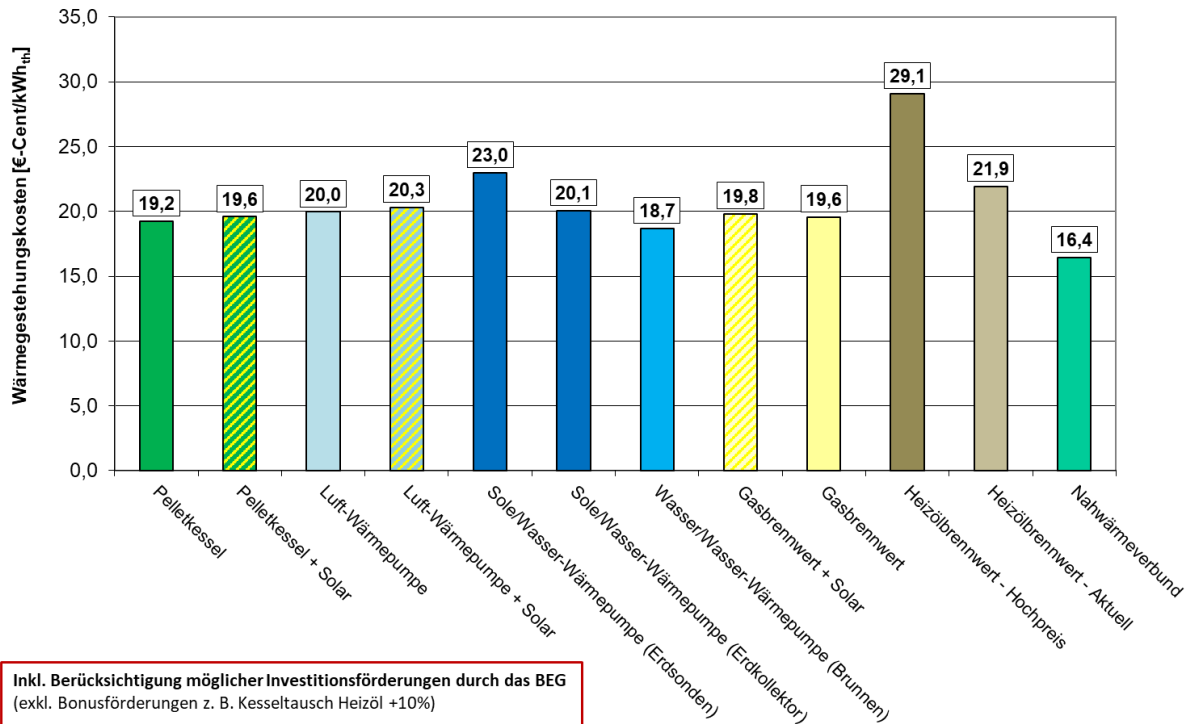


Abbildung 53: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh_{HI}/a; 25 kW_{Nennleistung})

Wird zusätzlich zur Inanspruchnahme von Investitionsfördermitteln durch Einzelmaßnahmen oder durch die Erlangung eines Effizienzgebäudestandards hinaus auch eine Photovoltaikanlage installiert, können die Wärmegestehungskosten durch eine anteilige Nutzung des selbst erzeugten Stromes v. a. bei den auf Wärmepumpen basierenden Versorgungslösungen weiter gesenkt werden. Berechnungen zeigen, dass der Effekt bei den auf Strom als Energieträger basierenden Wärmepumpenaggregaten zu einer Verringerung der WGK führen kann (-0,9 bis -2,2 Ct/kWh_{th} abhängig von der Anlagengröße und dem direkt nutzbaren Stromanteil im Wärmeerzeuger).

Ökologische Bewertung:

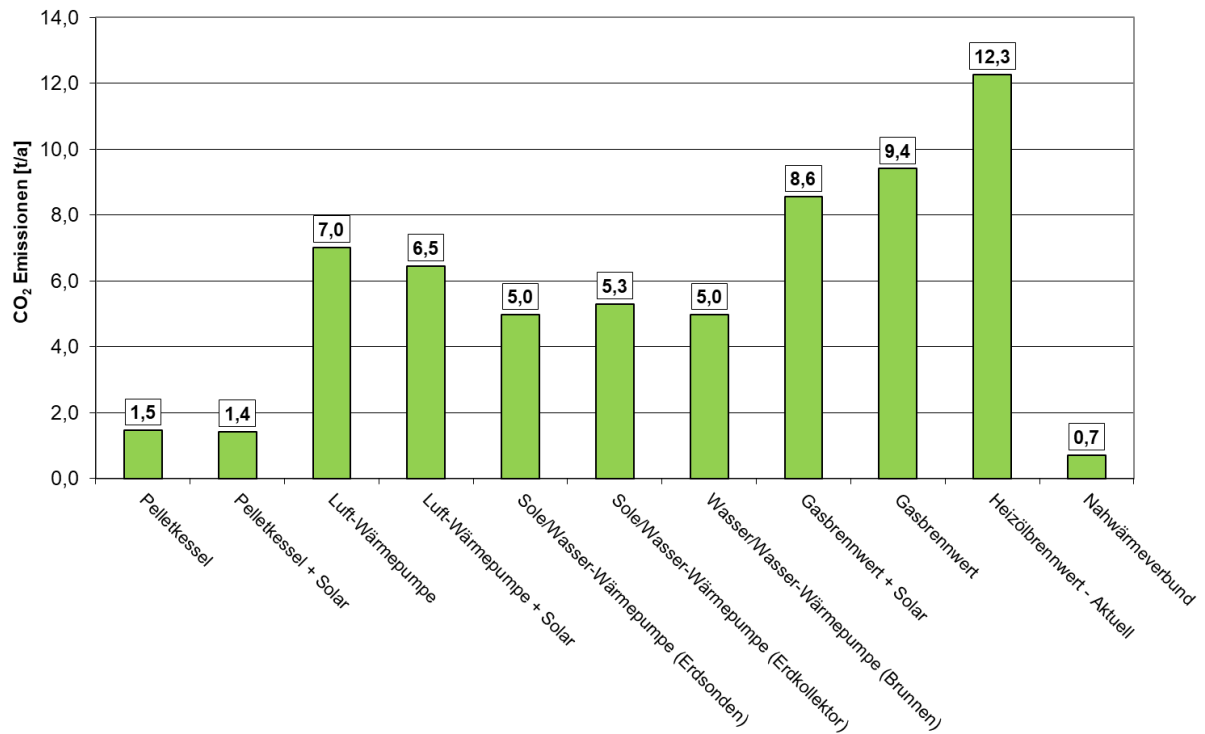


Abbildung 54: Mittlere, absolute CO₂-Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh_{Hi}/a; 25 kW_{Nennleistung})

Die fossile Referenzvariante „Heizölbrennwertkessel“ hat mit rund 12,3 t_{CO2}/a die mit Abstand höchsten kalkulatorischen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) zu verbuchen. Auch beim Erdgasbrennwertkessel ist es mit rechnerisch ca. 9,4 t_{CO2}/a ein noch immer deutlich höherer Wert als bei allen anderen Versorgungslösungen.

Kalkulatorisch betrachtet kann die Versorgung mittels Fernwärme mit nur 0,6 - 0,7 t_{CO2}/a die niedrigsten Emissionen bei der Wärmebereitstellung verbuchen. Der äußerst niedrige THG-Emissionswert ergibt sich hierbei durch den Einsatz von Biomethan in einem Blockheizkraftwerk in Kombination mit fossiler Kraft-Wärme-Kopplung (gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom → Gutschrift für vermiedene Emissionen bei der Stromerzeugung). Insgesamt werden im Fernwärmenetz so rund 66 % der Energie aus EE und fossiler KWK bereit gestellt.

Die niedrigsten, rechnerischen CO₂-Emissionen einer Eigenversorgung weisen die beiden auf Biomasse basierenden Varianten auf (100 % Biomasse / Solarthermie; -90 % CO₂-Emissionen). Zu beachten ist hierbei jedoch, dass es sich um kalkulatorische Werte handelt, welche auf dem Bilanzsystem gründen. Dieses geht davon aus, dass das eingesetzte Holz während seiner Lebensdauer nahezu dieselbe Menge an CO₂ gebunden hat, wie bei der Verbrennung wieder an die Umgebung abgegeben wird. Nicht berücksichtigt

ist hierbei die innerstädtische Problematik hinsichtlich Feinstaubemissionen. Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass eine stoffliche Nutzung ggü. einer energetischen Nutzung vorzuziehen ist.

Ebenfalls z. T. deutlich geringere CO₂-Emissionen können die auf dem Einsatz von Wärmepumpen (Umweltwärme / Strom) basierenden Varianten gegenüber den noch immer vorherrschenden, fossilen Energieversorgungssystemen vorweisen.

Da sowohl der Anteil an regenerativ erzeugtem Strom als auch der Anteil regenerativer Energieträger im Fernwärmeverbund kurz- bis mittelfristig weiter ansteigen sollen, kann darauf hingewiesen werden, dass sich die mittleren Treibhausgasemissionen bei diesen Wärmeversorgungslösungen bereits deutlich verbessert haben und auch mittelfristig von einer weiteren Verringerung ausgegangen werden kann.

In Verbindung mit einer Photovoltaikanlage könnte zudem ein Teil der notwendigen elektrischen Energie direkt vor Ort erzeugt und somit der rechnerische bzw. der tatsächliche CO₂-Ausstoß, welcher auf die Wärmeversorgung zurückzuführen ist, weiter reduziert werden (CO₂-Emissionen für PV-Strom 0 g/kWh_{el}; Verringerung je nach direkt nutzbarem Anteil am Strombedarf).

4.8 Energiebedarfsklasse 5 (50.000 kWh_{Hi}/a; 30 kW_{Nennleistung})

Ökonomische Bewertung:

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Anlagentechnik sowie der notwendigen baulichen Maßnahmen nur näherungsweise festgelegt werden. In der tatsächlichen Umsetzung kann das Kostenniveau daher, je nach Ausführungsstandard und zu berücksichtigenden örtlichen Gegebenheiten, von den hier kalkulierten abweichen. Die Investitionskostenprognose beschränkt sich auf die in den einzelnen Varianten vorgesehenen Wärmeerzeuger inkl. deren Einbringung, Einbindung, Brennstoffversorgung und der notwendigen Anlagentechnik (Bilanzgrenze: Heizkreisverteilung).

In der folgenden Abbildung sind die prognostizierten Investitionskosten (grau) der betrachteten Energieversorgungsvarianten sowie mögliche Fördersummen nach BEG (grün) dargestellt. Ausgewiesen werden die mittleren, zu erwartenden Investitionsvolumina (Eigenanteil) nach Abzug der Fördermittel (blau).

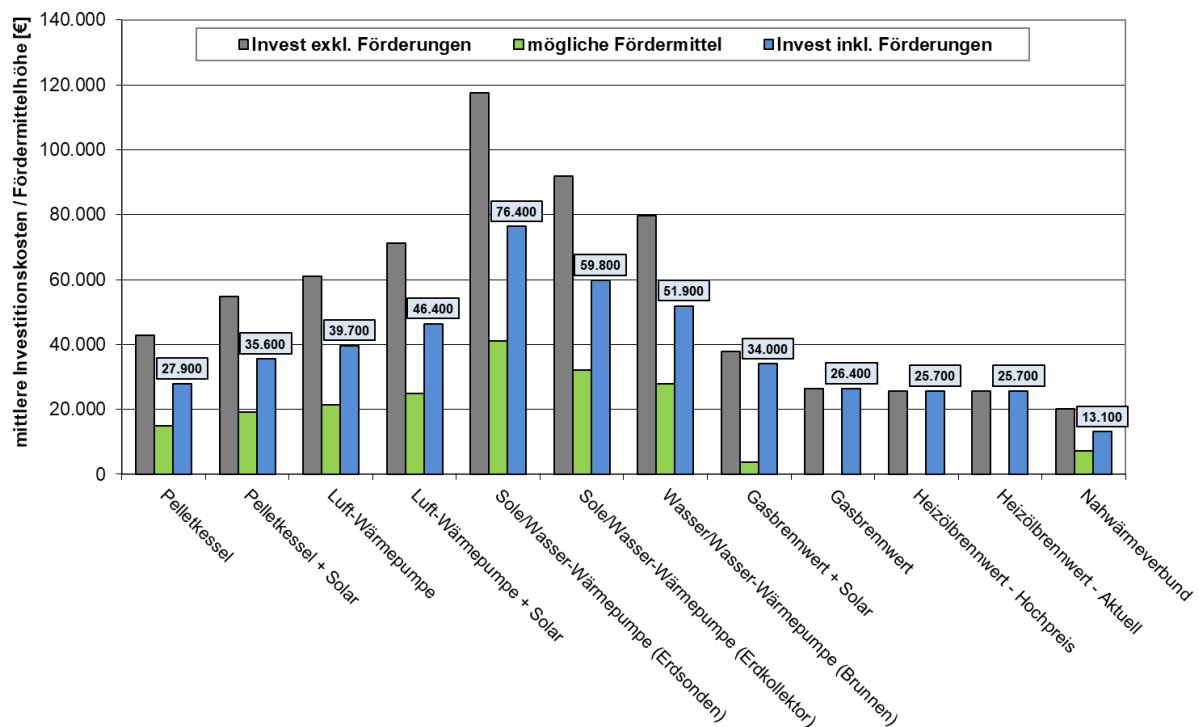


Abbildung 55: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 5 (50.000 kWh_{Hi}/a; 30 kW_{Nennleistung})

Bei Ersatz eines Heizölkessels und / oder bei Einsatz eines Biomassekessels können über die hier genannten und berücksichtigten Fördermittel hinaus sog. Innovationsboni bzw. erhöhte Fördersätze in An-

spruch genommen werden (z. B. +10 % bei Ersatz eines Heizölkessels; +5 % niedrige Feinstaubemissionen bei Biomasse). Dies kann nochmals zu einer Verringerung der notwendigen Eigeninvestitionsanteile führen.

Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten und den verbrauchsgebundenen Kosten zu den Jahresgesamtkosten addieren. Die Kostenfaktoren werden nach den Grundannahmen aus Kapitel 4.2 (inkl. BEG-EM Fördermittel) berechnet und in Summe als Jahresgesamtkosten abgebildet. Die Aufteilung der jährlichen Ausgaben auf die einzelnen Kostenarten ist in folgendem Diagramm ablesbar.

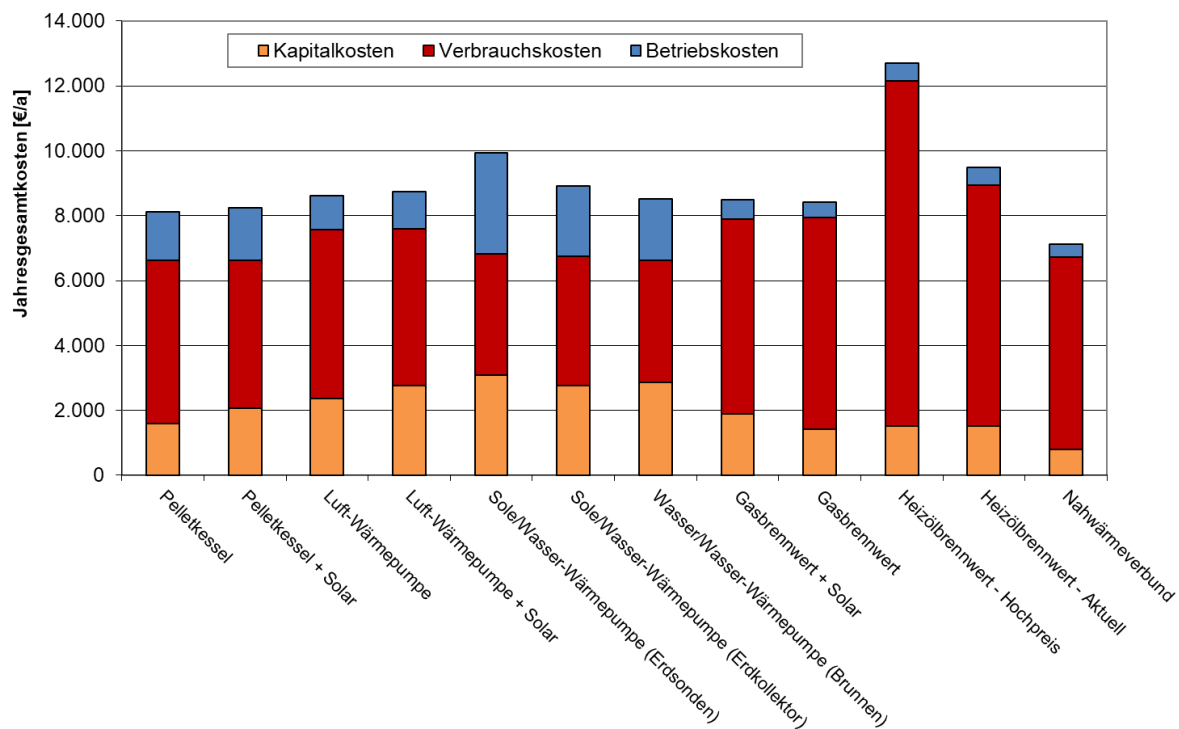


Abbildung 56: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 5 (50.000 kWh_{Hi}/a; 30 kW_{Nennleistung})

Anschließende Abbildung zeigt die kalkulierten Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der geprüften Wärmeversorgungslösungen. Aus den bereits zuvor dargestellten Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, welche die Kosten pro Kilowattstunde Nutzwärme (Raumwärme und Warmwasserbereitung inkl. Berücksichtigung des Anlagenwirkungsgrades) beziffern.

Die spezifischen Wärmegestehungskosten (WGK) dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen.

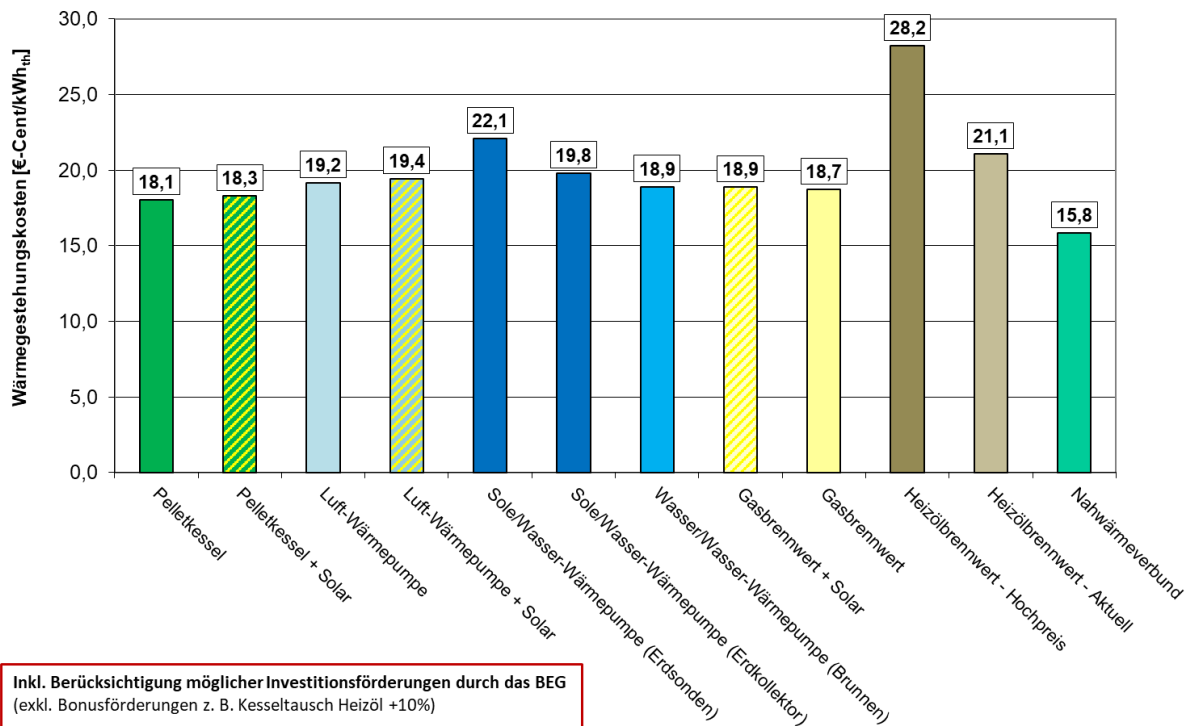


Abbildung 57: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 5 (50.000 kWh_{HI}/a; 30 kW_{Nennleistung})

Wird zusätzlich zur Inanspruchnahme von Investitionsfördermitteln durch Einzelmaßnahmen oder durch die Erlangung eines Effizienzgebäudestandards hinaus auch eine Photovoltaikanlage installiert, können die Wärmegestehungskosten durch eine anteilige Nutzung des selbst erzeugten Stromes v. a. bei den auf Wärmepumpen basierenden Versorgungslösungen weiter gesenkt werden. Berechnungen zeigen, dass der Effekt bei den auf Strom als Energieträger basierenden Wärmepumpenaggregaten zu einer Verringerung der WGK führen kann (-0,9 bis -2,2 Ct/kWh_{th} abhängig von der Anlagengröße und dem direkt nutzbaren Stromanteil im Wärmeerzeuger).

Ökologische Bewertung:

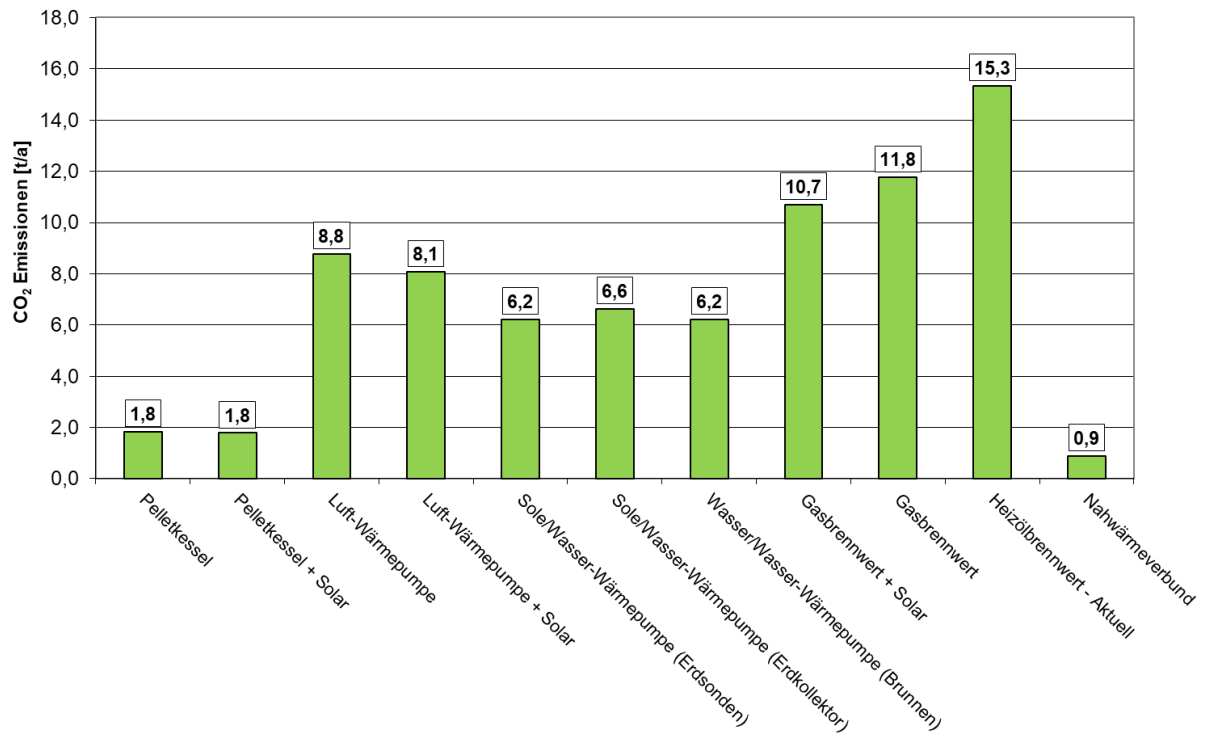


Abbildung 58: Mittlere, absolute CO₂-Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 5 (50.000 kWh_{Hi}/a; 30 kW_{Nennleistung})

Die fossile Referenzvariante „Heizölbrennwertkessel“ hat mit rund 15,3 t_{CO2}/a die mit Abstand höchsten kalkulatorischen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) zu verbuchen. Auch beim Erdgasbrennwertkessel ist es mit rechnerisch ca. 11,8 t_{CO2}/a ein noch immer deutlich höherer Wert als bei allen anderen Versorgungslösungen.

Kalkulatorisch betrachtet kann die Versorgung mittels Fernwärme mit nur rund 0,9 t_{CO2}/a die niedrigsten Emissionen bei der Wärmebereitstellung verbuchen. Der äußerst niedrige THG-Emissionswert ergibt sich hierbei durch den Einsatz von Biomethan in einem Blockheizkraftwerk in Kombination mit fossiler Kraft-Wärme-Kopplung (gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom → Gutschrift für vermiedene Emissionen bei der Stromerzeugung). Insgesamt werden im Fernwärmenetz so rund 66 % der Energie aus EE und fossiler KWK bereit gestellt.

Die niedrigsten, rechnerischen CO₂-Emissionen einer Eigenversorgung weisen die beiden auf Biomasse basierenden Varianten auf (100 % Biomasse / Solarthermie; -90 % CO₂-Emissionen). Zu beachten ist hierbei jedoch, dass es sich um kalkulatorische Werte handelt, welche auf dem Bilanzsystem gründen. Dieses geht davon aus, dass das eingesetzte Holz während seiner Lebensdauer nahezu dieselbe Menge an CO₂ gebunden hat, wie bei der Verbrennung wieder an die Umgebung abgegeben wird. Nicht berücksichtigt

ist hierbei die innerstädtische Problematik hinsichtlich Feinstaubemissionen. Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass eine stoffliche Nutzung ggü. einer energetischen Nutzung vorzuziehen ist.

Ebenfalls z. T. deutlich geringere CO₂-Emissionen können die auf dem Einsatz von Wärmepumpen (Umweltwärme / Strom) basierenden Varianten gegenüber den noch immer vorherrschenden, fossilen Energieversorgungssystemen vorweisen.

Da sowohl der Anteil an regenerativ erzeugtem Strom als auch der Anteil regenerativer Energieträger im Fernwärmeverbund kurz- bis mittelfristig weiter ansteigen sollen, kann darauf hingewiesen werden, dass sich die mittleren Treibhausgasemissionen bei diesen Wärmeversorgungslösungen bereits deutlich verbessert haben und auch mittelfristig von einer weiteren Verringerung ausgegangen werden kann.

In Verbindung mit einer Photovoltaikanlage könnte zudem ein Teil der notwendigen elektrischen Energie direkt vor Ort erzeugt und somit der rechnerische bzw. der tatsächliche CO₂-Ausstoß, welcher auf die Wärmeversorgung zurückzuführen ist, weiter reduziert werden (CO₂-Emissionen für PV-Strom 0 g/kWh_{el}; Verringerung je nach direkt nutzbarem Anteil am Strombedarf).

4.9 Energiebedarfsklasse 6 (65.000 kWh_{Hi}/a; 40 kW_{Nennleistung})

Ökonomische Bewertung:

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Anlagentechnik sowie der notwendigen baulichen Maßnahmen nur näherungsweise festgelegt werden. In der tatsächlichen Umsetzung kann das Kostenniveau daher, je nach Ausführungsstandard und zu berücksichtigenden örtlichen Gegebenheiten, von den hier kalkulierten abweichen. Die Investitionskostenprognose beschränkt sich auf die in den einzelnen Varianten vorgesehenen Wärmeerzeuger inkl. deren Einbringung, Einbindung, Brennstoffversorgung und der notwendigen Anlagentechnik (Bilanzgrenze: Heizkreisverteilung).

In der folgenden Abbildung sind die prognostizierten Investitionskosten (grau) der betrachteten Energieversorgungsvarianten sowie mögliche Fördersummen nach BEG (grün) dargestellt. Ausgewiesen werden die mittleren, zu erwartenden Investitionsvolumina (Eigenanteil) nach Abzug der Fördermittel (blau).

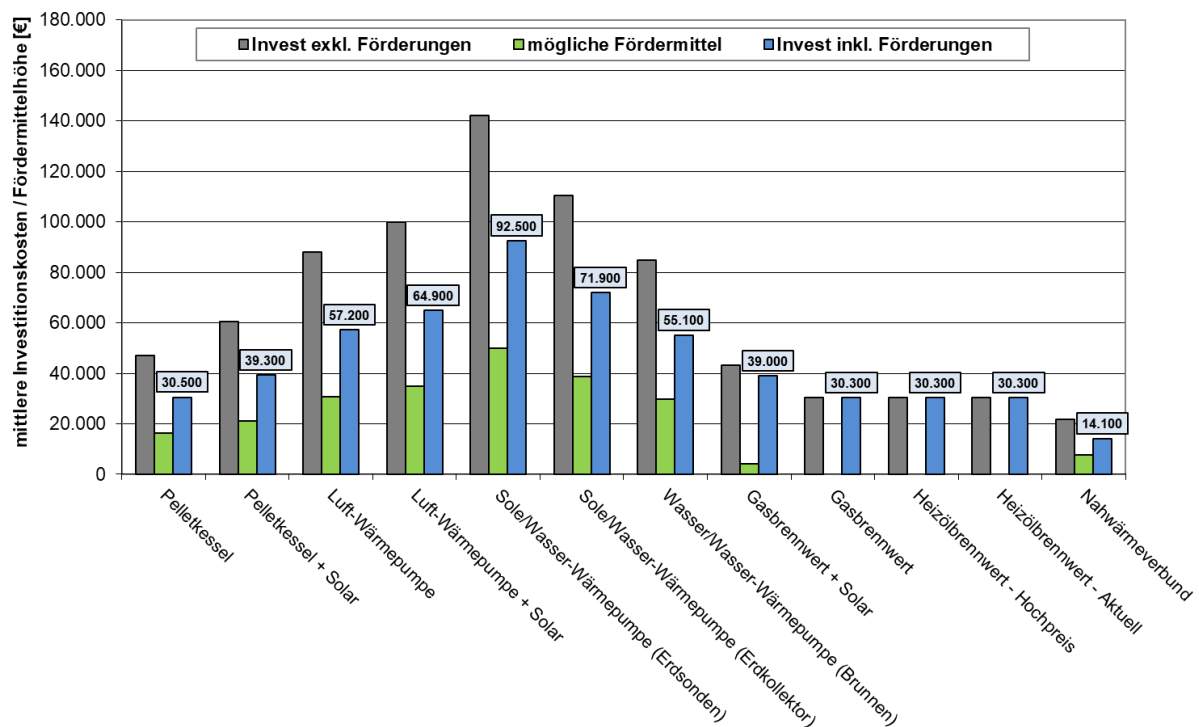


Abbildung 59: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 6 (65.000 kWh_{Hi}/a; 40 kW_{Nennleistung})

Bei Ersatz eines Heizölkessels und / oder bei Einsatz eines Biomassekessels können über die hier genannten und berücksichtigten Fördermittel hinaus sog. Innovationsboni bzw. erhöhte Fördersätze in An-

spruch genommen werden (z. B. +10 % bei Ersatz eines Heizölkessels; +5 % niedrige Feinstaubemissionen bei Biomasse). Dies kann nochmals zu einer Verringerung der notwendigen Eigeninvestitionsanteile führen.

Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten und den verbrauchsgebundenen Kosten zu den Jahresgesamtkosten addieren. Die Kostenfaktoren werden nach den Grundannahmen aus Kapitel 4.2 (inkl. BEG-EM Fördermittel) berechnet und in Summe als Jahresgesamtkosten abgebildet. Die Aufteilung der jährlichen Ausgaben auf die einzelnen Kostenarten ist in folgendem Diagramm ablesbar.

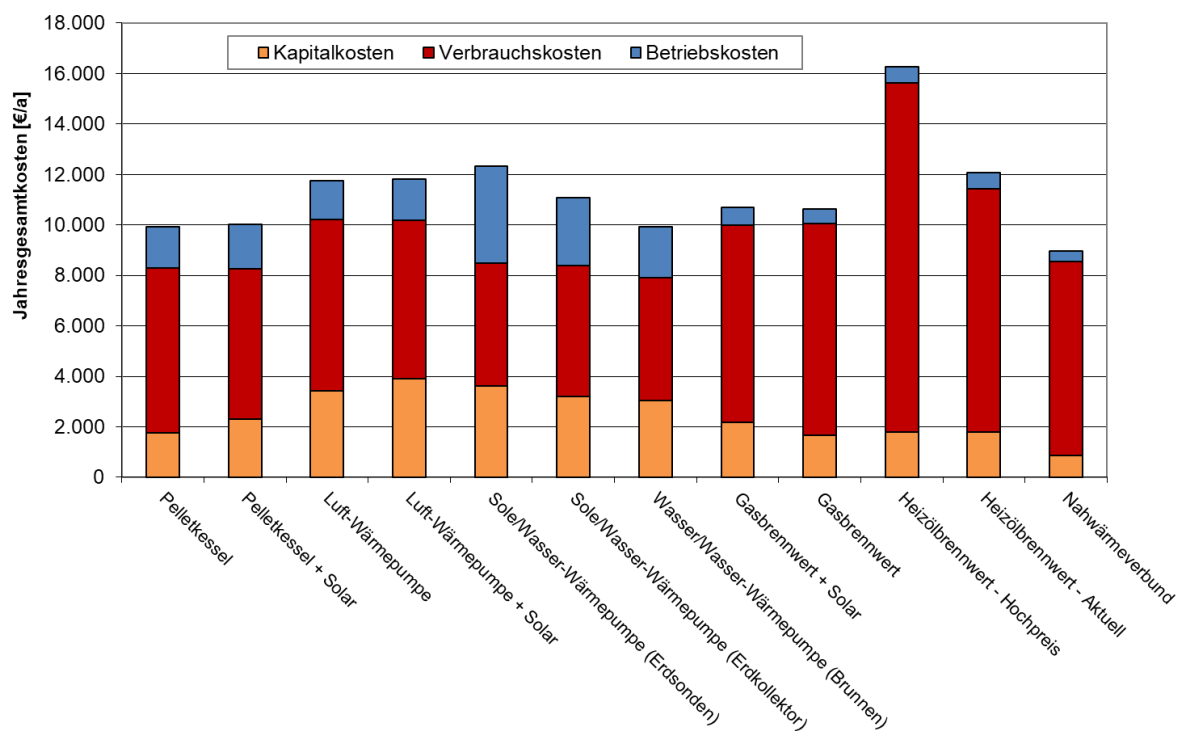


Abbildung 60: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 6 (65.000 kWh_{Hi}/a; 40 kW_{Nennleistung})

Anschließende Abbildung zeigt die kalkulierten Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der geprüften Wärmeversorgungslösungen. Aus den bereits zuvor dargestellten Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, welche die Kosten pro Kilowattstunde Nutzwärme (Raumwärme und Warmwasserbereitung inkl. Berücksichtigung des Anlagenwirkungsgrades) beziffern.

Die spezifischen Wärmegestehungskosten (WGK) dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen.

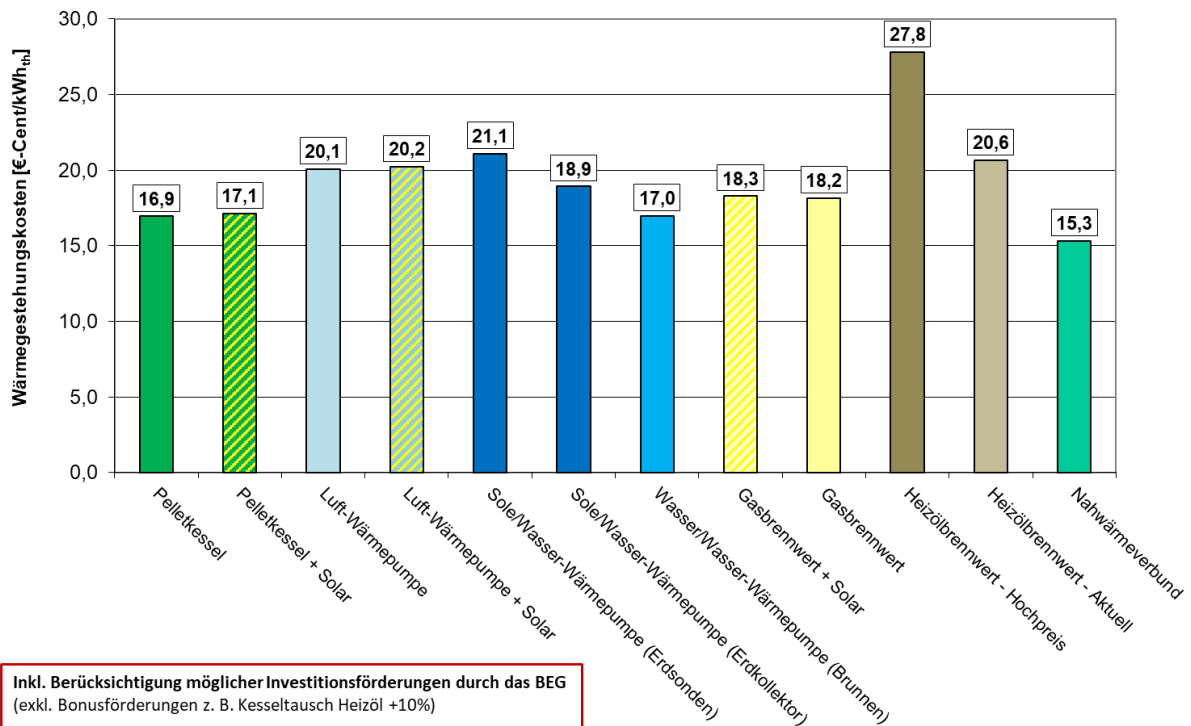


Abbildung 61: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 6 (65.000 kWh_{HI}/a; 40 kW_{Nennleistung})

Wird zusätzlich zur Inanspruchnahme von Investitionsfördermitteln durch Einzelmaßnahmen oder durch die Erlangung eines Effizienzgebäudestandards hinaus auch eine Photovoltaikanlage installiert, können die Wärmegestehungskosten durch eine anteilige Nutzung des selbst erzeugten Stromes v. a. bei den auf Wärmepumpen basierenden Versorgungslösungen weiter gesenkt werden. Berechnungen zeigen, dass der Effekt bei den auf Strom als Energieträger basierenden Wärmepumpenaggregaten zu einer Verringerung der WGK führen kann (-0,9 bis -2,3 Ct/kWh_{th} abhängig von der Anlagengröße und dem direkt nutzbaren Stromanteil im Wärmeerzeuger).

Ökologische Bewertung:

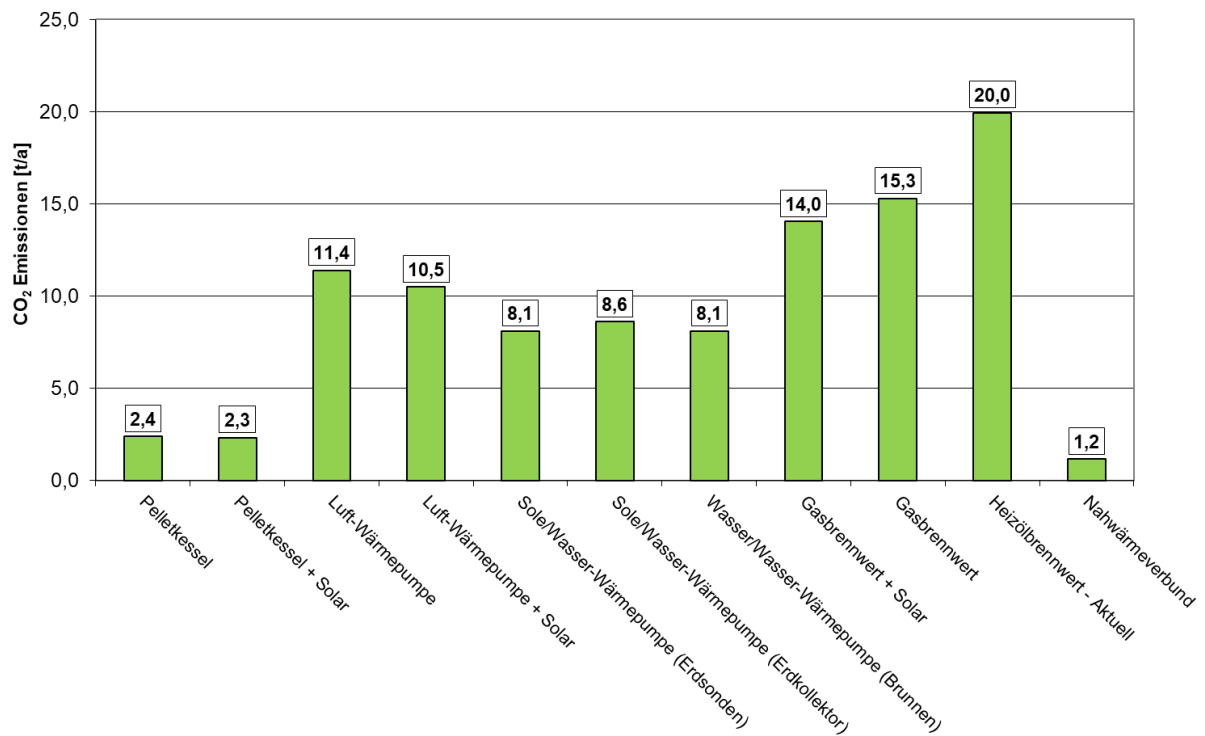


Abbildung 62: Mittlere, absolute CO₂-Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 6 (65.000 kWh_{Hi}/a; 40 kW_{Nennleistung})

Die fossile Referenzvariante „Heizölbrennwertkessel“ hat mit rund 20,0 t_{CO2}/a die mit Abstand höchsten kalkulatorischen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) zu verbuchen. Auch beim Erdgasbrennwertkessel ist es mit rechnerisch ca. 15,3 t_{CO2}/a ein noch immer deutlich höherer Wert als bei allen anderen Versorgungslösungen.

Kalkulatorisch betrachtet kann die Versorgung mittels Fernwärme mit nur rund 1,2 t_{CO2}/a die niedrigsten Emissionen bei der Wärmebereitstellung verbuchen. Der äußerst niedrige THG-Emissionswert ergibt sich hierbei durch den Einsatz von Biomethan in einem Blockheizkraftwerk in Kombination mit fossiler Kraft-Wärme-Kopplung (gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom → Gutschrift für vermiedene Emissionen bei der Stromerzeugung). Insgesamt werden im Fernwärmenetz so rund 66 % der Energie aus EE und fossiler KWK bereit gestellt.

Die niedrigsten, rechnerischen CO₂-Emissionen einer Eigenversorgung weisen die beiden auf Biomasse basierenden Varianten auf (100 % Biomasse / Solarthermie; -90 % CO₂-Emissionen). Zu beachten ist hierbei jedoch, dass es sich um kalkulatorische Werte handelt, welche auf dem Bilanzsystem gründen. Dieses geht davon aus, dass das eingesetzte Holz während seiner Lebensdauer nahezu dieselbe Menge an CO₂ gebunden hat, wie bei der Verbrennung wieder an die Umgebung abgegeben wird. Nicht berücksichtigt

ist hierbei die innerstädtische Problematik hinsichtlich Feinstaubemissionen. Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass eine stoffliche Nutzung ggü. einer energetischen Nutzung vorzuziehen ist.

Ebenfalls z. T. deutlich geringere CO₂-Emissionen können die auf dem Einsatz von Wärmepumpen (Umweltwärme / Strom) basierenden Varianten gegenüber den noch immer vorherrschenden, fossilen Energieversorgungssystemen vorweisen.

Da sowohl der Anteil an regenerativ erzeugtem Strom als auch der Anteil regenerativer Energieträger im Fernwärmeverbund kurz- bis mittelfristig weiter ansteigen sollen, kann darauf hingewiesen werden, dass sich die mittleren Treibhausgasemissionen bei diesen Wärmeversorgungs-lösungen bereits deutlich verbessert haben und auch mittelfristig von einer weiteren Verringerung ausgegangen werden kann.

In Verbindung mit einer Photovoltaikanlage könnte zudem ein Teil der notwendigen elektrischen Energie direkt vor Ort erzeugt und somit der rechnerische bzw. der tatsächliche CO₂-Ausstoß, welcher auf die Wärmeversorgung zurückzuführen ist, weiter reduziert werden (CO₂-Emissionen für PV-Strom 0 g/kWh_{el}; Verringerung je nach direkt nutzbarem Anteil am Strombedarf).

4.10 Energiebedarfsklasse 7 (80.000 kWh_{Hi}/a; 50 kW_{Nennleistung})

Ökonomische Bewertung:

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Anlagentechnik sowie der notwendigen baulichen Maßnahmen nur näherungsweise festgelegt werden. In der tatsächlichen Umsetzung kann das Kostenniveau daher, je nach Ausführungsstandard und zu berücksichtigenden örtlichen Gegebenheiten, von den hier kalkulierten abweichen. Die Investitionskostenprognose beschränkt sich auf die in den einzelnen Varianten vorgesehenen Wärmeerzeuger inkl. deren Einbringung, Einbindung, Brennstoffversorgung und der notwendigen Anlagentechnik (Bilanzgrenze: Heizkreisverteilung).

In der folgenden Abbildung sind die prognostizierten Investitionskosten (grau) der betrachteten Energieversorgungsvarianten sowie mögliche Fördersummen nach BEG (grün) dargestellt. Ausgewiesen werden die mittleren, zu erwartenden Investitionsvolumina (Eigenanteil) nach Abzug der Fördermittel (blau).

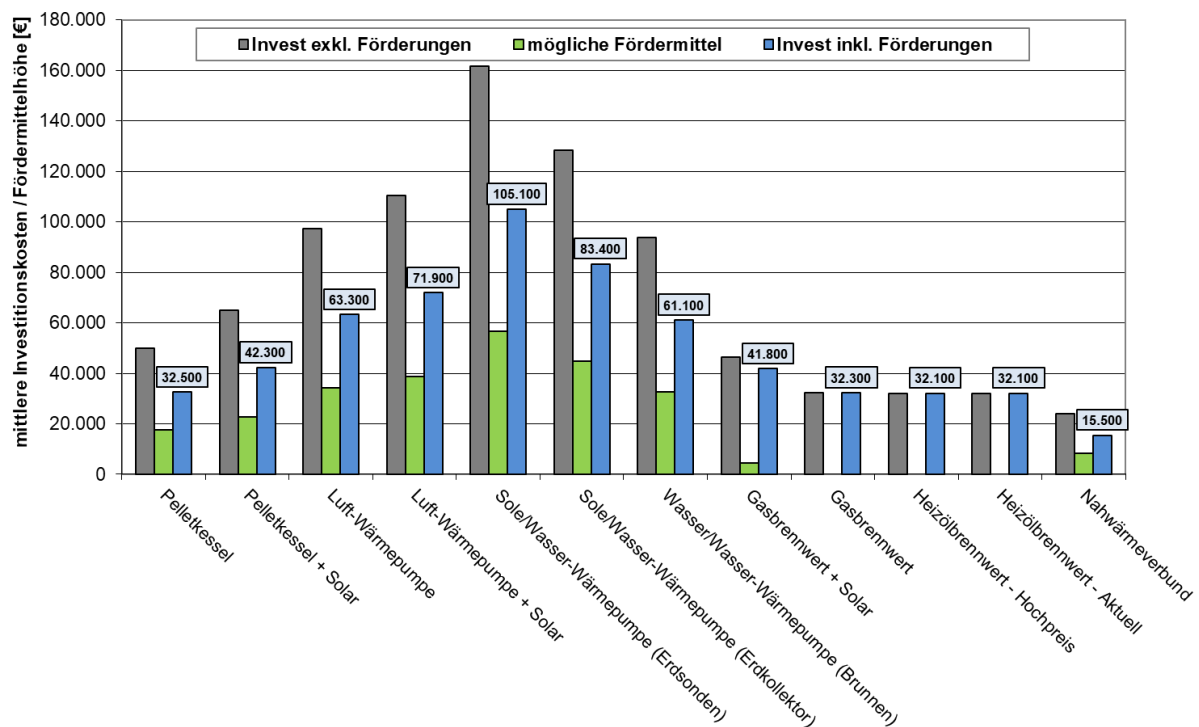


Abbildung 63: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 7 (80.000 kWh_{Hi}/a; 50 kW_{Nennleistung})

Bei Ersatz eines Heizölkessels und / oder bei Einsatz eines Biomassekessels können über die hier genannten und berücksichtigten Fördermittel hinaus sog. Innovationsboni bzw. erhöhte Fördersätze in An-

spruch genommen werden (z. B. +10 % bei Ersatz eines Heizölkessels; +5 % niedrige Feinstaubemissionen bei Biomasse). Dies kann nochmals zu einer Verringerung der notwendigen Eigeninvestitionsanteile führen.

Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten und den verbrauchsgebundenen Kosten zu den Jahresgesamtkosten addieren. Die Kostenfaktoren werden nach den Grundannahmen aus Kapitel 4.2 (inkl. BEG-EM Fördermittel) berechnet und in Summe als Jahresgesamtkosten abgebildet. Die Aufteilung der jährlichen Ausgaben auf die einzelnen Kostenarten ist in folgendem Diagramm ablesbar.

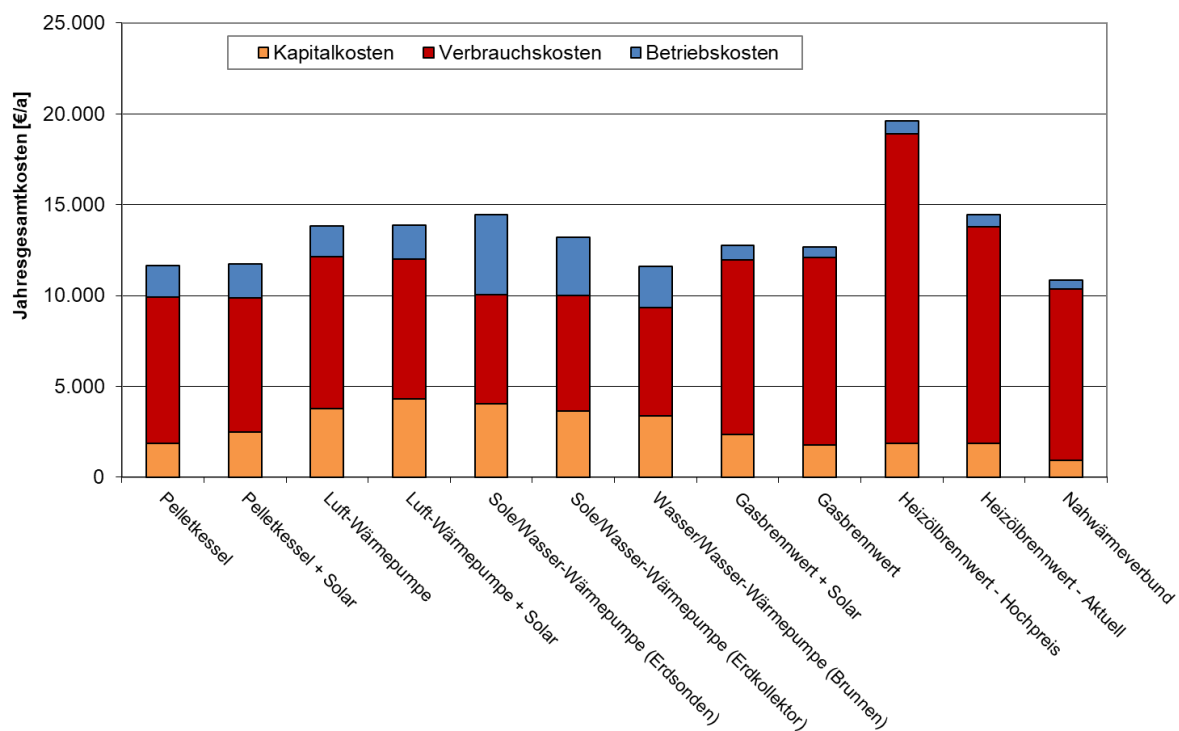


Abbildung 64: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 7 (80.000 kWh_{Hi}/a; 50 kW_{Nennleistung})

Anschließend zeigt die Abbildung die kalkulierten Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der geprüften Wärmeversorgungsanlagen. Aus den bereits zuvor dargestellten Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, welche die Kosten pro Kilowattstunde Nutzwärme (Raumwärme und Warmwasserbereitung inkl. Berücksichtigung des Anlagenwirkungsgrades) beziffern.

Die spezifischen Wärmegestehungskosten (WGK) dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen.

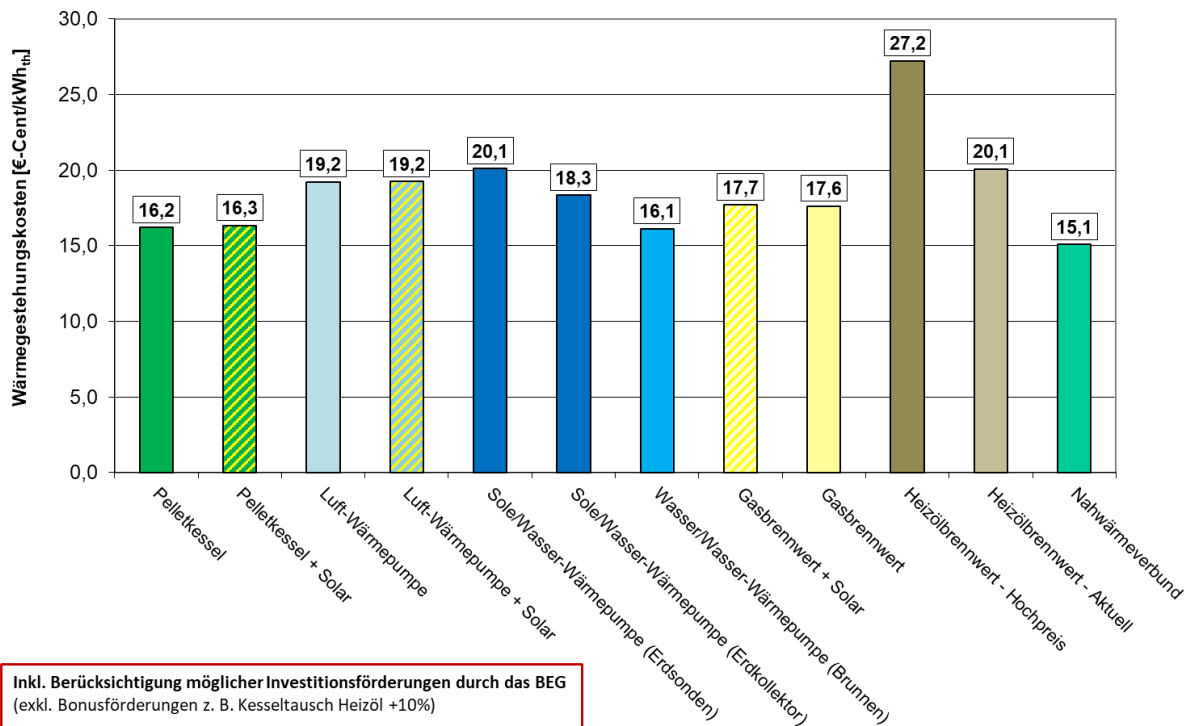


Abbildung 65: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 7 (80.000 kWh_{HI}/a; 50 kW_{Nennleistung})

Wird zusätzlich zur Inanspruchnahme von Investitionsfördermitteln durch Einzelmaßnahmen oder durch die Erlangung eines Effizienzgebäudestandards hinaus auch eine Photovoltaikanlage installiert, können die Wärmegestehungskosten durch eine anteilige Nutzung des selbst erzeugten Stromes v. a. bei den auf Wärmepumpen basierenden Versorgungslösungen weiter gesenkt werden. Berechnungen zeigen, dass der Effekt bei den auf Strom als Energieträger basierenden Wärmepumpenaggregaten zu einer Verringerung der WGK führen kann (-0,9 bis -2,2 Ct/kWh_{th} abhängig von der Anlagengröße und dem direkt nutzbaren Stromanteil im Wärmeerzeuger).

Ökologische Bewertung:

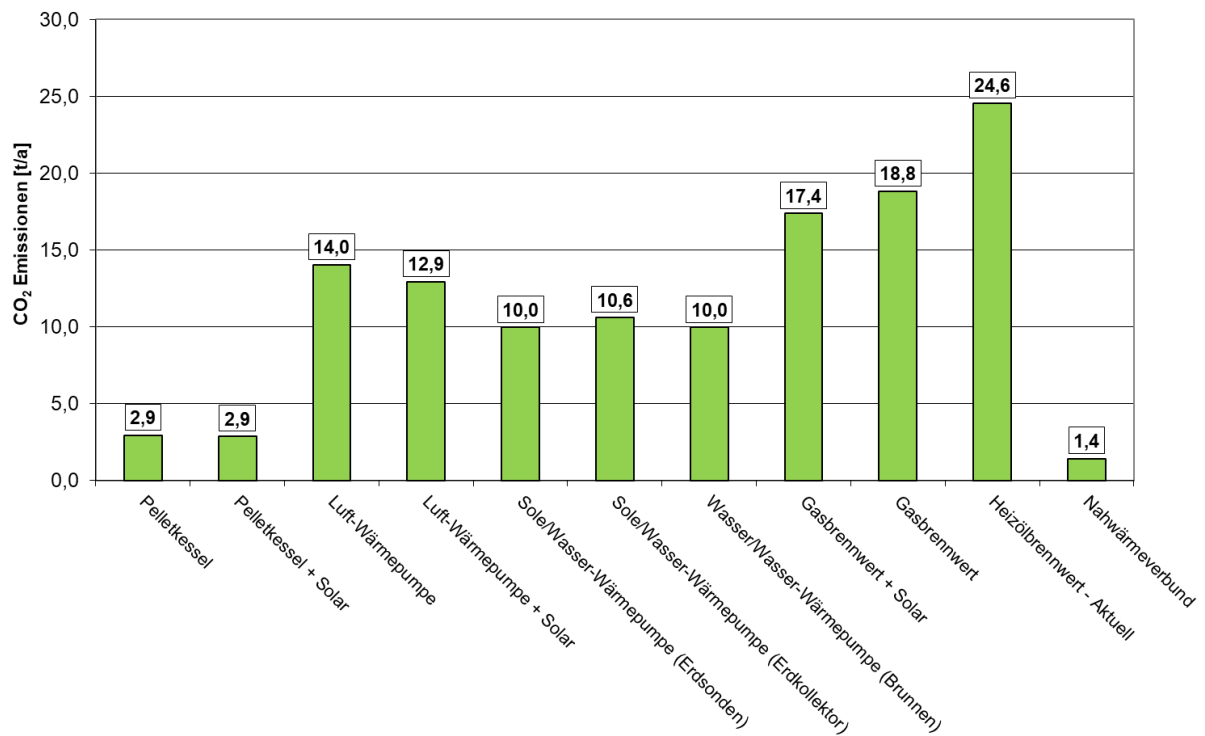


Abbildung 66: Mittlere, absolute CO₂-Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 7 (80.000 kWh_{Hi}/a; 50 kW_{Nennleistung})

Die fossile Referenzvariante „Heizölbrennwertkessel“ hat mit rund 24,6 t_{CO2}/a die mit Abstand höchsten kalkulatorischen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) zu verbuchen. Auch beim Erdgasbrennwertkessel ist es mit rechnerisch ca. 18,8 t_{CO2}/a ein noch immer deutlich höherer Wert als bei allen anderen Versorgungslösungen.

Kalkulatorisch betrachtet kann die Versorgung mittels Fernwärme mit nur rund 1,4 t_{CO2}/a die niedrigsten Emissionen bei der Wärmebereitstellung verbuchen. Der äußerst niedrige THG-Emissionswert ergibt sich hierbei durch den Einsatz von Biomethan in einem Blockheizkraftwerk in Kombination mit fossiler Kraft-Wärme-Kopplung (gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom → Gutschrift für vermiedene Emissionen bei der Stromerzeugung). Insgesamt werden im Fernwärmenetz so rund 66 % der Energie aus EE und fossiler KWK bereit gestellt.

Die niedrigsten, rechnerischen CO₂-Emissionen einer Eigenversorgung weisen die beiden auf Biomasse basierenden Varianten auf (100 % Biomasse / Solarthermie; -90 % CO₂-Emissionen). Zu beachten ist hierbei jedoch, dass es sich um kalkulatorische Werte handelt, welche auf dem Bilanzsystem gründen. Dieses geht davon aus, dass das eingesetzte Holz während seiner Lebensdauer nahezu dieselbe Menge an CO₂ gebunden hat, wie bei der Verbrennung wieder an die Umgebung abgegeben wird. Nicht berücksichtigt

ist hierbei die innerstädtische Problematik hinsichtlich Feinstaubemissionen. Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass eine stoffliche Nutzung ggü. einer energetischen Nutzung vorzuziehen ist.

Ebenfalls z. T. deutlich geringere CO₂-Emissionen können die auf dem Einsatz von Wärmepumpen (Umweltwärme / Strom) basierenden Varianten gegenüber den noch immer vorherrschenden, fossilen Energieversorgungssystemen vorweisen.

Da sowohl der Anteil an regenerativ erzeugtem Strom als auch der Anteil regenerativer Energieträger im Fernwärmeverbund kurz- bis mittelfristig weiter ansteigen sollen, kann darauf hingewiesen werden, dass sich die mittleren Treibhausgasemissionen bei diesen Wärmeversorgungslösungen bereits deutlich verbessert haben und auch mittelfristig von einer weiteren Verringerung ausgegangen werden kann.

In Verbindung mit einer Photovoltaikanlage könnte zudem ein Teil der notwendigen elektrischen Energie direkt vor Ort erzeugt und somit der rechnerische bzw. der tatsächliche CO₂-Ausstoß, welcher auf die Wärmeversorgung zurückzuführen ist, weiter reduziert werden (CO₂-Emissionen für PV-Strom 0 g/kWh_{el}; Verringerung je nach direkt nutzbarem Anteil am Strombedarf).

4.11 Fördermittelübersicht (Energieversorgung)

Anschließend werden verschiedene, für die Erneuerung der Wärmeversorgung derzeit relevante Förderprogramme vorgestellt. Die folgende Übersicht stellt keine detaillierte Produktbeschreibung dar, diese ist in jedem Fall vor Umsetzung den technischen Merkblättern sowie den ausführlichen Fördermittelleitfäden sowie deren Gesetzesgrundlagen zu entnehmen. Eine Gewährung der Fördermittel ist dem Fördermittelgeber überlassen und vor Umsetzung immer im Einzelfall beispielsweise durch einen Energieeffizienz-Experten*in (EEE) detailliert zu prüfen.

Bundeszförderung für effiziente Gebäude –Wohngebäude (BEG WG) – Einzelmaßnahmen

Wie bereits bei den Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle beschrieben, ist es über die Bundesförderung für effiziente Gebäude auch möglich, die Umrüstung bestehender, fossiler Energieversorgungslösungen auf Systeme, die den Einsatz regenerativer Energieträger forcieren, eine Investitionsförderung zu erhalten.

Der Fördermittelabruf erfolgt über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Gefördert werden Investitionen in thermische Solarkollektor-, Biomasse- und Wärmepumpenanlagen (oder Kombinationen daraus; sog. EE-Hybridheizungen). Zudem erfolgt eine Förderung sog. „Gas-Hybridanlagen“ (EE + Erdgas) sowie der Anschluss an Gebäude- und Wärmenetze mit mindestens 25 % Anteil regenerativer Energien. Das Hinzuziehen eines EEE ist im Falle des Heizungsaustauschs, zur Beantragung der Fördermittel BEG EM, optional.

Antragsberechtigt sind:

- Privatpersonen und Wohnungseigentümergeinschaften
- freiberuflich Tätige
- Kommunen
- Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts sowie gemeinnützige Organisationen einschließlich Kirchen
- Unternehmen, einschließlich Einzelunternehmer*innen und kommunale Unternehmen
- sonstige juristische Personen des Privatrechts, einschließlich Wohnungsbaugenossenschaften

Die seit 01.01.2021 gültigen Fördersätze sind je nach eingesetztem Energieträger unterschiedlich gestaffelt und beziehen sich generell auf prozentuale Anteile der förderfähigen Investitionssumme. Das BEG setzt den Schwerpunkt auf die Modernisierung bestehender Anlagen (Anlagen zur Wärmeerzeugung und Heizungsoptimierung).

Nach Auskunft des BAFA sowie den zur Verfügung gestellten Unterlagen (Liste förderfähiger Anlagen) unterliegt die Leistungsgröße von geförderten Anlagen keiner direkten Größenbeschränkung (Ausnahme: Mindestgröße z. B. Biomasseanlagen mind. 5 kW_{th}).

Über die allgemeinen Fördervoraussetzungen hinaus sind zur Gewährung der Fördermittel je nach eingesetztem Energieträger bestimmte, technische Voraussetzungen betreffend den Anlagenaufbau (z. B. Anlagengröße, Pufferspeichervolumen etc.) sowie anlagenspezifischen Parametern (z. B. Emissionsgrenzwerte, Wirkungsgrad, Jahres-Arbeits-Zahlen etc.) zu erfüllen.

Anschließende Abbildung zeigt die verschiedenen Fördersätze, die je nach Art der Heizungsanlage bzw. eingesetztem Energieträger aktuell verfügbar sind.



Abbildung 67: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle – Anlagen zur Wärmeerzeugung (Heizungstechnik) [Quelle: www.bafa.de]

Genauere Details und aktuelle Unterlagen (Merkblätter, technische Beschreibungen etc.) zum aktuellen Förderprogramm können unter https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/ nachgelesen werden.

Weitere Förderprogramme (Wärmebereitstellung aus EE):

Darüber hinaus besteht derzeit auch die Möglichkeit zur Förderung größerer Anlagen wie z. B. Solarthermieanlagen >40 m², Biomasseheizanlagen und Wärmepumpen >100 kW_{Nennleistung} etc. über das KfW-Förderprogramm „Erneuerbare Energien Premium“ - Energiesysteme (Programm 271/281/272/282) sowie die Richtlinie BioKlima des Freistaates Bayern (Biomasseheizanlagen mit / ohne Solarthermie).

Da sich diese Förderprodukte im Regelfall ausschließlich auf größere Liegenschaften oder Verbundlösungen aus mehreren Liegenschaften beziehen, wird an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen.

Weitergehende Information hierzu erhalten Sie unter www.kfw.de und www.tfz.bayern.de.

Förderprogramm der Stadt Herzogenaurach:

Zusätzlich zu den vorher aufgeführten, nicht kumulierbaren Fördermitteln, fördert die Stadt Herzogenaurach ebenfalls Sanierungsmaßnahmen sowie eine Energieberatung im Zuge des „Förderprogramms zur CO₂-Minderung“. Die Fördervoraussetzungen sowie damit verbundene Fördermittelhöhen sind für den Bauherrn*in auf <https://www.herzogenaurach.de/stadtraum/klima-energie/foerderprogramm-co2> detailliert dargelegt. Nähere Informationen erhalten Sie zudem bei den örtlichen Ansprechpartnern*innen der Stadtverwaltung. Auch hier gilt, dass mit den Maßnahmen erst nach schriftlicher Zusage durch den Fördermittelgeber (Stadt Herzogenaurach) begonnen werden darf.

Indirekte Förderung durch das EEG (Stromproduktion aus EE):

Über die hier genannten Investitionsförderungen hinaus erfolgt für Anlagen zur Stromerzeugung eine indirekte Förderung anhand von Vergütungssätzen, welche in den entsprechenden Gesetzestexten festgelegt sind (Strom aus regenerativen Energiequellen (Biomasse-KWK, PV, Wasser- und Windkraft) anhand der Vergütungssätze aus dem EEG).

Allgemeines:

Ein umfassender Überblick über derzeit verfügbare Fördermittel kann u. a. dem Förderkompass der bayerischen Energieagenturen entnommen werden:

<https://energieagenturen.bayern/hp5837/Foerderkompass.htm>

Hinweis:

Ein Rechtsanspruch des Antragstellers / der Antragstellerin auf Zuwendung besteht nicht. Die KfW-Fördermittelbank, das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle und die Stadt Herzogenaurach entscheiden aufgrund ihres pflichtgemäßen Ermessens. Die Gewährung der Zuwendung steht unter dem Vorbehalt der Verfügbarkeit der veranschlagten Haushaltsmittel.

Anspruch auf Vollständigkeit aller Fördermittel besteht nicht. Die genauen Zuwendungsbedingungen sind den entsprechenden Förderprogrammen zu entnehmen und auf die endgültigen Investitionskosten (Ermittlung im Rahmen einer Angebotseinholung) sowie den aktuellen Stand der Förderprogramme zum Umsetzungszeitpunkt anzupassen.

Darüber hinaus erfolgt in den Kalkulationen keine Berücksichtigung von sog. „Sonderförderungen“ wie beispielsweise eine Innovationsförderung (niedrige Staubemissionen). Zur Gewährung dieser und anderer Zusatzförderungen sind u. U. Referenzmessungen erforderlich, die im Rahmen der Studie nicht erfolgen können. Hilfreich sind hierbei ggf. die techn. Merkblätter der Fördermittelgeber, welche u. a. auch eine Auflistung der förderfähigen Anlagen verschiedenster Hersteller beinhalten.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufteilung der Wohnflächen in m ² von Herzogenaurach nach Baualter [Quelle: Statistikdaten Bayerisches Landesamt für Statistik 2021, Wärmekataster]	8
Abbildung 2: Darstellung Gebäudetyt 1	12
Abbildung 3: Darstellung Gebäudetyt 2	13
Abbildung 4: Darstellung Gebäudetyt 3	14
Abbildung 5: Darstellung Gebäudetyt 4	15
Abbildung 6: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 1 in Baualtersklasse I	31
Abbildung 7: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 2 in Baualtersklasse I	32
Abbildung 8: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 3 in Baualtersklasse I	33
Abbildung 9: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 4 in Baualtersklasse I	34
Abbildung 10: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 1 in Baualtersklasse II	36
Abbildung 11: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 2 in Baualtersklasse II	37
Abbildung 12: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 3 in Baualtersklasse II	38
Abbildung 13: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 4 in Baualtersklasse II	39
Abbildung 14: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 1 in Baualtersklasse III	41
Abbildung 15: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 2 in Baualtersklasse III	42
Abbildung 16: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 3 in Baualtersklasse III	43
Abbildung 17: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 4 in Baualtersklasse III	44
Abbildung 18: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 1 in Baualtersklasse IV	46
Abbildung 19: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 2 in Baualtersklasse IV	47
Abbildung 20: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 3 in Baualtersklasse IV	48
Abbildung 21: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 4 in Baualtersklasse IV	49
Abbildung 22: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 1 in Baualtersklasse V	51
Abbildung 23: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 2 in Baualtersklasse V	52
Abbildung 24: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 3 in Baualtersklasse V	53
Abbildung 25: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyt 4 in Baualtersklasse V	54

Abbildung 26: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 1 in Baualtersklasse VI	56
Abbildung 27: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse VI	57
Abbildung 28: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 3 in Baualtersklasse VI	58
Abbildung 29: Die Einsparpotenziale für Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse VI	59
Abbildung 30: Näherungsweise bestimmter, jährlicher Gesamtnutzenergiebedarf auf Basis der mittleren Gradtagsverteilung am Standort Herzogenaurach exemplarisch für die Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh _{Hi} /a).....	61
Abbildung 31: Näherungsweise bestimmte Gebäudeheizlast auf Basis des Energiebedarfs sowie typischer Anlagenvollbenutzungsstunden exemplarisch in der Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh _{Hi} /a).....	62
Abbildung 32: Vor- und Nachteile – Biomassekessel	65
Abbildung 33: Vor- und Nachteile - Wärmepumpenlösungen.....	65
Abbildung 34: Vor- und Nachteile - Öl- und Gaskessel	66
Abbildung 35: Vor- und Nachteile - Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen; BHKW; Brennstoffzellen)	66
Abbildung 36: Vor- und Nachteile - Solarthermieanlagen (Wärmeproduktion).....	67
Abbildung 37: Vor- und Nachteile / Allgemeines - Fernwärmeanschluss.....	67
Abbildung 38: Preisentwicklung CO ₂ -Abgabe auf fossile Energieträger [Quelle: Umweltbundesamt – Hintergrundpapier]	70
Abbildung 39: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 1 (20.000 kWh _{Hi} /a; 10 kW _{Nennleistung})	73
Abbildung 40: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 1 (20.000 kWh _{Hi} /a; 10 kW _{Nennleistung})	74
Abbildung 41: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 1 (20.000 kWh _{Hi} /a; 10 kW _{Nennleistung})	75
Abbildung 42: Mittlere, absolute CO ₂ -Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 1 (20.000 kWh _{Hi} /a; 10 kW _{Nennleistung})	76
Abbildung 43: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 2 (25.000 kWh _{Hi} /a; 15 kW _{Nennleistung})	78

Abbildung 44: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 2 (25.000 kWh _{Hi} /a; 15 kW _{Nennleistung})	79
Abbildung 45: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 2 (25.000 kWh _{Hi} /a; 15 kW _{Nennleistung})	80
Abbildung 46: Mittlere, absolute CO ₂ -Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 2 (25.000 kWh _{Hi} /a; 15 kW _{Nennleistung})	81
Abbildung 47: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 3 (32.500 kWh _{Hi} /a; 20 kW _{Nennleistung})	83
Abbildung 48: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 3 (32.500 kWh _{Hi} /a; 20 kW _{Nennleistung})	84
Abbildung 49: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 3 (32.500 kWh _{Hi} /a; 20 kW _{Nennleistung})	85
Abbildung 50: Mittlere, absolute CO ₂ -Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 3 (32.500 kWh _{Hi} /a; 20 kW _{Nennleistung})	86
Abbildung 51: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh _{Hi} /a; 25 kW _{Nennleistung})	88
Abbildung 52: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh _{Hi} /a; 25 kW _{Nennleistung})	89
Abbildung 53: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh _{Hi} /a; 25 kW _{Nennleistung})	90
Abbildung 54: Mittlere, absolute CO ₂ -Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 4 (40.000 kWh _{Hi} /a; 25 kW _{Nennleistung})	91
Abbildung 55: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 5 (50.000 kWh _{Hi} /a; 30 kW _{Nennleistung})	93
Abbildung 56: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 5 (50.000 kWh _{Hi} /a; 30 kW _{Nennleistung})	94
Abbildung 57: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 5 (50.000 kWh _{Hi} /a; 30 kW _{Nennleistung})	95
Abbildung 58: Mittlere, absolute CO ₂ -Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 5 (50.000 kWh _{Hi} /a; 30 kW _{Nennleistung})	96

Abbildung 59: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 6 (65.000 kWh _{Hi} /a; 40 kW _{Nennleistung})	98
Abbildung 60: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 6 (65.000 kWh _{Hi} /a; 40 kW _{Nennleistung})	99
Abbildung 61: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 6 (65.000 kWh _{Hi} /a; 40 kW _{Nennleistung})	100
Abbildung 62: Mittlere, absolute CO ₂ -Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 6 (65.000 kWh _{Hi} /a; 40 kW _{Nennleistung})	101
Abbildung 63: Investitionskostenprognose in der Energiebedarfsklasse 7 (80.000 kWh _{Hi} /a; 50 kW _{Nennleistung})	103
Abbildung 64: Jahresgesamtkostenprognose in der Energiebedarfsklasse 7 (80.000 kWh _{Hi} /a; 50 kW _{Nennleistung})	104
Abbildung 65: Mittlere Wärmegestehungskosten in der Energiebedarfsklasse 7 (80.000 kWh _{Hi} /a; 50 kW _{Nennleistung})	105
Abbildung 66: Mittlere, absolute CO ₂ -Emissionen pro Jahr in der Energiebedarfsklasse 7 (80.000 kWh _{Hi} /a; 50 kW _{Nennleistung})	106
Abbildung 67: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle – Anlagen zur Wärmeerzeugung (Heizungstechnik) [Quelle: www.bafa.de]	109

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: KfW-Förderungen im Überblick Stand Mai 2022 [Quelle: www.kfw.de]	24
Tabelle 2: BAFA-BEG-Förderungen im Überblick Stand Mai 2022 [Quelle: www.bafa.de]	26
Tabelle 3: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualtersklasse I mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	31
Tabelle 4: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse I mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	32
Tabelle 5: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualtersklasse I mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	33
Tabelle 6: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse I mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	34
Tabelle 7: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualtersklasse II mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	36
Tabelle 8: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse II mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	37
Tabelle 9: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualtersklasse II mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	38
Tabelle 10: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse II mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	39
Tabelle 11: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualtersklasse III mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	41

Tabelle 12: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse III mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	42
Tabelle 13: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualtersklasse III mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	43
Tabelle 14: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse III mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	44
Tabelle 15: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualtersklasse IV mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	46
Tabelle 16: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse IV mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	47
Tabelle 17: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualtersklasse IV mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	48
Tabelle 18: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse IV mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	49
Tabelle 19: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualtersklasse V mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	51
Tabelle 20: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse V mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	52
Tabelle 21: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualtersklasse V mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	53

Tabelle 22: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse V mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	54
Tabelle 23: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 1 in Baualtersklasse VI mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	56
Tabelle 24: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 2 in Baualtersklasse VI mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	57
Tabelle 25: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 3 in Baualtersklasse VI mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	58
Tabelle 26: Wirtschaftlichkeit einer Sanierung von Gebäudetyp 4 in Baualtersklasse VI mit einer Berücksichtigung der 25 % BAFA-BEG-Förderung (BAFA-Einzelmaßnahmen + iSFP)	59
Tabelle 27: Übersicht – Endenergiebedarfsklassen	60
Tabelle 28: CO ₂ -Emissionsfaktoren lt. GEG (Ausfertigungsdatum: 08.08.2020; Anlage 9 Nr.3 GEG)	72