

Umweltwirkung von Heizungssystemen in Deutschland

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3708 41 150
UBA-FB 001425

Umweltwirkung von Heizungssystemen in Deutschland

von

Kjell Bettgenhäuser

Thomas Boermans

Ecofys Germany GmbH, Köln

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4070.html> verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4359

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion: Fachgebiet I 2.4 Energieeffizienz
Jens Schuberth

Dessau-Roßlau, Februar 2011

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 001425	2.	3.
4. Titel des Berichts UMWELTWIRKUNGEN VON HEIZUNGSSYSTEMEN IN DEUTSCHLAND		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Bettgenhäuser, Kjell; Boermans, Thomas		
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Ecofys Germany GmbH, Am Wassermann 36, 50829 Köln		
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau		8. Abschlussdatum 21.05.2010
9. Veröffentlichungsdatum Februar 2011	10. UFOPLAN-Nr. FKZ 3708 41 150	11. Seitenzahl 88
12. Literaturangaben	13. Tabellen und Diagramme 46	14. Abbildungen 33
15. Zusätzliche Angaben		
<p>16. Zusammenfassung</p> <p>Ziel der Studie ist ein umfassender Vergleich gängiger und innovativer Anlagen- und Bausysteme zur Wärmeversorgung von Wohngebäuden. Der Vergleich basiert dabei auf einer festgelegten Versorgungsaufgabe - Bereitstellung von Heizwärme, Warmwasser sowie die Belüftung der Gebäude - für unterschiedliche Gebäudegrößen und Energiestandards. In einer Sensitivitätsanalyse soll dabei auch der Einfluss der bestehenden Bandbreite von Wirkungsgraden (Unterschiede zwischen Feldversuchen und Prüfstandsdaten) der Systeme berücksichtigt werden.</p> <p>Als Ergebnis der Studie werden CO₂ – Emissionen (mit und ohne Vorketten) und Primär-Energiebedarf, sowie Gesamtkosten (investitions- und Betriebskosten) für die verschiedenen betrachteten Technologien verglichen und in Übersichten tabellarisch und grafisch dargestellt. In einer Interpretation der Ergebnisse werden die Erkenntnisse aus der Sensitivitätsanalyse bewertet, Aussagen zu technischen Limitierungen (z.B. bezüglich der Kombination von Technologien) gemacht und markante Effekte (z. B. deutlich unterschiedliche Wirtschaftlichkeit gleicher Systeme bei unterschiedlichen Versorgungsaufgaben) herausgestellt.</p>		
17. Schlagwörter Heizungssysteme, Umweltwirkungen, Klimaschutz, Emissionen, Gebäudebestand, Gebäude		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 001425	2.	3.
4. Report Title ENVIRONMENTAL IMPACTS OF HEATING SYSTEMS IN GERMANY		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Bettgenhäuser, Kjell; Boermans, Thomas		
6. Performing Organisation (Name, Address) Ecofys Germany GmbH, Am Wassermann 36, 50829 Köln		
7. Funding Agency (Name, Address) Federal Environment Agency (Umweltbundesamt) Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau		8. Report Date 21.05.2010
9. Publication Date February 2011	10. UFOPLAN-Ref. No. FKZ 3708 41 150	11. No. of Pages 88
12. No. of Reference	13. No. of Tables, Diagrams 46	14. No. of Figures 33
15. Supplementary Notes		
<p>16. Abstract</p> <p>The aim of this study is a comprehensive analysis of current and innovative systems for the heating supply of residential buildings. This is based on a pre-defined supply-task – delivering heating energy, domestic hot water and ventilation for different building sizes and energy standards. The impact of a variation in the efficiency of the heating systems is been taken into account by also using a sensitivity-range of efficiencies/ COP`s from field-tests.</p> <p>The main results are CO₂-emissions (incl. and excl. upstream chain) and primary/ end-energy demands as well as overall costs (investment- and running-costs) for the different heating systems, which are shown in overview graphs. The interpretation of the results analyses the impact of the sensitivities, gives technological limitations (i.e. with regard to the compatibility of technologies) and explains prominent effects (such as different profitabilities for same systems with a different supply-task) with regard to the aim of the study.</p>		
17. Keywords Heating Systems, Environmental Impact, Climate Protection, Emissions, Building Stock, Buildings		
18. Price	19.	20.

Zusammenfassung

Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Ziel der Studie ist ein umfassender Vergleich gängiger und innovativer Anlagen- und Bausysteme zur Wärmeversorgung von Wohngebäuden. Der Vergleich basiert dabei auf einer festgelegten Versorgungsaufgabe - Bereitstellung von Heizwärme, Warmwasser sowie Belüftung der Gebäude - für unterschiedliche Gebäudegrößen und Energiestandards. In einer Sensitivitätsanalyse wird dabei auch der Einfluss der bestehenden Bandbreite von Nutzungsgraden (Unterschiede zwischen Standardannahmen und Feldversuchen) der Systeme berücksichtigt.

Dabei werden Heizungssysteme für Ein- und Mehrfamilienhäuser untersucht. Die definierten Geometrien der Referenzgebäude orientieren sich an einem Doppelhaus-/ bzw. Reihenendhaus und einem Mehrfamilienhaus der IWU-Gebäudetypologie der Epoche 1984-1994.



Das Reihenendhaus hat eine beheizte Wohnfläche von 116 m², während das Mehrfamilienhaus 10 Wohneinheiten beinhaltet und 707 m² Wohnfläche aufweist.

Neben der Geometrie der Referenzgebäude werden vier Energiestandards definiert Ein unsanierter Altbau, eine EnEV09 Neubau, ein KfW Effizienzhaus Neubau sowie ein Passivhaus Neubau. Daraus ergeben sich die folgenden acht Referenzgebäude:

Geometrie	Baustandard	Bezeichnung
RH_H	Altbau unsaniert	RefBuild1
RH_H	EnEV09 Neubau	RefBuild2
RH_H	KfW Effizienzhaus 70 Neubau	RefBuild3
RH_H	Passivhaus Neubau	RefBuild4
MFH_H	Altbau unsaniert	RefBuild5
MFH_H	EnEV09 Neubau	RefBuild6
MFH_H	KfW Effizienzhaus 70 Neubau	RefBuild7
MFH_H	Passivhaus Neubau	RefBuild8

Den Heizungssystemen für die jeweiligen Referenzgebäude liegen folgende allgemeine Annahmen zu Grunde: Heizungspufferspeicher sind für Scheitholz-, Pellets-, Hackschnitzel- und BHKW-Systeme vorgesehen. Grund hierfür ist vor allem die eine nicht optimale Modulationsfähigkeit der Systeme. Für Wärmepumpen werden diese hingegen nur für den Fall einer Radiatorheizung berücksichtigt. Solarthermische Anlagen zur Brauchwassererwärmung sind prinzipiell für jedes System berücksichtigt, wenngleich sie nicht in jeder Kombination sinnvoll sind. So erscheint dies im Falle des EnEV09 Neubaus mit Gas- und Ölkessel notwendig. Weiterhin wird eine solarthermische Anlage zusammen mit einem BHKW oder Fernwärmeanschluss nicht empfohlen. Speicher-, Verteil- und Übergabeverluste der Heizungssysteme werden pro System anhand der DIN 4701:10 flächenspezifisch berücksichtigt.

Weitere wichtige Annahmen sind die jeweiligen Systemtemperaturen der Heizungssysteme, die für die Altbauten mit 70°/ 55°C, für die EnEV09 Neubauten mit 55°/ 45°C, für die KfW Effizienzhäuser mit 35°/ 28°C und für die Passivhäuser aufgrund der Zulufterwärmung im Lüftungskanal mit 55°/ 45°C angenommen sind. Die Wärmeübergabe geschieht bei den

Altbauten und den EnEV09-Neubauten mit Radiatoren, bei den KfW-Effizienzhäusern mit Fußbodenheizungen und im Passivhaus mit über die Zuluft.

Folgende Tabellen geben einen Überblick der untersuchten Systeme.

Heizungssysteme Reihenhendhaus				
EFH-Altbau unsaniert		Brennstoff	14,7 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Brennwertkessel	Öl		
3	Niedertemperaturkessel	Öl		
4	Niedertemperaturkessel	Pellets		
5	Scheitholzessel	Scheitholz		
6	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
7	Sole-Wasser WP	Gas-Absorption		
8	Luft-Wasser WP	Elektrisch		
9	Motor BHKW	Erdgas		
10	Stirling BHKW	Pellets		
11	Fernwärme	konventionell		
12	Fernwärme	regenerativ		
EFH-Neubau EnEV09		Brennstoff	5,1 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Brennwertkessel	Öl		
3	Brennwertkessel	Pellets		
4	Niedertemperaturkessel	Pellets		
5	Scheitholzessel	Scheitholz		
6	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
7	Luft-Wasser WP	Elektrisch		
8	Motor BHKW	Erdgas		
9	Stirling BHKW	Pellets		
10	Fernwärme	konventionell		
11	Fernwärme	regenerativ		
12	Brennwert & Kaminofen	50% Gas, 50% Pellets		
EFH-Neubau KfW 70		Brennstoff	3,9 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Brennwertkessel	Pellets		
3	Niedertemperaturkessel	Pellets		
4	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
5	Luft-Wasser WP	Elektrisch		
EFH-Neubau Passivhaus		Brennstoff	1,6 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Direktheizung	Elektrisch		
3	Kaminofen mit W-Tasche	Pellets		
4	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
5	Luft-Luft WP	Elektrisch		
6	Fernwärme	regenerativ (V5 E-Balance)		

Heizungssysteme Mehrfamilienhaus				
MFH-Altbau unsaniert		Brennstoff	82,3 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Niedertemperaturkessel	Gas		
3	Brennwertkessel	Öl		
4	Niedertemperaturkessel	Öl		
5	Niedertemperaturkessel	Hackschnitzel		
6	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
7	Sole-Wasser WP	Gas-Absorption		
8	Luft-Wasser WP	Elektrisch		
9	Motor BHKW	Erdgas		
10	Fernwärme	konventionell		
11	Fernwärme	regenerativ (V5 E-Balance)		
MFH-Neubau EnEV09		Brennstoff	29,3 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Brennwertkessel	Öl		
3	Niedertemperatur	Hackschnitzel		
4	Sole-Wasser WP	Gas-Absorption		
5	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
6	Luft-Wasser WP	Elektrisch		
7	Motor BHKW	Erdgas		
8	Fernwärme	konventionell		
9	Fernwärme	regenerativ (V5 E-Balance)		
MFH-Neubau KfW 70		Brennstoff	23,1 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Niedertemperaturkessel	Pellets		
3	Sole-Wasser WP	Gas-Absorption		
4	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
MFH-Neubau Passivhaus		Brennstoff	9,5 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Niedertemperaturkessel	Pellets		
3	Sole-Wasser WP	Gas-Absorption		
4	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
5	Fernwärme	konventionell		
6	Fernwärme	regenerativ (V5 E-Balance)		

Die Aufteilung des Brennstoffs für KWK-Anlagen geschieht in Anlehnung an die KWK-Richtlinie der EU nach der „Finnischen Methode“. Die Wärmepumpen im Altbau sind monoenergetisch ausgelegt. Um Temperaturniveaus von 70°/55°C erreichen zu können, werden diese mit einem pauschalen Wert auf die Endenergie für den Heizstab beaufschlagt. Dieser beträgt 8% bei Sole-Wasser WP und 4% für die Luft-Wasser WP.

Für die Warmwasserbereitung werden ebenfalls separate Aufwandszahlen definiert. Diese sind Kapitel 4 zu entnehmen, ebenso wie die Emissions- und Primärenergiefaktoren.

Die für die Berechnungen genutzten Energiepreise sind dem unten stehenden Szenario zu entnehmen.

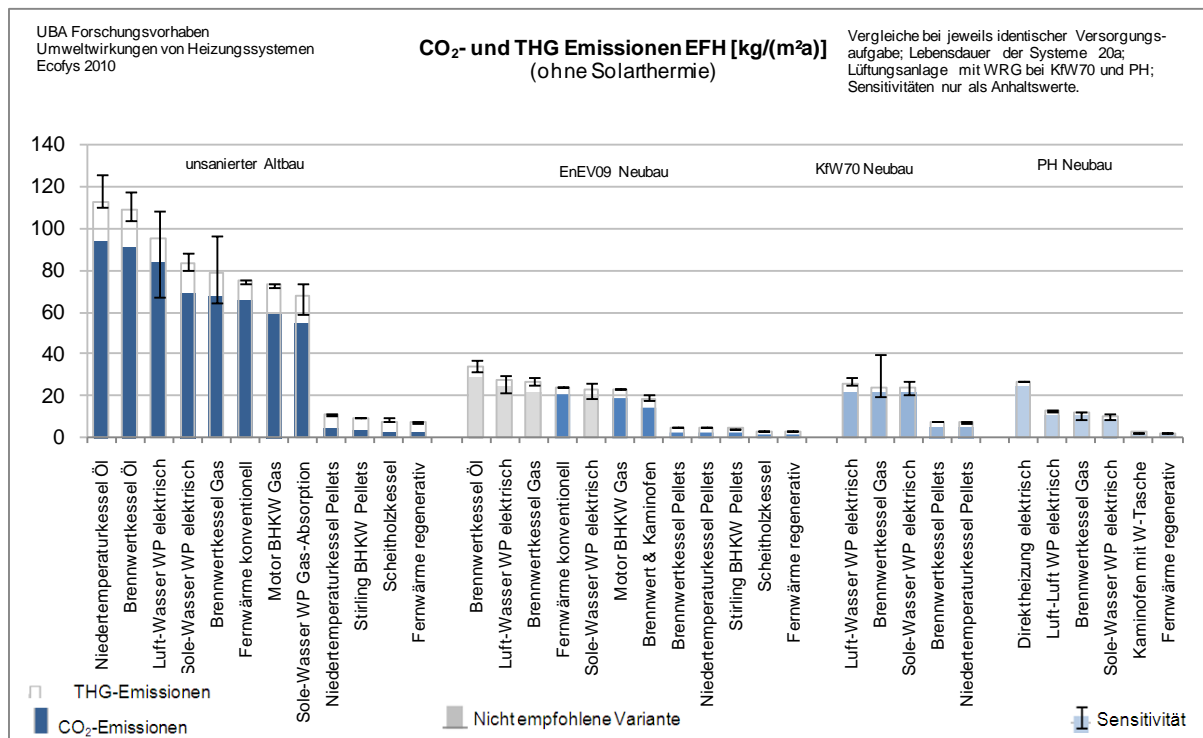
Energiepreise [€/ kWh]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Erdgas	Heizöl	Pellets	Hackschn	Scheitholz	EI konv	EI WP	FW konv	FW reg
2010	0,070	0,052	0,046	0,027	0,027	0,224	0,174	0,087	0,087
2020	0,080	0,058	0,052	0,030	0,030	0,226	0,175	0,098	0,098
2030	0,091	0,066	0,058	0,034	0,034	0,227	0,176	0,111	0,111
Durchschnitt	0,080	0,059	0,052	0,030	0,030	0,226	0,175	0,098	0,098
Preissteigerung p.a.	1,35%	1,23%	1,23%	1,23%	1,23%	0,07%	0,07%	1,23%	1,23%

Fördermittel wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

In Hinblick auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird zwischen kapitalgebundenen Kosten (wie beispielsweise Investitionen), betriebsgebundenen Kosten (z.B. Wartung) und verbrauchsgebundenen Kosten (Brennstoffkosten) unterschieden. Eine ausführliche Aufstellung hierzu ist dem Bericht zu entnehmen.

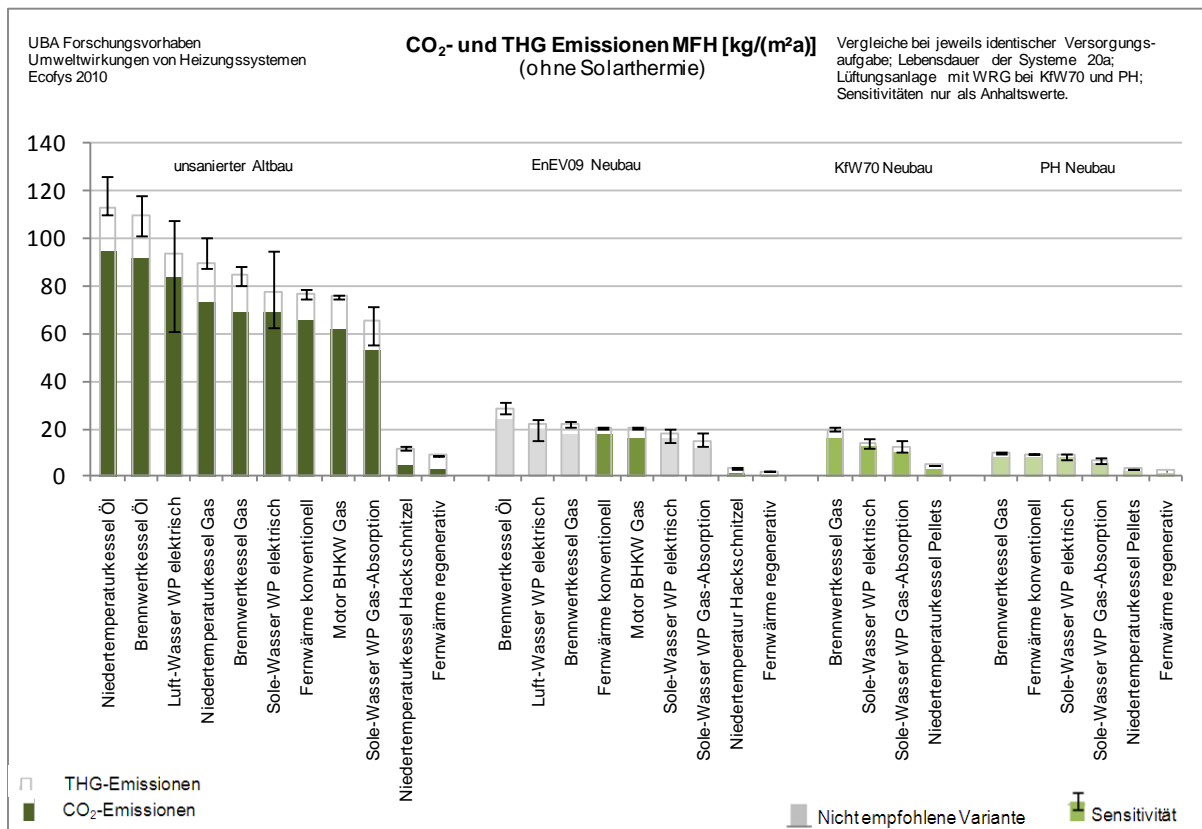
Ergebnisse

Wesentliches Ziel dieser Studie ist der Vergleich von Heizungssystemen anhand gleicher Versorgungsaufgaben, sowohl in Hinblick auf die Treibhausgasemissionen, als auch in Bezug auf die Gesamtkosten der Versorgung. Die folgenden Grafiken geben einen Überblick der Treibhausgas-Emissionen und der Jahresgesamtkosten.



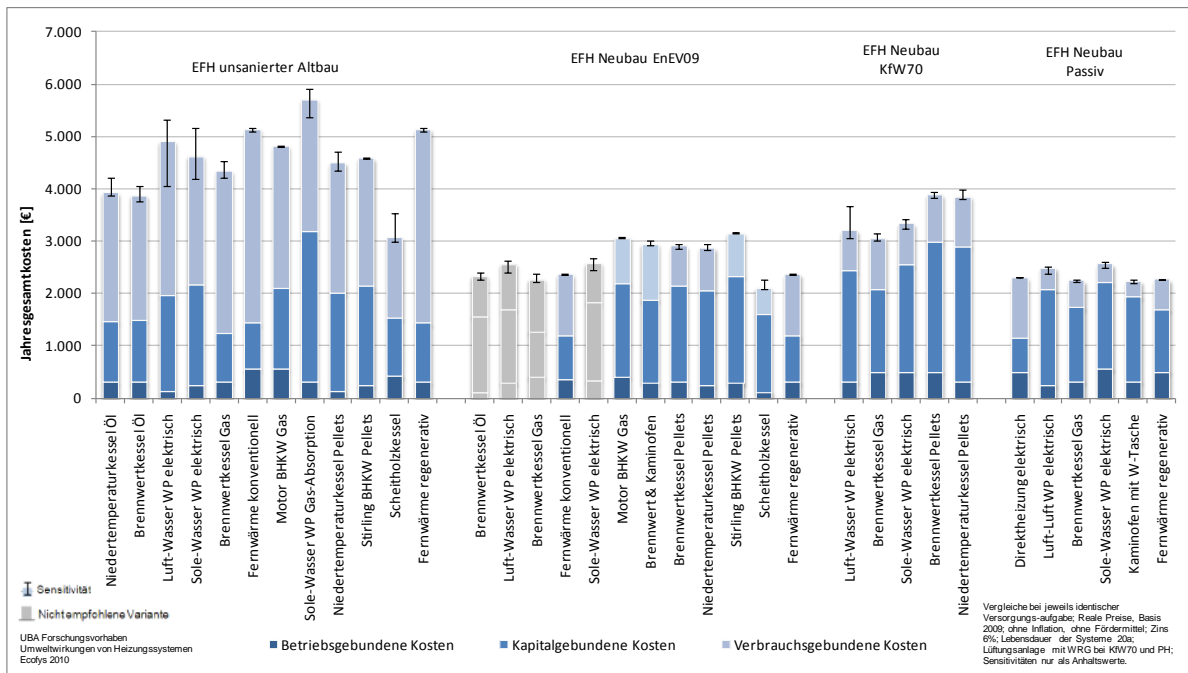
Wie erwartet emittieren die Heizungssysteme im unsanierten Altbau die meisten Emissionen. Hier weisen die Öl-Niedertemper- bzw. Brennwärtekessel die höchsten spezifischen Emissionen auf. Elektrische Sole-Wasser-Wärmepumpen weisen aufgrund der höheren Jahresarbeitszahl etwas bessere Werte als elektrische Luft-Wasser-Wärmepumpen auf. Bei Wärmepumpen können je nach Einsatz größere Schwankungen auftreten. Die Streuung ist hier größer als beispielsweise beim Gas-Brennwärtekessel. Sehr wenig CO₂ emittieren die Scheitholz- und Pelletkessel, die auf ähnlichem Niveau liegen wie die regenerative Fernwärme. Diese Reihenfolge ist bei den drei anderen Energiestandards nahezu gleich. In

der Tendenz werden die spezifischen Emissionen bis hin zum Passivhaus immer kleiner. Im Fall des Passivhauses fallen die hohen Emissionen der elektrischen Direktheizung auf. Erzeugt ein Gas-Brennwertkessel im unsanierten Altbau etwa noch weniger Emissionen im Vergleich zur Sole-Wasser Wärmepumpe, so kehrt sich dieser Effekt bei den Neubauten um. Weiterhin ist auffällig, dass ein Gas-Brennwertkessel im Passivhaus weniger Emissionen verursacht als alle konventionellen, fossilen Heizungsanlagen im KfW-70-Effizienzhauses. Die Emissionsübersichten für das Mehrfamilienhaus sehen ähnlich aus. Auch hier ist zu erkennen, dass die Heizungssysteme der Passivhäuser im Durchschnitt die niedrigsten spezifischen Emissionen aufweisen. Beim Mehrfamilienhaus und beim Reihenendhaus ist die Sole-Wasser Wärmepumpe auch im unsanierten Altbau leicht besser als die Gaskessel, beim Mehrfamilienhaus allerdings mit sehr viel größeren Schwankungen verbunden. Alle Systeme im Passivhaus verursachen weniger spezifische Emissionen als die fossilen Systeme im Fall des KfW-70-Effizienzhauses oder des EnEV-2009-Neubaus.

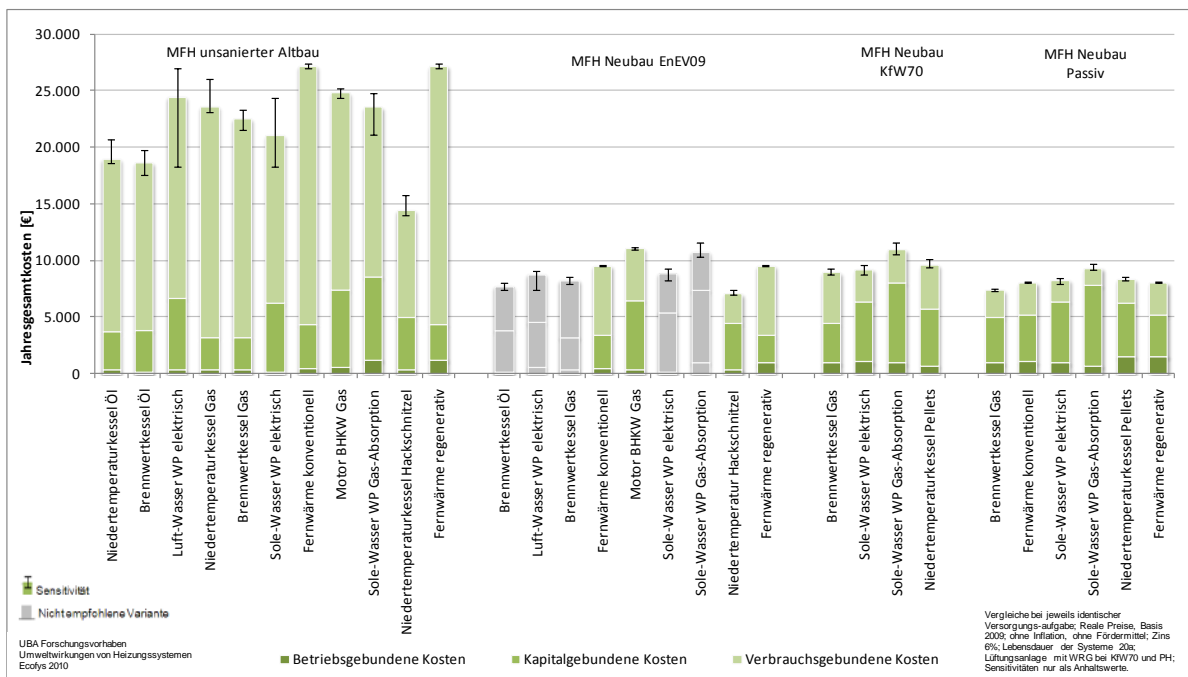


Die Jahresgesamtkosten sind für die Heizungssysteme im unsanierten Bestand nahezu in jedem Fall größer als diejenigen für die Neubauten. Weiterhin sind die Kosten für das KfW-70-Effizienzhaus größer als die für den EnEV-2009-Neubau. Dies ist mit den zusätzlichen Kosten für die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zu erklären, die sowohl die kapitalgebundenen Kosten (Investition) als auf die verbrauchsgebundenen Kosten (Stromverbrauch) erhöhen, was bei den untersuchten Fällen nicht vollständig durch eingesparte Energiekosten kompensiert wird. Hierbei ist jedoch auch die Bedeutung von Lüftungsanlagen für einen hygienisch und bautechnisch ausreichenden (aber auch nicht zu hohen) Luftwechsel zu beachten. Je geringer der Heizwärmebedarf des Gebäudes, desto geringer ist auch der Abweichung der Jahresgesamtkosten untereinander. Bei den BHKW-Anlagen sind die kapitalgebundenen Kosten im unsanierten Altbau am höchsten. Wärmepumpen sind in den Jahresgesamtkosten für die Heizungssysteme höher zu beziffern als die für Gas-Brennwertkessel. Öl-Niedertemperatur- und Brennwertkessel sind nochmals etwas günstiger. Dies ist auf den relativ moderaten Ölpreis zurückzuführen, der bei hohen Heizwärmebedarfen einen größeren Einfluss hat als bei niedrigen. In allen Fällen stellt sich der Gas-Brennwertkessel etwas besser dar als die Sole-Wasser Wärmepumpe, bei der gleichzeitig die Schwankungsbreite aufgrund der definierten

Aufwandszahlen deutlich größer ist. Für Selbstversorger stellen Scheitholzkessel eine sehr günstige Versorgungsvariante dar, die jedoch nur in wenigen Fällen aufgrund der notwendigen Infrastruktur und manuellen Beschickung in Frage kommt. Die Heizungssysteme im Passivhaus sind im Mittel etwas günstiger als diejenigen im KfW70 bzw. im EnEV09 Neubau. Hier lassen sich demzufolge Emissionen sparen und zugleich die Wirtschaftlichkeit verbessern. Mit zunehmend effizienteren Gebäudetypen wird der relative Anteil der kapitalgebundenen Kosten größer und der Einfluss der verbrauchsgebundenen Kosten kleiner. Dieser Effekt ist besonders gut beim Gas-Brennwertkessel zu beobachten, der für jeden Energiestandard zum Einsatz kommt. Bei relativ niedrigen Heizwärmebedarfen (wie beispielsweise Passivhaus-Mehrfamilienhäusern bzw. –siedlungen wird eine Versorgung mit regenerativer Fern- bzw. Nahwärme zur Alternative, da nicht nur Emissionen gespart werden können, sondern auch die Kosten aufgrund der relativ großen Anzahl von Wohnungen vertretbar sind, siehe [Pehnt et al. 2008a].



Jahresgesamtkosten der Heizungsanlagen im Reihenendhaus (ohne Solarthermie)



Jahresgesamtkosten der Heizungsanlagen im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie)

Executive Summary

Research task and approach

The objective of the study is a comprehensive comparison of common and innovative heating systems for the heat supply of residential buildings. The comparison is based on fixed tasks of the supply of space heating, water heating as well as ventilation of the buildings - for different building sizes and energy standards. A sensitivity analysis considers also the influence of the existing range of the efficiencies (differences between standard assumptions and field tests) of the systems.

Heating systems for single and multiple dwelling houses are examined. The defined shapes of the reference buildings represent a multi-family and a semi-detached house of the IWU Building Typology of the period of 1984-1994.



The semi-detached house has a heated floor space of 116 m², while the multi-family house has 10 dwellings and 707 m² floor space. Besides the reference building shape, four energy standards are defined: a non-refurbished old building, and new buildings according to the standards of the Energy Saving Ordinance 2009 (EnEV09), KfW efficiency house 70 as well as a passive house. The following eight reference buildings result from this:

Geometrie	Baustandard	Bezeichnung
RH_H	Non-refurbished old building	RefBuild1
RH_H	EnEV09 new building	RefBuild2
RH_H	KfW efficiency 70 new house	RefBuild3
RH_H	New passive house	RefBuild4
MFH_H	Non-refurbished old building	RefBuild5
MFH_H	EnEV09 new building	RefBuild6
MFH_H	KfW efficiency 70 new house	RefBuild7
MFH_H	New passive house	RefBuild8

The heating systems of the respective reference buildings are based on the following general assumptions: Heating buffer storages are intended for log wood, wood pellet, wood chips and CHP¹ systems. The reason for this is the scarce modulation ability of the systems. For heat pumps with radiators, buffer storages are considered. Solar thermal systems for water heating are in principle considered for each system, although they make not in each combination sense or are dispensable. This appears to be necessary in case of the EnEV09 of new buildings with gas and oil-fired boilers. Further, for CHP systems or district heating a solar thermal system is not recommended. Heat losses for storage, distribution and transfer are relating to the net dwelling area individually per system according to DIN 4701-10.

Important assumptions are the temperatures of the heating systems, which are presumed for the old buildings as 70/55 °C, for EnEV09 new buildings as 55/45 °C, for KfW efficiency 70 houses as 35/28 °C and for the passive houses due to the heat exchangers in the air duct as

¹ Combined heat and power (CHP)

55/45 °C. The heat transfer in old buildings and in EnEV09-buildings is done by radiators, in KfW efficiency house by under-floor heatings and in the passive house by the supplied air.

The following tables give an overview of the examined systems.

Heating systems Row-end house			
Non-refurbished old house		Input	14,7 kW
1	Condensing boiler	Gas	
2	Condensing boiler	Oil	
3	Non-condensing boiler	Oil	
4	Non-condensing boiler	Pellets	
5	Log wood boiler	Firewood	
6	Brine-water heat pump	Electricity	
7	Brine-water heat pump	Gas-Absorption	
8	Air-water heat pump	Electricity	
9	Gas CHP	Gas	
10	Stirling CHP	Pellets	
11	District heat	konventionell	
12	District heat	regenerativ	
New EnEV09 house		Input	5,1 kW
1	Condensing boiler	Gas	
2	Condensing boiler	Oil	
3	Condensing boiler	Pellets	
4	Non-condensing boiler	Pellets	
5	Log wood boiler	Firewood	
6	Brine-water heat pump	Electricity	
7	Air-water heat pump	Electricity	
8	Gas CHP	Gas	
9	Stirling CHP	Pellets	
10	District heat	konventionell	
11	District heat	regenerativ	
12	Condensing boiler & Log wood stove	50% gas, 50% firewood	
New KfW70 house		Input	3,9 kW
1	Condensing boiler	Gas	
2	Condensing boiler	Pellets	
3	Non-condensing boiler	Pellets	
4	Brine-water heat pump	Electricity	
5	Air-water heat pump	Electricity	
New passive houser		Input	1,6 kW
1	Condensing boiler	Gas	
2	Electric resistance heating	Electricity	
3	Pellet stove	Pellets	
4	Water-brine heat pump	Electricity	
5	Air-air heat pump	Electricity	
6	District heat	regenerativ	

Heating systems Multi-family house			
Non-refurbished old house		Input	82,3 kW
1	Condensing boiler	Gas	
2	Non-condensing boiler	Gas	
3	Condensing boiler	Oil	
4	Non-condensing boiler	Oil	
5	Non-condensing boiler	Wood chips	
6	Brine-water heat pump	Electricity	
7	Brine-water heat pump	Gas-Absorption	
8	Air-water heat pump	Electricity	
9	Gas CHP	Gas	
10	District heat	konventionell	
11	District heat	regenerativ	
New EnEV09 house		Input	29,3 kW
1	Condensing boiler	Gas	
2	Condensing boiler	Oil	
3	Non-condensing boiler	Wood chips	
4	Brine-water heat pump	Gas-Absorption	
5	Brine-water heat pump	Electricity	
6	Air-water heat pump	Electricity	
7	Gas CHP	Gas	
8	District heat	konventionell	
9	District heat	regenerativ	
New KfW70 house		Input	23,1 kW
1	Condensing boiler	Gas	
2	Non-condensing boiler	Pellets	
3	Brine-water heat pump	Gas-Absorption	
4	Brine-water heat pump	Electricity	
New passive houser		Input	9,5 kW
1	Condensing boiler	Gas	
2	Non-condensing boiler	Pellets	
3	Brine-water heat pump	Gas-Absorption	
4	Brine-water heat pump	Electricity	
5	District heat	konventionell	
6	District heat	regenerativ	

The allocation of the fuel for CHP systems is based on the CHP guideline of the European Union [DIRECTIVE 2004/8/EC] according to the "Finnish method". The heat pumps in the non-refurbished old house are working in a mono-energetic way. In order to reach temperature levels up to 70/55 °C, a surplus is added to the final energy for the heating. This amounts to 8 % with brine water heat pumps and 4 % for the air water heat pump.

Efficiencies for tab water heating are defined in chapter 4, as well as emission factors and primary energy factors.

The following energy price scenario is taken into account:

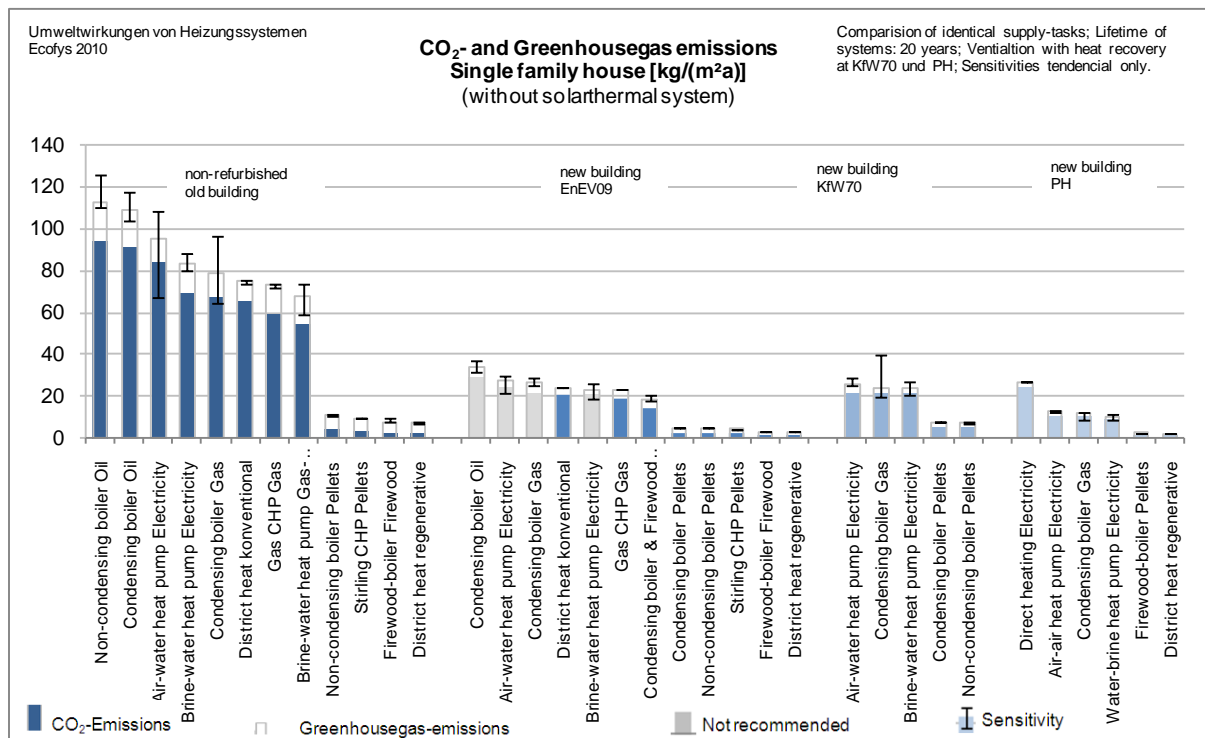
Energy prices [€/ kWh]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Gas	Oil	Pellets /ood-chips	Firewood	Electricity	EL for HP	DH	DH reg	
2010	0,070	0,052	0,046	0,027	0,027	0,224	0,174	0,087	0,087
2020	0,080	0,058	0,052	0,030	0,030	0,226	0,175	0,098	0,098
2030	0,091	0,066	0,058	0,034	0,034	0,227	0,176	0,111	0,111
Average	0,080	0,059	0,052	0,030	0,030	0,226	0,175	0,098	0,098
Price increase p.a.	1,35%	1,23%	1,23%	1,23%	1,23%	0,07%	0,07%	1,23%	1,23%

Financial incentives have not been taken into account.

The economic analysis distinguishes between capital-related costs (as for example investments), maintenance-related costs (e.g. servicing) and consumption-related costs (fuel costs). For more detailed information, please refer to the full report.

Results

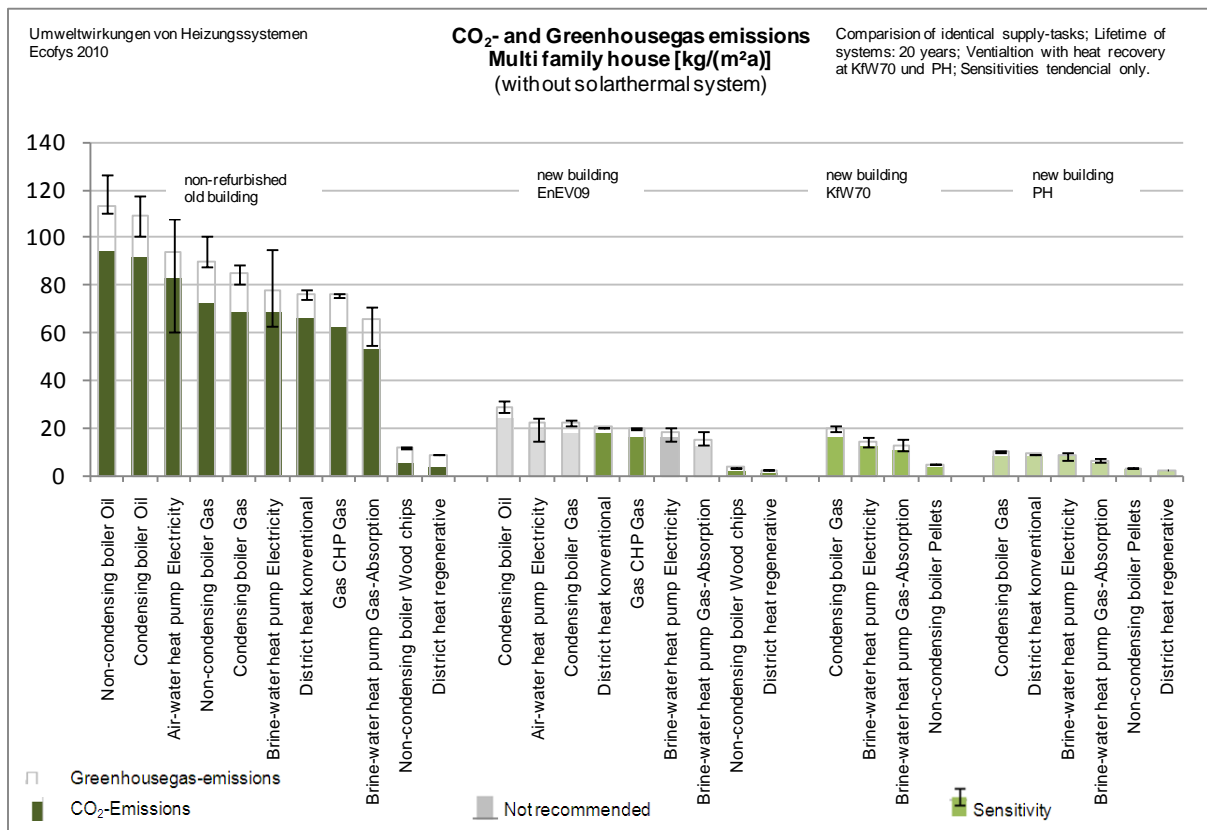
The aim of this study is the comparison of heating systems of the same supply task, in view of the greenhouse gas emissions, as well as concerning total costs. The following graphs give an overview of the greenhouse gas emissions and the total annual costs.



It is striking that the highest emissions are emitted by the non-refurbished old building. Oil non-condensing or condensing boilers have the highest specific emissions. Brine-water heat pumps are in terms of emissions a little better than air heat pumps because of the better seasonal performance factor. By heat pumps bigger variations can appear according to application. The dispersion is bigger here than, for example, with the gas condensing boiler. Emissions from the log wood boilers and pellet boilers, which account to a similar level as the regenerative district heating, are very low. This order is nearly the same with the 3 other energy standards. In the trend the specific emissions up to the passive house become smaller and smaller. In addition, in the case of the passive house the electric direct heating shows very high emissions.

A gas condensing boiler in the non-refurbished old building produces a bit more emissions in comparison to the brine-water heat pump, both in non-refurbished and new buildings. Furthermore it is remarkable that a gas condensing boiler in the passive house causes less emissions than all conventional, fossil heating systems in the KfW70 new building.

The overview for the multi-family house looks similar. Also here is to be recognised that the passive houses show on average the lowest specific emissions. All systems in the passive house cause less specific emissions than the fossil systems in the case of KfW70 or EnEV09 of new building.

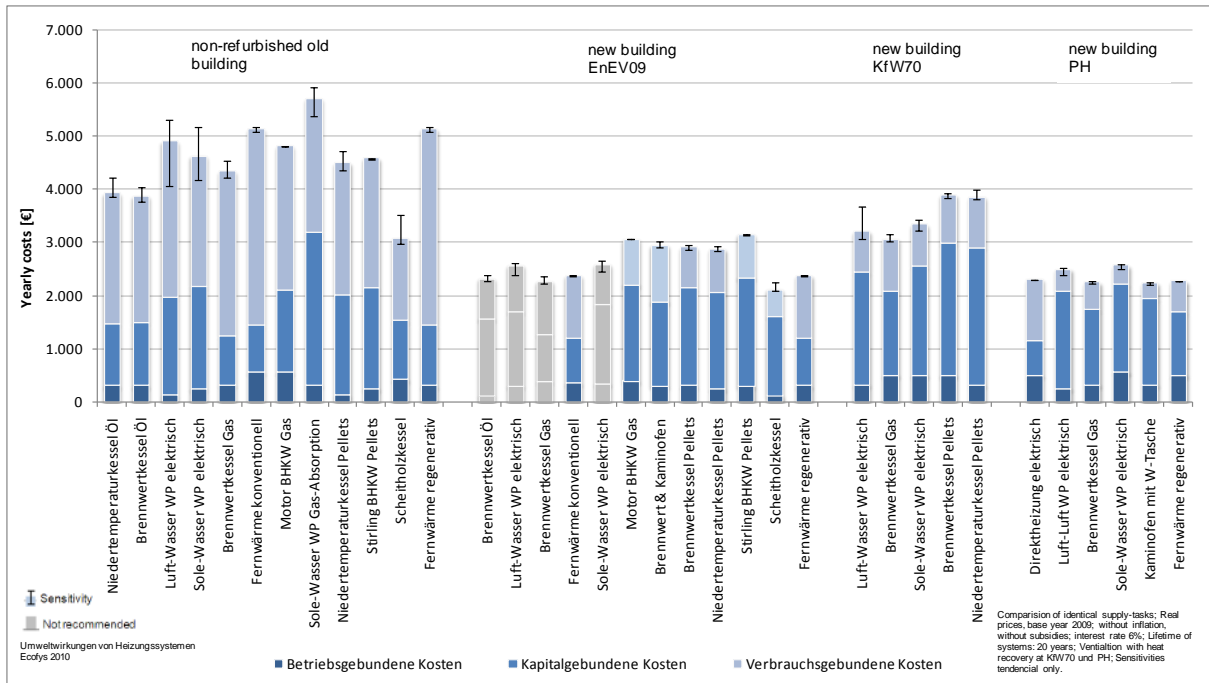


The annual total expenses for the heating systems in the non-refurbished old house are in nearly any case greater than those for the new buildings. Furthermore becomes obvious, that the costs are higher for the KfW70 new building than for the EnEV09 new building. This is to be explained with the costs for the additional ventilation system with heat recovery which raise the capital-related costs (investment) as well as the consumption-related costs (electricity consumption), who are not fully overcompensated by the saved energy costs due to the system. However, the impact of ventilation systems on the hygienic sufficient air exchange has to be considered. The lower the heating need of the building, the lower the divergence of the annual total expenses. The capital-related costs are the highest for CHP systems in the non-refurbished old house. Heat pumps are annually more expensive than gas condensing boilers. Oil low temperature and condensing boilers are even a little less expensive.

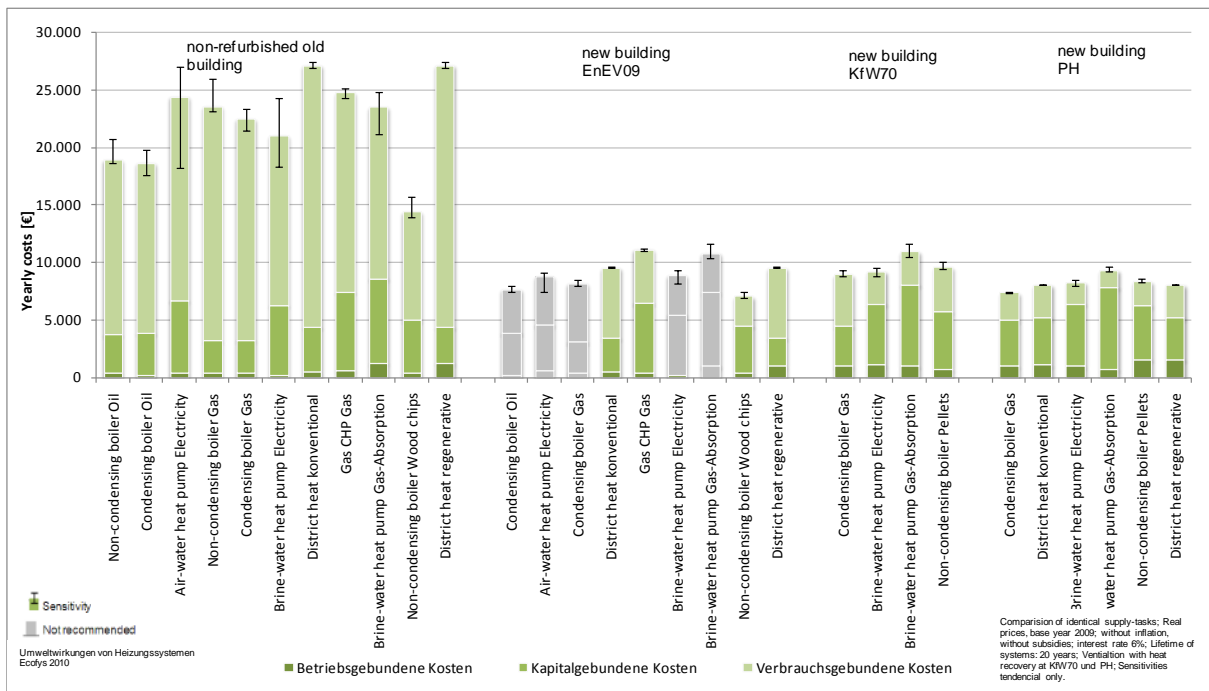
In all cases it turns out, that the gas condensing boiler is a little better than the brine-water heat pump, by which at the same time the variation width is bigger. The heating systems in the passive house are slightly less expensive on average to those in the KfW70 or in the EnEV09 new building. Here emissions can be reduced and cost efficiency established at the same time. With increasingly more efficient building types the relative share of the capital-related costs becomes bigger and the influence of the consumption-related costs smaller. This effect is to be observed especially with the gas condensing boiler, which is used for every energy standard. With relatively low heating needs (as for example to passive house

UMWELTWIRKUNG VON HEIZUNGSSYSTEMEN IN DEUTSCHLAND

apartment houses or settlements) a supply with regenerative district heat will be an alternative, because not only emissions are relatively moderate, but also the costs are moderate due to a big number of flats, see [Pehnt et al. 2008a].



Total costs for the Single-family house (without solarthermal system)



Total costs for the Multi-family house (without solarthermal system)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungen

Zusammenfassung	I
Executive Summary	VI
1 Einleitung.....	1
2 Definition von Referenzgebäuden.....	2
2.1 Geometrie	2
2.2 Energiestandard.....	3
3 Definition der Heizungssysteme.....	5
3.1 Einfamilienhaus (EFH)	6
3.1.1 Altbau unsaniert	6
3.1.2 Neubau nach Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV)	7
3.1.3 Neubau KfW-Effizienzhaus 70.....	7
3.1.4 Neubau als Passivhaus.....	8
3.2 Mehrfamilienhaus (MFH)	9
3.2.1 Altbau unsaniert	9
3.2.2 Neubau nach Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV)	9
3.2.3 Neubau KfW-Effizienzhaus 70.....	10
3.2.4 Neubau als Passivhaus.....	10
4 Energetische Parameter	10
4.1 Aufwandszahlen der Systeme	10
4.2 Emissions- und Primärenergiefaktoren.....	13
4.3 Auslegung der Heizungssysteme	15
5 Ökonomische Parameter	16
5.1 Methode der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	16
5.2 Zinssätze, Inflation und Steuern	16
5.3 Energiepreise	17
5.4 Kostenkomponenten	17
5.4.1 Kapitalgebundene Kosten	17
5.4.2 Betriebsgebundene Kosten	20

5.4.3	Verbrauchsgebundene Kosten	22
6	Ergebnisse	25
6.1	End- und Primärenergiebedarfe	26
6.1.1	Endenergiebedarfe.....	26
6.1.2	Primärenergiebedarfe.....	28
6.2	Emissionen der Systeme im Vergleich	31
6.3	Jahresgesamtkosten der Systeme im Vergleich	38
6.4	Weiterer Forschungsbedarf und Ausblick	43
6.4.1	Erweiterungen und Fortführung im Rahmen dieser Studie	43
6.4.2	Ausweitung des Betrachtungsrahmens auf die Gebäudehülle	43
6.4.3	Einbeziehung zukünftiger Konzepte	43
Anhang A – Grafiken		47
Anhang B - Tabellen.....		49
Anhang C – BHKW Auslegung		64
Anhang D – Aufwandszahlen aus Feldtests		67

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Die Referenzgebäude	2
Abb. 2: Definition von KfW-Effizienzhäusern (Quelle: KfW)	7
Abb. 3: Kapitalgebundene Kosten im Einfamilienhaus.....	19
Abb. 4: Kapitalgebundene Kosten im Mehrfamilienhaus.....	20
Abb. 5: Betriebsgebundene Kosten im Einfamilienhaus.....	20
Abb. 6: Betriebsgebundene Kosten im Mehrfamilienhaus.....	21
Abb. 7: Verbrauchsgebundene Kosten im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)	23
Abb. 8: Verbrauchsgebundene Kosten im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)	23
Abb. 9: Verbrauchsgebundene Kosten im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie)	24
Abb. 10: Verbrauchsgebundene Kosten im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie).....	24
Abb. 11: Endenergiebedarf Heizwärme im Einfamilienhaus	26
Abb. 12: Endenergiebedarf Heizwärme im Mehrfamilienhaus.....	27
Abb. 13: Endenergiebedarf Warmwasser im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)	27
Abb. 14: Endenergiebedarf Warmwasser im Einfamilienhaus (mit Solarthermie).....	28
Abb. 15: Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie).....	29
Abb. 16: Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus (mit Solarthermie).....	29
Abb. 17: Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie).....	30
Abb. 18: Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie).....	30
Abb. 19: CO ₂ - und Treibhausgas-Emissionen im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie).....	33
Abb. 20: CO ₂ - und Treibhausgas-Emissionen im Einfamilienhaus (mit Solarthermie).....	34
Abb. 21: CO ₂ - und Treibhausgas-Emissionen im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie).....	35
Abb. 22: CO ₂ - und Treibhausgas-Emissionen im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie)	36
Abb. 23: Jahresgesamtkosten der Heizungsanlagen im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)	39
Abb. 25: Jahresgesamtkosten der Heizungsanlagen im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)	40
Abb. 26: Jahresgesamtkosten der Heizungsanlagen im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie).....	41
Abb. 27: Jahresgesamtkosten der Heizungsanlagen im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie)	42
Abb. 28: Aufwandszahlen zur Heizwärmebereitstellung im Einfamilienhaus.....	47
Abb. 29: Aufwandszahlen zur Heizwärmebereitstellung im Mehrfamilienhaus.....	47

Abb. 30: Aufwandszahlen zur Warmwasserbereitstellung im Einfamilienhaus.....	48
Abb. 31: Aufwandszahlen zur Warmwasserbereitstellung im Mehrfamilienhaus.....	48
Abb. 32: Referenzprofil Heizwärme und Trinkwasser für den MFH Altbau.....	65
Abb. 33: Referenzprofil Heizwärme und Trinkwasser für den MFH EnEV09 Neubau.	66

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Geometrie des Einfamilienhauses	2
Tab. 2: Geometrie des Mehrfamilienhauses	3
Tab. 3: Variantenübersicht	4
Tab. 4: U-Werte der Einfamilienhausvarianten	4
Tab. 5: U-Werte der Mehrfamilienhausvarianten	5
Tab. 6: Heizungssysteme im Einfamilienhaus	6
Tab. 7: Heizungssysteme im Mehrfamilienhaus.....	9
Tab. 8: Primärenergiefaktoren	13
Tab. 9: Emissionsfaktoren	13
Tab. 10: CO, NOx und Feinstaubemissionsfaktoren (bezogen auf Brennstoff- bzw. Energieeinsatz)	14
Tab. 11: Heizwärmebedarfe	15
Tab. 12: Heizlasten	15
Tab. 13: Energiepreise	17
Tab. 14: Beispiel eines Berechnungsdatenblattes	25
Tab. 15: Emissionen von Luftschadstoffen am Beispiel des EnEV09-Neubaus EFH.....	37
Tab. 16: Aufwandszahlen zur Heizwärmebereitstellung im Einfamilienhaus	49
Tab. 17: Aufwandszahlen zur Heizwärmebereitstellung im Mehrfamilienhaus	49
Tab. 18: Aufwandszahlen zur Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus	50
Tab. 19: Aufwandszahlen zur Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhaus	50
Tab. 20: Kapitalgebundene Kosten der Heizungssysteme im Einfamilienhaus	51
Tab. 21: Kapitalgebundene Kosten der Heizungssysteme im Mehrfamilienhaus	51
Tab. 22: Betriebsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Einfamilienhaus.....	52
Tab. 23: Betriebsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Mehrfamilienhaus	52
Tab. 24: Verbrauchsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie).....	53
Tab. 25: Verbrauchsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Einfamilienhaus (mit Solarthermie).....	53
Tab. 26: Verbrauchsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie).....	54
Tab. 27: Verbrauchsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie).....	54
Tab. 28: Spezifische Endenergiebedarfe zur Heizwärmeerzeugung im Einfamilienhaus	55
Tab. 29: Spezifische Endenergiebedarfe zur Heizwärmeerzeugung im Mehrfamilienhaus	55

Tab. 30: Spezifische Endenergiebedarfe zur Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie).....	56
Tab. 31: Spezifische Endenergiebedarfe zur Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie).....	56
Tab. 32: Spezifische Endenergiebedarfe zur Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus (mit Solarthermie).....	57
Tab. 33: Spezifische Endenergiebedarfe zur Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie).....	57
Tab. 34: Spezifische Primärenergiebedarfe im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)	58
Tab. 35: Spezifische Primärenergiebedarfe im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie)	58
Tab. 36: Spezifische Primärenergiebedarfe im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)	59
Tab. 37: Spezifische Primärenergiebedarfe im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie)	59
Tab. 38: Spezifische CO ₂ -Emissionen im Einfamilienhaus (ohne Vorkette, ohne Solarthermie).....	60
Tab. 39: Spezifische CO ₂ -Emissionen im Mehrfamilienhaus (ohne Vorkette, ohne Solarthermie).....	60
Tab. 40: Spezifische Treibhausgas-Emissionen im Einfamilienhaus (mit Vorkette, ohne Solarthermie).....	61
Tab. 41: Spezifische Treibhausgas-Emissionen im Mehrfamilienhaus (mit Vorkette, ohne Solarthermie).....	61
Tab. 42: Jahresgesamtkosten im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie).....	62
Tab. 43: Jahresgesamtkosten im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie).....	62
Tab. 44: Jahresgesamtkosten im Einfamilienhaus (mit Solarthermie).....	63
Tab. 45: Jahresgesamtkosten im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie).....	63
Tab. 46: Bestimmung des Heizwärmebedarfs und des Trinkwarmwasserbedarfs anhand der VDI 4655 für den unsanierten MFH-Altbau.	64
Tab. 47: Bestimmung des Heizwärmebedarfs und des Trinkwarmwasserbedarfs anhand der VDI 4655 für den MFH EnEV09 Neubau.	65

Abkürzungen

ANF	Annuitätenfaktor
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BHKW	Blockheizkraftwerk
CO	Kohlenstoffmonoxid
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
HW	Heizwärme
IWU	Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
MFH	Mehrfamilienhaus
NOx	Stickoxide
PH	Passivhaus
PHPP	Passivhaus-Projektierungs-Paket
REH	Reihenendhaus
UBA	Umweltbundesamt
WW	Warmwasser

1 Einleitung

Im vorliegenden Forschungsbericht werden unterschiedliche Heizungssysteme in Bezug auf ihre Umweltwirksamkeit und Gesamtkosten analysiert und verglichen.

Ziel der Studie ist ein umfassender Vergleich gängiger und innovativer Anlagen- und Bausysteme zur Wärmeversorgung von Wohngebäuden. Der Vergleich basiert dabei auf einer festgelegten Versorgungsaufgabe - Bereitstellung von Heizwärme, Warmwasser sowie die Belüftung der Gebäude - für unterschiedliche Gebäudegrößen und Energiestandards. In einer Sensitivitätsanalyse wird dabei auch der Einfluss der bestehenden Bandbreite von Nutzungsgraden (Unterschiede zwischen Standardwerten und Feldversuchen) der Systeme berücksichtigt.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich bei der vorliegenden Studie nicht um einen Nachweis nach Energieeinsparverordnung oder Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz handelt. Vielmehr wurden die Berechnungen daran angelehnt um gleich Voraussetzungen zu schaffen. Darüber hinaus unterliegen die angenommenen Energiepreise und Investitionskosten natürlichen Schwankungen, die zu abweichenden Ergebnissen in Einzelfällen führen können. Daher sind die Ergebnisse als richtungsweisend anzusehen und können weder individuelle Nachweise noch eine Energieberatung im Einzelfall ersetzen.

Zunächst werden Geometrie und Energiestandard acht verschiedener Referenzgebäude in *Kapitel 2* definiert, die jeweils einen unsanierten Altbau und Neubauten nach EnEV 2009, KfW-Effizienzhaus 70 und Passivhausstandard für ein Reihenendhaus und ein Mehrfamilienhaus enthalten. Es werden jeweils zwei Geometrien und vier Energiestandards verwendet.

Anschließend werden in *Kapitel 3* die zu untersuchenden Heizungssysteme für die jeweiligen Referenzgebäude definiert. Es werden Annahmen zu Systemtemperaturen, Verteilsystemen, Gebäudehülle, Belüftung und Wärmebrücken getroffen.

In *Kapitel 4* werden schließlich die energetischen Parameter der Heizungssysteme festgelegt. Hier werden Aufwandszahlen für Heizwärme und Warmwasser angegeben für die Wärmeerzeugung sowie für Umwandlung, Speicherung und Verteilung. Neben dem Standardwert werden minimale und maximale Werte angegeben. Die Spanne ergibt sich aus der Schwankungsbreite zwischen berechneten Werten nach der DIN 4701-10 und den Feldtests. Weiterhin werden Emissions- und Primärenergiefaktoren festgelegt.

Die Randbedingungen zu den ökonomischen Parametern werden in *Kapitel 5* festgelegt. Hierzu gehören neben der Definition der wirtschaftlichen Analyseverfahren das Energiepreisszenario und die Angabe der kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten pro Heizungssystem.

Die Ergebnisse in Form von End- und Primärenergiebedarfen sowie CO₂-Emissionen und Jahresgesamtkosten der Systeme in Bezug auf die zuvor definierte Versorgungsaufgabe sind in *Kapitel 6* dargestellt.

2 Definition von Referenzgebäuden

2.1 Geometrie

Die geometrischen Parameter der Referenzgebäude orientieren sich an der IWU-Gebäudetypologie [Diefenbach et al. 2007]. Es wird jeweils eine Doppelhaus-/ bzw. Reihenendhausgeometrie und eine Mehrfamilienhausgeometrie festgelegt. Beide Geometrien stammen aus der Epoche 1984-1994 und sind in Abb. 1 dargestellt.

Abb. 1: Die Referenzgebäude



Die zugehörigen geometrischen Parameter sind in den Tab. 1 und Tab. 2 gegeben. Das Reihenendhaus hat eine beheizte Wohnfläche von 116 m², während das Mehrfamilienhaus 10 Wohneinheiten beinhaltet und 707 m² Wohnfläche aufweist.

Tab. 1: Geometrie des Einfamilienhauses

Titel	Unit	
Index	-	RH_H
Gebäudetyp	-	RH
Energiebezugsfläche gem. PHPP	m ²	116,0
Gebäudenutzfläche gem. EnEV	m ²	134,7
mittlere Raumhöhe	m	2,5
beheiztes Gebäude-volumen nach EnEV	m ³	421
Anzahl Vollgeschosse	-	2
Anzahl Wohneinheiten	-	1
Oberster Gebäudeabschluss		
Bezeichnung	-	Satteldach
Fläche	m ²	64,87
Wände		
Bezeichnung	-	Außenwände
Fläche	m ²	112,9
Unterer Gebäudeabschluss		
Bezeichnung	-	Kellerdecken
Fläche	m ²	56,08
AV	m ⁻¹	0,61
Transparente Bauteile		
F-Fläche Süd	m ²	3,00
F-Fläche O/W	m ²	18,75
F-Fläche Nord	m ²	0,00
Außentür		
T-Fläche	m ²	2,00

Quelle: [Diefenbach et al. 2007]

Die Gebäude wurden bewusst derart gewählt, da das Reihenendhaus bezüglich des A/V Verhältnisses zwischen einem freistehenden Einfamilienhaus und einem Reihemittelhaus angesiedelt ist und in (insbesondere auch in der Form der Doppelhaushälfte) eine hohe Verbreitung aufweist. Das Mehrfamilienhaus ist von Größe und Geometrie her ebenfalls am gängigen Durchschnitt orientiert. Die Auswahl der Gebäude kann damit als hinreichend repräsentativ zum Zweck der Untersuchung der vorliegenden Fragestellungen angesehen werden.

Tab. 2: Geometrie des Mehrfamilienhauses

Titel	Unit	
Index	-	MFH_H
Gebäudetyp	-	MFH
Energiebezugsfläche gem. PHPP	m ²	707,4
Gebäudenutzfläche gem. EnEV	m ²	772,2
mittlere Raumhöhe	m	2,71
beheiztes Gebäude-volumen nach EnEV	m ³	2413
Anzahl Vollgeschosse	-	3
Anzahl Wohneinheiten	-	10
Oberster Gebäudeabschluss		
Bezeichnung	-	OG-Decke
Fläche	m ²	249,4
Wände		
Bezeichnung	-	Außenwände
Fläche	m ²	776,8
Unterer Gebäudeabschluss		
Bezeichnung	-	Kellerdecken
Fläche	m ²	249,4
A/V	m ⁻¹	0,60
Transparente Bauteile		
F-Fläche Süd	m ²	84,20
F-Fläche O/ W	m ²	22,80
F-Fläche Nord	m ²	54,00
Außentür		
T-Fläche	m ²	2,00

Quelle: [Diefenbach et al. 2007]

Sämtliche spezifischen Angaben beziehen sich auf die Energiebezugsfläche A_{EB} nach PHPP-Definition [PHPP 2007]. Berechnungsergebnisse nach EnEV sind entsprechend umgerechnet.

2.2 Energiestandard

Bei der Definition der Energiestandards werden vier Varianten definiert: ein Bestandsgebäude und drei Neubau-Standards. Der Schwerpunkt auf den Neubau ist gewollt, da vor allem innovative Heizungssysteme untersucht werden, deren Einsatz in Sanierungsfällen aus verschiedenen Gründen limitiert sein kann.

Für den unsanierten Bestand wird auf die IWU Gebäudetypologie zurückgegriffen und jeweils die Baualtersklasse 1958-1968 verwendet.

Weiterhin wird der Standard-Neubau auf EnEV 2009 Neubauniveau festgelegt, welches auch sanierte Bestandsbauten einschließt. Als mittlere Variante dient ein „KfW-Effizienzhaus 70“ (2009), der zwischen EnEV und dem Passivhausstandard anzusiedeln ist. Letzterer wird als dritter Neubaustandard gewählt. Tab. 3 gibt eine Übersicht der Varianten.

Tab. 3: Variantenübersicht

Geometrie	Baustandard	Bezeichnung
RH_H	Altbau unsaniert	RefBuild1
RH_H	EnEV09 Neubau	RefBuild2
RH_H	KfW-Effizienzhaus 70 Neubau	RefBuild3
RH_H	Passivhaus Neubau	RefBuild4
MFH_H	Altbau unsaniert	RefBuild5
MFH_H	EnEV09 Neubau	RefBuild6
MFH_H	KfW-Effizienzhaus 70 Neubau	RefBuild7
MFH_H	Passivhaus Neubau	RefBuild8

In Tab. 4 und Tab. 5 sind die U-Werte der verschiedenen Gebäudehüllen angegeben, jeweils für Reihenend- und Mehrfamilienhäuser. Auffällig ist der relativ schlechte U-Wert Daches beim Mehrfamilienhauses, der auf eine ungedämmte oberste Geschoßdecke zurückzuführen ist.

Auf die Möglichkeit, die thermische Hülle exakt an das Heizungssystem anzupassen und somit jeweils genau die geforderten Kennwerte für die verschiedenen Standards zu erreichen wurde bewusst verzichtet, damit die Versorgungsaufgabe für jedes der betrachteten Heizungssysteme gleich ist.

Tab. 4: U-Werte der Einfamilienhausvarianten

Bauteil	U-Wert [W/ m²K]			
	RefBuild1	RefBuild2	RefBuild3	RefBuild4
Satteldach	1,23	0,20	0,16	0,12
Außenwände	1,44	0,28	0,14	0,12
Kellerdecken	0,97	0,35	0,30	0,12
F-Fläche Süd	2,57	1,20	1,10	0,70
F-Fläche O/W	2,57	1,20	1,10	0,70
F-Fläche Nord	2,57	1,20	1,10	0,70
Außentür	3,00	2,00	2,00	1,50

Quelle: [Diefenbach et al. 2007]

Tab. 5: U-Werte der Mehrfamilienhausvarianten

Bauteil	U-Wert [W/ m ² K]			
	RefBuild5	RefBuild6	RefBuild7	RefBuild8
Satteldach	2,30	0,12	0,12	0,11
Außenwände	1,21	0,22	0,10	0,10
Kellerdecken	0,97	0,31	0,14	0,14
F-Fläche Süd	2,57	1,30	0,81	0,65
F-Fläche O/ W	2,57	1,30	0,81	0,65
F-Fläche Nord	2,57	1,30	0,81	0,65
Außentür	3,00	2,00	2,00	1,50

Quelle: [Diefenbach et al. 2007]

3 Definition der Heizungssysteme

Der vorliegende Bericht analysiert gängige und innovative Heizungssysteme mit Hinblick auf ihre Umweltwirkungen. Zu diesem Zweck sind die in den Tab. 6 und Tab. 7 beschriebenen Systeme für Reihendhäuser und Mehrfamilienhäuser ausgewählt worden.

Weiterhin werden die Randbedingungen der Heizungssysteme in den jeweiligen Referenzgebäuden erläutert. Der Definition der Heizungssysteme liegen weiterhin folgende Annahmen zu Grunde:

Annahme zu Heizungspufferspeichern

Bei Wärmepumpen ist ein Heizungspufferspeicher für Radiatoren im Bestand und im EnEV-Neubau vorgesehen. Wärmepumpensysteme werden im Neubau EnEV nur mit Solarthermie empfohlen, da angenommen wird, dass die nach EEWärmeG geforderten Effizienzen nicht erreicht werden.

Ein Heizungspufferspeicher ist jedoch für Scheitholz-, Pellets-, Hackschnitzel- und BHKW-Systeme vorgesehen, da hier die Modulation schwieriger erscheint als bei den übrigen Systemen. Weiterhin sieht die 1. BImSchV vor, Heizungspufferspeicher für Scheitholz-, Pellets- und Hackschnitzelheizungen einzusetzen.

Annahmen zu solarthermischen Anlagen

Eine solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung (nicht zur Heizungsunterstützung) ist als optionales Paket pauschal für das Reihenendhaus und das Mehrfamilienhaus berechnet worden. Nahezu alle Heizungssysteme werden sowohl mit als auch ohne solarthermische Anlage gerechnet.

Im Falle des EnEV09 Neubaus erscheint es bei Gas- und Ölkesseln notwendig, eine solarthermische Anlage zwingend vorzusehen, da ansonsten die Erfüllung des EEWärmeG nicht sichergestellt werden kann und ggf. die Primärenergieanforderung der EnEV nicht erfüllt würde.

Weiterhin gilt:

- Bei BHKW wird keine zusätzliche solarthermische Anlage gerechnet, da diese zu einer geringeren Auslastung und zu weniger Volllaststunden führen würde.
- Bei Fernwärme wird ebenfalls keine solarthermische Anlage berechnet, da diese gegenüber dem günstigen Arbeitspreis der Fernwärme voraussichtlich

unwirtschaftlich sein würde.

Im Folgenden sind die Randbedingungen in Bezug auf das Heiz- und Verteilsystem erläutert. Aus der DIN 4701-10 sind die entsprechenden Speicher-, Verteil- und Übergabeverluste pro Heizungssystem berücksichtigt.

Für die Versorgung mit regenerativer Fernwärme ist ein System aus der Energiebalance-Studie [Pehnt et al. 2008a] gewählt, die den Vergleich der Objektversorgung auf Quartiersebene analysiert: Die *Variante 5 – Holzpelletkessel in einer Kopfstation* zur Versorgung mit Fernwärme. Acht bis zehn Objekte werden zentral über eine Kopfstation versorgt (ohne solarthermische Anlage).

3.1 Einfamilienhaus (EFH)

Tab.6 gibt die Übersicht der betrachteten Systeme im Einfamilienhaus.

Tab. 6: Heizungssysteme im Einfamilienhaus

Heizungssysteme Reihenhäuser				
EFH-Altbau unsaniert		Brennstoff	14,7 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Brennwertkessel	Öl		
3	Niedertemperaturkessel	Öl		
4	Niedertemperaturkessel	Pellets		
5	Scheitholzessel	Scheitholz		
6	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
7	Sole-Wasser WP	Gas-Absorption		
8	Luft-Wasser WP	Elektrisch		
9	Motor BHKW	Erdgas		
10	Stirling BHKW	Pellets		
11	Fernwärme	konventionell		
12	Fernwärme	regenerativ		
EFH-Neubau EnEV09		Brennstoff	5,1 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Brennwertkessel	Öl		
3	Brennwertkessel	Pellets		
4	Niedertemperaturkessel	Pellets		
5	Scheitholzessel	Scheitholz		
6	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
7	Luft-Wasser WP	Elektrisch		
8	Motor BHKW	Erdgas		
9	Stirling BHKW	Pellets		
10	Fernwärme	konventionell		
11	Fernwärme	regenerativ		
12	Brennwert & Kaminofen	50% Gas, 50% Pellets		
EFH-Neubau KfW 70		Brennstoff	3,9 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Brennwertkessel	Pellets		
3	Niedertemperaturkessel	Pellets		
4	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
5	Luft-Wasser WP	Elektrisch		
EFH-Neubau Passivhaus		Brennstoff	1,6 kW	
1	Brennwertkessel	Gas		
2	Direktheizung	Elektrisch		
3	Kaminofen mit W-Tasche	Pellets		
4	Sole-Wasser WP	Elektrisch		
5	Luft-Luft WP	Elektrisch		
6	Fernwärme	regenerativ (V5 E-Balance)		

3.1.1 Altbau unsaniert

Allgemeine Randbedingungen für Heizungssysteme im unsanierten Altbau für Reihenhäuser:

- Systemtemperatur 77°/55° C, Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle
- Beheizung über Radiatoren
- Verteilung Heizwärme außerhalb-horizontal/ innerhalb-vertical der thermischen Hülle, unregelmäßige Pumpen, Baualtersklasse 80er/ 90er Jahre, typischer Betrieb (erhöhte Heizkurve)
- Indirekt beheizter Warmwasserspeicher, Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle
- Verteilung Warmwasser ohne Zirkulation außerhalb der thermischen Hülle

- Freie Lüftung, offensichtliche Undichtheiten in der Gebäudehülle

3.1.2 Neubau nach Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV)

Allgemeine Randbedingungen für Heizungssysteme im EnEV09 Neubau für Reihenhäuser:

- Systemtemperatur 55°/45° C, Aufstellung innerhalb der thermischen Hülle
- Beheizung über Radiatoren
- Verteilung Heizwärme innerhalb der thermischen Hülle, geregelte Pumpen, Baualtersklasse EnEV, optimierter Betrieb (optimale Heizkurve)
- Indirekt beheizter Warmwasserspeicher, Aufstellung innerhalb der thermischen Hülle
- Verteilung Warmwasser ohne Zirkulation innerhalb der thermischen Hülle
- Freie Lüftung, Nachweis der Dichtheit der Gebäudehülle erbracht, Minimierung der Wärmebrücken

Für den Neubau EnEV09 wäre auch eine Fußbodenheizung mit einer Vorlauftemperatur von 35°/28° C denkbar. Dieses Niveau wurde allerdings bewusst nicht gewählt, da einerseits auch Sanierungen erfasst werden sollen (bei denen i.d.R. keine Fußbodenheizungen realisierbar sind), und andererseits dieses Temperaturniveau sonst gar nicht vorhanden wäre.

3.1.3 Neubau KfW-Effizienzhaus 70²

Allgemeine Randbedingungen für Heizungssysteme im KfW Effizienzhaus 70 Neubau für Reihenhäuser:

- Systemtemperatur 35°/28° C, Aufstellung innerhalb der thermischen Hülle
- Beheizung über Fußboden- oder Flächenheizung
- Verteilung Heizwärme innerhalb der thermischen Hülle, geregelte Pumpen, Baualtersklasse EnEV, optimierter Betrieb (optimale Heizkurve)
- Indirekt beheizter Warmwasserspeicher, Aufstellung innerhalb der thermischen Hülle
- Verteilung Warmwasser ohne Zirkulation innerhalb der thermischen Hülle
- Lüftungsanlage mit WRG (Wärmerückgewinnungsgrad 80 %), Nachweis der Dichtheit der Gebäudehülle erbracht, Minimierung der Wärmebrücken

Abb. 2: Definition von KfW-Effizienzhäusern (Quelle: KfW)

KfW-Effizienzhaus 70 (EnEV₂₀₀₉)

KfW-Effizienzhäuser 70 dürfen den Jahres-Primärenergiebedarf (Q_p) von 70 % und den Transmissionswärmeverlust (H_T) von 85 % der errechneten Werte für das Referenzgebäude nach Tabelle 1 der Anlage 1 der EnEV₂₀₀₉ nicht überschreiten.

Gleichzeitig darf der Transmissionswärmeverlust nicht höher sein, als nach Tabelle 2 der Anlage 1 der EnEV₂₀₀₉ zulässig.

Passivhaus: Gefördert werden in der Programmvariante auch Gebäude, deren Jahres-

Primärenergiebedarf Q_p und Jahres-Heizwärmebedarf Q_h nach dem Passivhaus Projektierungspaket (PHPP) durch einen *Sachverständigen* nachgewiesen werden. Voraussetzung für eine Förderung ist, dass der Jahres-Primärenergiebedarf Q_p nicht mehr als 40 kWh pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche A_N und der Jahres-Heizwärmebedarf Q_h nach PHPP nicht mehr als 15 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche betragen.

3.1.4 Neubau als Passivhaus

Allgemeine Randbedingungen für Heizungssysteme im Passivhaus Neubau für Reihenhäuser:

- Systemtemperatur 55°/45° C, Aufstellung innerhalb der thermischen Hülle
- Beheizung über Lüftungsanlage, Vorheizregister im Zuluftkanal
- Verteilung Heizwärme innerhalb der thermischen Hülle, geregelte Pumpen, Baualtersklasse EnEV, optimierter Betrieb (optimale Heizkurve)
- Indirekt beheizter Warmwasserspeicher, Aufstellung innerhalb der thermischen Hülle
- Verteilung Warmwasser ohne Zirkulation innerhalb der thermischen Hülle
- Lüftungsanlage mit WRG (Wärmerückgewinnungsgrad 80%), Nachweis der Dichtheit der Gebäudehülle erbracht, wärmebrückenfreie Konstruktion

Bei Passivhäusern ist weiterhin zu beachten:

- Die flächenspezifischen Werte der Passivhäuser sind immer auf die Nutzfläche nach PHPP bezogen.
- Für die Warmwasserbedarfe werden gleiche Werte wie für unsanierten Altbau, EnEV-2009- und KfW-70-Neubau angenommen. Hier wird die Energiebezugsfläche nach EnEV angesetzt.
- Interne Lasten werden nach PHPP mit 2,1 W/m² angesetzt.
- Der Ausnutzungsgrad der freien Wärme wird ebenfalls nach PHPP angesetzt.
- Bei Temperaturen der Zuluft über 50° C kann es zu Geruchserscheinungen durch Verschmelzung kommen. Da jedoch im wasserführenden System maximal 55° C erreicht werden, ist damit nicht zu rechnen.

3.2 Mehrfamilienhaus (MFH)

Die Tab. 7 gibt die Übersicht der betrachteten Systeme im Mehrfamilienhaus.

Tab. 7: Heizungssysteme im Mehrfamilienhaus

Heizungssysteme Mehrfamilienhaus			
MFH-Altbau unsaniert		Brennstoff	82,3 kW
1	Brennwertkessel	Gas	
2	Niedertemperaturkessel	Gas	
3	Brennwertkessel	Öl	
4	Niedertemperaturkessel	Öl	
5	Niedertemperaturkessel	Hackschnitzel	
6	Sole-Wasser WP	Elektrisch	
7	Sole-Wasser WP	Gas-Absorption	
8	Luft-Wasser WP	Elektrisch	
9	Motor BHKW	Erdgas	
10	Fernwärme	konventionell	
11	Fernwärme	regenerativ (V5 E-Balance)	
MFH-Neubau EnEV09		Brennstoff	29,3 kW
1	Brennwertkessel	Gas	
2	Brennwertkessel	Öl	
3	Niedertemperatur	Hackschnitzel	
4	Sole-Wasser WP	Gas-Absorption	
5	Sole-Wasser WP	Elektrisch	
6	Luft-Wasser WP	Elektrisch	
7	Motor BHKW	Erdgas	
8	Fernwärme	konventionell	
9	Fernwärme	regenerativ (V5 E-Balance)	
MFH-Neubau KfW 70		Brennstoff	23,1 kW
1	Brennwertkessel	Gas	
2	Niedertemperaturkessel	Pellets	
3	Sole-Wasser WP	Gas-Absorption	
4	Sole-Wasser WP	Elektrisch	
MFH-Neubau Passivhaus		Brennstoff	9,5 kW
1	Brennwertkessel	Gas	
2	Niedertemperaturkessel	Pellets	
3	Sole-Wasser WP	Gas-Absorption	
4	Sole-Wasser WP	Elektrisch	
5	Fernwärme	konventionell	
6	Fernwärme	regenerativ (V5 E-Balance)	

Die Auswahl der Heizungssysteme zu den vier Energiestandards für das Mehrfamilienhaus erfolgt analog zu den Kombinationen für das Reihenendhaus. Hierbei werden jedoch auch Varianten untersucht, die aufgrund des höheren Heizenergiebedarfs bei Mehrfamilienhäusern in Betracht kommen, beispielsweise Hackschnitzelheizungen alternativ zu Pelletkesseln.

3.2.1 Altbau unsaniert

Allgemeine Randbedingungen für Heizungssysteme im unsanierten Altbau für Mehrfamilienhäuser (*nur Abweichungen gegenüber EFH*):

- Verteilung Warmwasser mit Zirkulation außerhalb der thermischen Hülle

3.2.2 Neubau nach Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV)

Allgemeine Randbedingungen für Heizungssysteme im EnEV09 Neubau für Mehrfamilienhäuser (*nur Abweichungen gegenüber EFH*):

- Verteilung Warmwasser mit Zirkulation innerhalb der thermischen Hülle

3.2.3 Neubau KfW-Effizienzhaus 70³

Allgemeine Randbedingungen für Heizungssysteme im KfW Effizienzhaus 70 Neubau für Mehrfamilienhäuser (*nur Abweichungen gegenüber EFH*):

- Verteilung Warmwasser mit Zirkulation innerhalb der thermischen Hülle

3.2.4 Neubau als Passivhaus

Allgemeine Randbedingungen für Heizungssysteme im Passivhaus Neubau für Mehrfamilienhäuser (*nur Abweichungen gegenüber EFH*)::

- Verteilung Warmwasser mit Zirkulation innerhalb der thermischen Hülle

4 Energetische Parameter

Ziel ist es, die in Kapitel 3 definierten Heizungssysteme anhand einer jeweils identischen Versorgungsaufgabe in Bezug auf Energieverbrauch, Emissionen und Kosten zu vergleichen. In diesem Kapitel werden neben der Auslegung der Systeme im Abschnitt 4.3 auch Emissions- und Primärenergiefaktoren in Abschnitt 4.2 definiert, sowie Annahmen in Bezug auf Wirkungs- und Nutzungsgrade in Abschnitt 4.2 getroffen.

4.1 Aufwandszahlen der Systeme

Die in den Tab. 15 und Tab. 16 gegebenen Aufwandszahlen zur Heizwärmeerzeugung, sowie die Aufwandszahlen zur Warmwasserbereitung (Tab 17 und Tab. 18) der Heizungssysteme in den jeweiligen Referenzgebäuden sind Spannweiten. Dabei sind neben den Aufwandszahlen nach DIN 4701-10 (die im Regelfall den berechneten Standardwert darstellen) auch Nutzungsgrade aus Feldtests eingegangen. Die Hilfsenergiebedarfe sind in den Aufwandszahlen nicht berücksichtigt, diese werden separat berechnet.

Die Aufwandszahl wird in Anlehnung an DIN 4701-10 definiert als Verhältnis von Aufwand (Endenergie des Heizungssystems) zu Nutzen bzw. Bedarf (Heizwärmebedarf).

Wesentliche Quellen zur Bestimmung der Schwankungsbreite sind: [Wolff et al. 2004], [Jagenow et al. 2006], [Diefenbach et al. 2002], [Miara 2008], [Miara 2010], [Russ et al. 2008], [Russ et al. 2009], [Auer et al. 2008], [Pehnt et al. 2008b], [Loga et al. 2005], [ASUE 2007], [Oschatz et al. 2007] sowie [Ebert et al. 2008]. Eine Aufstellung der in die Untersuchung eingegangenen Sensitivitäten aus den Feldtests ist im Anhang C zu finden.

Die Standard-Aufwandszahlen für Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe weichen in manchen Fällen von den Werten der DIN 4701-10 ab, da die hier getroffenen Annahmen auch das Baualter und den Energiestandard des Referenzgebäudes sowie des Heizungssystems bestmöglich abbilden sollen und daraufhin entsprechend festgelegt

³ Mit Inkrafttreten der EnEV09 sind die KfW-Effizienzhäuser neu benannt worden. Siehe hierzu die Erläuterungen in Kapitel 3.1.

wurden. Die Norm-Aufwandszahlen befinden sich allerdings stets innerhalb der angegebenen Spannbreite.

Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung

Die Emissionen und Primärenergieverbräuche der KWK-Anlagen in diesem Forschungsprojekt werden mit der so genannten „Finnischen Methode“ berechnet. Hierbei wird der Brennstoffeinsatz anhand der Wirkungsgrade für die getrennte Produktion von Strom und Wärme auf die Produkte Strom und Wärme aufgeteilt. Bei der gekoppelten Produktion im HKW sind die einzelnen Wirkungsgrade für Strom und Wärme zwar geringer als bei der getrennten Produktion in Referenzanlagen. Dem stehen aber bei der gekoppelten Produktion eine Reduktion des gesamten Brennstoffeinsatzes und - damit verbunden - auch eine Emissionsreduktion gegenüber.

Die Primärenergieeinsparung EE errechnet sich aus folgender Formel:

$$EE = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_{KWKth}}{\eta_{REFth}} + \frac{\eta_{KWKel}}{\eta_{REFel}}} \right)$$

Dabei sind

- η_{KWKth} der thermische Wirkungsgrad bei gekoppelter Erzeugung,
- η_{KWKel} der elektrische Wirkungsgrad der KWK Anlage
- η_{REFth} und η_{REFel} sind die Wirkungsgrade der Referenzanlagen.

Folgende Referenzwirkungsgrade sind berücksichtigt:

	Erdgasmotor BHKW	Pellets Stirling BHKW
η_{REFth}	90 %	86 %
η_{REFel}	47 %	29 %

Quelle: Entscheidung der Kommission 2007/74/EG

Die Korrekturfaktoren für vermiedene Netzverluste wurde darin nach Anhang IV für <0,4 kV mit 92,5 % für ins Netz eingespeisten Strom und mit 86 % für vor Ort verbrauchten Strom zu je 50% bereits berücksichtigt.

Teilt man diese Einsparung EE gleichmäßig auf den Wärme- und Stromanteil auf, so ergeben sich die anteiligen Brennstoffeinsätze für Strom (Wel) und Wärme (Wth) wie folgt:

$$W_{th} = W * (1 - EE) * \frac{\eta_{KWKth}}{\eta_{REFth}}$$

$$W_{el} = W * (1 - EE) * \frac{\eta_{KWKel}}{\eta_{REFel}}$$

Für die weitere Betrachtung wurde in Absprache mit dem Auftraggeber die „finnische“ Methode als Referenzoption gewählt, da auf ihrer Logik auch die EU-KWK-Richtlinie [DIRECTIVE 2004/8/EC] beruht.

BHKW im Reihenendhaus werden auf die gesamte Heizleistung ausgelegt, da diese mit einem Pufferspeicher betrieben werden. Dieser stellt sicher, dass die Anlagen stets mit Vollast laufen können. Mit einem ausreichend dimensionierten Pufferspeicher können BHKW im Verbund als virtuelles Kraftwerk betrieben werden. Dieser Aspekt wird jedoch in dieser Studie nicht untersucht.

Bei den größeren KWK-Anlagen im MHF Altbau und EnEV09-Neubau wird das BHKW auf eine maximale Vollaststundenzahl im Jahr ausgelegt und durch einen Spitzenlastkessel ergänzt (siehe hierzu Anhang B). Als Grundlage sind die Normnutzungsprofile für BHKW aus der VDI 4655 angenommen. Hieraus ergibt sich für das BHKW im MFH-Altbau eine Leistung von 25 kW (ca. 30 % der Heizlast) bei einem Gesamtenergiedeckungsgrad von 60 % über das Jahr. Das BHKW im EnEV09-Neubau hat ist auf eine Leistung von 6,5 kW ausgelegt (ca. 25 % der Heizlast) und erreicht damit eine Energiebereitstellungsgrad von 65 %.

Die Aufwandszahlen für die Blockheizkraftwerke stellen die thermischen Aufwandszahlen für die gekoppelte Erzeugung von Strom *und* Wärme dar und erscheinen aus diesem Grund sehr hoch.

Monoenergetische Wärmepumpen

Die im unsanierten Altbau betrachteten Wärmepumpen werden ebenfalls für ein Temperaturniveau von 70°/55° ausgelegt. Da diese Temperaturen nur in der Spitze unter maximaler Last erreicht werden, sind die Anlagen monoenergetisch ausgelegt.

Aus den Feldmessungen des Fraunhofer-ISE [Miara 2008], [Miara 2010], [Russ et al. 2008] und [Russ et al. 2009] zu „Wärmepumpen im Bestand“ geht hervor, dass der Strombedarf für den Heizstab bei einer durchschnittlichen Vorlauftemperatur von ca. 50 °C für Sole-Wasser WP bei 2% und für Luft-Wasser WP bei 1% liegt. Da keine weiteren Quellen für den Energiebedarf typischer Zusatzheizstäbe bei Wärmepumpen vorliegen, wird davon ausgegangen, dass bei dem hier betrachteten Temperaturniveau von 70/55 °C 8 % des Stroms für die Zusatzheizung bei Sole-Wasser WP und 4% für die Luft-Wasser WP aufgewendet werden. Diese Werte sind Expertenschätzungen.

Die Aufwandszahlen für das Reihenendhaus sind in der Abb. 28 (Anhang A) dargestellt.

Für die Mehrfamilienhäuser sind die Aufwandszahlen für die Heizwärmeerzeugung in Tab. 16 (Anhang B) und Abb. 29 (Anhang A) dargestellt.

Neben den Aufwandszahlen für die Heizwärmeerzeugung sind auch solche für die Warmwasserbereitung definiert. Diese sind in den Abb. 30 und Abb. 31 (Anhang A) veranschaulicht.

Neben den Aufwandszahlen für die Erzeugung von Heizwärme und Warmwasser sind die Verluste für Speicherung, Verteilung und Übergabe maßgebend für die Effizienz eines Systems. Aus diesem Grund sind diese spezifischen Verluste für jedes einzelne System und Referenzgebäude anhand der Systematik der DIN 4701-10 bestimmt worden. Sie sind pro System in eine Aufwandszahl umgerechnet und berücksichtigt worden.

4.2 Emissions- und Primärenergiefaktoren

Primärenergiefaktoren werden anhand der gängigen Definition in der DIN V 18599-1, Tab. 8 angesetzt.

Die CO₂-Emissionen werden einerseits als reine CO₂-Emissionen ohne Vorkette und andererseits als Treibhausgas-Emissionen in CO₂-Äquivalenten einschließlich Vorkette berechnet. Als Vorkette werden vorgelagerte Prozesse bezeichnet, bei denen bsp. durch den Transport von Erdgas ebenfalls Emissionen entstehen.

Es werden die Emissionsfaktoren nach Tab. 9 verwendet. Diese sind statistische Durchschnittswerte und können insbesondere für Strom und Fernwärme im Einzelfall stark abweichen.

Tab. 8: Primärenergiefaktoren

Primärenergiefaktoren [-]	
1 Erdgas	1,1
2 Heizöl	1,1
3 Pellets	0,2
4 Hackschnitzel	0,2
5 Scheitholz	0,2
6 Strom konventionell	2,6
7 Strom Wärmepumpen	2,6
8 Fernwärme konventionell	1,3
9 Fernwärme regenerativ	0,1

Quelle: DIN V 18599-1

Tab. 9: Emissionsfaktoren

	CO ₂ Emissionsfaktoren [g/ kWh]	
	CO ₂ ohne VK	CO _{2-eq} mit VK
1 Erdgas	202	251
2 Heizöl	266	319
3 Pellets	0	16
4 Hackschnitzel	0	16
5 Scheitholz	0	12
6 Strom konventionell	590	666
7 Strom Wärmepumpen	590	666
8 Fernwärme konventionell	200	229
9 Fernwärme regenerativ	0	16

Quelle: [Memmler et al. 2009] und [Baumbach et al. 2010, Tab. 3.8].

CO₂-Emissionsfaktoren

Die direkten CO₂-Emissionsfaktoren ohne Vorkette wurden aus der UBA-Publikation "Einheitliche Stoffwerte für Emissionsfaktoren, Heizwerte und Kohlenstoffgehalte für Brennstoffe, Rohstoffe und Produkte" [UBA 2007a] entnommen, für konventionellen Strom ist der Faktor aus der UBA-Publikation "Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strom-Mix" [UBA 2007b] angesetzt. Erneuerbare Energien haben per Definition keine direkten Emissionen.

Die Treibhausgas-Emissionsfaktoren mit Vorkette sind nach [Memmler et al. 2009] und [Fritsche et al. 2008] bestimmt.

Sonstige Emissionen (CO, NOx und Feinstaub)

Am Beispiel des Referenzgebäude 2 "REH Neubau EnEV09" sind die Emissionen von Kohlenmonoxid (CO), Stickoxiden (NOx) und Feinstaub berechnet. Dieser Vergleich dient lediglich der Einordnung und gibt die Größenordnung im Vergleich zu den CO₂-Emissionen an.

Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme stammen aus [Memmler et al. 2009]. Emissionsfaktoren für Heizöl, Gas, Pellets, Hackschnitzel, Stückholz- und Einzelfeuerungsstätten sind [Baumbach et al. 2010, Tab. 3.8] entnommen und gelten für ordnungsgemäß betriebene Anlagen auf dem aktuellen Stand der Technik. Anlagen mit veralteter Technik und Anlagen, die falsch betrieben werden, emittieren nach [Baumbach et al. 2010] die drei- bis fünffache Menge an CO und Feinstaub.

Technikbedingt weisen BHKW erhöhte NOx- und CO-Emissionen auf. BHKW verwenden unterschiedliche Techniken der Emissionsminderung, am häufigsten sind Oxidationskatalysatoren bei Magermotoren. Zunehmend finden 3-Wege-Katalysatoren bei Motoren mit Lambda-Regelung Anwendung, deren NOx- und CO-Emissionen deutlich niedriger sind. Aus [BAFA] wurden mittlere Emissionsfaktoren für kleine BHKW mit Lambda-geregelten Motoren und 3-Wege-Katalysatoren von 95 g NOx/kWh und 85 g CO/kWh abgeleitet. Einige BHKW emittieren weniger Luftschadstoffe, einzelne Geräte, teilweise ohne Abgasreinigung, können dagegen die 2,7- bis 6-fache Menge an CO bzw. die 1,3- bis 4-fache Menge an NOx aufweisen.

Die Emissionsfaktoren für CO, NOx und Feinstaub sind in Tab. 10 gegeben.

Tab. 10: CO, NOx und Feinstaubemissionsfaktoren (bezogen auf Brennstoff- bzw. Energieeinsatz)

g/ kWh	CO	NOx	Staub
Heizöl	0,047	0,144	0,013
Erdgas	0,068	0,047	0,000
Pellets	0,659	0,281	0,079
Hackschnitzel	1,062	0,349	0,144
Stückholz	1,537	0,302	0,162
Kaminfeuerung	4,914	0,284	0,180
Erdgas KWK	0,085	0,095	0,000
g/ kWh			
Strom	0,278	0,443	0,019
Fernw ärme	0,098	0,242	0,006

Quelle: [Memmler et al. 2009], [Baumbach et al. 2010, Tab. 3.8], [BAFA]

4.3 Auslegung der Heizungssysteme

Die Auslegung und die Berechnung der Kenngrößen der Heizungssysteme erfolgt mit dem Programm EnEV-XL Version 4.0 des IWU [EnEV-XL 2010]. Diese Software ermöglicht den direkten Vergleich zwischen EnEV-Berechnungen und solchen nach dem Passivhaus-Vorprojektierungspaket (PHVPP).

Pro Referenzgebäude (Reihenendhaus und Mehrfamilienhaus) werden Berechnungen durchgeführt, die unter Einbeziehung des jeweiligen Heizungssystems schließlich Heizwärmebedarfe, Hilfsenergiebedarfe und Endenergiebedarfe ausgeben. Diese Heizwärmebedarfe sind in Tab. 11 zu finden, die Heizlasten in Tab. 12.

Tab. 11: Heizwärmebedarfe

Heizwärmebedarfe [kWh/ (m²a)]		
EFH	RefBuild1	221
	RefBuild2	54
	RefBuild3	43
	RefBuild4	15
MFH	RefBuild5	233
	RefBuild6	49
	RefBuild7	32
	RefBuild8	9

Der Warmwasserbedarf wird mit 12,5 kWh/ (m²a) bezogen auf die Energiebezugsfläche nach EnEV angesetzt.

Tab. 12: Heizlasten

Heizlasten [kW]		
EFH	RefBuild1	14,7
	RefBuild2	5,1
	RefBuild3	3,9
	RefBuild4	1,6
MFH	RefBuild5	82,3
	RefBuild6	29,3
	RefBuild7	23,1
	RefBuild8	9,5

Nach einer Berechnung der Energiebedarfe mit den Standard-Aufwandszahlen werden diese durch die minimal und maximal angenommenen Aufwandszahlen ersetzt und die Berechnung erneut durchgeführt. Darauf aufbauend werden Endenergie-, Primärenergiebedarf und Emissionen erneut berechnet und für jede Kombination aus Referenzgebäude und Heizungssystem dargestellt.

5 Ökonomische Parameter

Wesentliche Inhalte sind die Auswahl der Investitionsberechnungsmethode für die Wirtschaftlichkeitsberechnung, die Beschreibung der betrachteten Kostenkomponenten und eine Beschreibung der verwendeten Energiepreisszenarien.

5.1 Methode der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Grundsätzlich stehen statische und dynamische Verfahren der Investitionsrechnung zur Verfügung. Statische Rechnungen wie beispielsweise eine Amortisationsrechnung oder eine Kostenvergleichsrechnung basieren auf Durchschnittswerten von Kosten und Erlösen. Bei dynamischen Verfahren werden darüber hinaus die Zahlungszeitpunkte berücksichtigt, was eine Auf- bzw. Abzinsung der jeweiligen Zahlungen und damit den Vergleich möglich macht. Typische dynamische Investitionsrechnungen sind die Kapitalwertmethode, Anfangs- und Endwertmethode sowie die Annuitätenmethode und die Berechnung des internen Zinsfußes.

Für dieses Forschungsvorhaben wird die Annuitätenmethode angewendet, die sich in Hinblick auf Kapitalwert-, Anfangs- und Endwertmethode nur bezüglich der Darstellung unterscheidet. Die Annuitäten sind in diesem Fall jährlich anfallende Zahlungen für Investitionen und laufende Kosten. Es erscheint sinnvoll, die Investitionen der unterschiedlichen Heizungssysteme in Annuitäten anzugeben, um diese direkt den laufenden Kosten pro Jahr gegenüberzustellen.

5.2 Zinssätze, Inflation und Steuern

Im vorliegenden Bericht wird mit realen Kosten des Jahres 2009 gerechnet. Demzufolge werden Inflationseinflüsse weder bei den Energiepreisen noch beim Zinssatz berücksichtigt.

Als allgemeiner realer Zinssatz wird $i=6,0\%$ angenommen, der einer volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise abgeleitet ist. Rein betriebswirtschaftliche Analysen unterstellen teilweise Zinssätze bis zu 8% , dies erscheint jedoch im Hinblick auf das Projektziel ungeeignet.

Die Mehrwertsteuer wird sowohl bei Investitionen als auch bei verbrauchs- und bedarfsgebundenen Kosten berücksichtigt. Ertragssteuern bleiben unberücksichtigt.

Fördermittel sind in die Berechnungen nicht mit einbezogen.

Berücksichtigung der KWK-Stromeinspeisung

Der neben der Wärme erzeugte Strom wird mit einer Einspeisevergütung in Ansatz gebracht. Es wird zwischen Selbstverbrauch und Netzeinspeisung unterschieden. Für die selbst genutzte Elektrizität wird der Haushaltsstromtarif in angesetzt (vermiedener Bezug), während für die eingespeiste Menge mit dem durchschnittlichen Grundlasttarif an der Leipziger Strombörse EEX von $4,9 \text{ ct/ kWh}$ (\emptyset Baseload-Tarif 03/2010) berücksichtigt ist.

Für Einfamilienhäuser wird ein Eigenverbrauch von 20% angenommen, die restlichen 80% werden ins öffentliche Netz eingespeist. Bei Mehrfamilienhäusern wird von 100% Netzeinspeisung ausgegangen.

5.3 Energiepreise

In Tab. 13 sind die angenommenen Energiepreise inklusive realer Preissteigerungsraten für die betrachteten Energieträger angegeben. Inflationseinflüsse bleiben unberücksichtigt.

Tab. 13: Energiepreise

Energiepreise [€/ kWh]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Erdgas	Heizöl	Pellets	Hackschn	Scheitholz	EI konv	EI WP	FW konv	FW reg
2010	0,070	0,052	0,046	0,027	0,027	0,224	0,174	0,087	0,087
2020	0,080	0,058	0,052	0,030	0,030	0,226	0,175	0,098	0,098
2030	0,091	0,066	0,058	0,034	0,034	0,227	0,176	0,111	0,111
Durchschnitt	0,080	0,059	0,052	0,030	0,030	0,226	0,175	0,098	0,098
Preissteigerung p.a.	1,35%	1,23%	1,23%	1,23%	1,23%	0,07%	0,07%	1,23%	1,23%

Quelle:

Die Energiepreise stammen aus den Energiedaten des BMWi [BWi 2010] als Mittelwert von 2009 sowie von CARMEN e.V. [CARMEN 2010] für Holz, Pellets und Hackschnitzel. Die Preissteigerungsraten sind aus der Evaluierung der KfW-Programme des Bremer Energieinstituts entnommen: „Effekte des CO2-Gebäudesanierungsprogramms 2005 und 2006 - Zusatzauswertung Dezember 2007“, S.6 Tab.4 [Gabriel 2007].

Für Wärmepumpenstrom wird ein Abschlag von 5ct /kWh auf den konventionellen Strompreis angenommen.

Die Grundkosten der Anschlüsse sind unter betriebsgebundenen Kosten aufgeführt.

5.4 Kostenkomponenten

In Bezug auf die verwendete Annuitätenmethode werden die jährlich anfallenden Kosten in einzelne Kostenkomponenten unterteilt. Hier wird zwischen kapitalgebundenen, betriebsgebundenen und verbrauchsgebundenen Kosten unterschieden, die in Summe die Jahresgesamtkosten des Wärmeerzeugers darstellen.

Die kapitalgebundenen Kosten bestehen aus den Annuitäten der Anschaffungs- und Einbaukosten des Wärmeerzeugers inkl. Zubehör. Betriebsgebundene Kosten sind Wartungs- und Instandhaltungskosten, die die Betriebsfähigkeit der Anlage sicherstellen. Die verbrauchgebundenen Kosten fallen nur an, wenn das Heizungssystem tatsächlich in Betrieb ist, dies sind vor allem Energiekosten.

5.4.1 Kapitalgebundene Kosten

Bei allen Haustypen werden Wärmeerzeuger inklusive Einbau, Verteilung und Zubehör berücksichtigt; bei dem KfW Effizienzhaus 70 und dem Passivhaus darüber hinaus auch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Die Kosten für die Verteilsysteme sind immer komplett angesetzt, um die Vergleichbarkeit verschiedener Baustandards (z.B. EnEV und PH) zu gewährleisten, die zum Teil mit völlig unterschiedlichen Wärmeverteilsysteme arbeiten, und um den Altbau nicht künstlich zu verbessern (Investitionen für Verteilsysteme sollten über die gesamte Lebensdauer angesetzt werden).

Die Lebensdauern aller Wärmeerzeuger wurden pauschal mit 20a angesetzt. Alle anderen anlagentechnischen Komponenten werden nach VDI 2067-1 angesetzt.

Die Kosten von Heizungssystemen sind auf der Grundlage folgender Veröffentlichungen bestimmt worden (siehe Tab. 19 und Tab. 20): [ASUE 2007], [BKI 2008], [Ebert et al. 2008], [Eltrop 2009], [EuP 2007a], [EuP 2007b], [Hessen 2006], [Oschatz et al. 2007], [Test 2006], [Test 2007], [Test 2008] und [Test 2009].

Folgende kapitalgebundenen Kosten sind neben dem Wärmeerzeuger angesetzt (für weitere Details siehe Datenblätter):

Solarthermie

- 1.300,- €/m² Kollektorfläche beim Reihendhaus (Größe: 4m²)
- 800,- €/m² Kollektorfläche für das Mehrfamilienhaus (Größe: 25m²)

Schornstein (nur für Neubau)

- 2.000,- € für das REH
- 5.000,- € für das MFH

Heizungspufferspeicher/ Trinkwarmwasserspeicher

- 1.300,- € für das REH
- 3.000,- € für das MFH

Wärmeverteilung

- REH Altbau und EnEV09 4.700,-€ (Radiatoren)
- REH KfW70: 5.300,-€ (Fußbodenheizung)
- REH Passivhaus 500,-€ (Anbindung an Lüftungsanlage)
- MFH Altbau und EnEV09 20.000,- € (Radiatoren)
- MFH KfW70: 30.000,- € (Fußbodenheizung)
- MFH Passivhaus 2.000,- € (Anbindung an Lüftungsanlage)

Öltank/ Pelletlager

- EFH Öl 3.500,- €
- EFH Pellets 3.000,- €
- MFH Öl 7.000,- €
- MFH Pellets 6.000,- €

Installationskosten Anschluss EFH

- Elektrodirektheizung 200,- €
- Pellets, Scheitholz, Hackschnitzel, Wärmepumpe, Kaminofen 400,- €
- Gas, Öl, BHKW, Fernwärme 700,- €

Installationskosten Anschluss MFH

- Elektrodirektheizung 400,- €
- Pellets, Scheitholz, Hackschnitzel, Wärmepumpe, Kaminofen 800,- €
- Gas, Öl, BHKW, Fernwärme 1.400,- €

Einbaukosten

- REH Altbau 1.700,- €
- REH Neubau 1.200,- €
- MFH generell 3.500,- €

Erschließung Wärmequelle für Wärmepumpen

- REH Sole-Wasser 7.000,- €
- REH Luft-Wasser 1.000,- €
- MFH Sole-Wasser 21.000,- €
- MFH Luft-Wasser 3.000,- €

In den folgenden Grafiken sind die kapitalgebundenen Kosten der Heizungssysteme zusammengestellt.

Die BHKW-Systeme stellen die kapitalintensivsten Heizungssysteme dar, während bei einem Fernwärmeanschluss mit den geringsten Investitionskosten zu rechnen ist. Die detaillierten Tabellen hierzu finden sich in Anhang B.

Abb. 3: Kapitalgebundene Kosten im Einfamilienhaus

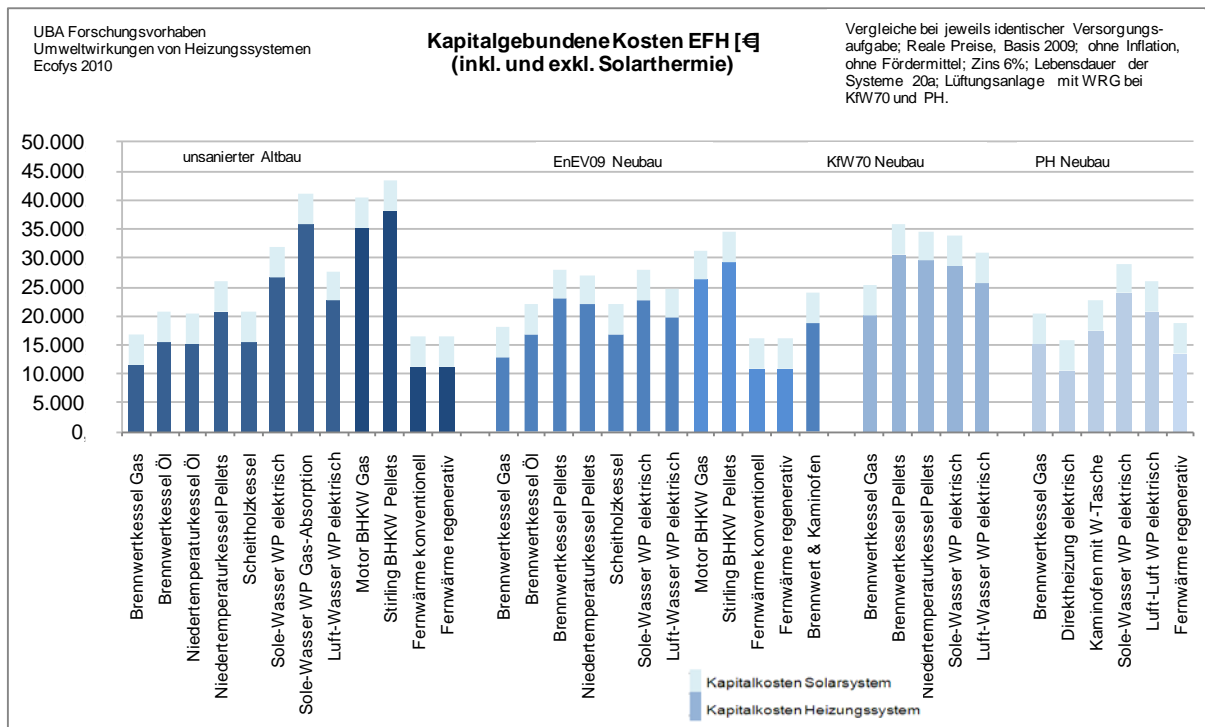
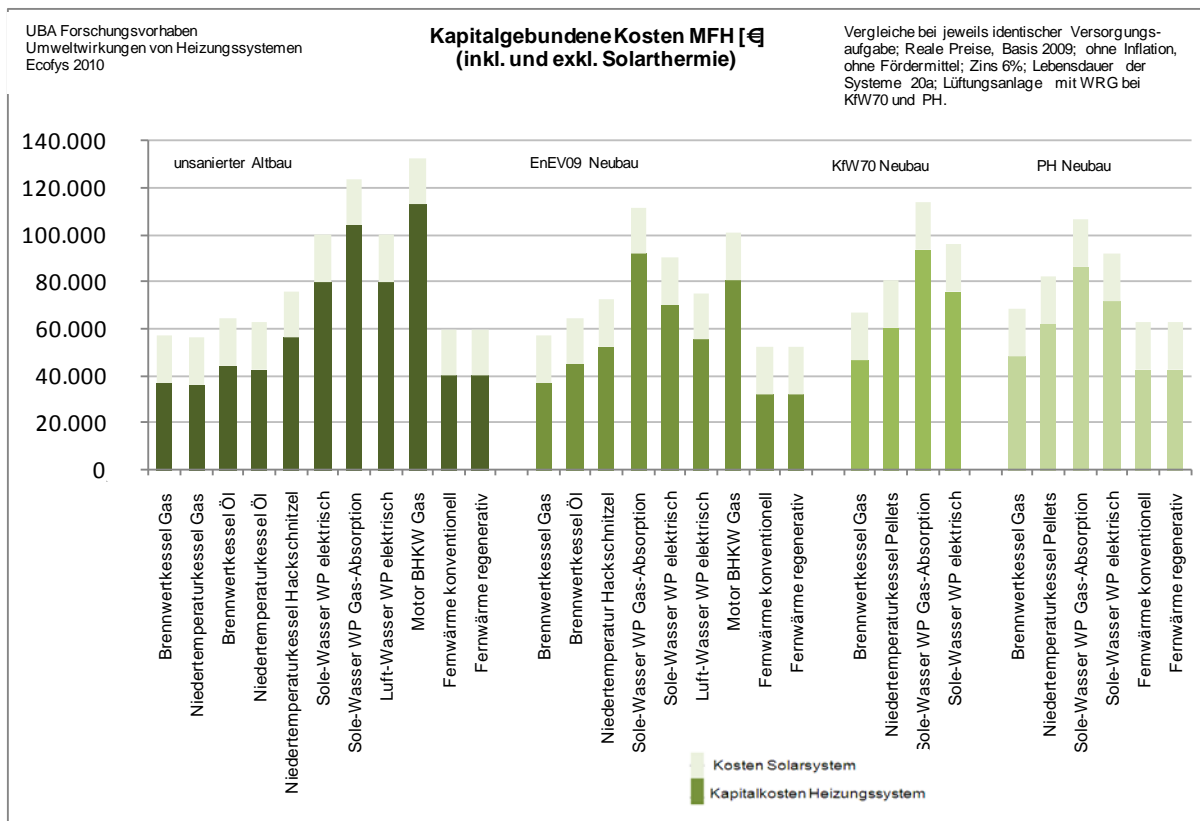


Abb. 4: Kapitalgebundene Kosten im Mehrfamilienhaus



5.4.2 Betriebsgebundene Kosten

Die betriebsgebundenen Kosten setzen sich aus Wartung und Instandhaltung zusammen, vgl. Tab. 21 und Tab. 22. Folgende Grafiken geben eine Übersicht:

Abb. 5: Betriebsgebundene Kosten im Einfamilienhaus

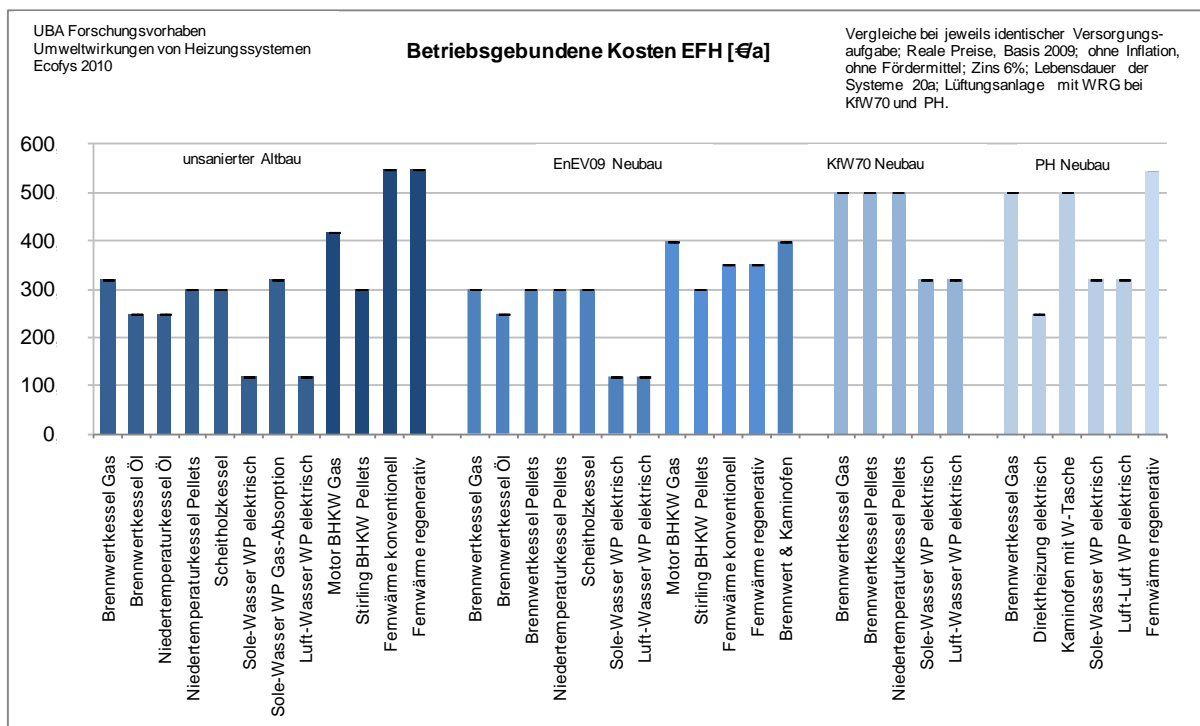
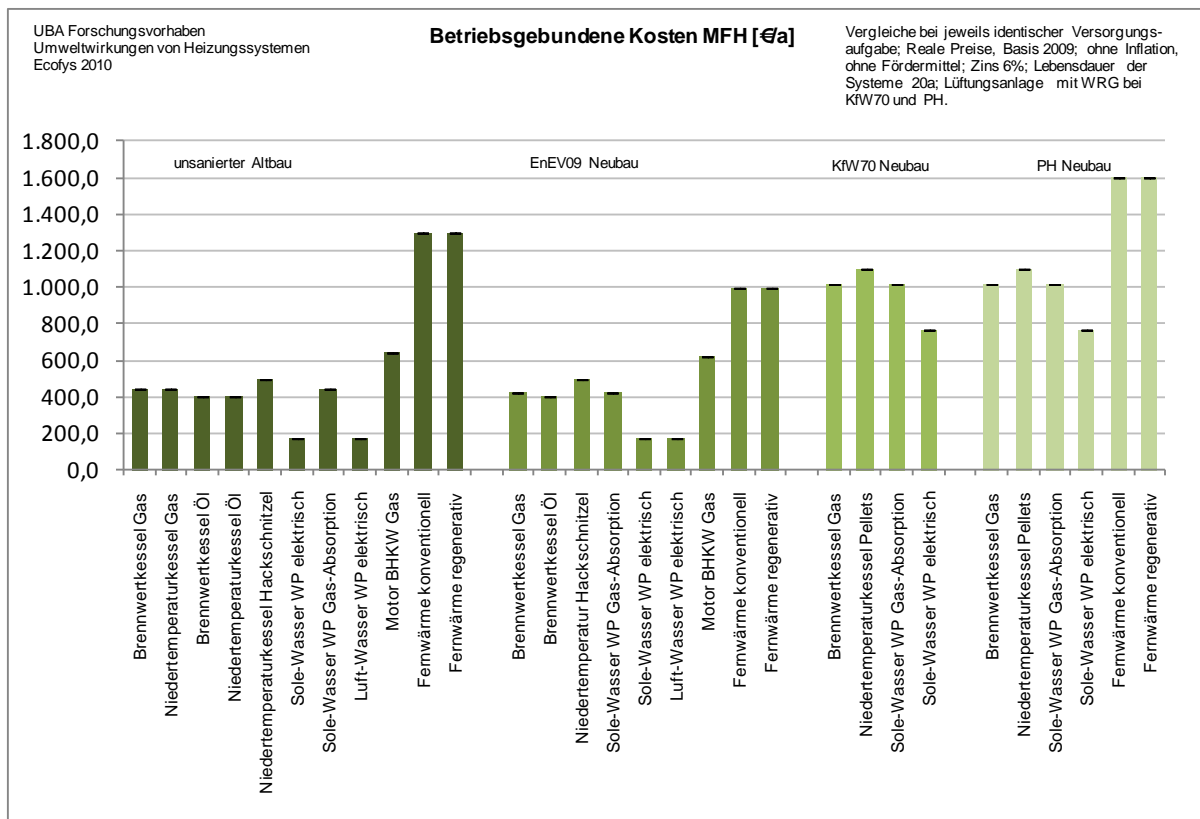


Abb. 6: Betriebsgebundene Kosten im Mehrfamilienhaus



Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten folgende Kostenkomponenten:

Wartung EFH

- Ölkessel 150,- €/ a
- Gaskessel/ -wärmepumpe 100,- €/ a
- Pellets/ Hackschnitzelanlage 200,- €/ a
- Wärmepumpe elektrisch 50,- €/ a
- Fernwärmeanschluss 50,- €/ a
- BHKW 200,- €/ a
- Lüftungsanlage (nur bei KfW und PH) 200,- €/ a

Wartung MFH (Annahme: doppelter Aufwand wie EFH bis auf Lüftung)

- Ölkessel 300,- €/ a
- Gaskessel/ -wärmepumpe 200,- €/ a
- Pellets/ Hackschnitzelanlage 400,- €/ a
- Wärmepumpe elektrisch 100,- €/ a
- Fernwärmeanschluss 100,- €/ a
- BHKW 400,- €/ a
- Lüftungsanlage (nur bei KfW und PH) 600,- €/ a

Schornsteinfeger

- Pauschal 100,- €/a

Die jährlichen Grundpreise für den Energieversorgungsanschluss werden wie folgt angenommen:

- REH Altbau: Erdgas 120,- €/a, Wärmepumpentarif 70,- €/a, Fernwärme 500,- €/a
- REH Neubau: Erdgas 100,- €/a, Wärmepumpentarif 70,- €/a, Fernwärme 300,- €/a
- MFH Altbau: Erdgas 140,- €/a, Wärmepumpentarif 70,- €/a, Fernwärme 1.200,- €/a
- MFH Neubau: Erdgas 120,- €/a, Wärmepumpentarif 70,- €/a, Fernwärme 900,- €/a

5.4.3 Verbrauchsgebundene Kosten

Die verbrauchsgebundenen Kosten ergeben sich aus dem Endenergiebedarf des Wärmeerzeugers und der notwendigen Hilfsenergie. Diese sind unter Einbeziehung der Energiepreise aus Abschnitt 5.3 in den Tab. 23 bis Tab. 26 aufgelistet. Hierbei ist mit dem mittleren Energiepreis von 2010 bis 2030 gerechnet.

Da solarthermische Systeme zur Trinkwassererwärmung in machen Kombinationen nicht sinnvoll sind bzw. nicht den Anforderungen der EnEV09 bzw. der EEWärmeG entsprechen würden, sind diese in den folgenden Grafiken jeweils grau unterlegt (siehe Kapitel 3).

Die aufgrund der Kombination mit bzw. ohne solarthermische Anlage ausgeschlossenen Kombinationen sind nicht in den Grafiken dargestellt. In den Ergebnistabellen im Anhang A sind diese jedoch ebenfalls enthalten (grau unterlegt).

Die verbrauchsgebundenen Kosten sind im unsanierten Altbau relativ hoch, wahren sie beim EnEV09 und KfW-Effizienzhaus 70 Neubau etwa auf gleichem Niveau liegen. Die verbrauchsgebundenen Kosten beim KfW-Effizienzhaus 70 liegen erwartungsgemäß nicht niedriger als beim Neubau nach EnEV-2009, da hier eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingebaut ist, die einen signifikanten Stromverbrauch von etwa 20 % an den verbrauchsgebundenen Kosten aufweist.

Abb. 7: Verbrauchsgebundene Kosten im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)

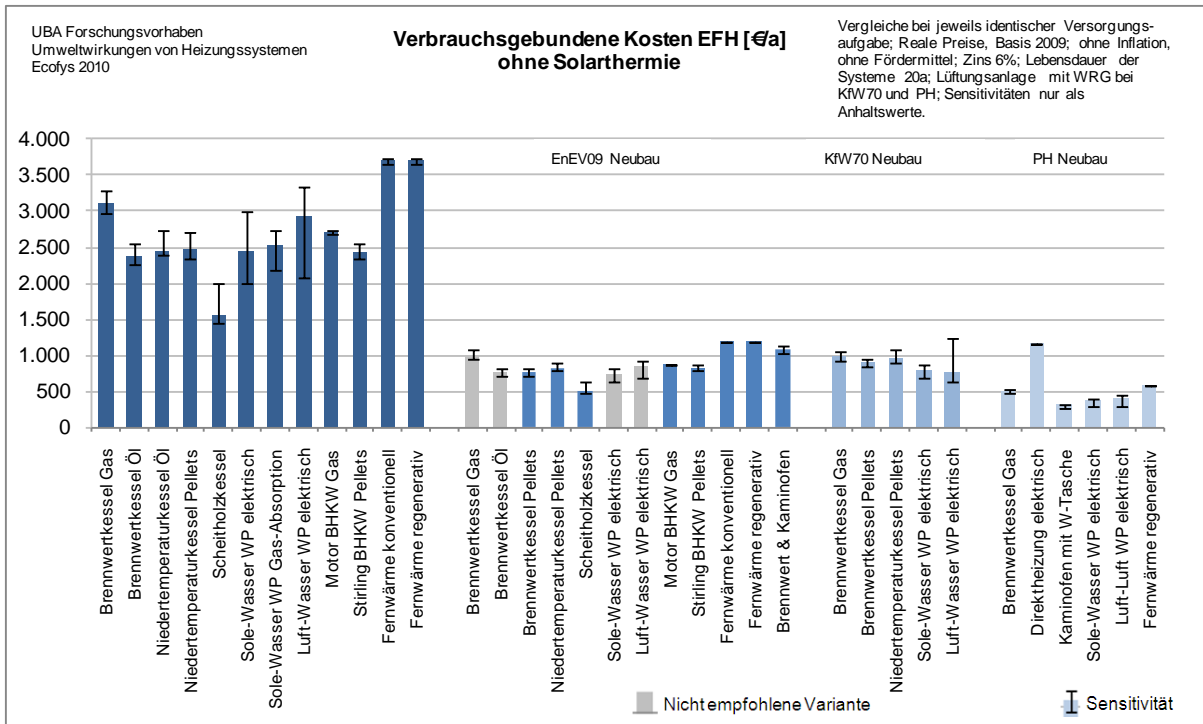


Abb. 8: Verbrauchsgebundene Kosten im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)

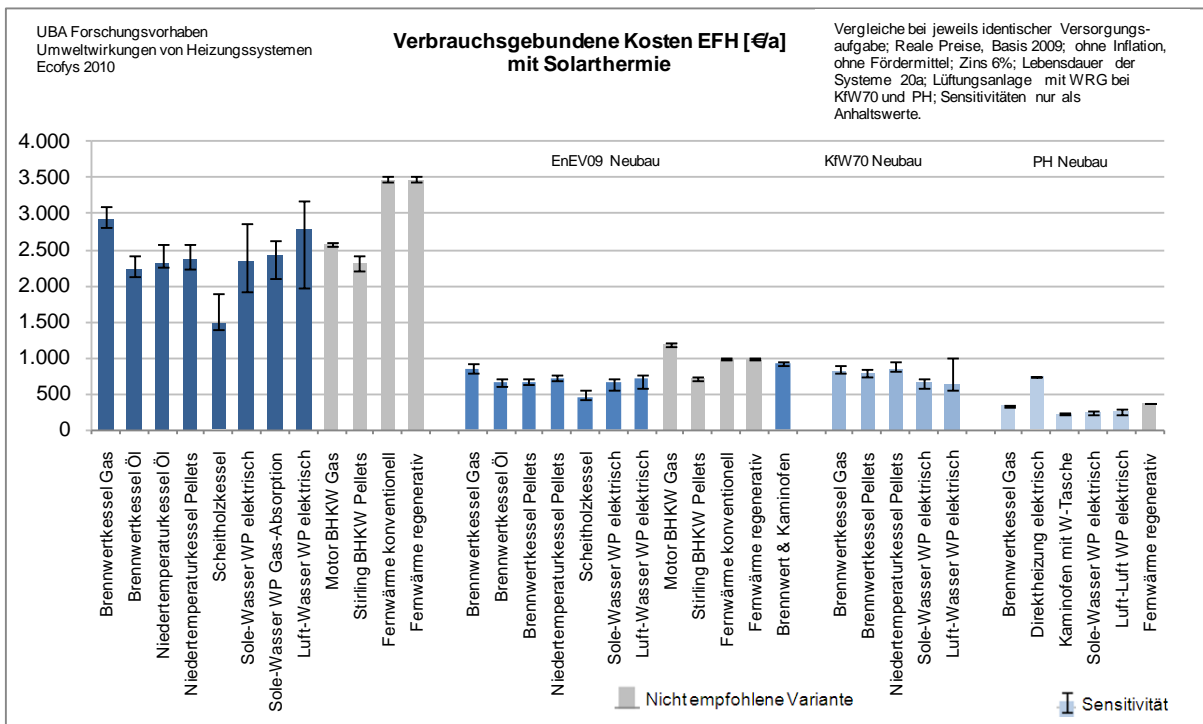


Abb. 9: Verbrauchsgebundene Kosten im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie)

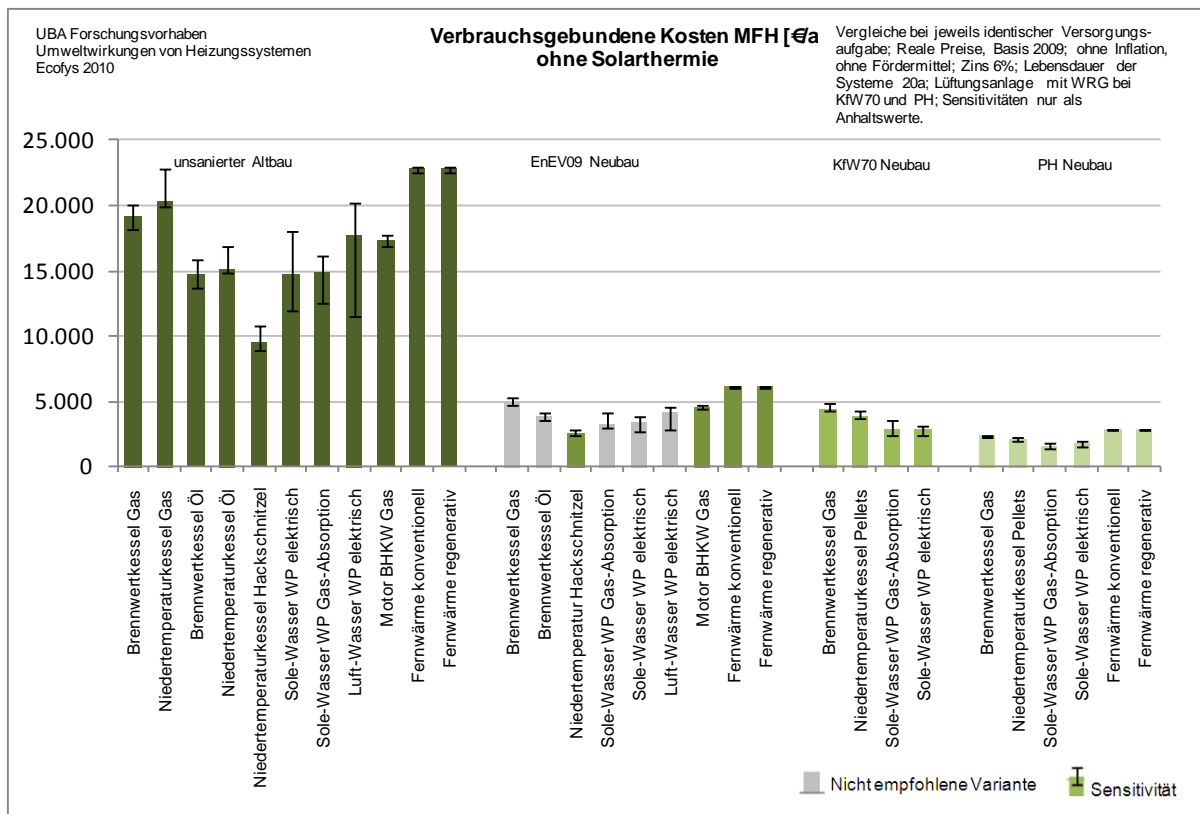
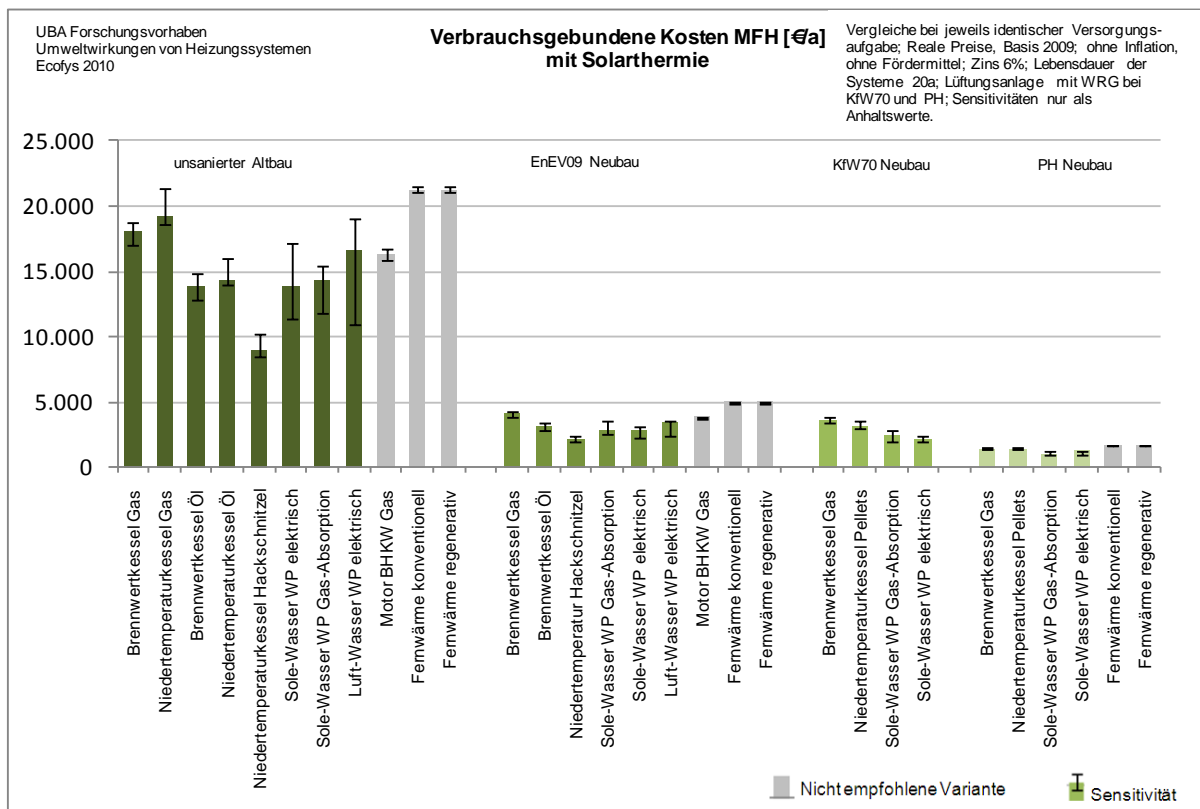


Abb. 10: Verbrauchsgebundene Kosten im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie)



6 Ergebnisse

Die Bilanzierung der Heizungssysteme erfolgt in folgender tabellarischer Struktur (siehe Tab. 14). Nach der Berechnung des Heizwärmebedarfes werden die oben beschriebenen Aufwandszahlen für die Heizwärme- und Warmwasserbereitung genutzt, um die Endenergiebedarfe zu berechnen. Hinzu kommen Hilfsenergiebedarfe sowie der Strom für Lüftungsanlagen. Mit Hilfe der Primärenergiefaktoren werden die Primärenergiebedarfe berechnet, sowie die Emissionen unter Zuhilfenahme der jeweiligen Emissionsfaktoren. Schließlich ergeben sich aus den Annuitäten der kapitalgebundenen Kosten sowie den betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten die Gesamtkosten der Heizungssysteme pro Jahr.

Tab. 14: Beispiel eines Berechnungsdatenblattes

Variante 1 - Versorgungssysteme: GasBrennwert, Fueltype: Erdgas				
RefBuild1	GasBrennwert	Erdgas		
Endenergiebedarf				
Aufwandszahl Heizung		1,04		
Aufschlag f. Speich., Ü., Vert.		1,08		
Aufwandszahl WW		1,15		
Aufschlag f. Speich., Ü., Vert.		1,89		
Endenergie Heizung	kWh/(m²a)	249	kWh/a	33.485
Endenergie WW	kWh/(m²a)	27	kWh/a	3.659
Lüftungsanlage	kWh/(m²a)	0,0	kWh/a	0
Hilfsenergiebedarf (Strom)	kWh/(m²a)	4,0	kWh/a	536
Primärenergiebedarf				
Primärenergie-Faktor (Heizung)		1,10		
	Strom	EL. konv		
Primärenergie-Faktor (Strom)		2,60		
Primärenergie (nicht erneuerbar)	kWh/(m²a)	314	kWh/a	42.252
Primärenergie (erneuerbar)	kWh/(m²a)	0	kWh/a	0
Emissionen				
CO ₂ -Emissionsfaktor Heizung	kg/ kWh	0,202		
THG-Emissionsfaktor Heizung	kg/ kWh	0,251		
CO ₂ -Emissionsfaktor Strom	kg/ kWh	0,590		
THG-Emissionsfaktor Strom	kg/ kWh	0,666		
CO ₂ -Emissionen	kg/(m²a)	58,0	kg/a	7.819
THG-Emissionen	kg/(m²a)	71,8	kg/a	9.673
Kosten				
<u>- kapitalgebunden</u>		<u>Lebensdauer</u>	<u>ANF</u>	<u>Annuität</u>
Wärmeerzeuger	3.300 €	20 a	0,087	288 €
Solarthermie	- €	15 a	0,103	- €
Wärmespeicher	1.300 €	30 a	0,073	94 €
Wärmeverteilung	4.700 €	30 a	0,073	341 €
Einbau+Anschluss	1.700 €	20 a	0,087	148 €
Tank/ Lager	- €	20 a	0,087	- €
Gas+El-Installationen	700 €	50 a	0,063	44 €
	11.700 €			916 €
<u>- betriebsgebunden</u>				
Wartungskosten/ Grundkosten Anschluss			€/ a	220 €
Schornsteinfeger			€/ a	100 €
				320 €
<u>- verbrauchsgebunden</u>				
Energiekosten	€/ kWh	0,080	€/ a	2.974 €
Hilfsenergiekosten	€/ kWh	0,226	€/ a	121 €
				3.095 €
Jahresgesamtkosten			€/ a	4.332 €

Die Berechnungsdatenblätter werden nach Abschluss des Projektes zur Verfügung gestellt.

6.1 End- und Primärenergiebedarfe

Da solarthermische Systeme zur Trinkwassererwärmung in machen Kombinationen nicht sinnvoll sind bzw. nicht den Anforderungen der EnEV09 bzw. der EEWärmeG entsprechen würden, sind diese in Tabellen und Grafiken jeweils grau unterlegt (siehe auch Kapitel 3).

6.1.1 Endenergiebedarfe

Im folgenden Abschnitt werden die Endenergiebedarfe zur Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser dargestellt. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang A und B zu finden, hier werden nur Auszüge erläutert.

Die optionale solarthermische Anlage reduziert den Energiebedarf zur Warmwassererzeugung. Dieser Effekt ist für das Reihenendhaus in den Abb. 13 und Abb. 14 veranschaulicht. Im Durchschnitt werden die Bedarfe um 50% reduziert.

Auf eine ausführliche Analyse dieser Ergebnisse wird an dieser Stelle verzichtet, da in den Abschnitten 6.1 und 6.2 detailliert auf die CO₂-Emissionen und Jahresgesamtkosten eingegangen wird.

Abb. 11: Endenergiebedarf Heizwärme im Einfamilienhaus

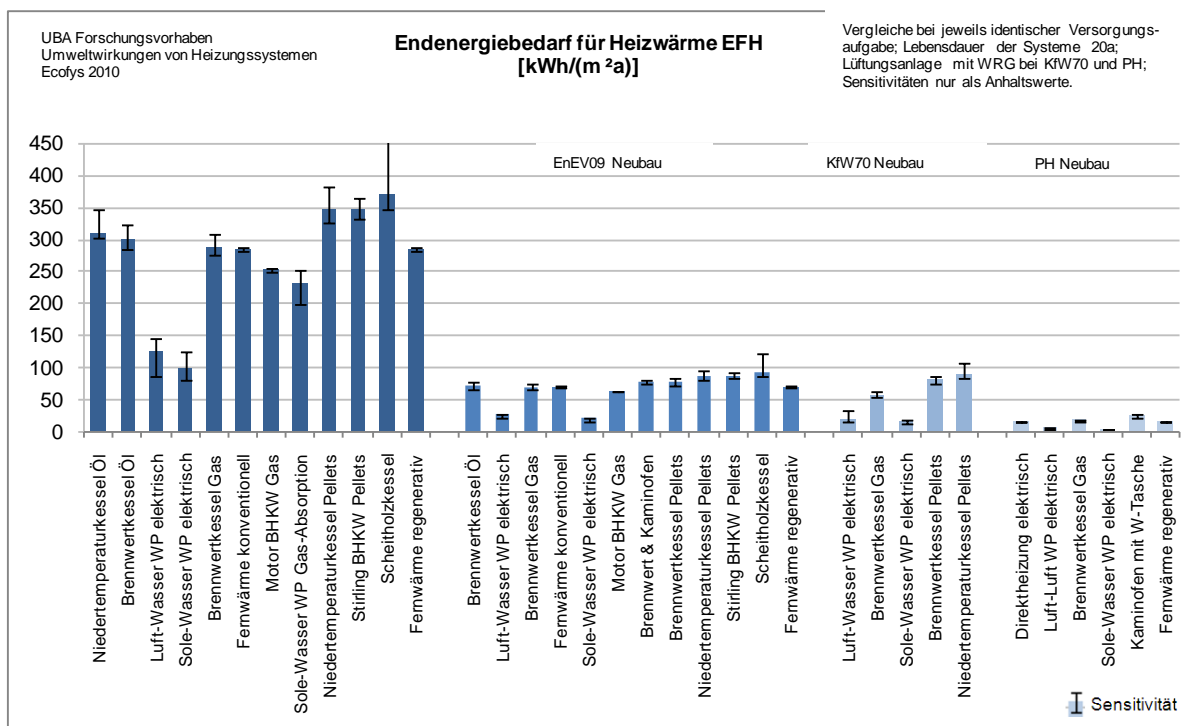


Abb. 12: Endenergiebedarf Heizwärme im Mehrfamilienhaus

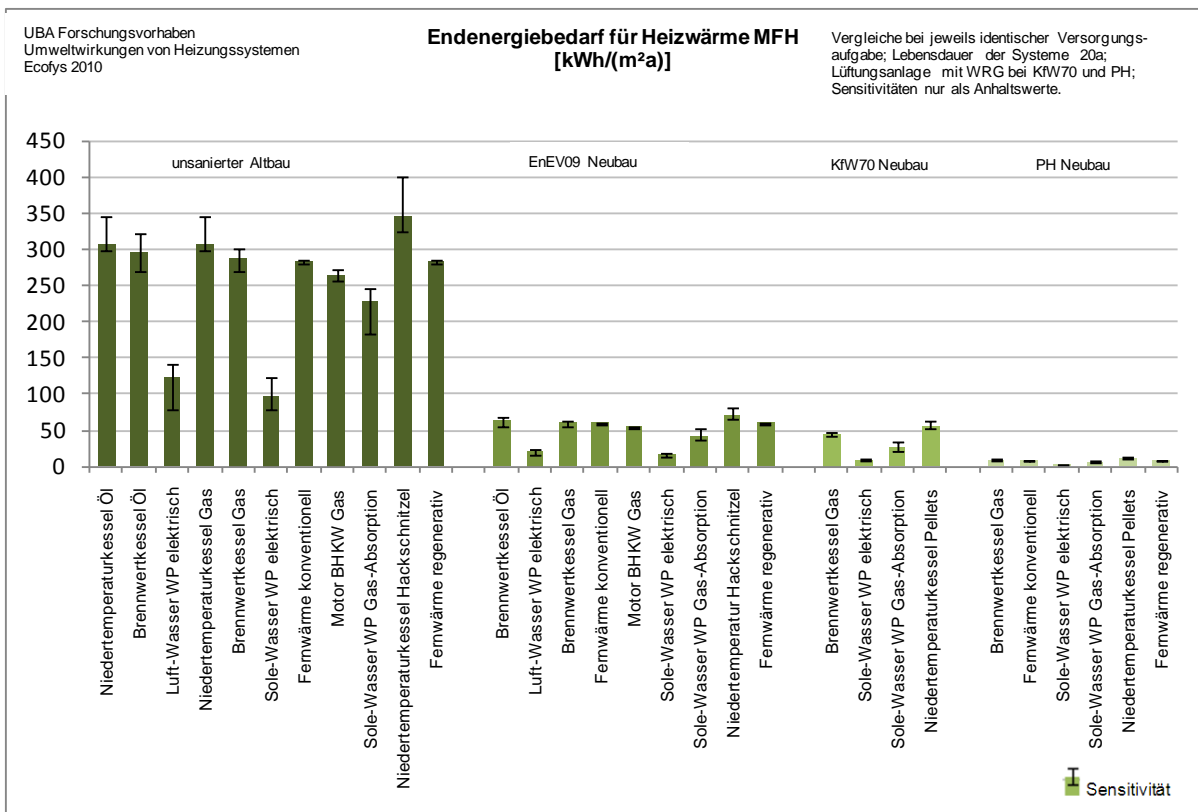


Abb. 13: Endenergiebedarf Warmwasser im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)

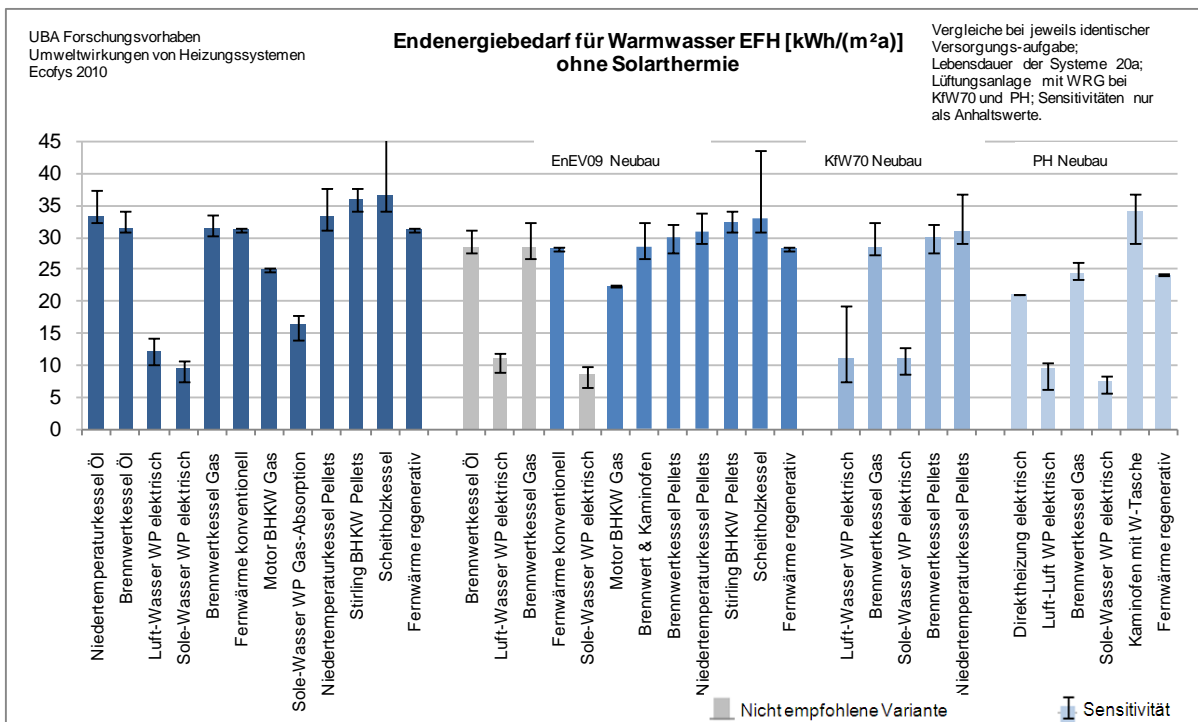
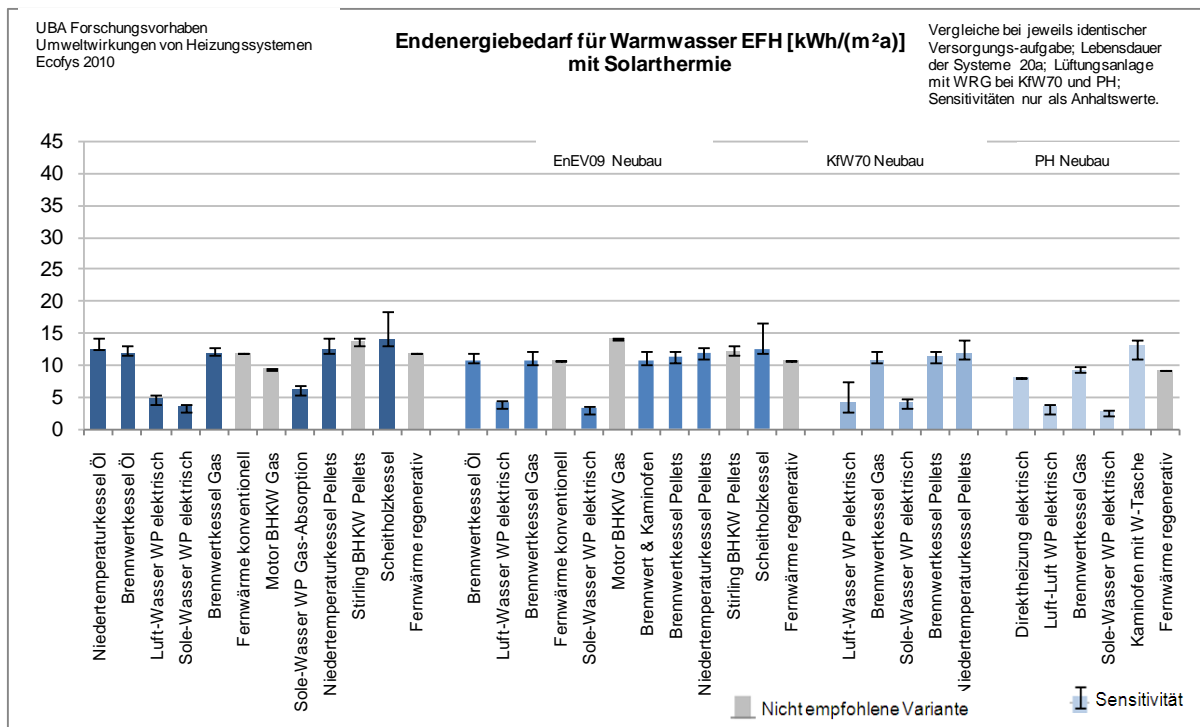


Abb. 14: Endenergiebedarf Warmwasser im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)



6.1.2 Primärenergiebedarfe

Auf eine ausführliche Analyse dieser Ergebnisse wird an dieser Stelle verzichtet, da in den Abschnitten 6.2 und 6.3 detailliert auf die CO₂-Emissionen und Jahresgesamtkosten eingegangen wird. An dieser Stelle sei lediglich darauf hingewiesen, dass sich die Primärenergiebedarfe signifikant von den Endenergiebedarfen unterscheiden.

Weiterhin ist der Primärenergiefaktor für den erzeugten KWK-Strom mit ca. 1,4 für das Erdgas-KWK System und ca. 0,35 für das Pellets-KWK System (Stirling) deutlich kleiner als der des durchschnittlichen deutschen Strommix (2,6).

Abb. 15: Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)

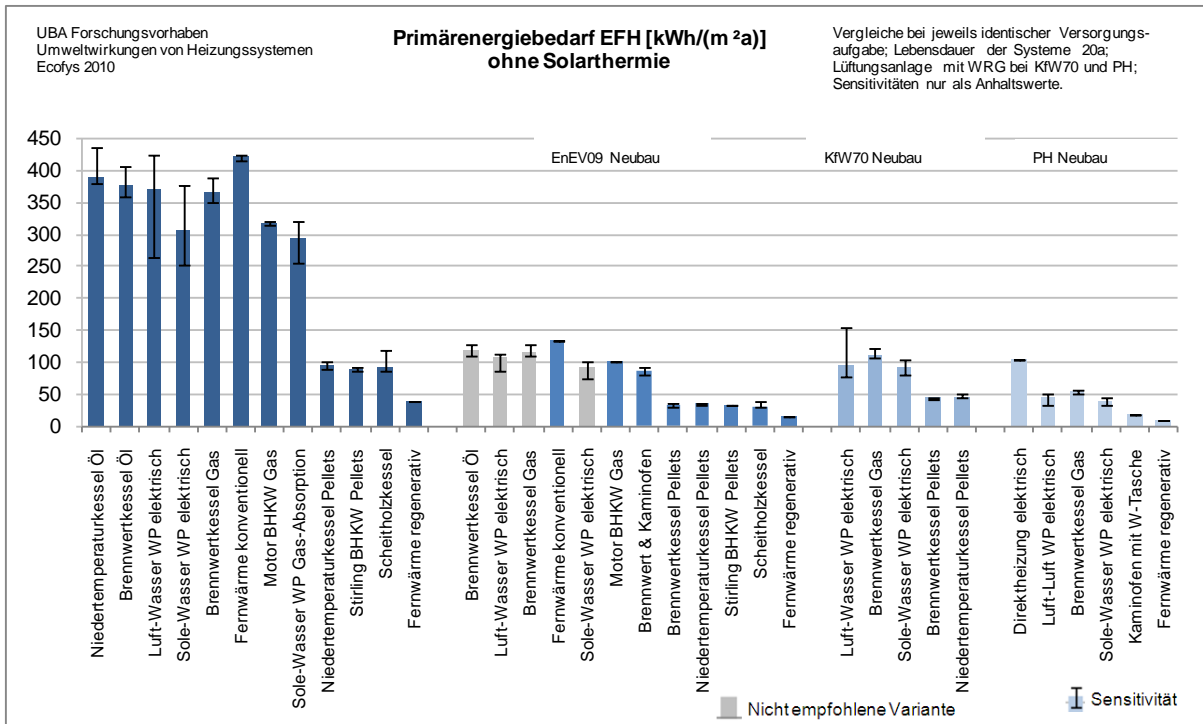


Abb. 16: Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)

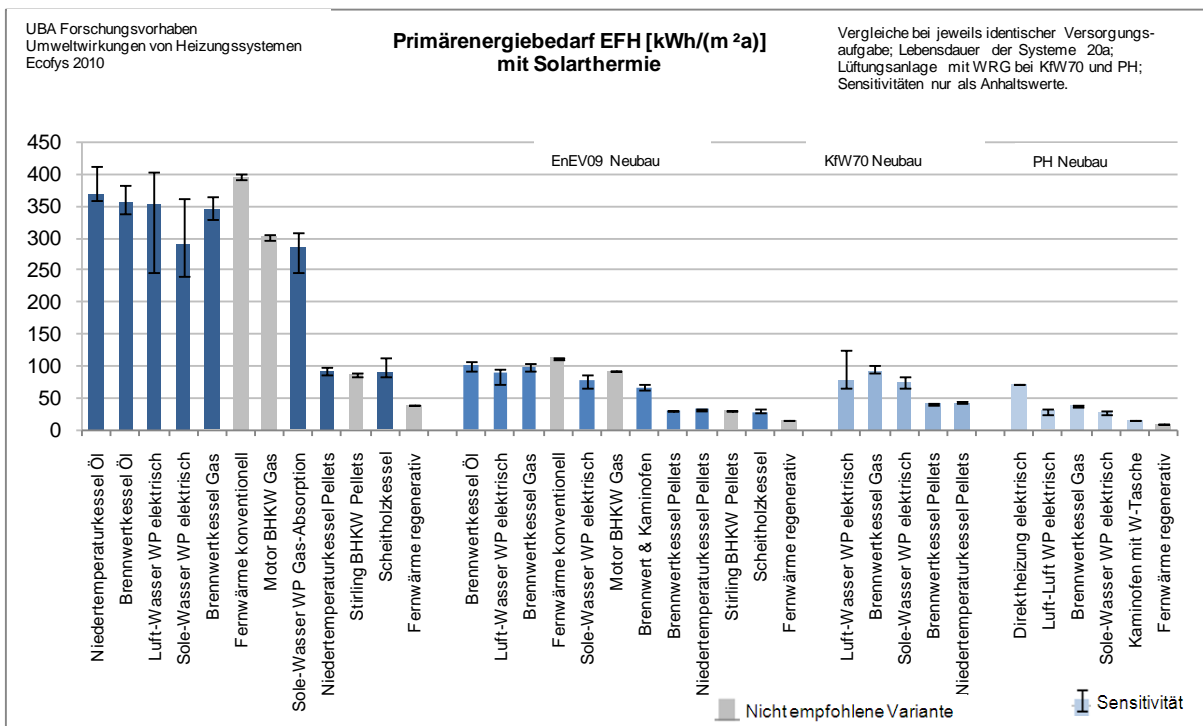


Abb. 17: Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie)

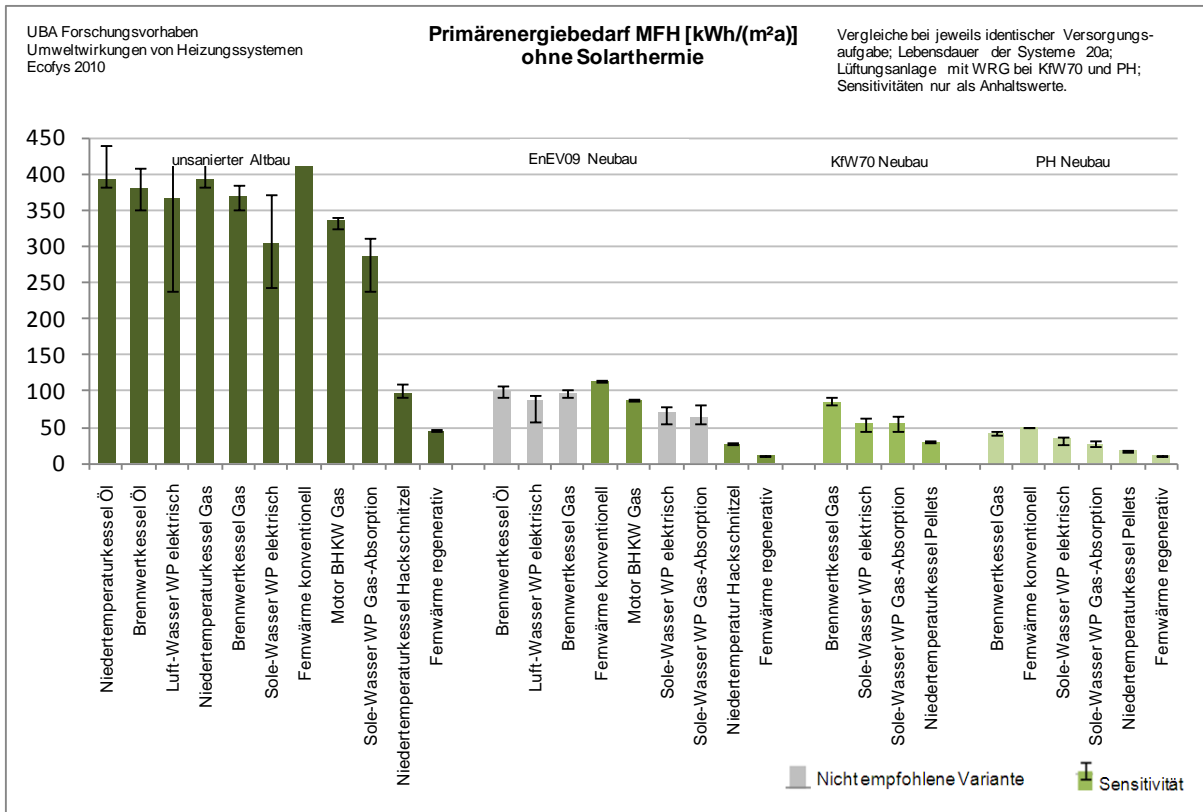
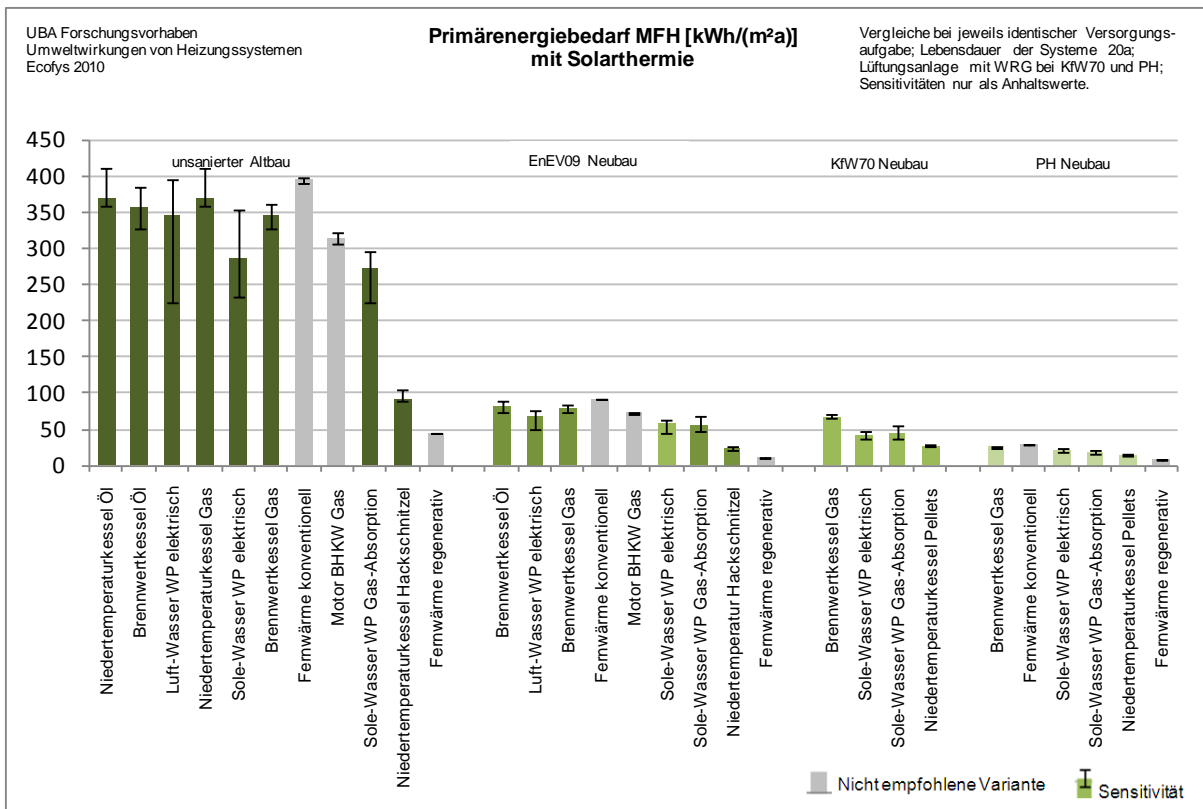


Abb. 18: Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie)



6.2 Emissionen der Systeme im Vergleich

In den Abb. 19 und 20 sind die CO₂-Emissionen für das Reihenendhaus dargestellt. Hierbei wird zwischen CO₂-Emissionen und den Treibhausgas-Emissionen mit Vorketten unterschieden. Die Abb. 21 und 22 geben den gleichen Sachverhalt für das Mehrfamilienhaus wieder.

Die Übersichten zu den CO₂-Emissionen der Heizungsanlagen sind absteigend sortiert. Die gleiche Reihenfolge wird für die Jahresgesamtkosten beibehalten. Hieraus lässt sich die Reihenfolge der Systeme in Bezug auf Emissionen gut erkennen. Die spezifischen Angaben beziehen sich auf die Energiebezugsfläche A_{EB} nach PHPP-Definition.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die höchsten Emissionen vom unsanierten Altbau emittiert werden. Hier weisen die Öl-Niedertemperatur- bzw. Brennwertkessel die höchsten spezifischen Emissionen auf. Sole-Wasser Wärmepumpen stehen aufgrund des besseren Jahresarbeitszahl etwas besser da als Luft-Wärmepumpen. Bei Wärmepumpen können je nach Einsatz größere Schwankungen auftreten. Die Streuung ist hier größer als beispielsweise beim Gas-Brennwertkessel. Sehr wenig Treibhausgase emittieren die Scheitholz- und Pelletkessel, die auf ähnlichem Niveau liegen wie die regenerative Fernwärme.

Diese Reihenfolge ist bei den drei anderen Energiestandards nahezu gleich. In der Tendenz werden die spezifischen Emissionen bis hin zum Passivhaus immer kleiner. Im Fall des Passivhauses fällt außerdem auf, dass die elektrische Direktheizung sehr hohe Emissionen aufweist. Die Stromverbräuche der Lüftungsanlagen im KfW-70- und Passivhaus-Neubau verursachen ebenfalls einen nicht unerheblichen Anteil an den Treibhausgas-Emissionen von ca. 20 %.

Erzeugt ein Gas-Brennwertkessel im unsanierten Altbau noch etwas weniger Emissionen im Vergleich zur Sole-Wasser Wärmepumpe, so kehrt sich dieser Effekt bei den Neubauten um. Dies liegt an der etwas schlechteren Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Altbau im Vergleich zum Neubau. Weiterhin ist auffällig, dass ein Gas-Brennwertkessel im Passivhaus weniger Emissionen verursacht als alle konventionellen, fossilen Heizungsanlagen im KfW70 Neubau.

Wärmepumpen im unsanierten Altbau

Der für den unsanierten Altbau dargestellte Standardfall für Wärmepumpen trifft nur für „relative gute“ unsanierte Altbauten zu. In Altbauten mit sehr hohen Heizwärmebedarfen sind teilweise Radiator-Heizungen mit Vorlauftemperaturen über 70 °C eingebaut. Hier ist es nicht sinnvoll, eine Wärmepumpe einzubauen, da diese Temperaturniveaus mit Wärmepumpen nicht erreicht werden können. Es gibt allerdings auch etliche unsanierte Altbauten, in denen die Radiatoren teilweise zu groß dimensioniert sind und die moderate Heizwärmebedarfe aufweisen. Hier sind Vorlauftemperaturen im Mittel von 55 °C denkbar, bei Tagen mit höheren Heizlasten wird auf einen elektrischen Heizstab umgestellt. Dieses Szenario wird mit dem mittleren Wert abgedeckt.

Für den Fall höherer Vorlauftemperaturen ist in der Sensitivität (Abb. 19) bei der Sole-Wasser Wärmepumpe im Altbau der Fall aufgezeigt, bei dem eine Aufwandszahl von 0,42 angenommen wird und ein zusätzlicher Energiebedarf für den Heizstab von 30 %. Dies führt

dann zu deutlich höheren Energiebedarfen und Emissionen. Hier ist der Einsatz einer Wärmepumpe nicht empfehlenswert.

Grau hinterlegte Balken sind Kombinationen mit bzw. ohne solarthermischer Anlage, die aufgrund der obigen Definitionen nicht empfohlen sind bzw. nur eingeschränkt realisierbar sind.

Die Emissionsübersichten für das Mehrfamilienhaus sehen ähnlich aus. Auch hier ist zu erkennen, dass die Passivhäuser im Durchschnitt die niedrigsten spezifischen Emissionen aufweisen. Beim Mehrfamilienhaus ist im Gegensatz zum Reihenendhaus die Sole-Wasser-Wärmepumpe auch im unsanierten Altbau leicht besser, allerdings auch mit sehr viel größeren Schwankungen verbunden. Alle Systeme im Passivhaus verursachen weniger spezifische Emissionen als die fossilen Systeme im Fall des KfW70 oder EnEV09 Neubaus.

Abb. 19: CO₂- und Treibhausgas-Emissionen im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)

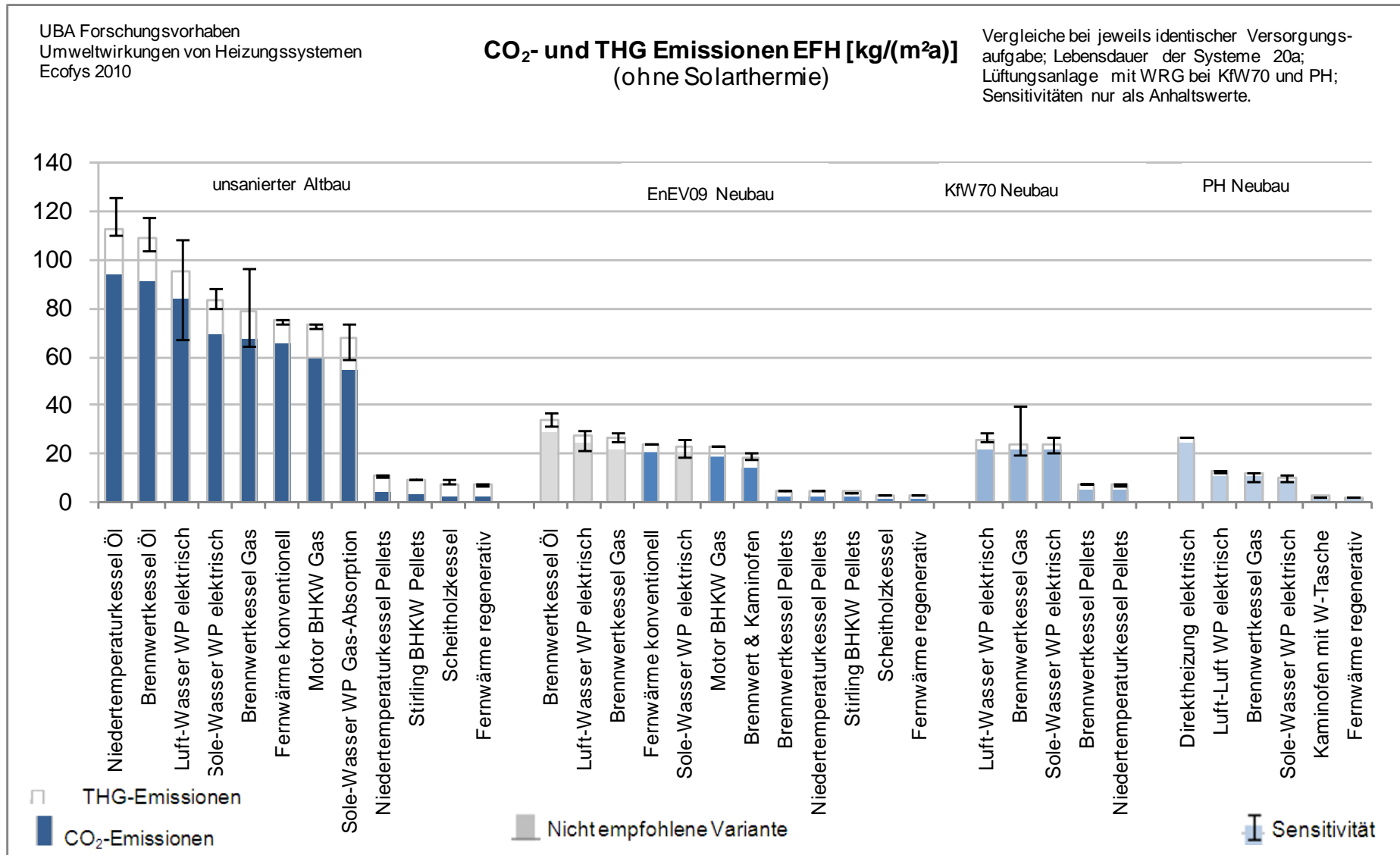


Abb. 20: CO₂- und Treibhausgas-Emissionen im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)

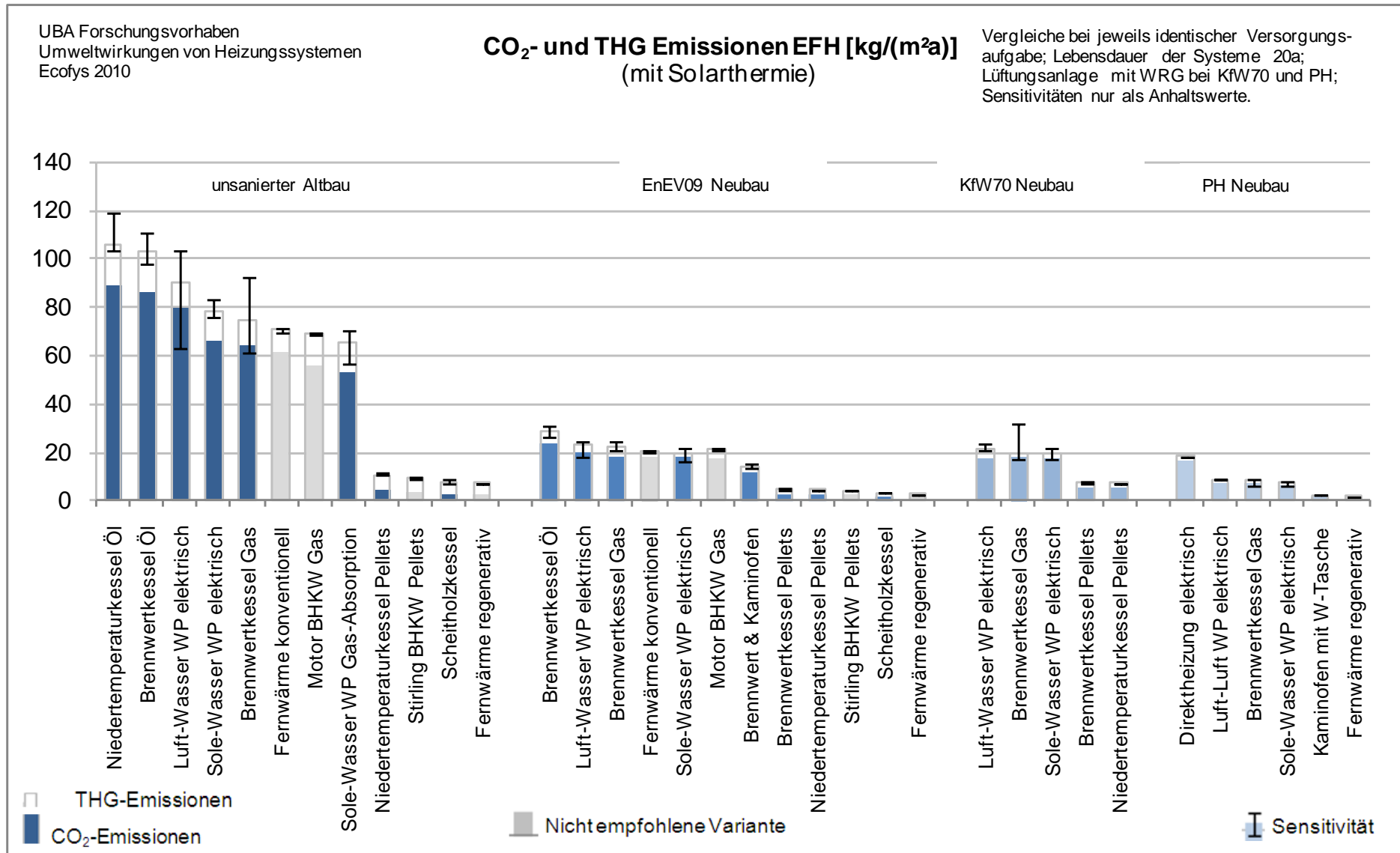


Abb. 21: CO₂- und Treibhausgas-Emissionen im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie)

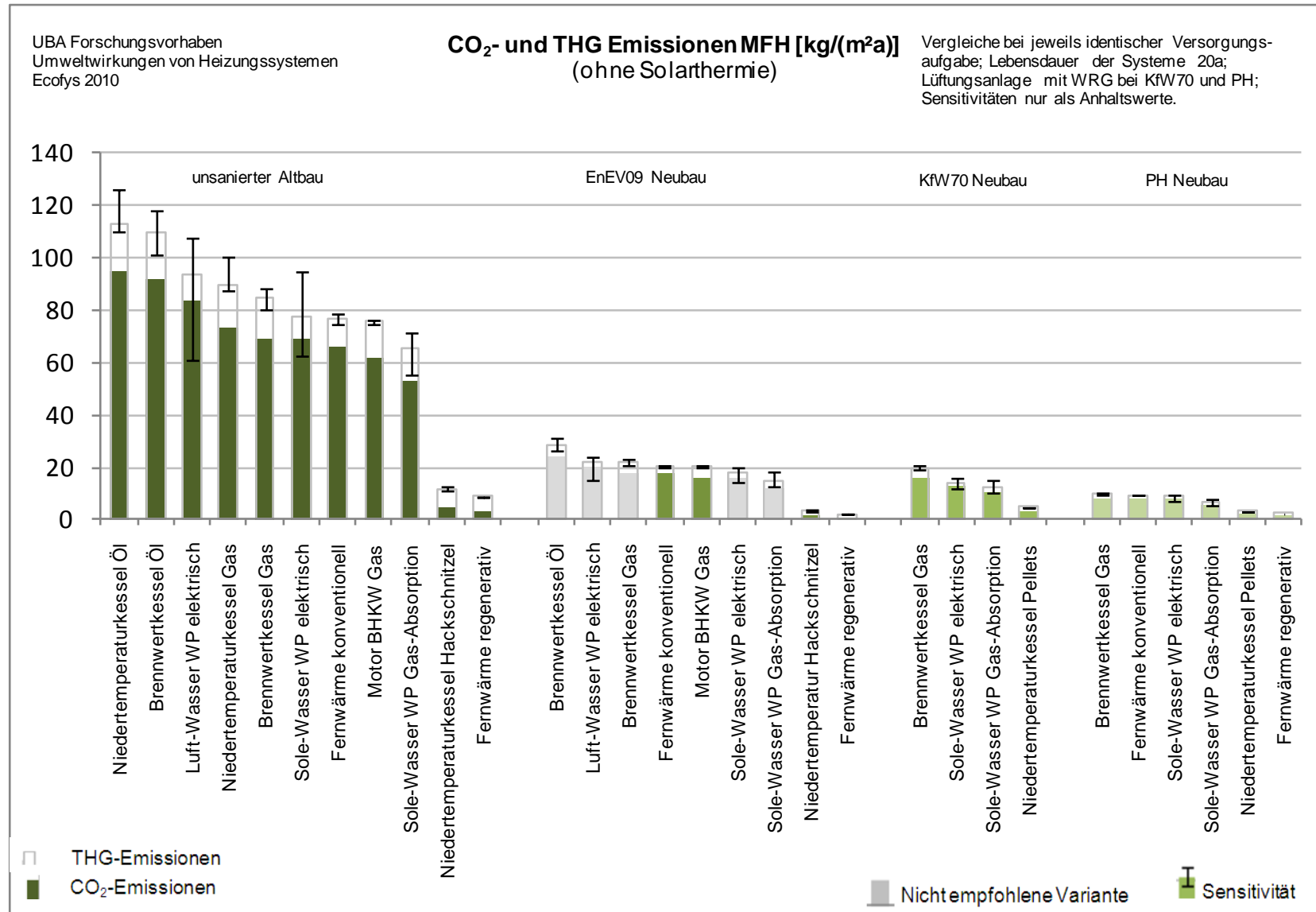
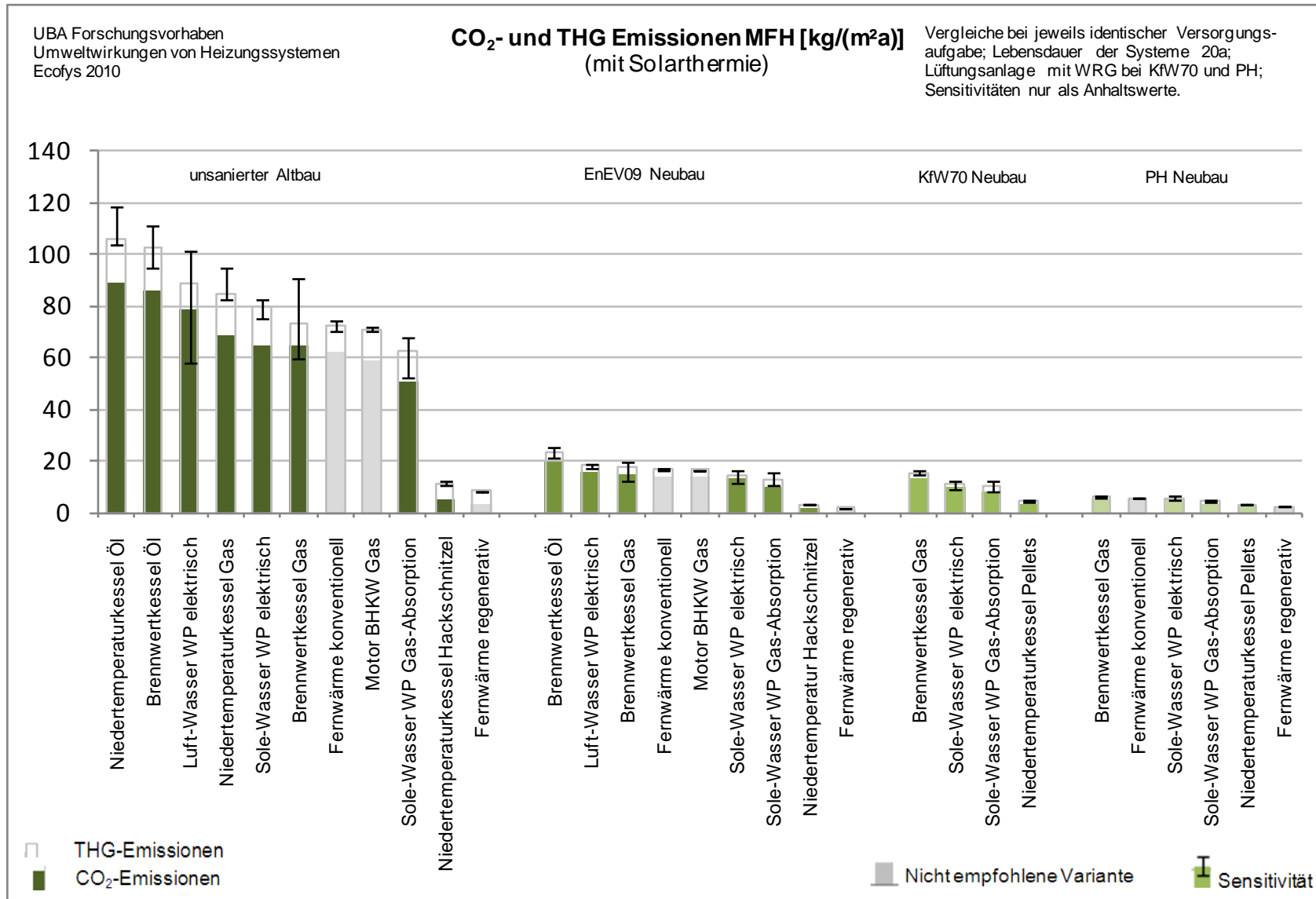


Abb. 22: CO₂- und Treibhausgas-Emissionen im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie)



Andere Emissionen

Tab. 15 enthält für den Fall des EnEV09 Neubaus für das Reihendhaus auch die CO-, NOx- und Feinstaubemissionen. Hier zeigt sich, dass die CO₂- Emissionen (die als Referenz mit aufgetragen wurden) bei Öl- und Gasheizungen sowie elektrisch betriebenen Wärmepumpen jeweils am größten sind. Ein anderes Bild ergibt sich bei Biomasseheizungen, denn vor allem bei der Scheitholzverbrennung entstehen sehr viele CO-Emissionen, auch wenn die CO₂-Emissionen relativ gering sind. Auch die NOx-Emissionen liegen bei der Biomasseverbrennung signifikant über denjenigen der fossilen Heizungssysteme.

Tab. 15: Emissionen von Luftschadstoffen am Beispiel des EnEV09-Neubaus EFH

Emissionen von Luftschadstoffen am Beispiel des EnEV09-Neubaus EFH [kg/a]				
	CO ₂	CO	NOx	Staub
Brennwertkessel Öl	3.088	0,60	1,72	0,15
Fernwärme konventionell	2.427	1,19	2,86	0,07
Brennwertkessel Gas	2.384	0,83	0,66	0,01
Luft-Wasser-WP elektrisch	2.266	1,07	1,70	0,07
Motor BHKW Gas	2.182	0,93	1,08	0,01
Sole-Wasser-WP elektrisch	1.979	0,93	1,49	0,06
Gas-Brennwert & Kaminofen	1.606	3,83	1,81	0,40
Brennwertkessel Pellets	325	7,76	3,49	0,93
Niedertemperaturkessel Pellets	325	8,59	3,84	1,03
Stirling BHKW Pellets	269	8,85	3,92	1,06
Scheitholzessel	181	20,98	4,25	2,21

6.3 Jahresgesamtkosten der Systeme im Vergleich

Neben den Aufstellungen der CO₂-Emissionen sind die Jahresgesamtkosten ein entscheidendes Ergebnis dieser Untersuchung. Diese werden im folgenden Abschnitt detailliert erläutert.

Das vorliegende Gutachten analysiert die Jahresgesamtkosten der Heizungssysteme. Andere Komponenten wie z.B. der Wärmeschutz der Gebäudehülle bleiben unberücksichtigt. Eine Darstellung der gesamten Kosten für den jeweiligen Effizienzstandard eines Gebäudes führt auch zwangsläufig zu unterschiedlichen Kosten, die hier keine Berücksichtigung finden. Des Weiteren sind in den Kosten keinerlei Fördermittel oder andere Vergünstigungen enthalten.

In den Abb. 24 und Abb. 25 sind die Jahresgesamtkosten mit und ohne Berücksichtigung der solarthermischen Anlagen dargestellt. Die Reihenfolge der Heizungssysteme ist anhand absteigender Emissionen beibehalten. Die Jahresgesamtkosten für die Heizungssysteme im unsanierten Bestand sind nahezu in jedem Fall größer als diejenigen für die Neubauten. Weiterhin fällt auf, dass die Kosten für den KfW70 Neubau größer sind als die für den EnEV09 Neubau. Dies ist mit den Jahresgesamtkosten für die zusätzliche Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zu erklären, die sowohl die kapitalgebundenen Kosten (Investition) als auf die verbrauchsgebundenen Kosten (Stromverbrauch) erhöhen. Je geringer der Heizwärmebedarf des Gebäudes, desto geringer ist auch die Abweichung der Jahresgesamtkosten untereinander.

Wärmepumpen sind in den Jahresgesamtkosten höher zu beziffern als Gas-Brennwertkessel. Dies liegt vor allem an hohem Anschaffungspreis. Die Jahresgesamtkosten von Öl-Niedertemperatur- und Brennwertkesseln sind nochmal etwas günstiger, weil der angesetzte Preis für Heizöl niedriger ist als der Preis für Erdgas.

In allen Fällen stellt sich der Gas-Brennwertkessel etwas besser dar als die Sole-Wasser Wärmepumpe, bei der gleichzeitig die Schwankungsbreite aufgrund der definierten Aufwandszahlen deutlich größer ist. Für Selbstversorger stellen Scheitholzessel eine sehr günstige Versorgungsvariante dar, die jedoch nur in den seltensten Fällen aufgrund der notwendigen Infrastruktur und der manuellen Beschickung in Frage kommt. Die Heizungssysteme im Passivhaus sind bezogen auf die Gesamtkosten im Mittel etwas günstiger als diejenigen im KfW70 bzw. im EnEV09 Neubau. Hier lassen sich demzufolge Emissionen sparen und zugleich die Wirtschaftlichkeit der Gebäudeversorgung verbessern.

Mit zunehmend sparsameren Gebäuden wird der relative Anteil der kapitalgebundenen Kosten größer und der Einfluss der verbrauchsgebundenen Kosten kleiner. Dieser Effekt ist besonders gut beim Gas-Brennwertkessel zu beobachten, der für jeden Energiestandard zum Einsatz kommt.

Bei relativ niedrigen Heizwärmebedarfen (wie beispielsweise Passivhaus-Mehrfamilienhäusern bzw. –siedlungen) wird eine Versorgung mit regenerativer Fern- bzw. Nahwärme zur echten Alternative, da nicht nur Emissionen gespart werden können, sondern auch die Kosten aufgrund der relativ geringen Bedarfe bei einer gleichzeitig großen Anzahl von Wohnungen relativ moderat sind.

Abb. 23: Jahresgesamtkosten der Heizungsanlagen im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)

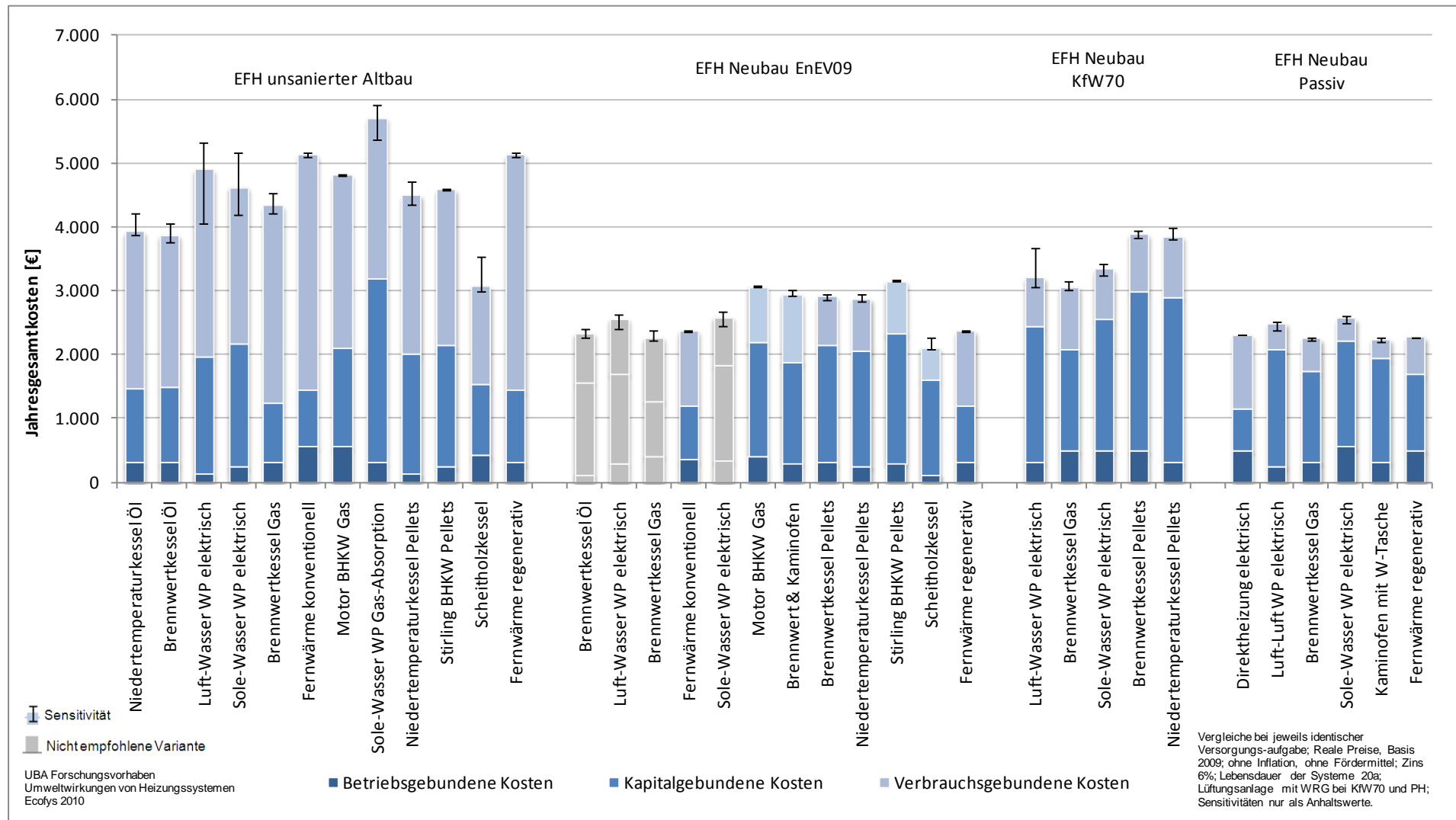


Abb. 24: Jahresgesamtkosten der Heizungsanlagen im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)

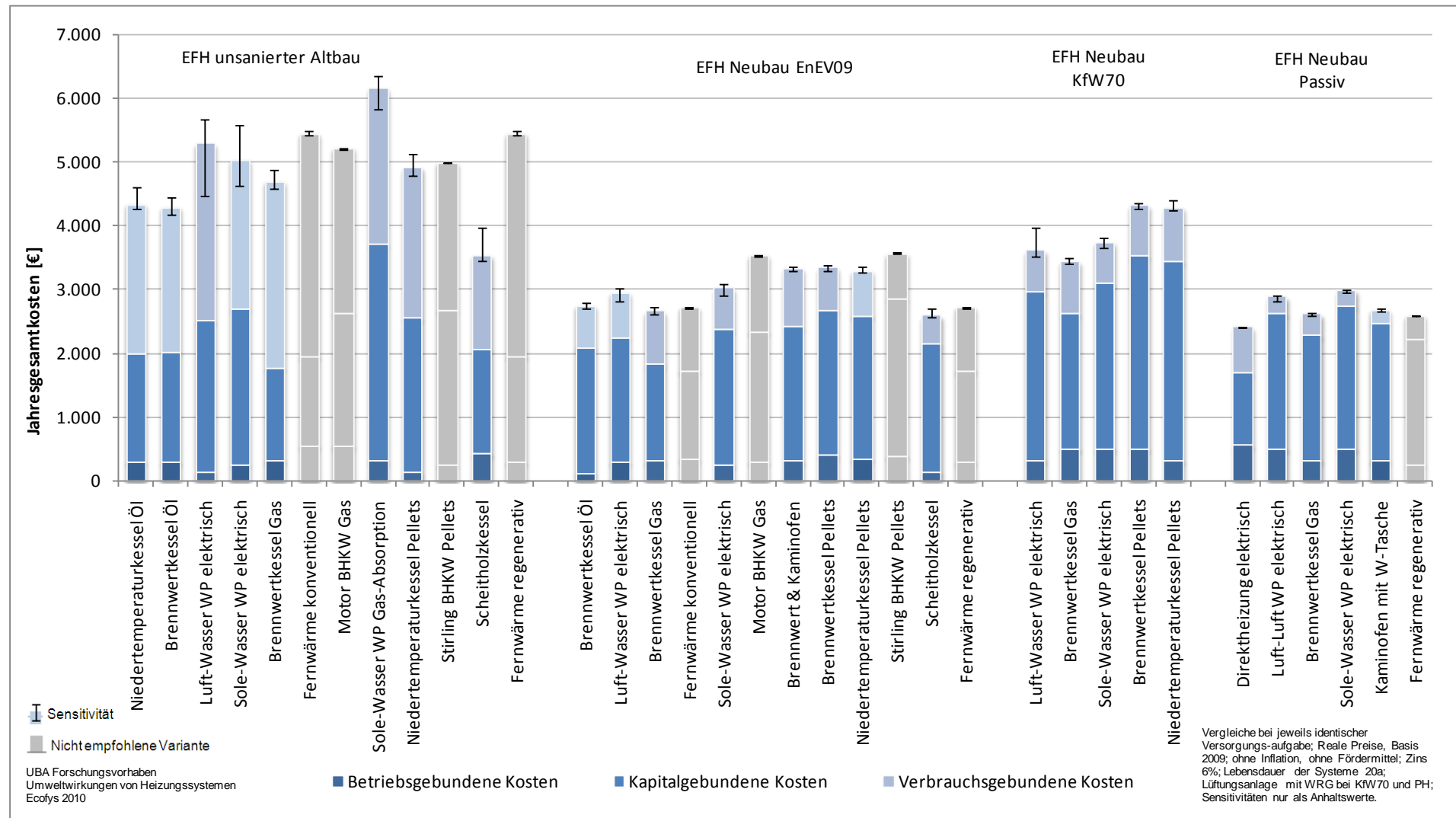


Abb. 25: Jahresgesamtkosten der Heizungsanlagen im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie)

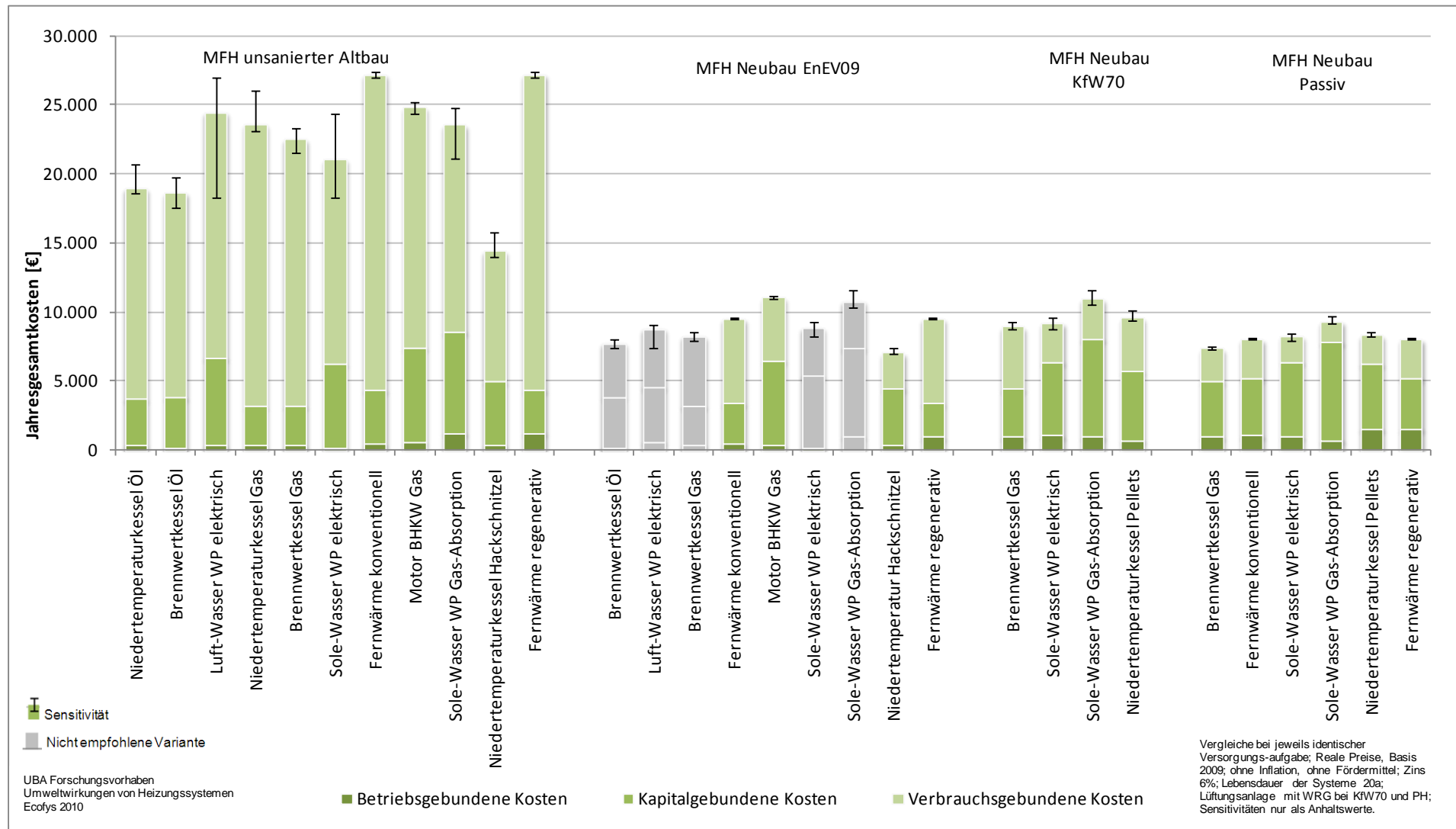
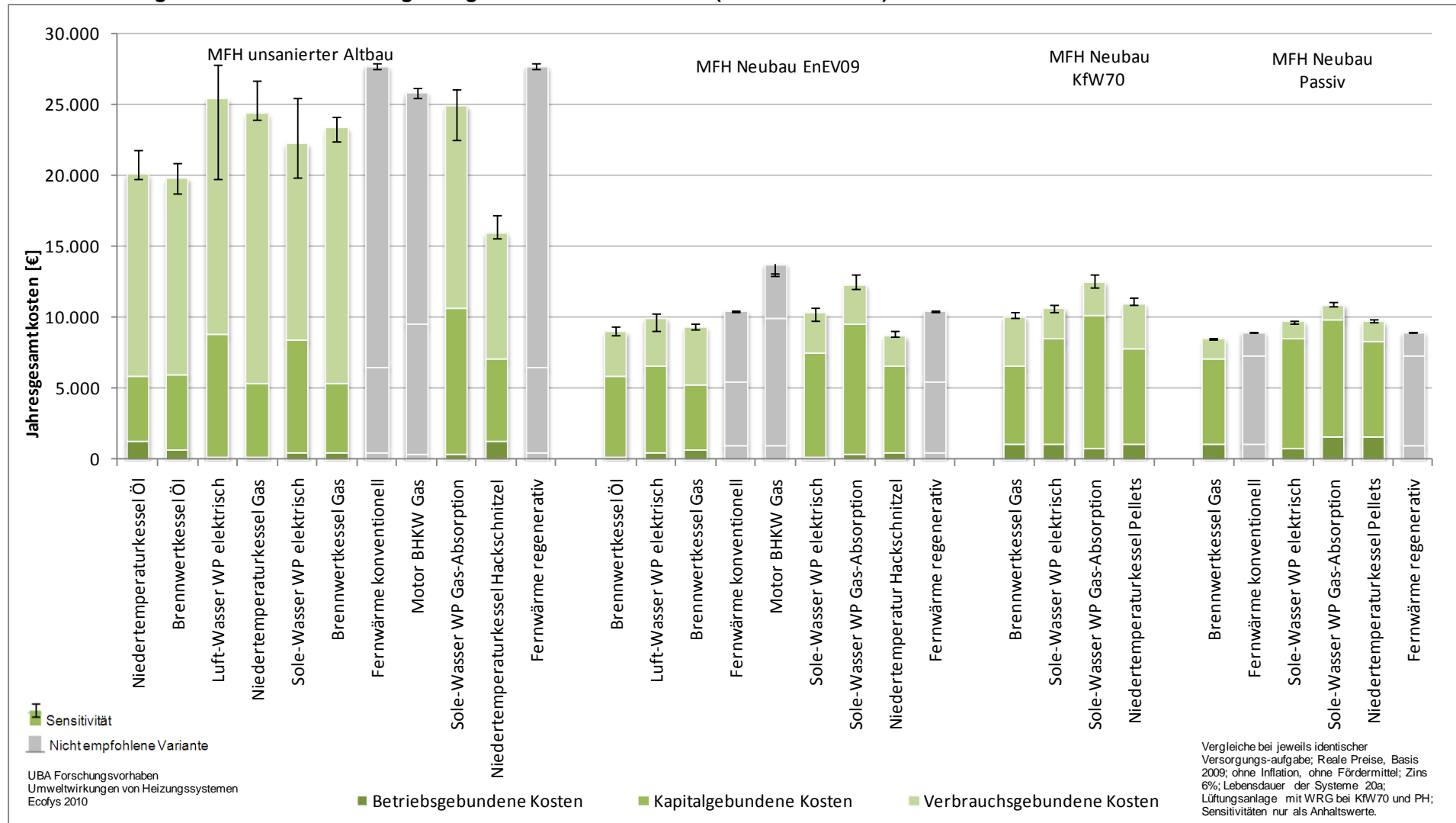


Abb. 26: Jahresgesamtkosten der Heizungsanlagen im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie)



6.4 Weiterer Forschungsbedarf und Ausblick

Im Hinblick auf zukünftige Anforderungen sehen wir in folgenden Feldern noch weiteren Forschungsbedarf.

6.4.1 Erweiterungen und Fortführung im Rahmen dieser Studie

Neben einer kontinuierlichen Aktualisierung der Untersuchung zu den Umweltwirkungen der Heizungssysteme und Anpassung von Investitionskosten, Zinssätzen, Energiepreisen und Emissions- sowie Primärenergiefaktoren erscheinen folgende Ansatzpunkte sehr interessant:

Während des Bearbeitens dieser Studie und in den Abstimmungstreffen ist mehrfach der Wunsch geäußert worden, weitere Sensitivitäten in Bezug auf Zinssatz und Primärenergiefaktoren, ggf. auch für die Investitionskosten der Systeme.

Darüber hinaus sind weitere KWK-Allokationsmethoden (beispielsweise nach AGFW Arbeitsblatt FW 308 "Zertifizierung von KWK-Anlagen – Ermittlung des KWK-Stromes -" statt nach der „Finnischen Methode“) denkbar.

Eine Berechnung der bereits definierten Referenzgebäude nach DIN V 18599 könnte noch detailliertere Randbedingungen berücksichtigen, wie beispielsweise eine Einzelraumregelung etc.

Weiterhin wurde das sog. „Biomassebudget“⁴ diskutiert, bei dem die günstigen Primärenergiefaktoren für Biomasse nur bis zu einem bestimmten Heizwärmebedarf in Ansatz gebracht werden, und darüber hinaus mit 1,0 gerechnet wird, um die begrenzte Verfügbarkeit und die Konkurrenz zu anderen Nutzungsarten zu unterstreichen.

6.4.2 Ausweitung des Betrachtungsrahmens auf die Gebäudehülle

Im vorliegenden Forschungsvorhaben liegt der Fokus auf den Heizungssystemen inklusive Speicher-, Verteil- und Versorgungssysteme. Um allgemeingültige Aussagen über den Vergleich der Gebäudekonzepte zu ermöglichen wird empfohlen, den Betrachtungsrahmen auf die Gebäudehülle und die damit verbundenen Kosten und Nutzen auszuweiten. Ein Vergleich von KfW70 und Passivhaus-Neubau beispielsweise würde diesbezüglich nochmals umfassender.

6.4.3 Einbeziehung zukünftiger Konzepte

Darüber hinaus erscheint das Einbeziehen von Nullenergie- oder Plusenergiehäusern äußerst interessant, bei denen neben Heizenergiebedarfen auch Kühlenergiebedarfe und Haushaltsstrombedarfe eine entscheidende Rolle spielen. Hier könnten ebenfalls Ergebnisse des derzeit noch laufenden UBA-Forschungsprojektes „Reduzierung des Energiebedarfs zur Gebäudeklimatisierung“ einbezogen werden.

In Hinblick auf das „Recasting der EPBD“ auf europäischer Ebene ist eine Betrachtung verschiedener Alternativen von „Nearly Zero Energy Buildings“ eine weitere Alternative, die eine Gesamtbetrachtung unter Einbeziehung der Energiebedarfe zur Heizung-, Kühlung und Stromversorgung mit einbezieht.

⁴ Zum Biomassebudget siehe:

http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/bewertungbiomasse.pdf

Literaturverzeichnis

- [ASUE 2007] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.: Ratgeber Wärmeversorgung, 2007.
- [Auer et al. 2008] Auer, Falk; Schote, Herbert: Zweijähriger Feldtest Elektro-Wärmepumpen am Oberrhein, Agenda-Lahr, 2008.
- [BAFA 2009] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Referat 432, Zuschuss für Mini-KWK-Anlagen, Liste der förderfähigen Mini-KWK-Anlagen, Gültig für Anträge ab Eingangsdatum 01.02.2009, Stand: 9.9.2009, Eschborn 2009
- [Baumbach et al. 2010] Baumbach, Günter; Struschka, Michael; Juschka, Winfried; Carrasco, Maria; Ang, Keng Been; Hu, Lupin; Bächlin, Wolfgang; Sörgel, Christine: Modellrechnungen zu den Immissionsbelastungen bei einer verstärkten Verfeuerung von Biomasse in Feuerungsanlagen der 1. BImSchV, Umweltbundesamt, 2010.
- [BINE 2010] BINE Informationsdienst: Erdgekoppelte Wärmepumpen für Neubauten, Projektinfo 03/10, 2010.
- [BKI 2008] Baukostenindex 2008: Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente, 2008.
- [BMWi 2010] BMWi-Energiedaten Stand 20.01.2010, Tabelle 26. 2010.
- [CARMEN 2010] Pellets- und Hackschnitzelpreise, CARMEN e.V., Januar 2010.
- [Diefenbach et al. 2002] Diefenbach, Nikolaus; Loga, Tobias; Born, Rolf; Großklos, Marc; Herbert, Carsten: Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand, IWU, 2002.
- [Diefenbach et al. 2005] Diefenbach, Nikolaus; Loga, Tobias; Born, Rolf: Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser – Erfahrungen und Perspektiven; IWU, 2005.
- [Diefenbach et al. 2007] Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf: Basisdaten für die Hochrechnung der Deutschen Gebäudetypologie des IWU, 2007.
- [DIN V 18599] Beuth Verlag: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, 2007.
- [DIN V 4701-10] Beuth Verlag: Energetische Bewertung Heiz- und Raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, 2003.
- [DIRECTIVE 2004/8/EC] DIRECTIVE 2004/8/EC of the European Parliament and Council on the Promotion of Cogeneration [...], 2004.
- [Ebert et al. 2008] Ebert, Marcel; Bohnenschäfer, Werner: Vollkostenvergleich Heizsysteme, IE Leipzig, 2008.
- [EEWärmeG 2008] Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz) 2008.

UMWELTWIRKUNG VON HEIZUNGSSYSTEMEN IN DEUTSCHLAND

- [Eltrop 2009] Eltrop, Ludger: Heizkostenvergleiche Alt- und Neubau, Universität Stuttgart – IER, 2009.
- [EnEV 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung) 2009.
- [EnEV-XL 2010] EnEV-XL Version 4.0 – MS-Excel basierendes Werkzeug zur Berechnung der Energiebilanz von Gebäuden nach EnEV, Heizperioden- und Monatsverfahren nach DIN V 4108-6, Anlagenbilanz nach DIN V 4701-10 und -12 sowie PAS 1027, IWU, 2010.
- [EuP 2007a] EuP Preparatory Studies, Task 2: EcoHotwater, 2007.
- [EuP 2007b] EuP Preparatory Studies, Task 2: EcoBoiler, 2007.
- [Fritsche et al. 2008] Fritsche, Uwe; Rausch, Lothar: Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme, Öko-Institut, 2008.
- [Gabriel 2007] Gabriel, Jürgen; Balmert, David: Effekte des CO₂ Gebäudesanierungsprogramms 2005 und 2006 – Zusatzauswertung Dezember 2007, Bremer Energieinstitut, 2007.
- [Hessen 2006] Hessisches Ministerium f. Wirtschaft, Verkehr u. Landesentwicklung: Kostenvergleich verschiedener Heizsysteme, 2006.
- [Jagnow et al. 2006] Jagnow, Kati; Wolff, Dieter: Umweltkommunikation in der mittelständischen Wirtschaft am Beispiel der Optimierung von Heizungssystemen durch Information und Qualifikation zur nachhaltigen Nutzung von Energieeinsparpotenzialen, OPTIMUS, 2006.
- [KfW] Kreditanstalt für Wiederaufbau - www.kfw.de, März 2010.
- [Loga et al. 2005] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens; Born, Rolf: Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden – Kurzverfahren Energieprofil, IWU, 2005.
- [Memmler et al. 2009] Memmler, Michael; Mohrbach, Elke; Schneider, Sven; Dreher, Marion; Herbener, Reinhard: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2007, Umweltbundesamt, 2009.
- [Miara 2008] Miara, Marek: Feldmessungen neuer Wärmepumpen „WP-Effizienz“ – Zwischenergebnisse, 6. Forum Wärmepumpe, Fraunhofer-ISE, 2008.
- [Miara 2010] Miara, Marek: Feldmessungen neuer Wärmepumpen, 8. GRE-Kongress, Fraunhofer-ISE, 2010.
- [Oschatz et al. 2007] Oschatz, Bert; Mailach, Bettina: ASUE Heizkostenvergleich 2007, iTG Dresden, 2007.
- [Pehnt et al. 2008a] Pehnt, Martin; Paar, Angelika; Otter, Philipp; Schüwer, Dietmar; Fishedick, Manfred: Energiebalance, IFEU, Wuppertal-Institut, 2008.

UMWELTWIRKUNG VON HEIZUNGSSYSTEMEN IN DEUTSCHLAND

- [Pehnt et al. 2008b] Pehnt, Martin; Paar, Angelika; Otter, Philipp; Schüwer, Dietmar; Fishedick, Manfred: Energiebalance – MINI-Technologiefolgenabschätzung Gas-Wärmepumpe, IFEU, Wuppertal-Institut, 2008.
- [PHPP 2007] Passivhaus-Projektierungs-Paket 2007, Passivhaus-Institut.
- [Russ et al. 2008] Russ, Christel; Platt, Michael, Hecking, Benedikt: Einsatz von Wärmepumpen im Gebäudebestand, 6. Forum Wärmepumpe, Fraunhofer-ISE, 2008.
- [Russ et al. 2009] Russ, Christel; Miara, Marek: Monitoring – Wärmepumpen im Gebäudebestand und im Neubau, Jahrestagung der Energiewirtschaft Mitteldeutschland e.V., Fraunhofer-ISE, 2009.
- [Test 2006] Stiftung Warentest 6/2006: Gasheizkessel – Nicht länger warten.
- [Test 2007] Stiftung Warentest 6/2007: Wärmepumpen – Mit Strom Wärme pumpen.
- [Test 2008] Stiftung Warentest 5/2008: Ölbrennwertkessel – Neue Heizzeit.
- [Test 2009] Stiftung Warentest – Test Spezial Energie 2009: Holzpelletkessel – Feuer unter Kontrolle.
- [UBA 2007a] Einheitliche Stoffwerte für Emissionsfaktoren, Heizwerte und Kohlenstoffgehalte für Brennstoffe und Produkte, Umweltbundesamt Zuteilungsverordnung 2012, 2007.
- [UBA 2007b] Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix, Umweltbundesamt FG I 2.5, 2007.
- [VDI 4655] Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen, VDI, 2008.
- [VDI 2067] Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, VDI, 2000.
- [Wagner 2009] Wagner, Ulrich: Energiewirtschaftliche Bewertung von Wärmepumpen; TU München IfE, 2009.
- [Wolff et al. 2004] Wolff, Dieter; Teuber, Peter; Budde, Jörg; Jagnow, Kati: Felduntersuchung – Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln, FH Braunschweig-Wolfenbüttel IfHK, 2004.

Anhang A – Grafiken

Abb. 27: Aufwandszahlen zur Heizwärmebereitstellung im Einfamilienhaus

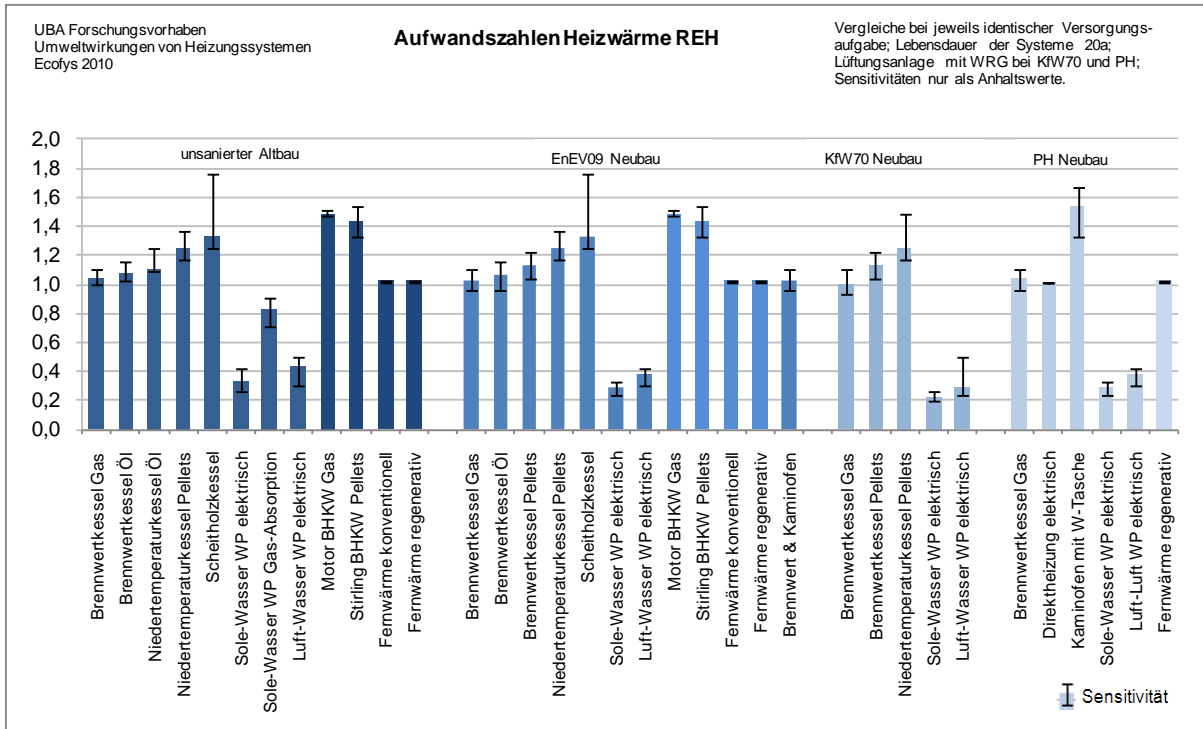


Abb. 28: Aufwandszahlen zur Heizwärmebereitstellung im Mehrfamilienhaus

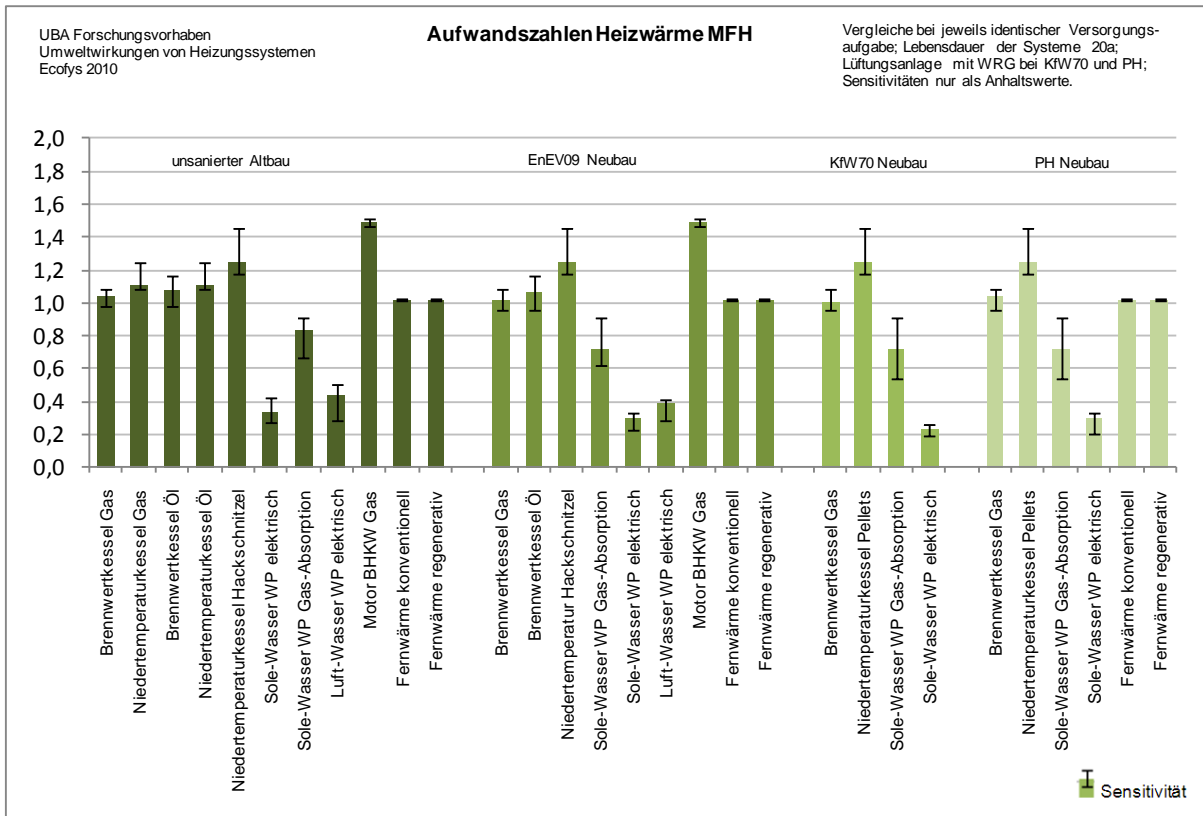


Abb. 29: Aufwandszahlen zur Warmwasserbereitstellung im Einfamilienhaus

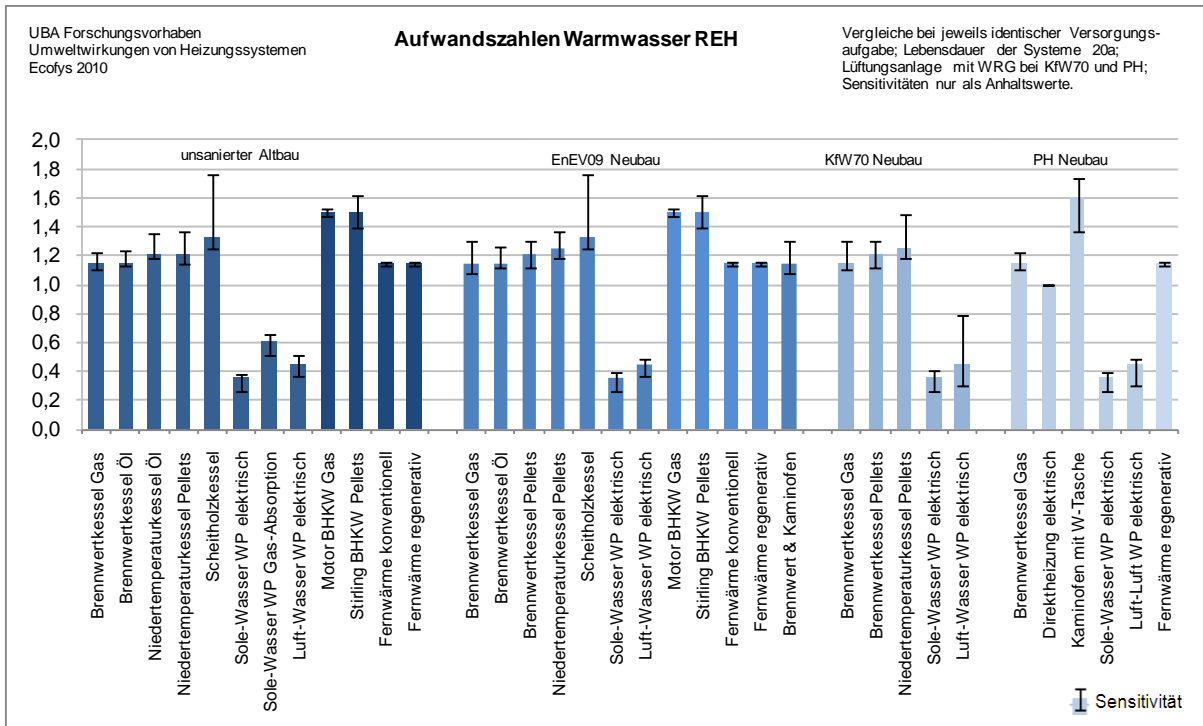
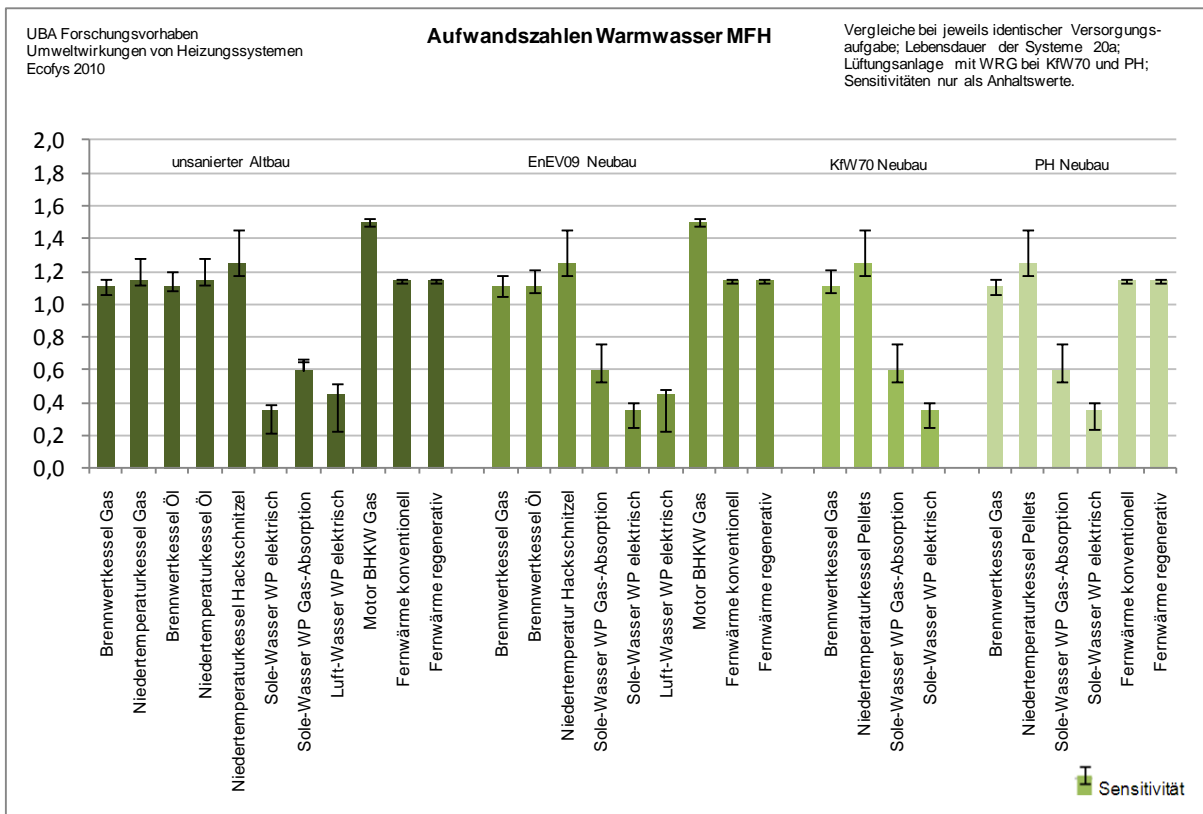


Abb. 30: Aufwandszahlen zur Warmwasserbereitstellung im Mehrfamilienhaus



Anhang B - Tabellen

Tab. 16: Aufwandszahlen zur Heizwärmebereitstellung im Einfamilienhaus

Aufwandszahl Heizung REH [-]										
EFH-Altbau unsaniert				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau EnEV09			
1	Brennwertkessel Gas	1,04	1,11	1,00	1	Brennwertkessel Gas	1,02	1,11	0,96	
2	Brennwertkessel Öl	1,08	1,16	1,02	2	Brennwertkessel Öl	1,06	1,16	0,96	
3	Niedertemperaturkessel Öl	1,11	1,25	1,09	3	Brennwertkessel Pellets	1,14	1,22	1,04	
4	Niedertemperaturkessel Pellets	1,25	1,37	1,18	4	Niedertemperaturkessel Pellets	1,25	1,37	1,18	
5	Scheitholzessel	1,33	1,76	1,25	5	Scheitholzessel	1,33	1,76	1,25	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	0,33	0,42	0,27	6	Sole-Wasser WP elektrisch	0,29	0,33	0,23	
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	0,83	0,91	0,71	7	Luft-Wasser WP elektrisch	0,38	0,42	0,30	
8	Luft-Wasser WP elektrisch	0,43	0,50	0,30	8	Motor BHKW Gas	1,49	1,52	1,47	
9	Motor BHKW Gas	1,49	1,52	1,47	9	Stirling BHKW Pellets	1,43	1,54	1,33	
10	Stirling BHKW Pellets	1,43	1,54	1,33	10	Fernwärme konventionell	1,02	1,03	1,01	
11	Fernwärme konventionell	1,02	1,03	1,01	11	Fernwärme regenerativ	1,02	1,03	1,01	
12	Fernwärme regenerativ	1,02	1,03	1,01	12	Brennwert & Kaminofen	1,02	1,11	0,96	
EFH-Neubau KfW 70				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau Passivhaus			
1	Brennwertkessel Gas	1,00	1,11	0,94	1	Brennwertkessel Gas	1,04	1,11	0,96	
2	Brennwertkessel Pellets	1,14	1,22	1,04	2	Direktheizung elektrisch	1,01	1,01	1,01	
3	Niedertemperaturkessel Pellets	1,25	1,49	1,18	3	Kaminofen mit W-Tasche	1,54	1,67	1,33	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	0,23	0,26	0,19	4	Sole-Wasser WP elektrisch	0,29	0,33	0,23	
5	Luft-Wasser WP elektrisch	0,29	0,50	0,24	5	Luft-Luft WP elektrisch	0,38	0,42	0,30	
					6	Fernwärme regenerativ	1,02	1,03	1,01	

Tab. 17: Aufwandszahlen zur Heizwärmebereitstellung im Mehrfamilienhaus

Aufwandszahl Heizung MFH [-]										
MFH-Altbau unsaniert				Standard	Von	Bis	MFH-Neubau EnEV09			
1	Brennwertkessel Gas	1,04	1,09	0,98	1	Brennwertkessel Gas	1,02	1,09	0,96	
2	Niedertemperaturkessel Gas	1,11	1,25	1,08	2	Brennwertkessel Öl	1,06	1,16	0,96	
3	Brennwertkessel Öl	1,08	1,16	0,98	3	Niedertemperatur Hackschnitzel	1,25	1,45	1,18	
4	Niedertemperaturkessel Öl	1,11	1,25	1,08	4	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	0,71	0,91	0,63	
5	Niedertemperaturkessel Hackschn.	1,25	1,45	1,18	5	Sole-Wasser WP elektrisch	0,29	0,33	0,23	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	0,33	0,42	0,27	6	Luft-Wasser WP elektrisch	0,38	0,42	0,28	
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	0,83	0,91	0,67	7	Motor BHKW Gas	1,49	1,52	1,47	
8	Luft-Wasser WP elektrisch	0,43	0,50	0,28	8	Fernwärme konventionell	1,02	1,03	1,01	
9	Motor BHKW Gas	1,49	1,52	1,47	9	Fernwärme regenerativ	1,02	1,03	1,01	
10	Fernwärme konventionell	1,02	1,03	1,01						
11	Fernwärme regenerativ	1,02	1,03	1,01						
MFH-Neubau KfW 70				Standard	Von	Bis	MFH-Neubau Passivhaus			
1	Brennwertkessel Gas	1,00	1,09	0,96	1	Brennwertkessel Gas	1,04	1,09	0,96	
2	Niedertemperaturkessel Pellets	1,25	1,45	1,18	2	Niedertemperaturkessel Pellets	1,25	1,45	1,18	
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	0,71	0,91	0,54	3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	0,71	0,91	0,54	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	0,23	0,26	0,19	4	Sole-Wasser WP elektrisch	0,29	0,33	0,20	
					5	Fernwärme konventionell	1,02	1,03	1,01	
					6	Fernwärme regenerativ	1,02	1,03	1,01	

Tab. 18: Aufwandszahlen zur Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus

Aufwandszahl Warmwasser REH [-]									
EFH-Altbau unsaniert				EFH-Neubau EnEV09					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Brennwertkessel Gas	1,15	1,23	1,10	1	Brennwertkessel Gas	1,15	1,30	1,08
2	Brennwertkessel Öl	1,15	1,24	1,13	2	Brennwertkessel Öl	1,15	1,26	1,11
3	Niedertemperaturkessel Öl	1,21	1,36	1,18	3	Brennwertkessel Pellets	1,21	1,30	1,12
4	Niedertemperaturkessel Pellets	1,21	1,37	1,14	4	Niedertemperaturkessel Pellets	1,25	1,37	1,18
5	Scheitholzessel	1,33	1,76	1,25	5	Scheitholzessel	1,33	1,76	1,25
6	Sole-Wasser WP elektrisch	0,35	0,39	0,27	6	Sole-Wasser WP elektrisch	0,35	0,40	0,27
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	0,60	0,65	0,51	7	Luft-Wasser WP elektrisch	0,45	0,49	0,37
8	Luft-Wasser WP elektrisch	0,45	0,52	0,37	8	Motor BHKW Gas	1,50	1,52	1,48
9	Motor BHKW Gas	1,50	1,52	1,48	9	Stirling BHKW Pellets	1,50	1,62	1,40
10	Stirling BHKW Pellets	1,50	1,62	1,40	10	Fernwärme konventionell	1,14	1,15	1,13
11	Fernwärme konventionell	1,14	1,15	1,13	11	Fernwärme regenerativ	1,14	1,15	1,13
12	Fernwärme regenerativ	1,14	1,15	1,13	12	Brennwert & Kaminofen	1,15	1,30	1,08
EFH-Neubau KfW 70				EFH-Neubau Passivhaus					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Brennwertkessel Gas	1,15	1,30	1,11	1	Brennwertkessel Gas	1,15	1,23	1,10
2	Brennwertkessel Pellets	1,21	1,30	1,12	2	Direktheizung elektrisch	1,00	1,00	1,00
3	Niedertemperaturkessel Pellets	1,25	1,49	1,18	3	Kaminofen mit W-Tasche	1,60	1,73	1,37
4	Sole-Wasser WP elektrisch	0,35	0,41	0,27	4	Sole-Wasser WP elektrisch	0,35	0,40	0,27
5	Luft-Wasser WP elektrisch	0,45	0,79	0,30	5	Luft-Luft WP elektrisch	0,45	0,49	0,30
					6	Fernwärme regenerativ	1,14	1,15	1,13

Tab. 19: Aufwandszahlen zur Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhaus

Aufwandszahl Warmwasser MFH [-]									
MFH-Altbau unsaniert				MFH-Neubau EnEV09					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Brennwertkessel Gas	1,11	1,16	1,06	1	Brennwertkessel Gas	1,11	1,18	1,05
2	Niedertemperaturkessel Gas	1,14	1,28	1,12	2	Brennwertkessel Öl	1,11	1,21	1,08
3	Brennwertkessel Öl	1,11	1,20	1,09	3	Niedertemperatur Hackschnitzel	1,25	1,45	1,18
4	Niedertemperaturkessel Öl	1,14	1,28	1,12	4	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	0,60	0,76	0,53
5	Niedertemperaturkessel Hacksch	1,25	1,45	1,18	5	Sole-Wasser WP elektrisch	0,35	0,40	0,25
6	Sole-Wasser WP elektrisch	0,35	0,39	0,22	6	Luft-Wasser WP elektrisch	0,45	0,49	0,23
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	0,60	0,65	0,67	7	Motor BHKW Gas	1,50	1,52	1,48
8	Luft-Wasser WP elektrisch	0,45	0,52	0,23	8	Fernwärme konventionell	1,14	1,15	1,13
9	Motor BHKW Gas	1,50	1,52	1,48	9	Fernwärme regenerativ	1,14	1,15	1,13
10	Fernwärme konventionell	1,14	1,15	1,13					
11	Fernwärme regenerativ	1,14	1,15	1,13					
MFH-Neubau KfW 70				MFH-Neubau Passivhaus					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Brennwertkessel Gas	1,11	1,21	1,07	1	Brennwertkessel Gas	1,11	1,16	1,07
2	Niedertemperaturkessel Pellets	1,25	1,45	1,18	2	Niedertemperaturkessel Pellets	1,25	1,45	1,18
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	0,60	0,76	0,53	3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	0,60	0,76	0,53
4	Sole-Wasser WP elektrisch	0,35	0,41	0,25	4	Sole-Wasser WP elektrisch	0,35	0,40	0,24
					5	Fernwärme konventionell	1,14	1,15	1,13
					6	Fernwärme regenerativ	1,14	1,15	1,13

Tab. 20: Kapitalgebundene Kosten der Heizungssysteme im Einfamilienhaus

Kapitalgebundene Kosten gesamt [€]							
EFH-Altbau unsaniert			EFH-Neubau EnEV09				
	exkl. Solar	inkl. Solar		exkl. Solar	inkl. Solar		
1	Brennwertkessel Gas	11.700	16.900	1	Brennwertkessel Gas	13.000	18.200
2	Brennwertkessel Öl	15.500	20.700	2	Brennwertkessel Öl	16.800	22.000
3	Niedertemperaturkessel Öl	15.200	20.400	3	Brennwertkessel Pellets	22.900	28.100
4	Niedertemperaturkessel Pellets	20.900	26.100	4	Niedertemperaturkessel Pellets	21.900	27.100
5	Scheitholzessel	15.400	20.600	5	Scheitholzessel	16.900	22.100
6	Sole-Wasser WP elektrisch	26.600	31.800	6	Sole-Wasser WP elektrisch	22.700	27.900
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	35.900	41.100	7	Luft-Wasser WP elektrisch	19.600	24.800
8	Luft-Wasser WP elektrisch	22.600	27.800	8	Motor BHKW Gas	26.200	31.400
9	Motor BHKW Gas	35.200	40.400	9	Stirling BHKW Pellets	29.200	34.400
10	Stirling BHKW Pellets	38.200	43.400	10	Fernwärme konventionell	10.800	16.000
11	Fernwärme konventionell	11.300	16.500	11	Fernwärme regenerativ	10.800	16.000
12	Fernwärme regenerativ	11.300	16.500	12	Brennwert & Kaminofen	18.900	24.100
EFH-Neubau KfW 70			EFH-Neubau Passivhaus				
	exkl. Solar	inkl. Solar		exkl. Solar	inkl. Solar		
1	Brennwertkessel Gas	20.000	25.200	1	Brennwertkessel Gas	15.200	20.400
2	Brennwertkessel Pellets	30.500	35.700	2	Direktheizung elektrisch	10.700	15.900
3	Niedertemperaturkessel Pellets	29.500	34.700	3	Kaminofen mit W-Tasche	17.400	22.600
4	Sole-Wasser WP elektrisch	28.700	33.900	4	Sole-Wasser WP elektrisch	23.900	29.100
5	Luft-Wasser WP elektrisch	25.700	30.900	5	Luft-Luft WP elektrisch	20.900	26.100
				6	Fernwärme regenerativ	13.600	18.800

Tab. 21: Kapitalgebundene Kosten der Heizungssysteme im Mehrfamilienhaus

Kapitalgebundene Kosten gesamt [€]							
MFH-Altbau unsaniert			MFH-Neubau EnEV09				
	exkl. Solar	inkl. Solar		exkl. Solar	inkl. Solar		
1	Brennwertkessel Gas	36.900	56.900	1	Brennwertkessel Gas	37.400	57.400
2	Niedertemperaturkessel Gas	36.400	56.400	2	Brennwertkessel Öl	44.900	64.900
3	Brennwertkessel Öl	44.400	64.400	3	Niedertemperatur Hackschnitzel	52.300	72.300
4	Niedertemperaturkessel Öl	42.900	62.900	4	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	91.900	111.900
5	Niedertemperaturkessel Hackschnitzel	56.300	76.300	5	Sole-Wasser WP elektrisch	70.300	90.300
6	Sole-Wasser WP elektrisch	80.300	100.300	6	Luft-Wasser WP elektrisch	55.300	75.300
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	103.900	123.900	7	Motor BHKW Gas	80.900	100.900
8	Luft-Wasser WP elektrisch	80.300	100.300	8	Fernwärme konventionell	32.400	52.400
9	Motor BHKW Gas	112.900	132.900	9	Fernwärme regenerativ	32.400	52.400
10	Fernwärme konventionell	39.900	59.900				
11	Fernwärme regenerativ	39.900	59.900				
MFH-Neubau KfW 70			MFH-Neubau Passivhaus				
	exkl. Solar	inkl. Solar		exkl. Solar	inkl. Solar		
1	Brennwertkessel Gas	46.900	66.900	1	Brennwertkessel Gas	48.400	68.400
2	Niedertemperaturkessel Pellets	60.800	80.800	2	Niedertemperaturkessel Pellets	62.300	82.300
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	93.900	113.900	3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	86.400	106.400
4	Sole-Wasser WP elektrisch	76.300	96.300	4	Sole-Wasser WP elektrisch	71.800	91.800
				5	Fernwärme konventionell	42.800	62.800
				6	Fernwärme regenerativ	42.800	62.800

Tab. 22: Betriebsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Einfamilienhaus

Betriebsgebundene Kosten [€/ a]			
EFH-Altbau unsaniert			
1	Brennwertkessel Gas	320	
2	Brennwertkessel Öl	250	
3	Niedertemperaturkessel Öl	250	
4	Niedertemperaturkessel Pellets	300	
5	Scheitholzessel	300	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	120	
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	320	
8	Luft-Wasser WP elektrisch	120	
9	Motor BHKW Gas	420	
10	Stirling BHKW Pellets	300	
11	Fernwärme konventionell	550	
12	Fernwärme regenerativ	550	
EFH-Neubau EnEV09			
1	Brennwertkessel Gas	300	
2	Brennwertkessel Öl	250	
3	Brennwertkessel Pellets	300	
4	Niedertemperaturkessel Pellets	300	
5	Scheitholzessel	300	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	120	
7	Luft-Wasser WP elektrisch	120	
8	Motor BHKW Gas	400	
9	Stirling BHKW Pellets	300	
10	Fernwärme konventionell	350	
11	Fernwärme regenerativ	350	
12	Brennwert & Kaminofen	400	
EFH-Neubau KfW 70			
1	Brennwertkessel Gas	500	
2	Brennwertkessel Pellets	500	
3	Niedertemperaturkessel Pellets	500	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	320	
5	Luft-Wasser WP elektrisch	320	
EFH-Neubau Passivhaus			
1	Brennwertkessel Gas	500	
2	Direktheizung elektrisch	250	
3	Kaminofen mit W-Tasche	500	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	320	
5	Luft-Luft WP elektrisch	320	
6	Fernwärme regenerativ	550	

Tab. 23: Betriebsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Mehrfamilienhaus

Betriebsgebundene Kosten [€/ a]			
MFH-Altbau unsaniert			
1	Brennwertkessel Gas	440	
2	Niedertemperaturkessel Gas	440	
3	Brennwertkessel Öl	400	
4	Niedertemperaturkessel Öl	400	
5	Niedertemperaturkessel Hackschnitzel	500	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	170	
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	440	
8	Luft-Wasser WP elektrisch	170	
9	Motor BHKW Gas	640	
10	Fernwärme konventionell	1.300	
11	Fernwärme regenerativ	1.300	
MFH-Neubau EnEV09			
1	Brennwertkessel Gas	420	
2	Brennwertkessel Öl	400	
3	Brennwertkessel Pellets	500	
4	Niedertemperaturkessel Pellets	420	
5	Scheitholzessel	170	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	170	
7	Luft-Wasser WP elektrisch	620	
8	Motor BHKW Gas	1.000	
9	Stirling BHKW Pellets	1.000	
MFH-Neubau KfW 70			
1	Brennwertkessel Gas	1.020	
2	Niedertemperaturkessel Pellets	1.100	
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	1.020	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	770	
MFH-Neubau Passivhaus			
1	Brennwertkessel Gas	1.020	
2	Niedertemperaturkessel Pellets	1.100	
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	1.020	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	770	
5	Fernwärme konventionell	1.600	
6	Fernwärme regenerativ	1.600	

Tab. 24: Verbrauchsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)

Verbrauchsgebundene Kosten (ohne ST) [€/a]													
EFH-Altbau unsaniert				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau EnEV09				Standard	Von	Bis
1	Brennwertkessel Gas	3.095	3.294	2.976	1	Brennwertkessel Gas	995	1.089	942				
2	Brennwertkessel Öl	2.371	2.554	2.268	2	Brennwertkessel Öl	766	830	713				
3	Niedertemperaturkessel Öl	2.450	2.741	2.399	3	Brennwertkessel Pellets	775	823	722				
4	Niedertemperaturkessel Pellets	2.485	2.712	2.350	4	Niedertemperaturkessel Pellets	828	896	787				
5	Scheitholzessel	1.543	1.999	1.454	5	Scheitholzessel	507	647	480				
6	Sole-Wasser WP elektrisch	2.444	2.996	2.011	6	Sole-Wasser WP elektrisch	750	830	622				
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	2.520	2.730	2.189	7	Luft-Wasser WP elektrisch	851	916	690				
8	Luft-Wasser WP elektrisch	2.925	3.347	2.085	8	Motor BHKW Gas	871	880	862				
9	Motor BHKW Gas	2.705	2.734	2.677	9	Stirling BHKW Pellets	820	858	788				
10	Stirling BHKW Pellets	2.434	2.555	2.332	10	Fernwärme konventionell	1.187	1.199	1.176				
11	Fernwärme konventionell	3.697	3.734	3.660	11	Fernwärme regenerativ	1.187	1.199	1.176				
12	Fernwärme regenerativ	3.697	3.734	3.660	12	Brennwert & Kaminofen	1.070	1.134	1.036				
EFH-Neubau KfW 70				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau Passivhaus				Standard	Von	Bis
1	Brennwertkessel Gas	973	1.068	931	1	Brennwertkessel Gas	511	539	488				
2	Brennwertkessel Pellets	899	949	844	2	Direktheizung elektrisch	1.153	1.153	1.153				
3	Niedertemperaturkessel Pellets	952	1.090	910	3	Kaminofen mit W-Tasche	306	325	274				
4	Sole-Wasser WP elektrisch	783	872	680	4	Sole-Wasser WP elektrisch	360	397	299				
5	Luft-Wasser WP elektrisch	774	1.248	640	5	Luft-Luft WP elektrisch	408	438	303				
					6	Fernwärme regenerativ	579	584	573				

Tab. 25: Verbrauchsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)

Verbrauchsgebundene Kosten (mit ST) [€/a]													
EFH-Altbau unsaniert				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau EnEV09				Standard	Von	Bis
1	Brennwertkessel Gas	2.922	3.108	2.810	1	Brennwertkessel Gas	839	911	796				
2	Brennwertkessel Öl	2.246	2.419	2.146	2	Brennwertkessel Öl	654	707	605				
3	Niedertemperaturkessel Öl	2.318	2.592	2.271	3	Brennwertkessel Pellets	671	711	626				
4	Niedertemperaturkessel Pellets	2.369	2.580	2.241	4	Niedertemperaturkessel Pellets	721	777	686				
5	Scheitholzessel	1.472	1.902	1.387	5	Scheitholzessel	444	560	421				
6	Sole-Wasser WP elektrisch	2.331	2.870	1.926	6	Sole-Wasser WP elektrisch	649	714	546				
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	2.433	2.634	2.116	7	Luft-Wasser WP elektrisch	719	772	582				
8	Luft-Wasser WP elektrisch	2.777	3.176	1.966	8	Motor BHKW Gas	1.185	1.202	1.169				
9	Motor BHKW Gas	2.570	2.597	2.544	9	Stirling BHKW Pellets	708	739	681				
10	Stirling BHKW Pellets	2.309	2.422	2.212	10	Fernwärme konventionell	996	1.005	986				
11	Fernwärme konventionell	3.484	3.519	3.450	11	Fernwärme regenerativ	996	1.005	986				
12	Fernwärme regenerativ	3.484	3.519	3.450	12	Brennwert & Kaminofen	914	957	889				
EFH-Neubau KfW 70				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau Passivhaus				Standard	Von	Bis
1	Brennwertkessel Gas	817	890	781	1	Brennwertkessel Gas	341	358	325				
2	Brennwertkessel Pellets	796	837	748	2	Direktheizung elektrisch	727	727	727				
3	Niedertemperaturkessel Pellets	845	961	809	3	Kaminofen mit W-Tasche	220	232	202				
4	Sole-Wasser WP elektrisch	651	718	580	4	Sole-Wasser WP elektrisch	250	271	215				
5	Luft-Wasser WP elektrisch	642	1.010	554	5	Luft-Luft WP elektrisch	264	281	210				
					6	Fernwärme regenerativ	371	374	368				

Tab. 26: Verbrauchsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie)

Verbrauchsgebundene Kosten (ohne ST) [€/a]							
MFH-Altbau unsaniert				MFH-Neubau EnEV09			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	19.233	20.019	18.207	1 Brennwertkessel Gas	5.025	5.337	4.750
2 Niedertemperaturkessel Gas	20.361	22.763	19.889	2 Brennwertkessel Öl	3.846	4.181	3.566
3 Brennwertkessel Öl	14.754	15.861	13.642	3 Niedertemperatur Hackschnitzel	2.538	2.873	2.416
4 Niedertemperaturkessel Öl	15.193	16.949	14.848	4 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	3.324	4.176	2.933
5 Niedertemperaturkessel Hackschr	9.439	10.742	8.962	5 Sole-Wasser WP elektrisch	3.465	3.878	2.743
6 Sole-Wasser WP elektrisch	14.734	18.029	11.962	6 Luft-Wasser WP elektrisch	4.182	4.518	2.829
7 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	14.903	16.158	12.516	7 Motor BHKW Gas	4.560	4.672	4.459
8 Luft-Wasser WP elektrisch	17.700	20.224	11.512	8 Fernwärme konventionell	6.115	6.176	6.055
9 Motor BHKW Gas	17.344	17.744	16.846	9 Fernwärme regenerativ	6.115	6.176	6.055
10 Fernwärme konventionell	22.760	22.986	22.540				
11 Fernwärme regenerativ	22.760	22.986	22.540				
MFH-Neubau KfW 70				MFH-Neubau Passivhaus			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	4.482	4.819	4.333	1 Brennwertkessel Gas	2.389	2.473	2.292
2 Niedertemperaturkessel Pellets	3.869	4.353	3.695	2 Niedertemperaturkessel Pellets	2.080	2.309	1.998
3 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	2.899	3.531	2.425	3 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	1.524	1.830	1.339
4 Sole-Wasser WP elektrisch	2.824	3.148	2.382	4 Sole-Wasser WP elektrisch	1.874	2.046	1.477
				5 Fernwärme konventionell	2.853	2.878	2.829
				6 Fernwärme regenerativ	2.853	2.878	2.829

Tab. 27: Verbrauchsgebundene Kosten der Heizungssysteme im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie)

Verbrauchsgebundene Kosten (mit ST) [€/a]							
MFH-Altbau unsaniert				MFH-Neubau EnEV09			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	18.045	18.779	17.068	1 Brennwertkessel Gas	4.100	4.351	3.878
2 Niedertemperaturkessel Gas	19.141	21.389	18.695	2 Brennwertkessel Öl	3.172	3.443	2.913
3 Brennwertkessel Öl	13.888	14.923	12.794	3 Niedertemperatur Hackschnitzel	2.148	2.420	2.049
4 Niedertemperaturkessel Öl	14.303	15.947	13.977	4 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	2.827	3.542	2.500
5 Niedertemperaturkessel Hackschr	8.938	10.160	8.489	5 Sole-Wasser WP elektrisch	2.829	3.156	2.292
6 Sole-Wasser WP elektrisch	13.917	17.120	11.457	6 Luft-Wasser WP elektrisch	3.362	3.629	2.408
7 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	14.264	15.461	11.800	7 Motor BHKW Gas	3.805	3.908	3.712
8 Luft-Wasser WP elektrisch	16.647	19.012	10.970	8 Fernwärme konventionell	4.946	4.994	4.898
9 Motor BHKW Gas	16.374	16.764	15.887	9 Fernwärme regenerativ	4.946	4.994	4.898
10 Fernwärme konventionell	21.260	21.470	21.055				
11 Fernwärme regenerativ	21.260	21.470	21.055				
MFH-Neubau KfW 70				MFH-Neubau Passivhaus			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	3.557	3.813	3.444	1 Brennwertkessel Gas	1.464	1.507	1.404
2 Niedertemperaturkessel Pellets	3.198	3.573	3.061	2 Niedertemperaturkessel Pellets	1.408	1.529	1.365
3 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	2.402	2.897	1.991	3 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	1.027	1.196	905
4 Sole-Wasser WP elektrisch	2.188	2.410	1.931	4 Sole-Wasser WP elektrisch	1.238	1.325	1.035
				5 Fernwärme konventionell	1.684	1.697	1.672
				6 Fernwärme regenerativ	1.684	1.697	1.672

Tab. 28: Spezifische Endenergiebedarfe zur Heizwärmeerzeugung im Einfamilienhaus

Spezifische Endenergiebedarfe Heizwärme [kWh/ (m²a)]							
EFH-Altbau unsaniert				EFH-Neubau EnEV09			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	289	308	277	1 Brennwertkessel Gas	70	77	66
2 Brennwertkessel Öl	300	324	285	2 Brennwertkessel Öl	73	79	66
3 Niedertemperaturkessel Öl	310	349	303	3 Brennwertkessel Pellets	78	84	72
4 Niedertemperaturkessel Pellets	349	382	328	4 Niedertemperaturkessel Pellets	86	95	81
5 Scheitholzessel	372	490	349	5 Scheitholzessel	92	121	86
6 Sole-Wasser WP elektrisch	100	127	81	6 Sole-Wasser WP elektrisch	21	23	16
7 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	232	254	199	7 Luft-Wasser WP elektrisch	27	29	21
8 Luft-Wasser WP elektrisch	126	145	87	8 Motor BHKW Gas	63	64	63
9 Motor BHKW Gas	252	255	249	9 Stirling BHKW Pellets	87	92	83
10 Stirling BHKW Pellets	347	365	331	10 Fernwärme konventionell	70	71	70
11 Fernwärme konventionell	285	287	282	11 Fernwärme regenerativ	70	71	70
12 Fernwärme regenerativ	285	287	282	12 Brennwert & Kaminofen	78	82	76
EFH-Neubau KfW 70				EFH-Neubau Passivhaus			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	57	64	54	1 Brennwertkessel Gas	18	19	16
2 Brennwertkessel Pellets	82	88	75	2 Direktheizung elektrisch	17	17	17
3 Niedertemperaturkessel Pellets	91	108	85	3 Kaminofen mit W-Tasche	26	28	23
4 Sole-Wasser WP elektrisch	16	19	14	4 Sole-Wasser WP elektrisch	5	6	4
5 Luft-Wasser WP elektrisch	20	35	17	5 Luft-Luft WP elektrisch	7	7	5
				6 Fernwärme regenerativ	17	18	17

Tab. 29: Spezifische Endenergiebedarfe zur Heizwärmeerzeugung im Mehrfamilienhaus

Spezifische Endenergiebedarfe Heizwärme [kWh/ (m²a)]							
MFH-Altbau unsaniert				MFH-Neubau EnEV09			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	288	300	271	1 Brennwertkessel Gas	60	64	56
2 Niedertemperaturkessel Gas	307	345	299	2 Brennwertkessel Öl	62	68	56
3 Brennwertkessel Öl	297	321	271	3 Niedertemperatur Hack schnitzel	70	82	66
4 Niedertemperaturkessel Öl	307	345	299	4 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	42	53	37
5 Niedertemperaturkessel Hack sch	345	401	325	5 Sole-Wasser WP elektrisch	17	20	14
6 Sole-Wasser WP elektrisch	98	123	79	6 Luft-Wasser WP elektrisch	23	24	16
7 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	227	247	183	7 Motor BHKW Gas	56	57	53
8 Luft-Wasser WP elektrisch	123	142	79	8 Fernwärme konventionell	60	60	59
9 Motor BHKW Gas	265	272	257	9 Fernwärme regenerativ	60	60	59
10 Fernwärme konventionell	282	285	279				
11 Fernwärme regenerativ	282	285	279				
MFH-Neubau KfW 70				MFH-Neubau Passivhaus			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	44	48	42	1 Brennwertkessel Gas	10	10	9
2 Niedertemperaturkessel Pellets	55	64	52	2 Niedertemperaturkessel Pellets	12	13	11
3 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	28	35	21	3 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	7	8	5
4 Sole-Wasser WP elektrisch	9	10	7	4 Sole-Wasser WP elektrisch	3	3	2
				5 Fernwärme konventionell	9	10	9
				6 Fernwärme regenerativ	9	10	9

Tab. 30: Spezifische Endenergiebedarfe zur Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)

Spezifische Endenergiebedarfe Warmwasser (ohne ST) [kWh/ (m²a)]									
EFH-Altbau unsaniert				EFH-Neubau EnEV09					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Brennwertkessel Gas	32	34	30	1	Brennwertkessel Gas	28	32	27
2	Brennwertkessel Öl	32	34	31	2	Brennwertkessel Öl	28	31	28
3	Niedertemperaturkessel Öl	33	37	32	3	Brennwertkessel Pellets	30	32	28
4	Niedertemperaturkessel Pellets	33	38	31	4	Niedertemperaturkessel Pellets	31	34	29
5	Scheitholzessel	36	48	34	5	Scheitholzessel	33	43	31
6	Sole-Wasser WP elektrisch	10	11	7	6	Sole-Wasser WP elektrisch	9	10	7
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	16	18	14	7	Luft-Wasser WP elektrisch	11	12	9
8	Luft-Wasser WP elektrisch	12	14	10	8	Motor BHKW Gas	22	23	22
9	Motor BHKW Gas	25	25	25	9	Stirling BHKW Pellets	32	34	31
10	Stirling BHKW Pellets	36	38	34	10	Fernwärme konventionell	28	28	28
11	Fernwärme konventionell	31	32	31	11	Fernwärme regenerativ	28	28	28
12	Fernwärme regenerativ	31	32	31	12	Brennwert & Kaminofen	28	32	27
EFH-Neubau KfW 70				EFH-Neubau Passivhaus					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Brennwertkessel Gas	28	32	27	1	Brennwertkessel Gas	24	26	23
2	Brennwertkessel Pellets	30	32	28	2	Direktheizung elektrisch	21	21	21
3	Niedertemperaturkessel Pellets	31	37	29	3	Kaminofen mit W-Tasche	34	37	29
4	Sole-Wasser WP elektrisch	11	13	9	4	Sole-Wasser WP elektrisch	7	8	6
5	Luft-Wasser WP elektrisch	11	19	7	5	Luft-Luft WP elektrisch	10	10	6
					6	Fernwärme regenerativ	24	24	24

Tab. 31: Spezifische Endenergiebedarfe zur Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie)

Spezifische Endenergiebedarfe Warmwasser (ohne ST) [kWh/ (m²a)]									
MFH-Altbau unsaniert				MFH-Neubau EnEV09					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Brennwertkessel Gas	31	33	30	1	Brennwertkessel Gas	24	26	23
2	Niedertemperaturkessel Gas	32	36	31	2	Brennwertkessel Öl	24	27	24
3	Brennwertkessel Öl	31	34	31	3	Niedertemperatur Hackschnitzel	28	32	26
4	Niedertemperaturkessel Öl	32	36	31	4	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	13	17	12
5	Niedertemperaturkessel Hackschnitzel	35	41	33	5	Sole-Wasser WP elektrisch	8	9	5
6	Sole-Wasser WP elektrisch	10	11	6	6	Luft-Wasser WP elektrisch	10	11	5
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	17	18	19	7	Motor BHKW Gas	20	20	20
8	Luft-Wasser WP elektrisch	13	15	7	8	Fernwärme konventionell	25	25	25
9	Motor BHKW Gas	26	26	25	9	Fernwärme regenerativ	25	25	25
10	Fernwärme konventionell	32	33	32					
11	Fernwärme regenerativ	32	33	32					
MFH-Neubau KfW 70				MFH-Neubau Passivhaus					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Brennwertkessel Gas	24	27	24	1	Brennwertkessel Gas	22	23	21
2	Niedertemperaturkessel Pellets	28	32	26	2	Niedertemperaturkessel Pellets	25	29	24
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	13	17	12	3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	12	15	11
4	Sole-Wasser WP elektrisch	8	9	5	4	Sole-Wasser WP elektrisch	7	8	5
					5	Fernwärme konventionell	23	23	23
					6	Fernwärme regenerativ	23	23	23

Tab. 32: Spezifische Endenergiebedarfe zur Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)

Spezifische Endenergiebedarfe Warmwasser (mit ST) [kWh/ (m ² a)]							
EFH-Altbau unsaniert				EFH-Neubau EnEV09			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	12,1	12,9	11,6	1 Brennwertkessel Gas	10,9	12,3	10,3
2 Brennwertkessel Öl	12,1	13,0	11,8	2 Brennwertkessel Öl	10,9	11,9	10,5
3 Niedertemperaturkessel Öl	12,7	14,3	12,4	3 Brennwertkessel Pellets	11,4	12,3	10,6
4 Niedertemperaturkessel Pellets	12,7	14,4	11,9	4 Niedertemperaturkessel Pellets	11,8	13,0	11,2
5 Scheitholzessel	14,0	18,4	13,1	5 Scheitholzessel	12,6	16,6	11,8
6 Sole-Wasser WP elektrisch	3,7	4,1	2,8	6 Sole-Wasser WP elektrisch	3,3	3,8	2,6
7 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	6,3	6,9	5,4	7 Luft-Wasser WP elektrisch	4,3	4,6	3,5
8 Luft-Wasser WP elektrisch	4,7	5,4	3,9	8 Motor BHKW Gas	14,2	14,4	14,0
9 Motor BHKW Gas	9,5	9,6	9,4	9 Stirling BHKW Pellets	12,4	13,0	11,8
10 Stirling BHKW Pellets	13,7	14,4	13,1	10 Fernwärme konventionell	10,8	10,9	10,7
11 Fernwärme konventionell	12,0	12,1	11,8	11 Fernwärme regenerativ	10,8	10,9	10,7
12 Fernwärme regenerativ	12,0	12,1	11,8	12 Brennwert & Kaminofen	10,9	12,3	10,3
EFH-Neubau KfW 70				EFH-Neubau Passivhaus			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	10,9	12,3	10,5	1 Brennwertkessel Gas	9,3	10,0	9,0
2 Brennwertkessel Pellets	11,4	12,3	10,6	2 Direktheizung elektrisch	8,1	8,1	8,1
3 Niedertemperaturkessel Pellets	11,8	14,1	11,2	3 Kaminofen mit W-Tasche	13,0	14,1	11,1
4 Sole-Wasser WP elektrisch	4,2	4,9	3,3	4 Sole-Wasser WP elektrisch	2,8	3,2	2,2
5 Luft-Wasser WP elektrisch	4,3	7,5	2,8	5 Luft-Luft WP elektrisch	3,7	4,0	2,4
				6 Fernwärme regenerativ	9,3	9,4	9,2

Tab. 33: Spezifische Endenergiebedarfe zur Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie)

Spezifische Endenergiebedarfe Warmwasser (mit ST) [kWh/ (m ² a)]							
MFH-Altbau unsaniert				MFH-Neubau EnEV09			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	10,2	10,7	9,8	1 Brennwertkessel Gas	8,0	8,5	7,5
2 Niedertemperaturkessel Gas	10,5	11,8	10,3	2 Brennwertkessel Öl	8,0	8,7	7,7
3 Brennwertkessel Öl	10,2	11,1	10,0	3 Niedertemperatur Hackschnitzel	9,0	10,4	8,5
4 Niedertemperaturkessel Öl	10,5	11,8	10,3	4 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	4,3	5,5	3,8
5 Niedertemperaturkessel Hackschnitzel	11,5	13,4	10,9	5 Sole-Wasser WP elektrisch	2,5	2,9	1,8
6 Sole-Wasser WP elektrisch	3,2	3,6	2,0	6 Luft-Wasser WP elektrisch	3,2	3,5	1,7
7 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	5,5	6,0	6,2	7 Motor BHKW Gas	6,5	6,6	6,5
8 Luft-Wasser WP elektrisch	4,1	4,8	2,1	8 Fernwärme konventionell	8,2	8,3	8,1
9 Motor BHKW Gas	8,4	8,5	8,3	9 Fernwärme regenerativ	8,2	8,3	8,1
10 Fernwärme konventionell	10,5	10,6	10,4				
11 Fernwärme regenerativ	10,5	10,6	10,4				
MFH-Neubau KfW 70				MFH-Neubau Passivhaus			
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1 Brennwertkessel Gas	8,0	8,7	7,7	1 Brennwertkessel Gas	7,3	7,6	7,0
2 Niedertemperaturkessel Pellets	9,0	10,4	8,5	2 Niedertemperaturkessel Pellets	8,2	9,6	7,8
3 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	4,3	5,5	3,8	3 Sole-Wasser WP Gas-Absorption	4,0	5,0	3,5
4 Sole-Wasser WP elektrisch	2,5	2,9	1,8	4 Sole-Wasser WP elektrisch	2,3	2,6	1,6
				5 Fernwärme konventionell	7,5	7,6	7,4
				6 Fernwärme regenerativ	7,5	7,6	7,4

Tab. 34: Spezifische Primärenergiebedarfe im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)

Spezifische Primärenergiebedarfe (ohne Solarthermie) [kWh/(m ² a)]										
EFH-Altbau unsaniert				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau EnEV09			
1	Brennwertkessel Gas	364	388	350	1	Brennwertkessel Gas	116	127	110	
2	Brennwertkessel Öl	377	406	360	2	Brennwertkessel Öl	119	129	111	
3	Niedertemperaturkessel Öl	389	436	381	3	Brennwertkessel Pellets	34	36	32	
4	Niedertemperaturkessel Pellets	95	103	91	4	Niedertemperaturkessel Pellets	36	38	34	
5	Scheitholzessel	93	119	88	5	Scheitholzessel	32	40	30	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	307	377	251	6	Sole-Wasser WP elektrisch	92	102	75	
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	294	319	255	7	Luft-Wasser WP elektrisch	107	115	86	
8	Luft-Wasser WP elektrisch	371	425	264	8	Motor BHKW Gas	102	103	101	
9	Motor BHKW Gas	318	321	314	9	Stirling BHKW Pellets	34	35	33	
10	Stirling BHKW Pellets	90	94	87	10	Fernwärme konventionell	134	136	133	
11	Fernwärme konventionell	420	424	416	11	Fernwärme regenerativ	16	16	16	
12	Fernwärme regenerativ	41	41	41	12	Brennwert & Kaminofen	86	94	82	
EFH-Neubau KfW 70				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau Passivhaus			
1	Brennwertkessel Gas	112	123	107	1	Brennwertkessel Gas	55	58	52	
2	Brennwertkessel Pellets	45	46	43	2	Direktheizung elektrisch	106	106	106	
3	Niedertemperaturkessel Pellets	46	51	45	3	Kaminofen mit W-Tasche	20	21	18	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	94	105	81	4	Sole-Wasser WP elektrisch	41	45	33	
5	Luft-Wasser WP elektrisch	95	155	78	5	Luft-Luft WP elektrisch	47	50	35	
					6	Fernwärme regenerativ	10	10	10	

Tab. 35: Spezifische Primärenergiebedarfe im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie)

Spezifische Primärenergiebedarfe (ohne Solarthermie) [kWh/(m ² a)]										
MFH-Altbau unsaniert				Standard	Von	Bis	MFH-Neubau EnEV09			
1	Brennwertkessel Gas	370	385	350	1	Brennwertkessel Gas	97	103	91	
2	Niedertemperaturkessel Gas	392	438	383	2	Brennwertkessel Öl	100	108	92	
3	Brennwertkessel Öl	380	409	351	3	Niedertemperatur Hackschnitzel	27	30	26	
4	Niedertemperaturkessel Öl	392	438	383	4	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	64	80	56	
5	Niedertemperaturkessel Hackschnitzel	97	109	93	5	Sole-Wasser WP elektrisch	71	80	56	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	303	372	245	6	Luft-Wasser WP elektrisch	87	94	59	
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	286	310	240	7	Motor BHKW Gas	88	90	86	
8	Luft-Wasser WP elektrisch	367	420	237	8	Fernwärme konventionell	114	115	113	
9	Motor BHKW Gas	334	342	324	9	Fernwärme regenerativ	12	12	12	
10	Fernwärme konventionell	423	427	419						
11	Fernwärme regenerativ	46	47	46						
MFH-Neubau KfW 70				Standard	Von	Bis	MFH-Neubau Passivhaus			
1	Brennwertkessel Gas	85	92	82	1	Brennwertkessel Gas	43	44	41	
2	Niedertemperaturkessel Pellets	30	33	29	2	Niedertemperaturkessel Pellets	18	19	17	
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	54	67	45	3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	27	33	24	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	56	62	46	4	Sole-Wasser WP elektrisch	35	38	27	
					5	Fernwärme konventionell	49	50	49	
					6	Fernwärme regenerativ	11	11	10	

Tab. 36: Spezifische Primärenergiebedarfe im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)

Spezifische Primärenergiebedarfe (mit Solarthermie) [kWh/ (m ² a)]										
EFH-Altbau unsaniert				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau EnEV09			
1	Brennwertkessel Gas	344	366	330	1	Brennwertkessel Gas	98	106	93	
2	Brennwertkessel Öl	356	384	340	2	Brennwertkessel Öl	101	109	93	
3	Niedertemperaturkessel Öl	368	412	360	3	Brennwertkessel Pellets	31	32	30	
4	Niedertemperaturkessel Pellets	92	99	88	4	Niedertemperaturkessel Pellets	33	35	32	
5	Scheitholzessel	89	113	84	5	Scheitholzessel	29	35	27	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	292	361	240	6	Sole-Wasser WP elektrisch	78	87	65	
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	284	308	246	7	Luft-Wasser WP elektrisch	90	96	72	
8	Luft-Wasser WP elektrisch	352	403	248	8	Motor BHKW Gas	93	94	92	
9	Motor BHKW Gas	302	305	298	9	Stirling BHKW Pellets	31	32	30	
10	Stirling BHKW Pellets	86	90	83	10	Fernwärme konventionell	112	114	111	
11	Fernwärme konventionell	395	399	392	11	Fernwärme regenerativ	15	15	15	
12	Fernwärme regenerativ	40	40	39	12	Brennwert & Kaminofen	67	72	64	
EFH-Neubau KfW 70				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau Passivhaus			
1	Brennwertkessel Gas	93	102	89	1	Brennwertkessel Gas	39	41	37	
2	Brennwertkessel Pellets	42	43	40	2	Direktheizung elektrisch	72	72	72	
3	Niedertemperaturkessel Pellets	43	47	42	3	Kaminofen mit W-Tasche	16	17	15	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	77	85	68	4	Sole-Wasser WP elektrisch	29	32	25	
5	Luft-Wasser WP elektrisch	78	125	67	5	Luft-Luft WP elektrisch	32	34	25	
					6	Fernwärme regenerativ	9	9	9	

Tab. 37: Spezifische Primärenergiebedarfe im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie)

Spezifische Primärenergiebedarfe (mit Solarthermie) [kWh/ (m ² a)]										
MFH-Altbau unsaniert				Standard	Von	Bis	MFH-Neubau EnEV09			
1	Brennwertkessel Gas	347	361	328	1	Brennwertkessel Gas	79	84	75	
2	Niedertemperaturkessel Gas	368	412	359	2	Brennwertkessel Öl	82	89	75	
3	Brennwertkessel Öl	357	384	328	3	Niedertemperatur Hackschnitzel	23	26	22	
4	Niedertemperaturkessel Öl	368	412	359	4	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	54	68	48	
5	Niedertemperaturkessel Hackschnitzel	93	104	88	5	Sole-Wasser WP elektrisch	58	64	46	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	286	353	234	6	Luft-Wasser WP elektrisch	70	75	50	
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	274	297	226	7	Motor BHKW Gas	73	75	71	
8	Luft-Wasser WP elektrisch	345	395	226	8	Fernwärme konventionell	92	93	91	
9	Motor BHKW Gas	315	323	306	9	Fernwärme regenerativ	10	10	10	
10	Fernwärme konventionell	395	399	391						
11	Fernwärme regenerativ	44	44	44						
MFH-Neubau KfW 70				Standard	Von	Bis	MFH-Neubau Passivhaus			
1	Brennwertkessel Gas	67	72	65	1	Brennwertkessel Gas	26	27	25	
2	Niedertemperaturkessel Pellets	27	29	26	2	Niedertemperaturkessel Pellets	15	15	14	
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	45	54	37	3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	18	21	16	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	42	47	37	4	Sole-Wasser WP elektrisch	23	24	19	
					5	Fernwärme konventionell	29	30	29	
					6	Fernwärme regenerativ	9	9	9	

Tab. 38: Spezifische CO₂-Emissionen im Einfamilienhaus (ohne Vorkette, ohne Solarthermie)

Spezifische CO ₂ -Emissionen (ohne Vorkette, ohne Solarthermie) [kg/(m ² a)]															
EFH-Altbau unsaniert				EFH-Neubau EnEV09				EFH-Neubau Passivhaus							
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis				
1	Niedertemperaturkessel Öl	94	105	92	1	Brennwertkessel Öl	29	31	27	1	Direktheizung elektrisch	24	24	24	
2	Brennwertkessel Öl	91	98	87	2	Luft-Wasser WP elektrisch	24	26	20	2	Luft-Luft WP elektrisch	11	11	8	
3	Luft-Wasser WP elektrisch	84	96	60	3	Brennwertkessel Gas	22	24	21	3	Brennwertkessel Gas	10	11	10	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	70	86	57	4	Fernwärme konventionell	21	21	21	4	Sole-Wasser WP elektrisch	9	10	8	
5	Brennwertkessel Gas	67	72	65	5	Sole-Wasser WP elektrisch	21	23	17	5	Kaminofen mit W-Tasche	2	2	2	
6	Fernwärme konventionell	65	66	65	6	Motor BHKW Gas	19	19	19	6	Fernwärme regenerativ	1	1	1	
7	Motor BHKW Gas	59	60	58	7	Brennwertkessel Pellets	3	3	3						
8	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	55	60	48	8	Brennwertkessel Pellets	3	3	3						
9	Niedertemperaturkessel Pellets	4	4	4	9	Niedertemperaturkessel Pellets	3	3	3						
10	Stirling BHKW Pellets	3	3	3	10	Stirling BHKW Pellets	2	2	2						
11	Scheitholzessel	2	2	2	11	Scheitholzessel	2	2	2						
12	Fernwärme regenerativ	2	2	2	12	Fernwärme regenerativ	1	1	1						
EFH-Neubau KfW 70				EFH-Neubau Passivhaus											
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1	Luft-Wasser WP elektrisch	22	35	18	1	Direktheizung elektrisch	24	24	24						
2	Brennwertkessel Gas	21	23	20	2	Luft-Luft WP elektrisch	11	11	8						
3	Sole-Wasser WP elektrisch	21	24	18	3	Brennwertkessel Gas	10	11	10						
4	Brennwertkessel Pellets	5	5	5	4	Sole-Wasser WP elektrisch	9	10	8						
5	Niedertemperaturkessel Pellets	5	5	5	5	Kaminofen mit W-Tasche	2	2	2						
					6	Fernwärme regenerativ	1	1	1						

Tab. 39: Spezifische CO₂-Emissionen im Mehrfamilienhaus (ohne Vorkette, ohne Solarthermie)

Spezifische CO ₂ -Emissionen (ohne Vorkette, ohne Solarthermie) [kg/(m ² a)]															
MFH-Altbau unsaniert				MFH-Neubau EnEV09				MFH-Neubau Passivhaus							
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis				
1	Niedertemperaturkessel Öl	94	106	92	1	Brennwertkessel Öl	24	26	22	1	Brennwertkessel Gas	8	8	8	
2	Brennwertkessel Öl	92	99	84	2	Luft-Wasser WP elektrisch	20	21	13	2	Fernwärme konventionell	8	8	8	
3	Luft-Wasser WP elektrisch	83	95	54	3	Brennwertkessel Gas	18	19	17	3	Sole-Wasser WP elektrisch	8	9	6	
4	Niedertemperaturkessel Gas	73	81	71	4	Fernwärme konventionell	18	18	18	4	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	5	6	5	
5	Brennwertkessel Gas	69	72	65	5	Motor BHKW Gas	16	17	16	5	Niedertemperaturkessel Pellets	2	2	2	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	69	84	55	6	Sole-Wasser WP elektrisch	16	18	13	6	Fernwärme regenerativ	2	2	2	
7	Fernwärme konventionell	66	67	66	7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	12	15	10						
8	Motor BHKW Gas	62	63	60	8	Niedertemperatur Hackschnitzel	2	2	2						
9	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	53	58	45	9	Fernwärme regenerativ	1	1	1						
10	Niedertemperaturkessel Hackschnitzel	5	5	5											
11	Fernwärme regenerativ	3	3	3											
MFH-Neubau KfW 70				MFH-Neubau Passivhaus											
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis
1	Brennwertkessel Gas	16	17	16	1	Brennwertkessel Gas	8	8	8						
2	Sole-Wasser WP elektrisch	13	14	11	2	Fernwärme konventionell	8	8	8						
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	10	13	9	3	Sole-Wasser WP elektrisch	8	9	6						
4	Niedertemperaturkessel Pellets	3	3	3	4	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	5	6	5						
					5	Niedertemperaturkessel Pellets	2	2	2						
					6	Fernwärme regenerativ	2	2	2						

Tab. 40: Spezifische Treibhausgas-Emissionen im Einfamilienhaus (mit Vorkette, ohne Solarthermie)

Spezifische CO ₂ -eq Emissionen (mit Vorkette, ohne Solarthermie) [kg/ (m ² a)]									
EFH-Altbau unsaniert				EFH-Neubau EnEV09					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Niedertemperaturkessel Öl	112	126	110	1	Brennwertkessel Öl	34	37	32
2	Brennwertkessel Öl	109	117	104	2	Luft-Wasser WP elektrisch	27	29	22
3	Luft-Wasser WP elektrisch	95	109	67	3	Brennwertkessel Gas	27	29	25
4	Brennwertkessel Gas	83	89	80	4	Fernwärme konventionell	24	24	24
5	Sole-Wasser WP elektrisch	79	97	64	5	Sole-Wasser WP elektrisch	23	26	19
6	Fernwärme konventionell	75	76	74	6	Motor BHKW Gas	23	24	23
7	Motor BHKW Gas	73	74	72	7	Brennwert & Kaminofen	19	20	18
8	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	68	73	59	8	Niedertemperaturkessel Pellets	5	5	5
9	Niedertemperaturkessel Pellets	11	12	11	9	Brennwertkessel Pellets	5	5	5
10	Stirling BHKW Pellets	10	10	9	10	Stirling BHKW Pellets	5	5	4
11	Scheitholzessel	8	9	8	11	Scheitholzessel	3	4	3
12	Fernwärme regenerativ	7	7	7	12	Fernwärme regenerativ	3	3	3
EFH-Neubau KfW 70				EFH-Neubau Passivhaus					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Brennwertkessel Gas	26	29	25	1	Direktheizung elektrisch	27	27	27
2	Luft-Wasser WP elektrisch	24	40	20	2	Brennwertkessel Gas	13	13	12
3	Sole-Wasser WP elektrisch	24	27	21	3	Luft-Luft WP elektrisch	12	13	9
4	Niedertemperaturkessel Pellets	8	8	7	4	Sole-Wasser WP elektrisch	10	11	9
5	Brennwertkessel Pellets	8	8	7	5	Kaminofen mit W-Tasche	3	3	3
					6	Fernwärme regenerativ	2	2	2

Tab. 41: Spezifische Treibhausgas-Emissionen im Mehrfamilienhaus (mit Vorkette, ohne Solarthermie)

Spezifische CO ₂ -eq Emissionen (mit Vorkette, ohne Solarthermie) [kg/ (m ² a)]									
MFH-Altbau unsaniert				MFH-Neubau EnEV09					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Niedertemperaturkessel Öl	113	126	110	1	Brennwertkessel Öl	29	31	27
2	Brennwertkessel Öl	109	118	101	2	Luft-Wasser WP elektrisch	22	24	15
3	Luft-Wasser WP elektrisch	94	108	61	3	Brennwertkessel Gas	22	24	21
4	Niedertemperaturkessel Gas	90	100	88	4	Fernwärme konventionell	20	21	20
5	Brennwertkessel Gas	85	88	80	5	Motor BHKW Gas	20	21	20
6	Sole-Wasser WP elektrisch	77	95	63	6	Sole-Wasser WP elektrisch	18	20	14
7	Motor BHKW Gas	77	78	74	7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	15	18	13
8	Fernwärme konventionell	76	77	75	8	Niedertemperatur Hack schnitzel	3	4	3
9	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	66	71	55	9	Fernwärme regenerativ	2	2	2
10	Niedertemperaturkessel Hackschnitzel	12	13	11					
11	Fernwärme regenerativ	9	9	9					
MFH-Neubau KfW 70				MFH-Neubau Passivhaus					
	Standard	Von	Bis		Standard	Von	Bis		
1	Brennwertkessel Gas	20	21	19	1	Brennwertkessel Gas	10	10	10
2	Sole-Wasser WP elektrisch	14	16	12	2	Fernwärme konventionell	9	9	9
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	13	15	11	3	Sole-Wasser WP elektrisch	9	10	7
4	Niedertemperaturkessel Pellets	5	5	5	4	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	6	8	6
					5	Niedertemperaturkessel Pellets	3	3	3
					6	Fernwärme regenerativ	2	2	2

Tab. 42: Jahresgesamtkosten im Einfamilienhaus (ohne Solarthermie)

Jahresgesamtkosten (ohne Solarthermie) [€/a]											
EFH-Altbau unsaniert			Standard	Von	Bis	EFH-Neubau EnEV09			Standard	Von	Bis
1	Brennwertkessel Gas	4.332	4.530	4.213	1	Brennwertkessel Gas	2.277	2.371	2.224		
2	Brennwertkessel Öl	3.868	4.052	3.765	2	Brennwertkessel Öl	2.329	2.393	2.276		
3	Niedertemperaturkessel Öl	3.921	4.213	3.871	3	Brennwertkessel Pellets	2.908	2.956	2.855		
4	Niedertemperaturkessel Pellets	4.491	4.718	4.356	4	Niedertemperaturkessel Pellets	2.874	2.942	2.833		
5	Scheitholzkessel	3.070	3.526	2.981	5	Scheitholzkessel	2.118	2.257	2.091		
6	Sole-Wasser WP elektrisch	4.620	5.172	4.188	6	Sole-Wasser WP elektrisch	2.586	2.666	2.458		
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	5.700	5.910	5.369	7	Luft-Wasser WP elektrisch	2.559	2.624	2.398		
8	Luft-Wasser WP elektrisch	4.895	5.317	4.055	8	Motor BHKW Gas	3.068	3.072	3.064		
9	Motor BHKW Gas	4.810	4.819	4.800	9	Stirling BHKW Pellets	3.153	3.165	3.144		
10	Stirling BHKW Pellets	4.578	4.594	4.567	10	Fernwärme konventionell	2.375	2.386	2.363		
11	Fernwärme konventionell	5.128	5.165	5.092	11	Fernwärme regenerativ	2.375	2.386	2.363		
12	Fernwärme regenerativ	5.128	5.165	5.092	12	Brennwert & Kaminofen	2.950	3.014	2.916		
EFH-Neubau KfW 70			Standard	Von	Bis	EFH-Neubau Passivhaus			Standard	Von	Bis
1	Brennwertkessel Gas	3.057	3.151	3.015	1	Brennwertkessel Gas	2.245	2.274	2.223		
2	Brennwertkessel Pellets	3.886	3.936	3.831	2	Direktheizung elektrisch	2.305	2.305	2.305		
3	Niedertemperaturkessel Pellets	3.852	3.991	3.810	3	Kaminofen mit W-Tasche	2.240	2.259	2.208		
4	Sole-Wasser WP elektrisch	3.334	3.422	3.231	4	Sole-Wasser WP elektrisch	2.562	2.599	2.501		
5	Luft-Wasser WP elektrisch	3.206	3.679	3.071	5	Luft-Luft WP elektrisch	2.491	2.520	2.386		
					6	Fernwärme regenerativ	2.271	2.277	2.266		

Tab. 43: Jahresgesamtkosten im Mehrfamilienhaus (ohne Solarthermie)

Jahresgesamtkosten (ohne Solarthermie) [€/a]											
MFH-Altbau unsaniert			Standard	Von	Bis	MFH-Neubau EnEV09			Standard	Von	Bis
1	Brennwertkessel Gas	22.523	23.309	21.496	1	Brennwertkessel Gas	8.220	8.531	7.944		
2	Niedertemperaturkessel Gas	23.607	26.009	23.135	2	Brennwertkessel Öl	7.674	8.009	7.395		
3	Brennwertkessel Öl	18.657	19.764	17.545	3	Niedertemperatur Hackschnitzel	7.082	7.417	6.960		
4	Niedertemperaturkessel Öl	18.966	20.721	18.621	4	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	10.771	11.624	10.381		
5	Niedertemperaturkessel Hackschn	14.450	15.754	13.973	5	Sole-Wasser WP elektrisch	8.912	9.325	8.190		
6	Sole-Wasser WP elektrisch	21.053	24.348	18.281	6	Luft-Wasser WP elektrisch	8.749	9.084	7.395		
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	23.535	24.791	21.148	7	Motor BHKW Gas	11.090	11.192	10.998		
8	Luft-Wasser WP elektrisch	24.446	26.971	18.258	8	Fernwärme konventionell	9.572	9.633	9.512		
9	Motor BHKW Gas	24.805	25.166	24.346	9	Fernwärme regenerativ	9.572	9.633	9.512		
10	Fernwärme konventionell	27.172	27.397	26.951							
11	Fernwärme regenerativ	27.172	27.397	26.951							
MFH-Neubau KfW 70			Standard	Von	Bis	MFH-Neubau Passivhaus			Standard	Von	Bis
1	Brennwertkessel Gas	8.960	9.297	8.811	1	Brennwertkessel Gas	7.404	7.488	7.307		
2	Niedertemperaturkessel Pellets	9.609	10.093	9.434	2	Niedertemperaturkessel Pellets	8.357	8.587	8.276		
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	10.975	11.608	10.501	3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	9.353	9.660	9.168		
4	Sole-Wasser WP elektrisch	9.249	9.573	8.807	4	Sole-Wasser WP elektrisch	8.313	8.486	7.916		
					5	Fernwärme konventionell	8.078	8.103	8.054		
					6	Fernwärme regenerativ	8.078	8.103	8.054		

Tab. 44: Jahresgesamtkosten im Einfamilienhaus (mit Solarthermie)

Jahresgesamtkosten (mit Solarthermie) [€/a]										
EFH-Altbau unsaniert				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau EnEV09			
1	Brennwertkessel Gas	4.694	4.880	4.582	1	Brennwertkessel Gas	2.657	2.729	2.613	
2	Brennwertkessel Öl	4.279	4.451	4.178	2	Brennwertkessel Öl	2.753	2.805	2.704	
3	Niedertemperaturkessel Öl	4.325	4.599	4.277	3	Brennwertkessel Pellets	3.340	3.380	3.295	
4	Niedertemperaturkessel Pellets	4.911	5.122	4.783	4	Niedertemperaturkessel Pellets	3.302	3.359	3.268	
5	Scheitholzessel	3.534	3.964	3.449	5	Scheitholzessel	2.589	2.706	2.566	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	5.042	5.581	4.638	6	Sole-Wasser WP elektrisch	3.021	3.086	2.917	
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	6.148	6.350	5.831	7	Luft-Wasser WP elektrisch	2.962	3.015	2.826	
8	Luft-Wasser WP elektrisch	5.282	5.681	4.471	8	Motor BHKW Gas	3.534	3.538	3.530	
9	Motor BHKW Gas	5.210	5.218	5.202	9	Stirling BHKW Pellets	3.576	3.581	3.572	
10	Stirling BHKW Pellets	4.988	4.997	4.983	10	Fernwärme konventionell	2.719	2.728	2.710	
11	Fernwärme konventionell	5.451	5.485	5.416	11	Fernwärme regenerativ	2.719	2.728	2.710	
12	Fernwärme regenerativ	5.451	5.485	5.416	12	Brennwert & Kaminofen	3.329	3.372	3.305	
EFH-Neubau KfW 70				Standard	Von	Bis	EFH-Neubau Passivhaus			
1	Brennwertkessel Gas	3.436	3.509	3.401	1	Brennwertkessel Gas	2.612	2.628	2.596	
2	Brennwertkessel Pellets	4.318	4.360	4.271	2	Direktheizung elektrisch	2.414	2.414	2.414	
3	Niedertemperaturkessel Pellets	4.280	4.397	4.244	3	Kaminofen mit W-Tasche	2.690	2.701	2.671	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	3.737	3.804	3.666	4	Sole-Wasser WP elektrisch	2.987	3.009	2.953	
5	Luft-Wasser WP elektrisch	3.609	3.977	3.521	5	Luft-Luft WP elektrisch	2.882	2.899	2.828	
					6	Fernwärme regenerativ	2.599	2.602	2.596	

Tab. 45: Jahresgesamtkosten im Mehrfamilienhaus (mit Solarthermie)

Jahresgesamtkosten (mit Solarthermie) [€/a]										
MFH-Altbau unsaniert				Standard	Von	Bis	MFH-Neubau EnEV09			
1	Brennwertkessel Gas	23.394	24.128	22.417	1	Brennwertkessel Gas	9.354	9.605	9.132	
2	Niedertemperaturkessel Gas	24.446	26.694	24.001	2	Brennwertkessel Öl	9.059	9.330	8.801	
3	Brennwertkessel Öl	19.850	20.886	18.757	3	Niedertemperatur Hackschnitzel	8.752	9.024	8.652	
4	Niedertemperaturkessel Öl	20.135	21.778	19.809	4	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	12.334	13.049	12.006	
5	Niedertemperaturkessel Hackschnitzel	16.008	17.230	15.560	5	Sole-Wasser WP elektrisch	10.336	10.663	9.798	
6	Sole-Wasser WP elektrisch	22.295	25.498	19.836	6	Luft-Wasser WP elektrisch	9.988	10.255	9.034	
7	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	24.956	26.153	22.492	7	Motor BHKW Gas	13.805	13.095	12.899	
8	Luft-Wasser WP elektrisch	25.452	27.818	19.776	8	Fernwärme konventionell	10.462	10.511	10.414	
9	Motor BHKW Gas	25.895	26.245	25.446	9	Fernwärme regenerativ	10.462	10.511	10.414	
10	Fernwärme konventionell	27.730	27.940	27.525						
11	Fernwärme regenerativ	27.730	27.940	27.525						
MFH-Neubau KfW 70				Standard	Von	Bis	MFH-Neubau Passivhaus			
1	Brennwertkessel Gas	10.094	10.350	9.981	1	Brennwertkessel Gas	8.538	8.582	8.479	
2	Niedertemperaturkessel Pellets	10.997	11.372	10.860	2	Niedertemperaturkessel Pellets	9.745	9.866	9.702	
3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	12.538	13.033	12.127	3	Sole-Wasser WP Gas-Absorption	10.916	11.085	10.794	
4	Sole-Wasser WP elektrisch	10.672	10.894	10.415	4	Sole-Wasser WP elektrisch	9.737	9.823	9.534	
					5	Fernwärme konventionell	8.969	8.982	8.956	
					6	Fernwärme regenerativ	8.969	8.982	8.956	

Anhang C – BHKW Auslegung

Auslegung der BHKW mit Spitzenlastkessel

Die Auslegung der beiden BHKW mit Spitzenlastkessel im Mehrfamilienhaus (Gas-Brennwerte) geschieht nach der VDI 4655 „Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen“ beispielhaft für den Standort Frankfurt am Main (Klimazone 12).

Als Randbedingungen wird ein Heizwärmebedarf von 164.731 kWh/a für den unsanierten Altbau MFH und von 31.815 kWh/a für den EnEV09 Neubau MFH gesetzt, die sich aus den Berechnungen ergeben. Für Trinkwarmwasser wird ein Bedarf von 12,5 kWh/ (m²a) angesetzt.

Die Auslegung anhand der Faktoren der VDI 4655 führt zu den Heizwärmebedarfen für verschiedene Typtage, siehe Tab. 45 und Tab. 46. Daraus ergeben sich die Verläufe an Heizwärme- und Warmwasserbedarf wie in Abb. 32 und Abb. 33 dargestellt.

MFH unsanierter Altbau

Daraus geht die Annahme hervor, dass sich für den unsanierten Altbau eine Grundlast von 400 kWh/d mit einem BHKW decken lässt. Das BHKW wird an 240 Tagen im Jahr je 16h in Betrieb sein. An den restlichen 125 Tagen wird es nur 50 kWh/d erzeugen, hauptsächlich für Warmwasser. Damit ergibt sich eine Leistung von 25 kW (ca. 30% der Heizlast), die eine Deckungsgrad von 59% über das Jahr aufweist.

MFH Altbau unsaniert				Q _{Heiz}	Q _{TWW}	Sum Q _{Heiz}	Sum Q _{TWW}	
	Typenkategorie	F _{Heiz,TT}	F _{TWW,TT}	Anzahl Tage	kWh/d	kWh/d	kWh/a	kWh/a
1	ÜWH	2,51E-03	2,13E-05	27	413,5	28,9	11.163,8	780,7
2	ÜWB	2,96E-03	1,21E-05	91	487,9	26,9	44.401,9	2.446,6
3	ÜSH	2,09E-03	1,21E-05	8	344,3	26,9	2.754,3	215,1
4	ÜSB	2,33E-03	2,56E-05	18	383,3	29,9	6.899,9	537,7
5	SWX	2,24E-04	-4,7E-05	104	36,9	13,8	3.837,6	1.437,2
6	SSX	2,48E-04	-3,8E-05	19	40,9	15,8	777,5	301,1
7	WWH	7,19E-03	3,76E-05	23	1.183,9	32,5	27.230,2	748,0
8	WWB	5,64E-03	3,66E-05	57	928,4	32,3	52.920,2	1.840,8
9	WSH	6,00E-03	2,94E-05	2	988,1	30,7	1.976,1	61,4
10	WSB	4,84E-03	2,33E-05	16	796,8	29,4	12.748,9	469,8
							164.710,3	8.838,4

Tab. 46: Bestimmung des Heizwärmebedarfs und des Trinkwarmwasserbedarfs anhand der VDI 4655 für den unsanierten MFH-Altbau.

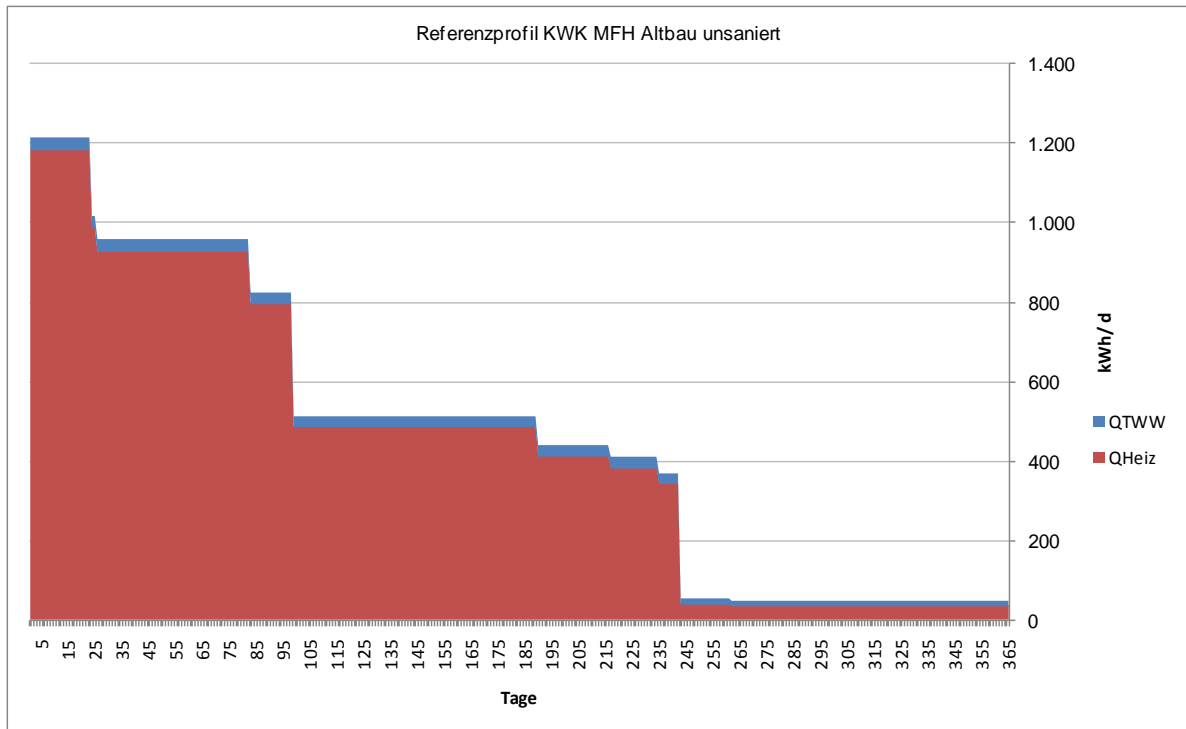


Abb. 31: Referenzprofil Heizwärme und Trinkwasser für den MFH Altbau.

MFH EnEV09 Neubau

Für den EnEV09 Neubau wird davon ausgegangen, dass das BHKW eine Grundlast von 100 kWh/d für ebenfalls 240 Tage im Jahr bereitstellt. Bei einer Laufzeit von 16 Stunden am Tag ergibt sich eine Leistung von ca. 6,5 kW (ca. 25% der Heizlast). Für die restlichen 125 Tage des Jahres wird lediglich eine Energiemenge von 20 kWh/d benötigt. Damit ergibt sich ein energiedeckungsgrad von 65% über das Jahr.

MFH EnEV09 Neubau				Q _{Heiz}	Q _{TWW}	Sum Q _{Heiz}	Sum Q _{TWW}	
	Typenkategorie	F _{Heiz,TT}	F _{TWW,TT}	Anzahl Tage	kWh/d	kWh/d	kWh/a	kWh/a
1	ÜWH	2,51E-03	2,13E-05	27	79,9	28,9	2.156,1	780,7
2	ÜWB	2,96E-03	1,21E-05	91	94,2	26,9	8.575,5	2.446,6
3	ÜSH	2,09E-03	1,21E-05	8	66,5	26,9	531,9	215,1
4	ÜSB	2,33E-03	2,56E-05	18	74,0	29,9	1.332,6	537,7
5	SWX	2,24E-04	-4,7E-05	104	7,1	13,8	741,2	1.437,2
6	SSX	2,48E-04	-3,8E-05	19	7,9	15,8	150,2	301,1
7	WWH	7,19E-03	3,76E-05	23	228,7	32,5	5.259,1	748,0
8	WWB	5,64E-03	3,66E-05	57	179,3	32,3	10.220,6	1.840,8
9	WSH	6,00E-03	2,94E-05	2	190,8	30,7	381,7	61,4
10	WSB	4,84E-03	2,33E-05	16	153,9	29,4	2.462,2	469,8
							31.811,0	8.838,4

Tab. 47: Bestimmung des Heizwärmebedarfs und des Trinkwarmwasserbedarfs anhand der VDI 4655 für den MFH EnEV09 Neubau.

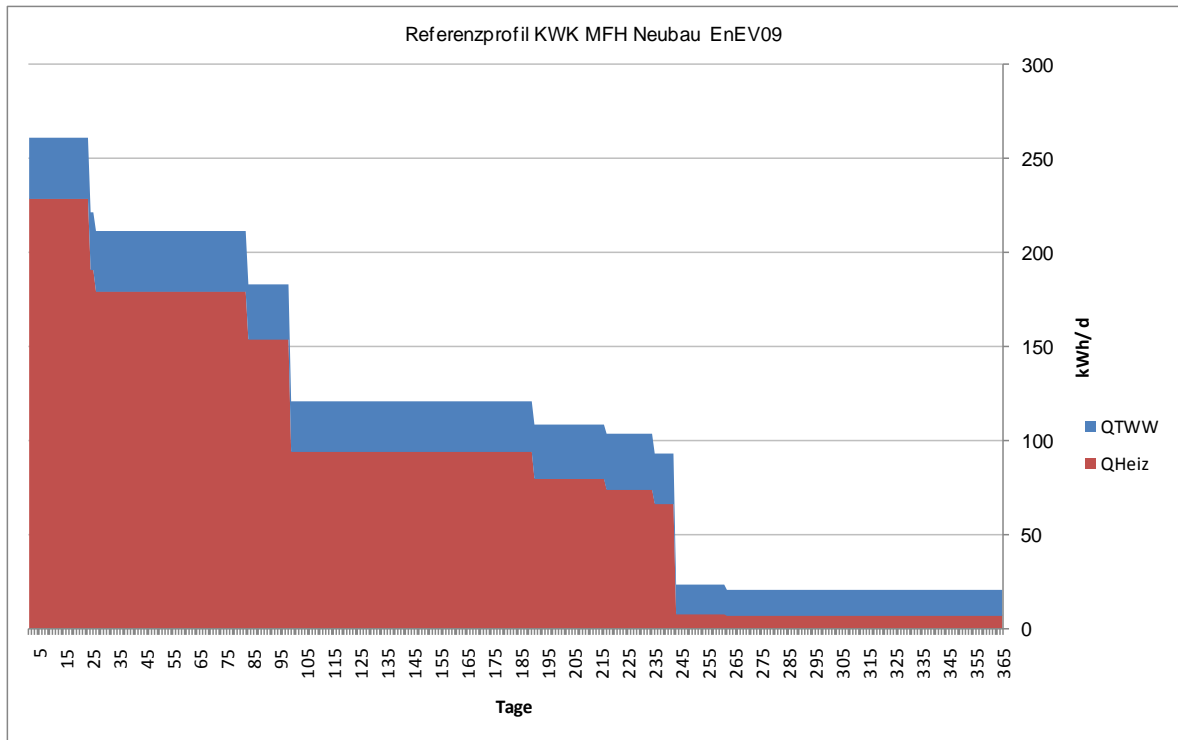


Abb. 32: Referenzprofil Heizwärme und Trinkwasser für den MFH EnEV09 Neubau.

Anhang D – Aufwandszahlen aus Feldtests

Übersicht zu den Aufwandszahlen aus Feldtestuntersuchungen.

Feldtestergebnisse Nutzungsgrade Heizwärme

System	Quelle	Nutzungsgrade	Bemerkungen	Studie/ genaue Quelle
1 Pellets BW-Kessel (4,8-17,2 kW)	DBFZ Anfrage	101%	Hu bei 30° Rücklauftemperatur, ohne Hilfsenergie etc.	Auf Nachfrage
2 Gas-BW Kessel (EFH)	FH Braunschweig/ Wolfent	96%	ohne HE	Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkessel
3 Gas-NT Kessel (EFH)	FH Braunschweig/ Wolfent	83%	ohne HE	Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkessel
4 BW Kessel (EFH)	DBU-Optimus	80% - 97%	ohne HE	DBU-Optimus Endbericht, 2005
5 NT Kessel (EFH)	DBU-Optimus	72% - 90%	ohne HE	DBU-Optimus Endbericht, 2005
6 Öl-NT	IWU	92%	Teillastwirkungsgrad 30%, 20kW in Anlehnung an DIN 4701-10	Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand, 2002
7 Öl-BW	IWU	97%	Teillastwirkungsgrad 30%, 20kW in Anlehnung an DIN 4701-10	Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand, 2002
8 Gas-NT	IWU	92%	Teillastwirkungsgrad 30%, 20kW in Anlehnung an DIN 4701-10	Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand, 2002
9 Gas-BW	IWU	101%	Teillastwirkungsgrad 30%, 20kW in Anlehnung an DIN 4701-10	Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand, 2002
10 Sole-Wasser-WP Bestand	FH-ISE	3,33	Heizwärme und WW, ohne Zusatzheizung, ohne Ladepumpe	Feldmessungen "WP im Gebäudebestand"
11 Sole-Wasser-WP Bestand	FH-ISE	3,7	Heizwärme, ohne Zusatzheizung, ohne Ladepumpe	Feldmessungen "WP im Gebäudebestand"
12 Sole-Wasser-WP Bestand	FH-ISE	3,1	Warmwasser, ohne Zusatzheizung, ohne Ladepumpe	Feldmessungen "WP im Gebäudebestand"
13 Luft-Wasser-WP Bestand	FH-ISE	2,61	Heizwärme und WW, ohne Zusatzheizung, ohne Ladepumpe	Feldmessungen "WP im Gebäudebestand"
14 Luft-Wasser-WP Bestand	FH-ISE	2,7	Heizwärme, ohne Zusatzheizung, ohne Ladepumpe	Feldmessungen "WP im Gebäudebestand"
15 Luft-Wasser-WP Bestand	FH-ISE	2,4	Warmwasser, ohne Zusatzheizung, ohne Ladepumpe	Feldmessungen "WP im Gebäudebestand"
16 Sole-Wasser-WP Neubau	FH-ISE	3,9	Heizwärme und WW, ohne Zusatzheizung, ohne Ladepumpe	Feldmessungen "WP-Effizienz", 2008
17 Luft-Wasser-WP Neubau	FH-ISE	2,9	Heizwärme und WW, ohne Zusatzheizung, ohne Ladepumpe	Feldmessungen "WP-Effizienz", 2008
18 Sole-Wasser-WP	Lokale Agenda Lahr	3,4	EJAZ (incl. Solepumpe)	Feldtest Elektro-Wärmepumpen am Oberrhein
19 Luft-Wasser-WP	Lokale Agenda Lahr	2,4 - 2,8	ELAZ (incl. Ventilatoren)	Feldtest Elektro-Wärmepumpen am Oberrhein
20 Gas-WP SW	IFEU	99% - 141%	Gas-WP Sole-Wasser ohne HE	Energiebalance 2008: Mini-Technologiefolgenabschätzung Gas-Wärmepumpe

Erzeuger-Aufwandszahlen IWU

		EFH bis '94	EFH ab '95	MFH bis '94	MFH ab '95		
21 Öl-NT	IWU	1,18	1,12	1,12	1,08	ohne HE	Kurzverfahren Energieprofil, 2005
22 Öl-BW	IWU	1,08	1,06	1,04	1,03	ohne HE	Kurzverfahren Energieprofil, 2005
23 Gas-NT	IWU	1,16	1,08	1,16	1,08	ohne HE	Kurzverfahren Energieprofil, 2005
24 Gas-BW	IWU	1,07	0,99	1,07	0,99	ohne HE	Kurzverfahren Energieprofil, 2005
25 EL-WP Erdreich	IWU	0,29	0,32	0,29	0,32	ohne HE	Kurzverfahren Energieprofil, 2005
26 EL-WP Außenluft	IWU	0,35	0,38	0,35	0,38	ohne HE	Kurzverfahren Energieprofil, 2005
27 Fernwärme-Übergabestation	IWU	1,02	1,02	1,02	1,02	ohne HE	Kurzverfahren Energieprofil, 2005