

Wirtschaftlichkeit & Sozialverträglichkeit von Grüingaslösungen in Sanierungen

Im Auftrag von:

VIESSMANN

von:

08.07.2021

Guidehouse Energy Germany GmbH
Am Wassermann 36
50829 Köln
T +49 221 6503 2510
guidehouse.com

Vorhaben:
GH-Projekt 217842

Autoren: Carsten Petersdorff, Marco Reiser, Markus Offermann, Nele Maas

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für jedrlei Geschlecht.

Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund	1
2. Methodisches Vorgehen	2
2.1 Energetische Berechnung	2
2.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung	3
2.2.1 Kostenannahmen.....	4
2.2.2 Preisannahmen Energieträger	4
2.2.3 Sonstige Randbedingungen.....	6
3. Ergebnisse	7
3.1 Kostenoptimalitätsbetrachtung	7
3.1.1 EFH	7
3.1.2 MFH.....	9
3.2 Sensitivitätsanalyse.....	12
3.2.1 EFH	12
3.2.2 MFH.....	15
3.3 Umsetzbarkeit/ Sozialverträglichkeit	16
3.3.1 Beispielhafter Fall – EFH	16
4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	20

Anhang A. Annahmen	A-1
A.1 Gebäude.....	A-1
A.1.1 Referenzgebäude.....	A-1
A.1.2 Dämmvarianten MFH.....	A-2
A.2 Kostenannahmen.....	A-3
A.2.1 Wärmeerzeuger.....	A-3
A.2.2 Sanierungsmaßnahmen.....	A-3
A.2.3 Wartungs- und Instandhaltungskosten.....	A-4
A.2.4 Lebensdauern.....	A-4
A.2.5 Energieträger.....	A-4
Anhang B. Ergebnisse	B-5
B.1 Einfamilienhaus.....	B-5
B.1.1 Spezifische Gesamtkosten in EUR/m ²	B-5
B.1.2 Absolute Gesamtkosten in EUR.....	B-5
B.2 Mehrfamilienhaus.....	B-6
B.2.1 Spezifische Gesamtkosten in EUR/m ²	B-6
B.2.2 Absolute Gesamtkosten in EUR.....	B-6
Anhang C. Sensitivität	C-7
C.1 Einfamilienhaus.....	C-7
C.1.1 JAZ der WP um ca. 25% verbessert.....	C-7
C.1.2 Investitionskosten der WP um 20% günstiger (Hybrid-WP 11% günstiger)	C-7
C.1.3 Grundlast zu Spitzenlastverhältnis 85/15.....	C-8
C.1.4 Grundlast zu Spitzenlastverhältnis 100/0 (nur Grundlaststrompreis).....	C-8
C.1.5 Variation des Grüngaspreis für V0.....	C-9
C.1.6 Variation des Spitzenlaststrompreises für V0.....	C-9
C.2 Mehrfamilienhaus.....	C-10
C.2.1 JAZ der WP um ca. 25% verbessert.....	C-10
C.2.2 WP 20% günstigere Investitionskosten.....	C-10
C.2.3 Verhältnis Grund-/Spitzenlast 80/20.....	C-11
C.2.4 Variation des Grüngaspreis für V0.....	C-11
C.2.5 Variation des Grüngaspreis für V3.....	C-12
C.2.6 Variation des Spitzenlaststrompreis für V0.....	C-12
C.2.7 Variation des Spitzenlaststrompreis für V3.....	C-13

Disclaimer

Dieser Bericht wurde durch Guidehouse Energy Germany GmbH (Guidehouse) für Viessmann erstellt. Die in diesem Bericht vorgestellte Arbeit stellt eine professionelle Einschätzung von Guidehouse auf der Grundlage von Informationen dar, die zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts zur Verfügung standen. Guidehouse ist weder für die Verwendung des Berichts oder das Vertrauen auf den Bericht seitens des Lesers noch für irgendwelche Entscheidungen auf Grundlage des Berichts verantwortlich. Leser des Berichts werden darauf hingewiesen, dass sie sämtliche Haftungspflichten tragen, die für sie oder Dritte entstehen, weil sie sich auf den Bericht oder die in dem Bericht enthaltenen Daten, Informationen, Erkenntnisse und Meinungen verlassen.

1. Hintergrund

Die politische Diskussion, wie das Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestandes in Deutschland zu erreichen ist, ist in vollem Gange, auch weil die Wärmewende entscheidend für das Gelingen der Energiewende insgesamt ist.

Der Dialog „Klimaneutrale Wärme“ stellt die Frage, wie eine klimaneutrale Wärmeversorgung 2050 und der Weg dahin aussehen kann. Auch der Nationale Wasserstoffrat diskutiert, welche Rolle grüne Gase im Wärmemarkt einnehmen sollen und empfiehlt vor einer Grundsatzentscheidung für oder gegen einen Wärmemarkt mit grünen Gasen zunächst eine umfassende Studie zu effizienten Dekarbonisierungspfaden.

Häufig wird Wasserstoff aufgrund der Kostensituation und durchschnittlicher Nutzungsgrade von Wasserstoffkesseln im Vergleich zu Wärmepumpen pauschal als zu teuer und ineffizient dargestellt.

Dabei wird die komplexe Situation im Wärmemarkt nicht berücksichtigt. Die Ausgangssituation ist für viele Gebäude unterschiedlich. Ein Großteil der Gebäude wird noch mit fossilem Gas beheizt, viele Gebäude sind teilsaniert und es bedarf noch erheblicher Anstrengungen und Maßnahmen, bis sie die Anforderungen an ein klimaneutrales Gebäude erfüllen. Je nach technischer Umsetzbarkeit bieten sich unterschiedliche Sanierungspfade an, die auch Auswirkungen auf die Energieinfrastruktur haben. Bei der Wahl des richtigen Sanierungspfades ist aber auch die Ausgangssituation des Gebäudeinhabers oder der Mieter zu berücksichtigen.

Vor diesem Hintergrund hat Viessmann Guidehouse beauftragt, in der hier vorliegenden Kurzstudie ergebnisoffen die Kostensituation von Grüngaslösungen im Gebäudebereich und weiteren klimazielkompatiblen Lösungen aus Verbrauchersicht zu bewerten und die Umsetzbarkeit bzw. Sozialverträglichkeit der Lösungen zu untersuchen.

Der Fokus der Untersuchung liegt auf dem Vergleich von Sanierungslösungen mit Grüngas und Wärmepumpen kombiniert mit Maßnahmen zur Verbesserung der Hüllqualität.

Dabei ist den Autoren klar, dass grüne Gase aufgrund der Kostensituation und der Verfügbarkeit fossile Gase nicht Eins zu Eins ersetzen werden. Am Ende wird eine kosteneffiziente Transformation zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung nur mit einem Technologiemix gelingen, der auch Technologien beinhaltet, die in dieser Studie nicht betrachtet sind: Beispielsweise wird CO₂-freie Fernwärme in dicht besiedelten Städten eine wichtige Rolle einnehmen und gerade in ländlichen Regionen werden erneuerbare Energien wie Solarthermie, Biomasse oder auch Geothermie ihre Bedeutung haben.

Ein probates Mittel zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen sind Kostenoptimalitätsberechnungen im Sinne der Europäischen Gebäuderichtlinie. In einem ersten Schritt wird in dieser Studie die Kostenoptimalität unterschiedlicher, klimazielkompatibler Sanierungspakete bewertet. Da aber bei vielen Gebäuden häufig schon einige Maßnahmen umgesetzt sind und der Instandhaltungszyklus der Maßnahmen zu einem späteren Zeitpunkt ansteht, werden in einem zweiten Schritt die schrittweise Sanierung von Sanierungsfahrplänen betrachtet, und Umsetzbarkeit und Sozialverträglichkeit diskutiert.

2. Methodisches Vorgehen

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit unterschiedlicher klimaziel-kompatibler Lösungen für Bestandsgebäude in Deutschland aus Verbrauchersicht haben wir folgenden Ansatz gewählt: Identifikation kostenoptimaler Lösungen für den Endverbraucher mit unterschiedlichen Gebäudetypen und Heizungssystemen. Anschließend werden – aufbauend auf den berechneten Kosten – unterschiedliche Sanierungspfade aus Endverbraucher-sicht dargestellt und unter dem Aspekt der Sozialverträglichkeit diskutiert. Um sicherzustellen, dass die Ergebnisse eine breite Gültigkeit und Relevanz besitzen, sind zum einen mehrere Gebäudetypen und Sanierungspfade berücksichtigt und zum anderen unterschiedliche – im Rahmen der Bedingung „klimaziel-kompatible Lösung“ – Heizungssysteme einbezogen.

Für eine ganzheitliche Betrachtung der Kosten, die beim Verbraucher anfallen, wird die Methode der „Global Cost“¹ herangezogen. Diese Methode wird auch bei den nationalen Berechnungen zur „Energy Performance of Buildings Directive“ (EPBD) der Europäischen Union verwendet. Hierbei werden initiale Investmentkosten, jährliche Energie- und Wartungskosten sowie Ersatzinvestitionen, die anfallen, wenn die Lebenszeit von Systemen und Gebäudeelementen kürzer als der Betrachtungszeitraum ist, über diesen aufsummiert. Zusätzlich wird berücksichtigt, dass die meisten Systeme und Gebäudeelemente eine Restlebensdauer haben, welche als anteilige Investmentkosten der Summe der Gesamtkosten negativ angerechnet wird.

2.1 Energetische Berechnung

Wie bereits erwähnt, werden zwei repräsentative Referenzgebäude für die Betrachtung ausgewählt: Ein Einfamilien- und Mehrfamilienhaus, welche jeweils das Typengebäude der in Deutschland häufigsten Baualterklasse für Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) repräsentieren². Die genauen Gebäudespezifikationen sind im Anhang 4.A.1 aufgelistet. Die Diversität der Sanierungszustände von Bestandsgebäuden wird zusätzlich über die untersuchten Hüllqualitäts-Varianten abgebildet. Dabei werden 5 Sanierungsvarianten und der Ausgangszustand für beide Gebäudetypen betrachtet. Die Sanierungsmaßnahmen sind für das EFH in Tabelle 1 dargestellt, sowie im Anhang 0 für das MFH.

Tabelle 1: Sanierungsvarianten des EFH, inkl. Dämmstärken pro Element und resultierendem H'_T

Variante	H'_T	Maßnahmen (U in [W/(m ² K)])
V0	0.58	-
V1	0.46	<ul style="list-style-type: none"> Dach: 8 cm (U=0.26)
V2	0.42	<ul style="list-style-type: none"> Dach: 14 cm (U=0.18) Fenster: U=1.1
V3	0.28	<ul style="list-style-type: none"> Dach: 14 cm (U=0.18) Wand: 10 cm (U=0.23) Fenster: U=1.1
V4	0.24	<ul style="list-style-type: none"> Dach: 18 cm (U=0.15) Wand: 12 cm (U=0.20) Fenster: U=0.85

¹ <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2012:115:0001:0028:DE:PDF>

² Nach TABULA Gebäudedatenbank Deutschland

Variante	H'_T	Maßnahmen (U in [W/(m ² K)])
V5	0.20	<ul style="list-style-type: none"> • Dach: 28 cm (U=0.105) • Wand: 18 cm (U=0.15) • Fenster: U=0.8

Als klimaziel-kompatible Lösungen sind in dieser Betrachtung Heizungssysteme ausgewählt worden, die mit Grüngas bzw. Grünstrom betrieben werden. Die folgenden Systeme sind berücksichtigt:

- Wärmepumpe (WP)
- Hybrid-Wärmepumpe (Hybrid-WP)
- Grüngaskessel (GGK)
- Blockheizkraftwerk (nur für MFH) (BHKW)
- Erdgaskessel (nicht klimaziel-kompatibel, aber als Referenzfall) (EGK)

Die energetischen Berechnungen sind in Anlehnung an die Untersuchungen des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen der EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) Berechnung für die Europäischen Kommission mit der Energieberater Software Hottgenroth³ durchgeführt. Das Rechenverfahren basiert auf der DIN 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden“.

Die Warmwasserbereitung wurde mitberücksichtigt. In allen Varianten, die eine Wärmepumpe beinhalten, wird das Warmwasser über diese bereit. Im MFH wurde eine zentrale Heizungsanlage für das Gebäude angenommen. Die Auslegung der Heizsysteme wird durch die Software Hottgenroth, basierend auf der DIN 18599 und den entsprechenden Geometrien und U-Werten der Referenzgebäude, vorgenommen.

Das BHKW (nur für den Fall MFH) wird je nach Variante auf 20 – 30 % Spitzenlast ausgelegt, um eine hohe Zahl an Volllaststunden zu gewährleisten. Die Stromkennzahl beträgt in allen Varianten 0,5. Die Vergütung des eingespeisten Stroms erfolgt mit dem Großhandelspreis für Strom.

Die berechneten Endenergieverbräuche können direkt in die Kostenberechnung übernommen werden. Die Hybrid-WP hat die Wahl zwischen Strom und Gas Energieträger. In der Berechnung wird die Fahrweise ökonomisch optimiert, d. h. Strompreisspitzen werden durch den Grüngaskessel umgangen (siehe Preisannahmen im folgenden Abschnitt). Zusätzlich muss der Spitzenlastkessel die Wärmepumpe bei sehr niedrigen Außentemperaturen unterstützen, wenn die Leistung der Wärmepumpe für die Heizlast nicht ausreicht.

2.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Für die Berechnungen der Endverbraucherkosten werden die Investitionskosten und jährlichen Energiekosten bestimmt. Alle weiteren Komponenten zur Bestimmung der Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum, sprich Ersatzinvestition, Wartung und Restwert, lassen sich daraus ableiten.

³ <https://www.hottgenroth.de/index.html>

2.2.1 Kostenannahmen

Die Kostenannahmen für die Wärmeerzeuger und Sanierungsmaßnahmen leiten sich aus dem BBSR Gutachten: EnEV 2017 – Vorbereitende Untersuchungen⁴ ab. Das Kostenniveau wurde mit einer jährlichen Steigerungsrate von 1,5 % auf das Jahr 2021 angepasst. Eine exemplarische Darstellung der resultierenden Kosten sind in Anhang 4.A.2.1, sowohl für das EFH als auch das MFH, dargestellt. Die Kosten, die für die Sanierungsmaßnahmen entsprechend der Varianten, wie u. a. in Tabelle 1 aufgelistet, anfallen, können der Tabelle in 4.A.2.2 entnommen werden. Bei der Kostenoptimalitätsberechnung werden nur die energiebedingten Mehrkosten berücksichtigt, d. h. Instandhaltungskosten für die Gebäudeelemente sind nicht enthalten. Diese müssen ohnehin vom Gebäudebesitzer aufgebracht werden, wenn z. B. das Dach undicht wird oder die Fassade renovierungsbedürftig ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren diese Maßnahmen anfallen werden. Energiebedingte Mehrkosten betreffen damit die Kosten zum Anbringen der zusätzlichen Dämmung, um die entsprechenden U-Werte zu erreichen oder den Einbau besserer Fenster im Vergleich zum aktuellen Standard. Bei der anschließenden Analyse der Sanierungspfade sind die Gesamtkosten – energiebedingte Mehrkosten und Instandhaltungskosten – berücksichtigt. Ebenfalls sind im Anhang die Wartungskosten der Systeme (0) sowie die angenommenen Lebensdauern (4.A.2.4) aufgezeigt.

2.2.2 Preisannahmen Energieträger

Es wurden Preisannahmen für grünes Gas, Grünstrom und, für das Referenzszenario, Erdgas ermittelt. Alle Preise sind Endverbraucherpreise, d. h. sie enthalten bei

- Gas: Umsatzsteuer, Konzessionsabgabe, Messstellenbetrieb, Gassteuer, Netzentgelt, Energiebeschaffung, Marge und Vertrieb;
- Strom: Umsatzsteuer, Konzessionsabgabe, Messstellenbetrieb, Stromsteuer, KWKG-Umlage, §18 AbLaV, Offshore-Umlage, EEG-Umlage, Netzentgelt, Energiebeschaffung, Marge und Vertrieb.

Die Kosten für die Energieträger und daraus resultierende Endverbraucherpreise, die in dieser Studie verwendet wurden, sind in den folgenden beiden Tabellen dargestellt und werden im weiteren erläutert.

Energieträger	Gestehungskosten/Preise [€/MWh]	Energieträger	Endverbraucherpreis [ct/kWh]
Grüner Wasserstoff	105	Grüngasmix	13,1
Synthetisches Methan	203	Strom Grundlast	22,1
Erdgas	25	Strom Spitzenlast	49,9
Strom	55	Gaspreis (inkl. CO ₂ -Preis)	12,3
Biomethan	68		

Über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren wird ein mittlerer Preis angenommen, der als Durchschnittswert prognostizierter Preisentwicklung von heute bis 2050 bestimmt wird. Das ist u. a. möglich, da der Kalkulationszinssatz der Kapitalwertberechnung 0 % beträgt (siehe Abschnitt 2.2.3).

⁴ https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2017/bbsr-online-16-2017-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Welcher Energieträger(-Mix) über die nächsten 30 Jahre als CO₂-neutrale Alternative bzw. Lösung im Gasverteilnetz dem Endkunden zur Verfügung stehen wird, ist noch nicht abzusehen. Daher wird im Rahmen dieser Untersuchung von einem generell verfügbaren „Grüngas“ gesprochen. Um dennoch eine realistische Preisannahme herzuleiten, wurden unterschiedliche Energieträgerpreise (synthetisches Methan, grüner Wasserstoff, Biomethan) und deren Prognosen untersucht (siehe 4.A.2.5). Daraus konnte ein durchschnittlicher Preis für den jeweiligen Energieträger ermittelt werden. Der Endverbraucherpreis kann damit über den Anteil des jeweiligen Energieträgers im Gasnetz bestimmt werden. Als ein realistisches Szenario wurde ca. $\frac{3}{4}$ Biomethan und $\frac{1}{4}$ Wasserstoff im Gasverteilnetz gesehen, was zu einem GG-Preis von 7,7 ct/kWh führt und mit den genannten Umlagen eine Endverbraucherpreis von 13,1 ct/kWh bedeutet. In einer GG-Preis Sensitivität im Anschluss an die Ergebnispräsentation, wird dieses Thema erneut diskutiert.

Es werden zwei Strompreise für Grundlast und Spitzenlast (aus Systemsicht) angenommen. Die meiste Zeit des Jahres wird von dem Grundlastpreis ausgegangen. Dieser bleibt, auch mit 100 % CO₂-neutraler Erzeugung, auf einem ähnlichen Niveau wie der heutige Wärmepumpenpreis. Damit wird davon ausgegangen, dass die teilweise Erlassung der Netzentgelte bestehen bleibt und die Stromgestehungskosten durch eine erneuerbare Erzeugung nicht teurer werden. Zusätzliche Kosten des Stromnetzes durch mehr fluktuierende Einspeisung werden auf die Endverbraucher über die Strom-Netzentgelte umgelegt. Eine Analyse der dena Leiststudie⁵ und einer Untersuchung des Fraunhofer ISI⁶ führt je nach Szenario zu einer Steigerung der Netzentgelte von 0,5 bis 2 ct/kWh. Gleichzeitig prognostiziert die genannte dena Leiststudie, aber auch Prognos⁷ eine sinkende EEG-Umlage, bzw. dessen Abschaffung. Diese Analyse führt in der Summe zur Annahme, dass die Stromkosten für den Endverbraucher konstant bleiben.

In einem Energiesystem der Zukunft, in dem bis zu 95 % der Stromerzeugung von fluktuierenden erneuerbaren Energien kommt, wird es Zeiten geben, in denen die Erzeugung an ihre Grenzen kommt und Strom zu einem eher knappen Gut wird. Wenn gleichzeitig der Verbrauch relativ hoch ist, bzw. nicht angepasst werden kann, ist davon auszugehen, dass Strompreise in dieser Periode stark ansteigen. Dies ist besonders relevant für Wärmeerzeuger, da dies am stärksten während „dunklen“, kalten, windlosen Winterwochen vorkommt – der sogenannten Dunkelflaute.

Der angenommene Grundlastpreis orientiert sich am heutigen Wärmepumpenstrompreis. Der Spitzenlastpreis wird über die Annahme hergeleitet, dass der Grenzpreis am Strommarkt während Dunkelflauten durch wasserstoffbetriebene Gaskraftwerke gesetzt wird. Dieser kann somit über deren Stromgestehungskosten (LCOE) bestimmt werden, die u. a. auf der Lebensdauer, Volllaststunden und Gaspreisen basieren. Es werden sowohl „einfache“ Gasturbinen⁸ als auch GuD-Kraftwerke⁹ betrachtet und ein Durchschnitt der beiden Technologien genommen, da je nach Höhe der benötigten Residuallast ein Teil oder alle Kraftwerke zum Zug kommen können.

⁵ [Dena 2018](#)

⁶ [ISI 2017](#)

⁷ [Prognos 2020](#)

⁸ Gasturbine: Leistung 200 MW, Vollbenutzungsstunden 1000 h, Investitionskosten 437 €/kW, fixe Betriebskosten 4 % Investmentkosten, variable Betriebskosten 1,1 €/MWh, Zinssatz 5,2 %, Lebensdauer 30, Wirkungsgrad 40 %

⁹ Gas- und Dampf: Leistung 2 x 400 MW, Vollbenutzungsstunden 1000 h, Investitionskosten 850 €/kW, fixe Betriebskosten 4 % Investmentkosten, variable Betriebskosten 1,71 €/MWh, Zinssatz 5,2 %, Lebensdauer 30, Wirkungsgrad 60 %

Als mittlerer LCOE wurden 289 €/MWh berechnet. Dies bildet für die Preisberechnung des Endkunden den Teil Strombeschaffungskosten ab. Inklusiver der weiteren Kostenbestandteile liegt der Spitzenlaststrompreis für Endverbraucher bei 49,9 ct/kWh. Es soll darauf hingewiesen werden, dass die Annahmen eines Spitzenlastpreises in Zukunft mit Unsicherheiten behaftet ist, besonders da das generelle Marktdesign noch zur grundsätzlichen Debatte steht (z. B. „Energy-only-Markt“ vs. Kapazitätsmarkt). Dennoch ist die verwendete Betrachtung relevant, da dies die anfallenden Kosten sind und diese – auf die eine oder andere Art – auf den Endverbraucher umgelegt werden.

Das Verhältnis von Grundlast- zu Spitzenlaststrompreis wird durch eine Gegenüberstellung der Erzeugungsprofile von Erneuerbaren Energien und den prognostizierten Lastprofilen welche auch zur Erstellung des Netzentwicklungsplan der Übertragungsnetzbetreiber genutzt werden, bestimmt. In einem ersten Schritt wird ermittelt, in wie vielen Stunden die Erzeugung durch EE nicht ausreicht, um den Bedarf zu decken¹⁰. In einem zweiten Schritt wurden die Gradstunden ermittelt¹¹ und die Betrachtung auf die Heizperiode von Oktober bis April beschränkt. Die führt dazu, dass 30 % des Energieverbrauchs der Wärmepumpe in Zeiten von Spitzenlast und 70 % in Zeiten von Grundlastpreisen anfällt. Dies wurde ebenfalls in der Sensitivitätsanalyse näher betrachtet.

2.2.3 Sonstige Randbedingungen

Der Kalkulationszinssatz für die Kapitalwertmethode wird im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung mit 0 % pro Jahr angenommen. Es liegt die Annahme zugrunde, dass das zu erwartende Zinsniveau dem Inflationsniveau entspricht. Die reale Preissteigerung für Ersatzinvestitionen wird mit 1,5 % pro Jahr gerechnet. Der Berechnungszeitraum beträgt 30 Jahre.

¹⁰ Kapazität von PV und Wind so ausgelegt, dass 120% des tatsächlichen jährlichen Energiebedarfs erzeugt werden; Speicherkapazität kann 2 durchschnittliche Tage überbrücken

¹¹ Heizgrenztemperatur 13°C

3. Ergebnisse

3.1 Kostenoptimalitätsbetrachtung

Die Kostenoptimalitätsberechnungen wurden für zwei Gebäudetypen, jeweils 6 Varianten und vier bzw. fünf Wärmeerzeugertechnologien durchgeführt. Zunächst werden die Ergebnisse der Berechnungen des EFH und anschließend des MFH erläutert. Im anschließenden Abschnitt wird für beide eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, die jeweils dieselben Parameter betrachtet. Der letzte Abschnitt des Kapitels Ergebnisse geht auf die Sanierungspfade und die Diskussion der Sozialverträglichkeit ein.

Die Ergebnisdarstellung, sowohl für EFH als auch MFH, zeigen drei bzw. vier untersuchte Wärmeerzeuger, plus das Referenzszenario (gestrichelt). Diese sind jeweils in einer Farbe dargestellt. Jeder Punkt spiegelt das konkrete Ergebnis einer Berechnung für eine Sanierungsvariante mit dem entsprechenden Wärmeerzeuger wider. Daher gibt es pro Variante 6 Punkte: Die fünf Sanierungsvarianten (V1 – V5) plus das Ausgangsszenario. Die Sanierungsvarianten sind auf der X-Achse über den spezifischen, jährlichen Heizwärmebedarf (Nutzenergie) in kWh/(m²a) dargestellt, wodurch es von rechts nach links von Variante 0 (Ausgangsvariante) bis V5 (stärksten saniert) geht.

Die spezifischen Gesamtkosten sind auf der ersten Y-Achse (links) in Euro pro m² über die den gesamten Betrachtungszeitraum (30 Jahre) aufgetragen. Die zweite Y-Achse (rechts) zeigt die theoretischen spezifischen Kosten runtergebrochen auf einen Monat.

3.1.1 EFH

Die Ergebnisse der Kostenoptimalitätsberechnung für das EFH ist in Abbildung 1 dargestellt. Über alle Wärmeerzeugervarianten hinweg ist die Sanierungsvariante 3 (dritter Punkt von links) die günstigste, außer bei der WP wo Sanierungsvariante 4 (zweiter Punkt von links) etwas günstiger ist. Bei der WP unterscheiden sich jedoch die Varianten 3 – 5 nur minimal. Die insgesamt günstigste Variante ist die Hybrid-WP mit Sanierungsvariante 3.

Tendenziell ist zu erkennen, dass die Varianten mit WP oder Hybrid-WP günstiger abschneiden als die Gasbrennwertkessel. Die Variante WP wird mit besserem Sanierungszustand relativ zu den anderen Lösungen günstiger, während die Hybrid-WP eher konstant über alle Sanierungsvarianten ein gutes Ergebnis liefert. Das hängt mit der ökonomisch optimierten Fahrweise zwischen strom- und gasbasiertem Energieerzeuger zusammen, sowie der kleineren und effizienten WP zusammen.

Es ist aber festzuhalten, dass die Ergebnisse in allen Varianten eng beieinander liegen. Die größten Differenzen liegen bei ca. 0,3 €/m²/Monat, was einer Mehrbelastung eines Haushalts mit einem 150 m² EFH von 550 €/Jahr entspricht. Die Ergebnisse zeigen zudem, dass die Wahl der Sanierungstiefe – im Hinblick auf die Kosteneffizienz – gleichwertig relevant ist wie die Wahl des Heizungssystems.

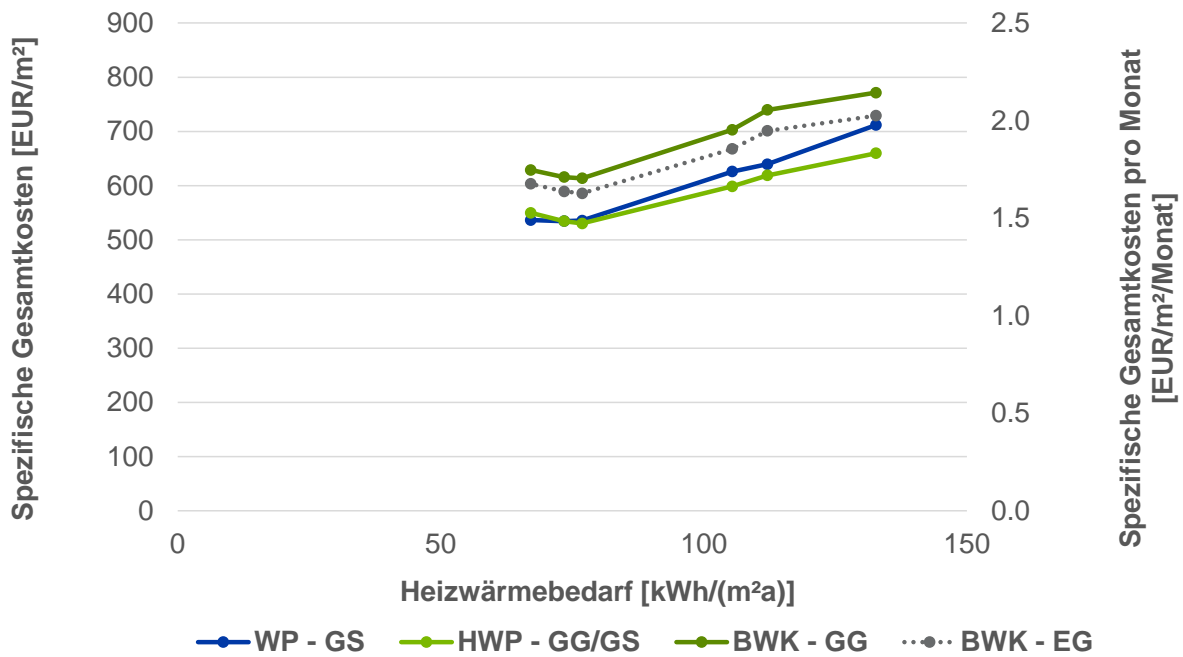


Abbildung 1: Ergebnisse der Kostenoptimalitätsrechnung für EFH

In Abbildung 2 sind die Kostenbestandteile der Varianten noch einmal für jeden „Punkt“ im obigen Diagramm einzeln aufgelistet.

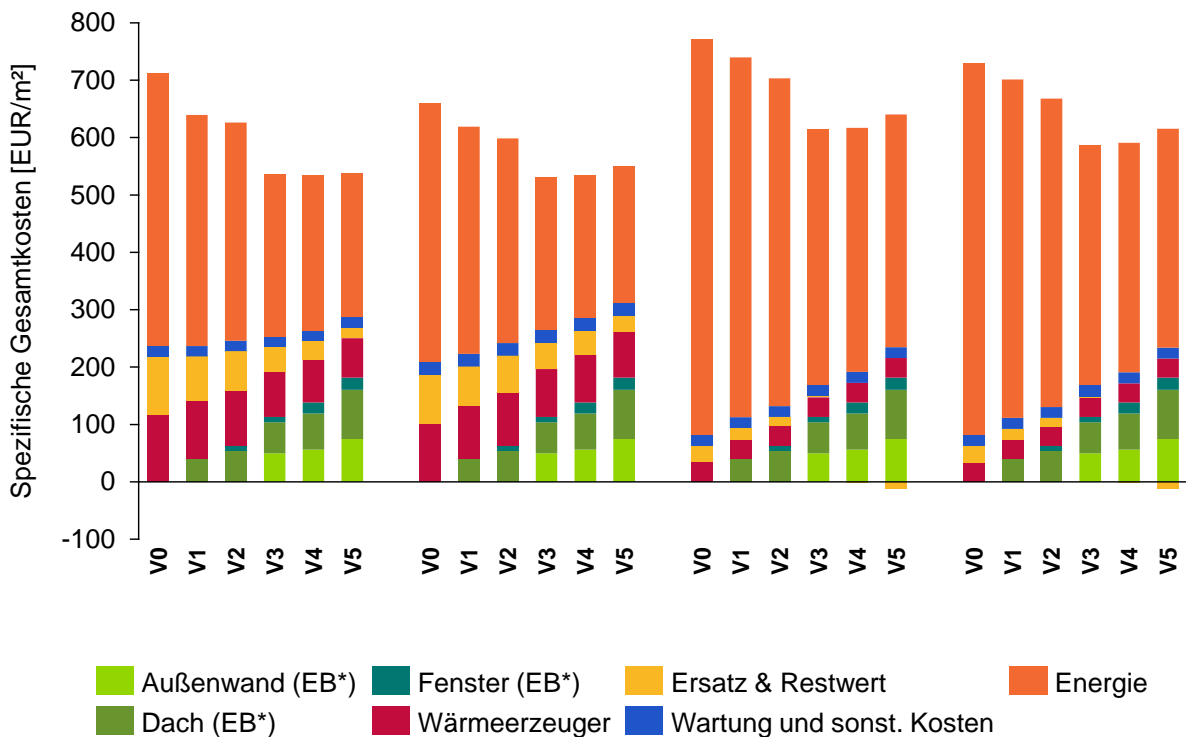


Abbildung 2: Spezifische Gesamtkosten aufgeteilt nach Kostenbestandteilen für das EFH (Zahlen siehe Anhang 4.B.1.1)

Die höheren Investitionskosten und damit auch Ersatzkosten für die Wärmereizger sind bei den WP-Varianten – im Vergleich zu den Brennwertkesselvarianten – zu erkennen. Dafür sind die Energiekosten in diesen Varianten deutlich geringer. Das Verhältnis der

Investitions- zu den Energiekosten beträgt in den Wärmepumpen Varianten ca. 1:4 (V0) bis 1:1 (V5). Die Varianten mit reine BWK haben aufgrund der niedrigen Investmentkosten und höheren Energiekosten hier eine deutlich verschobene Kostenaufteilung von Investitions- zu Energiekosten: 1:20 (V0) und 1:2 (V5). Negative „Ersatz & Restwert“ Posten kommen vor, wenn die Restwerte der Systeme (die negativ angerechnet werden) größer sind als die Kosten, die über den Zeitraum für Ersatzinvestitionen angefallen sind.

Abbildung 3 zeigt abschließend das Verhältnis der berücksichtigten energiebedingten Mehrkosten zu den – für den Gebäudebesitzer anfallenden gesamten Instandhaltungskosten für Wand, Dach und Fenster (in grau).

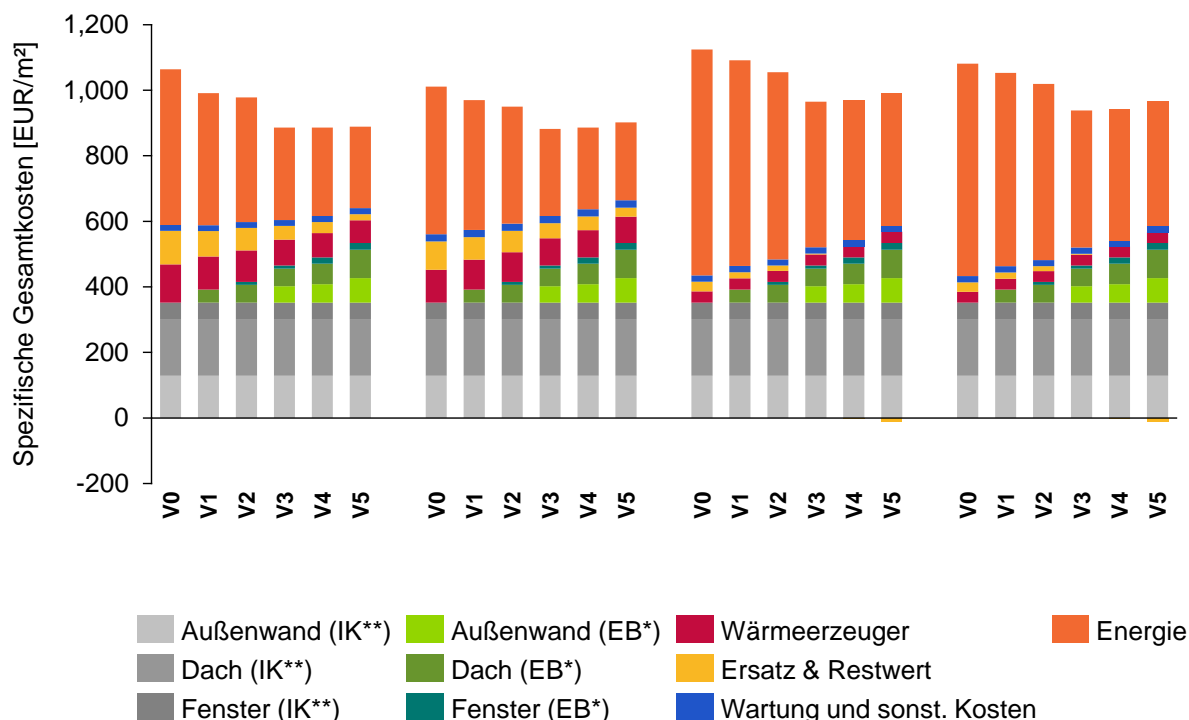


Abbildung 3: Spezifische energiebedingte Gesamtkosten im Verhältnis zu den spezifischen Instandhaltungskosten für das EFH (Zahlen siehe Anhang 4.B.1.2)

Die konkreten Zahlenwerte der Ergebnisse sind in Anhang B-5, sowohl als spezifische als auch absolute Gesamtkosten, für alle Gebäudeelemente und Wärmerezeuger dargestellt.

3.1.2 MFH

Die Ergebnisdarstellung ist analog zu der für das EFH (siehe oben), mit dem Ausgangsszenario rechts und den fünf Sanierungsvarianten pro Wärmerezeuger. Zusätzlich wurde hier mit dem BHKW ein weiterer Wärmerezeuger untersucht.

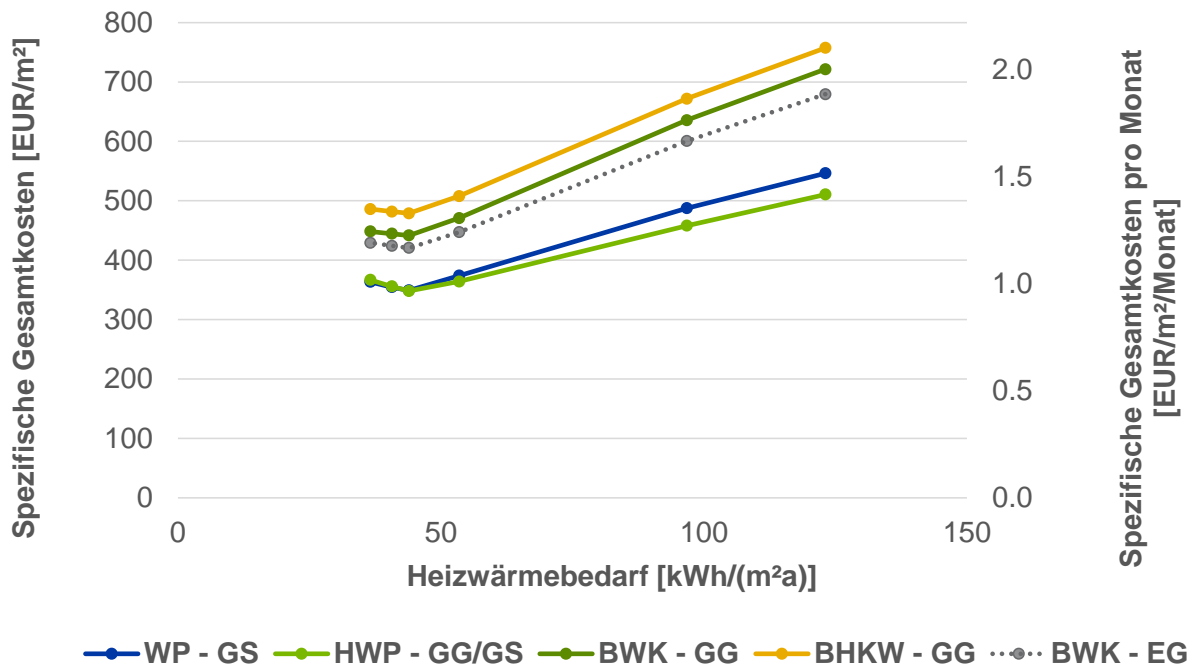


Abbildung 4: Ergebnisse der Kostenoptimalitätsrechnung für MFH

Die beiden Szenarien mit einer WP liegen über alle Sanierungsvarianten günstiger als die Brennwertkessel oder das BHKW. Sanierungsvariante 3 (dritter Punkt von rechts) ist für alle Wärmeerzeuger der kostenoptimale Fall. Die Hybrid-WP ist minimal günstiger als die WP, jedoch ist zu erkennen, dass der WP die besseren Sanierungszustände einen Vorteil verschaffen können.

Das BHKW scheint – zumindest mit der gewählten Auslegung und der Einspeisevergütung – keine kostengünstige Alternative zu den anderen Szenarien zu sein. Hier hängt jedoch viel von der aktuellen und zukünftigen Förderung dieser Anlagen und der Möglichkeit zu Eigenstromnutzung und -vermarktung ab.

In Abbildung 5 und Abbildung 6 sind analog zum EFH die Kostenbestandteile der Ergebnisse einzeln aufgezeigt und ein Vergleich der energiebedingten Mehrkosten, Energiekosten und den Instandhaltungskosten dargestellt.

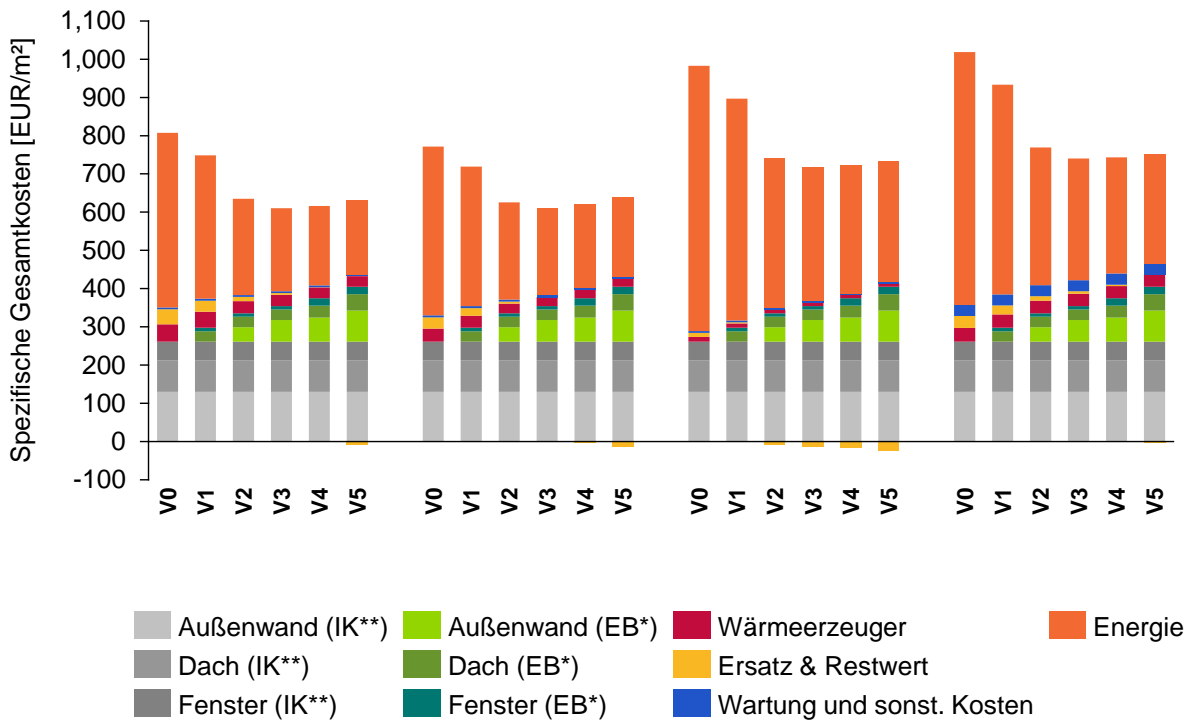


Abbildung 5: Spezifische Gesamtkosten aufgeteilt nach Kostenbestandteilen für das MFH (Zahlen siehe Anhang 4.B.2.1)

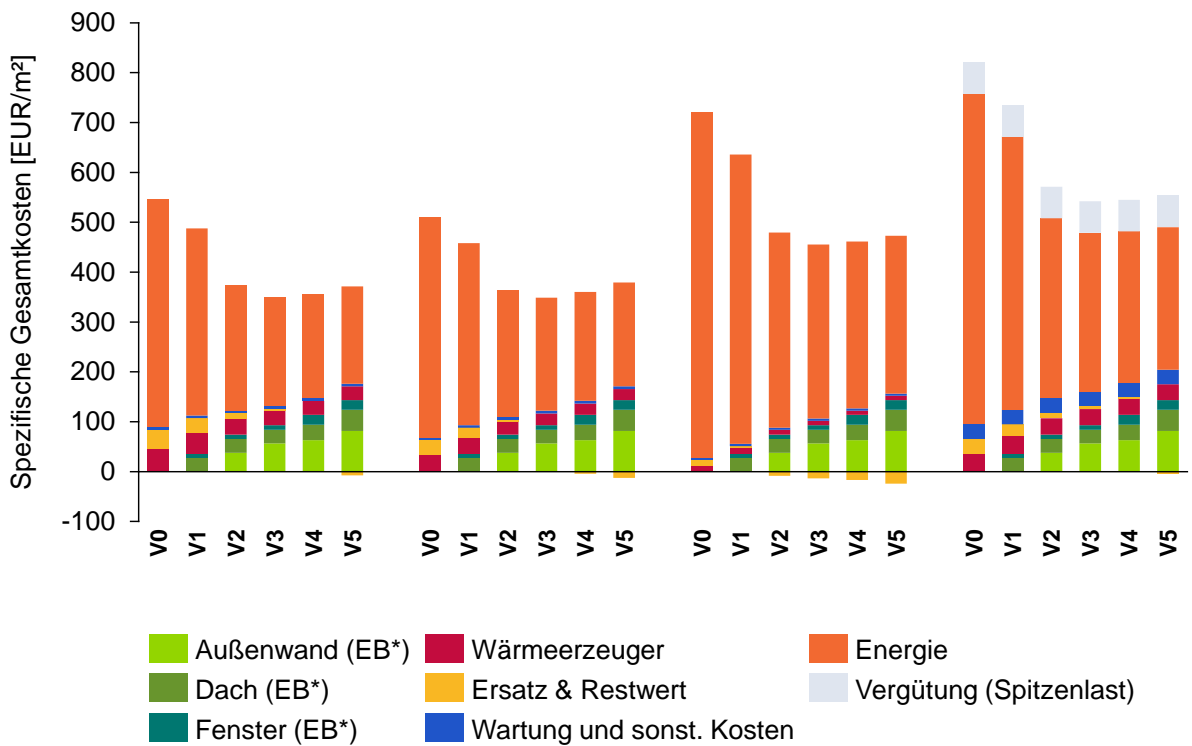


Abbildung 6: Spezifische energiebedingte Gesamtkosten im Verhältnis zu den spezifischen Instandhaltungskosten für das MFH (Zahlen siehe Anhang 4.B.2.2)

3.2 Sensitivitätsanalyse

Eine Sensitivitätsanalyse wurde für mehrere Parameter durchgeführt deren Annahmen mit größeren Unsicherheiten behaftet sind. Dazu zählen:

- Preise für Grüngas
- Preise für den Spitzenlaststrom
- Verhältnis von Grund- zu Spitzenlaststunden
- Jahresarbeitszahl (JAZ) der WP
- Kosten der WP

Die Sensitivitäten zum Verhältnis Grund/Spitzenlast, JAZ und Kosten der WP konnten für alle Varianten durchgeführt werden und sind in derselben Darstellung wie die Ergebnisse.

3.2.1 EFH

Die Darstellungen können für das EFH im Anhang 4.C.1 eingesehen werden. An der grundsätzlichen Tendenz, dass die Hybrid-WP und reinen WP-Varianten kostengünstiger sind die Brennwertvarianten (mit Grüngas oder Erdgas inkl. CO₂ Preis) ändert sich bei diesen Untersuchungen nichts Grundlegendes. Auch bleiben die Gesamtkosten der beiden Varianten sehr ähnlich.

Zur Überprüfung der Preissensitivität ist eine Variante – die kostenoptimale Sanierungsvariante 3 – ausgewählt. Zusätzlich kann im Anhang 4.C.1 die gleiche Analyse für die Ausgangsvariante eingesehen werden.

Abbildung 7 zeigt die spezifischen Gesamtkosten über einem auf der X-Achse variablem Grüngaspreis. Der dargestellte Grüngaspreis ist der reine Preis für den Energieträger ohne Aufschläge bis zum Endkunden. Die bedeutet für das im Graphen markierte „V3 Szenario“ einen Endkundenpreis von 13,1 ct/kWh.

Es ist zu erkennen, dass die Hybrid-WP über alle Preise hinweg die günstigste oder zweitgünstigste Option, mit geringem Abstand zur günstigsten Variante, ist. Für sehr geringe Grüngaspreise von < 60 €/MWh wird der Brennwertkessel günstiger und hohe Preise > 100 €/MWh verschaffen der WP einen Vorteil gegenüber allen anderen Varianten.

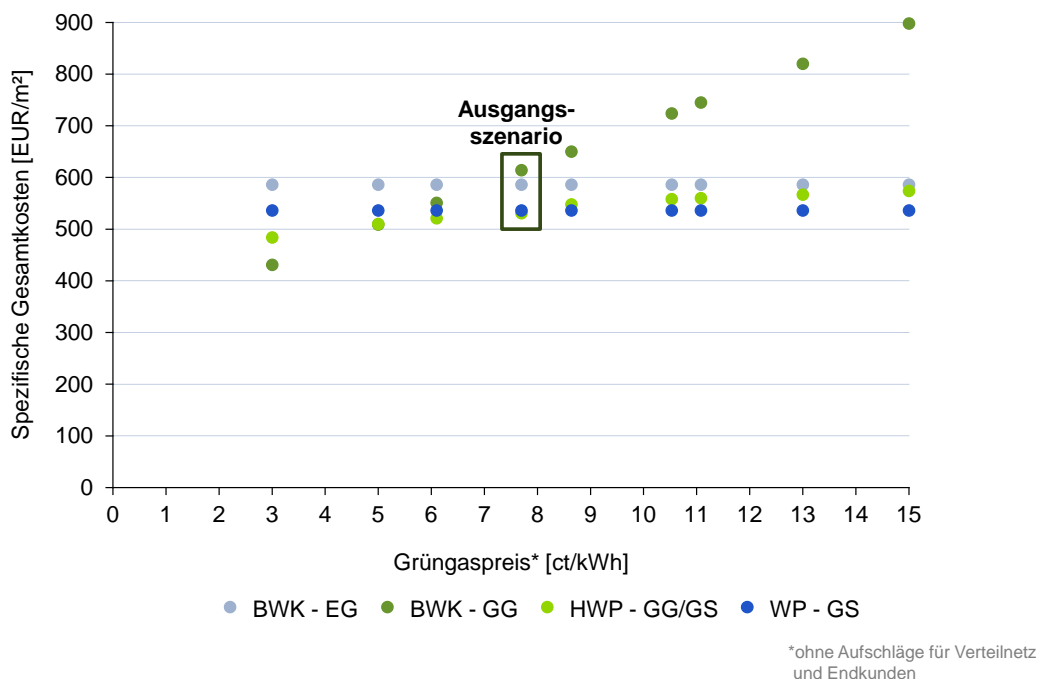


Abbildung 7: Sensitivität Grüngaspreis für V3

Zur Einordnung der angenommenen Grüngaspreise

Im Rahmen dieser Studie wurde für Grüngas ein Mix von Biomethan und Wasserstoff angenommen und eine Literaturrecherche zur Abschätzung eines Preise von heute bis 2050 durchgeführt. Während die Preisangaben für Biomethan in einem engeren Bereich liegen und durchgängig unter 10 ct/kWh liegen (und bis 2050 auf ca. 5 ct/kWh fallen) ist die Bandbreite für den Wasserstoffpreis größer. Unabhängig vom Erscheinungsdatum der Studien haben wir einen mittleren Preis für Wasserstoff über den gesamten Zeitraum und die betrachteten Studien angenommen. Dabei ist nicht klar, ob alle Studien schon die verstärkten Anstrengungen in der EU zum H₂ Hochlauf in Betracht ziehen, die durchaus zu einer schnelleren Preisdegression führen können. Es ergibt sich ein Preis für Wasserstoff von 10,5 ct/kWh inkl. Transport im Übertragungsnetz, potenzielle Speicherung und Margen. Jedoch ist der Einsatz von (grünem) Wasserstoff im Gebäudesektor nicht vor 2030 zu erwarten. Dadurch werden die heute bis 2030 noch deutlich höheren Produktionskosten für grünen Wasserstoff bis zur praktischen Anwendung nicht mehr relevant sein und es ist zu erwarten, dass ab 2030 der Preis unter 10ct/kWh liegen wird.

Bestätigt wird dies auch durch Aussagen der EU-Kommission in ihrer EU Hydrogen Strategy¹² herangezogen. Hier wird erwartet, dass die Produktionskosten für Wasserstoff bereits 2030 auf 3,3 – 7,2 ct/kWh (1,1 – 2,4 EUR/kgH₂) fallen können. Darauf kommen noch Kosten für potenzielle Speicherung, Transportkosten, Kapitalkosten und Marge.

Nimmt man für den Transport nach Deutschland für das Übertragungsnetz 25-50 ct/kg an, für Speicherkosten 25 ct/kg, Kapitalkosten von 5% und eine Marge von 10%, ergibt sich aus den genannten Produktionskosten eine potenzieller Wasserstoffpreis in Deutschland von ca. 6 – 9 ct/kWh (2,0 – 3 EUR/kg).

¹² https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf

Auch andere aktuelle Studien gehen davon aus, dass Wasserstoff ab 2030 in der EU schon zu einem günstigeren Preis verfügbar sein könnte. So rechnet das Konsortium „Gas for Climate 2050“¹³ mit Produktionskosten für grünen Wasserstoff in der EU von 7,5 ct/kWh (2,50 EUR/kg) in 2030. Ab 2040 geht es davon aus, dass Wasserstoff für ca. 6 ct/kWh (2 EUR/kg) in der EU produziert und in die EU importiert werden könnte. Marge, Kapitalkosten Speicherkosten und Transportkosten im Übertragungsnetz kommen – je nach Produktionsstandort – hinzu.

Wenn man also bedenkt, dass Wasserstoff wohl vor 2030 keine wesentliche Rolle im Gasverteilnetz spielen wird, können die Annahmen, die in dieser Studie für den Wasserstoffpreis gemacht werden, als eher konservativ angesehen werden. Daher sollten die Schlussfolgerungen in Kapitel 4, dass es durchaus Situationen gibt, in denen Grüngaslösungen (insbesondere mit Hybridwärmepumpen) aus Sicht des Verbrauchers interessante Optionen zur Erreichung von klimaneutralen Gebäuden darstellen, auch für die hier betrachtete Sensitivität „Grüngaspreis“ gelten. Analoges gilt für die folgende Sensitivität „Spitzenlaststrompreis“.

Wird der Spitzenlaststrompreis (ebenfalls für die kostenoptimale Variante 3) variiert – wie in Abbildung 8 dargestellt – ist zu erkennen, dass ein sehr hoher Spitzenlaststrompreis nötig wäre um die WP teurer als die Brennwertkessel werden zu lassen. Die Hybrid-WP hingegen fängt die teureren Spitzenlaststrompreise mit einem stärkeren Einsatz des Gaskessels ab. Ist der Spitzenlaststrompreis jedoch günstiger als das ursprüngliche Szenario tritt die Tendenz einer günstigeren WP hervor. Aber auch die Hybrid-WP kann, wenn auch weniger stark, von dieser Entwicklung profitieren und beide WP-Varianten setzen sich stärker von den Brennwertkesseln ab.

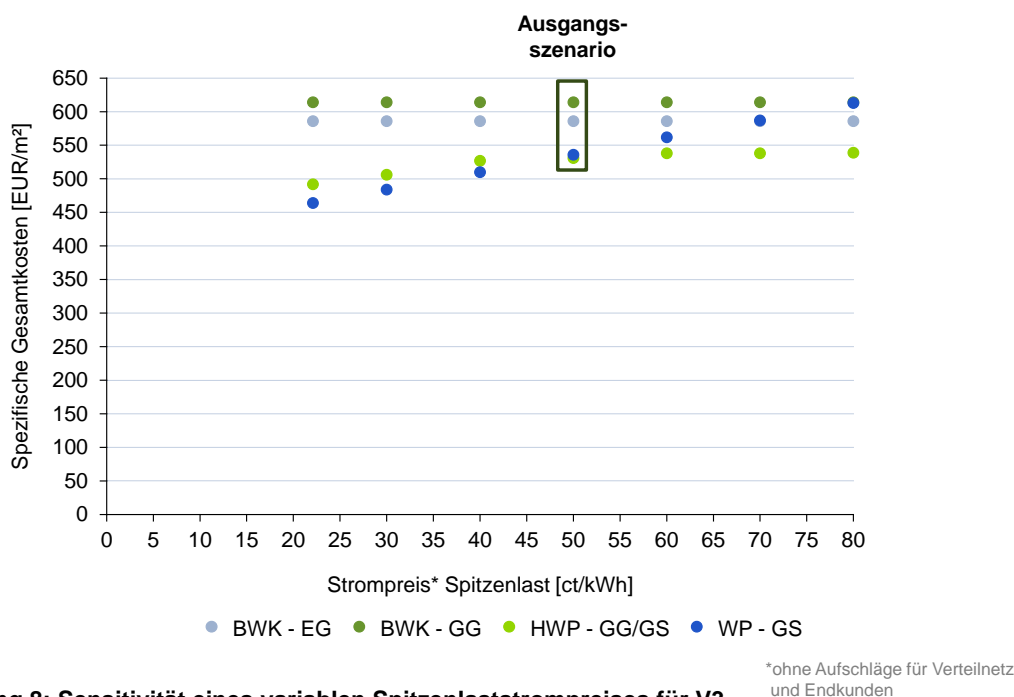


Abbildung 8: Sensitivität eines variablen Spitzenlaststrompreises für V3

¹³ https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/EHB_Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen_June-2021.pdf

3.2.2 MFH

Die Sensitivitätsanalysen für das MFH sind in denselben Darstellungen wie im EFH im Anhang 4.C.2 bereitgestellt. Wie bereits bei den Ergebnissen gesehen, unterscheiden sich die Kernaussagen der Sensitivitätsanalysen ebenfalls kaum zu denen beim EFH.

Die Varianten mit Hybrid-WP und reinen Wärmepumpen sind in praktisch allen Fällen über den Zeitraum von 30 Jahren, besonders mit den Sanierungsmaßnahmen, die kostengünstigeren Wärmeerzeuger. Dabei ist die WP in den Varianten 0 – 2 noch etwas im Nachteil und wird dann ab V3 tendenziell zur günstigsten Variante. Die Hybrid-WP zeigt eine starke Resilienz gegenüber Preisschwankungen – sowohl bei Strom als auch Gas. Damit ist sie selbst in den „extrem“ Szenarien, sprich am Rande der Preissensitivitätsanalyse, stets unter den günstigeren Wärmeerzeugern.

3.3 Umsetzbarkeit und Sozialverträglichkeit

Neben der reinen Wirtschaftlichkeit der Varianten sind für die Sozialverträglichkeit und praktische Realisierbarkeit weitere Aspekte entscheidend. Auf der einen Seite stellt sich der Gebäudeeigentümer die Frage: Kann oder möchte ich mir eine Investition leisten und welche Auswirkungen hat dies auf die laufenden Kosten, aber auch den Wert der Immobilien und die Wohnqualität. Gerade Mieter befürchten, dass sie sich nach einer energetischen Sanierung die Miete nicht mehr leisten können. Zwar können durch energetische Sanierungen die Energiekosten deutlich reduziert werden, dieser Vorteil kann aber durch gleichzeitig überproportional steigende Mieten konterkariert werden. Die Frage, wie energetische Sanierung angereizt und wie eine gerechte Umlage der Kosten einer energetischen Sanierung gestaltet werden sollten, ist nicht Gegenstand dieses Berichtes. Dennoch werden im Folgenden einige wichtige Aspekte erörtert, die bei der Diskussion der Umsetzbarkeit und Sozialverträglichkeit entscheidend sind:

- **Investitionsbedarf:** der Investitionsbedarf für die unterschiedlichen Lösungen weist deutliche Unterschiede auf. Je nach Lösung machen die energiebedingten Investitionen zwischen <5 % (V0 GG: 34 €/m²; 8k € EFH) und bis zu 48 % der Gesamtkosten (V5 HWP, 262 €/m²; 63k € EFH bzw. V5 WP, 251 €/m²; 60k € EFH) aus. Berücksichtigt man auch die Kosten für Instandhaltung, summieren sich die Kosten im Fall des Einfamilienhauses auf bis zu 147k €.
- **Finanzierbarkeit/ Investitionsbereitschaft:** Die individuelle Situation der Eigentümer/ Mieter (Einkommen, Vermögen, Alter, Familienstand, Lebensplanung etc.) beeinflusst, ob der Investitionsbedarf die Finanzierbarkeit/ Investitionsbereitschaft übersteigt. Als Beispiel wird häufig das ältere Ehepaar angeführt, das keine großen Investitionen mehr tätigen kann/ möchte und dafür eher höhere Energiekosten in Kauf nehmen würde.
- **Umsetzbarkeit/Praktikabilität:** Zusätzlich spielt auch eine Rolle, inwieweit die Maßnahmen praktikabel bzw. umsetzbar sind. Die Umsetzung der Maßnahmen als Paket ist manchmal vorteilhaft, um keine zusätzlichen Kosten zu erzeugen (z. B. bringt die größere Auslegung einer Wärmepumpe ohne Energieeffizienzmaßnahmen deutliche Mehrkosten mit sich). Andererseits sind die hohen Investitionskosten des gesamten Sanierungspaketes teilweise mit Schwierigkeiten verbunden, sie zu finanzieren. Zudem ist für die Wirtschaftlichkeit entscheidend, welche Maßnahmen entsprechend dem Instandhaltungszyklus anstehen. Eine schrittweise Sanierung erlaubt die Koppelung der Maßnahmen an den Instandhaltungszyklus. Daher werden Sanierungsmaßnahmen häufig schrittweise umgesetzt.
- **Sozialverträglichkeit:** Bei der Sozialverträglichkeit ist letztendlich entscheidend, welche Belastung beim Eigentümer/Mieter entsteht (Stichworte: Umlegbarkeit der Kosten, Mieterhöhungen, Verfügbarkeit und Konditionen von Krediten). Die Bewertung hängt stark von der persönlichen Situation ab.

3.3.1 Beispielhafter Fall – EFH

Wie dargestellt, sind Sanierungspfade in der Realität von vielen individuellen Faktoren beeinflusst. Um einen Einblick in praktikable Sanierungspfade zu geben, werden anhand des EFH unterschiedliche Optionen exemplarisch betrachtet.

Ausgangssituation: Für das betrachtete Beispiel wird angenommen, dass ein älteres Ehepaar seit Jahrzehnten im eigenen Haus wohnt. Fenster und Dach wurden vor einigen Jahren

saniert, allerdings nicht unbedingt energieoptimiert. Jetzt wird bei dem teilsanierten Gebäude der Austausch des Heizungssystem notwendig.

Das ältere Ehepaar mit begrenztem Budget erwägt als Option 1 die Vollsanierung mit WP, entscheidet sich aber für einen BWK, da geringere Investitionen und kein Kredit notwendig sind. Es nimmt höhere Energiekosten in Kauf. In dem Beispiel nehmen wir an, dass der BWK mit Grüngas betrieben wird, um die CO₂ Neutralität zu gewährleisten.

Nach einigen Jahren wechseln die Eigentümer. Die neuen Eigentümer investieren in ein WP Modul (praktisch entspricht dies in Kombination mit dem BWK einer Hybridwärmepumpe) und sanieren nach 10 Jahren Dach und Fenster sowie nach 15 Jahren die Fassade, wenn die Instandhaltungsmaßnahmen notwendig werden.

Die entstehenden Gesamtkosten für beide Optionen sind in folgender Abbildung dargestellt.¹⁴ Die Darstellung der kumulierten Kosten über die Zeit erlaubt eine Indikation, welche und in welchem Ausmaß Kosten pro Jahr tatsächlich anfallen. Zudem ist über den Betrachtungszeitraum eine Gesamtkostenbetrachtung möglich.

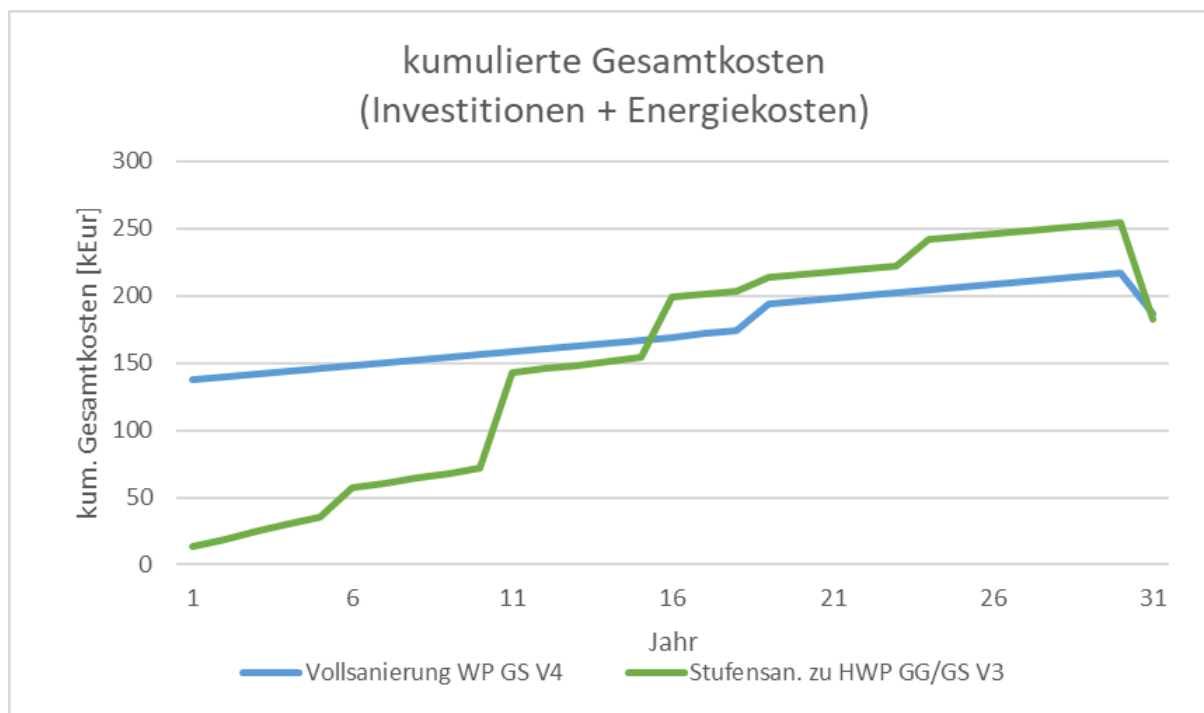


Abbildung 9: Kumulierte Gesamtkosten unterschiedlicherer Sanierungspfade des Falls EFH

Es zeigt sich, dass bei der schrittweisen Sanierung mit Hybridwärmepumpe zwar höhere Ausgaben von etwa 35k € über 30 Jahre entstehen, dafür werden die Investitionen schrittweise vorgenommen und es muss keine Anfangsinvestition von ca. 135k € gestemmt werden.

¹⁴ Hinweise zur Einordnung der Ergebnisdarstellung: Der Lineare Anstieg der Kosten über mehrere Jahre resultiert von den konstanten Energie- und Wartungskosten in diesem Zeitraum. Ein sprunghafter Kostenanstieg innerhalb eines Jahres deutet daraufhin, dass eine einmalige Investition getätigt wurde. Das betrifft entweder Austausch oder Erneuerung des Wärmeerzeugers oder eine Sanierungsmaßnahme an der Außenhülle des Gebäudes. Der Kostenabfall im letzten Betrachtungsjahr berücksichtigt die potenziellen Restwerte aller Systeme und Gebäudeelemente die noch vorhanden sind und somit dem Besitzer als „negative Kosten“ angerechnet werden.

Berücksichtigt man den Restwert (bei der Vollsanierung werden früher weitere Investitionen notwendig), ist der schrittweise Sanierungspfad sogar geringfügig (4k €) günstiger als die Vollsanierung, weil sie die Maßnahmen an die notwendige Instandhaltung koppeln.

In der folgenden Abbildung sind zusätzlich weitere Sanierungspfade dargestellt. Ergänzt sind Sanierungspfade mit Austausch des Wärmeerzeugers durch Wärmepumpe oder Brennwertkessel und schrittweiser Sanierung der Gebäudehülle. Zusätzlich sind Varianten mit Brennwertkessel (Grüngas/ Erdgas mit unterschiedlichen CO₂ Preisen, nicht klimazielkompatibel) dargestellt, bei denen keine weiteren energetischen Maßnahmen an der Gebäudehülle vorgenommen werden.

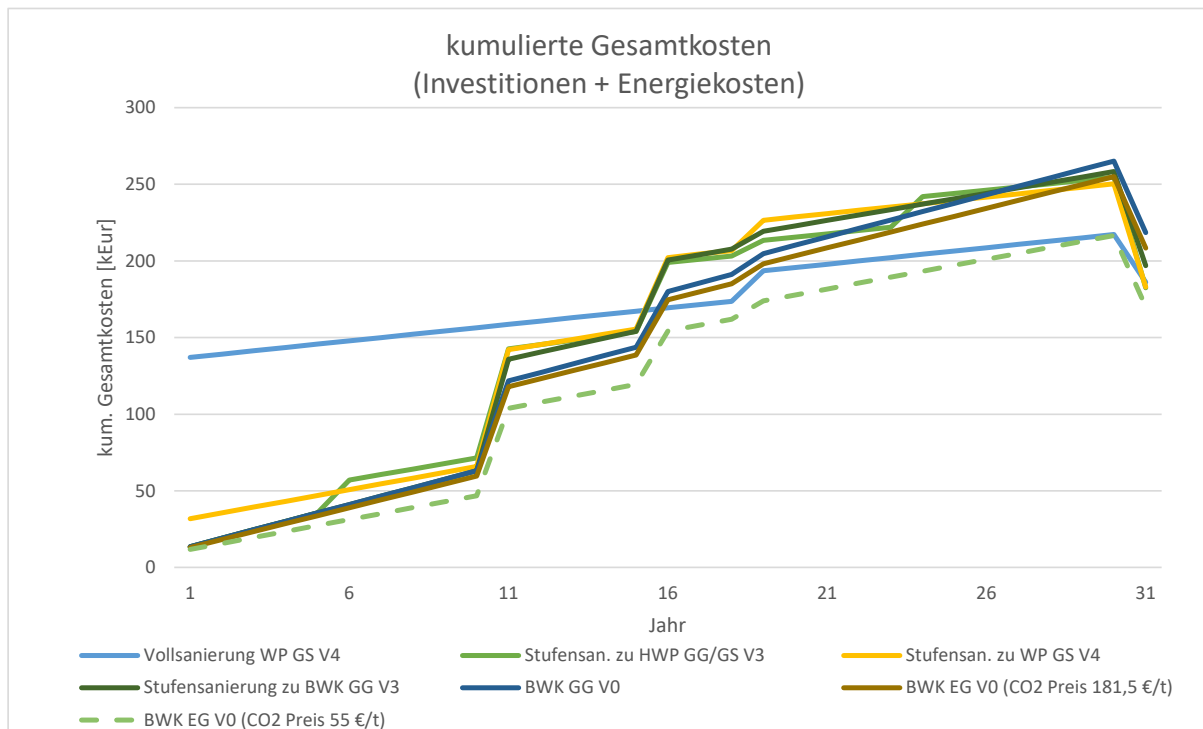


Abbildung 10: Kumulierte Gesamtkosten weiterer Sanierungspfade des Falls EFH

Wiederum hat der Fall „Vollsanierung WP GS V4“ die höchsten Kosten im Startjahr, da die gesamte Außenhülle auf den Sanierungsstandard Variante 4 gebracht wird. Dies führt dazu, dass der anschließende lineare Anstieg – bedingt durch die niedrigen Energieverbrauch und das effiziente Heizsystem – am flachsten ausfällt. Damit ist dieser Fall ab ca. der Hälfte der Betrachtungszeit unter den günstigsten Szenarien. Lediglich der Referenzfall – BKW EG V0 – mit einem CO₂-Preis von 55 €/t ist über den zeitlichen Verlauf günstiger.

Durch die Berücksichtigung der Restwerte sind die beiden Fälle „Stufensanierung zu HWP GG/GS V3“ und „Stufensanierung zu WP GS V4“ noch um knapp 2 % oder ca. 3.000 EUR günstiger. Dies wird in der Abbildung 11 deutlicher gezeigt, da hier nur die kumulierten Kosten im letzten Jahr der Betrachtung, nach Abzug der Restwerte aufgezeigt sind.

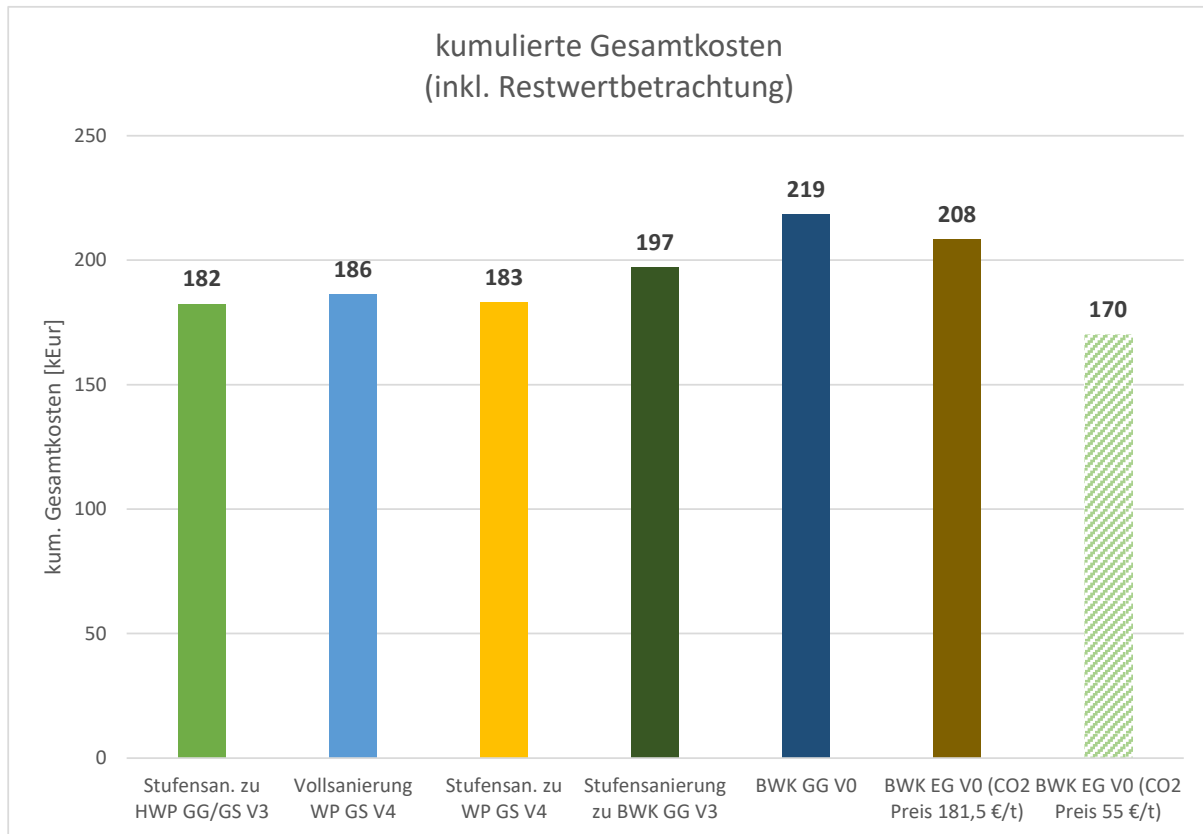


Abbildung 11: Kumulierte Gesamtkosten über 30 Jahre der unterschiedlichen Sanierungspfade des Falls EFH

Die Differenz in den resultierenden Gesamtkosten zwischen dem Fall „Stufensanierung zu HWP GG/GS V3“ und dem teuersten Fall „BKW GG V0“ liegt bei 36.000 € über die 30 Jahre. Relativ gesehen ist der teuerste Sanierungspfad somit ca. 20 % teurer als die Gesamtkosten im günstigsten Fall. Der Unterschied in den angefallenen Einzelposten in bestimmten Jahren unterscheidet sich hingegen kaum zwischen dem Fall „BKW GG V0“ und „Stufensanierung HWP GG/GS V3“.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Viessmann hat Guidehouse beauftragt, in einer Kurzstudie ergebnisoffen die Kostensituation von Grüngaslösungen im Gebäudebereich und weiteren klimazielkompatiblen Lösungen aus Verbrauchersicht zu bewerten und die Umsetzbarkeit bzw. Sozialverträglichkeit der Lösungen zu untersuchen.

Als kostenoptimale Optionen über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren und unter Annahme der gemachten Preisentwicklungen für Grüngas und Grünstrom haben sich für die betrachteten Referenzgebäude (teilsaniertes Einfamilien- und Mehrfamilienhaus) die Vollsanierungen mit Wärmepumpe oder Hybridwärmepumpe herausgestellt. Allerdings sind beide Varianten mit hohen Anfangsinvestitionen verbunden (ca. 135k € für das EFH).

Aus der Diskussion der Sozialverträglichkeit wurde ersichtlich, dass die Investitionsbereitschaft/-fähigkeit sehr von der individuellen Situation abhängt und es Konstellationen gibt, in denen der Gebäudeeigentümer nicht in der Lage oder nicht bereit ist, eine solche Summe in einem Schritt zu investieren.

Außerdem hat sich gezeigt, dass es für die Wirtschaftlichkeit einer Vollsanierung entscheidend ist, ob alle Maßnahmen entsprechend dem Instandhaltungszyklus anstehen. Häufig sind schrittweise Sanierungen realistischer als eine Vollsanierung. Dies führt zwar aufgrund der anfänglich höheren Energiekosten zu höheren Gesamtausgaben, erlaubt aber die schrittweise Sanierung des Gebäudes mit mehreren "verdaubareren" (je nach Situation) Investitionsaufwendungen.

Die schrittweise Sanierung erlaubt die Kopplung der Maßnahmen an den Instandhaltungszyklus. Berücksichtigt man den Restwert der Maßnahmen nach 30 Jahren, ist in dem Beispiel der Sanierung des Einfamilienhauses die schrittweise Sanierung in Kombination mit einer Wärmepumpe sogar geringfügig günstiger (4k €) als die Vollsanierung mit Wärmepumpe "sofort". Allerdings müsste man bei der schrittweisen Sanierung in dem untersuchten Beispiel zunächst eine groß dimensionierte Wärmepumpe einbauen, die überdimensioniert wäre, wenn zu einem späteren Zeitpunkt weitere Energieeffizienzmaßnahmen an der Gebäudehülle umgesetzt werden. Außerdem wären die Auslegungstemperaturen am Anfang ungünstig hoch, was zu einer nicht optimalen Betriebsführung der Wärmepumpe führt und häufig von Wärmepumpenherstellern als nicht empfehlenswert eingestuft wird.

Im Vergleich zur schrittweisen Sanierung mit Wärmepumpen wurde für das EFH auch eine Variante untersucht, bei dem statt der Wärmepumpe zunächst ein Grüngaskessel eingesetzt wird, der zu einem späteren Zeitpunkt zur Hybridwärmepumpe erweitert wird, ergänzt mit der schrittweisen Sanierung der Gebäudehülle. Beide Varianten haben sich wirtschaftlich als ebenbürtig dargestellt. In unserem Beispiel liegen die Gesamtausgaben über den Betrachtungszeitraum in beiden Fällen ca. 35k € oder ca. 83 €/ Monat höher als bei der Vollsanierung "sofort". Wie für die Wärmepumpe beschrieben, sind beide Varianten mit Restwertbetrachtung geringfügig (4k €) günstiger.



Zusätzlich wurde auch ein schrittweiser Sanierungspfad mit Grüngas-Brennwertkessel betrachtet. Insgesamt liegen die Abweichungen bei den Gesamtkosten der Optionen i) WP (Gesamtausgaben 250k €), ii) BWK GG / Hybridisierung (255k €) und iii) BWK GG (258k €) bei ca. 3 %.

Diese Betrachtungen zeigen, dass es durchaus Situationen gibt, in denen Grüngaslösungen aus Sicht des Verbrauchers interessante Optionen zur Erreichung von klimaneutralen Gebäuden darstellen. Zusätzlich gibt es weitere Konstellationen, bei denen aus Sicht eines Haushalts Grüngas sinnvolle und sozialverträgliche Optionen darstellt, um CO₂ neutrale Wärme in der Praxis zu erreichen (etwa dort, wo die Installation einer WP mit praktischen Hürden verbunden ist – z. B. bei Gasetagenheizung im MFH, Denkmalschutz oder bei Problemen mit Platzbedarf oder Geräuschentwicklung).

Anhang A. Annahmen

A.1 Gebäude

A.1.1 Referenzgebäude

Modell-gebäude	Außenbauteile	Fläche [m ²]	A/V [m ²]	Beheizte Wohnfläche [m ²]	Fensterflächenanteil [%]
EFH 1958 – 1968 (freistehend) 	Außenwand	224	0,58	239	21
	Dach / OG-Decke	181			
	Unt. Abschluss	145			
	Fenster	46			
MFH 1958 – 1968 (angebaut) 	Außenwand	2.548	0,43	2.696	20
	Dach / OG-Decke	971			
	Unt. Abschluss	971			
	Fenster	507			

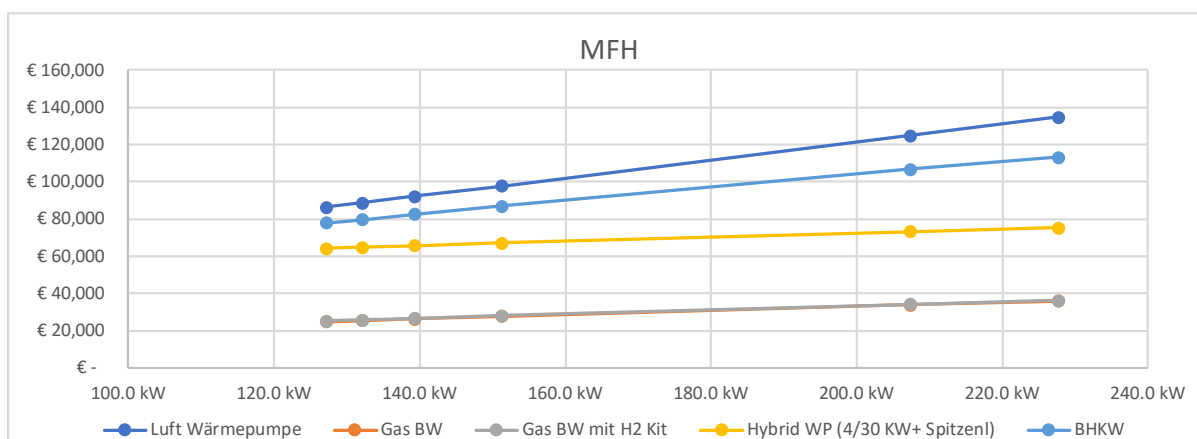
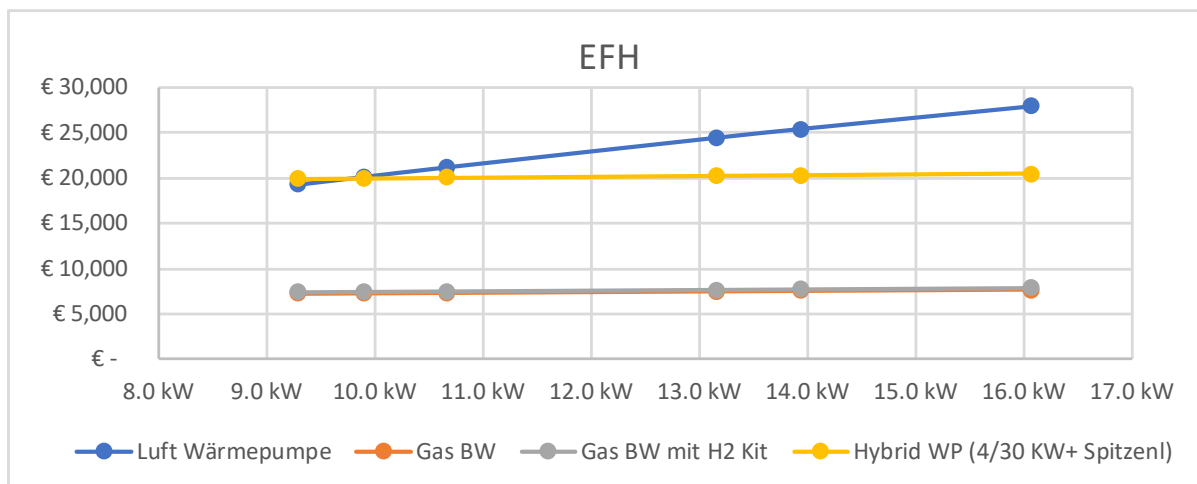
Bauteil	Mittlerer U-Wert [W/(m ² K)]	
	EFH	MFH
Wand	0,66	1,26
Dach / ob. Geschossdecke	0,62	1,26
Unterer Abschluss	0,52	0,52
Fenster	1,3	1,3

A.1.2 Dämmvarianten MFH

Variante	H'_T	Maßnahmen (U in [W/(m ² K)])
V0	0.93	-
V1	0.79	<ul style="list-style-type: none"> • Dach: 16 cm (U=0.19) • Fenster: U=1.1
V2	0.41	<ul style="list-style-type: none"> • Dach: 16 cm (U=0.19) • Wand: 6 cm (U=0.42) • Fenster: U=1.1
V3	0.33	<ul style="list-style-type: none"> • Dach: 16 cm (U=0.19) • Wand: 12 cm (U=0.24) • Fenster: U=1.1
V4	0.28	<ul style="list-style-type: none"> • Dach: 20 cm (U=0.16) • Wand: 14 cm (U=0.21) • Fenster: U=0.83
V5	0.24	<ul style="list-style-type: none"> • Dach: 32 cm (U=0.10) • Wand: 20 cm (U=0.16) • Fenster: U=0.8

A.2 Kostenannahmen

A.2.1 Wärmeerzeuger



A.2.2 Sanierungsmaßnahmen

Kosten Gebäudehülle (Bezugsjahr 2021)		Grundkosten [EUR/m ²]	Kosten pro cm [EUR/m ²]
Außenwand	Energiebedingte Mehrkosten ¹	20,3	3,3
Steildach	Energiebedingte Mehrkosten ²	29,4	3,0
Fenster	Differenz 0,8 – 1,3	106,6	-
	Differenz 1,0 – 1,3	57,9	-
Oberste Geschossdecke	Energiebedingte Mehrkosten	34,5	2,6

¹Instandhaltungskosten: 116 EUR/m² + 3,3 EUR/m² pro cm Dämmung; ²Instandhaltungskosten: 228 EUR/m² + 3,6 EUR/m² pro cm Dämmung

A.2.3 Wartungs- und Instandhaltungskosten

Instandhaltung und Wartungskosten*		EFH (klein)	MFH (klein)
Gas-BW	Kosten [€/a]	127,0	180,8
Wärmepumpe	Kosten [€/a]	121,9	182,9

A.2.4 Lebensdauern

Lebensdauer Komponenten		Lebensdauer [a]
Bauliche Komponenten	Außenwand WDVS	40
	Fenster Außenwand	30
	Schrägdach	40
Anlagentechnische Komponenten	Gas-BW	18
	Luft-Wasser WP	18
	Hybrid-WP	18
	Fernwärmeübergabe	18

A.2.5 Energieträger

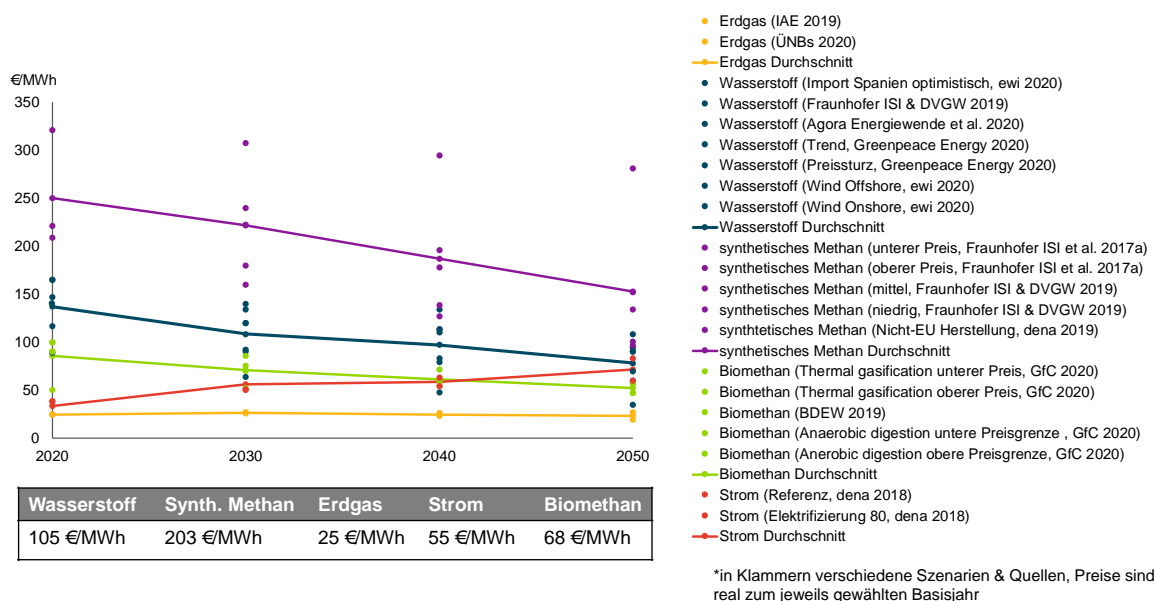


Abbildung 12: Preisentwicklung Energieträger (Gas) und resultierende durchschnittliche Preise

Anhang B. Ergebnisse

B.1 Einfamilienhaus

B.1.1 Spezifische Gesamtkosten in EUR/m²

Variante	Außenwand (IK)	Dach (IK)	Fenster (IK)	Außenwand (EB)	Dach (EB)	Fenster (EB)	Wärmeerzeuger	Ersatz & Restwert	Wartung und sonst. Kosten	Energie	Spez. Gesamtkosten	
WP - GS V0	129		173	50	0	0	0	117	102	18	475	1.063
WP - GS V1	129		173	50	0	40	0	101	77	18	403	991
WP - GS V2	129		173	50	0	54	9	96	69	18	380	978
WP - GS V3	129		173	50	50	54	9	79	42	18	282	887
WP - GS V4	129		173	50	56	63	19	74	34	18	270	886
WP - GS V5	129		173	50	75	86	21	69	19	18	249	888
HWP - GG/GS V0	129		173	50	0	0	0	100	87	22	450	1.011
HWP - GG/GS V1	129		173	50	0	40	0	91	69	22	396	971
HWP - GG/GS V2	129		173	50	0	54	9	91	65	22	357	950
HWP - GG/GS V3	129		173	50	50	54	9	83	46	22	266	882
HWP - GG/GS V4	129		173	50	56	63	19	83	42	22	249	886
HWP - GG/GS V5	129		173	50	75	86	21	80	28	22	238	901
BWK - GG V0	129		173	50	0	0	0	34	30	19	689	1.123
BWK - GG V1	129		173	50	0	40	0	34	19	19	627	1.091
BWK - GG V2	129		173	50	0	54	9	34	16	19	571	1.055
BWK - GG V3	129		173	50	50	54	9	34	3	19	444	965
BWK - GG V4	129		173	50	56	63	19	34	-1	19	425	967
BWK - GG V5	129		173	50	75	86	21	34	-11	19	405	980
BWK - EG V0	129		173	50	0	0	0	33	29	19	648	1.081
BWK - EG V1	129		173	50	0	40	0	33	19	19	590	1.053
BWK - EG V2	129		173	50	0	54	9	33	15	19	537	1.019
BWK - EG V3	129		173	50	50	54	9	33	3	19	418	938
BWK - EG V4	129		173	50	56	63	19	33	-2	19	400	941
BWK - EG V5	129		173	50	75	86	21	33	-12	19	381	955

B.1.2 Absolute Gesamtkosten in EUR

Variante	Außenwand (IK)	Dach (IK)	Fenster (IK)	Außenwand (EB)	Dach (EB)	Fenster (EB)	Wärmeerzeuger	Ersatz & Restwert	Wartung und sonst. Kosten	Energie	Gesamtkosten	
WP - GS V0	30,921		41,268	11,912	0	0	0	28,074	24,285	4,352	113,550	254,362
WP - GS V1	30,921		41,268	11,912	0	9,665	0	24,142	18,467	4,352	96,375	237,103
WP - GS V2	30,921		41,268	11,912	0	12,923	2,202	22,857	16,470	4,352	90,937	233,843
WP - GS V3	30,921		41,268	11,912	11,939	12,923	2,202	19,003	10,151	4,352	67,564	212,235
WP - GS V4	30,921		41,268	11,912	13,418	15,095	4,607	17,718	8,049	4,352	64,605	211,945
WP - GS V5	30,921		41,268	11,912	17,853	20,525	5,088	16,433	4,456	4,352	59,645	212,454
HWP - GG/GS V0	30,921		41,268	11,912	0	0	0	24,020	20,778	5,259	107,756	241,914
HWP - GG/GS V1	30,921		41,268	11,912	0	9,665	0	21,886	16,516	5,259	94,721	232,148
HWP - GG/GS V2	30,921		41,268	11,912	0	12,923	2,202	21,886	15,630	5,259	85,305	227,306
HWP - GG/GS V3	30,921		41,268	11,912	11,939	12,923	2,202	19,944	10,965	5,259	63,617	210,950
HWP - GG/GS V4	30,921		41,268	11,912	13,418	15,095	4,607	19,944	9,975	5,259	59,572	211,972
HWP - GG/GS V5	30,921		41,268	11,912	17,853	20,525	5,088	19,119	6,780	5,259	56,899	215,624
BWK - GG V0	30,921		41,268	11,912	0	0	0	8,159	7,058	4,534	164,765	268,617
BWK - GG V1	30,921		41,268	11,912	0	9,665	0	8,159	4,641	4,534	149,958	261,059
BWK - GG V2	30,921		41,268	11,912	0	12,923	2,202	8,159	3,756	4,534	136,606	252,281
BWK - GG V3	30,921		41,268	11,912	11,939	12,923	2,202	8,159	771	4,534	106,253	230,883
BWK - GG V4	30,921		41,268	11,912	13,418	15,095	4,607	8,159	-219	4,534	101,705	231,400
BWK - GG V5	30,921		41,268	11,912	17,853	20,525	5,088	8,159	-2,701	4,534	96,947	234,507
BWK - EG V0	30,921		41,268	11,912	0	0	0	7,959	6,885	4,534	155,009	258,488
BWK - EG V1	30,921		41,268	11,912	0	9,665	0	7,959	4,468	4,534	141,085	251,813
BWK - EG V2	30,921		41,268	11,912	0	12,923	2,202	7,959	3,583	4,534	128,534	243,836
BWK - EG V3	30,921		41,268	11,912	11,939	12,923	2,202	7,959	598	4,534	99,994	224,250
BWK - EG V4	30,921		41,268	11,912	13,418	15,095	4,607	7,959	-392	4,534	95,732	225,055
BWK - EG V5	30,921		41,268	11,912	17,853	20,525	5,088	7,959	-2,874	4,534	91,228	228,415

B.2 Mehrfamilienhaus

B.2.1 Spezifische Gesamtkosten in EUR/m²

Variante	Außenwand (IK)	Dach (IK)	Fenster (IK)	Außenwand (EB)	Dach (EB)	Fenster (EB)	Wärmeerzeuger	Ersatz & Restwert	Wartung und sonst. Kosten	Energie	Spez. Gesamtkosten
WP-GS V0	130	82	49	0	0	0	46	39	5	456	807
WP-GS V1	130	82	49	0	27	9	42	29	5	375	749
WP-GS V2	130	82	49	38	27	9	32	11	5	252	635
WP-GS V3	130	82	49	57	27	9	30	4	5	217	611
WP-GS V4	130	82	49	63	31	20	28	0	5	207	616
WP-GS V5	130	82	49	82	42	20	28	-8	5	195	625
HWP-GG/GS V0	130	82	49	0	0	0	34	29	5	442	772
HWP-GG/GS V1	130	82	49	0	27	9	31	20	5	365	719
HWP-GG/GS V2	130	82	49	38	27	9	25	5	5	254	625
HWP-GG/GS V3	130	82	49	57	27	9	24	-1	5	227	609
HWP-GG/GS V4	130	82	49	63	31	20	23	-4	5	218	617
HWP-GG/GS V5	130	82	49	82	42	20	22	-13	5	208	628
BWK-GG V0	130	82	49	0	0	0	12	11	5	694	993
BWK-GG V1	130	82	49	0	27	9	12	3	5	590	897
BWK-GG V2	130	82	49	38	27	9	9	-9	5	391	732
BWK-GG V3	130	82	49	57	27	9	9	-14	5	349	703
BWK-GG V4	130	82	49	63	31	20	9	-17	5	335	706
BWK-GG V5	130	82	49	82	42	20	8	-24	5	316	710
BWK-EG V0	130	82	49	0	0	0	12	11	5	652	941
BWK-EG V1	130	82	49	0	27	9	11	3	5	545	862
BWK-EG V2	130	82	49	38	27	9	9	-9	5	368	708
BWK-EG V3	130	82	49	57	27	9	9	-14	5	328	682
BWK-EG V4	130	82	49	63	31	20	8	-17	5	315	686
BWK-EG V5	130	82	49	82	42	20	8	-25	5	297	690
BHKW-GG V0	130	82	49	0	0	0	36	31	29	661	1.019
BHKW-GG V1	130	82	49	0	27	9	35	23	29	548	933
BHKW-GG V2	130	82	49	38	27	9	33	12	29	360	769
BHKW-GG V3	130	82	49	57	27	9	32	7	29	318	740
BHKW-GG V4	130	82	49	63	31	20	32	4	29	304	743
BHKW-GG V5	130	82	49	82	42	20	32	-4	29	286	747

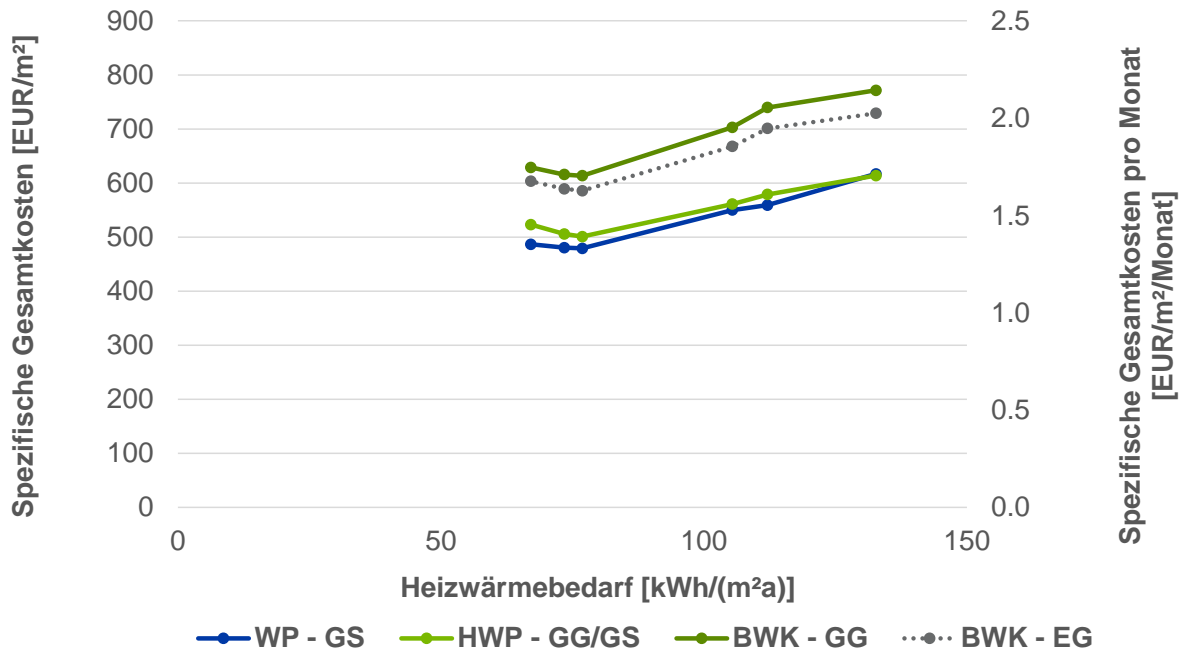
B.2.2 Absolute Gesamtkosten in EUR

Variante	Außenwand (IK)	Dach (IK)	Fenster (IK)	Außenwand (EB)	Dach (EB)	Fenster (EB)	Wärmeerzeuger	Ersatz & Restwert	Wartung und sonst. Kosten	Energie	Gesamtkosten
WP-GS V0	351.726	221.388	131.296	0	0	0	122.697	106.136	13.059	1.230.709	2.177.011
WP-GS V1	351.726	221.388	131.296	0	73.893	24.265	112.929	78.431	13.059	1.011.592	2.018.580
WP-GS V2	351.726	221.388	131.296	102.175	73.893	24.265	85.921	29.524	13.059	679.209	1.712.456
WP-GS V3	351.726	221.388	131.296	152.625	73.893	24.265	80.126	11.898	13.059	585.638	1.645.915
WP-GS V4	351.726	221.388	131.296	169.442	83.992	52.901	76.715	1.296	13.059	558.556	1.660.371
WP-GS V5	351.726	221.388	131.296	219.892	114.287	52.901	74.319	-20.963	13.059	526.550	1.684.455
HWP-GG/GS V0	351.726	221.388	131.296	0	0	0	91.708	79.330	14.330	1.190.854	2.080.632
HWP-GG/GS V1	351.726	221.388	131.296	0	73.893	24.265	84.808	54.105	14.330	983.438	1.939.249
HWP-GG/GS V2	351.726	221.388	131.296	102.175	73.893	24.265	68.072	14.084	14.330	684.571	1.685.801
HWP-GG/GS V3	351.726	221.388	131.296	152.625	73.893	24.265	63.930	-2.111	14.330	611.361	1.642.704
HWP-GG/GS V4	351.726	221.388	131.296	169.442	83.992	52.901	61.686	-11.705	14.330	588.790	1.663.846
HWP-GG/GS V5	351.726	221.388	131.296	219.892	114.287	52.901	59.510	-33.774	14.330	561.588	1.693.143
BWK-GG V0	351.726	221.388	131.296	0	0	0	33.605	29.069	12.152	1.870.059	2.649.295
BWK-GG V1	351.726	221.388	131.296	0	73.893	24.265	31.367	7.877	12.152	1.564.174	2.418.140
BWK-GG V2	351.726	221.388	131.296	102.175	73.893	24.265	25.181	-23.018	12.152	1.054.642	1.973.701
BWK-GG V3	351.726	221.388	131.296	152.625	73.893	24.265	23.853	-36.779	12.152	940.736	1.895.157
BWK-GG V4	351.726	221.388	131.296	169.442	83.992	52.901	23.072	-45.107	12.152	902.057	1.902.919
BWK-GG V5	351.726	221.388	131.296	219.892	114.287	52.901	22.523	-65.768	12.152	852.948	1.913.346
BWK-EG V0	351.726	221.388	131.296	0	0	0	33.205	28.723	12.152	1.757.603	2.536.093
BWK-EG V1	351.726	221.388	131.296	0	73.893	24.265	30.967	7.531	12.152	1.470.224	2.323.443
BWK-EG V2	351.726	221.388	131.296	102.175	73.893	24.265	24.781	-23.364	12.152	991.426	1.909.739
BWK-EG V3	351.726	221.388	131.296	152.625	73.893	24.265	23.453	-37.125	12.152	884.444	1.838.119
BWK-EG V4	351.726	221.388	131.296	169.442	83.992	52.901	22.672	-45.453	12.152	848.094	1.848.210
BWK-EG V5	351.726	221.388	131.296	219.892	114.287	52.901	22.123	-66.114	12.152	801.897	1.861.548
BHKW-GG V0	351.726	221.388	131.296	0	0	0	96.801	83.735	78.152	1.782.894	2.745.993
BHKW-GG V1	351.726	221.388	131.296	0	73.893	24.265	94.564	62.544	78.152	1.477.750	2.515.579
BHKW-GG V2	351.726	221.388	131.296	102.175	73.893	24.265	88.377	31.649	78.152	970.655	2.073.577
BHKW-GG V3	351.726	221.388	131.296	152.625	73.893	24.265	87.050	17.888	78.152	856.962	1.995.245
BHKW-GG V4	351.726	221.388	131.296	169.442	83.992	52.901	86.269	9.560	78.152	818.600	2.003.325
BHKW-GG V5	351.726	221.388	131.296	219.892	114.287	52.901	85.720	-11.102	78.152	770.233	2.014.493

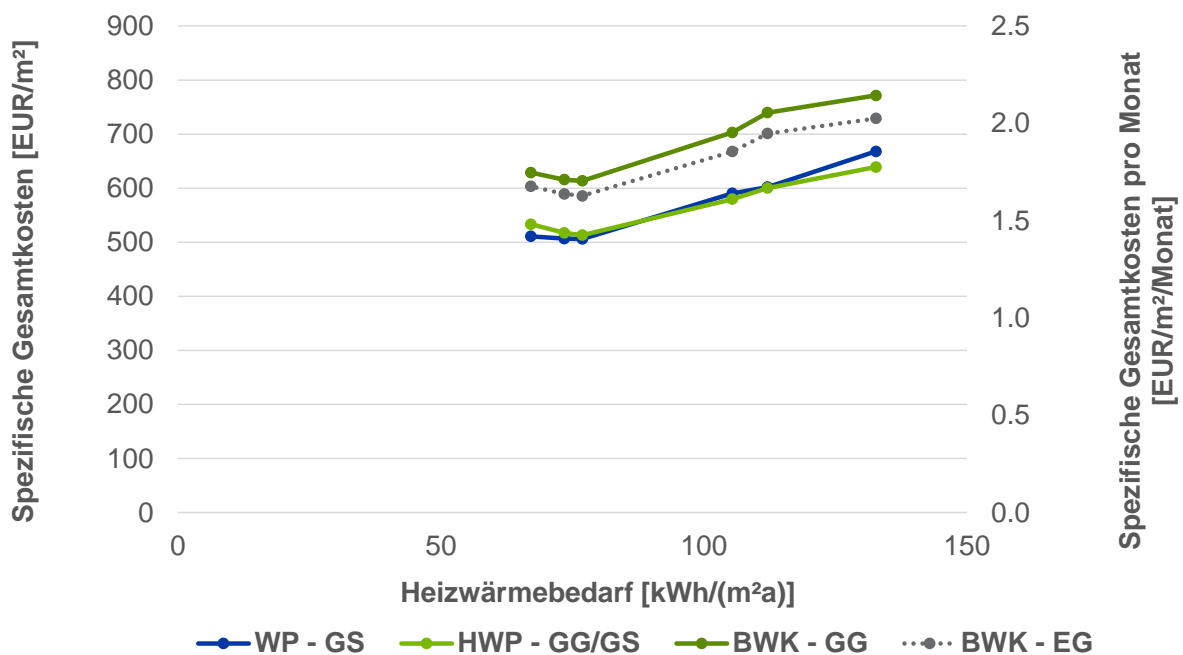
Anhang C. Sensitivität

C.1 Einfamilienhaus

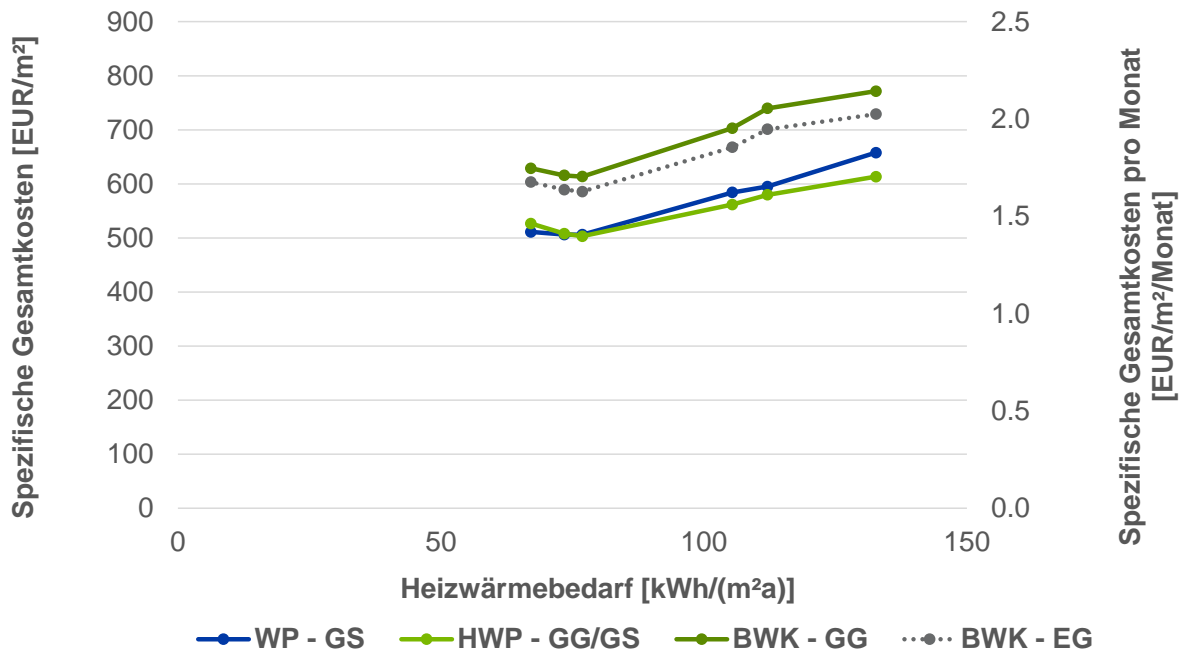
C.1.1 JAZ der WP um ca. 25% verbessert



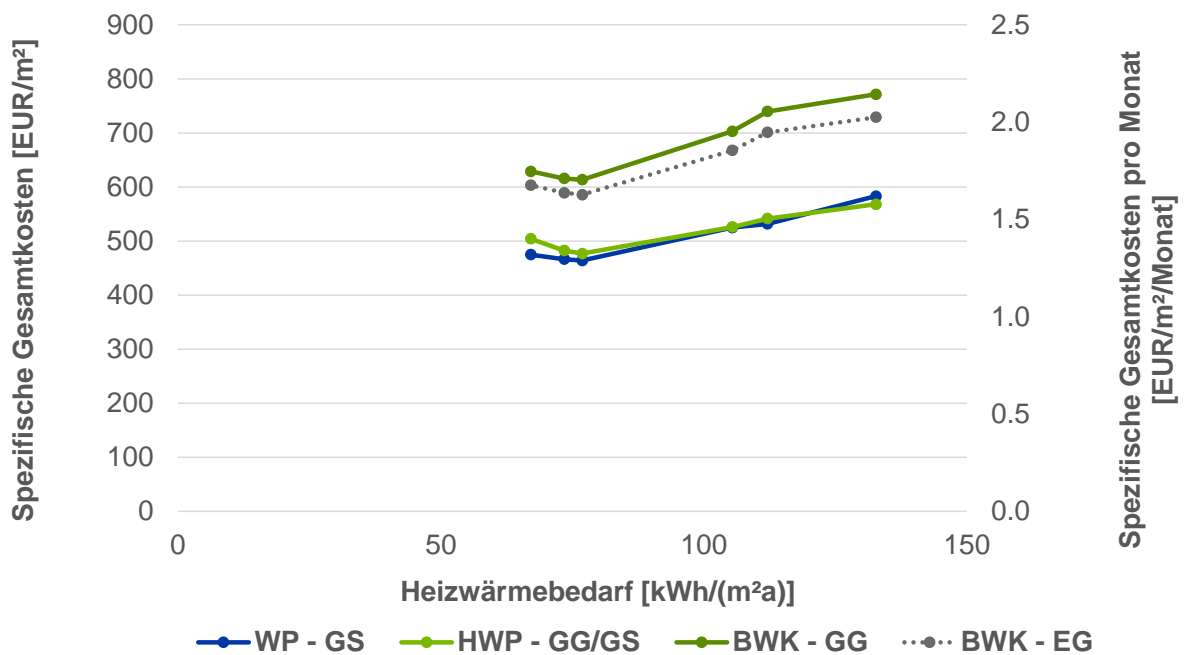
C.1.2 Investitionskosten der WP um 20% günstiger (Hybrid-WP 11% günstiger)



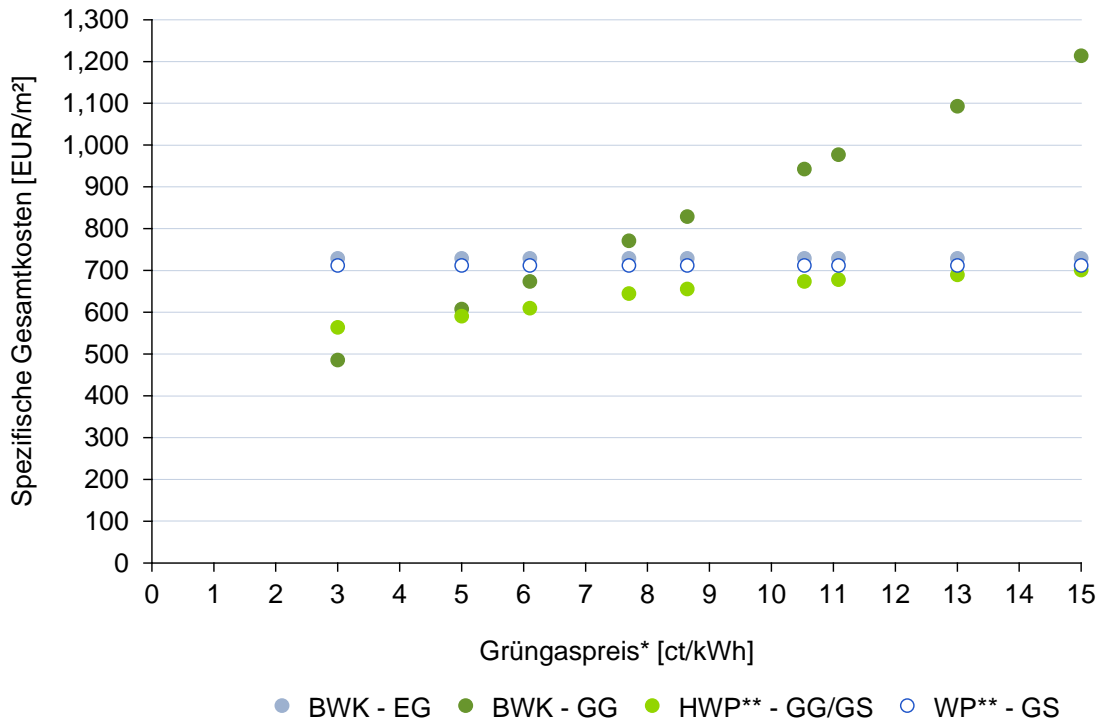
C.1.3 Grundlast zu Spitzenlastverhältnis 85/15



C.1.4 Grundlast zu Spitzenlastverhältnis 100/0 (nur Grundlaststrompreis)



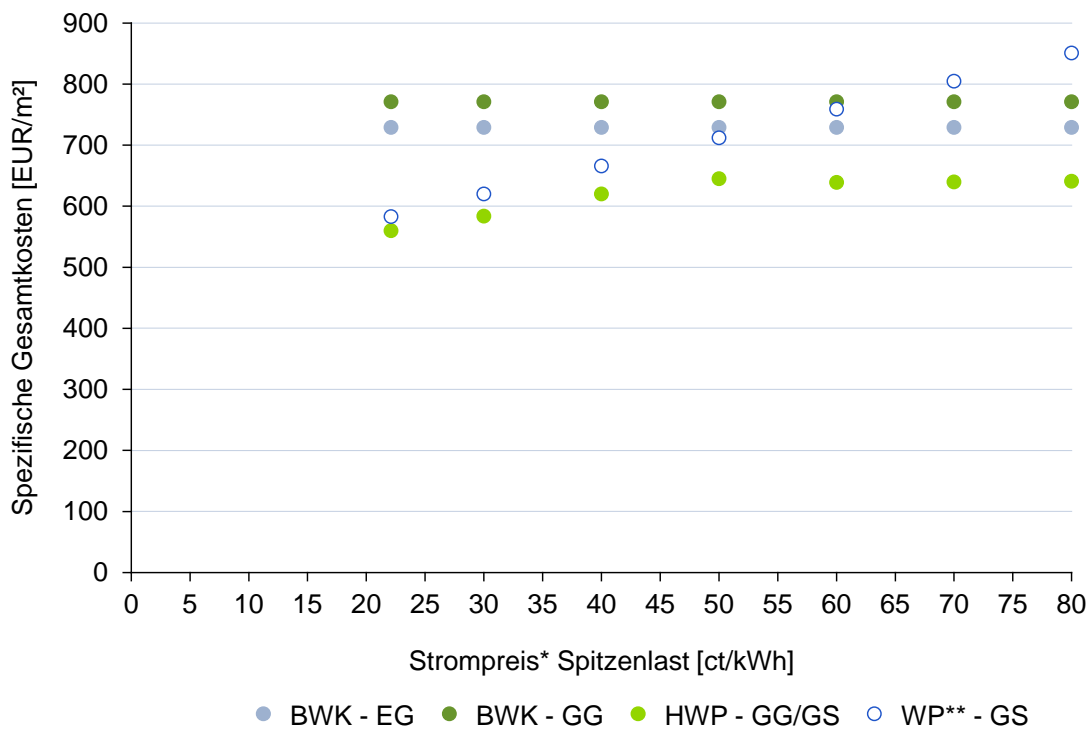
C.1.5 Variation des Grüngaspreis für V0



**Note: Vorlauftemperaturen von 60°C oder höher (V0), nicht optimal geeignet für Wärmepumpenanwendungen

*ohne Aufschläge für Verteilnetz und Endkunden

C.1.6 Variation des Spitzenlaststrompreises für V0

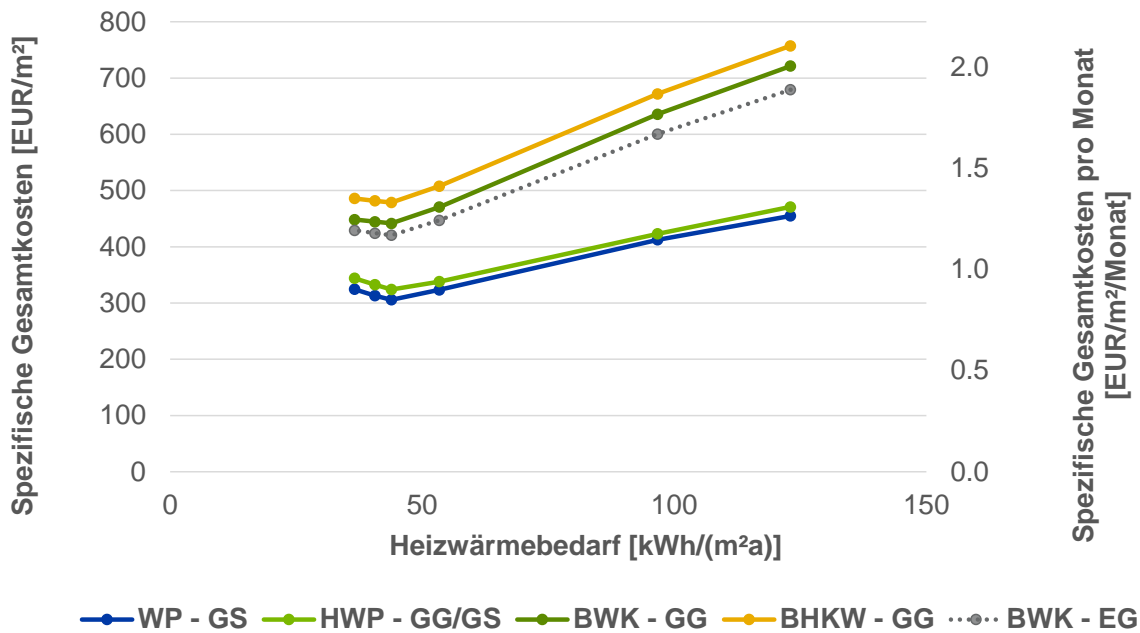


**Note: Vorlauftemperaturen von 60°C oder höher (V0), nicht optimal geeignet für Wärmepumpenanwendungen

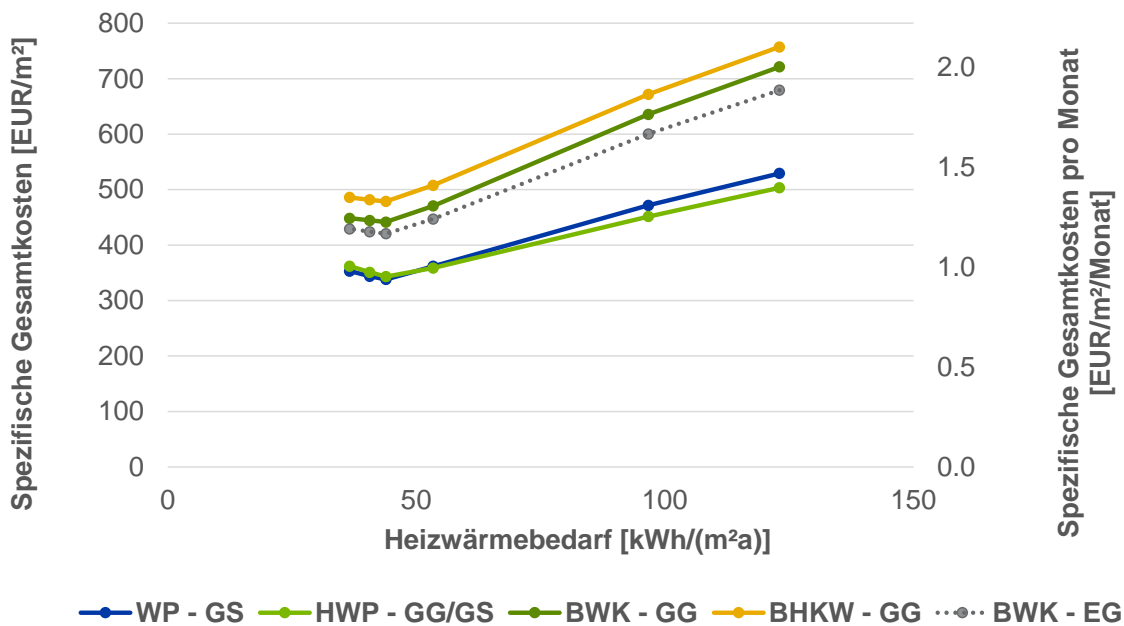
*ohne Aufschläge für Verteilnetz und Endkunden

C.2 Mehrfamilienhaus

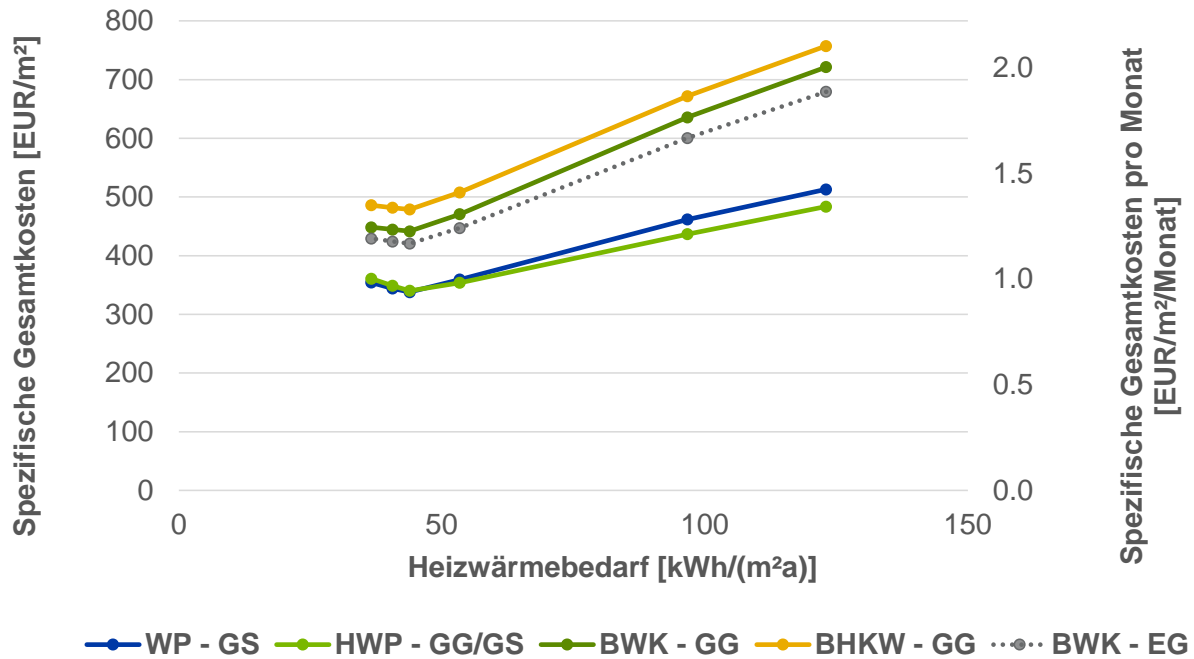
C.2.1 JAZ der WP um ca. 25% verbessert



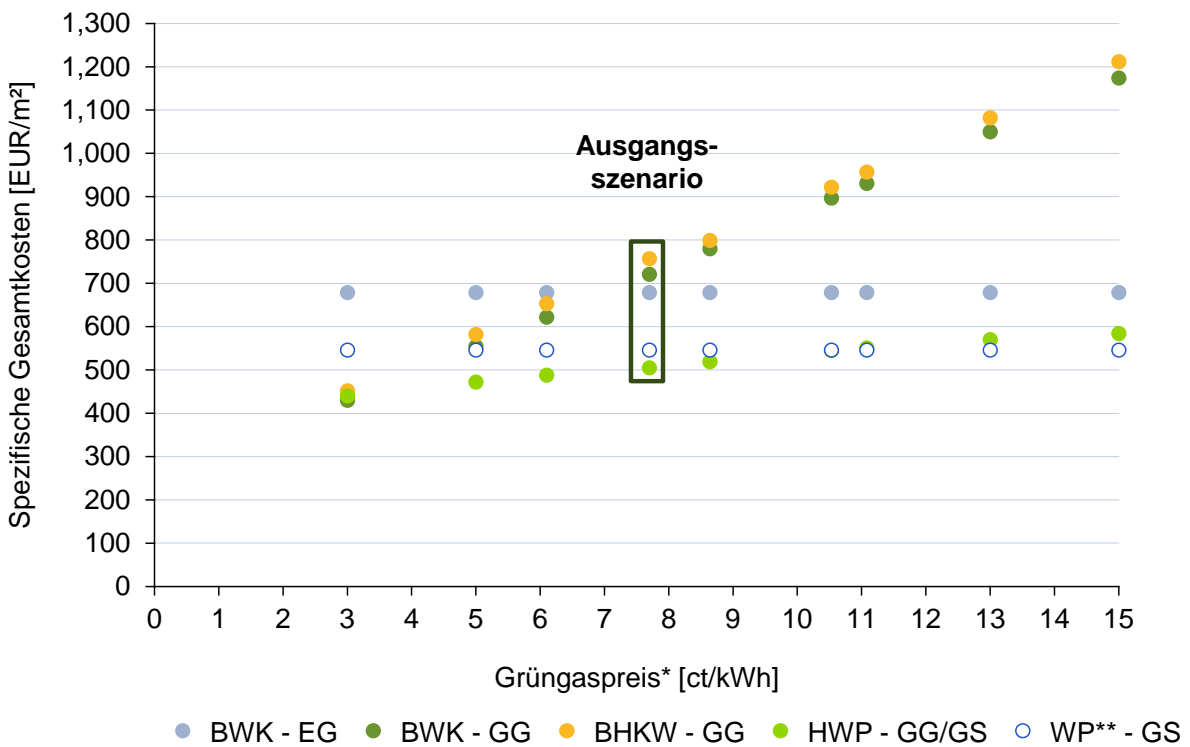
C.2.2 WP 20% günstigere Investitionskosten



C.2.3 Verhältnis Grund-/Spitzenlast 80/20



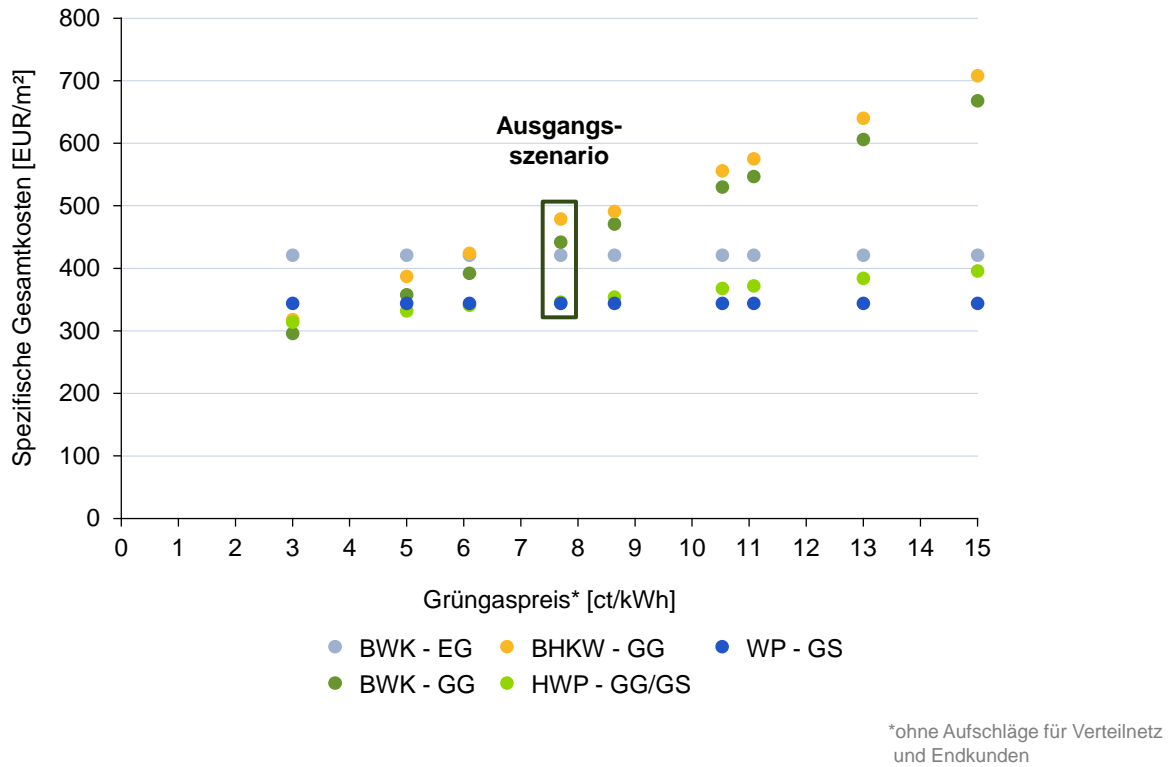
C.2.4 Variation des Grüngaspreis für V0



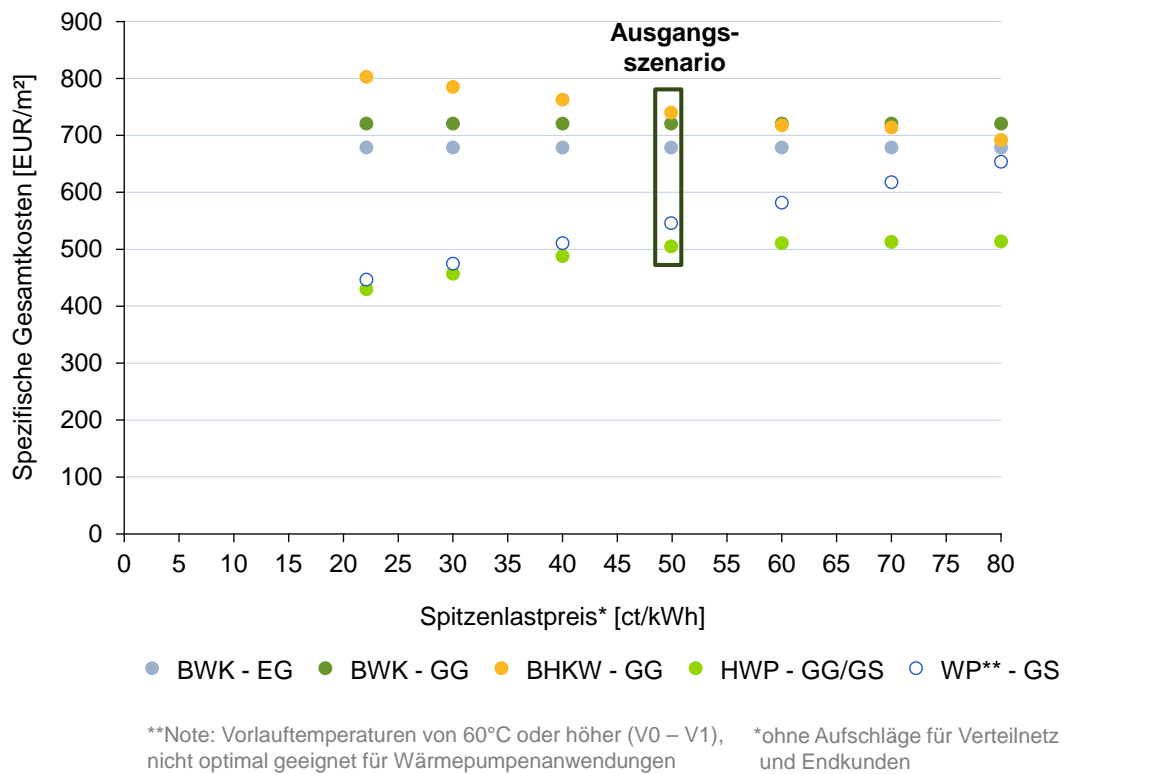
**Note: Vorlauftemperaturen von 60°C oder höher (V0), nicht optimal geeignet für Wärmepumpenanwendungen

*ohne Aufschläge für Verteilnetz und Endkunden

C.2.5 Variation des Grüngaspreis für V3



C.2.6 Variation des Spitzenlaststrompreis für V0



C.2.7 Variation des Spitzenlaststrompreis für V3

