



Low Carbon
District Heat

LOW CARBON DISTRICT HEAT

Großwärmepumpen in der Fernwärmeversorgung

Wirtschaftlichkeitsanalyse: Eine Kostenvergleichsrechnung für nachhaltige Fernwärmenetze mit Großwärmepumpen im Zentrum.

ZEITRAUM	01.06.2023 – 01.11.2024
FÖRDERKENNZEICHEN	03EN4041C – DME-Consult (KMU, Rosenheim)
ERSTELLT DURCH	Julian Henkel (Projektleitung DME, DME Consult)



ILK
DRESDEN



Investitionen in nachhaltige Projekte sind
Investitionen in eine lebenswerte Zukunft für
kommende Generationen.

- Sigmar Gabriel

INHALT

01	Einleitung	4
01.01	Motivation	4
01.02	Aufbau der Arbeit	4
01.03	Hinweise zur Interpretation der Ergebnisse	6
02	Wärmegestehungskosten	7
02.01	Kosten aus Sicht der Wärmepumpe	8
02.01.01	Wärmegestehungskosten ohne Opportunitätskosten	8
02.01.02	Wärmegestehungskosten bei Opportunitätskosten gemäß Volleinspeisung	9
02.01.03	Auswirkungen der Investitionskostenförderung	10
02.01.04	Resümee	11
02.02	Wärmegestehungskosten im Anwendungsfall	12
02.02.01	Wärmegestehungskosten im Gesamtsystem des Wärmenetzes	12
02.02.02	Relevanz der Förderprogramme im Anwendungsfall	14
02.02.03	Wärmegestehungskosten im Rahmen einer Förderung nach BEG	14
02.03	Wärmegestehungskosten als primärer Erzeuger	15
02.03.01	Wärmegestehungskosten bei Grundlastdeckung	16
02.03.02	Wärmegestehungskosten bei Mittellastdeckung	16
02.04	Exkurs Wirtschaftlichkeit Photovoltaik	17
03	Vergleich der Wirtschaftlichkeit	19
03.01	Vergleich zu Hackschnitzel-Biomassekesseln	19
03.02	Mit dezentralen Erzeugern	20
04	Ausblick und Fazit	24
	Literaturverzeichnis	I
	Glossar und Abkürzungsverzeichnis	III
	Abbildungsverzeichnis	IV
	Anhang	V

01 EINLEITUNG

Folgende Arbeit ist Teil des Projekts „Low Carbon District Heat - Groß-Wärmepumpe für Wärmenetz 4.0“ oder kurz „LoCarDi“. Ziel des Projektes ist die innovative Konzeption von Großwärmepumpen für die Transformation der Wärmeversorgung von bestehenden Quartieren und Gebäuden. Wärmenetze 4.0 beschreiben hierbei die vierte Generation von Fernwärmenetzen.

Im Folgenden soll die Motivation dieser Arbeit sowie deren Zielstellung und Aufbau beschrieben werden.

01.01 Motivation

Die Motivation hinter der Wirtschaftlichkeitsberechnung im Arbeitspaket 104 ergibt sich aus der dringenden Notwendigkeit, nachhaltige und wirtschaftlich tragfähige Lösungen für die Energieversorgung zu entwickeln. Angesichts der fortschreitenden Klimakrise und der damit verbundenen politischen und gesellschaftlichen Anforderungen, den CO₂-Ausstoß signifikant zu reduzieren, stehen innovative Wärmeerzeugungssysteme wie die Großwärmepumpen (GWP) im Fokus.

In Zeiten steigender Energiekosten und wachsender Unsicherheiten auf den Energiemärkten ist es von entscheidender Bedeutung, dass Investoren und Entscheidungsträger ein klares Verständnis der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen erhalten. Die Analyse der Wärmegestehungskosten und die Berücksichtigung verfügbarer Fördermittel bieten einen wertvollen Leitfaden, um die finanziellen Auswirkungen neuer Technologien realistisch einzuschätzen.

Zudem ist der Wettbewerb auf dem Markt für Wärmeerzeugungssysteme intensiver denn je. Eine fundierte Marktanalyse ermöglicht es, die Stärken und Schwächen der GWP im Vergleich zu etablierten Technologien wie Hack-schnitzkesseln oder dezentralen Pellet- und Wärmepumpen-Heizungen herauszuarbeiten. Dadurch können nicht nur wirtschaftliche Vorteile, sondern auch potenzielle Herausforderungen und Risiken identifiziert werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Integration der GWP aus Sicht der Investoren. Die umfassende Bewertung der Wirtschaftlichkeit dieser Technologie ist entscheidend, um Vertrauen zu schaffen und den Marktzugang zu erleichtern. Wenn Investoren die langfristigen finanziellen Vorteile erkennen, wird dies die Akzeptanz innovativer Wärmeerzeugungssysteme fördern und deren Verbreitung beschleunigen.

01.02 Aufbau der Arbeit

Der Bericht gliedert sich in mehrere aufeinander aufbauende Kapitel, welche die Wirtschaftlichkeit der im Forschungsprojekt konzipierten Großwärmepumpe systematisch analysieren.

Zuerst werden die Wärmegestehungskosten detailliert betrachtet. Es wird ein Fokus auf die Kosten aus „Sicht der Wärmepumpe“ gelegt, wobei der Einfluss der Betrachtung von Opportunitätskosten sowie von Fördermöglichkeiten analysiert wird. Anschließend werden die Wärmegestehungskosten im Anwendungsfall und die Relevanz

von Förderprogrammen sowie die Wärmegestehungskosten in verschiedenen Lastsituationen (Grundlast und Mittellast) untersucht. Ein Exkurs zur Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik rundet dieses Kapitel ab.

Basierend hierauf wird die Wirtschaftlichkeit der GWP mit anderen Heizsystemen, insbesondere Hackschnitzel-Biomassekesseln und dezentralen Erzeugern verglichen. Dies bietet die Grundlage, um die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe in Konkurrenz zu Alternativsystemen zu setzen. Auch wird in diesem Kapitel auf die Auswirkungen der aktuellen Förderlandschaft eingegangen.

Abschließend wird eine Zusammenfassung der Ergebnisse formuliert sowie ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen im Bereich der Wärmeerzeugung inklusive Handlungsempfehlungen für Investoren und Entscheidungsträger gegeben.

01.03 Hinweise zur Interpretation der Ergebnisse

Es ist darauf zu achten, dass die in dieser Ausarbeitung genannten Kosten auf den Bezugskosten des Jahres 2023 basieren. Dieses war u. a. durch die Auswirkungen der problematischen geopolitischen Situation der Vorjahre 2021/2022 und insb. den Ukraine-Krieg geprägt. Abbildung 01-1 zeigt diesen Sachverhalt auf:

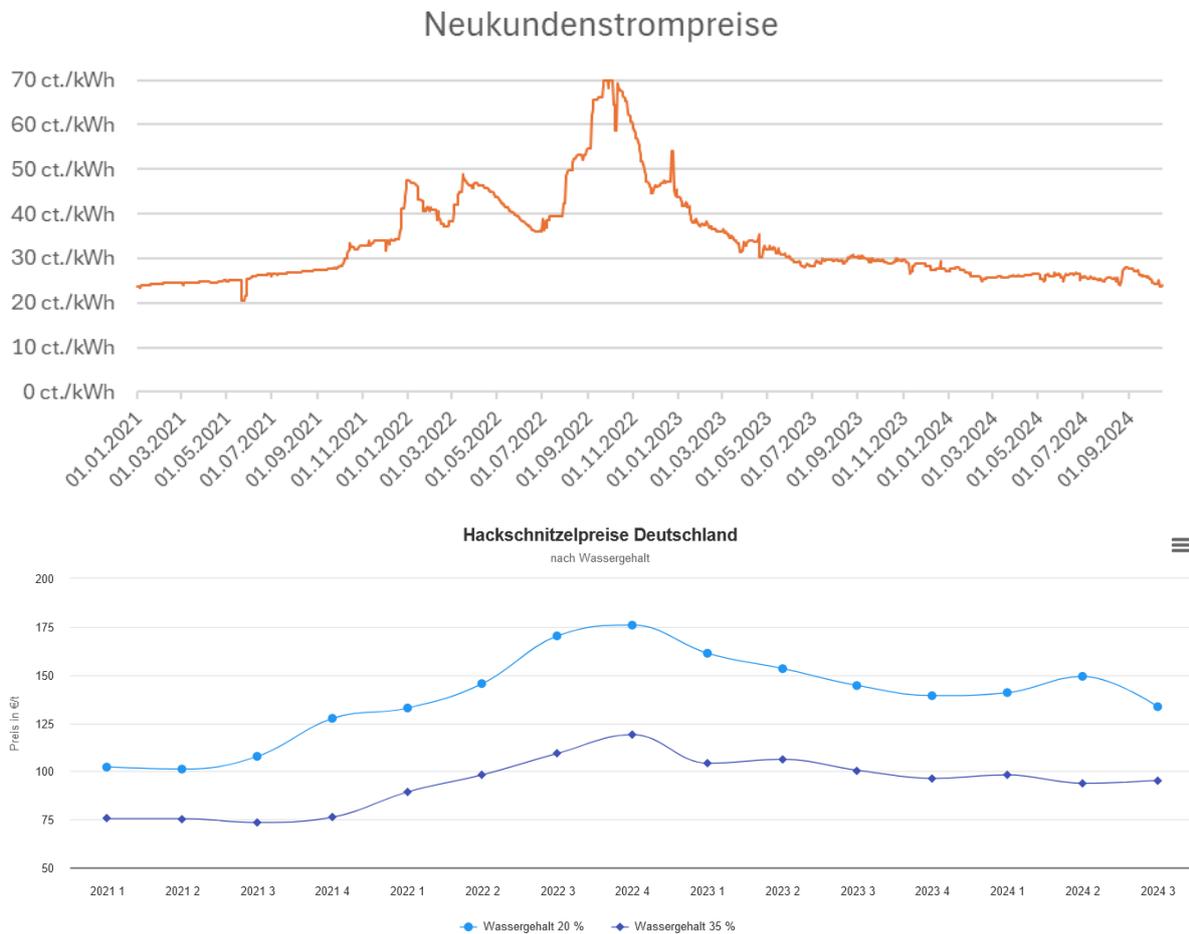


Abbildung 01-1: Entwicklung der Hackschnitzel- und Strompreise innerhalb der letzten Jahre¹

Zwar sind die gelisteten Bezugskosten von Strom und Hackschnitzeln Ende des Jahres 2023 annähernd mit jenen Anfang des Jahres 2024 vergleichbar, v. a. die hohen Preise zu Beginn des Jahres 2023 wirken sich jedoch merklich auf die mittleren Bezugskosten aus. Entsprechend fielen höhere Kosten an, als sie im Jahre 2024 zu erwarten waren bzw. sind. Vor diesem Hintergrund sind die im Folgenden erarbeiteten Ergebnisse zu interpretieren.

¹ Vgl. C.A.R.M.E.N. (Hrsg.), o. D. sowie Norddeutscher Rundfunk (Hrsg.), 2024.

02 WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN

Um den Einsatzfall einer Großwärmepumpe zu simulieren, ist es essenziell, deren Wärmegestehungskosten bei einer strompreisgeführten Betriebsweise zu untersuchen. Auf die Wärmegestehungskosten wirken sich neben Kosten der Wärmepumpe (inkl. deren Förderung) und dem möglichen Wärmeabsatz auch die Option, **Photovoltaik** zu nutzen sowie die **Betriebskostenförderung**² für Wärmepumpen gemäß der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) aus. Es ist zu beachten, dass die Betriebskostenförderung Wärme aus Strom, welcher mittels eigener Photovoltaikanlagen (ohne Netzdurchleitung) anders bzw. geringer vergütet als Netzstrom, da Photovoltaikanlagen bereits im Rahmen des „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ (EEG) durch eine festgelegte Einspeisevergütung³ unterstützt werden. Die Höhe der Einspeisevergütung richtet sich nach der Art der Nutzung oder in anderen Worten danach, ob der Strom teilweise selbst genutzt oder vollständig eingespeist wird.

Im folgenden Kapitel wird zwischen einem möglichen Anwendungsfall, der dem Anhang entnommen werden kann und einer möglichen „Komplettnutzung“ sämtlicher von der Wärmepumpe produzierten Wärme unterschieden. Da der Wärmebedarf im Anwendungsfall sehr hoch ist, ist der Unterschied vernachlässigbar. Entsprechend wird im weiteren Verlauf des Kapitels auch eine erhöhte Leistung des Erzeugers simuliert. Zudem wird zwischen zwei Photovoltaikszenerarien unterschieden. Es wird einerseits angenommen, dass die Wärmepumpe in Zeiten, in denen generell Strom aus Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) erzeugt werden kann, vollständig mit diesem gespeist wird (Szenario „unbegrenzt PV-Strom“). Andererseits wurden die realen und somit finiten Erträge der in Neuburg geplanten PV-Anlage (205 kW_{Peak}) simuliert und in die Betrachtung inkludiert. Hier fällt eine Unterscheidung der Betrachtungsfälle signifikanter aus.

Die den Berechnungen zugrundeliegenden Kenngrößen und Parameter können dem Anhang entnommen werden⁴. Als Strompreis wurden die **Day-Ahead-Preise des Jahres 2023**, so wie sie von den Stadtwerken Neuburg bezogen werden konnten, angesetzt. Auf diese Weise können die Ergebnisse der Berechnungen im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts bzw. in den folgenden Arbeitspaketen als Basis zur Analyse eines strommarktdienlichen Wärmepumpenbetriebs⁵, wie er in Zukunft vorstellbar ist, genutzt werden.

Sofern nicht anders beschrieben, handelt es sich bei allen Angaben um **Nettopreise**. In allen Berechnungen wurde benötigtes Fremdkapital bei einer negativen Jahresbilanz sowie erzielte Gewinne bei einer positiven Jahresbilanz gemäß der dem Anhang zu entnehmenden Zinssätze verzinst. Dies soll eine möglichst realitätsgetreue Berechnung der Ergebnisse ermöglichen. Durch die starken Auswirkungen des Zinseszins-effekts führen so jedoch bereits kleine Änderungen der Gewinne zu vergleichsweise⁶ starken Auswirkungen. In Konklusion sind die Ergebnisse vor diesem Hintergrund zu interpretieren.

² Siehe hierzu: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (Hrsg.), 2023, S. 12 f.

³ Siehe hierzu: Bundesnetzagentur (Hrsg.), 2024.

⁴ Vgl. Anhang S. XVII ff.

⁵ Ein strommarktdienlicher Betrieb, zeichnet sich dadurch aus, in Zeiten mit hohen Stromerträgen durch erneuerbare Erzeuger (bspw. windige Sonnentage) und entsprechend geringe Strompreise, Strom in Wärme zu wandeln. Dies kann mit einer „Überdimensionierung“ der Wärmepumpe, um in diesen Zeiten möglichst viel Strom nutzen zu können und dem Einsatz von großen Warmwasserpufferspeichern einhergehen. (Vgl. hierzu: Agora Energiewende (Hrsg.), Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie (IEG) (Hrsg.), 2023, S. 43.

⁶ Verglichen mit bspw. einem „0-Zins-Szenario“.

02.01 Kosten aus Sicht der Wärmepumpe

Aus Perspektive der Wärmepumpe sind verschiedene Kostentreiber zu berücksichtigen. Diese sind:

- Investitionskosten der Wärmepumpe (abzüglich deren Förderung⁷; ohne Zinskosten)
- Betriebskosten gemäß Strompreis (Summe aus fixen und variablen Kosten)
- Jährlich anfallende zusätzliche Kosten der Wärmepumpe (Wartung, Bedienung ...)
- Betriebskostenförderung der Wärmepumpe (nach Modul 4 der BEW)

Zudem sind die Opportunitätskosten für die Nutzung von PV-Strom zu berücksichtigen, da dieser alternativ auch gemäß der geltenden Einspeisevergütung in das Stromnetz abgegeben werden könnte. Die Kosten der Photovoltaikanlage werden in diesem Kapitel nicht berücksichtigt.

Es ist anzumerken, dass Förderungen von Wärmepumpen außerhalb von Wärmenetzen bspw. im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) höher ausfallen können als 40 %⁸. Allerdings wird im Rahmen des BEG keine Betriebskostenförderung gewährt.

02.01.01 *Wärmegestehungskosten ohne Opportunitätskosten*

In einem ersten Szenario sollen die Wärmegestehungskosten ohne Berücksichtigung der durch die Option der Einspeisung des PV-Stroms entgangenen Gewinne berechnet werden. Diese Berechnung ist zwar bzgl. ihres Ergebnisses nicht aussagefähig, soll aber zur Verdeutlichung des Sachverhalts und als Basis für weitere Rechnungen genutzt werden. Auch kann auf diese Weise ein möglicher künftiger „Wettbewerbsvorteil“ von Großwärmepumpen gegenüber nicht strombetriebenen Wärmeerzeugern aufgezeigt werden.

Abbildung 02-1 zeigt die resultierenden Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit eines strompreisgeführten Betriebs der Wärmepumpe sowie die in den verschiedenen Fällen erzielten Erträge⁹:

⁷ 40 % nach Modul 2 der BEW

⁸ Siehe hierzu: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (Hrsg.), 2024a

⁹ Die Erträge resultieren aus den in der Berechnung hinterlegten und auf 0,5 ct./kWh gerundeten strompreisgeführten Betrachtung und sind entsprechend keine runden Zahlen. Sie wurden so gewählt, dass einerseits die minimalen Wärmegestehungskosten ersichtlich sind und andererseits das Abweichen von diesen deutlich wird.

Komplettnutzung:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
9,685 ct/kWh (th.)	7,337 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
9,433 ct/kWh (th.)	7,071 ct/kWh (th.)	983.205 kWh
9,160 ct/kWh (th.)	6,774 ct/kWh (th.)	823.673 kWh
9,108 ct/kWh (th.)	6,713 ct/kWh (th.)	755.400 kWh
9,088 ct/kWh (th.)	6,684 ct/kWh (th.)	657.000 kWh
9,158 ct/kWh (th.)	6,743 ct/kWh (th.)	544.800 kWh
17,853 ct/kWh (th.)	15,426 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
5,300 ct/kWh (th.)	1,309 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
4,535 ct/kWh (th.)	0,652 ct/kWh (th.)	936.090 kWh
2,669 ct/kWh (th.)	-0,558 ct/kWh (th.)	637.297 kWh
2,420 ct/kWh (th.)	-0,643 ct/kWh (th.)	593.857 kWh
2,294 ct/kWh (th.)	-0,707 ct/kWh (th.)	561.217 kWh
2,291 ct/kWh (th.)	-0,709 ct/kWh (th.)	560.137 kWh
2,291 ct/kWh (th.)	-0,709 ct/kWh (th.)	560.137 kWh

Anwendungsfall:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
9,686 ct/kWh (th.)	7,337 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
9,433 ct/kWh (th.)	7,072 ct/kWh (th.)	982.965 kWh
9,160 ct/kWh (th.)	6,774 ct/kWh (th.)	823.433 kWh
9,108 ct/kWh (th.)	6,714 ct/kWh (th.)	755.160 kWh
9,089 ct/kWh (th.)	6,685 ct/kWh (th.)	656.760 kWh
9,159 ct/kWh (th.)	6,744 ct/kWh (th.)	544.560 kWh
17,853 ct/kWh (th.)	15,426 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
7,503 ct/kWh (th.)	2,971 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
5,204 ct/kWh (th.)	1,352 ct/kWh (th.)	469.799 kWh
5,099 ct/kWh (th.)	1,324 ct/kWh (th.)	439.919 kWh
5,020 ct/kWh (th.)	1,325 ct/kWh (th.)	411.599 kWh
4,971 ct/kWh (th.)	1,350 ct/kWh (th.)	385.559 kWh
4,948 ct/kWh (th.)	1,414 ct/kWh (th.)	358.439 kWh
4,971 ct/kWh (th.)	1,580 ct/kWh (th.)	323.159 kWh

Hinweis: Es wird von PV-Anlagen ohne Netzdurchleitung ausgegangen. Die Kosten der PV-Anlagen werden nicht berücksichtigt.

Abbildung 02-1: Wärmegestehungskosten in den Szenarien bei Vernachlässigung der Opportunitätskosten

Im Idealfall also mit der Option, jederzeit die volle Leistung der Wärmepumpe in das Fernwärmenetz einspeisen zu können und einem hypothetisch unbegrenzt großen PV-Feld können die Kosten der Wärmepumpe in den Jahren, in denen die Betriebsförderung gewährt wird, auf -0,7 ct. pro kWh Wärme sinken. Folglich sind in diesem Szenario sogar „Wärmegestehungsgewinne“ möglich, da für den PV-Strom keine Kosten angesetzt werden, dieser jedoch im Rahmen der Betriebskostenförderung vergolten wird. Auch könnten negative Strompreise zu diesem Phänomen beitragen. Im konkreten Fall ist bei Berücksichtigung der tatsächlich im Jahr 2023 aufgetretenen negativen Strompreise jedoch bereits ab Erträgen kleiner als 560.000 MWh kein Unterschied im Rahmen der untersuchten Genauigkeit feststellbar (wenngleich vorhanden). Sollten sich negative Strompreise in Zukunft durch den Ausbau der erneuerbaren Energien häufen, könnte sich dieser Zustand zu einem realen Wirtschaftlichkeitsvorteil für Großwärmepumpen entwickeln.

Ohne die Betriebskostenförderung sind in diesem Szenario die Wärmegestehungskosten durch die Fixkosten der Wärmepumpe auf 2,3 ct./kWh_{th} limitiert. Im Anwendungsfall, also bei einer Limitierung des Ertrags des kostenfreien PV-Stroms gemäß der tatsächlich geplanten Anlagengröße, stellen sich keine negativen Wärmegestehungskosten ein.

02.01.02 Wärmegestehungskosten bei Opportunitätskosten gemäß Volleinspeisung

Wie bereits erwähnt ist ein Ansatz, in dem die Kosten für den mittels PV-Anlagen erzeugten Strom vernachlässigt werden, in der Realität nicht wirtschaftlich tragbar. Aus diesem Grund werden in einem ersten Schritt **Substitutionskosten i. H. v. 9,3 ct./kWh_{el}** gemäß der Einspeisevergütung bei Volleinspeisung angesetzt. Diese Kosten repräsentieren jene, die ein Investor einer PV-Anlage minimal ansetzen wird, wenn seine PV-Anlage sämtlichen erzeugten Strom ohne Netzdurchleitung an Konsumenten abgeben kann, da er bei Volleinspeisung nach GEG eben jene Kosten erstattet bekommen würde. Werden geringere Substitutionskosten bspw. aufgrund einer teilweisen

Eigennutzung des Stroms angesetzt, so ist dies nur wirtschaftlich, sollten dadurch höhere Kosten als die entgangenen Gewinne eingespart werden. Abbildung 02-2 zeigt die Ergebnisse dieses Ansatzes:

Komplettnutzung:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
9,685 ct/kWh (th.)	7,337 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
9,433 ct/kWh (th.)	7,071 ct/kWh (th.)	983.205 kWh
9,160 ct/kWh (th.)	6,774 ct/kWh (th.)	823.673 kWh
9,108 ct/kWh (th.)	6,713 ct/kWh (th.)	755.400 kWh
9,088 ct/kWh (th.)	6,684 ct/kWh (th.)	657.000 kWh
9,158 ct/kWh (th.)	6,743 ct/kWh (th.)	544.800 kWh
17,853 ct/kWh (th.)	15,426 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
7,343 ct/kWh (th.)	3,334 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
6,406 ct/kWh (th.)	2,726 ct/kWh (th.)	792.817 kWh
6,218 ct/kWh (th.)	2,701 ct/kWh (th.)	719.857 kWh
6,078 ct/kWh (th.)	2,751 ct/kWh (th.)	660.697 kWh
6,020 ct/kWh (th.)	2,870 ct/kWh (th.)	624.217 kWh
6,015 ct/kWh (th.)	2,912 ct/kWh (th.)	612.817 kWh
6,020 ct/kWh (th.)	2,947 ct/kWh (th.)	603.817 kWh

Anwendungsfall:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
9,686 ct/kWh (th.)	7,337 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
9,160 ct/kWh (th.)	6,774 ct/kWh (th.)	823.433 kWh
9,108 ct/kWh (th.)	6,714 ct/kWh (th.)	755.160 kWh
9,089 ct/kWh (th.)	6,685 ct/kWh (th.)	656.760 kWh
9,159 ct/kWh (th.)	6,744 ct/kWh (th.)	544.560 kWh
13,684 ct/kWh (th.)	11,271 ct/kWh (th.)	141.480 kWh
17,853 ct/kWh (th.)	15,426 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
8,595 ct/kWh (th.)	4,046 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
7,797 ct/kWh (th.)	3,402 ct/kWh (th.)	767.879 kWh
7,680 ct/kWh (th.)	3,372 ct/kWh (th.)	689.759 kWh
7,575 ct/kWh (th.)	3,412 ct/kWh (th.)	595.919 kWh
7,520 ct/kWh (th.)	3,529 ct/kWh (th.)	512.759 kWh
7,517 ct/kWh (th.)	3,627 ct/kWh (th.)	469.799 kWh
7,537 ct/kWh (th.)	3,720 ct/kWh (th.)	439.919 kWh

Hinweis: Es wird von PV-Anlagen ohne Netzdurchleitung ausgegangen. Die Kosten der PV-Anlagen werden nicht berücksichtigt.

Abbildung 02-2: Wärmegestehungskosten in den Szenarien bei Opportunitätskosten gemäß Volleinspeisung

Es zeigt sich, dass im Realfall Wärmegestehungskosten von ca. 3,4 ct./kWh_{th.} anzusetzen sind, welche sich auch in einem Idealszenario nur auf rund 2,7 ct./kWh_{th.} senken lassen. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Betriebskostenförderung für Wärmepumpen nur über einen Zeitraum von 10 Jahren ausgezahlt wird. Nach diesem Zeitraum steigen die Wärmegestehungskosten auf ca. 7,5 ct./kWh_{th.} bzw. 6,0 ct./kWh_{th.}

02.01.03 Auswirkungen der Investitionskostenförderung

Die Investitionskosten der Wärmepumpe wirken sich erheblich auf deren Wärmegestehungskosten aus. Streicht man die gegenwärtige Förderung von 40 % (gemäß BEW), erhöhen sich folglich auch die Wärmegestehungskosten in den beiden bisher beschriebenen Szenarien¹⁰. Im Anwendungsfall um bis zu 1,2 ct./kWh_{th.}

Eine Berechnung der Wärmegestehungskosten ohne Investitionskostenförderung und bei Vernachlässigung der Opportunitätskosten gibt Aufschluss über die Auswirkungen in einem Szenario, in dem die Wärmepumpe bei einer Reinvestition nicht gefördert wird und die Photovoltaikanlage bereits komplett abgeschrieben ist, wobei der Betreiber überschüssigen Strom (bspw. aufgrund des hohen Aufwands) nicht am Strommarkt direktvermarkten will oder kann.

¹⁰ Siehe hierzu Anhang S. XXIV

02.01.04 Resümee

Im Fazit lässt sich konstatieren, dass die optimale Betriebsweise einer Großwärmepumpe (aus Erzeugersicht) stark von Förderungen sowie der Möglichkeit, PV-Strom zu nutzen und dessen anzusetzenden Kosten abhängt.

Aus wirtschaftlicher Sicht sind für den PV-Strom zumindest die Kosten der Einspeisevergütung bei Volleinspeisung anzusetzen (vgl. Kapitel 02.01.02). Geht man im Anwendungsfall von einer Lebensdauer der PV-Anlage von 30 Jahren bei einer Amortisation nach 20 Jahren sowie der Annahme, dass die Betriebs- und die Investitionskostenförderung zum Zeitpunkt einer Reinvestition der Wärmepumpe nach 15 Jahren nicht mehr gewährt werden aus und vernachlässigt sämtliche Preissteigerungsfaktoren, so ergeben sich folgende Wärmegestehungskosten:

- Jahr 1 bis 10¹¹: 3,4 ct./kWh_{th}. bei einem Ertrag von 689,8 MWh
- Jahr 11 bis 15¹²: 7,5 ct./kWh_{th}. bei einem Ertrag von 469,8 MWh
- Jahr 16 bis 20¹³: 8,3 ct./kWh_{th}. bei einem Ertrag von 595,9 MWh
- Jahr 21 bis 30¹⁴: 6,1 ct./kWh_{th}. bei einem Ertrag von 411,6 MWh

Es resultieren **Wärmegestehungskosten i. H. v. 5,6 ct./kWh_{th}** über den Betrachtungszeitraum.

Diese Betrachtung soll um einen zweiten Ansatz ergänzt werden. Wie bereits beschrieben, muss nach EEG bei Eigenstromnutzung von den Opportunitätskosten gemäß der Einspeisevergütung bei Volleinspeisung abgewichen werden. Entsprechend werden im Anhang ab Seite XV die Wärmegestehungskosten bei der Annahme von Substitutionskosten i. H. v. 6,14 ct./kWh_{el} mit und ohne Investitionskostenförderung berechnet. Zudem werden nach Ablauf der Einspeisevergütung Opportunitätskosten basierend auf den angesetzten Erträgen für die Direktvermarktung des Stroms i. H. v. 4,0 ct./kWh_{el} angesetzt. Diese Betrachtung stellt somit ein Szenario dar, in welchem Strom gehandelt werden kann und die geminderte Einspeisevergütung sowie die Einsparungen durch die Eigenstromnutzung weiterer Komponenten für eine Amortisation der Anlage ausreichend sind. Es ergeben sich analog zu obiger Aufstellung folgende Kosten im Betrachtungszeitraum:

- Jahr 1 bis 10: 2,8 ct./kWh_{th}. bei einem Ertrag von 595,9 MWh
- Jahr 11 bis 15: 6,7 ct./kWh_{th}. bei einem Ertrag von 439,9 MWh
- Jahr 16 bis 20: 7,7 ct./kWh_{th}. bei einem Ertrag von 512,8 MWh
- Jahr 21 bis 30: 7,2 ct./kWh_{th}. bei einem Ertrag von 469,8 MWh

Es resultieren **Wärmegestehungskosten i. H. v. 5,5 ct./kWh_{th}** über den Betrachtungszeitraum.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass eine belastbare Aussage über die Wärmegestehungskosten im Anwendungsfall bzw. unter Berücksichtigung des Gesamtsystems nur unter Berücksichtigung weiterer Faktoren möglich ist. Dies soll im weiteren Verlauf dieser Arbeit für den Anwendungsfall durchgeführt werden.

¹¹ Bis zum Auslaufen der Betriebskostenförderung.

¹² Bis zur Reinvestition der Wärmepumpe.

¹³ Bis zum Auslaufen der Einspeisevergütung der PV Anlage.

¹⁴ Unter der Annahme, dass die PV-Anlage „abgezahlt“ ist und der Strom nicht verkauft wird (vgl. Kapitel 02.01.03).

02.02 Wärmegestehungskosten im Anwendungsfall

In diesem Kapitel sollen die tatsächlichen anzusetzenden Kosten pro kWh Wärme im Gesamtsystem betrachtet werden. Entsprechend werden **Wärmeverluste**, die **Kosten der PV-Anlage** und die **Erträge bei Einspeisung des überschüssigen Stroms**, **Zinskosten** sowie diverse **Preissteigerungsfaktoren** in der Berechnung berücksichtigt.

Die den Berechnungen zugrundeliegenden Kenngrößen und Parameter können dem Anhang entnommen werden¹⁵. Zum Zwecke einer einheitlichen Betrachtung wird der Wärmepumpe ein konstanter Wärmeertrag über den Betrachtungszeitraum (30 Jahre) zugeschrieben.

Zur Ermittlung der Wärmegestehungskosten unter Berücksichtigung aller genannten Einflussfaktoren wurde ermittelt, welcher Wärmemischpreis im ersten Jahr angesetzt werden muss, um am Ende des Betrachtungszeitraums einen kumulierten Barwert aller Zahlungen und Erträge nahe Null zu erreichen. Der Mischpreis untergliedert sich in:

- den Leistungspreis, basierend auf den linear abbeschriebenen Komponenten¹⁶ sowie der Annahme, dass jeder Kunde rund 15 kW bei 1.800 Vollbenutzungsstunden benötigt, sowie den
- Arbeitspreis gemäß den jährlich anfallenden Kosten zur Wärmeerzeugung.

Entsprechend der im Anhang gelisteten Prozentsätze steigt der Mischpreis über die Jahre. Gewinne für den Betreiber wurden nicht angesetzt.

02.02.01 Wärmegestehungskosten im Gesamtsystem des Wärmenetzes

Nach mehreren iterativen Berechnungen ergab sich für den Anwendungsfall ein optimaler¹⁷ strompreisgeführter Wärmepumpenlastgang, welcher in einem **Ertrag von 767,9 MWh pro Jahr** resultierte. Um die Kosten zu decken, wurde ein **Mischpreis der Erlöse von 8,4 ct./kWh_{th}** angesetzt. Es wurde davon ausgegangen, dass verlustbereinigt verkaufte Wärme in Höhe von 652,7 MWh der Wärmepumpe zugerechnet werden kann. Der Mischpreis untergliedert sich in:

- einen Leistungspreis von 50,31 €/kW und
- einen Arbeitspreis von 5,6 ct./kWh_{th}.

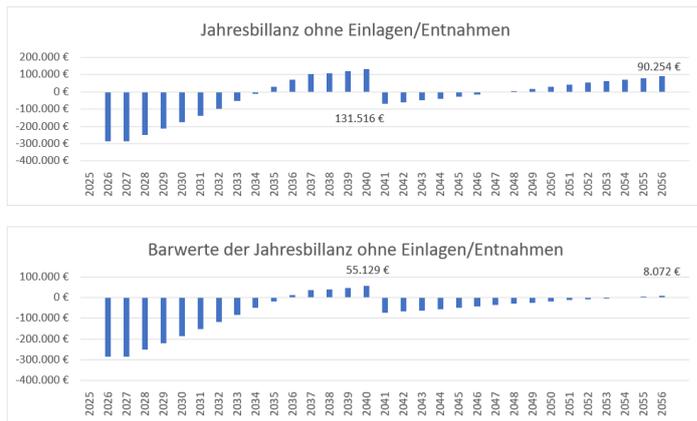
Abbildung 02-3 zeigt die Jahresbilanz sowie den Barwert der Jahresbilanz im Betrachtungszeitraum auf¹⁸:

¹⁵ Vgl. Anhang S. XXII.

¹⁶ Wärmepumpe, PV-Anlage und Wechselrichter.

¹⁷ Als optimal wurde jeder Lastgang angesetzt, bei welchem der geringste Wärme-Mischpreis angesetzt werden musste, um im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren näherungsweise einen kumulierten Barwert (Jahresgesamtzahlungen plus Restwert der Komponenten) von 0 € zu erreichen.

¹⁸ Reinvestitionen, die auf das letzte Betrachtungsjahr fallen würden, wurden nicht angesetzt.



Restwert
(am Ende des Betrachtungszeitraums oder bei Ausscheiden)

Luft/Wasser Wärmepumpe	0 €
Photovoltaik	0 €
Wechselrichter (inkl. Batterie)	0 €

0 €

Barwert der Restwerte
(am Ende des Betrachtungszeitraums oder bei Ausscheiden)

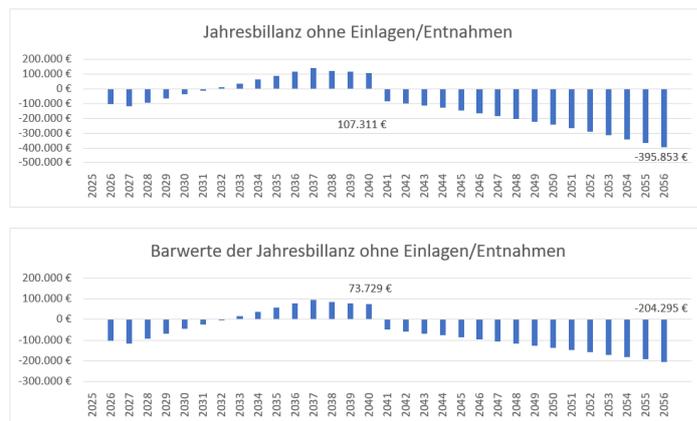
Luft/Wasser Wärmepumpe	0 €
Photovoltaik	0 €
Wechselrichter (inkl. Batterie)	0 €

0 €

Abbildung 02-3: Jahresbilanz des Verbunds aus Wärmepumpe und PV bei einem Mischpreis von 8,4 ct./kWh

Geht man davon aus, dass der überschüssige Strom der PV-Anlage nicht eingespeist, sondern von anderen Stromkonsumenten genutzt wird und rechnet man die Einsparungen als Gewinne dem Verbundsystem zu, lässt sich sogar der Mischpreis der Wärme auf 6,9 ct./kWh reduzieren.

Auch im direkten Vergleich mit einem Szenario ohne Photovoltaik¹⁹ zeigt sich die Relevanz dieser vor allem nach dem Wegfall der Betriebskostenförderung (vgl. hierzu Abbildung 02-4).



Restwert
(am Ende des Betrachtungszeitraums oder bei Ausscheiden)

Luft/Wasser Wärmepumpe	0 €
------------------------	-----

0 €

Barwert der Restwerte
(am Ende des Betrachtungszeitraums oder bei Ausscheiden)

Luft/Wasser Wärmepumpe	0 €
------------------------	-----

0 €

Abbildung 02-4: Jahresbilanz der Wärmepumpe bei einem Mischpreis von 8,4 ct./kWh

Es ist zu beachten, dass in der Betrachtung ohne Photovoltaik nach der Reinvestition der Wärmepumpe deren Abschreibungen inkl. Zinsen nicht mehr mit den Erträgen gedeckt werden können. Entsprechend fällt das Ergebnis durch den Zinseszinsseffekt sehr negativ aus. Aus diesem Grund mag es sinnvoll sein, für den Vergleich die Jahresbilanz nach 15 Jahren bzw. nach der Nutzungsdauer der Wärmepumpe anzusetzen. Jedoch schneidet auch in diesem Fall der Verbund aus PV und Wärmepumpe bei Berücksichtigung des Restwerts der PV-Anlage besser ab (siehe hierzu Anhang S. XVII).

Die vollständige Berechnung des „Grundlagenszenarios“ bzw. der Variante mit einem Wärmemischpreis von 8,4 ct./kWh_{th}, kann dem Anhang entnommen werden²⁰.

¹⁹ Erlöse durch weitere Stromkonsumenten werden nicht angesetzt.

²⁰ Siehe hierzu Anhang S. XXVIII ff.

02.02.02 Relevanz der Förderprogramme im Anwendungsfall

Wie bereits angesprochen haben Förderprogramme einen wesentlichen Anteil an den der Wärmepumpe zuzurechnenden Wärmegegestehungskosten. Neben den verringerten Ausgaben und erhöhten Einnahmen wird dies auch durch die Erhöhung des damit einhergehenden steigenden Fremdkapitals bzw. die aktuell hohen Zinskosten (sowie den Zinseszinsseffekt) verstärkt.

Folgende Auswirkungen hätten die Streichungen der Förderungen auf den benötigten Wärmemischpreis bzw. somit die Wärmegegestehungskosten²¹:

- | | |
|---|----------------------------|
| • Streichung der Betriebskostenförderung (BEW Modul 4): | 10,8 ct./kWh _{th} |
| • Streichung der Investitionskostenförderung (BEW Modul 2): | 9,0 ct./kWh _{th} |
| • Streichung beider Förderungen der BEW: | 11,4 ct./kWh _{th} |
| • Streichung der Einspeisevergütung von PV-Strom | |
| ○ stattdessen Direktvermarktung: | 8,6 ct./kWh _{th} |
| ○ stattdessen keine Erlöse für überschüssigen Strom ²² : | 9,0 ct./kWh _{th} |
| • Streichen aller Vergünstigungen ²³ : | 12,0 ct./kWh _{th} |

Es zeigt sich, dass vor allem die **Betriebskostenförderung** in den ersten 10 Jahren, über welche Gewinne in Höhe von rund 300.000 €²⁴ realisiert werden können, **die stärksten Auswirkungen** auf den anzusetzenden Wärmemischpreis hat.

02.02.03 Wärmegegestehungskosten im Rahmen einer Förderung nach BEG

Die Relevanz der Betriebskostenförderung zeigt sich auch, betrachtet man eine alternative Förderung der Wärmepumpe nach der BEG²⁵. Da im Rahmen der BEG primär einzelne Gebäude oder Gebäudenetze gefördert werden, wurden die Wärmeverluste für die Berechnung mit 0 % angenähert, da Verluste innerhalb eines Gebäudes auch bei der bisherigen Berechnung nicht berücksichtigt wurden bzw. dem Konsumenten zuzurechnen sind. Es ergibt sich ein anzusetzender Wärmemischpreis von **9,0 ct./kWh_{th}**. Die PV-Anlage²⁶ ist auch in dieser Betrachtung wirtschaftlich und trägt zur Senkung dieses Preises bei. Wird der überschüssige Strom der PV-Anlage nicht eingespeist, sondern für weitere Stromkonsumenten genutzt und die erzielten Einsparungen dem System aus PV-Anlage und Wärmepumpe gutgeschrieben, reduziert sich dieser Preis auf **7,7 ct./kWh_{th}**.

Als beispielhafter Anwendungsfall kann ein Industriebetrieb, welcher die Möglichkeit zur Stromdirektvermarktung und des Strombezugs basierend auf den Day-Ahead-Preisen besitzt, dienen.

²¹ Bei ansonsten gleichbleibenden Parametern zu der im Anhang skizzierten Wirtschaftlichkeitsberechnung (S. XXVIII ff.)

²² Betreiber kleinerer Wärmenetze (speziell Genossenschaften oder ähnliche Organisationen) könnten den (wirtschaftlichen sowie organisatorischen) Aufwand, direkt am Strommarkt teilzunehmen als zu hoch ansehen.

²³ Gemeint sind beide Förderungen der BEW sowie der Wegfall von Erlösen für überschüssigen Strom.

²⁴ Vgl. Anhang S. XXXVII.

²⁵ Anstatt 40 % Investitionskostenförderung können im Rahmen der BEG bis zu 70 % erzielt werden. Realistisch für den beschriebenen Fall sind jedoch 55 %. Eine Betriebskostenförderung gewährt die BEG nicht.

²⁶ Nicht von der Wärmepumpe genutzter Strom wird eingespeist bzw. nach 20 Jahren direkt vermarktet.

02.03 Wärmegestehungskosten als primärer Erzeuger

Basierend auf der Projekterfahrung der DME Consult GmbH (Verfasser) lässt sich folgender Merksatz formulieren:

„Wärmeerzeuger mit einer Leistung i. H. v. einem Drittel des maximalen Wärmebedarfs können ca. 75 % bis 80 % des Wärmebedarfs decken. Die kumulierte Leistung der Hälfte bis zwei Drittel des maximalen Wärmebedarfs decken 90 % bis 95 %.“²⁷

Dies gilt auch für den Anwendungsfall. Abbildung 02-5 zeigt die geordnete Jahreslastganglinie des Anwendungsfalls sowie die kumulierte maximale Leistung von acht und zwölf Wärmepumpenmodulen.



Abbildung 02-5: Geordneter Jahreslastgang des Anwendungsfalls

Es ist darauf zu achten, dass es sich im Anwendungsfall einerseits um ein Teilnetz handelt. Entsprechend fällt der Graph vergleichsweise eckig aus und kann nicht um die Auswirkungen der Pufferspeicher des Systems bereinigt werden. Andererseits können die Wärmepumpen in den sehr kalten Stunden des Jahres nicht ihre volle Leistung erbringen. Nichtsdestotrotz ist der Anwendungsfall dem Grunde nach dem Wärmebedarf eines üblichen Wärmenetzes sehr ähnlich, wie bspw. die Betrachtung des Gesamtnetzes in Neuburg an der Donau zeigt. Mit 150 Wärmepumpenmodulen (18 MW und rd. 30 % des max. Bedarfs) können hier 73 % des Gesamtwärmebedarfs gedeckt werden. 250 Module (30 MW und rd. 50 % des max. Bedarfs) erreichen eine Gesamtbedarfsdeckung von 92 %²⁸.

Konkret können im Anwendungsfall acht Wärmepumpenmodule mit einer kumulierten maximalen Leistung von 960 kW (34 % des maximalen Bedarfs), 78 % des Wärmebedarfs decken. Diese Größe wird im Folgenden als Grundlast bezeichnet. Zwölf Module mit einer kumulierten maximalen Leistung von 1.440 kW (51 % des maximalen Bedarfs), decken sogar 95 % des Wärmebedarfs (im Folgenden als Mittellast bezeichnet). Die Grundlast zeichnet sich durch eine hohe Betriebsstundenzahl aus, welche bei der Mittellast bereits geringer ausfallen. Die Spitzenlast beschreibt den zusätzlichen Wärmeleistungsbedarf über die Grund- und Mittellast hinaus bei geringerer Betriebsstundenzahl.

Da die beschriebenen acht Module potenziell rd. 8,4 GWh Wärme erzeugen könnten aufgrund des v. a. im Sommer geringeren Bedarfs nur 6,7 GWh (rd. 80 % des Potentials) zur Verfügung stellen müssen, senken sich die

²⁷ Vgl. hierzu auch QM Fernwärme (Hrsg.), 2018, S. 20, in Anlehnung an Fraunhofer UMSICHT (Hrsg.), 1998, S.13.

²⁸ Siehe hierzu Anhang S.XXIII.

Vollbenutzungsstunden der Erzeuger, was sich negativ auf deren Wärmegestehungskosten auswirkt. Dieser Effekt wird bei zwölf Modulen (8,1 GWh erzeugte Wärme bei 12,6 GWh Potenzial) verstärkt. Im Folgenden sollen die resultierenden Wärmegestehungskosten ermittelt werden.

02.03.01 *Wärmegestehungskosten bei Grundlastdeckung*

Zur Berechnung der Deckung der Grundlast wird die Annahme getroffen, dass die Wärmepumpe prioritär eingesetzt wird, d. h. wann immer benötigt, wird zuerst die Wärmepumpe mit voller Leistung eingesetzt, bevor andere Erzeuger „dazugeschaltet“ werden. Die zugrundeliegenden Kosten entsprechen den Kostengruppen der Berechnung aus Kapitel 02.02 multipliziert mit der Anzahl der Module.

Bei Grundlastdeckung resultiert eine Jahresarbeitszahl von 2,30. Sollen die Barwerte der Jahresbilanz am Ende des Betrachtungszeitraums erneut nahe 0 liegen, um die Wärmegestehungskosten zu ermitteln, ergibt sich ein benötigter Wärmemischpreis auf Kundenseite von ca. **10,3 ct./kWh_{th}**, ohne die Berücksichtigung einer PV-Anlage. Die Aufteilung auf Arbeits- und Leistungspreis wurde nach derselben Logik des Kapitels 02.02.01 vorgenommen.

Inkludiert man Photovoltaik, so reduzieren sich diese Kosten auf rd. **10,1 ct./kWh_{th}**, bei der aktuell geplanten PV-Anlage mit 205 kW_{Peak} (sowohl bei Einspeisung als auch Eigennutzung des wenigen restlichen Stroms). Erhöht man die installierte Photovoltaikleistung sowie die damit verbundenen Kostenträger auch um das Achtfache, um eine Vergleichbarkeit zu Kapitel 02.02 zu gewährleisten, reduzieren sich diese Preise weiter. Bei gleichbleibender Einspeisevergütung²⁹ senken sich die Kosten auf ca. **9,6 ct./kWh_{th}**, bei einer PV-Anlage mit 1.640 kW_{Peak} und Einspeisung bzw. **7,8 ct./kWh_{th}**, bei Eigennutzung³⁰.

Es ist zu beachten, dass die genannten Preise durch eine strompreisoptimierte Betriebsweise der Wärmepumpe im Zusammenspiel mit nicht strombetriebenen Wärmeerzeugern oder einem Pufferspeicher gesenkt werden können. Im Idealfall bis auf die in Kapitel 02.02 genannten Wärmegestehungskosten. Im Realfall ist das Erreichen dieses Ziels jedoch aufgrund der Wärmeverluste von Großpufferspeichern und der Annahme, dass die Grundlast des Systems von Wärmepumpen getragen werden soll, fraglich.

02.03.02 *Wärmegestehungskosten bei Mittellastdeckung*

Analog zu Kapitel 02.03.01 wurden die Berechnungen bei Mittellastdeckung bzw. bei dem Einsatz von zwölf Wärmepumpenmodulen angestellt. Es resultiert eine Jahresarbeitszahl von 2,27. Bei Betrachtung des ersten Szenarios ergibt sich ein Preis von rd. **11,1 ct./kWh_{th}**, ohne die Berücksichtigung einer PV-Anlage.

Inkludiert man Photovoltaik, so reduzieren sich diese Kosten auf rd. **11,0 ct./kWh_{th}**, bei der aktuell geplanten PV-Anlage mit 205 kW_{Peak}. Die Summe des restlichen Stroms ist in diesem Szenario sogar geringer als bei Grundlastdeckung, weshalb sich dieser Wert erneut bei Einspeisung sowie Eigennutzung einstellt. Verzwölffacht man die Fläche für Photovoltaik, reduziert sich der Mischpreis auf **10,6 ct./kWh_{th}**, bei einer PV-Anlage mit 2.460 kW_{Peak} und Einspeisung bzw. **8,1 ct./kWh_{th}**, bei Eigennutzung.

²⁹ Nach EEG gelten die angesetzten Preise nur bis zu einer Leistung von 1.000 kW_{Peak}. Vereinfacht werden diese Preise weiter als Basis herangezogen, auch wenn in der Realität leichte Abweichungen zu erwarten sind.

³⁰ Auch in diesem Fall wurden die eigesparten Kosten aus der Eigennutzung als Gewinne angesetzt.

02.04 Exkurs Wirtschaftlichkeit Photovoltaik

Um die Ergebnisse interpretieren zu können, ist es relevant, die Wirtschaftlichkeit der Photovoltaikanlage zu analysieren. Abbildung 02-6 zeigt die Barwerte der kumulierten Kosten und Erlöse bei Einspeisung sämtlichen Stroms bei einer Einspeisevergütung gemäß dem Satz bei Teileinspeisung.

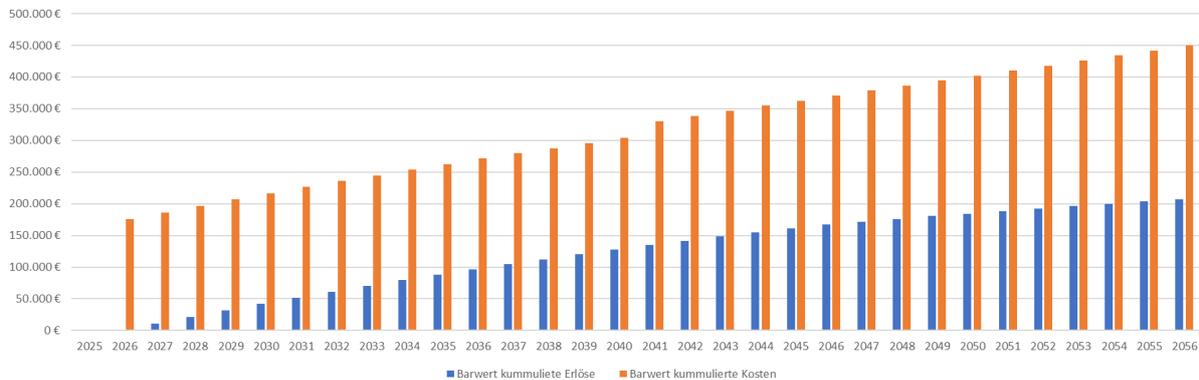


Abbildung 02-6: Jahresbilanz der Barwerte bei vollständiger Einspeisung nach „Tarif Teileinspeisung“

Es zeigt sich, dass sich die Photovoltaikanlage, wie sie in den Berechnungen angesetzt wurde, negativ auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt. Dies ändert sich jedoch, wird der erzeugte Strom nicht eingespeist, sondern selbst genutzt und die somit entfallenden Stromkosten der PV-Anlage als Gewinn gutgeschrieben. Abbildung 02-7 zeigt diesen Sachverhalt:

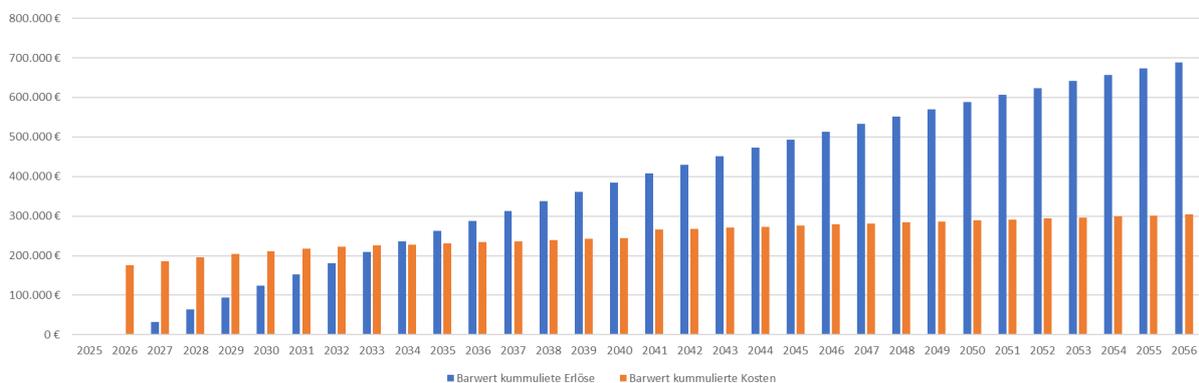


Abbildung 02-7: Jahresbilanz der Barwerte bei Eigennutzung und Gutschrift der entfallenden Kosten

Entsprechend folgt in einem Einspeiseszenario, dass je mehr des erzeugten Stroms die Wärmepumpe selbst nutzen kann, desto wirtschaftlicher wird die PV-Anlage und desto stärker trägt sie zur Senkung der Wärmegestehungskosten bei. In den berechneten Szenarien, in welchen angenommen wurde, dass sämtlicher nicht genutzter Strom anderweitig verwertet werden kann und die entfallenden Kosten der Wärmepumpe gutgeschrieben werden, substituiert die PV-Anlage die Wärmepumpe. Dies heißt konkret, dass bspw. in einem zum Zwecke der Verdeutlichung zugespitzten Grundlastszenario mit acht Wärmepumpenmodule und der fünfzigfachen PV-Fläche (10.250 kW_{Peak}) die Wärme kostenfrei abgegeben werden könnte und trotzdem noch eine positive Bilanz erzielt werden würde. Dies ist bei der Analyse der PV-Szenarien zu beachten.

Die ideale kumulierte PV-Leistung beträgt im Grundalgenzenario bei Einspeisung des überschüssigen Stroms rd. $1.300 \text{ kW}_{\text{Peak}}$. Der resultierende Mischpreis ist im Rahmen der Betrachtungsgenauigkeit mit $9,6 \text{ ct./kWh}_{\text{th}}$ gleich dem oben beschriebenen Mischpreis bei einer Verachtfachung der PV-Leistung auf $1.640 \text{ kW}_{\text{Peak}}$.

03 VERGLEICH DER WIRTSCHAFTLICHKEIT

Im Rahmen des Arbeitspakets 103 dieses Forschungsprojekts wurde ein Leitfaden für nachhaltige Wärmenetze mit Großwärmepumpen im Zentrum verfasst. Da „klassische“ Fernwärmenetze der vierten Generation (mit rd. 90 °C Vorlauftemperatur bzw. im Anwendungsfall 80 °C) in Zukunft nicht mehr mit fossilen Erzeugern betrieben werden können, ergeben sich hieraus Implikationen für die Erzeugerkonzeption. Eines der Ergebnisse der Literaturrecherche war, dass neben der bereits untersuchten Kombination aus Wärmepumpen und Photovoltaik sowie „passiven Wärmeerzeugern“ wie Abwärme und Tiefengeothermie (und ggf. noch Solarthermie) in diesen Netzen vermutlich nur noch nachhaltige Biomasse in Form von Hackschnitzeln zum Einsatz kommen wird.³¹ Entsprechend sollen in diesem Kapitel u. a. die Wärmegestehungskosten Biomassekessels zur Grundlastdeckung untersucht werden.

03.01 Vergleich zu Hackschnitzel-Biomassekesseln

Die Nutzung von Biomasse, insbesondere Hackschnitzeln zur Energieerzeugung ist kurzfristig sinnvoll und notwendig, um den Bedarf an erneuerbarer Energie zu decken. Langfristig gibt es jedoch klare Grenzen. Die Flächenverfügbarkeit für den Anbau von Energiepflanzen und die Holznutzung ist begrenzt, und die Konkurrenz mit anderen wichtigen Sektoren wie der Lebensmittel- und Bauindustrie verschärft das Problem. Die langfristige Nutzung von Biomasse, insbesondere Holz in Form von Hackschnitzeln zur Grundlastversorgung ist somit bereits aus heutiger Sicht potenziell problematisch.

Nichtsdestotrotz ist Biomasse in Form von Hackschnitzeln aufgrund der geringen investitions- sowie bedarfsgebundenen Kosten eine wirtschaftliche Alternative zu Großwärmepumpen. Im Anhang auf Seite XXXIV werden Kenngrößen eines zur Grundlastdeckung im Anwendungsfall geeigneten Biomassekessel gelistet. Nimmt man sämtliche weiteren Werte der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung als gleich an, resultiert ein Mischpreis für den Kunden im ersten Jahr und somit **Wärmegestehungskosten der Biomasse i. H. v. 7,7 ct./kWh_{th.}**. Im Anwendungsfall gestaltet sich die Biomasse somit wirtschaftlicher.

U. a. aufgrund der oben gelisteten Gründe empfiehlt das Umweltbundesamt, die Förderung von Holzheizungen im Rahmen des BEG einzustellen³². Entsprechend ist auch ein künftiger Wegfall der Förderung von Biomassekesseln in Fernwärmenetzen möglich. Bei Anlagen größer einem Megawatt ist bereits heute eine abgeänderte Brennstoffliste Teil der BEW. Klassische Hackschnitzel dürfen hiernach nicht weiter eingesetzt werden, soll die Anlage förderfähig bleiben³³. In diesem Fall resultieren **Wärmegestehungskosten der Biomasse ohne Förderung i. H. v. 7,9 ct./kWh_{th.}**.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Steigerung der jährlichen Erlöse bei obigen Berechnungen gleich jenen der Wärmepumpen-Berechnungen gehalten wurde, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. In einem

³¹ Vgl. DME Consult GmbH (Hrsg.), 2024, S. 26 ff.

³² Vgl. Umweltbundesamt (Hrsg.), 2023.

³³ Vgl. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (Hrsg.), 2023, S. 23.

Realszenario würde der Wärmemischpreis im ersten Jahr sinken, sich jedoch jährlich stärker erhöhen als im Wärmepumpenszenario³⁴.

Der Platzbedarf und die damit einhergehenden Kosten wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Es lässt sich jedoch konstatieren, dass ein einzelner Biomassekessel weniger Platz benötigt als verglichen mit dem Anwendungsfall acht Wärmepumpen. Auf der anderen Seite benötigt ein Biomassekessel ein Lager für die Biomasse (bspw. Hackschnitzelbunker), welches in der Regel mit höheren Kosten verbunden ist als jene der Aufstellfläche der Wärmepumpenlüfter.

03.02 Mit dezentralen Erzeugern

Neben anderen Wärmeerzeugern in Fernwärmesystemen steht die betrachtete Großwärmepumpe auch in Konkurrenz zu dezentralen Wärmeerzeugern oder in anderen Worten der umgangssprachlich „klassischen Heizung“. Gängige Konkurrenten sind Pelletkessel ggf. ergänzt durch Solarthermie sowie Wärmepumpen. Auf Gasheizungen wird in diesem Abschnitt nicht näher eingegangen, da diese langfristig mit 100% Wasserstoff betrieben werden müssen. Aktuell am Markt erhältliche „H2-Ready-Gasthermen“ können lediglich mit Erdgasgemischen mit rd. 20 Volumenprozenten Wasserstoff arbeiten. Zudem ist der Einsatz von Wasserstoff zur Gebäudebeheizung unter wirtschaftlichen, aber auch bezugstechnischen Gesichtspunkten zumindest kurz und mittelfristig mehr als fraglich³⁵.

Entsprechend wurden ein Pelletkessel in Verbindung mit Solarthermie³⁶ und eine Luft-Wasser-Wärmepumpe für den Vergleich herangezogen. Die getroffenen Annahmen zu diesen Erzeugern können dem Anhang entnommen werden³⁷. Abbildung 03-1 zeigt die im ersten Jahr anfallenden Kosten bei linear abgeschrieben kapitalgebundenen Kosten:

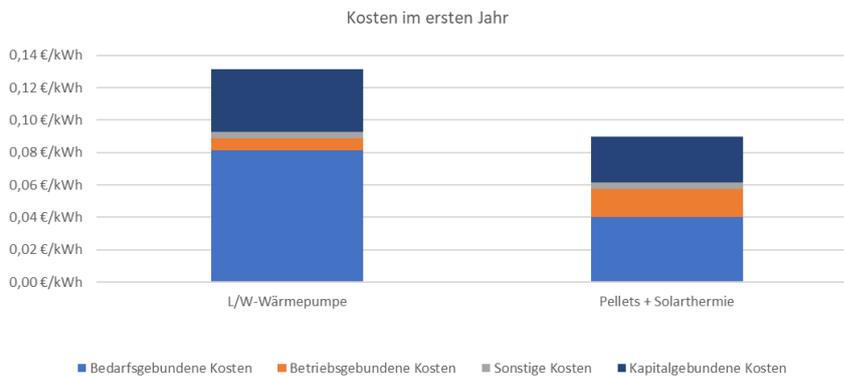


Abbildung 03-1: Kosten dezentraler Wärmeerzeugeralternativen im ersten Jahr

³⁴ Wie dem Anhang entnommen werden kann, werden die Stromkosten jährlich um 0,5 %, die Biomassekosten jedoch um 1,5 % erhöht.

³⁵ Vgl. hierzu DME Consult GmbH (Hrsg.), 2024, S. 48 ff.

³⁶ In Verbindung mit Solarthermie wird nach BEG eine erhöhte Förderung gewährt. Den Berechnungen zufolge ist mit den getroffenen Annahmen die Kombination der beiden Erzeuger wirtschaftlicher als der Verzicht auf die Solarthermie.

³⁷ Vgl. Anhang S. XXXV f.

Die Kosten für die Wärmepumpe betragen 13,1 ct./kWh_{th.}, die der Kombination aus Biomasse und Solarthermie 9,0 ct./kWh_{th.}. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist jedoch darauf zu achten, dass für die Solarthermie keine Kosten für die genutzte Dachfläche angesetzt wurden. Bei einer Installation von Photovoltaik auf der gleichen Dachfläche würden sich die Kosten der Wärmepumpe je nachdem ob überschüssiger Strom selbst genutzt werden kann oder eingespeist wird, weiter reduzieren (vgl. hierzu u. a. Kapitel 02.04). Auch sind für die Pellets gemäß der im Anhang getroffenen Annahmen stärkere Preissteigerungen über die Lebensdauer des Kessels anzusetzen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurden die Barwerte³⁸ der Alternativen über einen Betrachtungszeitraum von fünfzehn Jahren berechnet und mit den Wärmegestehungskosten der Wärmepumpe + PV bei Grundlastdeckung (9,6 ct./kWh_{th.}) verglichen:

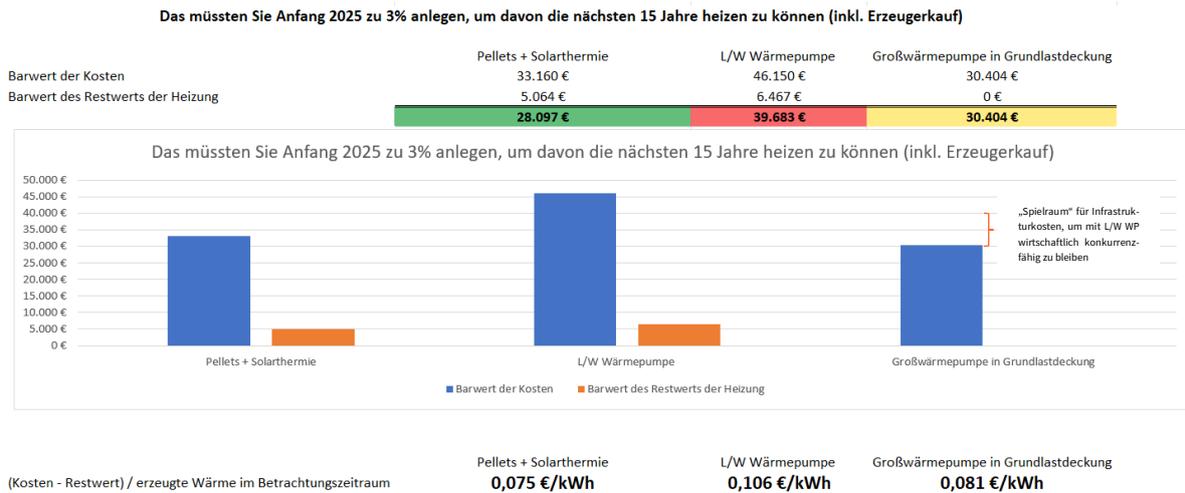


Abbildung 03-2: Vergleich der Wärmepumpe bei Grundlastdeckung mit dezentralen Wärmeerzeugern

Es zeigt sich, dass die Großwärmepumpen bei Grundlastdeckung bereits in den reinen Wärmegestehungskosten (ohne die Kosten für die benötigte Infrastruktur³⁹) kostenintensiver sind als eine dezentrale Alternative aus Pellets und Solarthermie und nur geringfügig günstiger als Luft-Wasser-Wärmepumpen. Entsprechend ist ein aus Kundensicht wirtschaftlicher Einsatz der betrachteten Wärmepumpe, stellt man sie in Konkurrenz zu einer dezentralen Wärmepumpe nur bei sehr hohen Liniendichten im Versorgungsgebiet⁴⁰ sinnvoll. Dies gilt, da in diesem Fall die entstehenden Kosten für Mittellasterzeuger, Spitzenlastpuffer, das Fernwärmenetz sowie eine Heizzentrale auf einen hohen Wärmeabsatz verteilt werden können. Im betrachteten Fall ist die Pellet-Solarthermie-Kombination jedoch auch dann wirtschaftlich vorteilhafter.

Abbildung 03-3 stellt eine Annuitätsrechnung⁴¹ in Anlehnung an die VDI 2067 dar und soll den beschriebenen Sachverhalt graphisch veranschaulichen und zwischen den Kostentreibern differenzieren:

³⁸ Der Barwert ist der Wert, den zukünftige Zahlungen in der Gegenwart besitzen.

³⁹ Beispiele hierfür sind die Heizzentrale inkl. Verrohrung, das Wärmenetz, die benötigten Wärmeübergabestationen beim Kunden, etc.

⁴⁰ Die Liniendichte (auch Wärmeabnahmedichte) beschreibt, wie viel Wärmeabsatz pro Trassenmeter Fernwärmeleitung abgesetzt werden kann.

⁴¹ Kapitalwert aller Zahlungsströme wird in Form von Konstanten Renten (positive oder negative) über Betrachtungszeitraum abgebildet.

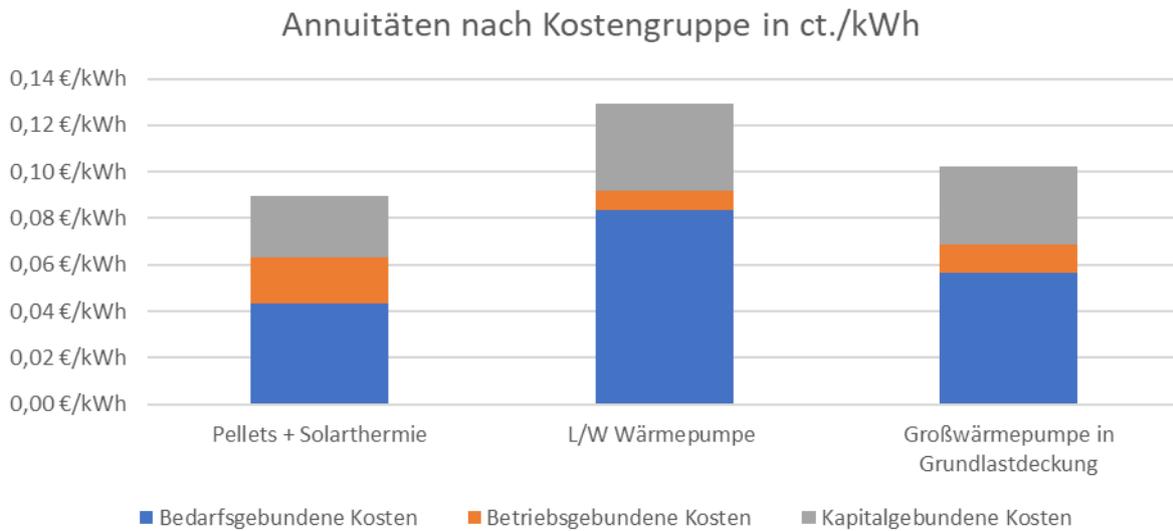


Abbildung 03-3: Annuitätsrechnung der Wärmepumpe bei Grundlastdeckung mit dezentralen Wärmeerzeugern

Es ist darauf zu achten, dass aufgrund der verschiedenen Berechnungsansätze die Kosten pro kWh in Abbildung 03-2 und Abbildung 03-3 leicht voneinander abweichen.

Der Grund der schwierigen Wettbewerbssituation der Großwärmepumpe liegt neben dem aktuell geringen Hack-schnittzelpreis an zwei wesentlichen externen Faktoren:

- Im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEW) können für die Hauptkostentreiber (Heizungsanlagen) höhere Fördersätze (rd. 50 %) von Privatpersonen abgerufen werden, als Wärmenetzbetreiber durch die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (40 %) generieren können.
- Zudem bietet die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) den „Kredit Nr.358, 359“ an, der Privatpersonen sehr vorteilhafte Konditionen zur zweckgebundenen Geldaufnahme ermöglicht. Ein entsprechendes Äquivalent für Fernwärmebetreiber existiert nicht.

Dies zeigt sich, wenn man für alle Wärmeversorgungsalternativen sämtliche Förderungen streicht und auch für Privatkunden den für den Fernwärmebetreiber anfallenden Zinssatz i. H. v. 4,5 % ansetzt⁴² (für die Wärmepumpe bei Grundlastdeckung inkl. PV wurde ein Mischpreis von 12,6 ct./kWh_{th} berechnet⁴³):

⁴² Als Tilgungszeitraum wurde der Betrachtungszeitraum (15 a) gewählt.

⁴³ Die wirtschaftlich optimale PV-Leistung beträgt in diesem Fall 1.025 kW_{Peak}; es wurde angenommen, dass überschüssiger Strom zu 4ct./kWh verkauft werden kann.

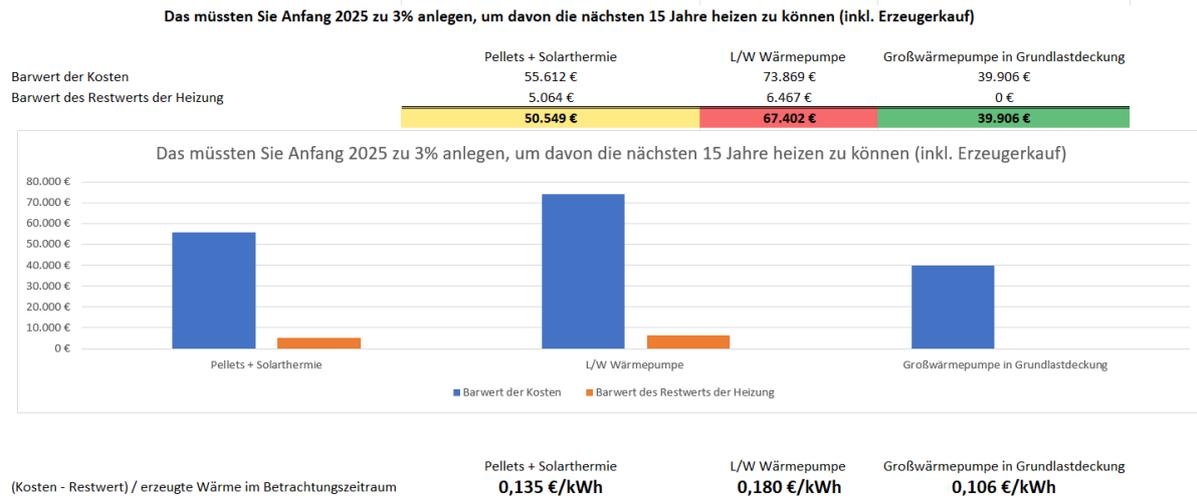


Abbildung 03-4: Förderbereinigter Vergleich der Wärmepumpe mit dezentralen Wärmeerzeugern

Nichtsdestotrotz wirken sich auch interne Faktoren wie die beschriebenen Kostentreiber für die benötigte Infrastruktur sowie die Wärmeverluste innerhalb eines Fernwärmenetzes auf die Wirtschaftlichkeit aus.

Im Fazit lässt sich demnach konstatieren, dass ein wirtschaftlicher Einsatz der untersuchten Großwärmepumpen in Fernwärmenetzen aktuell u. a. aufgrund der Förderlandschaft trotz der durch die Betriebskostenförderung bevorzugten Behandlung der Wärmepumpe im Rahmen der BEW schwer darstellbar ist.

04 AUSBLICK UND FAZIT

Im Fazit lässt sich konstatieren, dass die untersuchte Luft-Wasser-Großwärmepumpe u. a. aufgrund ihrer noch hohen Investitionskosten aus rein wirtschaftlicher Sicht nur in Einzelfällen wettbewerbsfähig sein dürfte. Dieser Faktor verstärkt sich, beachtet man, dass aufgrund der gewählten Kältemittel R1270 und R600a sogenannte Ex-Bereiche gewährleistet werden müssen, um dem Umstand, dass diese Mittel in einem theoretisch möglichen Havarietfall explosiv sind, Rechnung zu tragen. Dies führt zu erhöhten Infrastrukturkosten bspw. innerhalb einer Heizzentrale, da eine solche Wärmepumpe natürlich nicht direkt neben bspw. einem Spitzenlast-Biomassekessel installiert werden kann.

Allerdings sind diese Aussagen im Kontext der generellen technischen Entwicklung zu betrachten. Je stärker sich Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln etablieren, sinken auch deren Investitionskosten. Zudem gilt, dass zunehmend häufiger auch Konkurrenzprodukte aufgrund ähnlicher auf sie zukommender Problematiken in entsprechende Lösungen investieren müssen und somit zumindest kurzfristig Preissteigerungen zu erwarten sind.

Es ist zudem wichtig, auf die Spezifika des Anwendungsfalls hinzuweisen. Untersucht wurde ein Bestandsnetz mit einer Vorlauftemperatur von 80 °C und Luft als ganzjähriger Wärmequelle der Wärmepumpe. Künftig sinkende Vorlauftemperaturen in Fernwärmenetzen sowie die Nutzung wärmerer Quellen wie bspw. Abwärme tragen ergänzend zu einer Effizienzsteigerung von Wärmepumpen und somit sinkenden bedarfsgebundenen Kosten bei⁴⁴.

Auch sind in Zukunft v. a. im Rahmen der Sektorkopplung eine Vielzahl an Synergieeffekten, welche sich positiv auf die Wärmegestehungskosten von Großwärmepumpen auswirken können wahrscheinlich. Genannt sei hierbei exemplarisch die in diesem Bericht aufgezeigte Synergie mit Photovoltaikanlagen sowie die Nutzung von Strom zum „Nulltarif“ oder gar mit einem negativen Strompreis.

In Kombination mit Pufferspeichern kann in dieser Effekt sogar verstärkt werden. Im Resultat müssten in Spitzenzeiten der erneuerbaren Stromerzeugung weniger Erzeuger abgeschaltet werden, da die produzierte Energie in Form von (kostenfreier) Wärme gespeichert werden könnte, anstatt in Form von Strom in ein Stromnetz gespeist zu werden, das diese nicht aufnehmen kann. Weitere mögliche Synergien wie bspw. mit dem Mobilitätssektor können der bereits durchgeführten Ausarbeitung zur Relevanz von Großwärmepumpen in Fernwärmenetzen entnommen werden.⁴⁵

⁴⁴ Siehe hierzu DME Consult GmbH (Hrsg.), 2024.

⁴⁵ Siehe hierzu DME Consult GmbH (Hrsg.), 2024.

LITERATURVERZEICHNIS

Agora Energiewende (Hrsg.), Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie (IEG) (Hrsg.) , 2023;

Ahrendts, F., Drechsler, B., Hendricks, J., Küpper, J., Lang, S., Peil, T., Scholz, D., Timofeeva, E., Utri, M., Weidinger, L., Kraus, A., Weiß, U., Müller, S.: „Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland - Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie“

Abgerufen am 15.10.2024 von https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-11_DE_Large_Scale_Heatpumps/A-EW_293_Rollout_Grosswaermepumpen_WEB.pdf

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (Hrsg.), 2023:

„Bundesförderung für effiziente Wärmenetze – technische Anforderungen der Module 1 bis 4“ (Version 1.1 vom 14.02.2023)

Abgerufen am 15.10.2024 von https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/bew_merkblatt_technik.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (Hrsg.), 2024a:

„Förderübersicht: Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)“ (Version 7.1 vom 01.08.2024)

Abgerufen am 15.10.2024 von https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_modul2_pw_merkblatt_2024.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (Hrsg.), 2024b:

„Modul 2 -Prozesswärme aus Erneuerbaren Energien - Anlage zum Merkblatt Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW) – Zuschuss“ (Stand: 1. März 2024)

Abgerufen am 15.10.2024 von https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_em_foerderuebersicht.pdf?__blob=publicationFile&v=10

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (Hrsg.), 2023:

„Bundesförderung für effiziente Wärmenetze – technische Anforderungen der Module 1 bis 4“ (Version 1.1 vom 14.02.2023)

Abgerufen am 15.10.2024 von https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/bew_merkblatt_technik.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hrsg.), 2023;

Pehnt, M., Mellwig, P., Lambrecht, K., Winiewska, B., Oschatz, B., Mailach, B., Keimeyer, F., Braungardt, S., Köhler, B., Kahl, H.: „Heizen mit 65 % erneuerbaren Energien – Begleitende Analysen zur Ausgestaltung der Regelung aus dem Koalitionsvertrag 2021“ (Eine Zusammenarbeit des Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, ITG Dresden, Öko-Institut und der Stiftung Umweltenergierecht)

Abgerufen am 15.10.2024 von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/heizen-mit-65-prozent-erneuerbaren-energien.pdf?__blob=publicationFile&v=8

Bundesnetzagentur (Hrsg.), 2024:

„EEG-Förderung und -Fördersätze“

Abgerufen am 15.10.2024 von https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EEG_Foerderung/start.html

C.A.R.M.E.N. (Hrsg.), ohne Datum;

„Marktpreise Hackschnitzel - Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln“ (Stand Q3 2024)

Abgerufen am 15.10.2024 von <https://www.carmen-ev.de/service/marktueberblick/marktpreise-energieholz/marktpreise-hackschnitzel/>

Deutsche Umwelthilfe (Hrsg.), 2022:

„Netzverluste in Wärmenetzen - Fragen & Antworten“

Abgerufen am 15.10.2024 von https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Pressemitteilungen/Energie/Fernw%C3%A4rme/220923_Hintergrundpapier_Netzverluste-W%C3%A4rmenetze_final.pdf

DME Consult GmbH (Hrsg.), 2024:

Henkel, J.: „Großwärmepumpen in der Fernwärmeversorgung – Synergien schaffen: Ein Leitfaden für nachhaltige Wärmenetze mit Großwärmepumpen im Zentrum.“

Abgerufen am 15.10.2024 von: https://dme-consult.de/images/energiewende/forschungsentwicklung/WEB-240301_LoCarDi_Grosswaermepumpen_in_der_Fernwaermeversorgung.pdf

Fraunhofer UMSICHT (Hrsg.), 1998;

Dötsch, C., Taschenberger, J., Schönberg, I.: „Leitfaden Nahwärme“

Abgerufen am 15.10.2024 von <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/kompetenz/energie/leitfaden-nahwaerme.pdf&ved=2ahU-KEwi0o4yeseOIAxXcB9sEHaezCcgQFnoECBUQAQ&usg=AOvVaw3Q8mjOeQxCy1fwZix9yobM>

Netztransparenz.de (Hrsg.), ohne Datum:

„Marktwertübersicht“

Abgerufen am 15.10.2024 von <https://www.netztransparenz.de/de-de/Erneuerbare-Energien-und-Umlagen/EEG/Transparenzanforderungen/Marktpr%C3%A4mie/Marktwert%C3%BCbersicht>

Norddeutscher Rundfunk (Hrsg.), 2024;

„Strompreis aktuell: So viel kostet die Kilowattstunde“ (Stand 10.2024)

Abgerufen am 15.10.2024 von <https://www.ndr.de/nachrichten/info/Strompreis-aktuell-So-viel-kosten-die-Kilowattstunden,strompreis182.html>

QM Fernwärme (Hrsg.), 2018:

„Planungshandbuch Fernwärme“

Abgerufen am 15.10.2024 von https://www.verenum.ch/Dokumente/PLH-FW_V1.2.pdf

Umweltbundesamt (Hrsg.), 2023:

„Holzheizungen: Schlecht für Gesundheit und Klima“

Abgerufen am 15.10.2024 von: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/quellen-der-luftschadstoffe/holzheizungen-schlecht-fuer-gesundheit-klima#undefined>

GLOSSAR UND ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Bedeutung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
COP	Coefficient of Performance (zu dt. Leistungszahl)
EEW	Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz
el.	elektrisch
GWP	Großwärmepumpe
GuV	Gewinn- und Verlustrechnung
i. H. v.	In Höhe von
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
MwSt	Mehrwertsteuer
PV	Photovoltaik
th.	thermisch
WiBe	Wirtschaftlichkeitsberechnung

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 01-1: Entwicklung der Hackschnitzel- und Strompreise innerhalb der letzten Jahre	6
Abbildung 02-1: Wärmegestehungskosten in den Szenarien bei Vernachlässigung der Opportunitätskosten	9
Abbildung 02-2: Wärmegestehungskosten in den Szenarien bei Opportunitätskosten gemäß Volleinspeisung	10
Abbildung 02-3: Jahresbilanz des Verbunds aus Wärmepumpe und PV bei einem Mischpreis von 8,4 ct./kWh	13
Abbildung 02-4: Jahresbilanz der Wärmepumpe bei einem Mischpreis von 8,4 ct./kWh	13
Abbildung 02-5: Geordneter Jahreslastgang des Anwendungsfalls	15
Abbildung 02-6: Jahresbilanz der Barwerte bei vollständiger Einspeisung nach „Tarif Teileinspeisung“	17
Abbildung 02-7: Jahresbilanz der Barwerte bei Eigennutzung und Gutschrift der entfallenden Kosten	17
Abbildung 03-1: Kosten dezentraler Wärmeerzeugeralternativen im ersten Jahr	20
Abbildung 03-2: Vergleich der Wärmepumpe bei Grundlastdeckung mit dezentralen Wärmeerzeugern	21
Abbildung 03-3: Annuitätsrechnung der Wärmepumpe bei Grundlastdeckung mit dezentralen Wärmeerzeugern	22
Abbildung 03-4: Förderbereinigter Vergleich der Wärmepumpe mit dezentralen Wärmeerzeugern	23

ANHANG

Inhaltsverzeichnis des Anhangs

Kenngrößen der Wärmepumpe	VII
Kenngrößen Photovoltaikanlage.....	IX
Wärmenetz Neuburg an der Donau.....	XI
Parameter des Anwendungsfalls	XII
Parameter des Gesamtsystems aus Wärmepumpe und Photovoltaik	XIII
Berechnungen bzgl. der Wärmegestehungskosten aus Sicht der Wärmepumpe	XIV
Berechnung der Auswirkung der PV-Anlage	XVII
Wirtschaftlichkeitsberechnung (WiBe) des Gesamtsystems	XVIII
Kenngrößen des Biomassekessels.....	XXXIV
Kenngrößen dezentraler Erzeuger.....	XXXV

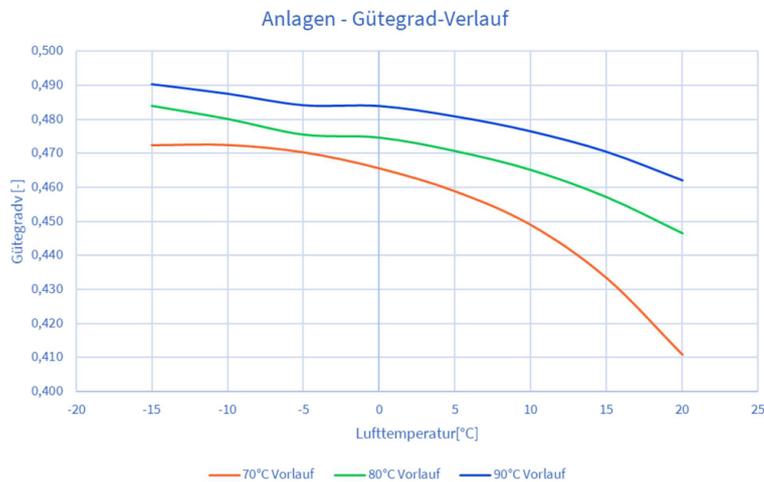
Abbildungsverzeichnis des Anhangs

Anhang 1: Gütegrad der Wärmepumpe in Abhängigkeit von Vorlauf- und Quelltemperatur	VII
Anhang 2: Simulation der Heizleistung in Abhängigkeit von Vorlauf- und Quelltemperatur.....	VII
Anhang 3: Simulation der Leistungszahl in Abhängigkeit von Vorlauf- und Quelltemperatur	VIII
Anhang 4: Ertragsprognose der projektieren Anlage	IX
Anhang 5: Für Photovoltaik projektierte Flächen.....	IX
Anhang 6: Sortierter Jahreswärmebedarf des Gesamtnetzes in Neuburg.....	XI
Anhang 7: Wärmebedarfe am Standort 2023.....	XII
Anhang 8: Außentemperatur am Standort 2023.....	XII
Anhang 9: Variabler Strompreis der Stadtwerke 2023 (Day-Ahead-Preise)	XII
Anhang 10: Wärmegestehungskosten ohne Investitionskostenförderung bei Vernachlässigung der Opportunitätskosten ...	XIV
Anhang 11: Wärmegestehungskosten ohne Investitionskostenförderung bei Opportunitätskosten gemäß Volleinspeisung	XIV
Anhang 12: Wärmegestehungskosten in den Szenarien bei Opportunitätskosten gemäß Teileinspeisung inkl. Investitionskostenförderung.....	XV
Anhang 13: Wärmegestehungskosten in den Szenarien bei Opportunitätskosten gemäß Teileinspeisung ohne Investitionskostenförderung.....	XV
Anhang 14: Wärmegestehungskosten in den Szenarien bei Opportunitätskosten gemäß Direktvermarktung ohne Investitionskostenförderung.....	XVI
Anhang 15: Jahresbilanz der Wärmepumpe bei einem Mischpreis von 8,4 ct./kWh und einem Betrachtungszeitraum von 15 Jahren	XVII
Anhang 16: Jahresbilanz des Verbunds aus Wärmepumpe und PV bei einem Mischpreis von 8,4 ct./kWh und einem Betrachtungszeitraum von 15 Jahren.....	XVII
Anhang 17: Exposé.....	XVIII
Anhang 18: Generelles und Legende.....	XVIII
Anhang 19: Jahreswärmebedarf und Jahreswärmeerzeugung	XIX
Anhang 20: Genutzte Erzeuger und Jahr der Investition	XIX
Anhang 21: Auszug der Jährliche Kosten nach Kostenart	XX
Anhang 22: Finanzflüsse ohne Einlagen/Entnahmen	XXI
Anhang 23: Kostenaufstellung der Erzeuger.....	XXII
Anhang 24: Leistung der Zahlungsströme	XXIII
Anhang 25: Jahresplan der Zahlungsströme	XXIV
Anhang 26: Berechnung der Annuität	XXV
Anhang 27: Gewinn- und Verlustrechnung (GuV)	XXV
Anhang 28: Wärmepreiskomponenten	XXVI
Anhang 29: Wärmepreis in Abhängigkeit der Anschlussleistung	XXVI
Anhang 30: Steigerung des Mischpreises der Fernwärme	XXVII
Anhang 31: Erlöse aus Förderungen	XXVII
Anhang 32: Betriebskostenförderrechnung	XXVII
Anhang 33: Berechnung der PV-Einspeisevergütung	XXVIII
Anhang 34: Angesetzte Verwaltungskosten.....	XXVIII
Anhang 35: Wirtschaftlichkeitskenndaten der Photovoltaikanlage	XXIX
Anhang 36: Wirtschaftlichkeit der Photovoltaikanlage (1/2)	XXX
Anhang 37: Wirtschaftlichkeit der Photovoltaikanlage (2/2)	XXXI
Anhang 38: Kostenverteilung der „Infrastrukturkomponenten“ auf die Wärmeerzeuger	XXXII
Anhang 39: Wirtschaftlichkeitskenndaten der Wärmepumpe	XXXIII

Kenngrößen der Wärmepumpe

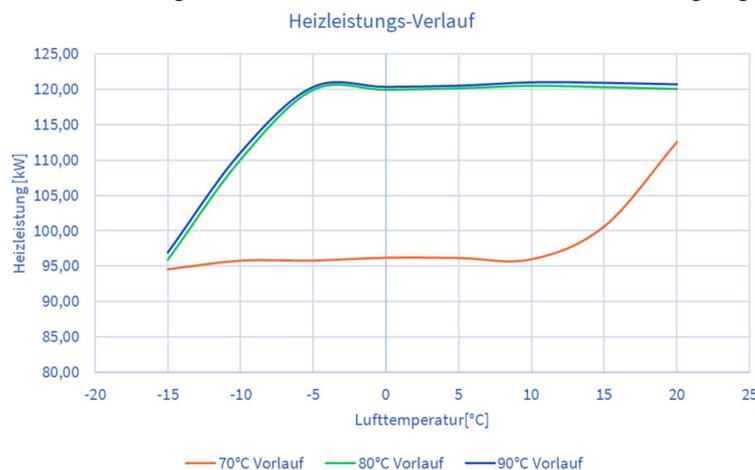
Technische Kenngrößen der Wärmepumpe sind:

- Quelle: Luft
- Vorlauftemperatur: 80 °C
- Die Wärmepumpe ist aufgrund ihres Gütegrads ($>0,4$ bei 0 °C Außenluft⁴⁶) förderfähig (vgl. Anhang 1):



Anhang 1: Gütegrad der Wärmepumpe in Abhängigkeit von Vorlauf- und Quelltemperatur

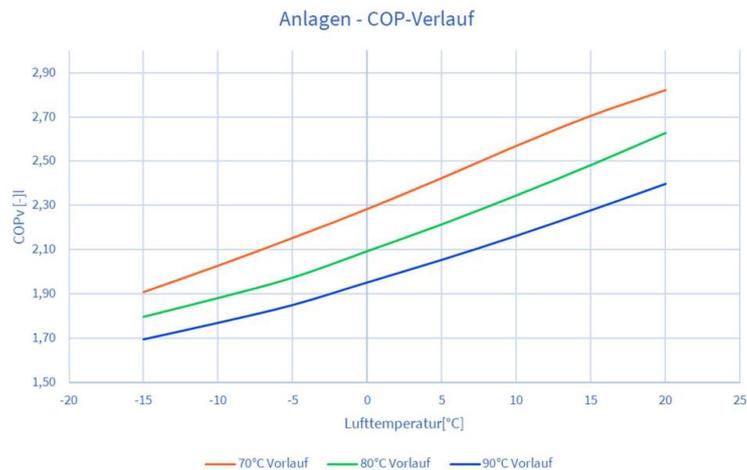
- Die Heizleistung wurde für Temperaturen kleiner -5 °C mit der Formel: $82,5 + 2,5 * (\text{Außentemperatur [°C]} + 20)$ angenähert. Ansonsten wurde sie auf 120 kW festgelegt (vgl. Anhang 2):



Anhang 2: Simulation der Heizleistung in Abhängigkeit von Vorlauf- und Quelltemperatur

- Die Leistungszahl (COP) wurde mit der Formel: $2,1 + 0,023 * \text{Außentemperatur [°C]}$ angenähert (vgl. Anhang 3). In Folge ergibt sich ein COP bei 0 °C von 2,1. Dieser ist als COP_{eff} zur Ermittlung der Betriebskostenförderung anzusetzen (vgl. vorangegangene Fußnote).

⁴⁶ In den Merkblättern der BEW ist bis zum aktuellen Zeitpunkt nicht beschrieben, für auf welche Außentemperatur sich der geforderte Gütegrad bezieht. Basierend auf einem Telefonat mit dem BAFA (09.2023) entstammt die zur Berechnung anzusetzende Formel der Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz (EEW) in welcher der Sachverhalt spezifiziert wird: „Zu beachten: Bei der Verwendung von Außenluft als Wärmequelle sind grundsätzlich der COP_{eff} und der Gütegrad auszuweisen, die bei einer Außenlufttemperatur von 0 °C erreicht werden.“ - Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (Hrsg.), 2024b, S. 8.



Anhang 3: Simulation der Leistungszahl in Abhängigkeit von Vorlauf- und Quelltemperatur

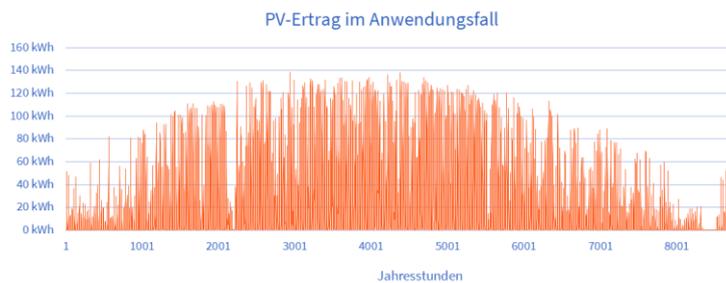
Wirtschaftliche Kenngrößen (prognostiziert) der Wärmepumpe sind:

- Modulkosten: 150.000 €
 - Planungskosten: 12 % (18.000 €)
 - Lebensdauer: 15 Jahre
 - Abschreibungszeitraum: 10 Jahre
 - Jährliche Kosten für Wartung, Instandhaltung etc.: 1,5 % des Investment (2.250 €/a)
 - Jährliche Kosten für die Bedienung: 1.200 €
 - Sonstige jährliche Kosten für Versicherung etc.: 1.000 €
-
- Die Wärmepumpe ist nach BEW zu 40 % förderfähig
 - Es ist eine Betriebskostenförderung nach BEW möglich
 - Es wird davon ausgegangen, dass die Betriebskostenförderung ein Jahr verzögert ausgezahlt wird.
 - Alle Angaben netto

Kenngrößen Photovoltaikanlage

Technische Kenngrößen der Photovoltaikanlage sind:

- Leistung: 205 kW_{Peak}
- Ertragsprognose⁴⁷: ca. 190 MWh pro Jahr



Anhang 4: Ertragsprognose der projektieren Anlage

- Standort: Neuburg an der Donau
- Montage: Auf Dach



Anhang 5: Für Photovoltaik projektierte Flächen⁴⁸

- Ausrichtung: 25 % der Module in Südausrichtung, 75 % in Ost-West-Ausrichtung
- Aufstellwinkel Südausrichtung: ca. 30°
- Aufstellwinkel Ost-West-Ausrichtung: ca. 15°

⁴⁷ Basierend auf vergleichbaren in Neuburg bereits errichteten Anlagen (Erträge des Jahres 2022)

⁴⁸ Eigene Darstellung auf Basis von: Google Earth (Einsehbar auf earth.google.com)

Wirtschaftliche Kenngrößen der Photovoltaikanlage sind⁴⁹:

• Modulkosten:	ca. 670 €/kW _{Peak}
• Wechselrichterkosten:	ca. 120 €/kW _{Peak}
• Planungskosten:	12 %
• Resultierende Gesamtkosten pro kW _{Peak} :	ca. 880 €/kW _{Peak}
• Lebensdauer Module:	30 Jahre
• Lebensdauer Wechselrichterkosten:	15 Jahre
• Abschreibungszeitraum Module und Wechselrichter:	20 Jahre
• Jährliche Kosten für Wartung, Instandhaltung etc.:	1,5 % des Investment
• Jährliche Kosten für die Bedienung:	0 €
• Sonstige jährliche Kosten für Versicherung etc.:	250 €
• Einspeisevergütung bei Volleinspeisung:	9,31 ct/kWh _{el.} ⁵⁰
• Einspeisevergütung bei Teileinspeisung:	6,14 ct/kWh _{el.} ⁵¹
• Anspruch auf Einspeisevergütung:	20 Jahre
• Erlöse nach Auslaufen der Einspeisevergütung ⁵² :	4,0 ct/kWh _{el.} (Barwert ⁵³)
• Alle Angaben netto	

⁴⁹ Basierend auf vergleichbaren in Neuburg bereits errichteten Anlagen (Stand 01.2024)

⁵⁰ Stand: Februar 2024

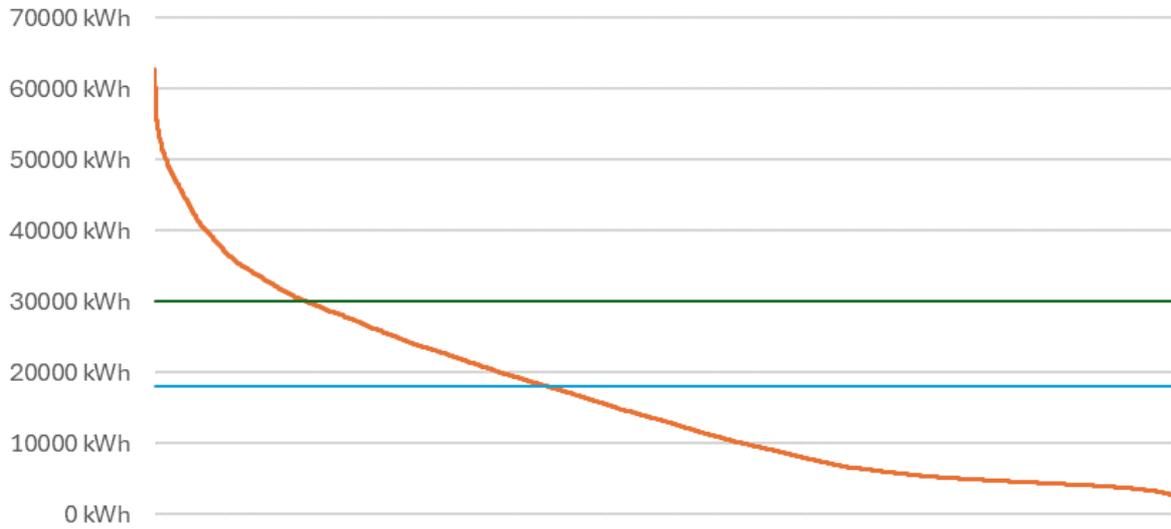
⁵¹ Stand: Februar 2024

⁵² Annahme basierend auf Daten der Jahre 2019 bis 2021 (vor dem Anstieg durch die Ukraine-Krise); Siehe hierzu: Netztransparenz.de (Hrsg.), o. D.

⁵³ Wert für das erste Jahr. Anschließend werden die Erlöse gemäß der Preissteigerung für Strom aufgezinnt. Entsprechend wird bei erstmaliger Direktvermarktung nach 20 Jahren mit einem aufgezinnten Wert gerechnet.

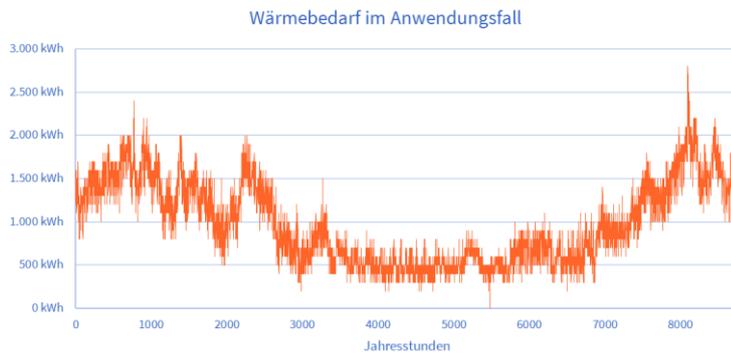
Wärmenetz Neuburg an der Donau

Wärmebedarf Sortiert



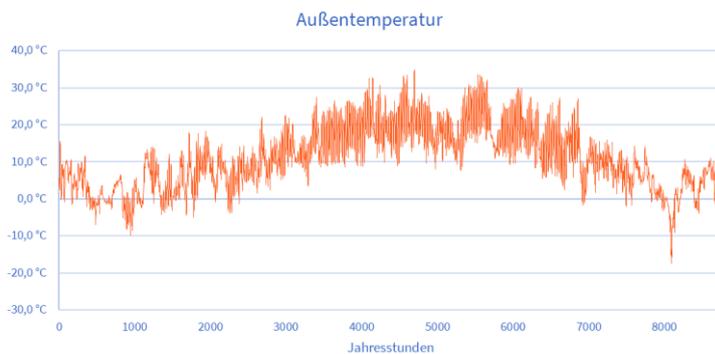
Anhang 6: Sortierter Jahreswärmebedarf des Gesamtnetzes in Neuburg

Parameter des Anwendungsfalls
Wärmebedarfe am Standort (Neuburg – Teilnetz B3):



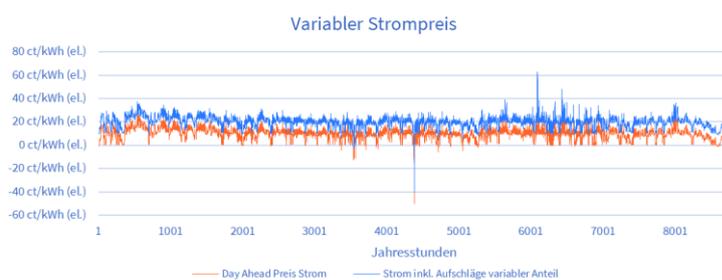
Anhang 7: Wärmebedarfe am Standort 2023

Außentemperatur am Standort:



Anhang 8: Außentemperatur am Standort 2023

Variabler Strompreis der Stadtwerke:



Anhang 9: Variabler Strompreis der Stadtwerke 2023 (Day-Ahead-Preise)

Fixer Strompreis der Stadtwerke:

- Leistungspreis: ca. 17 €/kW
- Messpreis: ca. 620 €

Parameter des Gesamtsystems aus Wärmepumpe und Photovoltaik

Folgende Kenngrößen wurden als Basis der Wirtschaftlichkeitsanalyse des Gesamtsystems angesetzt:

- Wärmeverluste: 15 %⁵⁴
- Zinssatz für Fremdkapital: 4,5 %
- Zinssatz für Eigenkapital: 3,0 %
- Zinssatz zur Berechnung des Barwerts: 3,0 %⁵⁵
- Preissteigerungsfaktoren:
 - Strom: 0,5 %⁵⁶
 - Erlöse aus Wärmeverkauf: 0,7 %⁵⁷
 - Kapitalgebundene Kosten: 0,5 %⁵⁸
 - Bedienungskosten: 2,0 %⁵⁹
 - Kosten für Wartung & Instandhaltung: 2,5 %⁶⁰
 - Sonstige Kosten: 2 %⁶¹
 - Fixkosten (Strom): 0,5 %⁶²
- Mittlerer Steuersatz für Gewinne: 30 %

Es wird davon ausgegangen, dass für Reinvestitionen keine Förderungen mehr zur Verfügung stehen. Zudem wird angenommen, dass zwischen der Beantragung der Fördergelder bzw. dem Begleichen der Komponentenkosten und dem Eintreffen der Förderung ein halbes Jahr liegt, in welchem die Förderung auf eigene Kosten „zwischenfinanziert“ werden muss.

⁵⁴ Annahme in Anlehnung an Analyse: Deutsche Umwelthilfe (Hrsg.), 2022, S. 2.

⁵⁵ Ein Abweichen vom Zinssatz für Eigenkapital ist nur in Spezialfällen sinnvoll

⁵⁶ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hrsg.), 2023, S.51.

⁵⁷ Da nur die auf den Arbeitspreis entfallenden Erlöse betrachtet werden, wird diese Kenngröße stark dem Preissteigerungsfaktor der primären bedarfsgebundenen Kosten (Strom) angeglichen, jedoch aufgrund der im direkten Vergleich stark steigenden weiteren Preissteigerungsfaktoren leicht erhöht. Auf diese Weise soll die Differenz zwischen Erlösen und Kosten konstant bleiben, solange keine externen Faktoren (bspw. Wegfall der Betriebskostenförderung oder der Einspeisevergütung) Einfluss nehmen.

⁵⁸ In Bezug auf: Statistisches Bundesamt „Erzeugerpreisindex gewerblicher Produkte: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis“ - GP19-281 "Nicht wirtschaftszweigspezifische Maschinen"; Es wird davon ausgegangen, dass im konkreten Fall, Technologiesprünge und eine steigende Lernkurve der mittleren Steigerung seit 2014 von 2,6 % entgegenstehen.

⁵⁹ In Bezug auf: Statistisches Bundesamt - WZ08-D Energieversorgung "Index d.tarifl. Stundenverdienste mit Sonderzahl."

⁶⁰ In Bezug auf: Statistisches Bundesamt - GP19-3312 "Reparatur und Instandhaltung von Maschinen"

⁶¹ Annahme des Autors auf Basis der bisher gelisteten Steigerungsfaktoren für den Anwendungsfall

⁶² In Anlehnung an Strom.

Berechnungen bzgl. der Wärmegestehungskosten aus Sicht der Wärmepumpe

Komplettnutzung:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
10,112 ct/kWh (th.)	7,763 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
9,888 ct/kWh (th.)	7,527 ct/kWh (th.)	983.205 kWh
9,704 ct/kWh (th.)	7,317 ct/kWh (th.)	823.673 kWh
9,701 ct/kWh (th.)	7,306 ct/kWh (th.)	755.400 kWh
9,770 ct/kWh (th.)	7,366 ct/kWh (th.)	657.000 kWh
9,980 ct/kWh (th.)	7,566 ct/kWh (th.)	544.800 kWh
22,634 ct/kWh (th.)	20,206 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
5,727 ct/kWh (th.)	1,736 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
5,013 ct/kWh (th.)	1,130 ct/kWh (th.)	936.090 kWh
3,372 ct/kWh (th.)	0,145 ct/kWh (th.)	637.297 kWh
3,119 ct/kWh (th.)	0,099 ct/kWh (th.)	573.457 kWh
3,092 ct/kWh (th.)	0,091 ct/kWh (th.)	561.217 kWh
3,091 ct/kWh (th.)	0,091 ct/kWh (th.)	560.137 kWh
3,091 ct/kWh (th.)	0,091 ct/kWh (th.)	560.137 kWh

Anwendungsfall:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
10,113 ct/kWh (th.)	7,764 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
9,889 ct/kWh (th.)	7,528 ct/kWh (th.)	982.965 kWh
9,704 ct/kWh (th.)	7,318 ct/kWh (th.)	823.433 kWh
9,701 ct/kWh (th.)	7,307 ct/kWh (th.)	755.160 kWh
9,771 ct/kWh (th.)	7,367 ct/kWh (th.)	656.760 kWh
9,981 ct/kWh (th.)	7,567 ct/kWh (th.)	544.560 kWh
22,634 ct/kWh (th.)	20,206 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
7,930 ct/kWh (th.)	3,398 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
6,462 ct/kWh (th.)	2,330 ct/kWh (th.)	595.919 kWh
6,249 ct/kWh (th.)	2,294 ct/kWh (th.)	512.759 kWh
6,157 ct/kWh (th.)	2,306 ct/kWh (th.)	469.799 kWh
6,117 ct/kWh (th.)	2,342 ct/kWh (th.)	439.919 kWh
6,108 ct/kWh (th.)	2,413 ct/kWh (th.)	411.599 kWh
6,133 ct/kWh (th.)	2,512 ct/kWh (th.)	385.559 kWh

Anhang 10: Wärmegestehungskosten ohne Investitionskostenförderung bei Vernachlässigung der Opportunitätskosten

Komplettnutzung:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
10,112 ct/kWh (th.)	7,763 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
9,888 ct/kWh (th.)	7,527 ct/kWh (th.)	983.205 kWh
9,704 ct/kWh (th.)	7,317 ct/kWh (th.)	823.673 kWh
9,701 ct/kWh (th.)	7,306 ct/kWh (th.)	755.400 kWh
9,770 ct/kWh (th.)	7,366 ct/kWh (th.)	657.000 kWh
9,980 ct/kWh (th.)	7,566 ct/kWh (th.)	544.800 kWh
22,634 ct/kWh (th.)	20,206 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
7,769 ct/kWh (th.)	3,760 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
7,092 ct/kWh (th.)	3,308 ct/kWh (th.)	850.897 kWh
6,971 ct/kWh (th.)	3,291 ct/kWh (th.)	792.817 kWh
6,841 ct/kWh (th.)	3,323 ct/kWh (th.)	719.857 kWh
6,738 ct/kWh (th.)	3,528 ct/kWh (th.)	637.297 kWh
6,737 ct/kWh (th.)	3,588 ct/kWh (th.)	624.217 kWh
6,747 ct/kWh (th.)	3,643 ct/kWh (th.)	612.817 kWh

Anwendungsfall:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
10,113 ct/kWh (th.)	7,764 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
9,889 ct/kWh (th.)	7,528 ct/kWh (th.)	982.965 kWh
9,704 ct/kWh (th.)	7,318 ct/kWh (th.)	823.433 kWh
9,701 ct/kWh (th.)	7,307 ct/kWh (th.)	755.160 kWh
9,771 ct/kWh (th.)	7,367 ct/kWh (th.)	656.760 kWh
9,981 ct/kWh (th.)	7,567 ct/kWh (th.)	544.560 kWh
22,634 ct/kWh (th.)	20,206 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
9,022 ct/kWh (th.)	4,472 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
8,810 ct/kWh (th.)	4,273 ct/kWh (th.)	1.001.298 kWh
8,457 ct/kWh (th.)	4,001 ct/kWh (th.)	836.759 kWh
8,381 ct/kWh (th.)	3,985 ct/kWh (th.)	767.879 kWh
8,329 ct/kWh (th.)	4,021 ct/kWh (th.)	689.759 kWh
8,327 ct/kWh (th.)	4,164 ct/kWh (th.)	595.919 kWh
8,394 ct/kWh (th.)	4,402 ct/kWh (th.)	512.759 kWh

Anhang 11: Wärmegestehungskosten ohne Investitionskostenförderung bei Opportunitätskosten gemäß Volleinspeisung

Komplettnutzung:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
9,685 ct/kWh (th.)	7,337 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
9,433 ct/kWh (th.)	7,071 ct/kWh (th.)	983.205 kWh
9,160 ct/kWh (th.)	6,774 ct/kWh (th.)	823.673 kWh
9,108 ct/kWh (th.)	6,713 ct/kWh (th.)	755.400 kWh
9,088 ct/kWh (th.)	6,684 ct/kWh (th.)	657.000 kWh
9,158 ct/kWh (th.)	6,743 ct/kWh (th.)	544.800 kWh
11,002 ct/kWh (th.)	8,573 ct/kWh (th.)	226.920 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
6,649 ct/kWh (th.)	2,652 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
5,206 ct/kWh (th.)	1,705 ct/kWh (th.)	719.857 kWh
4,976 ct/kWh (th.)	1,647 ct/kWh (th.)	660.697 kWh
4,892 ct/kWh (th.)	1,680 ct/kWh (th.)	637.297 kWh
4,813 ct/kWh (th.)	1,739 ct/kWh (th.)	603.817 kWh
4,806 ct/kWh (th.)	1,759 ct/kWh (th.)	593.857 kWh
4,808 ct/kWh (th.)	1,805 ct/kWh (th.)	573.457 kWh

Anwendungsfall:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
9,686 ct/kWh (th.)	7,337 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
9,433 ct/kWh (th.)	7,072 ct/kWh (th.)	982.965 kWh
9,160 ct/kWh (th.)	6,774 ct/kWh (th.)	823.433 kWh
9,108 ct/kWh (th.)	6,714 ct/kWh (th.)	755.160 kWh
9,089 ct/kWh (th.)	6,685 ct/kWh (th.)	656.760 kWh
9,159 ct/kWh (th.)	6,744 ct/kWh (th.)	544.560 kWh
11,002 ct/kWh (th.)	8,573 ct/kWh (th.)	226.920 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
8,225 ct/kWh (th.)	3,686 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
7,129 ct/kWh (th.)	2,838 ct/kWh (th.)	689.759 kWh
6,942 ct/kWh (th.)	2,799 ct/kWh (th.)	595.919 kWh
6,792 ct/kWh (th.)	2,824 ct/kWh (th.)	512.759 kWh
6,732 ct/kWh (th.)	2,867 ct/kWh (th.)	469.799 kWh
6,709 ct/kWh (th.)	2,920 ct/kWh (th.)	439.919 kWh
6,716 ct/kWh (th.)	3,005 ct/kWh (th.)	411.599 kWh

Anhang 12: Wärmegestehungskosten in den Szenarien bei Opportunitätskosten gemäß Teileinspeisung inkl. Investitionskostenförderung

Komplettnutzung:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
10,112 ct/kWh (th.)	7,763 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
9,888 ct/kWh (th.)	7,527 ct/kWh (th.)	983.205 kWh
9,704 ct/kWh (th.)	7,317 ct/kWh (th.)	823.673 kWh
9,701 ct/kWh (th.)	7,306 ct/kWh (th.)	755.400 kWh
9,770 ct/kWh (th.)	7,366 ct/kWh (th.)	657.000 kWh
9,980 ct/kWh (th.)	7,566 ct/kWh (th.)	544.800 kWh
22,634 ct/kWh (th.)	20,206 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
7,076 ct/kWh (th.)	3,078 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
5,829 ct/kWh (th.)	2,328 ct/kWh (th.)	719.857 kWh
5,654 ct/kWh (th.)	2,325 ct/kWh (th.)	660.697 kWh
5,595 ct/kWh (th.)	2,383 ct/kWh (th.)	637.297 kWh
5,555 ct/kWh (th.)	2,481 ct/kWh (th.)	603.817 kWh
5,560 ct/kWh (th.)	2,513 ct/kWh (th.)	593.857 kWh
5,624 ct/kWh (th.)	2,640 ct/kWh (th.)	559.537 kWh

Anwendungsfall:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
10,113 ct/kWh (th.)	7,764 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
9,889 ct/kWh (th.)	7,528 ct/kWh (th.)	982.965 kWh
9,704 ct/kWh (th.)	7,318 ct/kWh (th.)	823.433 kWh
9,701 ct/kWh (th.)	7,307 ct/kWh (th.)	755.160 kWh
9,771 ct/kWh (th.)	7,367 ct/kWh (th.)	656.760 kWh
9,981 ct/kWh (th.)	7,567 ct/kWh (th.)	544.560 kWh
22,634 ct/kWh (th.)	20,206 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
8,651 ct/kWh (th.)	4,113 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
8,422 ct/kWh (th.)	3,897 ct/kWh (th.)	1.001.298 kWh
7,882 ct/kWh (th.)	3,502 ct/kWh (th.)	767.879 kWh
7,778 ct/kWh (th.)	3,487 ct/kWh (th.)	689.759 kWh
7,694 ct/kWh (th.)	3,551 ct/kWh (th.)	595.919 kWh
7,666 ct/kWh (th.)	3,698 ct/kWh (th.)	512.759 kWh
7,686 ct/kWh (th.)	3,820 ct/kWh (th.)	469.799 kWh

Anhang 13: Wärmegestehungskosten in den Szenarien bei Opportunitätskosten gemäß Teileinspeisung ohne Investitionskostenförderung

Komplettnutzung:

Berechnung ohne PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
10,112 ct/kWh (th.)	7,763 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
9,888 ct/kWh (th.)	7,527 ct/kWh (th.)	983.205 kWh
9,704 ct/kWh (th.)	7,317 ct/kWh (th.)	823.673 kWh
9,701 ct/kWh (th.)	7,306 ct/kWh (th.)	755.400 kWh
9,770 ct/kWh (th.)	7,366 ct/kWh (th.)	657.000 kWh
9,980 ct/kWh (th.)	7,566 ct/kWh (th.)	544.800 kWh
22,634 ct/kWh (th.)	20,206 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
6,604 ct/kWh (th.)	2,609 ct/kWh (th.)	1.050.412 kWh
5,141 ct/kWh (th.)	1,643 ct/kWh (th.)	719.857 kWh
4,904 ct/kWh (th.)	1,574 ct/kWh (th.)	660.697 kWh
4,818 ct/kWh (th.)	1,605 ct/kWh (th.)	637.297 kWh
4,726 ct/kWh (th.)	1,678 ct/kWh (th.)	593.857 kWh
4,726 ct/kWh (th.)	1,720 ct/kWh (th.)	573.457 kWh
4,735 ct/kWh (th.)	1,749 ct/kWh (th.)	561.217 kWh

Anwendungsfall:

Berechnung ohne PV

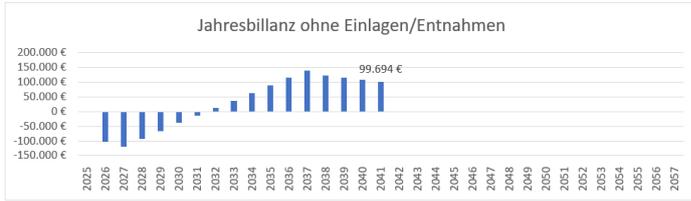
ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
10,113 ct/kWh (th.)	7,764 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
9,889 ct/kWh (th.)	7,528 ct/kWh (th.)	982.965 kWh
9,704 ct/kWh (th.)	7,318 ct/kWh (th.)	823.433 kWh
9,701 ct/kWh (th.)	7,307 ct/kWh (th.)	755.160 kWh
9,771 ct/kWh (th.)	7,367 ct/kWh (th.)	656.760 kWh
9,981 ct/kWh (th.)	7,567 ct/kWh (th.)	544.560 kWh
22,634 ct/kWh (th.)	20,206 ct/kWh (th.)	93.720 kWh

Berechnung inkl. PV

ohne Förderung	Inkl. BetrKo-Förderung	Ertrag
8,399 ct/kWh (th.)	3,863 ct/kWh (th.)	1.050.172 kWh
7,543 ct/kWh (th.)	3,166 ct/kWh (th.)	767.879 kWh
7,402 ct/kWh (th.)	3,115 ct/kWh (th.)	689.759 kWh
7,262 ct/kWh (th.)	3,124 ct/kWh (th.)	595.919 kWh
7,169 ct/kWh (th.)	3,206 ct/kWh (th.)	512.759 kWh
7,150 ct/kWh (th.)	3,290 ct/kWh (th.)	469.799 kWh
7,163 ct/kWh (th.)	3,380 ct/kWh (th.)	439.919 kWh

Anhang 14: Wärmegestehungskosten in den Szenarien bei Opportunitätskosten gemäß Direktvermarktung ohne Investitionskostenförderung

Berechnung der Auswirkung der PV-Anlage



Restwert
(am Ende des Betrachtungszeitraums oder bei Ausscheiden)

Luft/Wasser Wärmepumpe	0 €
Photovoltaik	0 €
Wechselrichter (inkl. Batterie)	0 €

0 €



Barwert der Restwerte
(am Ende des Betrachtungszeitraums oder bei Ausscheiden)

Luft/Wasser Wärmepumpe	0 €
Photovoltaik	0 €
Wechselrichter (inkl. Batterie)	0 €

0 €

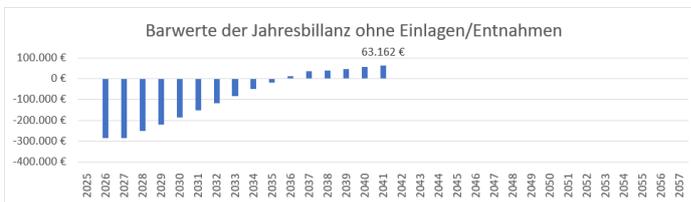
Anhang 15: Jahresbilanz der Wärmepumpe bei einem Mischpreis von 8,4 ct./kWh und einem Betrachtungszeitraum von 15 Jahren



Restwert
(am Ende des Betrachtungszeitraums oder bei Ausscheiden)

Luft/Wasser Wärmepumpe	0 €
Photovoltaik	68.798 €
Wechselrichter (inkl. Batterie)	0 €

68.798 €



Barwert der Restwerte
(am Ende des Betrachtungszeitraums oder bei Ausscheiden)

Luft/Wasser Wärmepumpe	0 €
Photovoltaik	44.159 €
Wechselrichter (inkl. Batterie)	0 €

44.159 €

Anhang 16: Jahresbilanz des Verbunds aus Wärmepumpe und PV bei einem Mischpreis von 8,4 ct./kWh und einem Betrachtungszeitraum von 15 Jahren



Wirtschaftlichkeitsberechnung (WiBe) des Gesamtsystems

Projekt

LoCarDi (Projektname)
 AP 104 (Projektnummer)
 Projektträger Jülich (Kunde)

Betrachtungsjahre

Startjahr [Anfang des Jahres: ____] 2025
 Inbetriebnahme [Q4 des Vorjahres von: ____] 2026
 Betrachtungszeitraum 30 Jahre (bis Anfang 2056)

Szenario

Installation einer Wärmepumpe mit einer Maximalleistung von 120 kW, welche wenn möglich mit einer 205 kW(Peak) PV-Anlage gespeist wird. Bei Netzbezug wird die Wärmepumpe bei Wärmeproduktionskosten von weniger als 9 ct/kWh(th) genutzt. Die zugrundeliegenden Strompreise entsprechen den von den Stadtwerken Neuburg dokumentierten „Day Ahead Preisen“ des Jahres 2023 inklusive den tatsächlich angefallenen Steuern, Umlagen und Netzentgelten. Die maximale Wärmeabnahme entspricht den tatsächlichen Bedarfen in Neuburg (Netz B3)

Wirtschaftliche Eckdaten

Investitionen für Komponenten in den ersten 5 Jahren*	351.662 € (bis 2031)
Einmalige Kosten in den ersten 5 Jahren	0 € (bis 2031)
Fördermittel in den ersten 5 Jahren	<u>-67.536 € (bis 2031)</u>
	284.126 €
Baukostenzuschuss	<u>0 € (2025)</u>
	284.126 €
*exkl. Zinsen	
Jährliche Erlöse im ersten Jahr mit Vollanschluss	58.818 € (2027)
Jährliche Kosten im ersten Jahr mit Vollanschluss	<u>-45.429 € (2027)</u>
	13.389 €
Zinskosten in den ersten 15 Jahren	67.771 € (bis 2041)

Wirtschaftlicher Erfolg / Kennzahlen

Kosten bis zum Ende des Betrachtungszeitraums	-2.272.237 € (2056)	→	Barwert der kumulierten Jahresgesamtzahlungen	8.072 € (Basis 2026)
Erlöse bis zum Ende des Betrachtungszeitraums*	<u>2.362.491 € (2056)</u>		Barwerte der Restwerte der Komponenten	<u>0 € (Basis 2026)</u>
	90.254 €		Annuitätsfaktor	0,0510 (Basis 30 Jahre)
Restwert der Komponenten	<u>0 € (2056)</u>		Annuität der Jahresgesamtzahlungen	412 € (von 2026 bis 2056)
	90.254 €			

*inkl. Förderung

"Schwarze" Zahlen

Jahr der Amortisation*	/	Jahr der ersten positiven GUV*	2028
Jahr der Amortisation auf Barwertbasis*	/	Jahr der ersten positiven kumulierten GUV*	2033

*Definiert als 11 Jahre in Folge positive Jahresbilanz (exkl. Ein- und Auszahlungen)

*Definiert als 11 Jahre in Folge positiv (exkl. Ein- und Auszahlungen)

Anhang 17: Exposé

Generelles

Startjahr [Anfang des Jahres: ____]	-	2025	Bezugspunkt für die Kostenschätzungen
Inbetriebnahme [Q4 des Vorjahres von: ____]	-	2026	
Prozentsatz Kunden Q4	%	0%	
Betrachtungszeitraum	a	30	ab Inbetriebnahme, demnach bis Anfang 2056

Reinvestitionen im letzten Betrachtungsjahr werden nicht angesetzt

Legende

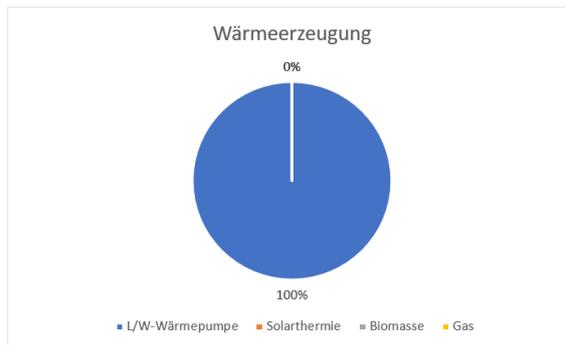
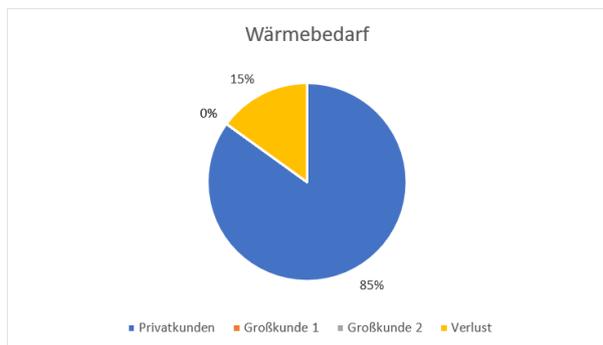
Inputparameter
Ergebnis geht in Jahresplan oder Annuität
In Jahresplan: Wert kommt aus anderer Tabelle
Beschreibung / Einheit oder Ergebnis einer Formel

Alle Angaben entsprechen Nettopreisen (außer es wird entsprechend deklariert)

Ergebnis für weitere Erzeugerberechnungen

Anhang 18: Generelles und Legende

Jahreswärmebedarf und Jahreswärmeerzeugung



Wärmebedarf 652.697 kWh

Privatkunden	652.697 kWh
Großkunde 1	0 kWh
Großkunde 2	0 kWh

Verlust	115.182 kWh
%-satz des Kundenbedarfs	17,6%

Kontrollsumme 767.879 kWh

Wärmeerzeugung 767.879 kWh

L/W-Wärmepumpe	767.879 kWh	100%	6.399 Vbh
Solarthermie	0 kWh	0%	
Biomasse	0 kWh	0%	
Gas	0 kWh	0%	

davon Wärmeverluste	15,0%
---------------------	-------

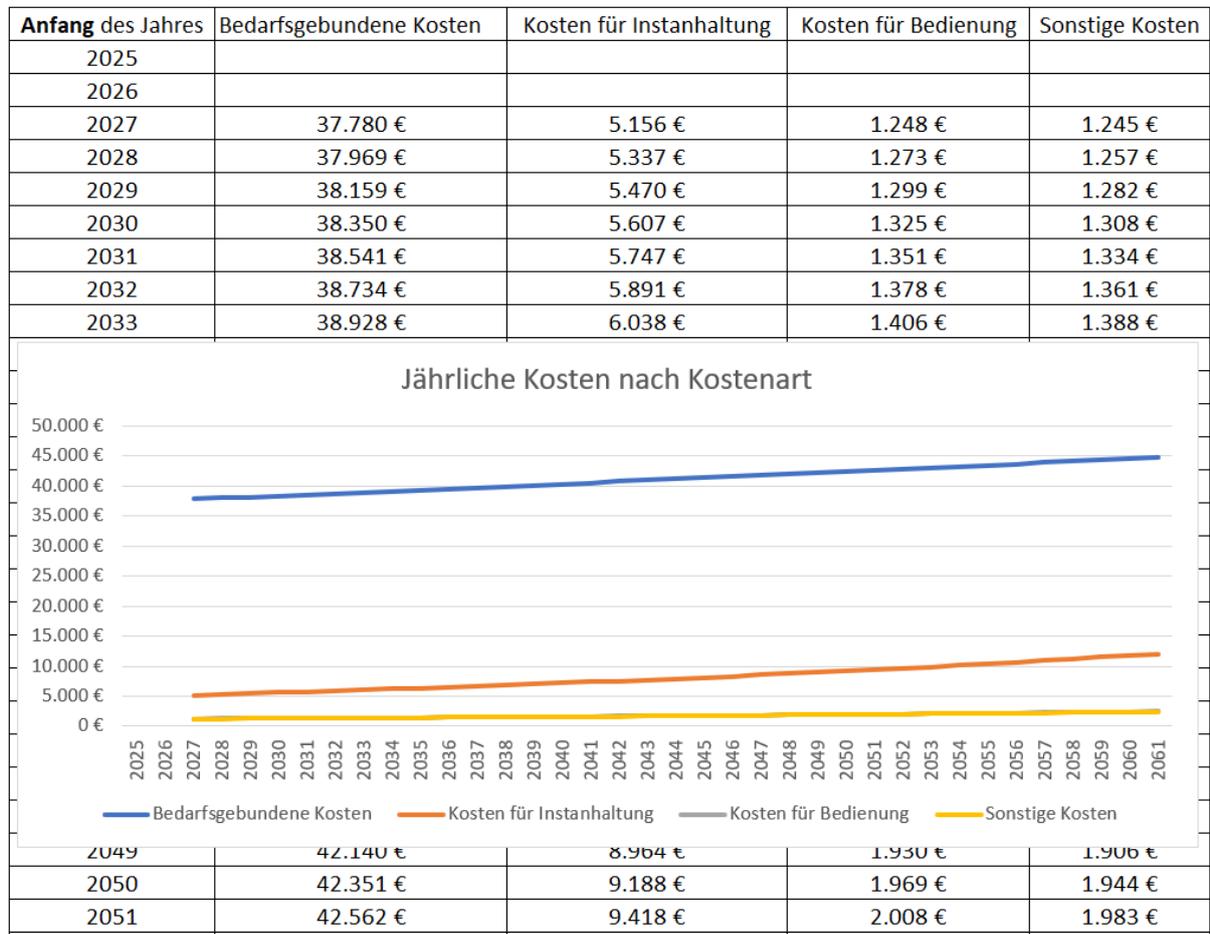
Anhang 19: Jahreswärmebedarf und Jahreswärmeerzeugung

Erzeuger / Infrastruktur	In Betrachtung enthalten?	Zu Jahresbeginn:		Ausscheiden des Erzeugers
		Investition Planung	Investition Komponenten	
Mehrkosten Technische Anlagen Bestand	Nein			
Heizzentrale	Nein			
Technische Anlagen	Nein			
Trasse	Nein			
Wärmetauscher Kunden	Nein			
Sole/Wasser Wärmepumpe	Nein			
Trasse Erdwärme	Nein			
Wärmetauscher Erdwärme	Nein			
Sondenfeld / Kollektorfeld	Nein			
Trasse Bodenregeneration	Nein			
Wärmetauscher Bodenregeneration	Nein			
Boden-Regenerationssystem	Nein			
Biomasse	Nein			
Gaskessel Neu	Nein			
Luft/Wasser Wärmepumpe	Ja	2026	2026	Nein
Wasser/Wasser Wärmepumpe	Nein			
Gaskessel Bestand	Nein			
Photovoltaik	Ja	2026	2026	Nein
Solarthermie	Nein			
Pufferspeicher	Nein			
		Beginn	Ende	
Jährliche Kapitaleinlagen	Nein			/
Jährliche Kapitalentnahmen	Nein			/
Fixkosten (Strom, Verwaltung, Jahresabschluss etc.)	Ja	/	/	/

Abstand zw. Planung und Invest wird so für Reinvestition beibehalten

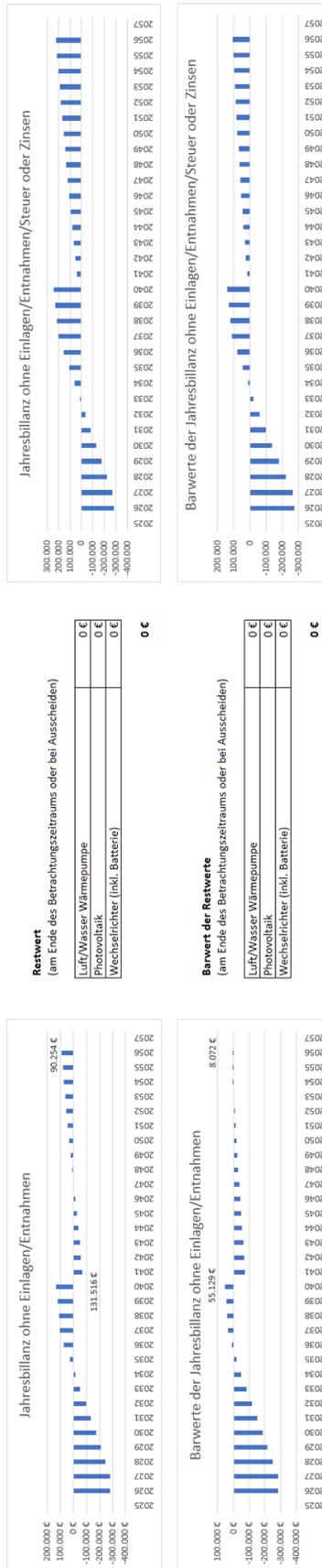
Anhang 20: Genutzte Erzeuger und Jahr der Investition

Jährliche Kosten nach Kostenart



Anhang 21: Auszug der Jährliche Kosten nach Kostenart

Finanzflüsse ohne Einlagen/Entnahmen



Hinweis: Es wird die Annahme getroffen, dass eine Kombination aus Annuitätendarlehen und Ratenkrediten gewählt wird, um sämtliche nicht in den Einlage- und Entnahmespalten entnommenen Überschüsse zur Deckung der Kredite zu verwenden. Auch werden Reinvestitionen, die auf das letzte Betrachtungsjahr fallen würden, nicht angesetzt.

Anhang 22: Finanzflüsse ohne Einlagen/Entnahmen

Variable Kosten in den ersten Jahren

	Erstmaliger Kosteneingang Anfang:	Höhe beim ersten Eingang
Kosten Q4 2025	2026	- €
Kosten im ersten Jahr	2027	45.429 €
Kosten im ersten Jahr mit Vollanschluss	2028	45.837 €

Einmalige Zusatzkosten in den ersten Jahren

Jahresanfang	Kosten	Barwert	Begründung
2025	- €	- €	
2026	- €	- €	
2027	- €	- €	
2028	- €	- €	
2029	- €	- €	
2030	- €	- €	
2031	- €	- €	
2032	- €	- €	
2033	- €	- €	
2034	- €	- €	

Erlöse in den ersten Jahren

	Erstmaliger Eingang Anfang:	Aus Wärmeverkauf	Aus Förderungen	Anmerkung
Erlöse 2025 (Q4)	2026	- €	- €	Annahme keine Kunden in Q4
Erlöse im ersten Jahr	2027	54.666 €	- €	Bereits hier Vollanschluss
Erlöse im ersten Jahr mit Vollanschluss	2028	55.049 €	- €	
Baukostenzuschuss	2025	- €		

Einmalige Einlagen / Entnahmen in den ersten Jahren

Jahr	Kosten	Barwert	Begründung
2025	- €	- €	
2026	- €	- €	
2027	- €	- €	
2028	- €	- €	
2029	- €	- €	
2030	- €	- €	
2031	- €	- €	
2032	- €	- €	
2033	- €	- €	
2034	- €	- €	
2035	- €	- €	
2036	- €	- €	
2037	- €	- €	
2038	- €	- €	
2039	- €	- €	
2040	- €	- €	
2041	- €	- €	

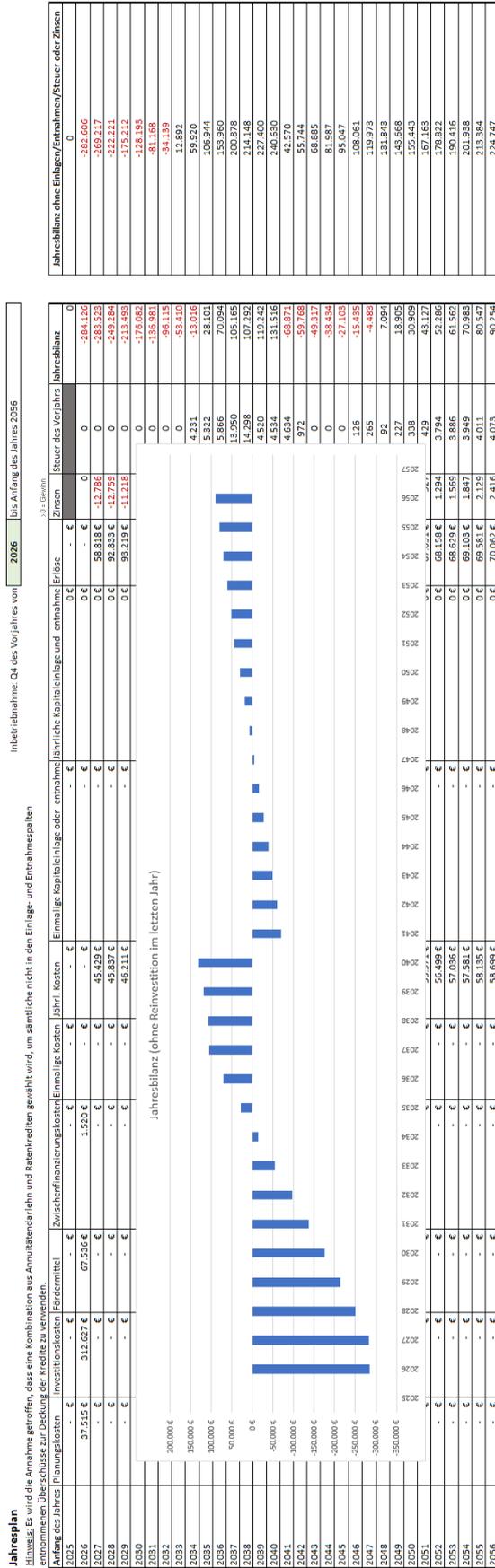
Jährliche Einzahlung / Tilgung

	Beginn	Ende	Höhe beim ersten Eingang
Jährliche Einzahlung			

Jährliche Entnahmen

	Beginn	Ende	Höhe beim ersten Eingang
Jährliche Entnahmen			

Anhang 24: Listung der Zahlungsströme



Anhang 25: Jahresplan der Zahlungsströme

Komponente	In Betrachtung enthalten	Ausscheiden des Erzeugers	Restwert am Ende des Betrachtungszeitraums oder bei	Barwert des Restwerts
Luft/Wasser Wärmepumpe	Ja	Nein	0 €	0 €
Photovoltaik	Ja	Nein	0 €	0 €
Wechselrichter (inkl. Batterie)	Ja	Nein	0 €	0 €
				0 €
Betrachtungszeitraum [a]		30		
Bezugsjahr		2026		
Zins bei Geldanlage / alternativem Invest		3,00%		
Aufzinsungsfaktor	q	1,03		
Annuitätsfaktor	a	0,0510		
Barwert der Jahresgesamtzahlungen	8.072 €	kumuliert		
Barwert der Restwerte	0 €		Annuität der Jahresgesamtzahlungen	
	8.072 €	*Annuitätsfaktor	412 €	
Anfang des Jahres	Jahresbilanz ohne Einlagen/Entnahmen	Jahresgesamtzahlungen	Barwert Jahresgesamtzahlung	Barwerte der Jahresbilanz ohne Einlagen/Entnahmen
2025	0 €	0 €	0 €	0 €
2026	-284.126 €	-284.126 €	-284.126 €	-284.126 €
2027	-283.523 €	603 €	585 €	-283.540 €
2028	-249.284 €	34.238 €	32.273 €	-251.267 €
2029	-213.493 €	35.791 €	32.754 €	-218.513 €
2030	-176.082 €	37.411 €	33.239 €	-185.274 €
2031	-136.981 €	39.102 €	33.729 €	-151.545 €
2032	-96.115 €	40.865 €	34.224 €	-117.321 €
2033	-53.410 €	42.705 €	34.723 €	-82.598 €
2034	-13.016 €	40.394 €	31.887 €	-50.710 €
2035	28.101 €	41.117 €	31.512 €	-19.198 €
2036	70.094 €	41.993 €	31.247 €	12.049 €
2037	105.165 €	35.071 €	25.336 €	37.385 €
2038	107.292 €	2.127 €	1.492 €	38.877 €
2039	119.242 €	11.951 €	8.138 €	47.015 €
2040	131.516 €	12.274 €	8.114 €	55.129 €
2041	-68.871 €	-200.387 €	-128.621 €	-73.491 €
2042	-59.768 €	9.103 €	5.672 €	-67.819 €
2043	-49.317 €	10.451 €	6.323 €	-61.496 €
2044	-38.434 €	10.883 €	6.393 €	-55.103 €
2045	-27.103 €	11.331 €	6.462 €	-48.642 €
2046	-15.435 €	11.669 €	6.461 €	-42.181 €
2047	-4.483 €	10.952 €	5.887 €	-36.294 €
2048	7.094 €	11.577 €	6.042 €	-30.252 €
2049	18.905 €	11.811 €	5.984 €	-24.267 €
2050	30.909 €	12.004 €	5.905 €	-18.362 €
2051	43.127 €	12.218 €	5.835 €	-12.527 €
2052	52.286 €	9.159 €	4.247 €	-8.280 €
2053	61.562 €	9.276 €	4.176 €	-4.104 €
2054	70.983 €	9.421 €	4.118 €	14 €
2055	80.547 €	9.564 €	4.059 €	4.072 €
2056	90.254 €	9.707 €	3.999 €	8.072 €

Anhang 26: Berechnung der Annuität

	Abschreibungszeitraum nach HGB	Abschreibungszeitraum Förderung	Fördersatz
Luft/Wasser Wärmepumpe	10 a	10 a	40%
Photovoltaik	20 a	20 a	0%
Wechselrichter (inkl. Batterie)	20 a	20 a	0%

Mittlerer Steuersatz	30%	<small>Wird auf Gewinne verrechnet, wenn die kumulierte GuV > 0 und > einfache GuV. Wenn kumulierte GuV kleiner ist als einfache GuV (aber positiv) auf kumulierte GuV.</small>
----------------------	-----	---

Anfang des Jahres	Abschreibungen	Förderung inkl. BKZ	Zwischenfinanzierungskosten	Variable Kosten (ohne Einlagen)	Erlöse (ohne Entnahmen)	GuV	Steuer des Vorjahrs	Kumulierte GuV
2025	-	-	-	-	-	0 €	-	0 €
2026	33.636 €	6.750 €	1.520 €	-	-	-28.406 €	-	-28.406 €
2027	33.636 €	6.750 €	-	58.215 €	58.818 €	-26.284 €	-	-54.690 €
2028	33.636 €	6.750 €	-	58.595 €	92.833 €	7.352 €	-	-47.338 €
2029	33.636 €	6.750 €	-	57.428 €	93.219 €	8.905 €	-	-38.433 €
2030	33.636 €	6.750 €	-	56.197 €	93.608 €	10.525 €	-	-27.909 €
2031	33.636 €	6.750 €	-	54.898 €	94.000 €	12.215 €	-	-15.694 €
2032	33.636 €	6.750 €	-	53.529 €	94.394 €	13.979 €	-	-1.715 €
2033	33.636 €	6.750 €	-	52.085 €	94.791 €	15.819 €	-	14.104 €
2034	33.636 €	6.750 €	-	50.565 €	95.190 €	17.739 €	4.231 €	27.612 €
2035	33.636 €	6.750 €	-	49.155 €	95.593 €	19.552 €	5.322 €	41.842 €
2036	1.359 €	-	-	48.982 €	96.841 €	46.500 €	5.866 €	82.476 €
2037	1.359 €	-	-	49.402 €	98.422 €	47.662 €	13.950 €	116.188 €
2038	1.359 €	-	-	49.827 €	66.253 €	15.066 €	14.298 €	116.956 €
2039	1.359 €	-	-	50.260 €	66.730 €	15.112 €	4.520 €	127.547 €
2040	1.359 €	-	-	50.698 €	67.505 €	15.448 €	4.534 €	138.462 €
2041	19.545 €	7.274 €	1.638 €	51.143 €	68.293 €	3.241 €	4.634 €	137.068 €
2042	19.545 €	7.274 €	-	54.694 €	64.769 €	-2.196 €	972 €	133.900 €
2043	19.545 €	7.274 €	-	54.744 €	65.194 €	-1.820 €	-	132.081 €
2044	19.545 €	7.274 €	-	54.739 €	65.623 €	-1.387 €	-	130.693 €
2045	18.186 €	7.274 €	-	54.723 €	66.054 €	419 €	-	131.113 €
2046	18.186 €	7.274 €	-	54.693 €	66.488 €	883 €	126 €	131.870 €
2047	18.186 €	7.274 €	-	54.635 €	65.852 €	305 €	265 €	131.910 €
2048	18.186 €	7.274 €	-	54.638 €	66.307 €	757 €	92 €	132.575 €
2049	18.186 €	7.274 €	-	54.940 €	66.978 €	1.126 €	227 €	133.475 €
2050	18.186 €	7.274 €	-	55.451 €	67.793 €	1.430 €	338 €	134.567 €
2051	-	-	-	55.971 €	68.618 €	12.647 €	429 €	146.785 €
2052	-	-	-	56.499 €	69.452 €	12.953 €	3.794 €	155.944 €
2053	-	-	-	57.036 €	70.198 €	13.162 €	3.886 €	165.220 €
2054	-	-	-	57.581 €	70.950 €	13.369 €	3.949 €	174.641 €
2055	-	-	-	58.135 €	71.710 €	13.575 €	4.011 €	184.205 €
2056	39.065 €	7.839 €	-	58.699 €	72.478 €	-17.446 €	4.073 €	162.687 €

Anhang 27: Gewinn- und Verlustrechnung (GuV)

Wärmepreise bezogen auf 2026 und Q4 des Vorjahres

Wärmebedarf

	Anzahl	Anschlussleistung	Wärmebedarf	© Vbh
Kunden	24	360 kW	652.697 kWh	1813,047639

		Erlös bei theoretischem Vollanschluss
2026	Arbeitspreis (je kWh)	36.551 €
Im Mittel	Leistungspreis (je kW Anschlussleistung)	18.115 €

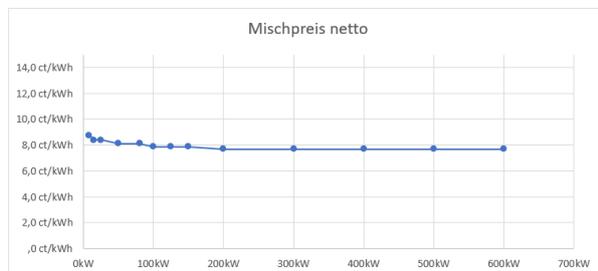
		Messpreis	Erlös bei theoretischem Vollanschluss
Kunde		0,0 €	0 €

Summe **54.666 €** Mischpreis 0,084 € / kWh

		Erlös	Abschreibungszeitraum
Im Mittel	Baukostenzuschuss Pro Anschluss	0 €	20 a
	Zahlungseingang	2025	

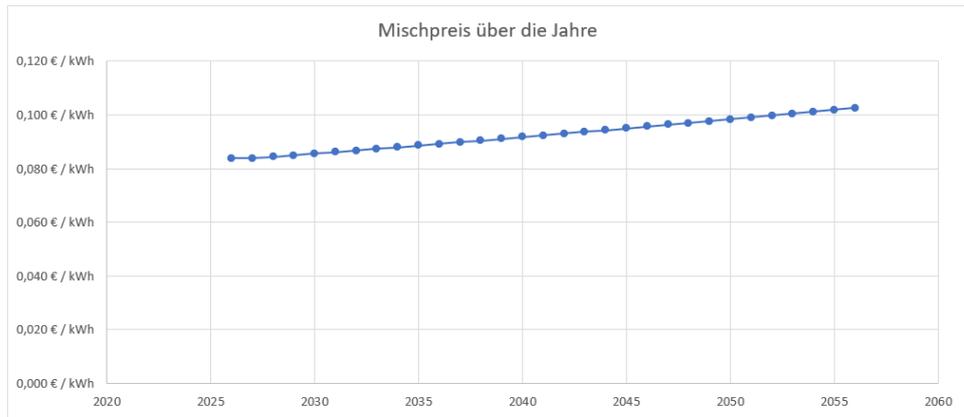
Anhang 28: Wärmepreiskomponenten

	Vollbetriebsstunden	Leistungspreis	Arbeitspreis	Messpreis	netto	brutto	Mischpreis netto	Mischpreis brutto
8kW	1.600 h	403 €	717 €	0 €	1.119 €	1.332 €	8,7450 ct/kWh	10,41 ct/kWh
15kW	1.800 h	755 €	1.512 €	0 €	2.267 €	2.697 €	8,3956 ct/kWh	9,99 ct/kWh
25kW	1.800 h	1.258 €	2.520 €	0 €	3.778 €	4.496 €	8,3956 ct/kWh	9,99 ct/kWh
50kW	2.000 h	2.516 €	5.600 €	0 €	8.116 €	9.658 €	8,1160 ct/kWh	9,66 ct/kWh
80kW	2.000 h	4.026 €	8.960 €	0 €	12.986 €	15.453 €	8,1160 ct/kWh	9,66 ct/kWh
100kW	2.200 h	5.032 €	12.320 €	0 €	17.352 €	20.649 €	7,8873 ct/kWh	9,39 ct/kWh
125kW	2.200 h	6.290 €	15.400 €	0 €	21.690 €	25.811 €	7,8873 ct/kWh	9,39 ct/kWh
150kW	2.200 h	7.548 €	18.480 €	0 €	26.028 €	30.973 €	7,8873 ct/kWh	9,39 ct/kWh
200kW	2.400 h	10.064 €	26.880 €	0 €	36.944 €	43.963 €	7,6967 ct/kWh	9,16 ct/kWh
300kW	2.400 h	15.096 €	40.320 €	0 €	55.416 €	65.945 €	7,6967 ct/kWh	9,16 ct/kWh
400kW	2.400 h	20.128 €	53.760 €	0 €	73.888 €	87.927 €	7,6967 ct/kWh	9,16 ct/kWh
500kW	2.400 h	25.160 €	67.200 €	0 €	92.360 €	109.909 €	7,6967 ct/kWh	9,16 ct/kWh
600kW	2.400 h	30.192 €	80.640 €	0 €	110.832 €	131.890 €	7,6967 ct/kWh	9,16 ct/kWh



Anhang 29: Wärmepreis in Abhängigkeit der Anschlussleistung

Jahr	Mischpreis
2026	0,084 € / kWh
2027	0,084 € / kWh
2028	0,084 € / kWh
2029	0,085 € / kWh
2030	0,086 € / kWh
2031	0,086 € / kWh
2032	0,087 € / kWh
2033	0,087 € / kWh
2034	0,088 € / kWh
2035	0,089 € / kWh
2036	0,089 € / kWh
2037	0,090 € / kWh
2038	0,090 € / kWh
2039	0,091 € / kWh
2040	0,092 € / kWh
2041	0,092 € / kWh
2042	0,093 € / kWh
2043	0,094 € / kWh
2044	0,094 € / kWh
2045	0,095 € / kWh
2046	0,096 € / kWh
2047	0,096 € / kWh
2048	0,097 € / kWh
2049	0,098 € / kWh
2050	0,098 € / kWh
2051	0,099 € / kWh
2052	0,100 € / kWh
2053	0,100 € / kWh
2054	0,101 € / kWh
2055	0,102 € / kWh
2056	0,103 € / kWh



Anhang 30: Steigerung des Mischpreises der Fernwärme

Betriebskostenförderung

"Die Betriebskostenförderung endet zehn Jahre nach Inbetriebnahme der geförderten Anlage"

Zeit bis zum Eintreffen der Förderung in vollen Jahren	1
--	---

LW-WP

Erstmaliger Erlöseingang **Anfang:** Letzter Erlöseingang **Anfang:** Höhe beim Eingang

Betriebskostenförderung	Ja	Erstmaliger Erlöseingang	Letzter Erlöseingang	Höhe beim Eingang
Betriebskostenförderung Wärmepumpe	Ja	2028	2036	33.632 €
Betriebskostenförderung Wärmepumpe Jahr 1	Ja	2027	/	33.632 €
Betriebskostenförderung Wärmepumpe Q4 Vorjahr Jahr 1	Ja	2026	/	- €
Betriebskostenförderung Wärmepumpe Q1-3 im letzten Jahr	Ja	2037	/	- €

Einspeisevergütung

Erstmaliger Erlöseingang **Anfang:** Letzter Erlöseingang **Anfang:** Höhe beim Eingang

Erlöse	Ja	Erstmaliger Erlöseingang	Letzter Erlöseingang	Höhe beim Eingang
Erlöse PV-Stromeinspeisung (erste 20a)	Ja	2027	2046	4.152 €
Erlöse PV-Stromeinspeisung (nach 20a)	Ja	2047	2056	3.001 €

Anhang 31: Erlöse aus Förderungen

Mit PV erzeugte Wärme		Benötigte Umgebungswärme für Netzstromanteil	
302.161 kWh		267.036 kWh	
Theoretische Förderung pro kWh _{th}	Maximalbetrag	Theoretische Förderung pro kWh _{Umgebungs- oder Abwärme}	Maximalbetrag
0,0346 €/kWh	0,0300 €/kWh	0,1234 €/kWh	0,0920 €/kWh
Betriebskostenförderung pro Jahr		Theoretische Betriebskostenförderung pro Jahr	
9.065 €		24.567 €	
		Max. Betriebskostenförderung pro Jahr	
		32.168 €	
	Maximaler Förderbetrag		
	100.000.000 €		
	Tatsächliche Betriebskostenförderung		
	33.632		

Anhang 32: Betriebskostenförderrechnung

PV-Erlösrechner (erste 20a)

Einspeisung Strom von Dachfläche	65.451 kWh	Einspeisevergütung Dach	0,0614 € pro kWh	Volleinspeisung	Nein
Einspeisung Strom von Freifläche	0 kWh	Einspeisevergütung Freifläche	0,0614 € pro kWh		Nein
Erlös Einspeisung					4.018,68 €

PV-Erlösrechner (nach 20a)

Einspeisung Strom von Dachfläche	65.984 kWh	Einspeisevergütung Dach	0,0400 € pro kWh	Volleinspeisung	Nein
Einspeisung Strom von Freifläche	0 kWh	Einspeisevergütung Freifläche	0,0400 € pro kWh		Nein
Erlös Einspeisung					2.639,35 €
<small>im Jahr 2025 wird entsprechend des Strompreises gesteigert</small>					

Anhang 33: Berechnung der PV-Einspeisevergütung

Verwaltungskosten

Anzahl Angestellte	0,00	
Lohn pro Monat		
Nebenkostenaufschlag	33%	

Kosten Beratung	0 €	Steuer + Recht
-----------------	-----	----------------

Fixkosten Strom	1.663 €	Leistungs + Messpreis
-----------------	---------	-----------------------

Verwaltungskosten pro Jahr + Jahresabschluss	1.663 €
--	----------------

Anhang 34: Angesetzte Verwaltungskosten

Wirtschaftlichkeit PV zum Zeitpunkt: Anfang 2025 (netto)

Investitionskosten exkl. Planung

Wechselrichter (inkl. Batterie)	€	24.161
PV-Module (all inkl. außer Wechselrichter)	€	136.911
Investitionskosten PV	€	161.071

Planungskosten

Planungskosten Wechselrichter (inkl. Batterie)	€	2.899
Planungskosten PV	€	16.429
Planungskosten PV	€	19.329

Bedarfsgebundene Kosten

Erzeugter Strom	kWh/a	187.140
Bedarf PV (Strom Wechselrichter, etc.)	%	0,00%
Bedarfsgebundene Kosten PV	€/a	-

Betriebsgebundene Kosten

Bedienungszeit	h/a	0
Personalkosteneinsatz	€/h	60
Bedienung der PV	€/a	-
Instandhaltungsfaktor		1,5%
Instandhaltung PV	€/a	2.706
Betriebsgebundene Kosten PV	€/a	2.706

Sonstige Kosten

Sonstige Fixkosten PV	€/a	250
Sonstige Fixkosten PV	€/a	250

Allgemeine Angaben

Lebensdauer Wechselrichter	a	15
Zahl der Jahre der Nutzungsdauer der PV	a	30
Zahl der Jahre der Förderung	a	20
Förderung PV	%	0,00%

Zeitpunkt der Kostenschätzung	AD	2025
Jahr des Erzeugerinvests	AD	2026
Inbetriebnahme [Q4 des Vorjahres von: ____]	AD	2026
Betrachtungszeitraum	a	30

Zinssatz bei Geldanlage	%	3,0%
Zinssatz für Fremdkapital	%	4,5%
Preissteigerung pro Jahr (Kapitalgebundene Kosten)	%	0,50%
Preissteigerung pro Jahr (Bedienungskosten)	%	2,00%
Preissteigerung pro Jahr (Kosten für Wartung & Instandhalten)	%	2,50%
Preissteigerung pro Jahr (Sonstige Kosten)	%	2,00%
Strompreis für Wärmepumpen	€/kWh	0,22 €
Strompreis Netz	€/kWh	0,27 €

Anhang 35: Wirtschaftlichkeitskennndaten der Photovoltaikanlage

Wirtschaftlichkeit PV in Anlehnung an VDI 2067 (ohne Reinvest)

PV sinnvoll? Amortisation Barwert des Gewinns	im Betrachtungszeitraum		Einspeisevergütung wird nur bei erstem Invest angesetzt										Barwert d. Erlöse im Betrachtungszeitraum					
	Ja 2044 141.447 €		Jahresanfang	Eigenkapitalinvest	Einsparung, durch Eigenstromnutzung "Restliche Komponenten"	Einsparung, durch Eigenstromnutzung Wärmepumpen	Erlöse durch Einspeisung	Summe Erlöse	Barwert der Erlöse 2025									
			0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2025			0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2026			0 €	0 €	0 €	22.604 €	0 €	4.152 €	26.756 €	4.152 €	26.756 €	25.220 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2027			0 €	0 €	0 €	22.717 €	0 €	4.152 €	26.869 €	4.152 €	26.869 €	24.589 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2028			0 €	0 €	0 €	22.831 €	0 €	4.153 €	26.984 €	4.153 €	26.984 €	23.975 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2029			0 €	0 €	0 €	22.945 €	0 €	4.154 €	27.099 €	4.154 €	27.099 €	23.375 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2030			0 €	0 €	0 €	23.060 €	0 €	4.154 €	27.214 €	4.154 €	27.214 €	22.791 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2031			0 €	0 €	0 €	23.175 €	0 €	4.155 €	27.330 €	4.155 €	27.330 €	22.222 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2032			0 €	0 €	0 €	23.291 €	0 €	4.156 €	27.446 €	4.156 €	27.446 €	21.666 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2033			0 €	0 €	0 €	23.407 €	0 €	4.156 €	27.564 €	4.156 €	27.564 €	21.125 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2034			0 €	0 €	0 €	23.524 €	0 €	4.157 €	27.681 €	4.157 €	27.681 €	20.598 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2035			0 €	0 €	0 €	23.642 €	0 €	4.158 €	27.800 €	4.158 €	27.800 €	20.083 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2036			0 €	0 €	0 €	23.760 €	0 €	4.072 €	27.832 €	4.072 €	27.832 €	19.521 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2037			0 €	0 €	0 €	23.879 €	0 €	4.072 €	27.951 €	4.072 €	27.951 €	19.033 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2038			0 €	0 €	0 €	23.998 €	0 €	4.072 €	28.070 €	4.072 €	28.070 €	18.558 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2039			0 €	0 €	0 €	24.118 €	0 €	4.072 €	28.191 €	4.072 €	28.191 €	18.095 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2040			0 €	0 €	0 €	24.239 €	0 €	4.073 €	28.312 €	4.073 €	28.312 €	17.643 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2041			0 €	0 €	0 €	24.360 €	0 €	4.073 €	28.433 €	4.073 €	28.433 €	17.202 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2042			0 €	0 €	0 €	24.482 €	0 €	4.073 €	28.555 €	4.073 €	28.555 €	16.773 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2043			0 €	0 €	0 €	24.604 €	0 €	4.074 €	28.678 €	4.074 €	28.678 €	16.355 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2044			0 €	0 €	0 €	24.727 €	0 €	4.074 €	28.801 €	4.074 €	28.801 €	15.946 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2045			0 €	0 €	0 €	24.851 €	0 €	4.074 €	28.925 €	4.074 €	28.925 €	15.549 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2046			0 €	0 €	0 €	24.977 €	0 €	3.001 €	27.998 €	3.001 €	27.998 €	14.612 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2047			0 €	0 €	0 €	25.122 €	0 €	3.016 €	28.138 €	3.016 €	28.138 €	14.257 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2048			0 €	0 €	0 €	25.247 €	0 €	3.031 €	28.278 €	3.031 €	28.278 €	13.911 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2049			0 €	0 €	0 €	25.373 €	0 €	3.046 €	28.420 €	3.046 €	28.420 €	13.573 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2050			0 €	0 €	0 €	25.500 €	0 €	3.062 €	28.562 €	3.062 €	28.562 €	13.244 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2051			0 €	0 €	0 €	25.628 €	0 €	3.077 €	28.705 €	3.077 €	28.705 €	12.922 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2052			0 €	0 €	0 €	25.756 €	0 €	3.092 €	28.848 €	3.092 €	28.848 €	12.609 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2053			0 €	0 €	0 €	25.885 €	0 €	3.108 €	28.992 €	3.108 €	28.992 €	12.303 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2054			0 €	0 €	0 €	26.014 €	0 €	3.123 €	29.137 €	3.123 €	29.137 €	12.004 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
2055			0 €	0 €	0 €	26.144 €	0 €	3.139 €	29.283 €	3.139 €	29.283 €	11.713 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
----			0 €	0 €	0 €	26.144 €	0 €	3.139 €	29.283 €	3.139 €	29.283 €	11.713 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	

Anhang 36: Wirtschaftlichkeit der Photovoltaikanlage (1/2)

Barwert d. Kosten im Betrachtungszeitraum
390.020 €

Investition in Module oder Wechselrichter	Planungskosten	Bedarfsgebundene Kosten	Bedienungskosten	Kosten für Wartung & Instandhalten	Sonstige Kosten	Zinskosten	Verluste durch Betriebskostenförderung Wärmepumpe	Förderung	Summe Kosten	Barwert der Kosten 2025	Amortisation
0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	/	0 €	0 €	0 €	0 €	/
161.877 €	19.425 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	181.302 €	176.021 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	2.815 €	194 €	8.159 €	0 €	0 €	11.168 €	10.527 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	2.914 €	196 €	7.457 €	0 €	0 €	18.106 €	16.569 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	2.987 €	200 €	7.063 €	0 €	0 €	17.788 €	15.805 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	3.062 €	204 €	6.649 €	0 €	0 €	17.453 €	15.055 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	3.138 €	208 €	6.215 €	0 €	0 €	17.100 €	14.321 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	3.217 €	212 €	5.760 €	0 €	0 €	16.727 €	13.601 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	3.297 €	217 €	5.283 €	0 €	0 €	16.335 €	12.895 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	3.379 €	221 €	4.783 €	0 €	0 €	15.921 €	12.202 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	3.464 €	225 €	4.259 €	0 €	0 €	15.486 €	11.523 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	3.551 €	230 €	3.710 €	0 €	0 €	15.029 €	10.857 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	3.639 €	234 €	3.135 €	0 €	0 €	14.547 €	10.203 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	3.730 €	239 €	2.537 €	0 €	0 €	6.507 €	4.431 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	3.824 €	244 €	1.973 €	0 €	0 €	5.640 €	3.729 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	3.919 €	249 €	1.363 €	0 €	0 €	4.731 €	3.037 €	
26.168 €	3.140 €	0 €	0 €	4.017 €	254 €	0 €	0 €	0 €	33.579 €	20.925 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	4.117 €	259 €	0 €	0 €	0 €	4.376 €	2.648 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	4.220 €	264 €	0 €	0 €	0 €	4.484 €	2.634 €	
0 €	0 €	0 €	0 €	4.326 €	269 €	0 €	0 €	0 €	4.595 €	2.621 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	4.434 €	275 €	0 €	0 €	0 €	4.709 €	2.607 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	4.545 €	280 €	0 €	0 €	0 €	4.825 €	2.594 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	4.659 €	286 €	0 €	0 €	0 €	4.944 €	2.580 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	4.775 €	291 €	0 €	0 €	0 €	5.065 €	2.567 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	4.894 €	297 €	0 €	0 €	0 €	5.192 €	2.554 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	5.017 €	303 €	0 €	0 €	0 €	5.320 €	2.541 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	5.143 €	309 €	0 €	0 €	0 €	5.451 €	2.528 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	5.271 €	315 €	0 €	0 €	0 €	5.586 €	2.515 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	5.403 €	322 €	0 €	0 €	0 €	5.724 €	2.502 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	5.538 €	328 €	0 €	0 €	0 €	5.865 €	2.489 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	5.676 €	335 €	0 €	0 €	0 €	6.011 €	2.476 €	Ja
0 €	0 €	0 €	0 €	5.818 €	341 €	0 €	0 €	0 €	6.159 €	2.464 €	Ja

Anhang 37: Wirtschaftlichkeit der Photovoltaikanlage (2/2)



Wirtschaftlichkeit Wärmepumpe zum Zeitpunkt: Anfang 2025

Investitionskosten exkl. Planung	Einheit	
Invest	€	150.000
Investitionskosten Wärmepumpe	€	150.000
Linear abgeschrieben	€	6.000
Planungskosten		
Planungskosten	€	18.000
Planungskosten	€	18.000
Linear abgeschrieben	€	720
Zuordbare Kosten / Jahr		
Zwischenfinanzierungskosten (lin. Abgeschrieben)	€	98
Zinskosten (lin. Abgeschrieben)	€	3.204
Zuordbare Kosten Infrastruktur (lin. Abgeschrieben)	€	6.915
Einmalige Kosten (lin. Abgeschrieben)	€	0
Betriebskostenförderung abzgl. Merkm. PV (lin. Abgeschrieben)	€	-13.987
Jährliche Kosten von unterstützenden Komponenten	€	801
Summe	€	- 2.969
Bedarfsgebundene Kosten		
Jahreswärmeertrag (erforderlich)	kWh/a	767.879
Jahreswärmemenge inkl. Verluste	kWh/a	767.879
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	-	2,40
Strombedarf der Wärmepumpe	kWh/a	320.372
Selbst erzeugter Strom aus PV	kWh/a	121.689
Strombedarf der Wärmepumpe nach PV-Einspeisung	kWh/a	198.682
Strompreis WP	€/kWh	0,220
<i>PV enthalten?</i> bedarfsgebundene Kosten für Wärmepumpe (Strombedarf) während Einspeisevergütung PV	€/a	35.742
<i>Ja</i> bedarfsgebundene Kosten für Wärmepumpe (Strombedarf) nach Einspeisevergütung PV	€/a	35.723
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	35.742
Betriebsgebundene Kosten		
Bedienungszeit	h/a	20
Personalkosteneinsatz	€/h	60
Bedienkosten	€/a	1.200
Faktor für Instandhaltung, Wartung und Inspektion	-	1,50%
Kosten für für Instandhaltung, Wartung und Inspektion	€/a	2.250
Betriebsgebundene Kosten	€/a	3.450
Sonstige Kosten		
sonstige Fixkosten	€/a	1.000
sonstige Fixkosten	€/a	1.000
Allgemeine Angaben		
Zahl der Jahre der Nutzungsdauer der Anlagenkomponente	a	15
Förderung Invest	%	40,00%
SCOP / COP _{eff}	-	2,10
Wärme aus LW-Wärmepumpe beim Kunden (Produktion - Verluste)	kWh/a	652.697
Wärmegestehungskosten in 2025	€/kWh	0,067
<i>bei theoretischem Vollanschluss</i>		
Wärmegestehungskosten ohne Betriebskostenförderung	kWh/a	0,089

Anhang 39: Wirtschaftlichkeitskennndaten der Wärmepumpe

Kenngrößen des Biomassekessels

Technische Kenngrößen des Biomassekessels sind:

- Leistung: 999 kW⁶⁴
- Nutzungsgrad: 95 %
- Art der Biomasse: Waldhackschnitzel Standardqualität M35
- Heizwert Biomasse: 3,1 kWh/kg
- Ascheanteil der Trockensubstanz: 2 %
- Hilfsenergiebedarf: 1,5 % der erzeugten Wärme

Wirtschaftliche Kenngrößen des Biomassekessels sind:

- Investitionskosten Kessel: 600.000 €
- Planungskosten (12 %): 72.000 €
- Nutzungsdauer: 15 a
- Abschreibungszeitraum: 10 a

- Wartungs- und Instandhaltungskosten: 5,5 % des Investment (33.000 €/a)
- Verwaltungskosten pro Jahr (Fixkosten Strom etc.): 1.000 €
- Kosten Hackschnitzel: 101 €/t⁶⁵
- Preissteigerung Biomasse: 1,5 % p. a.⁶⁶
- Strompreis für Biomassekessel: 24,5 ct./kWh⁶⁷
- Jährliche Kosten für die Bedienung: 30.000 €
- Kosten für die Ascheentsorgung: 150 €/t
- Sonstige Kosten (Versicherung etc.) 2.500 €

- Der Kessel ist nach BEW zu 40 % förderfähig
- Alle Angaben netto

⁶⁴ Ab einem Megawatt Leistung wird eine Genehmigung im Rahmen der des Bundes-Immissionsschutzgesetz erforderlich.

⁶⁵ Mittelwert 2023 (C.A.R.M.E.N)

⁶⁶ In Anlehnung an Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hrsg.), 2023, S. 51.

⁶⁷ Durchschnittlicher Strompreis für kleine bis mittlere Industriebetriebe (inkl. Stromsteuer) 2023 (bdew, Strompreis Industrie)

Kenngrößen dezentraler Erzeuger

Generelle Annahmen sind:

- Wärmebedarf: 25 MWh
- Benötigte Anschlussleistung: 15 kW

- Zinskosten: 0,01 %⁶⁸
- Zinssatz für Eigenkapital: 3,0 %
- Preissteigerungsfaktoren:
 - Strom (Netz sowie Wärmepumpenstrom): 0,5 %⁶⁹
 - Preissteigerung Biomasse: 1,5 % p. a.⁷⁰
 - Kapitalgebundene Kosten: 0,5 %⁷¹
 - Bedienungskosten: 2,0 %⁷²
 - Kosten für Wartung & Instandhaltung: 2,5 %⁷³
 - Sonstige Kosten: 2 %⁷⁴

Annahmen zu der betrachteten Luftwasserwärmepumpe sind (alle Preise netto):

- Nutzungsdauer: 20 a
- Jahresarbeitszahl: 3,0

- Kosten Wärmepumpe: 25.000 €
 - Aufschlag für die Installation + Zubehör: 50 %
- Kosten Pufferspeicher: 2.000 €
 - Aufschlag für die Installation: 30 %

- Förderung nach BEG:
 - Wärmepumpe: 55 %
 - Pufferspeicher: 15 %

- Stromkosten für Wärmepumpenstrom: 24,2 ct./kWh⁷⁵
- Instandhaltungskosten pro Jahr: 130 €
- Bedienungskosten pro Jahr: 42 €
- Sonstige Kosten pro Jahr: 100 €

⁶⁸ Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW); Kredit Nr.358, 359 (Stand 10.2024)

⁶⁹ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hrsg.), 2023, S. 51.

⁷⁰ In Anlehnung an Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hrsg.), 2023, S. 51.

⁷¹ In Bezug auf: Statistisches Bundesamt „Erzeugerpreisindex gewerblicher Produkte: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis“ - GP19-281 "Nicht wirtschaftszweigspezifische Maschinen"; Es wird davon ausgegangen, dass im konkreten Fall, Technologiesprünge und eine steigende Lernkurve der mittleren Steigerung seit 2014 von 2,6 % entgegenstehen.

⁷² In Bezug auf: Statistisches Bundesamt - WZ08-D Energieversorgung "Index d.tarifl. Stundenverdienste mit Sonderzahl."

⁷³ In Bezug auf: Statistisches Bundesamt - GP19-3312 "Reparatur und Instandhaltung von Maschinen"

⁷⁴ Annahme des Autors auf Basis der bisher gelisteten Steigerungsfaktoren für den Anwendungsfall

⁷⁵ 90 % des Mittelwert des Netzstrompreises 2023

- Annahmen zu der betrachteten Luftwasserwärmepumpe sind (alle Preise netto):

Annahmen zu der betrachteten Kombination aus Pelletkessel und Solarthermie sind (alle Preise netto):

- Nutzungsdauer Pelletkessel: 20 a
- Nutzungsdauer Solarthermie: 20 a
- Wirkungsgrad: 95 %
- Hilfsstrombedarf: 1,5 %

- Modulkosten Kessel: 9.000 €
 - Aufschlag für die Installation und Zubehör: 50 %
- Kosten Pellet Bunker: 3.000 €
 - Aufschlag für die Installation: 20 %
- Kosten Pufferspeicher: 2.000 €
 - Aufschlag für die Installation: 30 %
- Kosten Solarthermie: 9.000 €
 - Aufschlag für die Installation: 30 %

- Förderung nach BEG:
 - Kessel: 50 %
 - Zusätzliche Förderung Kessel⁷⁶: 2.500 €
 - Bunker: 50 %
 - Puffer: 15 %
 - Solarthermie: 50 %

- Netzstromkosten: 26,9 ct./kWh⁷⁷
- Pellet Kosten: 223 €/t⁷⁸
- Heizwert Pellets: 4,9 kWh/kg
- Bedienkosten pro Jahr: 210 €
- Instandhaltungskosten pro Jahr: 200 €
- Sonstige Kosten: 100 €

⁷⁶ Bei Biomasseheizungen wird bei Einhaltung eines Emissionsgrenzwertes für Staub von 2,5 mg/m³ ein zusätzlicher pauschaler Zuschlag gewährt.

⁷⁷ Mittelwert 2023

⁷⁸ Mittelwert 2023