

Energienutzungsplan für die Stadt Königsberg

Nahwärmeverbund Unfinden



Energienutzungsplan für die Stadt Königsberg

Nahwärmeverbund Unfinden

Auftraggeber

Stadt Königsberg
Marktplatz 7
97486 Königsberg

Bearbeiter

Institut für Energietechnik (IfE) GmbH
an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden
Kaiser-Wilhelm-Ring 23a
92224 Amberg
www.ifeam.de

Förderung

Gefördert durch das
Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Bearbeitungszeitraum

05/2020 – 12/2020

Amberg, Dezember 2020

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	5
Formelzeichen, Indizes und Einheiten.....	6
1 Einleitung.....	7
2 Akteursbeteiligung.....	8
3 Grobprüfung einer Nahwärmeversorgung im Ortsteil Unfinden	9
3.1 Abschätzung des realen Potenzials.....	9
3.2 Grobprüfung der gewünschten / in Frage kommenden Varianten.....	12
3.2.1 Die Energieversorgungsvariante 1: Hackgutkessel mit Heizöl-Spitzenlastkessel	13
3.2.2 Die Energieversorgungsvariante 2: zwei Hackgutkessel.....	14
3.2.3 Die Energieversorgungsvariante 3: Pelletkessel und Holzvergaser	15
3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Energieversorgungsvarianten.....	16
3.3.1 Die Investitionskosten der Energieversorgungsvarianten im Wärmeverbund.....	18
3.3.2 Die jährlichen Ausgaben der Energieversorgungsvarianten im Wärmeverbund	19
3.3.3 Die jährlichen Einnahmen der Energieversorgungsvarianten im Wärmeverbund ...	20
3.3.4 Die Jahresgesamt- und spezifischen Wärmegestehungskosten	21
3.4 CO ₂ -Bilanz der Energieversorgungsvarianten	22
3.5 Festlegung der Vorzugsvariante.....	22
4 Detaillierte Ausarbeitung der Nahwärmeversorgung im Ortsteil Unfinden	23
4.1 Festlegung des Gebietsumgriffs.....	23
4.2 Ermittlung der genauen Wärmebedarfsstruktur im Gebietsumgriff.....	24
4.3 Standort der Heizzentrale	25
4.4 Technische Dimensionierung einer sinnvollen Nahwärmetrasse.....	28
4.5 Dimensionierung der Energieversorgungsvarianten	30
4.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der favorisierten Hackgutvariante	32
4.6.1 Die Investitionskosten der favorisierten Hackgutvariante im Wärmeverbund	36

4.6.2	Die jährlichen Kosten der favorisierten Hackgutvariante im Wärmeverbund.....	37
4.6.3	Die Jahresgesamt- und spezifischen Wärmegestehungskosten	38
4.7	CO ₂ -Bilanz und Primärenergiefaktor der favorisierten Hackgutvariante	39
4.8	Darstellung aktueller Fördermöglichkeiten	40
4.9	Sensitivitätsanalysen	44
5	Referenzvariante – Dezentrale Wärmeversorgung privater Wohngebäude.....	46
5.1	Referenzhaushalt	46
6	Zusammenfassung	49
7	Abbildungsverzeichnis.....	52
8	Tabellenverzeichnis.....	54

Abkürzungsverzeichnis

BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BHKW	Blockheizkraftwerk
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EE	Erneuerbare Energien
EEWärmeG	Erneuerbarer Energien Wärmegesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
JDL	Jahresdauerlinie
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
TFZ	Technologie- und Förderzentrum
VBh	Vollbenutzungsstunden
WGK	WärmeGESTehungskosten

Formelzeichen, Indizes und Einheiten

Einheiten		Indizes	
MWh	Megawattstunde	el	elektrisch
kWh	Kilowattstunde	end	Endenergie
MW	Megawatt	th	thermisch
kW	Kilowatt		
%	Prozent		
€	Euro		
l	Liter	Formelzeichen	
a	Jahr	Hi	Heizwert
h	Stunde	η	Wirkungsgrad
m ²	Quadratmeter		
to	Tonne		
kg	Kilogramm		
g	Gramm		
m	Meter		
km	Kilometer		
Tm	Trassenmeter		
w	Wassergehalt		

1 Einleitung

Im Ortsteil Unfinden in der Stadt Königsberg soll untersucht werden, ob der Aufbau einer Nahwärmeverbundlösung wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll umgesetzt werden kann. Dazu soll die energetische Situation des Untersuchungsgebietes analysiert und eine zielgerichtete und belastbare Entscheidungsgrundlage mit konkreten Handlungsoptionen erarbeitet werden.

Der Energienutzungsplan beinhaltet die nachfolgenden, sachlogischen Schritte:

- Datenerhebung zur Wärmeversorgung im IST-Zustand
- Ausarbeitung eines gebäudescharfen Energiekatasters
- Technische Dimensionierung einer Wärmeverbundlösung
- Technische Dimensionierung von Energieversorgungsvarianten in der Wärmeverbundlösung
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Vollkostenrechnung) mit Sensitivitätsanalyse und Investitionskostenprognose
- Überprüfung von aktuellen Fördermöglichkeiten
- Die künftige CO₂-Bilanz und der Primärenergiefaktor
- Umfassende Einbindung aller relevanten Akteure

Die angewandten Methoden entsprechen dem neuesten Stand der Technik und wurden im Rahmen nationaler und internationaler Forschungsprojekte entwickelt. Nur durch diese Detailschärfe lassen sich technische Maßnahmen präzise ableiten und bilden somit die Grundlage der umfassenden Vollkostenrechnung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Hinweis zum Datenschutz:

Zur Erfüllung des Auftrags wurden personenbezogene Daten erhoben und verarbeitet. Die Ergebnisse sind in diesem Bericht dargestellt um größtmögliche Transparenz für den Auftraggeber und den Fördermittelgeber zu erreichen. Mit diesen Daten kann ein Rückschluss auf einzelne Personen hergestellt werden. Daher darf dieser Bericht in dieser Form nicht veröffentlicht werden.

2 Akteursbeteiligung

Der Auftraggeber, die Stadt Königsberg, war in allen Phasen der Erarbeitung des Energienutzungsplans mit eingebunden.

Bezogen auf mehrere Termine, Telefonate und Besprechungen wurde das Vorgehen sowie der zwischenzeitliche Erkenntnisstand mit allen beteiligten Akteuren erörtert und das weitere Vorgehen abgestimmt.

Die Ergebnisse wurden sowohl intern als auch der Öffentlichkeit im Rahmen einer Bürgerversammlung ausführlich vorgestellt.

Zwei mögliche Betreibermodelle für das Nahwärmenetz wurden diskutiert. Das Kommunalunternehmen der Stadt Königsberg (z.B. Wärmeversorgung Unfinden GmbH) oder die Bürgerenergie Genossenschaft (z.B. Wärmeversorgung Unfinden eG). Im weiteren Bericht wird vom „Betreiber“ gesprochen.

3 Grobprüfung einer Nahwärmeversorgung im Ortsteil Unfinden

3.1 Abschätzung des realen Potenzials

In einem ersten Schritt wurden von den Verantwortlichen potenzielle Standorte für eine Heizzentrale festgelegt. Ausgehend von diesen Lokationen wurde eine Nahwärmetrasse im Ortskern ausgelegt und dimensioniert. Ziel dabei ist es möglichst viele Abnehmer mit einer möglichst kurzen Trasse zu erreichen, um die Wärmebelegung der Leitung im Gebietsumfang hoch zu halten. Es ist möglich, dass abgelegene Liegenschaften an den Ortsrändern in der ersten Näherung nicht berücksichtigt sind. Sollte die Sinnhaftigkeit von weiteren Überlegungen in diesem Schritt festgestellt werden, so wird der Trassenverlauf mit den konkreten Abnehmern nachgeschärft. Bei einer ersten Befragung innerhalb der Dorfgemeinde zeigten sich über 50 Haushalte interessiert.

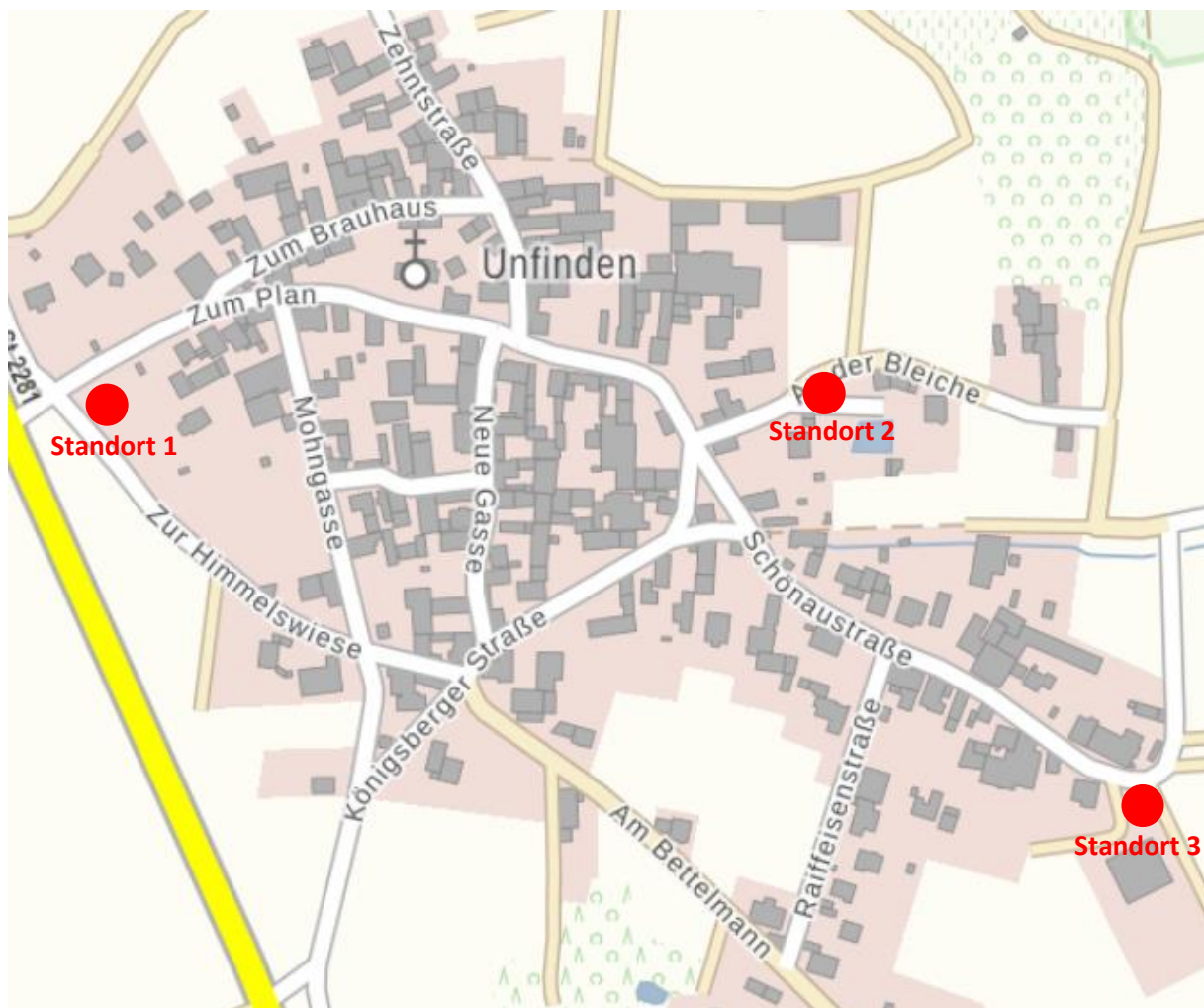


Abbildung 1: Trassenführung mit festgelegtem Standort des Heizhauses in der Schönaustraße

Im ersten Entwurf für das Wärmenetz erreicht das fiktive Netz im Ortskern eine Trassenlänge von ca. 1.390 m. Zusammen mit einer Wärmebelegung von mind. 1.000 kWh/m*a, welcher als Richtwert für einen wirtschaftlichen Betrieb des Nahwärmenetzes angesehen werden kann, kommt man so auf einen theoretischen Wärmeabsatz von knapp 1.390.000 kWh/a. Der berechnete Netzverlust beläuft sich auf ca. 174.000 kWh/a, so dass in Summe ein Wärmebedarf von rund 1.564.000 kWh/a zur Versorgung der Liegenschaften notwendig ist.

Kenndaten des Wärmenetzes		
Netzlänge	1.390	[m]
Heizleistung	870	[kW]
Nutzwärmebedarf	1.390.000	[kWh/a]
Verlustwärme	174.000	[kWh/a]
Verlust	13	[%]
Wärmebelegung	1.000	[kWh/(m*a)]

Tabelle 1: Kenndaten des Nahwärmenetzes

Darauf aufbauend wird der monatliche Gesamtwärmebedarf der Fernwärmeversorgung als Summe des Nutzwärmebedarfes der Abnehmer und des Netzverlustes der Wärmeleitung berechnet.

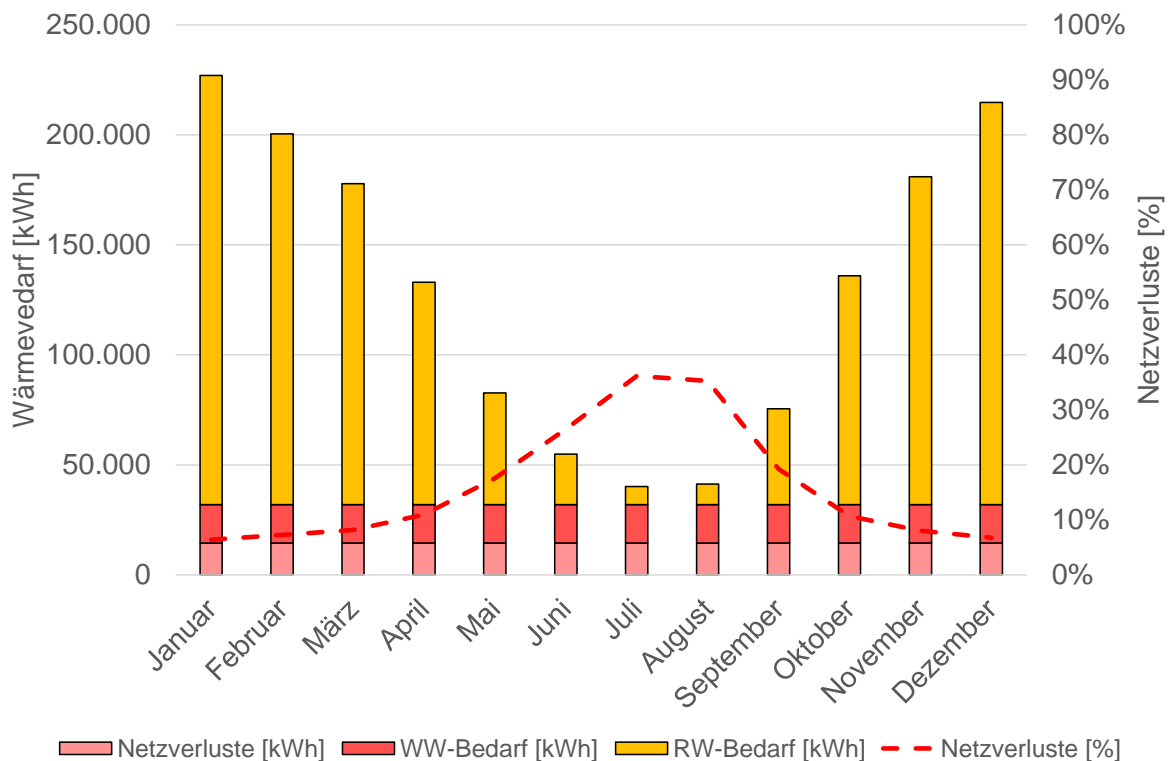


Abbildung 2: Prognostizierter monatlicher Wärmebedarf im Nahwärmenetz

In Abbildung 2 ist der prognostizierte monatliche Wärmebedarf inkl. der bei der Netzdimensionierung ermittelten Netzverluste abgebildet. Anhand des monatlichen Gesamtwärmebedarfs wird in Abbildung 3 die geordnete Jahresdauerlinie des thermischen Energiebedarfs erstellt.

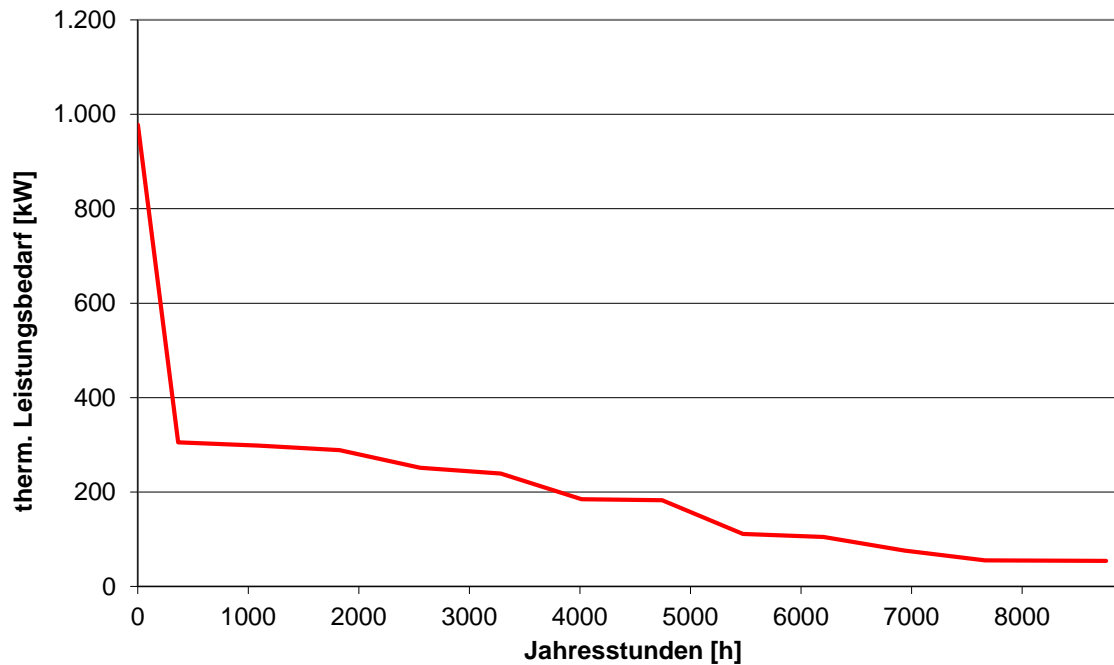


Abbildung 3: Die thermische Jahresdauerlinie des betrachteten Nahwärmenetzes

3.2 Grobprüfung der gewünschten / in Frage kommenden Varianten

Zunächst werden die allgemeinen Punkte in Bezug auf die Auswahl der Energieversorgungsvarianten vorbereitet und mit den zuständigen Akteuren abgestimmt. Hierbei hat sich bei der Auswahl der Technologien bzw. Energieträger eine Versorgung auf Basis einer Biomassefeuerung ausgeprägt.

Generell sind bei der Auslegung bzw. der späteren Umsetzung eines Nahwärmenetzes die folgenden Aspekte zu berücksichtigen:

- Es sollte aus wirtschaftlicher Sicht am besten auch ein Vorteil gegenüber einer dezentralen Wärmeversorgung, d.h. geringere Wärmegestehungskosten, vorliegen;
- Aufgrund der gesetzlichen Vorgaben und Anforderungen bei Neubauten oder Sanierungen an Bestandsgebäuden sollte die Wärmeversorgung über das Nahwärmenetz am besten eine deutliche Primärenergie- und CO₂-Einsparung ggü. einer Standardtechnologie vorweisen (geringer f_p -Faktor)
- Die Versorgungssicherheit muss gewährleistet sein.

Anhand der Jahresdauerlinie erfolgt die Dimensionierung von verschiedenen Energieversorgungsvarianten. Werden Wärmeerzeuger in der Grafik flächendeckend eingetragen, kann auf die Laufzeiten und den Anteil an der Jahreswärmebereitstellung der einzelnen Wärmeerzeuger geschlossen werden. Die unter Rücksprache mit den verantwortlichen Akteuren abgestimmten Versorgungsvarianten werden anschließend detailliert unter gleichen Rahmenbedingungen berechnet (gesamter Energieumsatz, Brennstoffmengen, Wärmeverluste, Leitungsverluste, etc.). Dies schafft die wissenschaftlich neutrale Grundlage, sämtliche Energie- und Stoffströme der möglichen Energieerzeugungsvarianten zu bestimmen und damit eine Vollkostenrechnung in Anlehnung an VDI 2067 durchführen zu können.

Nach den bislang abgestimmten Vorüberlegungen wird das folgende Vorgehen festgelegt:

- Der Aufbau einer zentralen Wärmeversorgung soll auf **Biomassebasis (Hackgut)** erfolgen. Ergänzend dazu werden in zwei weiteren Varianten eine fossil-regenerative Hybridvariante (**Öl-Spitzenlastkessel und Hackgut**) und eine weitere rein regenerative Energieversorgungsvariante auf Basis eines **Holzvergasers und eines Pelletkessels** betrachtet.
- Als möglicher Standort für ein neues Heizhaus wird in Abstimmung mit den beteiligten Akteuren das Grundstück in der Schönaustraße festgelegt.

3.2.1 Die Energieversorgungsvariante 1: Hackgutkessel mit Heizöl-Spitzenlastkessel

In Variante 1 erfolgt die Abdeckung der Hauptwärmelast mittels eines Hackgutkessels mit einer Leistung von $400 \text{ kW}_{\text{th}}$. Die Spitzenlast wird über einen Heizölkessel mit einer Leistung von $500 \text{ kW}_{\text{th}}$ abgedeckt, siehe Abbildung 4. Für den Biomassekessel ergeben sich etwa 3.250 Vollbenutzungsstunden im Jahr. Jährlich werden rund 2.000 SRm Hackschnitzel und rund 30.800 Liter Heizöl verbraucht.

Bei den Investitionskosten wurde die Errichtung eines Heizhauses und eines Brennstoffbunkers auf dem Grundstück in der Schönaustraße berücksichtigt. Die Größe des Pufferspeichers wird, angelehnt an aktuelle Förderbedingungen (30 Ltr/kW), mit rund 12.000 Ltr bemessen.

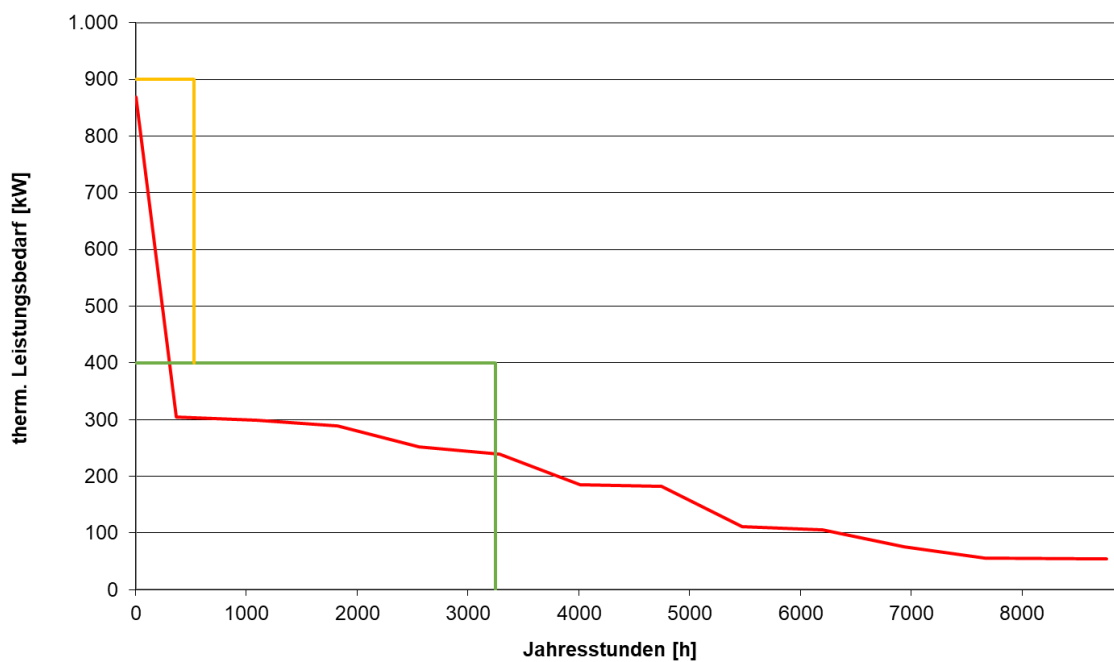


Abbildung 4: Die thermische JDL mit eingetragenen Wärmeerzeugern - Variante 1

3.2.2 Die Energieversorgungsvariante 2: zwei Hackgutkessel

In Variante 2 erfolgt die Abdeckung der Wärmelast mittels zwei rollierend bzw. im Lastfall parallel betriebenen Hackgutkesseln mit einer Leistung von je 450 kW_{th}, siehe Abbildung 5. Für die Biomassekessel ergeben sich etwa 2.000 und 1.500 Vollbenutzungsstunden im Jahr. Jährlich werden rund 2.400 SRm Hackschnitzel verbraucht.

Bei den Investitionskosten wurde die Errichtung eines Heizhauses und eines Brennstoffbunkers auf dem Grundstück in der Schönaustraße berücksichtigt. Der Pufferspeicher wird angelehnt an aktuelle Förderbedingungen (30 Ltr/kW) mit rund 27.000 Ltr bemessen.

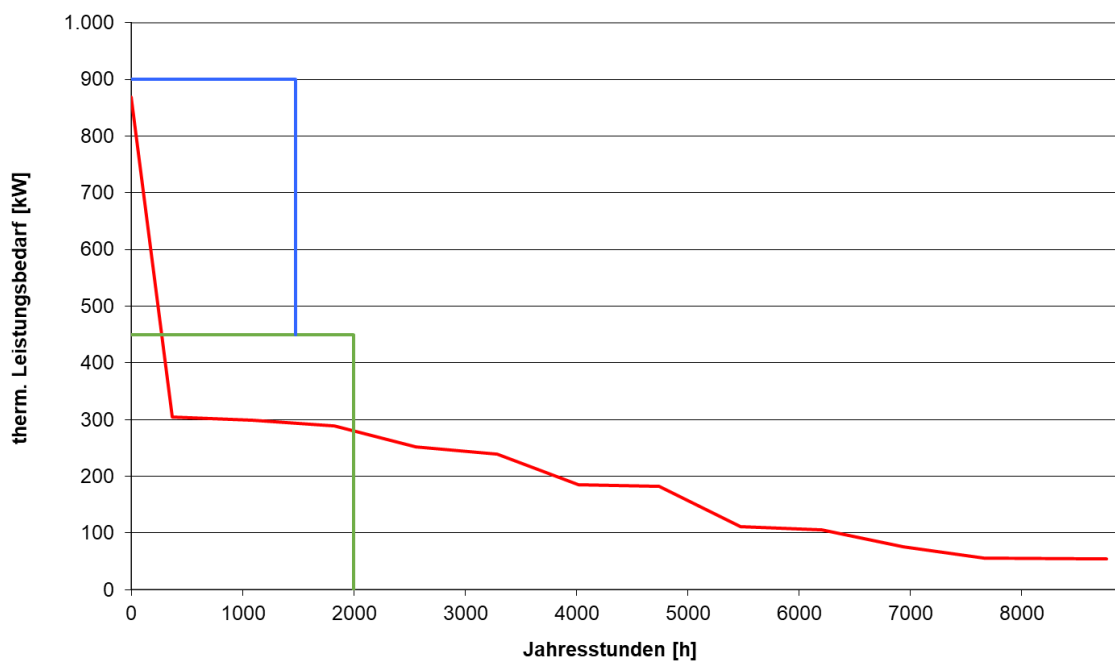


Abbildung 5: Die thermische JDL mit eingetragenen Wärmeerzeugern - Variante 2

3.2.3 Die Energieversorgungsvariante 3: Pelletkessel und Holzvergaser

In dieser Variante erfolgt die Abdeckung der Wärmegrundlast im Nahwärmenetz über einen Holzvergaser mit einer thermischen Leistung von 236 kW_{th}. Die Abdeckung der Spitzenlast erfolgt mittels eines Pelletkessels mit einer Leistung von 700 kW_{th}. Für den Holzvergaser ergeben sich etwa 5.000 Vollbenutzungsstunden im Jahr. Insgesamt werden jährlich rund 625 Tonnen Pellets verbraucht.

Bei den Investitionskosten wurde die Errichtung eines Heizhauses und eines Brennstoffbunkers auf dem Grundstück in der Schönaustraße berücksichtigt. Der Pufferspeicher wird hier mit rund 10.000 Ltr. bemessen.

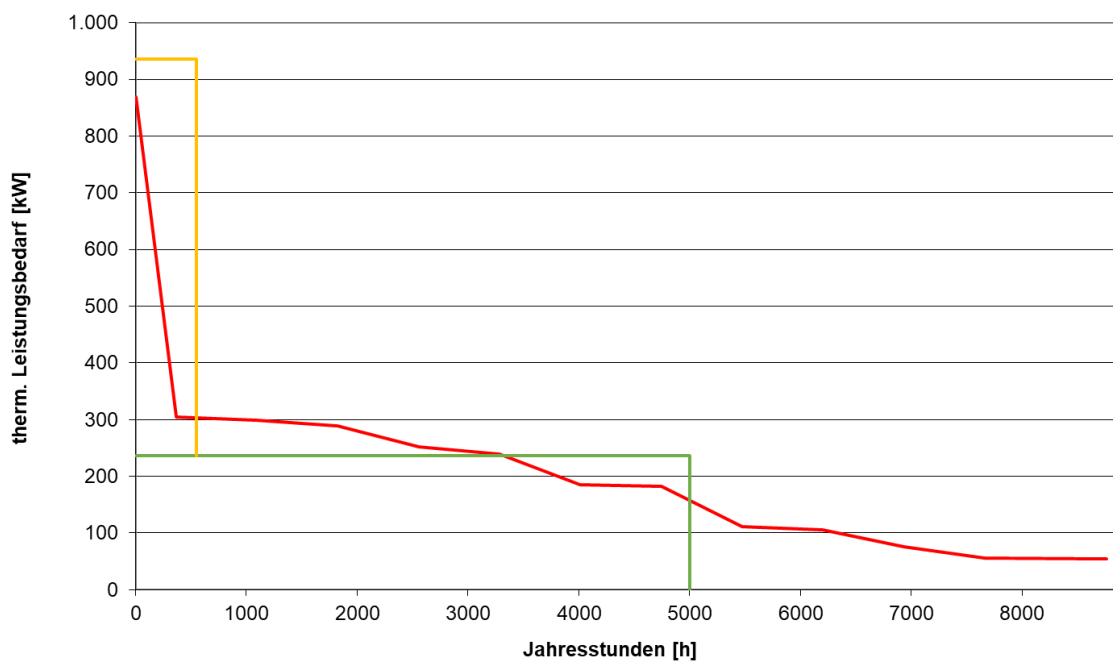


Abbildung 6: Die thermische JDL mit eingetragenen Wärmeerzeugern - Variante 3

3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Energieversorgungsvarianten

Die nachfolgend aufgeführten wirtschaftlichen Grundannahmen gelten für alle in dieser Studie untersuchten Versorgungsvarianten, soweit im Detail nicht anders beschrieben.

Basierend auf den entwickelten Energieversorgungsvarianten wurde eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Ermittlung der ökonomisch günstigsten Wärmeversorgung für einen Nahwärmeverbund im Ortsteil Unfinden durchgeführt. Dabei wurden im Rahmen einer Vollkostenrechnung nach der Annuitätenmethode in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 die Jahresgesamtkosten ermittelt. Die Gesamtkosten geben an, welche Ausgaben und Einnahmen für eine Energieversorgungsvariante unter Berücksichtigung von Kapital-, Instandhaltungs-, Wartungs-, Verbrauchs- und sonstigen Kosten, sowie eventuellen Einnahmen bzw. vermiedenen Bezugskosten durch die Stromproduktion jährlich anfallen.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung gelten folgende **Grundannahmen**:

- Das Bezugsjahr ist 2020.
- Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre.
- Alle angesetzten Preise sind Nettopreise.
- Der kalkulatorische Zinssatz beträgt konstant 2,0 % über 20 Jahre.
- Die Brennstoffkosten bleiben im Betrachtungszeitraum konstant, Preisänderungen sind gesondert über eine Sensitivitätsanalyse zu erfassen.

Folgende **Kosten** bzw. **Erlöse** wurden berücksichtigt:

- Investitionskosten auf Basis durchschnittlicher Nettomarktpreise für die einzelnen Komponenten.
- Betriebsgebundene Kosten für die einzelnen Anlagenkomponenten (Wartung, Instandhaltung, technische Überwachung, etc.).
- Verbrauchsgebundene Kosten (Brennstoff und Hilfsenergie).
- Sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung).

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Wärmeversorgungsstruktur nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Kosten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie angenommenen Nettoinvestitionskosten basieren ebenso wie die Brennstoff- und Betriebskosten auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier kalkulierten abweichen.

Die **Investitionskosten** umfassen im Einzelnen:

- Heizhaus mit Brennstoffbevorratung
- Wärmeerzeuger (Kessel)
- Pufferspeicher
- Technische Installationskosten
- Nahwärmenetz verlegt
- Hausanschlüsse mit Übergabestationen für alle berücksichtigten Abnehmer
- Projektplanung

Die **betriebsgebundenen Kosten** beinhalten in erster Linie Kosten für die Wartung und Instandhaltung der einzelnen Komponenten und werden in Anlehnung an die VDI 2067 als prozentualer Anteil an den Investitionskosten ermittelt. Kosten für Kaminkehrer und technische Überwachung wurden pauschal angesetzt.

Die **verbrauchsgebundenen Kosten** setzen sich aus den Brennstoffkosten und Kosten für Hilfsenergie zusammen. Für die Brennstoffe selbst wurden folgende Nettopreise zu Grunde gelegt:

- Heizöl: 60 Cent/Liter
- Hackschnitzel: 18 €/SRm (H_i=762 kWh/SRm; w=20 %)
- Pellets: 235 €/t (H_i=4.800 kWh/t)

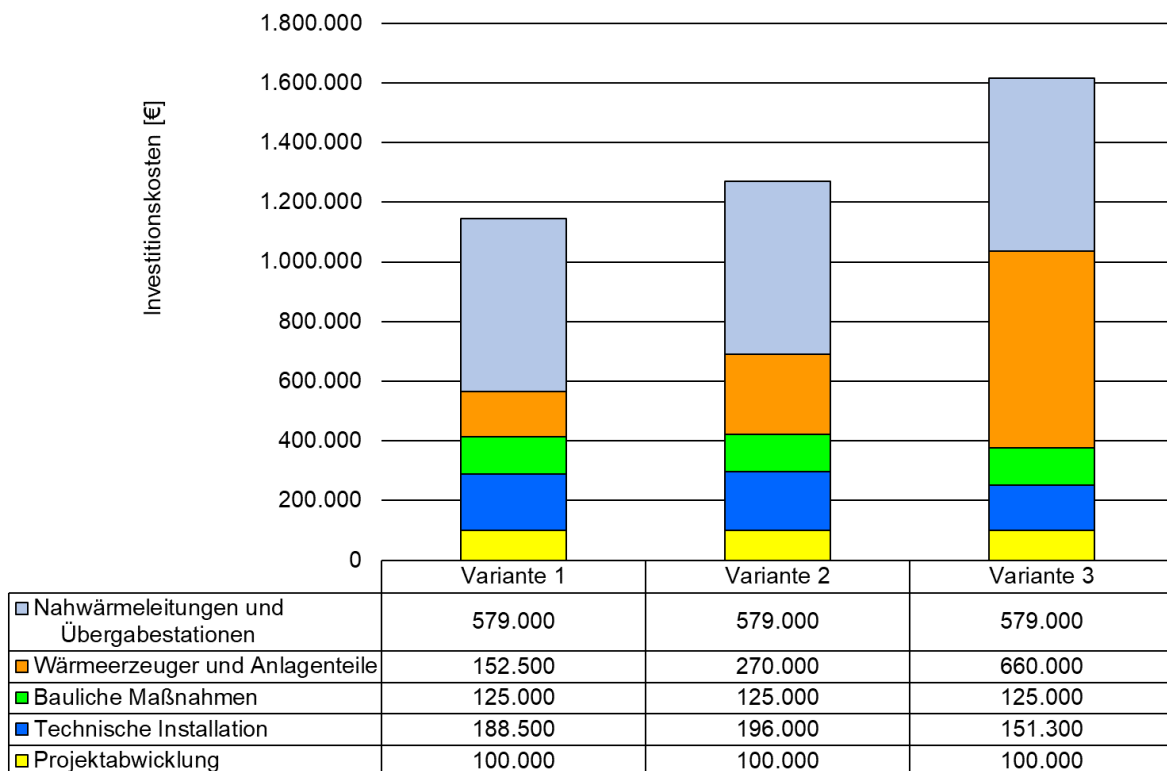
Die **sonstigen Kosten** umfassen Kosten für Verwaltung und Versicherung. Die Versicherungskosten wurden prozentual an den Investitionskosten für die Anlagentechnik angesetzt.

Förderungen:

Je nach betrachteter Variante können zusätzlich unterschiedliche Fördermöglichkeiten beantragt werden. Ein Überblick über aktuelle Fördermöglichkeiten ist – ohne Gewähr auf Vollständigkeit – im Kapitel 4.8 zusammengestellt.

3.3.1 Die Investitionskosten der Energieversorgungsvarianten im Wärmeverbund

In Abbildung 7 sind die Investitionskosten der einzelnen Varianten im Vergleich zueinander dargestellt. Die höchsten Investitionskosten entstehen bei Variante 3 mit Holzvergaser als Grundlastwärmeerzeuger und Pelletkessel. Die geringsten Investitionskosten entstehen bei Variante 1 mit Hackgutkessel als Grundlastwärmeerzeuger und Heizöl-Spitzenlastkessel.

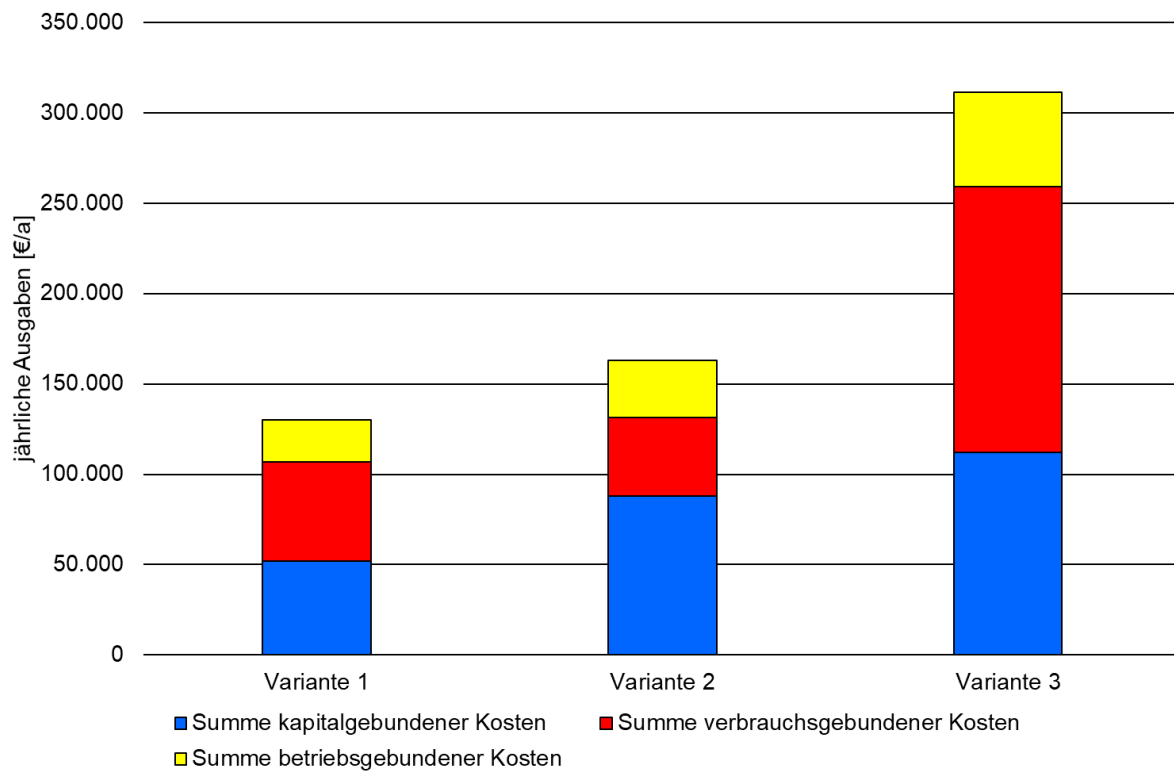


Variante 1	Variante 2	Variante 3
Hackschnitzelkessel	Hackschnitzelkessel	Holzvergaser
Heizölkessel	Hackschnitzelkessel	Pelletkessel

Abbildung 7: Die Investitionskosten der Energieversorgungsvarianten

3.3.2 Die jährlichen Ausgaben der Energieversorgungsvarianten im Wärmeverbund

Die prognostizierten jährlichen Kosten der einzelnen Varianten sind in Abbildung 8 dargestellt. Bedingt durch den höheren Brennstoffbedarf des Holzvergasers fallen in Variante 3 die höchsten jährlichen Kosten an.

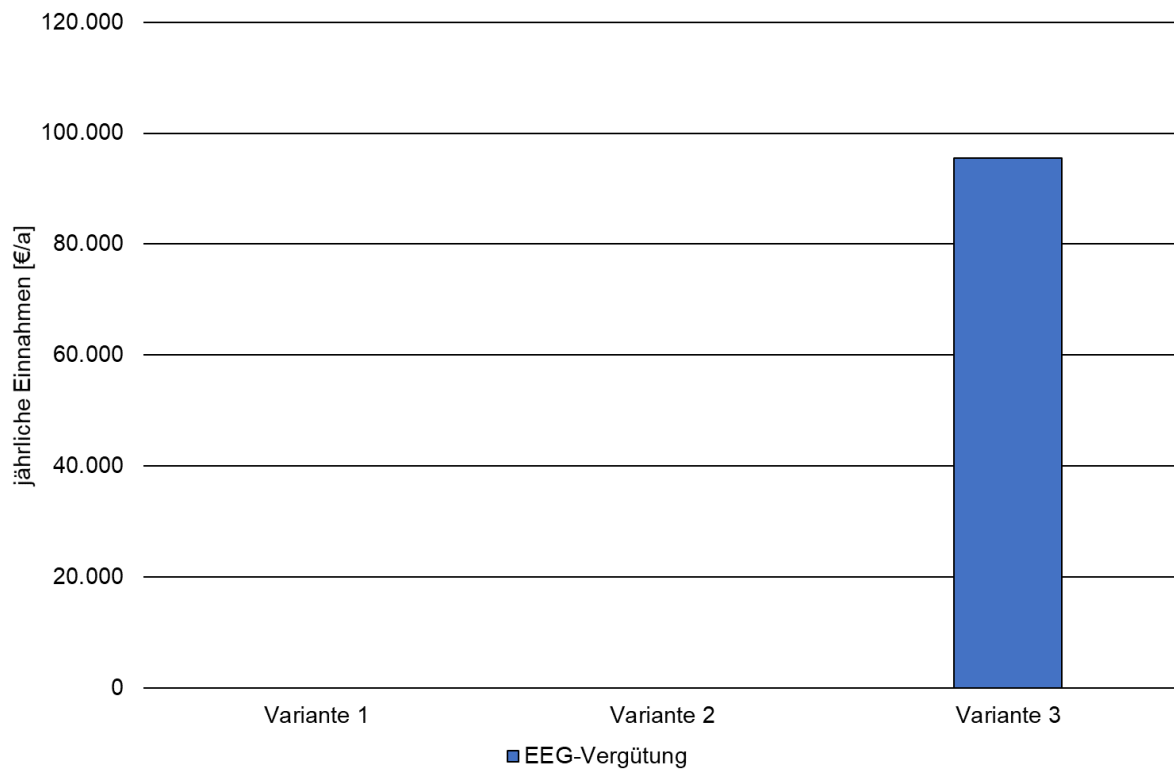


Variante 1	Variante 2	Variante 3
Hackschnitzelkessel	Hackschnitzelkessel	Holzvergaser
Heizölkessel	Hackschnitzelkessel	Pelletkessel

Abbildung 8: Die jährlichen Ausgaben der Energieversorgungsvarianten

3.3.3 Die jährlichen Einnahmen der Energieversorgungsvarianten im Wärmeverbund

Den jährlichen Kosten stehen jährliche Einnahmen gegenüber, welche in Abbildung 9 abgebildet sind. Hierbei entstehen bei Variante 3 mit dem Holzvergaser als Grundlastwärmeerzeuger jährliche Einnahmen durch die EEG-Vergütung.



Variante 1	Variante 2	Variante 3
Hackschnitzelkessel	Hackschnitzelkessel	Holzvergaser
Heizölkessel	Hackschnitzelkessel	Pelletkessel

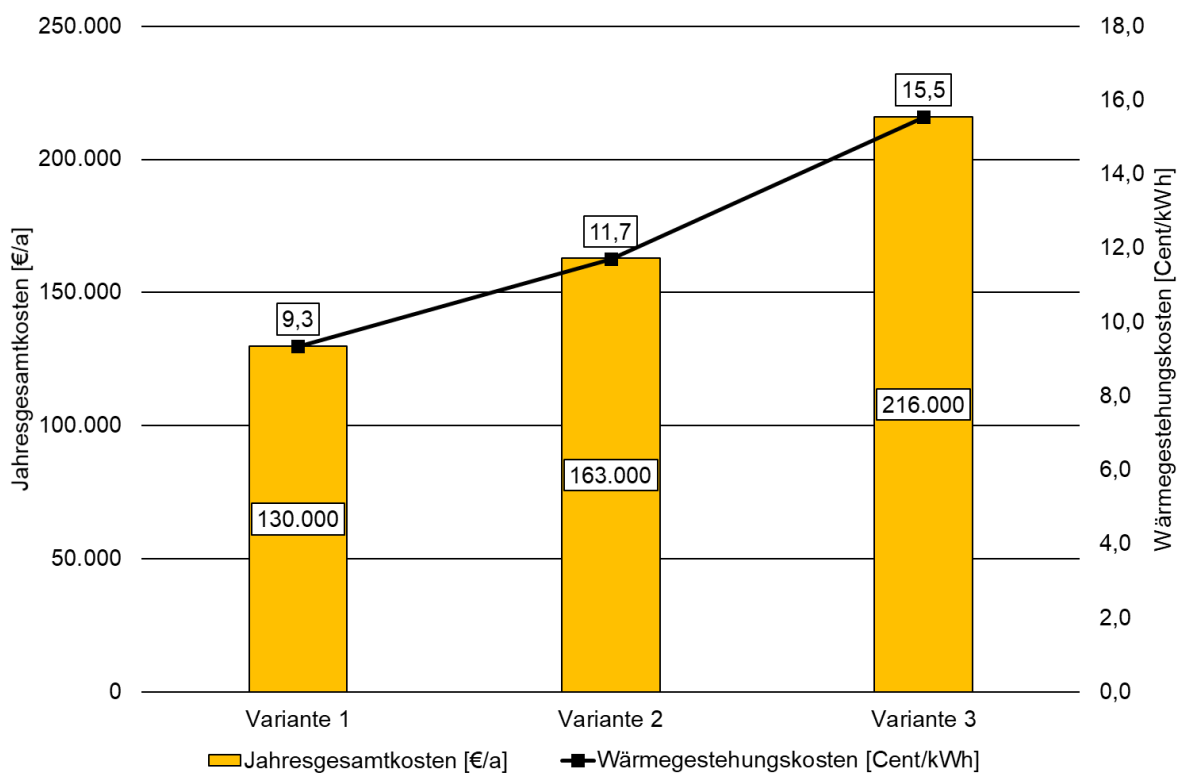
Abbildung 9: Die jährlichen Einnahmen der Energieversorgungsvarianten

3.3.4 Die Jahresgesamt- und spezifischen Wärmegestehungskosten

In Abbildung 10 sind die kalkulierten Jahresgesamt- und spezifischen Wärmegestehungskosten der einzelnen Energieversorgungsvarianten dargestellt.

Die Jahresgesamtkosten ergeben sich aus der Summe der jährlichen kapitalgebundenen-, betriebsgebundenen-, verbrauchsgebundenen und sonstigen Kosten. Aus den Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, die die Kosten pro Kilowattstunde Nutzwärme beziffern. Die spezifischen Wärmegestehungskosten dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen. So müssen sich alternative Konzepte zur Wärmebereitstellung stets gegenüber den spezifischen Wärmegestehungskosten dem IST-Zustand messen (siehe Kapitel 5).

Die niedrigsten Wärmegestehungskosten fallen unter den angesetzten Randbedingungen mit rund 9,3 Cent/kWh bei Variante 1 (Hackgut mit Heizöl-Spitzenlastkessel) an.



Variante 1	Variante 2	Variante 3
Hackschnitzelkessel	Hackschnitzelkessel	Holzvergaser
Heizölkessel	Hackschnitzelkessel	Pelletkessel

Abbildung 10: Die Jahresgesamt- und spezifischen Wärmegestehungskosten der Energieversorgungsvarianten

3.4 CO₂-Bilanz der Energieversorgungsvarianten

Im Zuge einer Gesamtemissionsbilanz werden alle berechneten Energieversorgungsvarianten hinsichtlich des CO₂-Ausstoßes miteinander verglichen und bewertet.

Die beste CO₂-Bilanz ergibt sich bei einer Versorgung der Liegenschaften durch einen Holzvergaser in der Grundlastversorgung, da produzierte Strommengen der Wärmeversorgung gutgeschrieben werden. Gegenüber einer teilweisen fossilen Versorgung mit Heizölkessel ergibt sich bei Variante 2 aber immer noch eine Einsparung von rund 98 t/a.

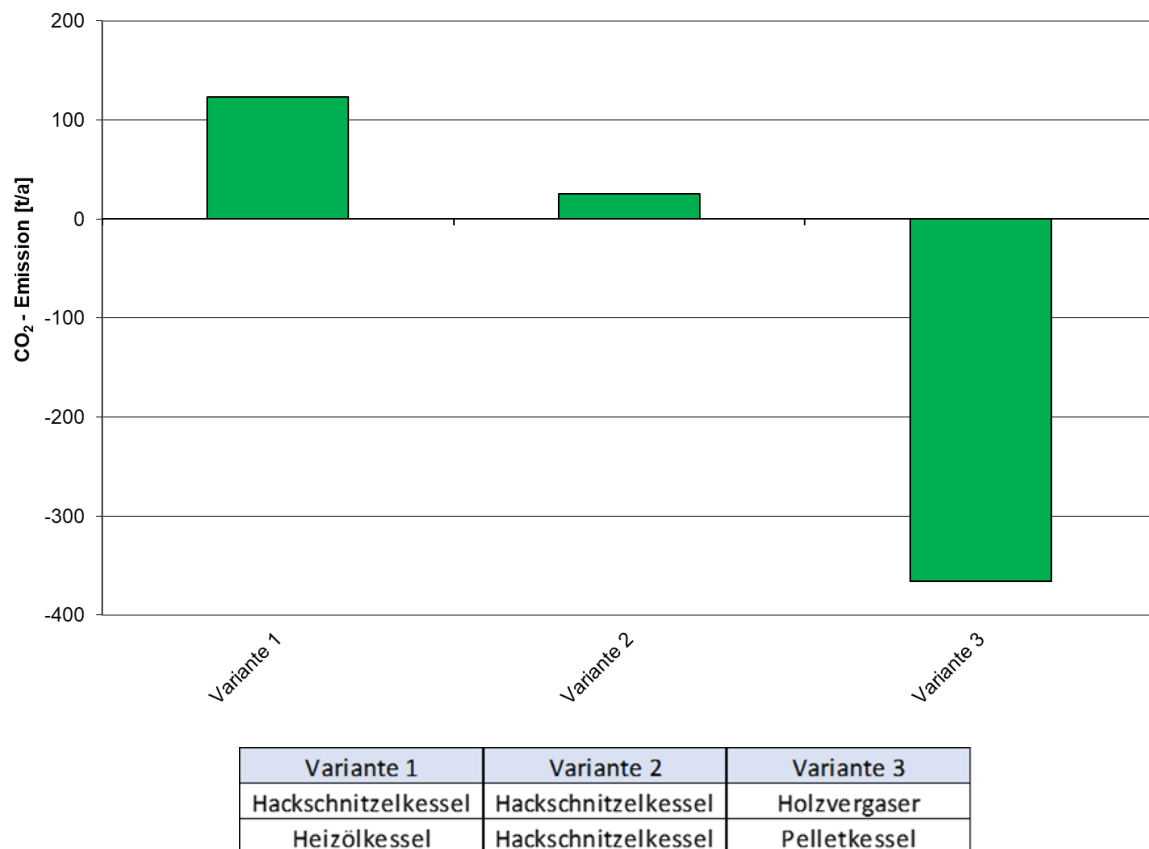


Abbildung 11: Die CO₂-Bilanz der Energieversorgungsvarianten

3.5 Festlegung der Vorzugsvariante

Vom Auftraggeber wurde eine 100 % regenerative Wärmeversorgung vorgeschlagen. Aus diesem Grund und der Förderfähigkeit bei der aktuellen Wärmebelegung von unter 1.500 kWh/a wird im Heizhaus eine Energieversorgungsvariante rein auf Biomasse basierend vorgezogen.

Nun wird die Variante 2 (2x Biomassekessel) einer detaillierten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Fördermittelprüfung und anschließender Sensitivitätsanalyse unterzogen.

4 Detaillierte Ausarbeitung der Nahwärmeversorgung im Ortsteil Unfinden

4.1 Festlegung des Gebietsumgriffs

In einer ersten Abstimmung wurde der Gebietsumgriff als Grundlage zur Dimensionierung einer sinnvollen Wärmetrassenführung des Wärmenetzes festgelegt (siehe Abbildung 12).

Die Datengrundlage für die gebäudescharfen Wärmebedarfe stellt nun, im Vergleich zur vereinfachten Vorüberlegung aus Kapitel 3, eine umfassende Datenerhebung dar. Hierfür wurden Datenerhebungsbögen an die relevanten Liegenschaften im Gebietsumgriff versandt. Abgefragt wurden unter anderem der Energieträger und der Energieeinsatz für die Heizung sowie ein potenzielles Jahr zur Teilnahme am Wärmenetz. Das Ergebnis der Datenerhebung ist ein Endenergiebedarf von rund 927.500 kWh/a in 34 Liegenschaften.

In folgender Abbildung ist der festgelegte Gebietsumgriff des Ortsteiles Unfinden dargestellt.



Abbildung 12: Luftbild der Stadt Königsberg – Ortsteil Unfinden
(Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de)

4.2 Ermittlung der genauen Wärmebedarfsstruktur im Gebietsumfang

Zur Berechnung des Wärmebedarfs der Wohngebäude kann auf die Datengrundlage der eingeholten Datenerhebungsbögen zurückgegriffen werden, welche nach einer Bürgerversammlung ausgegeben wurden. Von den angeschriebenen Liegenschaften bekundeten 34 ihre Teilnahme bis 2025. In diesen Liegenschaften beträgt der von den Endverbrauchern zugesicherte Wärmeabsatz rund 927.500 kWh/a. In Tabelle 2 ist der Wärmebedarf und die Anzahl der zu versorgenden Liegenschaften im Netzabschnitt dargestellt.

Wärmebelegung im Netzabschnitt	Liegenschaften [-]	Wärmebedarf [kWh/a]
Am Bettelmann	2	180.000
Am Schützenhaus	4	86.000
An der Bleiche	0	0
Königsbergerstraße	3	86.000
Mohngasse	2	47.000
Neue Gasse	3	95.000
Raiffeisenstraße	2	44.500
Schönaustraße	8	173.000
Zehntstraße	5	117.000
Zum Brauhaus	1	12.000
Zum Plan	4	87.000
Zur Himmelswiese	0	0
Summe	34	927.500

Tabelle 2: Private Wärmeabnehmer im möglichen Nahwärmeverbund

4.3 Standort der Heizzentrale

Im Rahmen des Energienutzungsplanes wurden anfangs drei Standorte der Heizzentrale diskutiert. Für die weitere Detailbearbeitung wird jedoch, der Standort 3 an der Schönaustraße favorisiert.

In Abbildung 13 ist der favorisierte Standorte der Heizzentrale eingezeichnet.

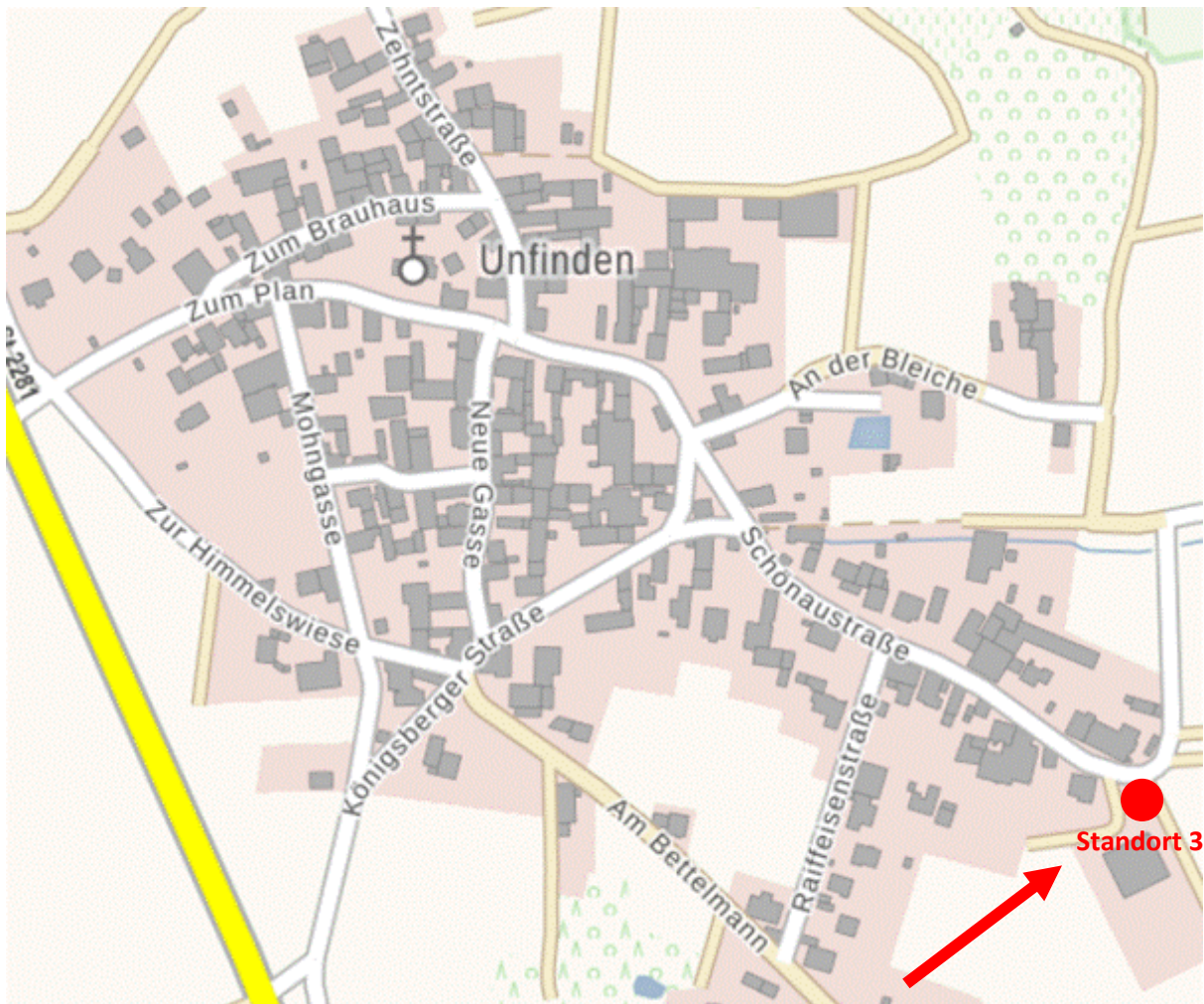


Abbildung 13: Standort Heizhaus - Schönaustraße – Erarbeitung detaillierter Netzvariante

Für den Standort an der Schönaustraße sprechen mehrere Gründe:

- Zum einen wäre das Grundstück vom Betreiber erwerbbar.
- Zum anderen liegt dieser Standort am östlichen Ortsrand. Da die Windrichtung meist von West nach Ost verläuft, ist an diesem Standort mit den geringsten Staubbelastungen für den Ort zu rechnen.

Zudem wurden im Rahmen der Standortprüfung die Zufahrtswege zur Heizzentrale, sowie Wendemöglichkeiten für LKW's geprüft, welche für die Anlieferung des Hackgutes und die Abfuhr der Asche unabdingbar sind. In den folgenden zwei Abbildungen sind Schleppkurven zum Rangieren von LKW's am potenziellen Standort der Heizzentrale eingezeichnet und simuliert.

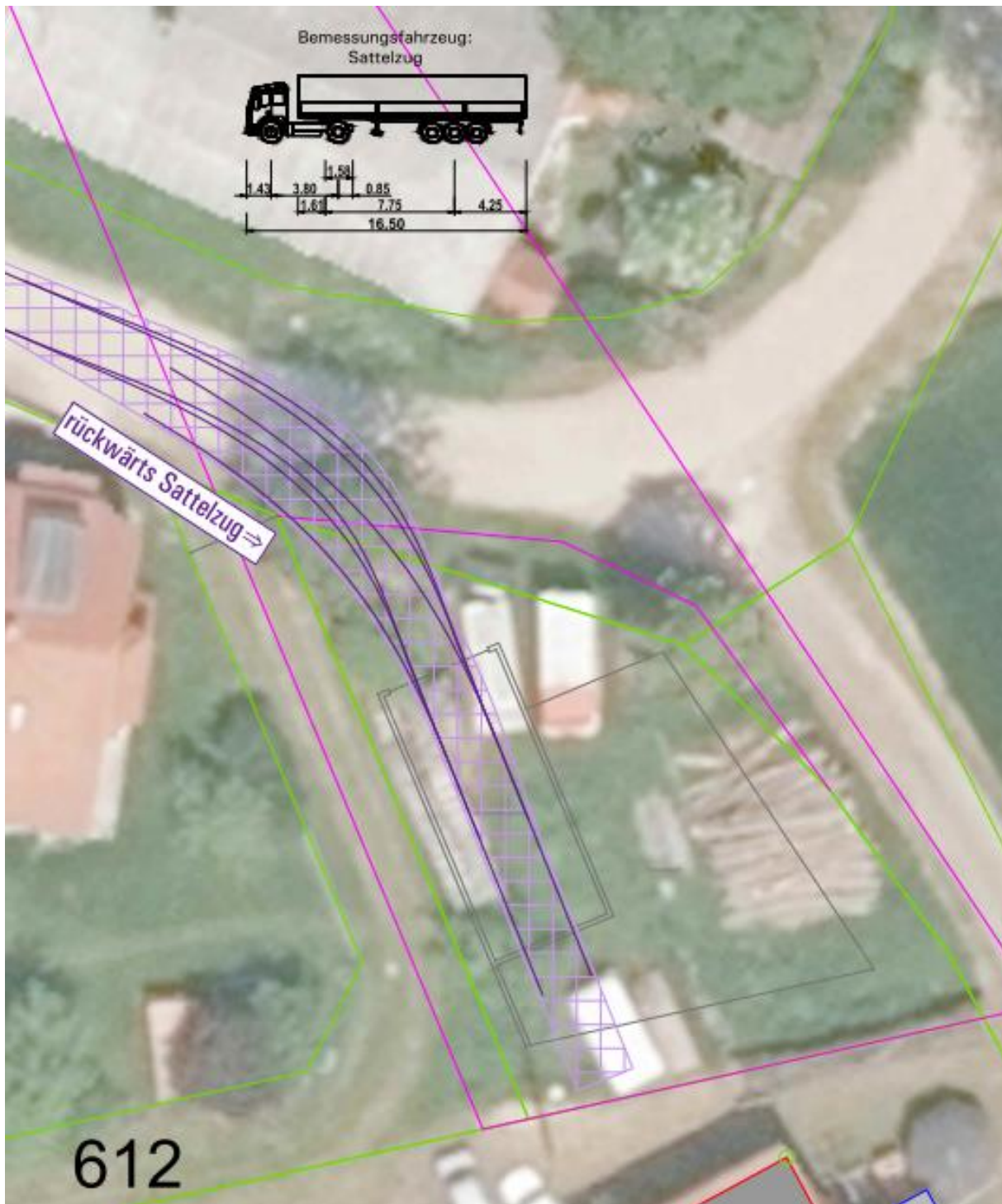


Abbildung 14: Schleppkurve 1 - Standort Schönaustrasse

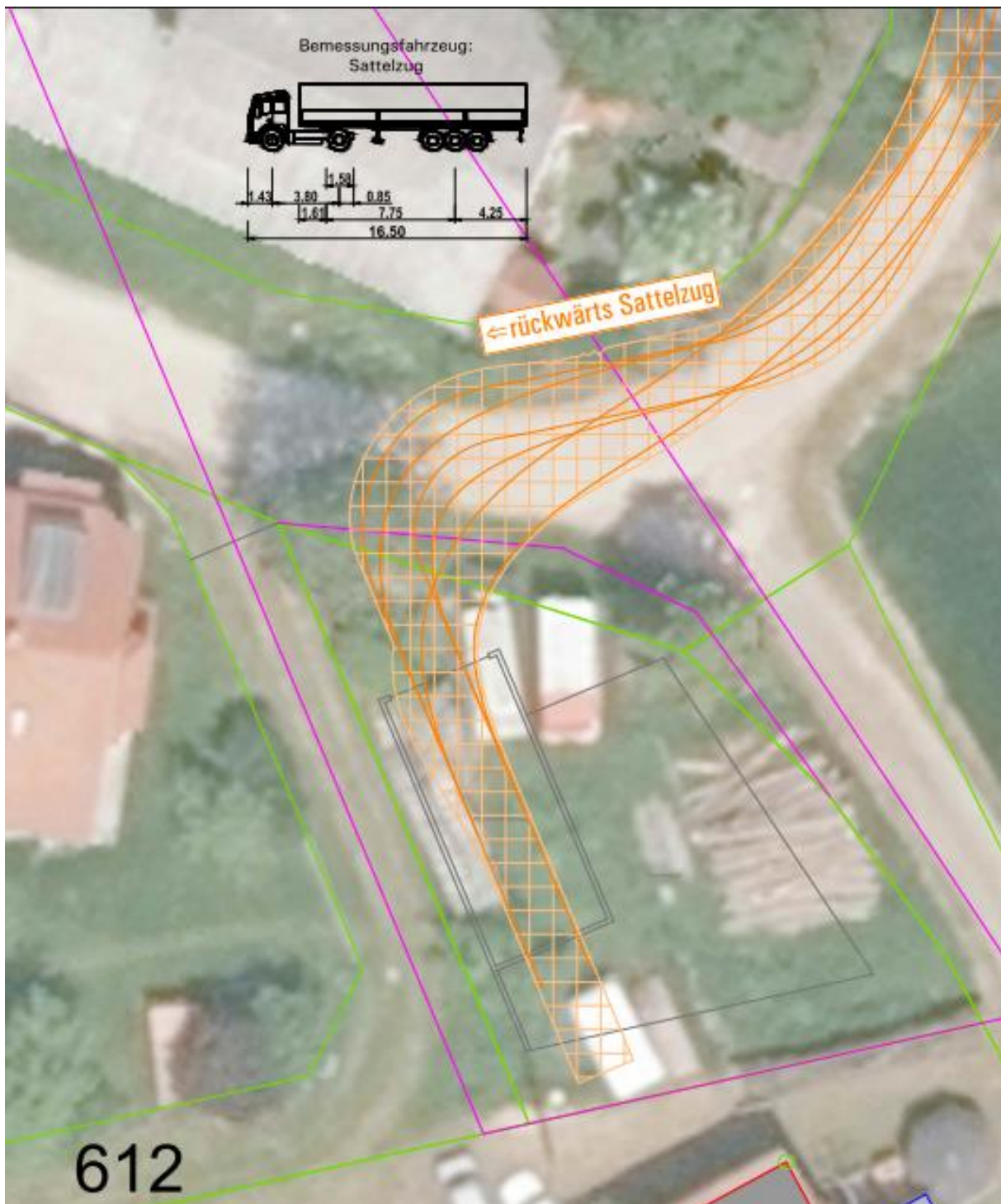


Abbildung 15: Schleppkurve 2 - Standort Schönaustrasse

Wie aus den Schleppkurve hervorgeht, können selbst Sattelzüge bis 40 t Gesamtgewicht zur Heizentrale anfahren ohne das Anlieger beeinträchtigt oder eingeeengt werden.

4.4 Technische Dimensionierung einer sinnvollen Nahwärmetrasse

Mit der genauen Analyse der potenziellen Wärmeabnehmer und der im Rahmen der Datenerhebung erfassten Wärmebedarfsdaten liegen die notwendigen Informationen vor, um eine konkrete und wirtschaftlich sinnvolle Dimensionierung der Nahwärmeversorgung durchführen zu können. Hierfür erfolgt zunächst die Ausarbeitung einer sinnvollen Trassenführung mit Leitungsdimensionierung und Berechnung der resultierenden Netzverluste.

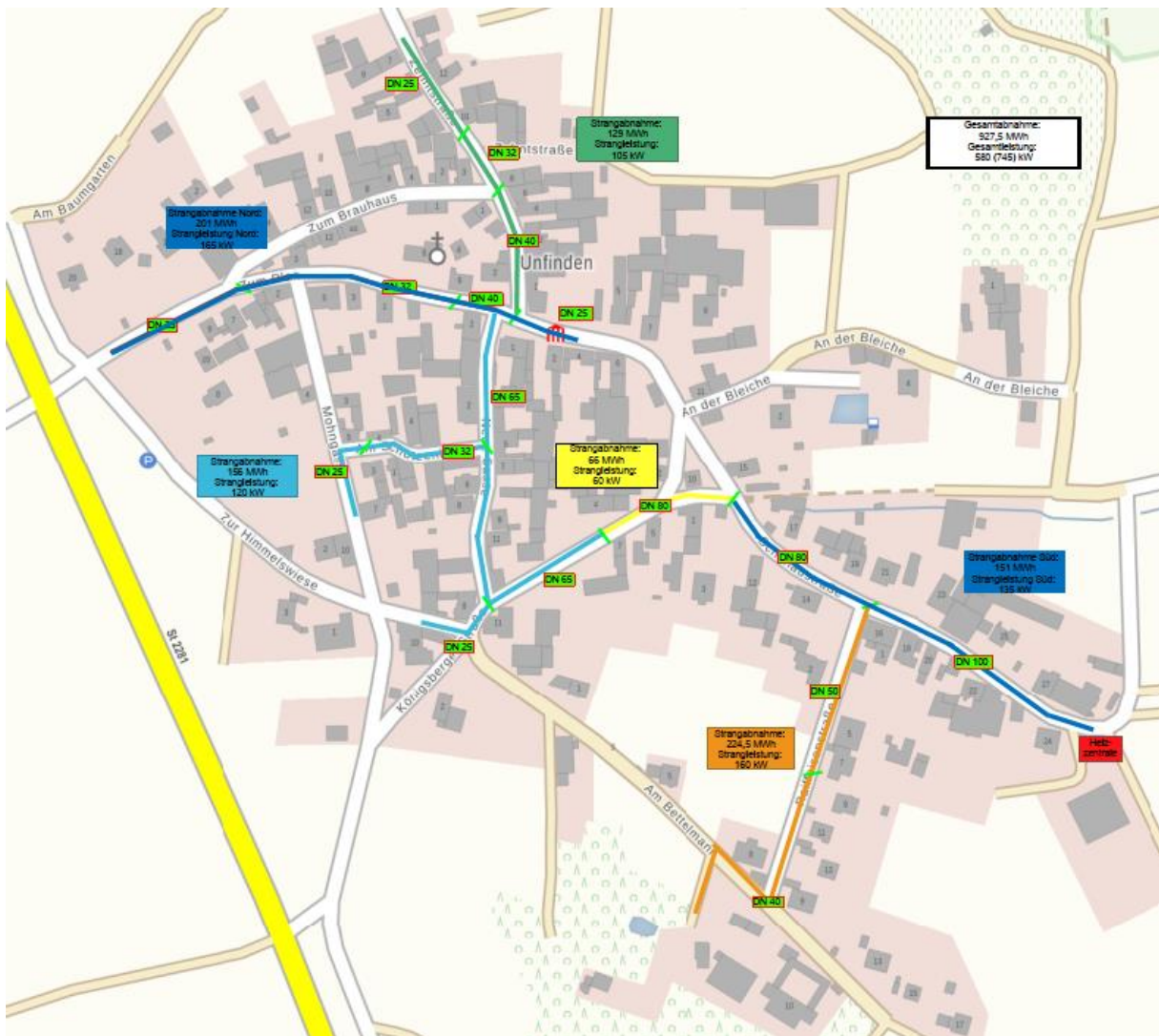


Abbildung 16: Detaillierte Nahwärmetrasse mit gesicherten Wärmekunden

Durch die nun konkreten Abnehmer muss da anfangs in der Grobbetrachtung angenommene Netz teils erheblich umgeplant werden. Daraus ergeben sich nun folgende Netzdaten für die neue Trasse:

Kenndaten des Wärmenetzes		
Netzlänge	1.657	[m]
Heizleistung	515	[kW]
Nutzwärmebedarf	927.500	[kWh/a]
Verlustwärme	121.500	[kWh/a]
Verlust	13,1	[%]
Wärmebelegung	560	[kWh/(m·a)]

Tabelle 3: Netzdaten der finalen Trasse

Durch die teilweise sehr abgelegenen Liegenschaften am Ortsrand ist die insgesamte Trassenlänge von knapp 1.400 m auf insgesamt gut 1.650 m angestiegen. Die Hausanschlussleitungen sind hierbei schon mitinbegriffen und im Mittel mit 8 m Länge berücksichtigt. Der gesicherte Gesamtwärmeabsatz liegt nun bei 927.500 kWh pro Jahr, also gut einem Drittel weniger als in der ersten groben Abschätzung zusammen mit dem Auftraggeber angenommen wurde. Die genannten Faktoren wirken sich nun negativ auf die Wärmebelegung innerhalb des Nahwärmenetzes aus. Diese sinkt in der Detailplanung von 1.000 kWh/m*a auf ca. 560 kWh/m*a. Eine derart niedrige Wärmebelegung erschwert den wirtschaftlichen Betrieb des Wärmenetzes, mit akzeptablen Wärmepreisen für die Abnehmer. Die genauen Auswirkungen werden in der noch folgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erörtert.

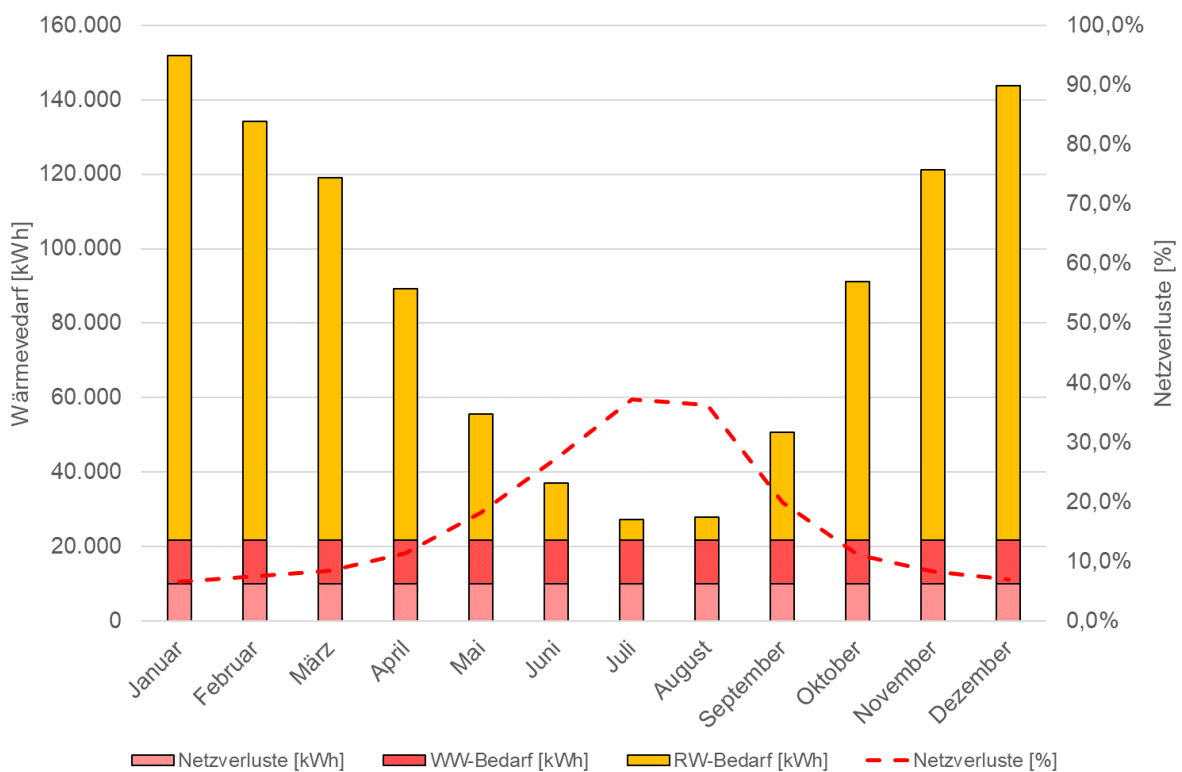


Abbildung 17: Prognostizierter monatlicher Wärmebedarf im Nahwärmenetz

Im Anschluss an die Leitungsdimensionierung und die damit verbundene Ermittlung der rechnerischen Netzverluste kann der monatliche Gesamtwärmebedarf der Fernwärmeversorgung als Summe des Nutzwärmebedarfes der Abnehmer und des Netzverlustes der Wärmeleitung berechnet werden.

Anhand des monatlichen Gesamtwärmebedarfs wird im nächsten Schritt die geordnete Jahresdauerlinie des thermischen Energiebedarfs erstellt.

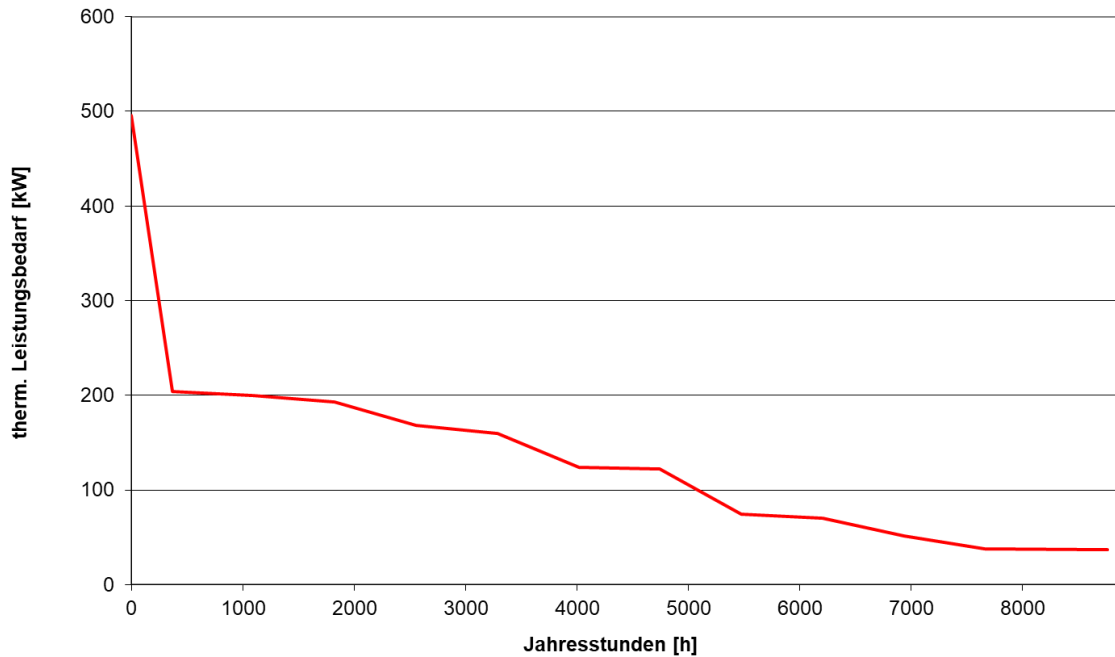


Abbildung 18: Jahresdauerlinie des prognostizierten Wärmeabsatzes

4.5 Dimensionierung der Energieversorgungsvarianten

Im Rahmen der Vorprüfung in Kapitel 3 konnten die entscheidenden Parameter bereits grob überschlagen werden, dazu zählen:

- Platzbedarf (Heizzentrale, Zufahrtswege, Windrichtung, etc.)
- Wärmegestehungskosten
- CO₂-Bilanz

Die obigen Faktoren vereinfachen die Entscheidung für eine Versorgungsvariante deutlich, da nur eine der drei Ansätze alle Anforderungen an die Kriterien erfüllt. Die Entscheidung fiel nach der Grobprüfung auf die Variante 2, also eine reine Biomasseversorgung über zwei Hackgutkessel.

Variante 1 schied trotz besserer Wirtschaftlichkeit aus zwei Gründen aus der Betrachtung aus. Wie bereits zuvor erwähnt, dehnt sich das Netz über weite, auch abgelegene, Liegenschaften aus. Die daraus resultierende niedrige Wärmebelegungsichte erschwert die Fördermöglichkeiten der Netzinfrastruktur. Einzige Chance ein Netz mit derart geringer Wärmebelegung fördern zu lassen, ist eine Wärmeerzeugung aus 100 % Erneuerbaren Energien und nachwachsenden Rohstoffen. Der in Variante 1 enthaltene Öl-Brennwertkessel würde somit eine Förderung verhindern.

Variante 3 wird hingegen zu 100 % aus Biomasse (Pellets) versorgt, kann jedoch nicht wirtschaftlich betrieben werden. Wie die Grobprüfung gezeigt hat, übersteigen die Wärmegestehungskosten dieses Ansatzes die anderen Varianten deutlich.

Somit viel letztlich die Wahl auf Variante 2. Eine Versorgung basierend auf zwei Hackgutkesseln, welche in einer Kaskade verschalten sind. Die Größe der einzelnen Kessel konnte bisher noch nicht final festgelegt werden, da der genaue Wärmebedarf unklar war. Dies soll nun anhand der im Kapitel zuvor gebildeten Jahresdauerlinie erfolgen.

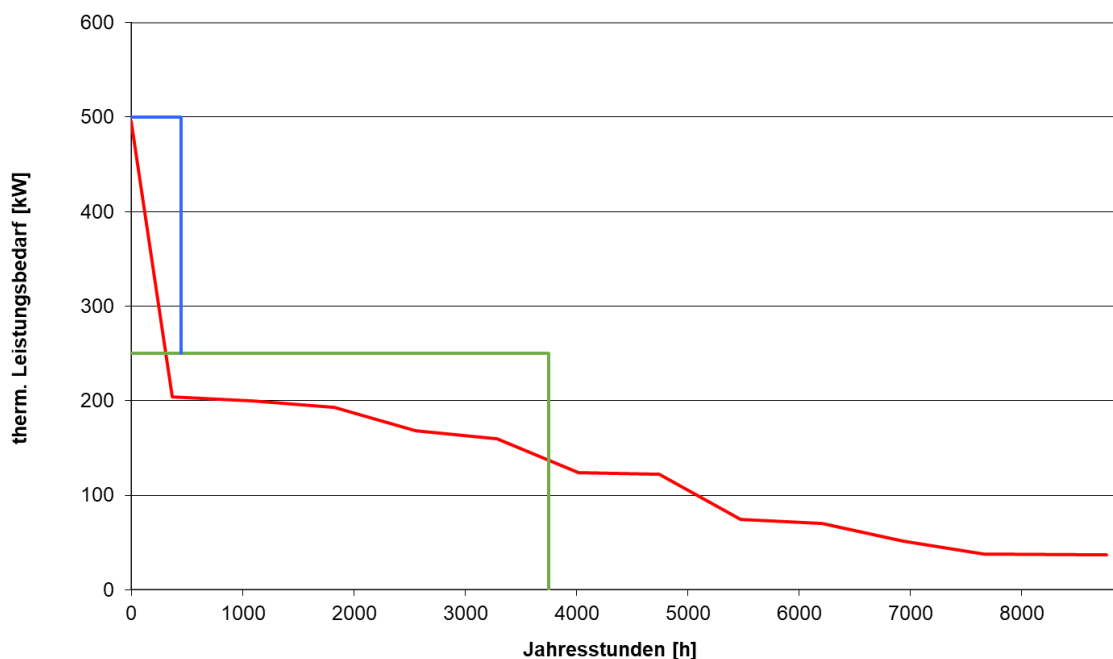


Abbildung 19: Jahresdauerlinie mit eingetragenen Erzeugern für das finale Nahwärmenetz

Werden Wärmeerzeuger in der Grafik flächendeckend eingetragen, kann auf die Laufzeiten und den Anteil an der Jahreswärmebereitstellung der einzelnen Wärmeerzeuger geschlossen werden. Die unter Rücksprache mit den verantwortlichen Akteuren abgestimmten Kesselgrößen werden anschließend detailliert betrachtet. Dies schafft die wissenschaftlich neutrale Grundlage, sämtliche Energie- und

Stoffströme zu bestimmen und damit erneut eine Vollkostenrechnung in Anlehnung an die VDI 2067 durchführen zu können.

Die Wärmeerzeugung soll in Anlehnung an die Jahresdauerlinie demnach durch zwei Hackgutkessel mit je 250 kW Nennleistung erfolgen. Die Kessel fallen durch den gesunkenen Wärmebedarf im Vergleich zur Grobprüfung schlussendlich deutlich kleiner aus.

Die Erzeuger werden dabei rollierend in einer Kaskade verschaltet, damit beide über den Betrachtungszeitraum ähnliche Betriebszeiten aufweisen. Einer der beiden Kessel übernimmt dabei die Grundlastabdeckung (grün), während sich der zweite Kessel nur zur Spitzenlastabdeckung (blau) zuschaltet. In Summe erreichen die beiden Hackgutkessel pro Betriebsjahr so ca. 4.200 Vollbetriebsstunden, wobei die Spitzenlastzeiten, in welchen beide Kessel betrieben werden, nur ca. 450 VBh umfassen. Jährlich werden rund 1.600 SRm Hackschnitzel verbraucht.

Der Pufferspeicher wird unter Berücksichtigung aktueller Förderbedingungen (30 Ltr/kW) und zum Abfangen von Leistungsspitzen mit rund 25.000 Ltr bemessen. Weiterhin hat man sich zur Beschickung der Anlage für die Installation eines befahrbaren Schubbodens entschieden. Die Brennstofflieferanten sind somit unabhängig vom Betriebspersonal oder notwendigen Maschinen (z.B. Radlader, Traktor mit Frontlader, etc.) und können jederzeit ohne fremdes Zutun anliefern.

4.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der favorisierten Hackgutvariante

Analog zur Vorprüfung in Kapitel 3 wird nun auch für die finale Versorgungsvariante eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Ermittlung der ökonomisch günstigsten Wärmeversorgung für einen Nahwärmeverbund im Ortsteil Unfinden durchgeführt. Dabei werden im Rahmen einer Vollkostenrechnung nach der Annuitätenmethode in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 die Jahresgesamtkosten ermittelt. Die Jahresgesamtkosten geben an, welche Ausgaben und Einnahmen für eine Energieversorgungsvariante unter Berücksichtigung von Kapital-, Betriebs-, Wartungs-, Verbrauchs- und sonstigen Kosten sowie eventuelle Einnahmen bzw. vermiedene Bezugskosten durch Stromproduktion jährlich anfallen.

Die Rahmenbedingungen bleiben weitestgehend identisch. Lediglich der kalkulatorische Zinssatz konnte durch mittlerweile deutlich konkretere Gespräche mit der Bank genauer bestimmt werden und wird deshalb hier mit 1,0 % für den Betrachtungszeitraum angenommen.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung gelten deshalb folgende Grundannahmen:

- Das Bezugsjahr ist 2020.
- Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre.
- Alle angesetzten Preise sind Nettopreise.
- Der kalkulatorische Zinssatz beträgt konstant 1,0 % über 20 Jahre.
- Die Brennstoffkosten bleiben im Betrachtungszeitraum konstant, Preisänderungen sind gesondert über eine Sensitivitätsanalyse zu erfassen.

Folgende **Kosten** bzw. **Erlöse** wurden berücksichtigt:

- Investitionskosten auf Basis von Richtpreisangeboten und durchschnittlicher Nettomarktpreise für die einzelnen Komponenten.
- Betriebsgebundene Kosten für die einzelnen Anlagenkomponenten (Wartung, Instandhaltung, technische Überwachung, etc.).
- Verbrauchsgebundene Kosten (Brennstoff und Hilfsenergie).
- Sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung).

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Wärmeversorgungsstruktur nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Kosten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie angenommenen Brennstoff- und Betriebskosten basieren auf Gesprächen und konkreten Angebotsvorlagen. Bei den Investitionskosten hingegen, kann das Projekt deutlich konkreter gefasst werden. Hier wurden für sämtliche Positionen Richtpreisangebote oder Budgetplanungen eingeholt. Die Investitionskosten sind daher trotz des frühen Projektstadiums schon sehr konkret ausgearbeitet. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können die Preise von den hier kalkulierten Kosten jedoch trotzdem abweichen.

Betrachtete Investitionskosten

Die Investitionskosten umfassen im Einzelnen:

- Grundstückskosten mit Erschließung
- Heizhaus mit Brennstoffbevorratung, Beschickung der Kessel und Kamin
- Wärmeerzeuger (Hackgutkessel)
- Pufferspeicher
- Technische Installationskosten
- Nahwärmenetz (verlegt)
- Hausanschlüsse mit Übergabestationen für alle berücksichtigten Abnehmer
- Projektabwicklung, Planung

Die **betriebsgebundenen Kosten** beinhalten in erster Linie Kosten für die Wartung und Instandhaltung der einzelnen Komponenten und werden in Anlehnung an die VDI 2067 als prozentualer Anteil an den Investitionskosten ermittelt. Kosten für Kaminkehrer und technische Überwachung wurden pauschal angesetzt.

Die **verbrauchsgebundenen Kosten** setzen sich aus den Brennstoffkosten und Kosten für Hilfsenergie zusammen. Auch hier wurden, aufgrund des nun konkreten Brennstoffbedarfes, Gespräche und erste Verhandlungen mit den Staatsforsten, Waldbauernvereinigungen und den örtlichen Waldbesitzern geführt.

Die Preise und Qualitäten für Hackgut variieren dabei teils stark, sodass Preise zwischen 12 EUR/SRm und 20 EUR/SRm aufgerufen wurden. Das günstigste Material stammt dabei aus lokalen Forsten und ist von der Qualität für die Kessel zulässig, so dass mit keinen Betriebsstörungen zu rechnen ist. Zudem konnte schon vorab im Falle einer Realisierung ein langfristiger Liefervertrag ausgehandelt werden.

- Hackschnitzel: 12 €/SRm ($H_i=762 \text{ kWh/SRm}$; $w=20 \%$)

Die **sonstigen Kosten** umfassen Ausgaben für Verwaltung und Versicherung.

Förderungen:

Für die betrachtete Vorzugsvariante kommen zwei unterschiedliche Fördermöglichkeiten in Frage.

In der nachfolgenden Betrachtung wurde die Vorzugsvariante mit und ohne der Inanspruchnahme von Fördermitteln betrachtet. Berücksichtigt wurden dabei Mittel welche im Rahmen der Dorferneuerungsrichtlinie (DorfR 2019) vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zur Verfügung gestellt werden (200.000, - EUR) und das KfW-Programm „Erneuerbare Energien Premium“, welches als Tilgungszuschuss im Rahmen eines KfW-Kredites ausbezahlt wird. (267.000, - EUR).

Ein genauer Überblick über die Förderbedingungen und -sätze zu den oben aufgeführten Fördermöglichkeiten ist – ohne Gewähr auf Vollständigkeit – im Kapitel 4.8 zusammengestellt.

4.6.1 Die Investitionskosten der favorisierten Hackgutvariante im Wärmeverbund

In Abbildung 21 sind die Investitionskosten der favorisierten Variante, zusammengefasst in Kostengruppen, dargestellt. Den höchsten Anteil an den Investitionskosten hat dabei die Schaffung der Nahwärmeinfrastruktur. Dazu zählen neben den Nahwärmerohren an sich auch die Tiefbauarbeiten, Hausanschlussleitungen, sowie Übergabestationen bei jedem Endkunden. Die Kosten wurden in Zusammenarbeit mit einem Tiefbauunternehmen ermittelt.

Für die Ausstattung der „leeren“ Heizzentrale mit den Wärmeerzeugern, aller notwendigen Peripherie und TGA, sowie zugehöriger Planung liegt ein Budgetkostenangebot von 620.000 EUR von einem Planungsbüro vor. Diese Kosten wurden nachfolgen auf die einzelnen Kostengruppen aufgeteilt.

Für die baulichen Maßnahmen (Bodenplatte, Errichtung des Gebäudes für die Heizzentrale) liegt ebenfalls eine Kostenprognose von einem Bauunternehmen vor.

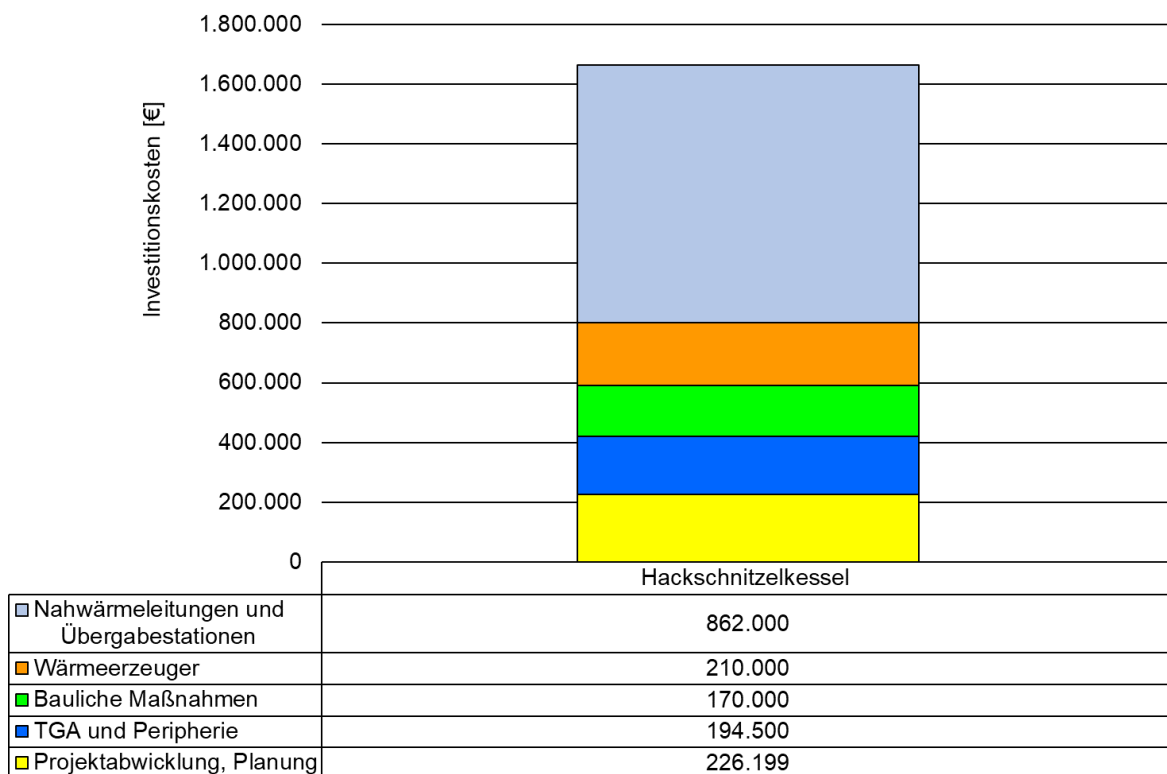


Abbildung 20: Die Investitionskosten der Vorzugsvariante

4.6.2 Die jährlichen Kosten der favorisierten Hackgutvariante im Wärmeverbund

Die prognostizierten jährlichen Kosten der einzelnen Varianten sind in Abbildung 22 dargestellt. Bedingt durch die geringeren Investitionskosten, im Falle einer Förderung, fallen in diesem Fall auch die jährlichen Kapitalkosten geringer aus. Im hier betrachteten Fall macht dies eine Einsparung von rund 26.000,- EUR pro Jahr aus.

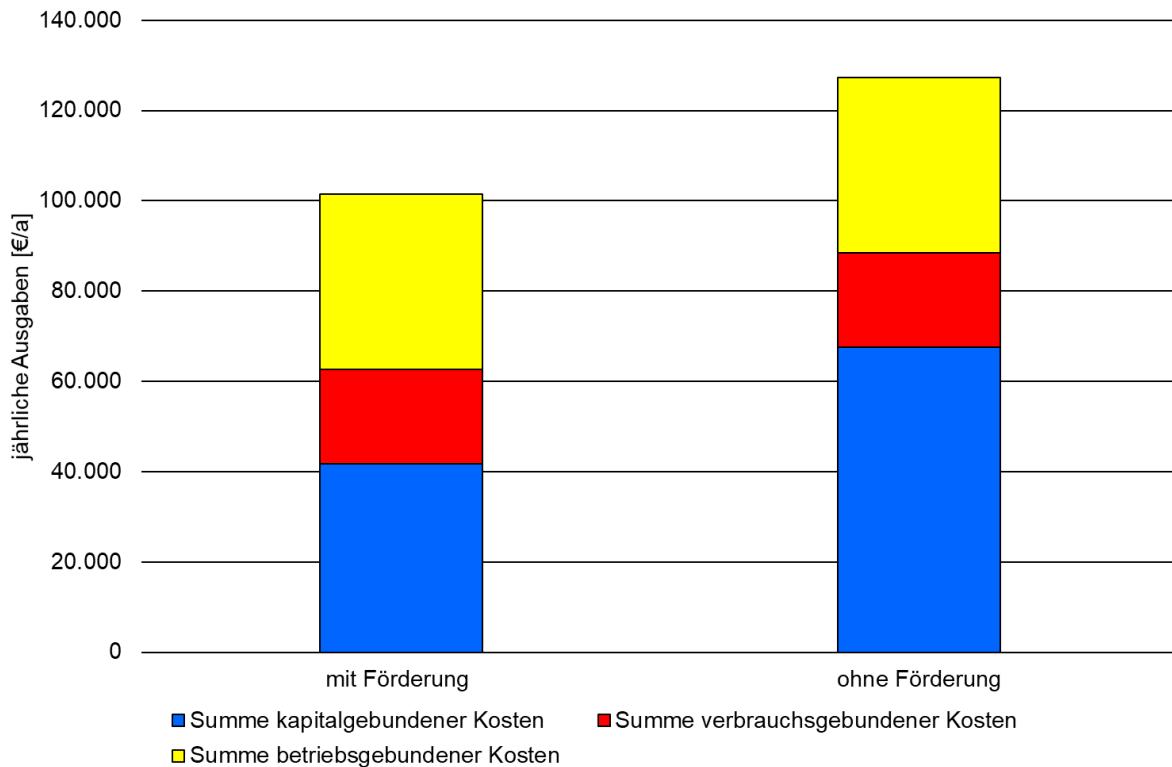


Abbildung 21: Die jährlichen Kosten der Vorzugsvariante

Da als Ziel der Betrachtung Wärmegestehungskosten ermittelt werden sollen, können die Wärmeeinnahmen hier nicht als Erlös berücksichtigt werden. Andere Einnahmen, beispielsweise aus der Vermarktung von produziertem Strom, sind in diesem Versorgungsansatz nicht möglich.

4.6.3 Die Jahresgesamt- und spezifischen Wärmegestehungskosten

Die Jahresgesamtkosten ergeben sich aus der Summe der jährlichen kapitalgebundenen-, betriebsgebundenen-, verbrauchsgebundenen- und sonstigen Kosten, abzüglich von zusätzlichen Einnahmen. Wie bereits im Kapitel zuvor erwähnt, hat die favorisierte Wärmeversorgung in dieser Variante aber keine Einnahmemöglichkeiten abseits der Wärmevermarktung.

Aus den Jahresgesamtkosten werden anschließend die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, welche die Kosten pro Kilowattstunde Nutzwärme beziffern. Die spezifischen Wärmegestehungskosten dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen. So müssen sich alternative Konzepte zur Wärmebereitstellung stets gegenüber den spezifischen Wärmegestehungskosten im IST-Zustand messen.

Die niedrigsten WGK fallen unter den angesetzten Randbedingungen mit rund 10,9 Cent/kWh, netto bei vollem Erhalt der Fördermittel an. Sollten, möglicherweise auch aus nicht selbstverschuldeten Gründen, die Fördermittel versagt werden, so müsse mit Wärmepreisen um 13,7 ct/kWh, netto gerechnet werden.

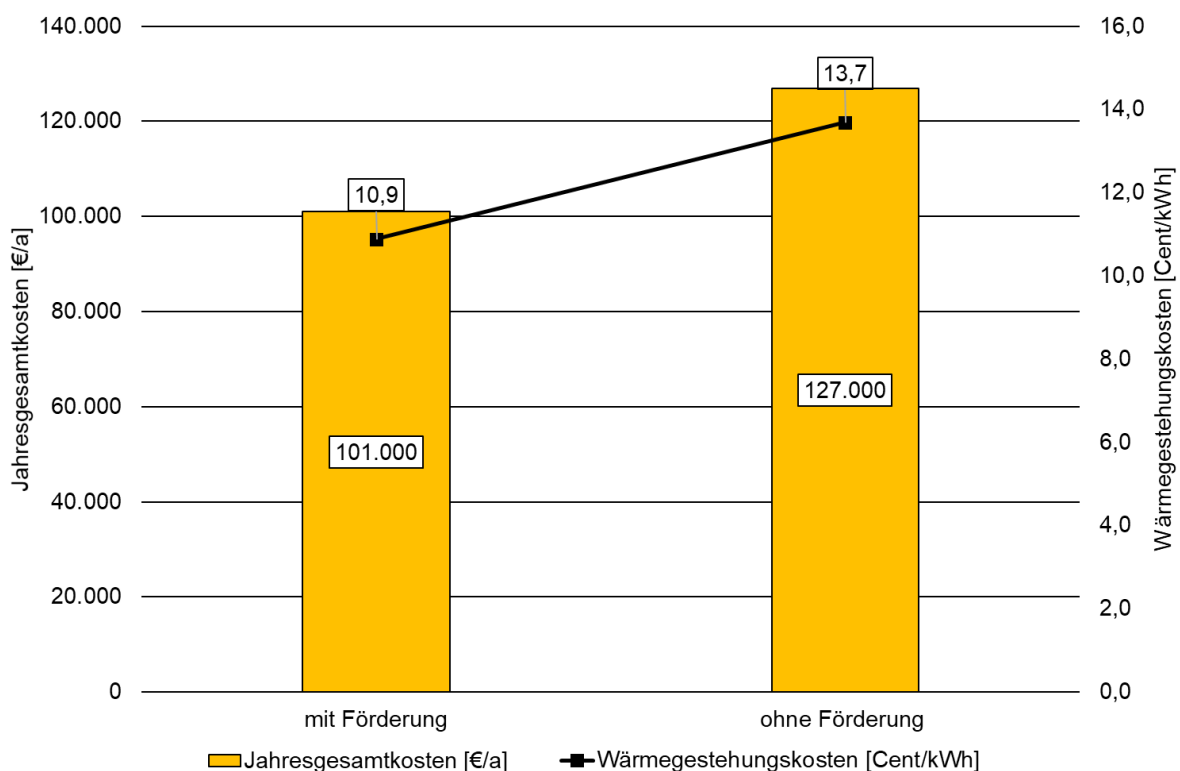


Abbildung 22: Die Jahresgesamt- und spezifischen Wärmegestehungskosten der Energieversorgungsvarianten

4.7 CO₂-Bilanz und Primärenergiefaktor der favorisierten Hackgutvariante

Im Zuge einer Gesamtemissionsbilanz wird der CO₂-Ausstoß anhand aller Brennstoff- und Energieströme ermittelt.

Bei der hier betrachteten Wärmeversorgung auf ausschließlicher Basis von Holz-Hackgut ist neben dem Brennstoff nur der eingesetzte Hilfsstrom für den Betrieb der Heizzentrale, sowie des Nahwärmenetzes zu berücksichtigen.

Mit Hilfe der CO₂-Faktoren aus der GEMIS-Datenbank kann in Verbindung mit den eingesetzten Energiemengen der jährlich CO₂-Ausstoß für die Wärmeversorgung ermittelt werden. Dieser liegt bei ca. 28,4 t CO₂ pro Jahr.

Gegenüber einer teilweise fossilen Versorgung mit dezentralen Heizölkessel im IST-Zustand ergibt sich durch den Nahwärmeverbund eine Einsparung von rund 215 to/a.

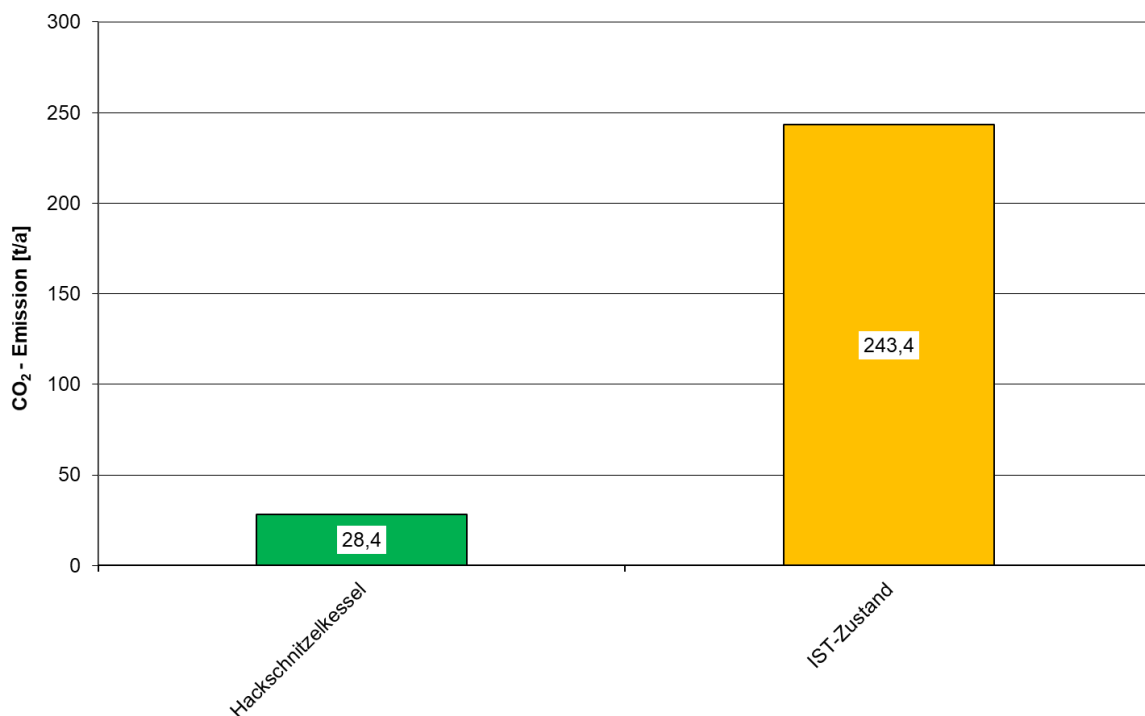


Abbildung 23: Die CO₂-Bilanz der Energieversorgungsvarianten

Der abgeschätzte Primärenergiefaktor der Vorzugsvariante liegt rechnerisch bei ca. 0,3. Mit diesem niedrigen Primärenergiefaktor, sollten auch künftige Abnehmer bei Neubau oder Sanierung keinerlei Schwierigkeiten beim Erfüllen des geforderten Baustandards haben.

4.8 Darstellung aktueller Fördermöglichkeiten

Mögliche Förderprogramme für eine künftige Energieversorgung im Nahwärmenetz, z.B. mit dem Einsatz von Erneuerbaren Energien, werden nachfolgend dargestellt. Es erfolgt jedoch keine Gewähr auf Vollständigkeit der Angaben und einer pauschalen Gewährung der Programme.

Ein Rechtsanspruch des Antragstellers auf Zuwendungen besteht nicht. Die KfW-Fördermittelbank, das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, sowie das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten entscheiden selbst über die Zuwendungen. Die Gewährung der Zuwendung steht unter dem Vorbehalt der Verfügbarkeit der veranschlagten Haushaltsmittel.

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

Dorferneuerungsrichtlinie (DorfR 2019)

Die Dorferneuerung dient im Rahmen der angestrebten ländlichen Entwicklung der nachhaltigen Verbesserung der Lebens-, Wohn-, Arbeits- und Umweltverhältnisse auf dem Lande, insbesondere der agrarstrukturellen Verhältnisse und städtebaulich unbefriedigender Zustände.

Durch die Dorferneuerungsrichtlinie sollen unter anderem auch Beiträge zum Klimaschutz, zur Energiewende, zur Anpassung an den Klimawandel, zur Grundversorgung, zur Mobilität, zur Digitalisierung und zur Barrierefreiheit geleistet werden.

Damit sollen die Dörfer und ländlich strukturierte Gemeinden vor dem Hintergrund der aktuellen Herausforderungen, insbesondere des demografischen Wandels und des Klimawandels, auf künftige Erfordernisse vorbereitet werden.

Im Rahmen der Dorferneuerung können gefördert werden:

- Vorbereitungen
- Planungen und Beratungen
- gemeinschaftliche und öffentliche Maßnahmen und Anlagen.

Der geplante Nahwärmeverbund ist nach Abstimmung mit dem Amt für ländliche Entwicklung (kurz: ALE) in Unterfranken eine solche Maßnahme und kann daher unter Beachtung der Förderauflagen durch das Programm unterstützt werden.

Im Gespräch mit dem ALE Unterfranken wurde darauf hingewiesen, dass der gemeinschaftliche Charakter der Maßnahme vor wirtschaftlichen Absichten stehen muss. Die ursprünglich geplante Gründung eines Kommunalunternehmens der Stadt Königsberg in Form einer GmbH wird hierbei kritisch angesehen, da eine GmbH immer den Anschein einer Gewinnabsicht hat. Das ALE präferiert hier die Gründung einer Genossenschaft (eG) innerhalb der Dorfgemeinde. Dies wurde von der Bevölkerung aus administrativen Gründen in erster Instanz abgelehnt. Erst nach dem in dieser Sache eine Einigung zwischen ALE und dem Antragsteller stattgefunden hat, kann mit einem positiven Zuwendungsbescheid gerechnet werden.

Zudem stellt das ALE an Nahwärmenetze, welche nicht vollständig aus erneuerbaren Energien versorgt werden, eine Mindestwärmebelegung von 1.500 kWh/m*a. Da diese im hier betrachteten Nahwärmeverbund nicht erreicht wird, muss eine Wärmeerzeugung auf Basis von 100 Prozent erneuerbaren Energien errichtet werden. Die Variante 1 mit der Spitzenlastabdeckung über Heizöl-Brennwertkessel scheidet dadurch vorzeitig aus.

Die Förderung beläuft sich hierbei auf maximal 50 % der zuwendungsfähigen Kosten und einem Förderhöchstsatz von max. 200.000, - EUR pro Maßnahme. Die gleichzeitige Inanspruchnahme von Zuwendungen aus anderen Förderprogrammen ist zulässig, soweit dies dort nicht ausgeschlossen ist.

Weitere Informationen können dem Programm Dorferneuerung entnommen oder unter <https://www.stmelf.bayern.de/agrarpolitik/foerderung/004011/> nachgelesen werden.

KfW-Programm EE „Premium“

Im KfW-Programm Erneuerbare Energien „Premium“ (271/281) wird ein Wärmenetz gefördert, wenn

- mind. 50 % der Wärme aus Erneuerbaren Energien stammt und
- ein Mindestwärmeabsatz von 500 kWh/(Tm*a) gegeben ist.

Zusätzlich sind in diesem Programm auch die Kosten zur Errichtung der Hausübergabestationen förderfähig. Die Höhe der Förderung beträgt:

- 60 €/Tm; der Förderhöchstbetrag liegt hier bei 1 Mio. €
- 1.800 € je Hausübergabestation

Die Förderung wird nicht gewährt, wenn bereits eine Förderung über das KWKG greift. Alle zuwendungsfähigen Kosten für das Wärmenetz inkl. Hausübergabestationen aus Varianten 1 - 3 wären förderfähig.

Im Programmteil „Premium“ des KfW-Programmes wird die Errichtung bzw. Erweiterung automatisch beschickter Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse für die thermische Nutzung (z.B. Hackgut- oder Pelletkessel) und zur kombinierten Wärme- und Stromerzeugung (KWK) mit einer installierten Nennwärmeleistung von 100 kW bis 2 MW gefördert.

Die Förderung erfolgt über ein Darlehen in Kombination mit Tilgungszuschüssen.

- Biomasseanlagen zur Verbrennung fester Biomasse:

Der Tilgungszuschuss (Grundförderung) beträgt 20 € je kW installierter Wärmeleistung, höchstens jedoch 50.000 € je Einzelanlage. Bei besonders niedrigen Staubemissionen und/oder Errichtung eines Pufferspeichers kann eine erhöhte Förderung (Innovationsförderung) gewährt werden. Die Gesamthöchstförderung beträgt 100.000 € je Anlage. Der Zuschuss erhöht sich bei Einhaltung von niedrigeren Staubemissionen (maximal 15 mg/m³, bei 13 % Sauerstoff im Abgas) um 20 € je kW. Bei der Errichtung eines Pufferspeichers (mindestens 30 l/kW) erhöht sich die Grundförderung um 10 €/kW.

- Große Wärmespeicher

Für förderfähige Wärmespeicher ohne Anspruch auf Zuschlagszahlung gemäß Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz gilt: 250 Euro je Kubikmeter Speichervolumen für förderfähige große Wärmespeicher mit mehr als 10 Kubikmeter Wasservolumen. Die Förderung ist auf 30 % der für den Wärmespeicher nachgewiesenen Nettoinvestitionskosten beschränkt. Der maximale Tilgungszuschuss je Wärmespeicher beträgt 1 Million Euro.

In Summe sind so folgende Fördersummen für die geplanten Komponenten nach dem KfW „Erneuerbare Energien Premium“ möglich:

Fernwärmeleitung		Pufferspeicher	
Förderung	60 EUR/Tm	Förderung	250 EUR/m ³
Planungsstand	1.657 Tm	Planungsstand	25 m ³
Fördersumme	99.420 EUR	Fördersumme	6.250 EUR

Hausübergabestationen		Biomassekessel	
Förderung	1.800 EUR/m	Förderung	50 EUR/kW
Planungsstand	34	Planungsstand	500 kW
Fördersumme	61.200 EUR	Fördersumme	25.000 EUR

Tabelle 4: Kalkulation der KfW-Förderung "Erneuerbaren Energien Premium"

Der maximale Tilgungszuschuss liegt bei knapp 192.000 EUR (siehe Tabelle 4). Zusätzlich wird auf diese Summe ein Bonus von 10 Prozentpunkten gewährt, insofern auch KMU von der Anlage profitieren, was hier der Fall wäre. Weiterhin wird durch das „Anreizprogramm Energieeffizienz“ ein Bonus

von 30 Prozent gewährt, wenn durch das Vorhaben überwiegend ineffiziente Wärmeerzeuger ersetzt werden. Auch dies trifft beim geplanten Projekt zu, da überwiegend alte dezentrale Heizöl- und Scheitholzessel ausgetauscht werden. Mit den Boni ist somit ein Tilgungszuschuss von max. 267.000 EUR möglich.

Die genaue Fördersumme wird erst durch den Finanzierungspartner bei der Beantragung des Kredites über die KfW ermittelt.

Weitere Informationen können der Programmübersicht der KfW (Erneuerbare Energien) entnommen oder unter [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Finanzierungsangebote/Erneuerbare-Energien-Premium-\(271-281\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Finanzierungsangebote/Erneuerbare-Energien-Premium-(271-281)/) nachgelesen werden.

4.9 Sensitivitätsanalysen

Bei der Ermittlung der spezifischen Wärmegestehungskosten wird über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg von konstanten Brennstoffpreisen (statisch) ausgegangen. Da dies in der Regel nicht der Fall ist, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, welche die Abhängigkeit der spezifischen Wärmegestehungskosten von den Brennstoffkosten untersucht. Von den „statisch“ ermittelten Wärmegestehungskosten ausgehend, werden prozentuale Steigerungen und Minderungen im Brennstoffpreis berechnet und ihre Auswirkungen auf die Wärmegestehungskosten ermittelt. Werden die jeweiligen Sensitivitätsgraphen der einzelnen Szenarien (mit / ohne Förderung) untereinander verglichen, lässt sich eine Aussage hinsichtlich einer gegebenenfalls eintretenden Parität der Varianten in Abhängigkeit des Brennstoffes treffen.

Exemplarisch ist in Abbildung 25 eine Sensitivitätsanalyse dargestellt. Statisch berechnet, ergeben sich Wärmegestehungskosten von 16,1 Cent/kWh_{th} (1). Auf der X-Achse sind die prozentualen Änderungen eines Parameters, hier des Brennstoffpreises, angegeben. Steigt dieser um 50 % (2), so steigen auch die WGK von 16,1 Cent/kWh_{th} auf 22,9 Cent/kWh_{th} (3).

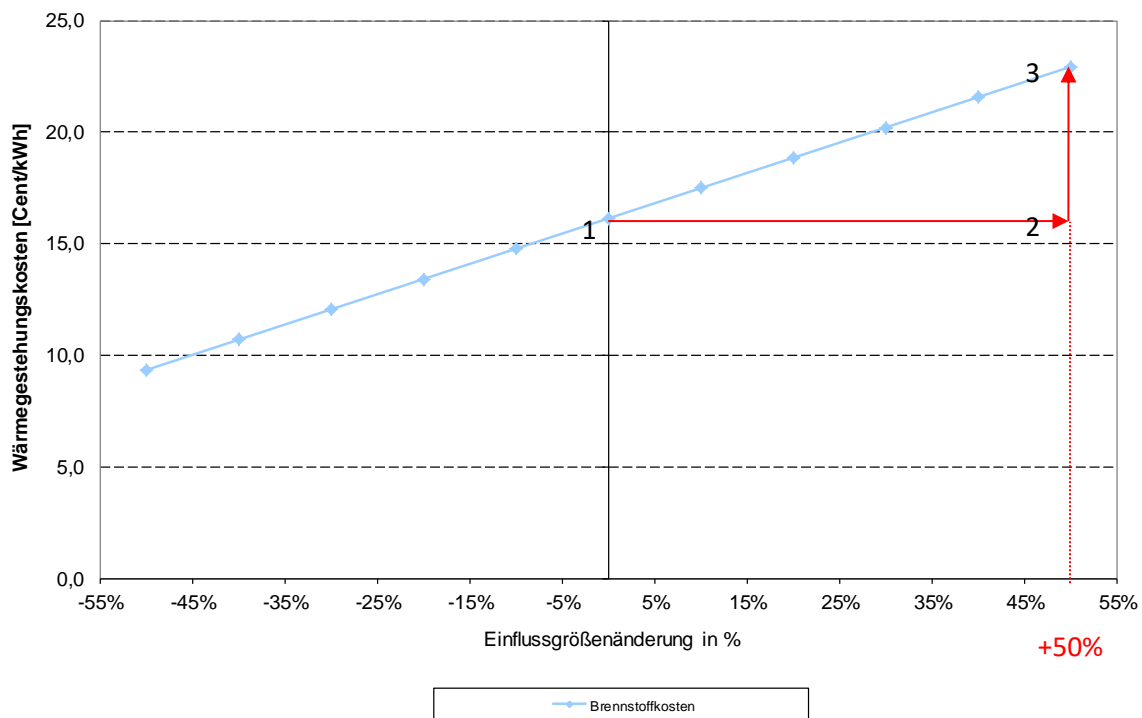


Abbildung 24: Exemplarische Sensitivitätsanalyse

Variation der Brennstoffkosten:

In Abbildung 26 ist der Einfluss der Brennstoffkosten auf die Wärmegestehungskosten für die beiden betrachteten Szenarien dargestellt.

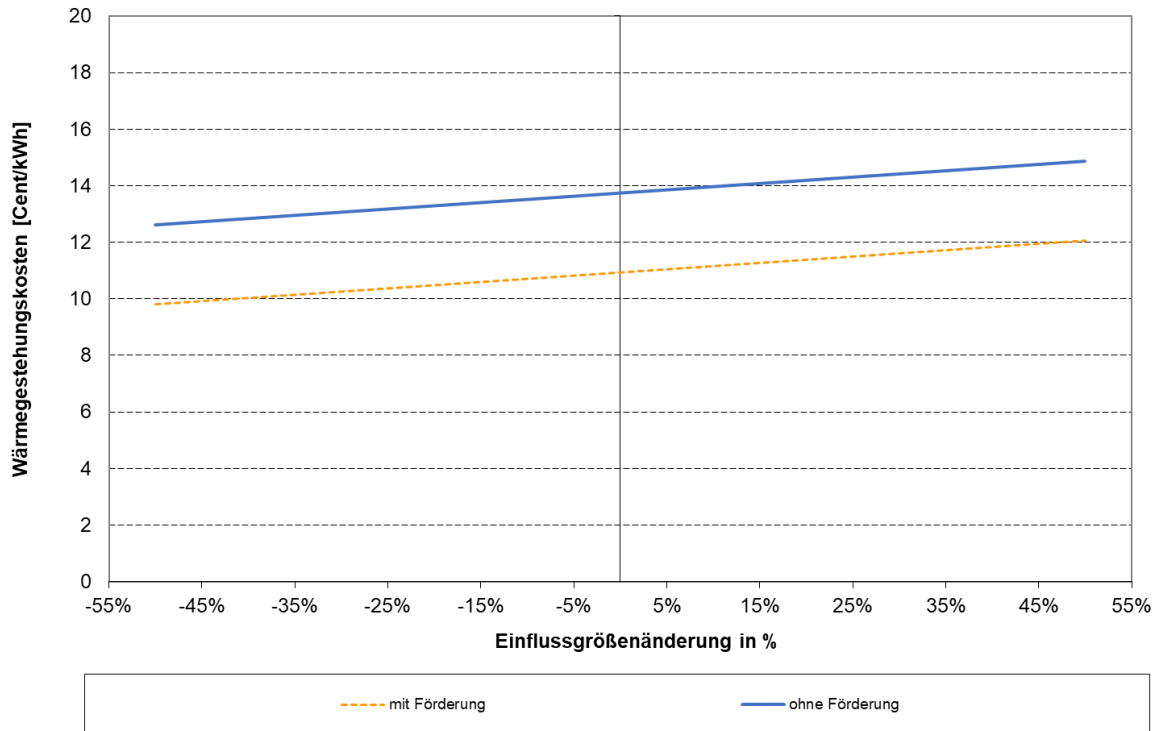


Abbildung 25: Sensitivitätsanalyse der Brennstoffkosten

Zum Stand heute liegen die WGK bei 10,9 Cent/kWh mit Förderung bzw. 13,7 Cent/kWh ohne Förderung. Der in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung angenommene Brennstoffpreis ist als niedrig anzusehen, so dass mit einem weiteren Verfall der Hackschnitzelpreise kaum zu rechnen ist. Durch die lange Trockenheit und wiederkehrende Unwetter ist die Menge an Käfer- und Sturmholz derzeit so hoch wie noch nie. Sollte sich diese angespannte Lage am Holzmarkt wieder stabilisieren sinkt auch wieder das Holzangebot auf ein normales Niveau und die Preise für Hackgut werden wieder ansteigen. Langfristig ist davon auszugehen, dass die ursprünglich betrachteten 12 EUR/SRm deutlich ansteigen. Eine Preissteigerung um 50 Prozent ist hierbei durchaus realistisch.

Für die Wärmegestehungskosten würde ein solcher Preisanstieg eine Steigerung um ca. 1,1 Cent, netto bedeuten.

5 Referenzvariante – Dezentrale Wärmeversorgung privater Wohngebäude

Der Aufbau eines Nahwärmenetzes muss sich immer an den Referenzvarianten, also der dezentralen Wärmeversorgung aller Gebäude, messen. Um den Aufbau eines Nahwärmenetzes bewerten zu können, werden daher im Folgenden Vergleichsrechnungen zur dezentralen Wärmeversorgung der betrachteten Liegenschaften untersucht. Eine Unterscheidung der Liegenschaften muss nicht stattfinden, da es sich ausschließlich um Wohnbebauung im Bestand handelt, welche angeschlossen werden soll.

5.1 Referenzhaushalt

In den Referenzvarianten wird angenommen, dass in das Gebäude eine neue Anlage zur Gebäudebeheizung und Brauchwasserbereitung eingebaut wird. Es soll die übliche Situation einer dezentralen Wärmeversorgung in einem Einfamilienhaus im ländlichen Bereich abgebildet werden. Da es sich um private Bestandsgebäude handelt, muss die Einhaltung des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) nicht berücksichtigt werden.

Aus der durchgeführten Datenerhebung zur Ermittlung des Wärmebedarfes, kann zur Orientierung ein mittlerer Wärmebedarf für einen Anschlussnehmer berechnet werden. Um eine Vergleichsbasis für die Wärmeversorgung zu erhalten, werden deshalb für das Beispielgebäude folgende Randbedingungen zur Berechnung herangezogen:

- Wärmebedarf: 30.000 kWh/a
- Warmwasser- und Heizwasserbereitstellung mit
 - **Variante 1: Heizölkessel ($\eta = 0,90$)**
 - Heizölpreis: 54 ct/Liter, netto (durchschnittlicher Heizölpreis, letzten drei Jahre)
 - Investition: 10.500 EUR
 - Wartung: 300 EUR
 - Kaminkehrer: 170 EUR
 - Förderung: 0 EUR
 - **Variante 2: Scheitholzkessel ($\eta = 0,85$)**
 - Holzpreis: 51,39 EUR/Rm, netto (durchschnittlicher Holzpreis, letzten drei Jahre)
 - Investition: 15.200 EUR
 - Wartung: 740 EUR
 - Kaminkehrer: 170 EUR
 - Förderung: 45 % der Investitionskosten (BAFA: „Heizen mit EE“)

Weiterhin wurde bei der Betrachtung der Referenzvarianten das ab 01.01.2021 in Kraft tretende Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) berücksichtigt, welches eine zusätzliche Abgabe auf CO₂-emittierende Brennstoffe vorsieht. Vom Gesetz sind bisher nur fossile Energieträger betroffen.

Im hier betrachteten Fall wirkt sich das neue Gesetz also nur auf Variante 1 mit dem Heizölkessel aus. In dieser Variante ist in den nächsten fünf Jahren pro Jahr mit durchschnittlichen Mehrkosten beim Brennstoffbezug von ca. 490 EUR zu rechnen. Wie sich die CO₂-Abgabe darüber hinaus entwickelt kann zum derzeitigen Stand nur schwer prognostiziert werden.

	Dezentraler Heizölkessel	Dezentraler Scheitholzessel	
Investitionskosten	10.500	8.360	(45 % Zuschuss)
Kapitalkosten	640	510	EUR
Brennstoffkosten	1.800	1.590	EUR
CO₂-Abgabe (ab 2021, 5-Jahres-Mittel)	490	-	EUR
Wartung, Betriebsführung, Kaminkehrer, etc.	470	910	EUR
SUMME Ausgaben pro Jahr	3.400	3.010	EUR
Wärmeabsatz	30.000	30.000	kWh
Wärmegestehungskosten (netto)	11,34	10,03	ct/kWh

Abbildung 26: Kostenübersicht – Referenzvarianten

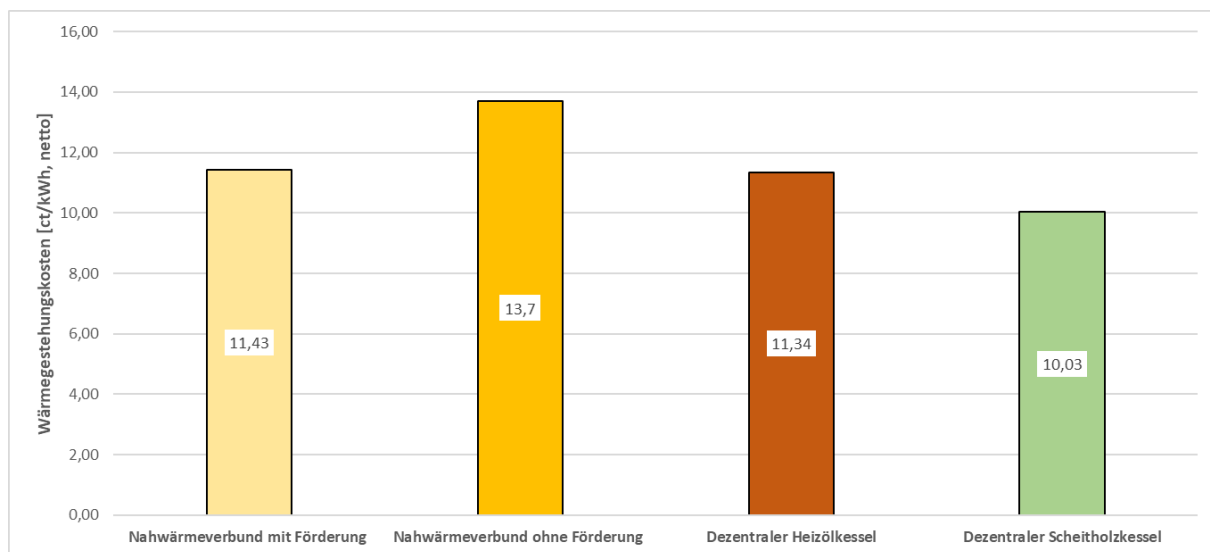


Abbildung 27: Wärmegestehungskosten im Vergleich - Nahwärmeverbund / Referenzvarianten

Die Jahresgesamtkosten ergeben sich aus der Summe der jährlichen kapitalgebundenen-, betriebsgebundenen- sowie verbrauchsgebundenen Kosten und betragen zwischen 3.010 EUR/a und 3.400 EUR/a. Aus den Jahresgesamtkosten werden wiederum die spezifischen Wärmegegestehungskosten ermittelt. Zum besseren Vergleich sind in obiger Abbildung die Wärmegegestehungskosten für die beiden Referenzvarianten, sowie die kalkulierten Preise für die Nahwärmeszenarien hinterlegt. Zusätzlich zum Arbeitspreis von 10,9 ct/kWh, netto wurde auf Wunsch des Auftraggebers noch der Baukostenzuschuss auf eine Kilowattstunde im Betrachtungszeitraum näherungsweise heruntergebrochen und berücksichtigt.

Wie deutlich zu erkennen ist, haben die Nahwärmeverbundlösung – selbst mit Einberechnung der vollen Fördermöglichkeiten – keinen nennenswerten Preisvorteil. Da die Förderungen zum derzeitigen Stand auch noch nicht mit absoluter Sicherheit in dieser Höhe bestätigt sind, ist aus konservativer Sicht eher das Szenario ohne Förderungen für einen Vergleich heranzuziehen.

Bei den Referenzvarianten fällt sofort die Scheitholzesselanlage ins Auge, welche durch den Investitionskostenzuschuss nach dem BAFA-Förderprogramm „Heizen mit Erneuerbaren Energien“ und die Nichtbetroffenheit vom BEHG einen sehr attraktiven Wärmepreis bietet. Die Heizölvariante ist hingegen weniger zukunftsfähig.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen des vorliegenden Energienutzungsplans wurde die Errichtung eines Nahwärmeverbundes im Ortsteil Unfinden der Stadt Königsberg untersucht. Dazu wurde im ersten Schritt der genaue Gebietsumfang im betrachteten Ortsteil festgelegt.

In einem ersten Schritt wurde dabei ein theoretisches Potenzial anhand der Bebauung im festgelegten Gebietsumfang erörtert und anhand dieser Abnehmer im Nachgang ein Wärmenetz dimensioniert. Als favorisierter Standort für die Heizzentrale gilt demnach ein Grundstück in der Schönaustrasse, da dieses bezüglich der zu erwartenden Emissionen und der LKW-Zufahrt günstig gelegen ist.

Darauf aufbauend wurden verschiedene Versorgungsansätze erarbeitet. Final standen dann drei Ansätze für eine nähere Betrachtung zur Auswahl:

- Variante 1: Hackgutkessel mit Heizöl-Brennwertkessel zur Spitzenlastabdeckung
- Variante 2: Zwei Hackgutkessel als Kaskade
- Variante 3: Holzvergaser mit Pelletkessel zur Spitzenlastabdeckung

Die drei Varianten wurden hinsichtlich wirtschaftlicher und ökologischer Aspekte geprüft. Schlussendlich kristallisierte sich Variante 2 als Favorit heraus. Variante 1 stellte sich im Rahmen einer Fördermittelprüfung als förderschädlich heraus, da bei der geringen Wärmebelegung im Netz eine Subventionierung nur bei einer ausschließlich erneuerbaren Wärmeversorgung bewilligt wird. Variante 3 ist zwar ebenfalls auf rein erneuerbarer Basis aufgebaut, kann jedoch aus wirtschaftlichen Aspekten nicht mit Variante 2 Schritt halten.

Nachdem die ermittelten Wärmegestehungskosten im Rahmen der Grobprüfung als konkurrenzfähig gegenüber dezentralen Referenzvarianten anzusehen waren, konnte die favorisierte Variante 2 weiter im Detail betrachtet werden. Hierzu wurden durch einen Datenerhebungsbogen bei den potenziellen Wärmekunden – den Bürgern von Unfinden – die wichtigsten Kenndaten bezogen auf ihre aktuelle Wärmeversorgung abgefragt. Gleichzeitig konnten Sie im Rahmen der Umfrage ihr verbindliches Interesse an einem Nahwärmeverbund äußern. Nach Auswertung der Fragebögen stand das tatsächliche, reale Potenzial und die Anzahl der Abnehmer fest. Entgegen der vorherigen Annahmen war das Interesse mit einem Gesamtwärmebedarf von rund 927.500 kWh und 34 Abnehmern deutlich geringer, als zuvor angenommen.

Auf Basis dieser Daten wurde dann der Trassenverlauf des Nahwärmenetzes nachkalkuliert und die Leistung der Hackgutkessel an den realen Bedarf angepasst. Die Kesselleistung konnte so deutlich reduziert werden, was sich positiv auf die Investitionskosten ausgewirkt hat. Beim Wärmenetz hingegen blieben die Kosten nahezu identisch, da trotz der verminderten Abnahmestellen nahezu der

gesamte Ort erschlossen werden muss. Die Wärmebelegung der Nahwärmeleitung sank dadurch auf ca. 560 kWh/m*a.

Nachdem die Rahmenbedingungen feststanden und die notwendige Dimensionierung der Anlagenkomponenten abgeschlossen war, wurden auf dieser Basis konkrete Richtpreisangebote bzw. Budgetkosten bei Planern und Fachunternehmen angefragt.

In der anschließenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden sämtliche prognostizierte Investitionskosten, Ausgaben und Einnahmen unter Einbeziehung zuvor festgelegter Grundannahmen aufgelistet und die spezifischen Wärmegestehungskosten erneut ermittelt. Weiterhin wurden aktuelle Fördermöglichkeiten aufgezeigt und die spezifischen Wärmegestehungskosten unter Einbeziehung möglicher Förderungen erneut berechnet und in Diagrammen aussagekräftig gegenübergestellt. Zum Schluss wurde die CO₂-Bilanz und der Primärenergiefaktor der Vorzugsvariante gebildet und ebenfalls vergleichend mit dem IST-Zustand dargestellt.

Parallel zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Referenzkosten für die vorherrschenden dezentralen Versorgungsvarianten, Scheitholz- und Heizölkessel, für einen durchschnittlichen Haushalt ermittelt.

Die nachfolgende Abbildung vergleicht die Wärmegestehungskosten des betrachteten Wärmeverbundes (gelb) mit den beiden Referenzvarianten. Auf Basis dieser Grafik kann am deutlichsten dargestellt werden, mit welchen Kosten die Bürger im Vergleich zum IST-Zustand über die nächsten Jahre zu rechnen haben

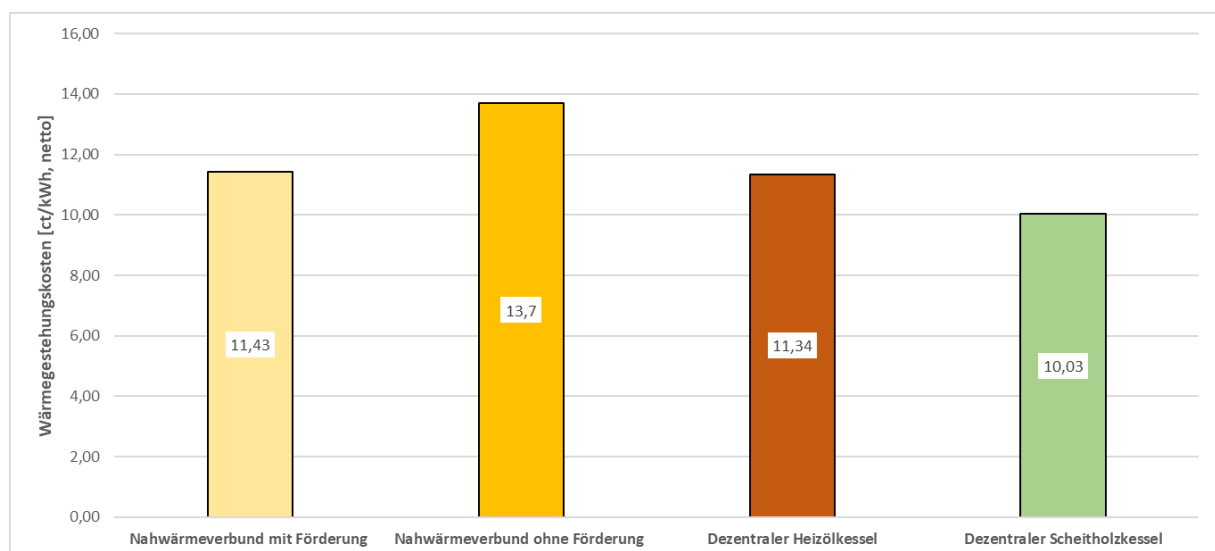


Abbildung 28: Wärmegestehungskosten im Vergleich - Nahwärmeverbund / Referenzvarianten

Die spezifischen Wärmegestehungskosten liegen in der Nahwärmeverbundvariante zwischen 11,4 Cent/kWh und 13,7 Cent/kWh. Die 11,4 Cent/kWh sind dabei nur möglich, wenn alle Fördermittel in voller Höhe bewilligt werden.

Die dezentralen Wärmegestehungskosten liegen im Vergleich zwischen 10,0 Cent/kWh und 11,3 Cent/kWh. Das zum Jahreswechsel 2021 neu in Kraft tretende BEHG wurde dabei schon berücksichtigt, trifft in diesem Fall aber nur die Heizölvariante, da die anderen Versorgungsansätze ohne fossile Energieträger auskommen.

Somit liegen die spezifischen Wärmekosten der dezentralen Referenzvariante zunächst in etwa gleichauf mit den mittleren Wärmegestehungskosten der Wärmeverbundvariante. Da jedoch die Förderungen noch nicht final bewilligt sind und über den gesamten Betrachtungszeitraum auch mit einem Anstieg der Brennstoffpreise für Hackgut zu rechnen ist, ist das unternehmerische Risiko für die Umsetzung des Nahwärmeverbundes als zu hoch einzuschätzen.

Aus ökologischer Sicht könnte in der Wärmeverbundvariante, durch den ausschließlichen Einsatz von Biomasse, eine deutliche CO₂-Einsparung erzielt werden. Grundsätzlich muss jedoch davon ausgegangen werden, dass aufgrund der wahrscheinlichen Preissteigerung des Brennstoffes für die Anschlussnehmer keine befriedigenden Wärmegestehungskosten erreicht werden können.

Es ist abzuwarten, wie sich die Energiepreise durch Mechanismen wie beispielsweise das BEHG entwickeln. Möglicherweise ist eine Umsetzung zu einem späteren Zeitpunkt mit einem geringeren finanziellen Risiko denkbar.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Trassenführung mit festgelegtem Standort des Heizhauses in der Schönaustraße.....	9
Abbildung 2: Prognostizierter monatlicher Wärmebedarf im Nahwärmenetz.....	10
Abbildung 3: Die thermische Jahresdauerlinie des betrachteten Nahwärmenetzes.....	11
Abbildung 4: Die thermische JDL mit eingetragenen Wärmeerzeugern - Variante 1.....	13
Abbildung 5: Die thermische JDL mit eingetragenen Wärmeerzeugern - Variante 2.....	14
Abbildung 6: Die thermische JDL mit eingetragenen Wärmeerzeugern - Variante 3.....	15
Abbildung 7: Die Investitionskosten der Energieversorgungsvarianten.....	18
Abbildung 8: Die jährlichen Ausgaben der Energieversorgungsvarianten.....	19
Abbildung 9: Die jährlichen Einnahmen der Energieversorgungsvarianten.....	20
Abbildung 10: Die Jahresgesamt- und spezifischen Wärmegestehungskosten der Energieversorgungsvarianten.....	21
Abbildung 11: Die CO ₂ -Bilanz der Energieversorgungsvarianten.....	22
Abbildung 12: Luftbild der Stadt Königsberg – Ortsteil Unfinden.....	23
Abbildung 13: Standort Heizhaus - Schönaustraße – Erarbeitung detaillierter Netzvariante.....	25
Abbildung 14: Schleppkurve 1 - Standort Schönaustrasse.....	26
Abbildung 15: Schleppkurve 2 - Standort Schönaustrasse.....	27
Abbildung 16: Detaillierte Nahwärmetrasse mit gesicherten Wärmekunden.....	28
Abbildung 17: Prognostizierter monatlicher Wärmebedarf im Nahwärmenetz.....	29
Abbildung 18: Jahresdauerlinie des prognostizierten Wärmeabsatzes.....	30
Abbildung 19: Jahresdauerlinie mit eingetragenen Erzeugern für das finale Nahwärmenetz.....	31
Abbildung 20: Die Investitionskosten der Vorzugsvariante.....	36
Abbildung 21: Die jährlichen Kosten der Vorzugsvariante.....	37
Abbildung 22: Die Jahresgesamt- und spezifischen Wärmegestehungskosten der Energieversorgungsvarianten.....	38
Abbildung 23: Die CO ₂ -Bilanz der Energieversorgungsvarianten.....	39
Abbildung 24: Exemplarische Sensitivitätsanalyse.....	44

Abbildung 25: Sensitivitätsanalyse der Brennstoffkosten.....	45
Abbildung 26: Kostenübersicht – Referenzvarianten.....	47
Abbildung 27: Wärmegestehungskosten im Vergleich - Nahwärmeverbund / Referenzvarianten	47
Abbildung 28: Wärmegestehungskosten im Vergleich - Nahwärmeverbund / Referenzvarianten	50

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kenndaten des Nahwärmenetzes.....	10
Tabelle 2: Private Wärmeabnehmer im möglichen Nahwärmeverbund	24
Tabelle 3: Netzdaten der finalen Trasse.....	29
Tabelle 4: Kalkulation der KfW-Förderung "Erneuerbaren Energien Premium"	42