

Machbarkeitsstudie

THG-neutrale Energieversorgung der gemeindeeigenen Liegenschaften

Projekt	Machbarkeitsstudie zur THG-neutralen Energieversorgung der gemeindeeigenen Liegenschaften
Auftraggeber	Gemeinde Röckingen
Bearbeiter	Benedikt Ramsauer – zeitgeist engineering gmbh
Ort	Äußere Sulzbacher Str. 29 90491 Nürnberg
Version	1
Datum	16.05.2024

1. Zusammenfassung

Gegenstand der in diesem Bericht beschriebenen Konzeptionierung ist die ganzheitliche Energieversorgung der kommunalen Liegenschaften in Röckingen. Auf Basis der erfassten Bedarfssituation sollen im Schwerpunkt verschiedene Konzepte der Wärmeversorgung gegenübergestellt und bewertet werden. Die relevanten Kriterien der Bewertung stellen dabei primär die Nachhaltigkeit sowie die Wirtschaftlichkeit der Versorgung, darüber hinaus das Potenzial der Netzdienlichkeit und der Sektorkopplung, dar.

Als zu präferierende Art der Wärmeversorgung wird für den Bestandskindergarten die Anbindung an ein durch die Verbrennung von Hackgut gespeistes Nahwärmenetz der 3. Generation identifiziert. Für die Versorgung des Lehrerwohnhauses und der ehemaligen Schule wird die Anbindung der beiden Liegenschaften an ein kollektorbasiertes Nahwärmenetz der 5. Generation im Zusammenhang mit einem geplanten Neubaugebiet empfohlen. Ergänzend zu den Potenzialen der thermischen Versorgung wird im Rahmen des Konzepts auch auf das Potenzial der PV-Stromerzeugung vor Ort eingegangen. Hierbei wird ebenso das Feuerwehrhaus mit bereits verbauter Luft-Wasser-WP berücksichtigt.

Auf Basis der Vorplanung der Wärmeerzeuger je Liegenschaft kann der laufende jährliche Betrieb hinsichtlich auftretender Emissionen und der Wirtschaftlichkeit in Form anfallender Wärmegestehungskosten beziffert werden. Neben diesen beiden Zielgrößen ermöglicht die Simulation zudem die Beurteilung der Direktnutzung von PV-Strom.

Inhalt

1. Zusammenfassung.....	1
2. Beschreibung der Liegenschaften / Zielsetzung	4
2.1. Bedarfssituation	4
2.2. Sektorkopplung und energetische Optimierung.....	7
2.3. Zielsetzung der Konzepterstellung	8
3. Denkbare Energiequellen.....	10
3.1. Oberflächennahe Geothermie	10
3.2. Unvermeidbare Abwärme.....	11
3.3. Biomasse	11
3.4. Solarthermie.....	16
3.5. Photovoltaik	16
4. Grundlagen energetischer Gesamtkonzepte	24
4.1. Leitungsgebundene Wärmeversorgung.....	24
4.2. Wirtschaftlichkeit	30
4.3. Bewertungskriterien Emission	33
5. Konzept 1: Nahwärmenetz 3.0 + Hackgut (/ Abwärme Biogas)	35
5.1. Nahwärmenetz.....	35
5.2. Energiemanagement.....	36
5.3. CO ₂ -Emission & Primärenergiefaktoren	36
5.4. Wirtschaftlichkeit	36
5.5. Bewertung.....	37
6. Konzept 2: Luft-Wasser-Wärmepumpe + PV.....	37
6.1. Anlagenschema / Simulation.....	38
6.2. Energiemanagement.....	40
6.3. CO ₂ -Emission & Primärenergiefaktoren	40
6.4. Wirtschaftlichkeit	40
6.5. Bewertung.....	41
7. Konzept 3: Nahwärmenetz 5.0 + PV.....	41

7.1. Anlagenschema / Simulation	42
7.2. Energiemanagement	43
7.3. CO ₂ -Emission & Primärenergiefaktoren	43
7.4. Wirtschaftlichkeit	44
7.5. Bewertung	44
8. Handlungsempfehlung und Ausblick	44
9. Literaturverzeichnis	45
10. Hinweise	47

2. Beschreibung der Liegenschaften / Zielsetzung

Im Rahmen des Konzepts soll die Energieversorgung der kommunalen Liegenschaften in Röckingen geprüft und mögliche Alternativen der Dekarbonisierung dieser aus technischer und wirtschaftlicher Sicht bewertet werden. Hierbei wird nachfolgend jede Liegenschaft individuell bewertet, wobei vor allem die ehemalige Schule, das Lehrerwohnhaus sowie der Bestandsbau des Kindergartens aufgrund der dort betriebenen Ölkessel im Fokus der Betrachtung stehen. Das bereits sanierte Feuerwehrhaus wird hinsichtlich des PV-Potenzials für den gekoppelten Betrieb mit der bestehenden Luft-Wasser-Wärmepumpe untersucht.



Abbildung 1: Räumlicher Zusammenhang der betrachteten Liegenschaften sowie des geplanten Neubaugebiets

2.1. Bedarfssituation

Ausgehend von der energetischen Beschaffenheit sowie der Nutzungsart der zu versorgenden Gebäude wird als Grundlage für die Erarbeitung des ganzheitlichen Energiekonzepts der Energiebedarf je Gebäude ermittelt. Dabei soll auf die Energiebedarfe von Wärme, Kälte und Strom eingegangen werden.

2.1.1. Wärme- / Kältebedarf

Zur Ermittlung der Wärme- / Kühlbedarfe in den einzelnen Gebäuden wird, wenn möglich, auf erhobene Brennstoffbedarfe der bestehenden dezentralen Erzeuger oder auf empirisch ermittelte flächenspezifische Werte zurückgegriffen. Die Berechnung der Leistungen und Wärmebedarfsmengen der einzelnen Gebäude erfolgt unter Anwendung von Volllaststundenzahlen. Diese gebäudescharfen Werte sind in Abbildung 2 dargestellt.

Nr.	Gebäudetyp	Wärme						Kälte		
		Heizlast [kW]	RW [kWh]	WW [kWh]	WB gesamt berechnet [kWh]	WB gesamt erhoben [kWh]	Anschlussleistung heißes Netz [kW]	Kaltes Netz Leistung WP [kW]	Auslegungsleistung [kW]	Abwärmemenge [kWh]
1	Mehrfamilienhaus	12,5	24.948	2.835	27.783	24.376	12,2	11,1	10,2	225,7
2	Büro/ Rathaus	44,5	66.758	0	66.758	37.284	24,9	24,9	51,8	1269
3	Werkstatt	3,2	4.860	0	4.860	5.028	3,4	3,4	3,6	89
4	Kindergarten	34,6	69.135	1.886	71.021	57.380	28,7	28,1	44,0	1079

Abbildung 2: Gebäudescharfe Darstellung des jährlichen Wärme- und Kältebedarfs

Um den laufenden Betrieb möglicher Wärmeerzeuger beurteilen zu können, wird der Verlauf des aktuellen Wärme- und Kühlbedarfs je Gebäude in stündlicher Auflösung für den Standort Rößkingen auf Grundlage des Testreferenzjahres 15 (TRY 15) des Deutschen Wetterdienstes simuliert. „Testreferenzjahre (TRY) sind speziell zusammengestellte Datensätze, die für jede Stunde eines Jahres verschiedene meteorologische Variablen enthalten. Sie sollen einen mittleren, aber für das Jahr typischen Witterungsverlauf repräsentieren. Als Basis für die Berechnung des typischen Witterungsverlaufs wurden die TRY-Basisdaten, Zeitreihen meteorologischer Parameter des Zeitraum 1995 bis 2012 gewählt“ [1] (TRY 15). Die Abbildungen zeigen die Jahresdauerlinie des Wärme-, Kühl- und Warmwasserbedarfs des Lehrerwohnhauses sowie des ehemaligen Schulgebäudes. Auffällig ist der nicht dargestellte WW-Bedarf im ehemaligen Schulgebäude, da hier die WW-Bereitung dezentral erfolgt und diese Art der Bereitstellung bei geringem Bedarf im Rahmen der aktuellen Nutzung auch künftig als sinnvoll anzusehen ist. Zudem auffällig ist der im Vergleich zur benötigten Raumwärme punktuell mit hohen Leistungen auftretende Kühlbedarf.

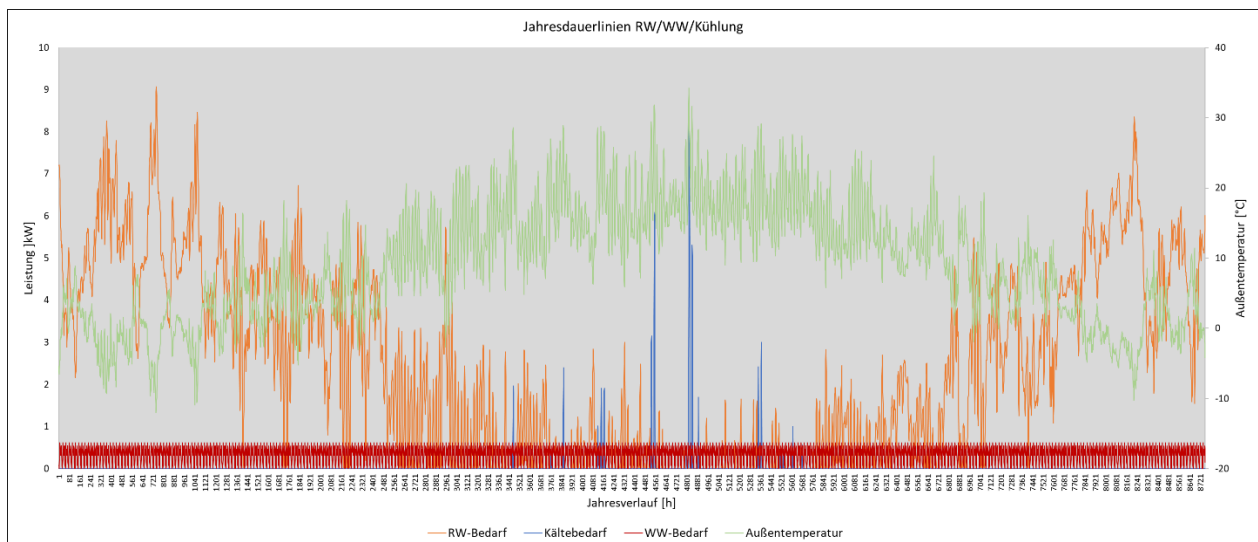


Abbildung 3: Stündliche Auflösung des jährlichen Wärme- und Kältebedarfs Lehrerwohnhaus (TRY 15)

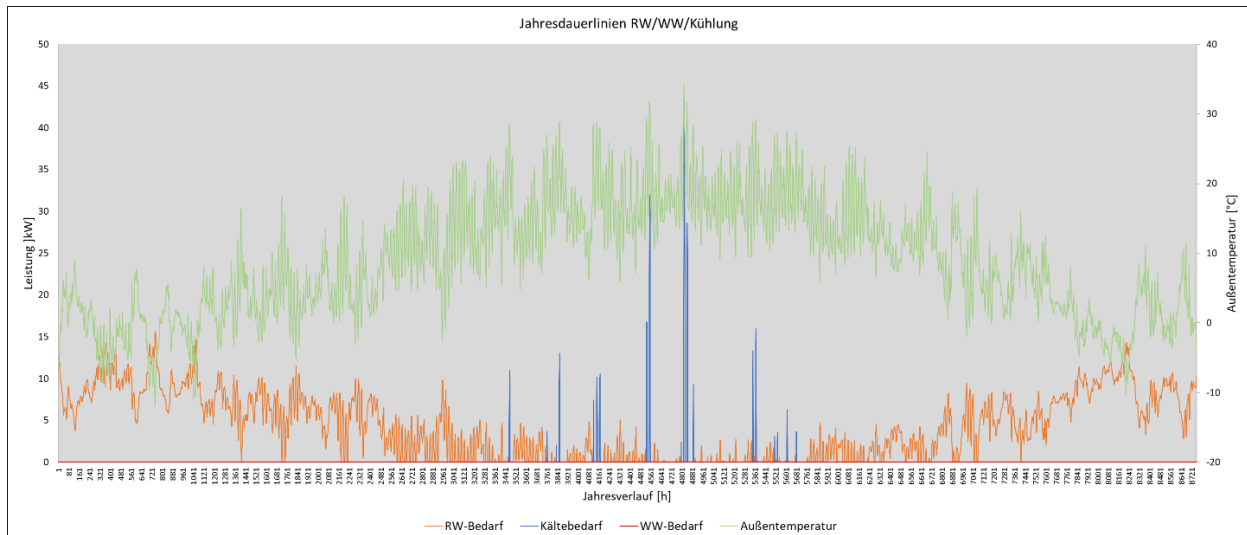


Abbildung 4: Stündliche Auflösung des jährlichen Wärme- und Kältebedarfs Schulgebäude (TRY 15)

„Um die klimatischen Anforderungen an die Heiz-, Klimatisierungs- und Lüftungstechnik auch für den Zeitraum einer längeren Betriebsdauer berücksichtigen zu können, wurden zusätzlich Testreferenzjahre auf Basis von Klimaprojektionsläufen regionaler Klimamodelle für den Zeitraum 2031 bis 2060 entwickelt“ [1] (TRY 45). Die Analyse des aktuellen Wärme- und Kältebedarfs auf Basis dieses Datensatzes für Röckingen lässt eine Prognose des künftigen Raumwärme- / Kühlbedarfs sowie dessen zeitlichen Verlaufs zu.

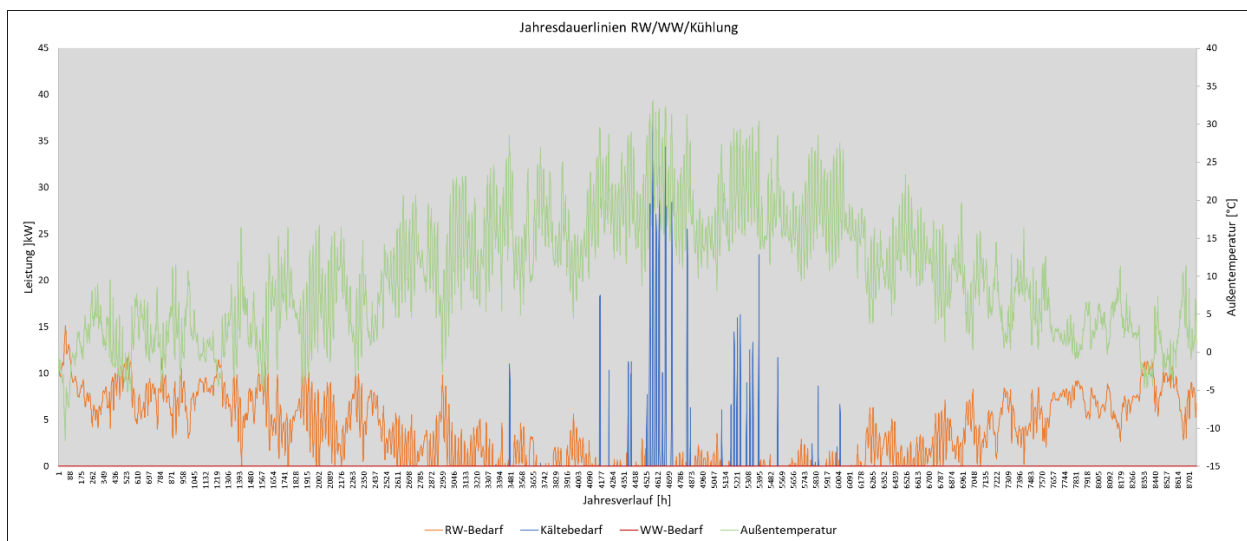


Abbildung 5: Stündliche Auflösung des prognostizierten jährlichen Wärme- und Kältebedarfs Schulgebäude (TRY 45)

Demnach ist perspektivisch von einer Reduktion des Raumwärmebedarfs um ca. 11 % auszugehen. Die Anlagentechnik für Wärmeerzeugung sowie die Infrastruktur für den Wärmetransport ist dennoch weiterhin für den Fall der Auslegungstemperatur zu dimensionieren. Zudem auffällig und bereits heute spürbar ist die Zunahme langanhaltender Hitzeperioden.

2.1.2. Strombedarf

Für eine ganzheitliche Betrachtung eines möglichst sektorgekoppelten Energiesystems spielt die elektrische Energie eine tragende Rolle. Elektrischer Strom stellt aufgrund der vielfältigen und effizienten Umwandlungsmöglichkeiten in Wärme, Kälte und Mobilität den Mittelpunkt der meisten

Energieflüsse eines nachhaltigen Energiesystems dar. Deshalb wird im Rahmen des Energiekonzepts auch der erhobene Stromverbrauch je Gebäude berücksichtigt und auf Grundlage eines angesetzten Lastprofils entsprechend der Nutzungsart des Gebäudes individuell das Potenzial von PV-Direktnutzung ermittelt.

2.2. Sektorkopplung und energetische Optimierung

Der Verzicht auf fossile Brennstoffe erfordert intelligente Energiesysteme, um sowohl die Erzeugungsstrukturen erneuerbarer Energie als auch die Verteilungsnetze möglichst schlank dimensionieren zu können und so eine nachhaltige und bezahlbare Energieversorgung zu ermöglichen.

Den Schlüssel hin zu dieser Art von Energiesystem sieht zeitgeist engineering im Prinzip der Sektorkopplung. Der Begriff Sektorkopplung in der Energiewirtschaft beschreibt eine Verknüpfung zwischen verschiedenen Energiesektoren, die in der Vergangenheit weitestgehend unabhängig voneinander betrachtet wurden. Die wichtigsten Sektoren sind:

- Elektrizität
- Wärme- und Kälteversorgung
- Mobilität
- Produktion / Industrie

Durch den Ansatz der Sektorkopplung bieten sich Möglichkeiten, Energie zwischen den Sektoren auszutauschen und so neue Wege zur Umsetzung einer nachhaltigen und bezahlbaren Energieversorgung zu ermöglichen.

Elektrische Energie ist leicht regenerativ zu erzeugen, einfach verlustarm zu transportieren und effizient in andere Formen wie Wärme, Kälte und auch Mobilität in Form mechanischer Energie umzuwandeln. Im Gegenzug bieten andere Sektoren wie besonders Wärme oder Kraftstoffe weit aus kostengünstigere und effizientere Speichermöglichkeiten für Energie. Durch den Einsatz von geeigneten Umwandlungsprozessen ist es möglich, die starke Fluktuation in der regenerativen Stromerzeugung auszugleichen und gleichzeitig die anderen Sektoren mit regenerativer Energie zu versorgen. Die einzelnen Prozesse dafür sind:

- Power-to-heat (Wärme aus Strom, z.B. über Wärmepumpe oder elektrische Heizelemente)
- Power-to-mobility (meist Elektromobilität)
- Power-to-fuel oder power-to-gas (synthetische Erzeugung von Kraftstoffen, Wasserstoff, etc.)

Im Rahmen der Konzepterstellung soll ein möglichst ganzheitlicher Ansatz der Energieversorgung verfolgt werden, bei dem auch auf die Potenziale der Sektorkopplung eingegangen wird. Schwerpunkte sind die Kopplung von Strom und Wärme, die lokale Erzeugung regenerativer Energie sowie ein Ausblick auf die Potenziale im Zusammenhang mit Elektromobilität.

Netzdienlichkeit

In Abbildung 6 ist exemplarisch der Verlauf der Börsenstrompreise (Spotpreis) überlagert mit den verfügbaren Leistungen an Windkraft (blau) und Photovoltaik (gelb) dargestellt. Aufgrund der starken Fluktuation der Erzeugung aus Wind und Sonnenenergie, aber auch wegen des schwankenden Verbrauchs über den Tag hinweg weisen die Spotmarktpreise teils extreme Schwankungen

auf, sobald es größere Abweichungen zwischen verfügbaren Strommengen und aktuellem Verbrauch gibt.

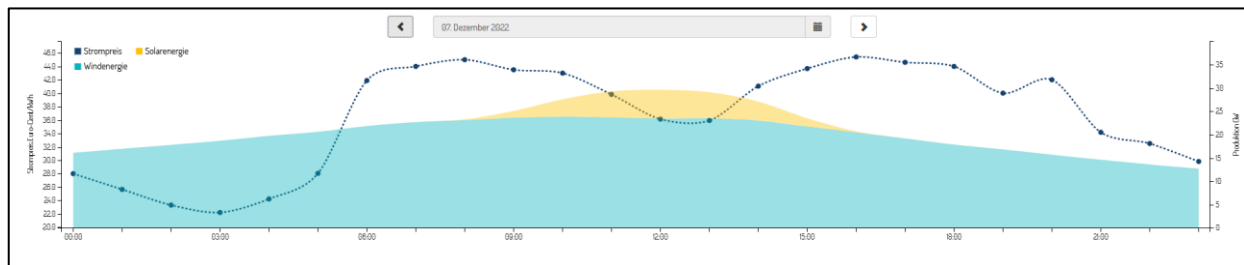


Abbildung 6: Verlauf von Strompreis (Linie) sowie Erzeugungsleistung Wind (blaue Fläche) und PV (gelbe Fläche) am 07.12.2022 [2]

Bereits heute werden regenerative Kraftwerksparks aufgrund eines zu großen Angebots an sonnigen oder windigen Tagen aberegelt, um einen stabilen Netzbetrieb aufrecht zu erhalten. Durch gezielten Betrieb von Verbrauchern mit Speicherfähigkeit (Wärmepumpen, Batteriespeicher, Elektroautos) ließe sich ein Teil der ansonsten verlorenen Energie für eine spätere Nutzung einspeichern. Einerseits lässt sich so sehr günstig Energie nutzen, andererseits kann zu einem späteren Zeitpunkt die kosten- und ggf. sogar CO₂-intensive Produktion zusätzlicher Energie bei einem Unterangebot regenerativer Energieträger minimieren.

2.3. Zielsetzung der Konzepterstellung

Ziel dieser Untersuchungen ist ein möglichst ganzheitliches Konzept für eine nachhaltige, zuverlässige und finanziell vertretbare Energieversorgung der öffentlichen Gebäude in Röckingen.

Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit wird im Rahmen dieses Energiekonzeptes sowohl durch den Einsatz CO₂-freier Energieträger als auch durch das Minimum zu installierender Leistung von PV- und Windkraftanlagen definiert. Aufgrund der nötigen Versorgungssicherheit ist der mögliche Einfluss auf die erforderliche Leistung für die Energiebereitstellung (z.B. Wärmepumpen) begrenzt. Die nötige installierte Leistung für die CO₂-freie Stromversorgung des Quartiers kann hingegen durch die Umsetzung einer sektorgekoppelten und netzdienlichen Betriebsweise der Verbraucher minimiert werden. In Folge dieser Vorgehensweise kann für die Energieversorgung, Nachhaltigkeit hinsichtlich der Menge eingesetzter Roh- und Betriebsstoffe, verbrauchter Fläche und emittierter Treibhausgase erlangt werden. Die langfristige Minimierung Letzterer stellt mit Blick auf den rasant voranschreitenden Klimawandel das schwerwiegendste Kriterium des Ziels Nachhaltigkeit dar.

Wirtschaftlichkeit

Abbildung 7 zeigt die anfallenden spezifischen Wärmekosten für ein Einfamilienhaus mit einem jährlichen Gesamtwärmebedarf von 25.000 kWh unter Annahme des Austauschs einer Ölheizung durch verschiedene Arten der Wärmebereitstellung. Diese Berechnung stammt aus dem ersten Quartal 2023 und bezieht die damals gültigen Fördersätze der Bundesförderung effiziente Gebäude mit ein. Zum einen haben sich mit der Novellierung zum 01.01.2024 die Fördersätze verändert und zum anderen wurden die maximalen förderfähigen Kosten für den hier betrachteten Fall des Heizungsaustausches in einem Einfamilienhaus auf maximal 30.000 € begrenzt. Basierend auf den Kostenberechnungen für den Anschluss an ein Wärmenetz und den Einsatz einer Luftwärmepumpe wird nachfolgend ein Wärmepreis (brutto) von **19 ct/kWh als Referenz** betrachtet.

	Einheit	Heizöl-BW (ohne Öltank)	Erdgas-BW + Gasan- schluss	Erdgas-BW + Solarthermie	Scheitholz	Scheitholz + Solarthermie	Holzpellets	Holzpellets + Solarthermie	Holzpellets + Brauchwasser- WP	Anschluss an ein Wärmenetz	Wärme- pumpe Luft	Wärme- pumpe Erdsonde	Holzpellets + Brauchwasser- WP + PV	Wärme- pumpe Luft + PV	Wärme- pumpe Erdsonde + PV
Heizlast	kW	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Jahreswärmebedarf inkl. Warmwasser	kWh/a	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
brennstofffreie Deckung Heizung	%			20%		20%		20%	0%				0%		
brennstofffreie Deckung Warmwasser	%			50%		50%		50%	100%				100%		
Jahresnutzungsgrad bzw. JAZ	%	85%	90%	90%	85%	85%	85%	85%	85%	100%	310%	410%	85%	310%	410%
Brennstoff-Energiebedarf pro Jahr	kWh/a	29.412	27.778	20.889	29.412	22.118	29.412	22.118	24.706	25.000			24.706		
WP Strombedarf pro Jahr	kWh/a								1.333		8.065	6.098	1.333	8.065	6.098
Heizwert Brennstoff		10 kWh/l	10 kWh/m³	10 kWh/m³	1500 kWh/Rm	1500 kWh/Rm	4,9 kWh/kg	4,9 kWh/kg	4,9 kWh/kg				4,9 kWh/kg		
Jahresbrennstoffbedarf		2.950 l	2.778 m³	2.089 m³	20 Rm	15 Rm	6,0 t	4,5 t	5,0 t				5,0 t		
spezif. Preis Energieträger (Ø 3 Jahre)		84 ct/l	8,5 ct/kWh	8,5 ct/kWh	106 €/Rm	106 €/Rm	338 €/t	338 €/t	338 €/t	12 ct/kWh	32,3 ct/kWh	32,3 ct/kWh	338 €/t	32,3 ct/kWh	32,3 ct/kWh
spezif. Preis Energieträger (Februar 2023)		110 ct/l	16,9 ct/kWh	16,9 ct/kWh	156 €/Rm	156 €/Rm	432 €/t	432 €/t	432 €/t	15 ct/kWh	36,6 ct/kWh	36,6 ct/kWh	432 €/t	36,6 ct/kWh	36,6 ct/kWh
Preissteigerung im Vergleich zu Ø 3 Jahre	%	31%	99%	99%	48%	48%	28%	28%	28%	25%	13%	13%	28%	13%	13%
Preis Hilfsenergie (Eigenstromerzeugung)	ct/kWh								12,0		12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Autarkie WP-Strom	%												60%	25%	25%
Investition Heizsystem	€	18.200	15.300	27.300	27.800	38.800	37.800	48.800	40.300	19.800	34.800	56.800	40.300	34.800	56.800
Investitionsförderung	€			4.795		9.885		10.885	8.080	7.920	12.180	22.720	8.080	12.180	22.720
kapitalgebundene Kosten	€/a	1.292	1.086	1.938	1.974	2.755	2.684	3.465	2.861	1.406	2.471	3.423	2.861	2.471	3.423
Annuitätsabzug durch Förderung	€/a	0	0	-340	0	-886	0	-771	-572	-562	-865	-1.613	-572	-865	-1.613
Annuität mit Förderung	€/a	1.292	1.086	1.598	1.974	2.069	2.684	2.693	2.289	843	1.606	1.810	2.289	1.606	1.810
bedarfsgebundene Kosten (Ø 3 Jahre)	€/a	2.603	2.446	1.908	2.206	1.693	2.259	1.756	2.386	3.046	2.601	1.967	2.111	2.193	1.658
davon Brennstoffkosten	€/a	2.466	2.354	1.770	2.069	1.556	2.030	1.527	1.705	3.000			1.705		
davon Hilfsenergie (Strom)	€/a	137	92	137	137	137	229	229	680	46	2.601	1.967	406	2.193	1.658
betriebsgeb. u. sonstige Kosten	€/a	387	295	415	735	900	825	825	825	0	370	330	825	370	330
davon Schornsteinfeger	€/a	67	35	35	150	150	150	150	150				150		
davon Instandhaltung/Wartung	€/a	320	260	380	585	750	675	675	675		370	330	675	370	330
zzgl. aktuelle Preisentwicklung Energieträger	€/a	765	2.329	1.752	994	748	563	423	473	750	351	265	473	263	199
Jahreskosten (aktuelle Preise)	€/a	5.047	6.156	6.012	5.909	6.096	6.331	6.468	6.545	5.202	5.792	5.985	6.270	5.296	5.610
mit Berücksichtigung Förderung	€/a	5.047	6.156	5.672	5.909	5.409	6.331	5.697	5.972	4.639	4.928	4.372	5.698	4.432	3.997
spez. Kosten (aktuelle Preise)	ct/kWh	20,2	24,6	24,0	23,6	24,4	25,3	25,9	26,2	20,8	23,2	23,9	25,1	21,2	22,4
mit Berücksichtigung Förderung	ct/kWh	20,2	24,6	22,7	23,6	21,6	25,3	22,8	23,9	18,6	19,7	17,5	22,8	17,7	16,0

Abbildung 7: Beispielhafter Heizkostenvergleich 2023 – Heizungsmodernisierung Einfamilienhaus (brutto) (Abschreibungsdauer 20 Jahre, Erdsondenbohrung 40 Jahre) [3]

3. Denkbare Energiequellen

Unter Berücksichtigung der Bedarfssituation für Strom und Wärme sowie den Bedingungen vor Ort sollen im Folgenden potenziell verfügbare Energiequellen nochmals genauer betrachtet werden. Basierend auf dem tatsächlichen Potenzial der Wärmequellen vor Ort lassen sich anschließend passende Energiekonzepte definieren und auf Grundlage der Zielsetzung bewerten.

3.1. Oberflächennahe Geothermie

Oberflächennahe Geothermie beschreibt die Nutzung von Erdwärme in einer Tiefe zwischen 0 und ca. 100 m. Dabei entnimmt eine Sole-Wärmepumpe ihre Quellwärme dem Erdreich mittels Erdwärmesonden oder Kollektorflächen. Diese werden von der Sole – einem Gemisch aus Wasser und Frostschutz – durchströmt und liefern ganzjährig Wärme auf einem Temperaturniveau zwischen ca. -3 und +15 °C. Sole-Wärmepumpen erreichen eine hohe Systemeffizienz mit Jahresarbeitszahlen von ca. 3,0 – 5,0.

Darüber hinaus ist bei einer großflächigen Wärmeübertragung innerhalb des Gebäudes (z.B. Fußboden- / Wandheizung) im Sommer eine passive Kühlung (Naturkühlung) des Gebäudes möglich, indem die Kühlkreisläufe mittels Wärmetauscher direkt das Temperaturniveau der Sole nutzen können. Dabei werden nur die Umwälzpumpen der Wärmequelle und der Kühlkreisläufe betrieben. Die passive Kühlung ist nicht vergleichbar mit einer aktiven Kühlung, da das Gebäude in der Regel um ca. 2 - 4 K unter der ungestörten Temperatur temperiert werden kann. Häufig ist dies zur Steigerung des Wohlbefindens jedoch ausreichend.

Bei der oberflächennahen Geothermie wird unterschieden in Erdwärmesonden mit einer Bohrtiefe von üblicherweise bis zu 100 m und Erdwärmekollektoren in verschiedenen Ausführungen mit einer Einbringtiefe zwischen 1,5 m und 10 m. Für beide Varianten sind verschiedene Rahmenbedingungen zu prüfen, beispielsweise die Geologie vor Ort sowie ggf. wasserrechtliche Genehmigungen. Röckingen liegt außerhalb von Schutzgebieten, dennoch ist die Genehmigungsfähigkeit von Erdwärmesonden in Röckingen aus Gründen des Grundwasserschutzes als unwahrscheinlich einzustufen. Auch das Errichten von Grundwasserwärmepumpen gespeist durch einen Grundwasserleiter mit ausreichender Ergiebigkeit wird aufgrund des vorherrschenden Grundwassergeringleiters als unrealistisch angesehen. Die Errichtung eines Kollektors hingegen kann aus wasserrechtlicher Sicht als unproblematisch eingestuft werden.



Abbildung 8: Einschätzung für oberflächennahe Entzugssysteme aus dem Energie-Atlas Bayern

3.2. Unvermeidbare Abwärme

Insbesondere Niedertemperaturnetze oder kalte Nahwärme eröffnen die Möglichkeit einer äußerst effizienten Variante der Abwärmenutzung. Im Umfeld der betrachteten kommunalen Liegenschaften befinden sich jedoch keine nennenswerten Quellen, die eine Abwärmenutzung ermöglichen.

3.3. Biomasse

Für die Beurteilung der Energiequelle Biomasse muss speziell im Fall Röckingen zwischen der Nutzung für die Produktion von Biogas und der reinen thermischen Verwertung von Resthölzern unterschieden werden.

3.3.1. Biogas NAWARO

In Röckingen versorgt ein bestehendes Wärmenetz der 3. Generation 70 Abnehmer mit der anfallenden Abwärme einer Biogasanlage. Aktuell speist die Biogasanlage mit rund 600 – 700 kW thermisch das Netz, wodurch die durch das Netz gelieferte Wärmemenge ausschließlich der Abwärme der Rohgas-BHKWs entspricht. Dieses Netz liegt auch an den zu betrachtenden kommunalen Liegenschaften an. Aufgrund des aktuellen hydraulischen Betriebszustands des Netzes kann die Spitzenlast bei Normaußentemperatur nicht durch das Netz selbst gedeckt werden, wodurch je Anschlussnehmer aktuell ein Spitzenlasterzeuger, meist in Form eines Ölkessels, vorgesehen ist. So kann zwar der Großteil der anfallenden Abwärme der Biogasanlage auch bei geringem Raumwärmebedarf durch das Netz verwertet werden, jedoch wird während der Wintermonate ein beträchtlicher Teil der Wärme dezentral über fossile Spitzenlastkessel bereitgestellt. Die gesetzliche Vorgabe von 65 % regenerativer Wärmebereitstellung mag dadurch zwar möglicherweise in Summe erreicht werden, jedoch ist diese Kombination nicht dem Ziel einer vollständig nachhaltigen Wärmeversorgung gleichzusetzen. Zumal davon auszugehen ist, dass mittelfristig der Betrieb dezentraler fossiler Spitzenlastkessel spätestens zum Lebensende des bestehenden Kessels zu unterlassen ist. Ein regenerativer Spitzenlastwärmeerzeuger schlägt mit 100 % der Investitionskosten einer vollständigen dezentralen Wärmeerzeugung zu buche, wodurch der Anschluss an das Wärmenetz einer Verlagerung der Investition in die Zukunft entspricht und mit weiterhin vorhandenen Emissionen für die Bereitstellung der Spitzenlast einhergeht.

Zudem sollte das regionale Potenzial des eingesetzten Energieträgers Biomasse für die Speisung des Netzes zur Beurteilung der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden. Hierfür wird im Rahmen des Konzepts auf die Potentialanalyse im Energie-Atlas Bayern, erstellt durch das bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, zurückgegriffen. Hierin kann das **technische Potenzial** in Form des Flächenbedarfs mit dem Flächenbedarf für den **aktuellen Bedarf geförderter Anlagen** innerhalb des Betrachtungsgebiets verglichen werden. Generell kann hierbei zwischen den Sektoren Strom und Wärme unterschieden werden, wobei im Fall der Betrachtung von Biomasse das Potenzial von Energieholz ausgenommen bereits bestehender Heizkraftwerke (Verfeuerung von Biomasse zur Stromerzeugung) ausschließlich im Bereich der Wärme verortet wird. Das energetische Potenzial nachwachsender Biomasse auf landwirtschaftlich genutzten Flächen wird hingegen dem Sektor Strom zugewiesen, da deren Verwertung beispielsweise in einer Biogasanlage primär der Stromerzeugung dient und die Abwärme als Koppelprodukt Verwendung in einem Wärmenetz findet. Bei der Ermittlung der Potenzialfläche, deren Aufwuchs per Definition vollständig energetisch verwertet werden kann, werden sowohl die vorrangige stoffliche Verwertung hochwertiger Hölzer als auch die Nutzung landwirtschaftlicher

Flächen für die Nahrungsmittelproduktion berücksichtigt. Die detaillierte Beschreibung des Berechnungsgangs der nachfolgend dargestellten Potenziale und Bedarfe kann im Energie-Atlas Bayern unter folgenden Links eingesehen werden:

https://www.energieatlas.bayern.de/sites/default/files/Berechnung_Mischpult_Waerme.pdf

https://www.energieatlas.bayern.de/sites/default/files/berechnung_mischpult_strom_2023.pdf

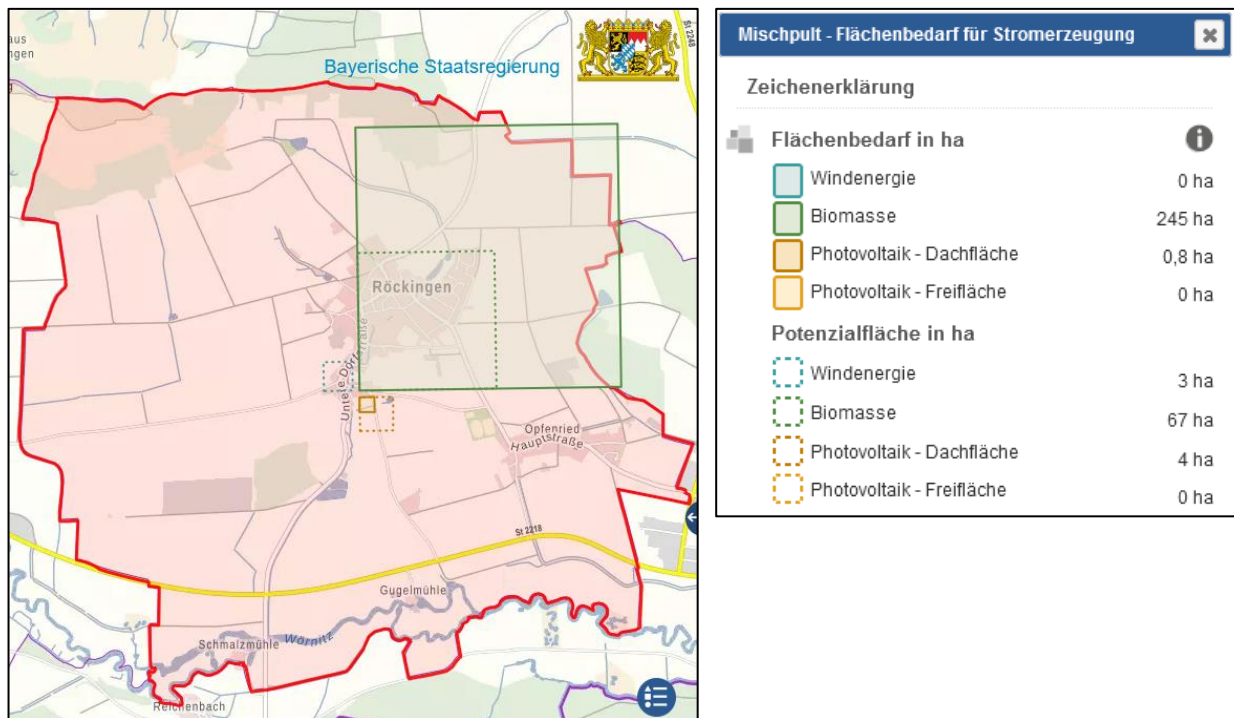


Abbildung 9: Flächenbedarf gegenüber der Potenzialfläche für die Stromerzeugung in der Gemeinde Röckingen

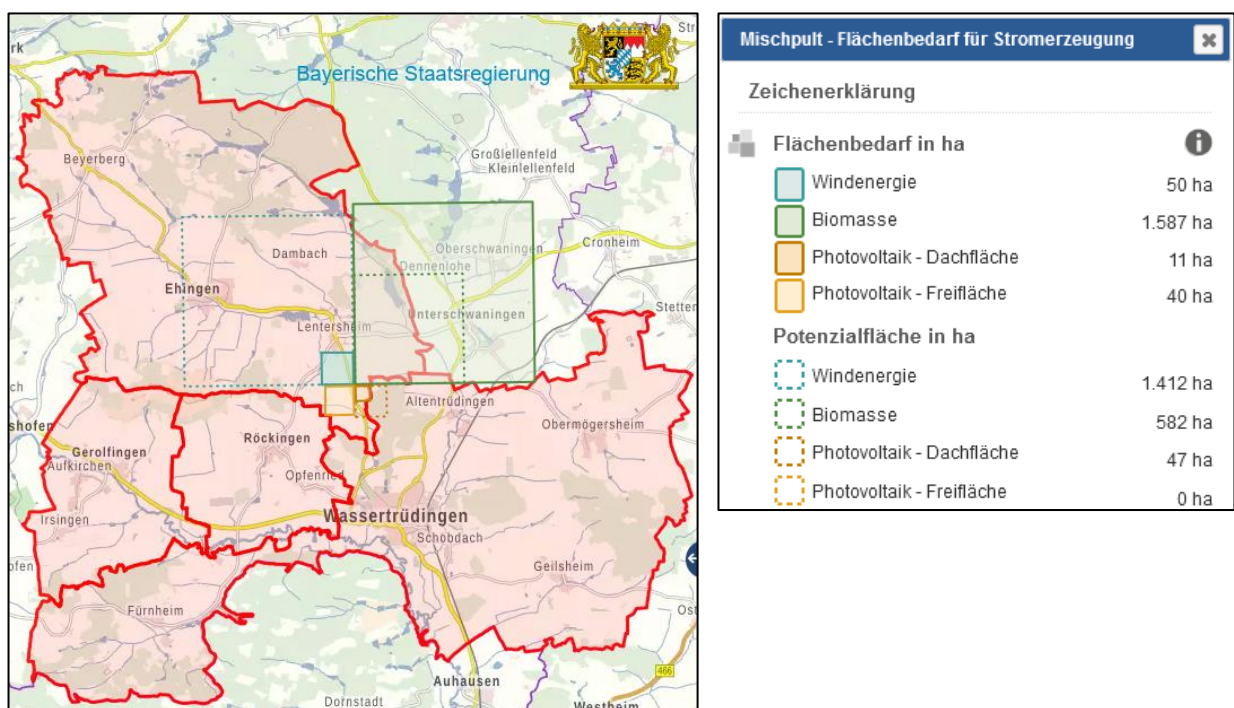


Abbildung 10: Flächenbedarf gegenüber der Potenzialfläche für die Stromerzeugung in Röckingen und den angrenzenden Gemeinden

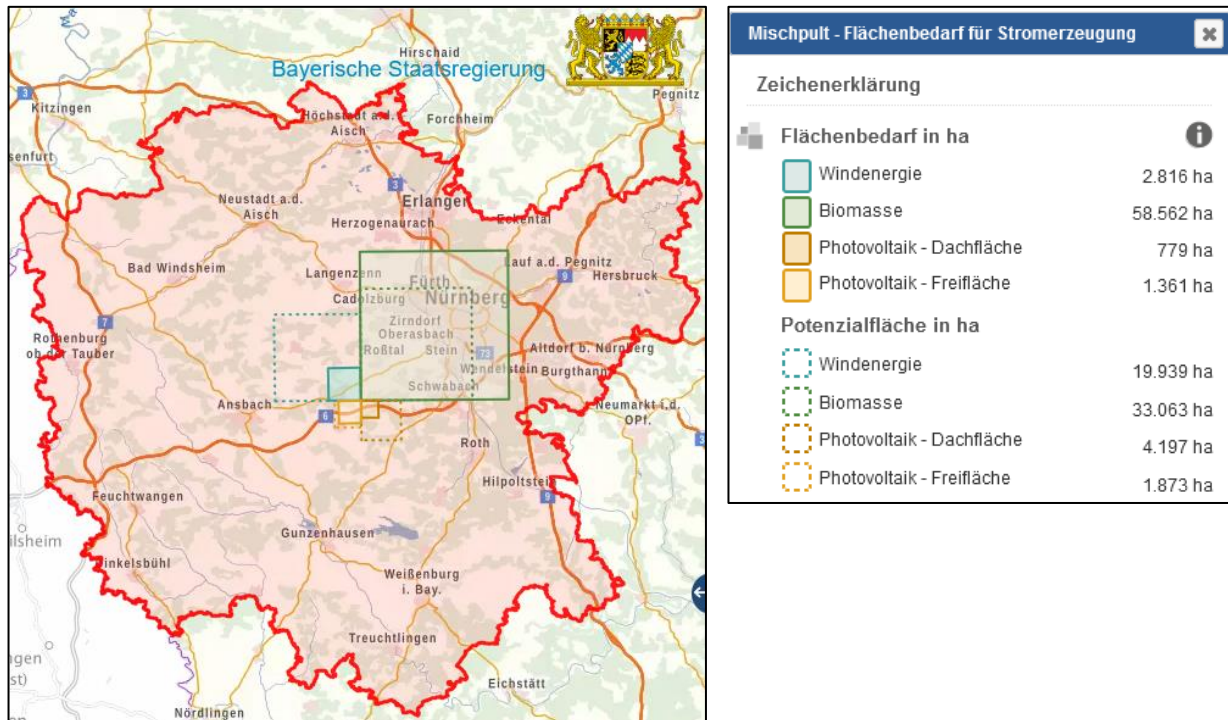


Abbildung 11: Flächenbedarf gegenüber der Potenzialfläche für die Stromerzeugung im Regierungsbezirk Mittelfranken

Die Nutzung von Biomasse im Rahmen des vorhandenen Potenzials ist grundsätzlich als nachhaltig anzusehen. Die Gegenüberstellung des aktuellen Flächenbedarfs für die Stromerzeugung auf Basis von Biomasse und die damit verbundene Erzeugung von Abwärme übersteigt jedoch das vorhandene Potenzial sowohl im räumlichen Zusammenhang als auch auf Ebene des Regierungsbezirks Mittelfranken deutlich. So kann eine erweiterte Nutzung des Energieträgers Biomasse in Biogasanlagen sowohl in der Gemeinde Röckingen selbst als auch in deren Umfeld nicht als nachhaltig angesehen werden.

Aus diesem Grund und der Notwendigkeit innerhalb des hydraulisch bereits ausgelasteten Netzes die Spitzenlast vollständig dezentral zu decken, kann keine Empfehlung zur Anschlussnahme der kommunalen Gebäude ausgesprochen werden.

3.3.2. Waldrestholz

Bei der Wärmebereitstellung auf Basis der Verbrennung von Biomasse ist es grundsätzlich essenziell die Ressource Holz ausschließlich in nachwachsendem Ausmaß sowie durch regionalen Bezug zum Einsatz zu bringen. Infolgedessen können für eine nachhaltige energetische Verwertung von Holz nach der Auffassung von zeitgeist vier Grundregeln herangezogen werden:

- Vermeidung von Energieverbrauch mit verhältnismäßigem Aufwand
- Grundsätzlich Bevorzugung CO₂-freier Energieerzeugung
- Vorrang stofflicher Verwertung von Holz (falls möglich)
- Nutzung effizienter und emissionsarmer Anlagen für die Verbrennung von Resthölzern

Werden diese Grundregeln beachtet, und besteht aufgrund der Rahmenbedingungen vor Ort keine Möglichkeit, auf eine verbrennungsfreie Wärmebereitstellung zurückzugreifen, kann der regionale Bezug von Waldresthölzern und Koppelprodukten des holzverarbeitenden Gewerbes als nachhaltig betrachtet werden.

Die Technologie der Holzvergasung bietet die Möglichkeit die thermische Verwertung von Holz mit der Kraft-Wärme-Kopplung zu verbinden und so neben Wärme auch Strom bereitzustellen. Einen Nachteil dieser Technologie stellen die miteinhergehenden Anforderungen an den eingesetzten Brennstoff dar. Um einen stabilen parallelen Prozess der Verbrennung und Vergasung innerhalb des Reaktors sicherzustellen, sind durch den Brennstoff in jedem Fall gewisse Grenzwerte der Stückigkeit, des Feingutanteils, des Fremdanteils und des Wassergehalts einzuhalten. Diesen Anforderungen steht der Vorrang der stofflichen Verwertung qualitativ hochwertiger Hölzer gegenüber, welche so als Ersatz für energieintensive Baustoffe und gleichzeitig als Kohlenstoffsenke dienen. Noch schwerwiegender ist dieser Gegensatz bei der gezielten Holzernte für die Produktion von Holz-Pellets, an deren Ausgangsmaterial ebenfalls entsprechende Anforderungen gestellt werden. Des Weiteren ist beim Einsatz von Holzpellets vor dem Hintergrund zentralisierter Produktionsstätten der Aspekt des regionalen Bezugs in Frage zu stellen.

Bei Bestandsgebäude kann der Fall auftreten, dass nur bei erheblichen, kostenintensiven und damit wiederum CO₂-behafteten Eingriffen in die intakte Bausubstanz eine verbrennungsfreie Wärmeversorgung realisiert werden kann. Für diesen Fall stellt der regionale Bezug von Resthölzern und deren thermische Verwertung unter Beachtung der vier aufgeführten Kriterien eine Alternative dar. Hierfür steht folgendes freies Potenzial zur Verfügung:

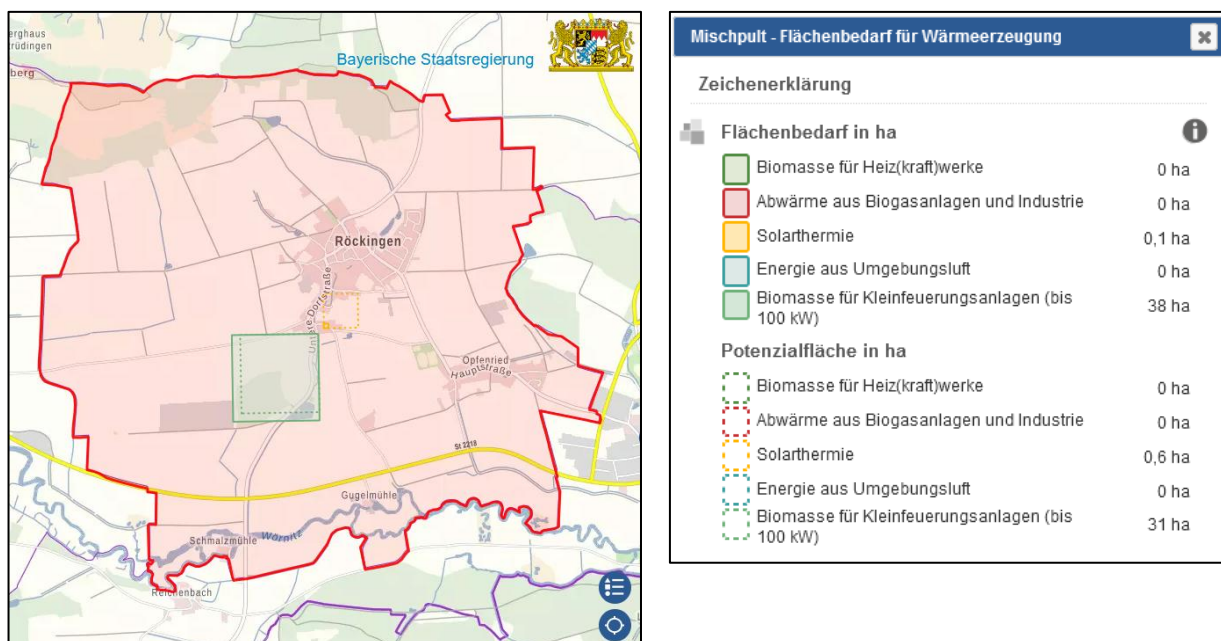
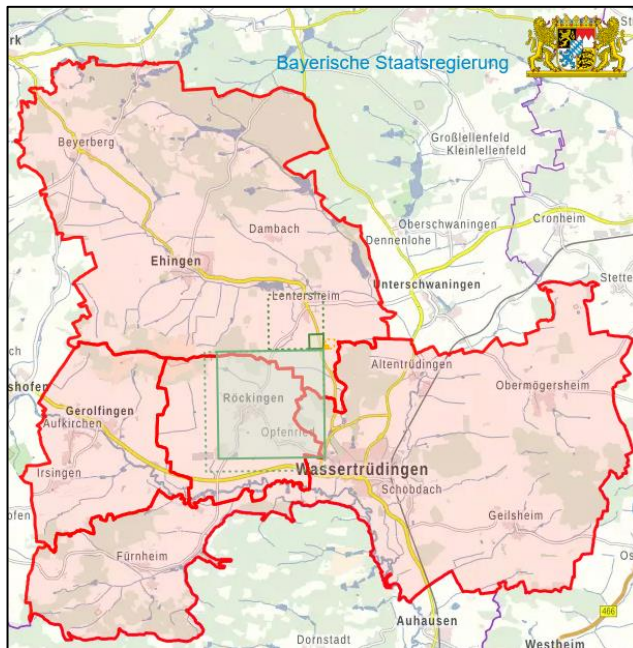


Abbildung 12: Flächenbedarf gegenüber der Potenzialfläche für die Wärmeerzeugung in der Gemeinde Röckingen



Mischpult - Flächenbedarf für Wärmeerzeugung	
Zeichenerklärung	
Flächenbedarf in ha	
Biomasse für Heiz(kraft)werke	12 ha
Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie	0 ha
Solarthermie	0,6 ha
Energie aus Umgebungsluft	0 ha
Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)	669 ha
Potenzialfläche in ha	
Biomasse für Heiz(kraft)werke	176 ha
Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie	0 ha
Solarthermie	5 ha
Energie aus Umgebungsluft	0 ha
Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)	837 ha

Abbildung 13: Flächenbedarf gegenüber der Potenzialfläche für die Wärmeerzeugung in Röckingen und den angrenzenden Gemeinden



Mischpult - Flächenbedarf für Wärmeerzeugung	
Zeichenerklärung	
Flächenbedarf in ha	
Biomasse für Heiz(kraft)werke	12.664 ha
Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie	0 ha
Solarthermie	46 ha
Energie aus Umgebungsluft	0 ha
Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)	60.027 ha
Potenzialfläche in ha	
Biomasse für Heiz(kraft)werke	11.445 ha
Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie	0 ha
Solarthermie	552 ha
Energie aus Umgebungsluft	0 ha
Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)	60.141 ha

Abbildung 14: Flächenbedarf gegenüber der Potenzialfläche für die Wärmeerzeugung im Regierungsbezirk Mittelfranken

Für die Versorgung des geplanten Wärmenetzes im Ortskern, welches zu 100 % durch die Verbrennung von Hackgut gespeist werden soll, ist der vollständige jährliche Aufwuchs einer Waldfläche von **13 ha** von Nöten. Dies entspricht einer eingespeisten Wärmemenge von rund 260 MWh bei einem Kesselwirkungsgrad von 92 %.

3.4. Solarthermie

Solarthermie ist insbesondere bei Gebäuden mit einem gewissen Warmwasserbedarf weit verbreitet. Die Technologie stellt einen sehr effizienten Weg der Wärmegewinnung dar, ist allerdings stark von direkter Sonneneinstrahlung abhängig. Abbildung 15 zeigt die monatliche Verteilung der Erträge einer Solarthermieanlage. Das tatsächliche Verhalten variiert in Abhängigkeit von Ausrichtung, Nutzung und Temperaturniveau. Dennoch ist ersichtlich, dass ein Großteil der Erträge der Solarthermie (hier über 70 %) zwischen April und September anfallen. Speziell im Fall der hier betrachteten kommunalen Liegenschaften in Verbindung mit einem sehr geringen Warmwasserbedarf entfällt auf diesen Zeitraum nur ein kleiner Teil des Gesamtwärmebedarfs.

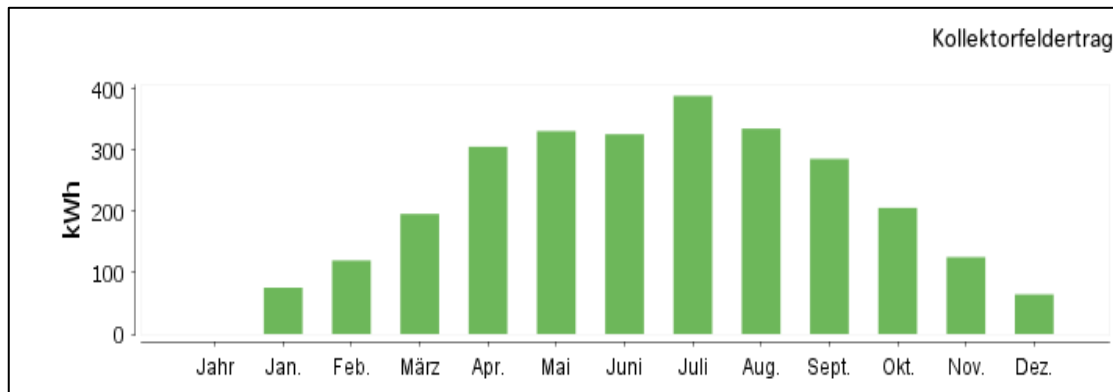


Abbildung 15: Verlauf des Jahresertrags einer Solarthermieanlage zur Warmwasserbereitung (4 m² Kollektorfläche, Aufständigung 40° Süd)

Gleichzeitig entsteht auf den zur Verfügung stehenden Flächen ein Konflikt mit der ebenso möglichen Erzeugung von PV-Strom, welcher im Gegensatz zur erzeugten Wärme durch Solarthermie in den verschiedenen Sektoren kostengünstig eingebracht werden kann.

3.5. Photovoltaik

Bereits bei der Analyse des Potenzials zur Stromproduktion in der Gemeinde Röckingen in Abbildung 9 wird ersichtlich, dass erhebliches Potenzial für die Errichtung von PV-Aufdachanlagen besteht. Der Einsatz von Photovoltaik auf den Dachflächen der kommunalen Liegenschaften ermöglicht die regionale und regenerative Bereitstellung elektrischer Energie. Diese kann direkt in den Gebäuden verbraucht werden. Darüber hinaus bietet die forcierte Kopplung der Sektoren die Möglichkeit der Nutzung des Stroms in der Wärmeversorgung sowie in der Mobilität. Die lokale Stromerzeugung kann somit einen nennenswerten Anteil des gesamten Energiebedarfs darstellen. Nachfolgend wird das Potenzial unter Berücksichtigung der historischen Bedarfe an Haushaltstrom bewertet.

Feuerwehrhaus

Röckingen_FFW PV-Anlage

zeitgeist engineering gmbh



Projektübersicht



Abbildung: Übersichtsbild, 3D-Planung

PV-Anlage

3D, Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern

Klimadaten	Röckingen, DEU (-)
Quelle der Werte	Import
PV-Generatorleistung	42,24 kWp
PV-Generatorfläche	191,8 m ²
Anzahl PV-Module	96
Anzahl Wechselrichter	2

Ertragsprognose

Ertragsprognose	
PV-Generatorleistung	42,24 kWp
Spez. Jahresertrag	942,18 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	92,39 %
Ertragsminderung durch Abschattung	Nicht berechnet
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	39.846 kWh/Jahr
Eigenverbrauch	2.130 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	37.716 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	5,2 %
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	18.705 kg/Jahr
Autarkiegrad	42,3 %

Wirtschaftlichkeit

Ihr Gewinn

Gesamte Investitionskosten	46.464,00 €
Gesamtkapitalrendite	3,81 %
Amortisationsdauer	15,2 Jahre
Stromgestehungskosten	0,0619 €/kWh
Bilanzierung / Einspeisekonzept	Überschusseinspeisung

Bestandsgebäude Kindergarten

Röckingen_PV-Anlage

zeitgeist engineering gmbh



Projektübersicht



Abbildung: Übersichtsbild, 3D-Planung

PV-Anlage

3D, Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern

Klimadaten	Röckingen, DEU (-)
Quelle der Werte	Import
PV-Generatorleistung	36,96 kWp
PV-Generatorfläche	167,8 m ²
Anzahl PV-Module	84
Anzahl Wechselrichter	3

Ertragsprognose

Ertragsprognose

PV-Generatorleistung	36,96 kWp
Spez. Jahresertrag	1.041,56 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	91,44 %
Ertragsminderung durch Abschattung	Nicht berechnet

PV-Generatorenergie (AC-Netz)	38.571 kWh/Jahr
Eigenverbrauch	4.395 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	34.176 kWh/Jahr

Eigenverbrauchsanteil	11,2 %
-----------------------	--------

Vermiedene CO ₂ -Emissionen	18.093 kg/Jahr
--	----------------

Autarkiegrad	69,5 %
--------------	--------

Wirtschaftlichkeit

Ihr Gewinn

Gesamte Investitionskosten	48.048,00 €
Gesamtkapitalrendite	5,10 %
Amortisationsdauer	13,5 Jahre
Stromgestehungskosten	0,0664 €/kWh
Bilanzierung / Einspeisekonzept	Überschusseinspeisung

Röckingen_LWH,alteSchule PV-Anlage

zeitgeist engineering gmbh



Projektübersicht

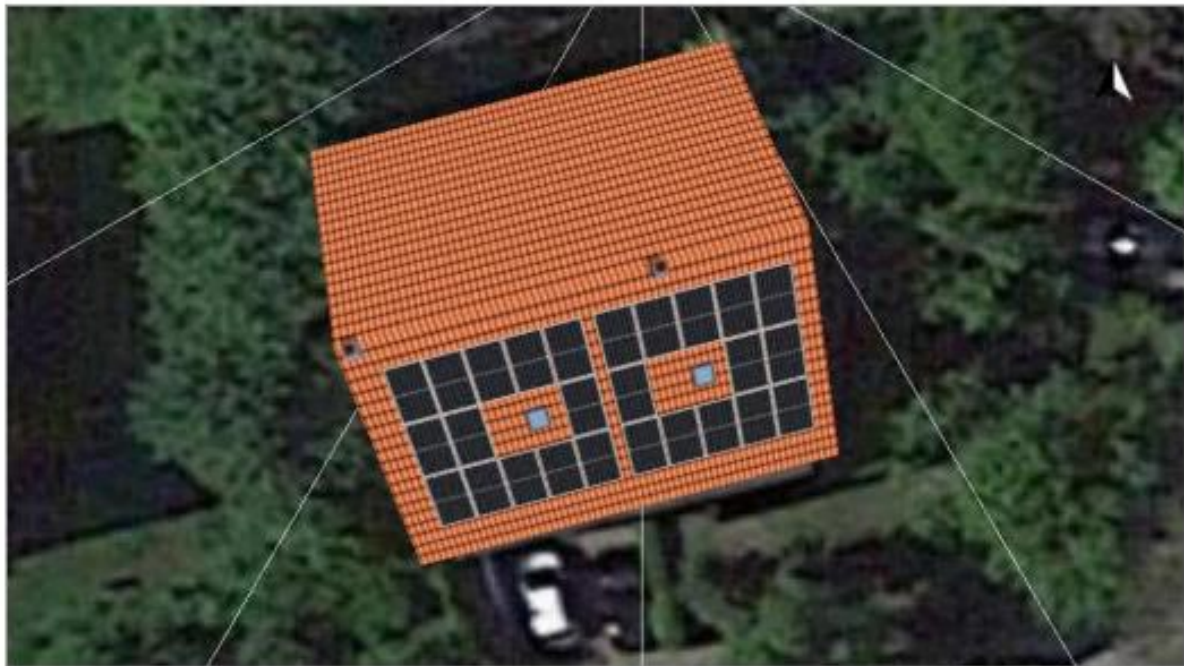


Abbildung: Übersichtsbild, 3D-Planung

PV-Anlage

3D, Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern

Klimadaten	Röckingen, DEU (-)
Quelle der Werte	Import
PV-Generatorleistung	11,44 kWp
PV-Generatorfläche	52,0 m ²
Anzahl PV-Module	26
Anzahl Wechselrichter	1

Ertragsprognose

Ertragsprognose

PV-Generatorleistung	11,44 kWp
Spez. Jahresertrag	1.149,55 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	93,91 %
Ertragsminderung durch Abschattung	Nicht berechnet
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	13.176 kWh/Jahr
Eigenverbrauch	338 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	12.838 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	2,4 %
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	6.181 kg/Jahr
Autarkiegrad	54,1 %

Wirtschaftlichkeit

Ihr Gewinn

Gesamte Investitionskosten	17.160,00 €
Gesamtkapitalrendite	2,27 %
Amortisationsdauer	17,8 Jahre
Stromgestehungskosten	0,0692 €/kWh
Bilanzierung / Einspeisekonzept	Überschusseinspeisung

Ehemaliges Schulgebäude

Röckingen_LWH,alteSchule PV-Anlage

zeitgeist engineering gmbh



Projektübersicht



Abbildung: Übersichtsbild, 3D-Planung

PV-Anlage

3D, Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern

Klimadaten	Röckingen, DEU (-)
Quelle der Werte	Import
PV-Generatorleistung	29,92 kWp
PV-Generatorfläche	135,9 m ²
Anzahl PV-Module	68
Anzahl Wechselrichter	2

Ertragsprognose

Ertragsprognose

PV-Generatorleistung	29,92 kWp
Spez. Jahresertrag	1.027,02 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	90,79 %
Ertragsminderung durch Abschattung	Nicht berechnet
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	30.774 kWh/Jahr
Eigenverbrauch	1.550 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	29.224 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	4,9 %
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	14.442 kg/Jahr
Autarkiegrad	50,9 %

Wirtschaftlichkeit

Ihr Gewinn

Gesamte Investitionskosten	44.880,00 €
Gesamtkapitalrendite	1,03 %
Amortisationsdauer	Mehr als 20 Jahre
Stromgestehungskosten	0,0775 €/kWh
Bilanzierung / Einspeisekonzept	Überschusseinspeisung

Projektübersicht

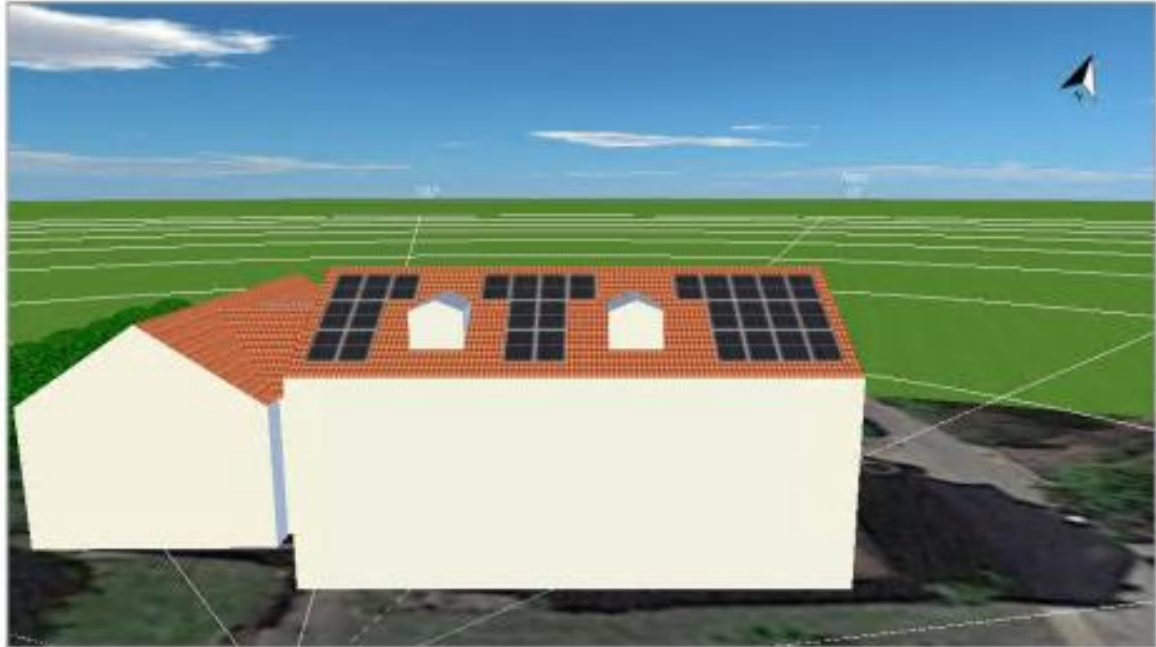


Abbildung: Übersichtsbild, 3D-Planung

PV-Anlage


3D, Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern

Klimadaten	Röckingen, DEU (-)
Quelle der Werte	Import
PV-Generatorleistung	12,32 kWp
PV-Generatorfläche	55,9 m ²
Anzahl PV-Module	28
Anzahl Wechselrichter	1

Ertragsprognose

Ertragsprognose

PV-Generatorleistung	12,32 kWp
Spez. Jahresertrag	1.129,60 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	91,83 %
Ertragsminderung durch Abschattung	Nicht berechnet
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	13.941 kWh/Jahr
Eigenverbrauch	1.448 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	12.493 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	10,2 %
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	6.541 kg/Jahr
Autarkiegrad	47,9 %

Röckingen_LWH,alteSchule PV-Anlage	
zeitgeist engineering gmbh	
	
Wirtschaftlichkeit	
Ihr Gewinn	
Gesamte Investitionskosten	18.480,00 €
Gesamtkapitalrendite	3,68 %
Amortisationsdauer	15,5 Jahre
Stromgestehungskosten	0,0704 €/kWh
Bilanzierung / Einspeisekonzept	Überschusseinspeisung

4. Grundlagen energetischer Gesamtkonzepte

Im Folgenden sollen die Grundlagen festgehalten werden, die den später zu betrachtenden Konzepten einheitlich zugrunde gelegt werden. Hierbei wird auch auf die technischen Eigenschaften der verschiedenen Varianten der leitungsgebundenen Wärmeversorgung eingegangen, da diese Art der Wärmebereitstellung einen Weg für die wirtschaftliche Realisierung der Sektorkopplung darstellen kann. Zudem werden neben den Annahmen zur Wirtschaftlichkeit auch die Betrachtung und Berechnung der CO₂-Emissionen thematisiert.

4.1. Leitungsgebundene Wärmeversorgung

Grundsätzlich kann bei der Wärmeversorgung zwischen der individuellen Wärmebereitstellung je Liegenschaft und einer netzgebundenen Versorgung der Gebäude unterschieden werden. Eine netzgebundene Versorgung kann nochmals in die Varianten der kalten und der heißen Nahwärme unterschieden werden. Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile der beiden leitungsgebundenen Varianten unter Berücksichtigung der beschriebenen Zielsetzung gegenübergestellt.

4.1.1. Kalte Nahwärme (Nahwärme der 5. Generation)

Das kalte Nahwärmenetz stellt eine junge Form der Nahwärme dar. Ziel dieses Ansatzes ist es, durch verbrauchsnahe, bedarfsorientierte Bereitstellung der Nutzwärme die Verluste bei Erzeugung und Verteilung zu minimieren.

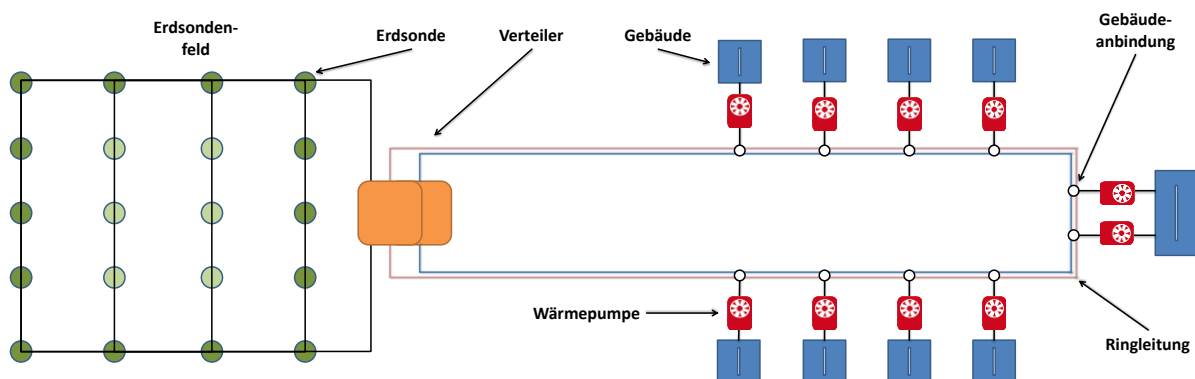


Abbildung 16: Schematische Darstellung Variante "Kaltes Netz"

Technische Beschreibung

Die Wärmebereitstellung erfolgt dezentral über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe in jedem Gebäude – analog zu einer klassischen oberflächennahen Geothermie-Anlage. Dadurch muss für jedes Haus nur das tatsächlich benötigte Temperaturniveau bereitgestellt werden. In der Praxis erreichen erdgekoppelte Wärmepumpen so im Heizbetrieb unter der Voraussetzung eines guten Dämmstandards und einer großflächigen Wärmeübertragung an die Raumluft typischerweise Jahresarbeitszahlen ($\frac{\text{Nutzwärme}}{\text{aufgenommene elektrische Energie}}$) von 4 bis 5. Je nach Haustyp kommen Wärmepumpen mit entsprechender Leistung zum Einsatz.

Der Primärkreis der Wärmepumpen wird durch das kalte Nahwärmenetz auf einem Temperaturniveau zwischen -5 °C und 20 °C gespeist. Die Versorgung kann durch verschiedene Wärmequellen gewährleistet werden. Durch das niedrige Temperaturniveau im Verteilnetz entstehen kaum Wärmeverluste – je nach Belastung kann das Netz selbst sogar als Erdkollektor-Wärmequelle dienen. Deshalb kann bei den Rohrleitungen auf eine Dämmung verzichtet werden, wenngleich die Dimensionen der Rohrleitungen aufgrund der geringen Spreizung größer ausfallen.

Durch den Zusammenschluss von Verbrauchern und Wärmequellen im kalten Netz kann ein Gleichzeitigkeitsfaktor angesetzt werden, was sich günstig auf die nötige Leistung der Wärmequelle und die nötigen Rohrdimensionen auswirkt. In einer der am weitesten verbreiteten Varianten stellt das Netz eine passive Komponente dar – die Umwälzung des Wärmeträgers erfolgt durch dezentrale Umwälzpumpen in den einzelnen Wärmepumpen. Dadurch sinkt der Aufwand für Betrieb und Wartung des Netzes bei gleichzeitiger Steigerung der Ausfallsicherheit des Gesamtsystems. Die Lebensdauer der Kunststoffrohre für das Netz wird beim derzeitigen Stand der Technik auf rund 40 Jahre geschätzt – allerdings liegen noch keine konkreten Erfahrungswerte vor.

Grundvoraussetzung für das kalte Netz ist die Verfügbarkeit einer geeigneten Wärmequelle. Dies können z.B. sein:

- Geothermie (Erdwärmesonden, Erdkollektoren)
- Grundwasser
- Eisspeichersysteme (mit Regeneration, z.B. über Solarthermie)
- Abwärme von Gewerbe und Industrie
- Abwärme anderer Wärmekreise (z.B. Rücklauf heißer Nahwärmenetze)
- Sonstige Abwärme (z.B. Abwasser)

In Abhängigkeit von der Wärmequelle kann ein kaltes Netz als Wärmesenke für die Gebäudekühlung eingesetzt werden. Mit geringem Aufwand (zusätzlicher Wärmetauscher und Regelung zur Kühlung) und minimalem Energieaufwand (ausschließlich Umwälzpumpen) ermöglicht die sogenannte freie Kühlung, das Gebäude auf angenehme Temperaturen zu halten – während gleichzeitig Energie für die Warmwasserbereitung bereitgestellt und die Quelle der Erdwärme regeneriert wird. Voraussetzung für eine effektive passive Kühlung stellt eine Wärmequelle mit einer großen Speichermasse auf entsprechendem Temperaturniveau wie zum Beispiel das Erdreich dar. Wird das kalte Netz ausschließlich mittels Abwärme gespeist entfällt die Option der freien Kühlung.

Netzdienlichkeit / Sektorkopplung

Beim kalten Netz wird die gesamte Wärme durch Wärmepumpen mittels elektrischer Energie bereitgestellt. Dieser Zusammenhang ermöglicht die Kopplung der Sektoren sowie einen netzdienlichen Betrieb auf zwei verschiedenen Ebenen.

Lokales Energiemanagement

Innerhalb der einzelnen Gebäude ist in Kombination mit einer Photovoltaikanlage eine effiziente PV-Eigenverbrauchslösung realisierbar. In Kombination mit einem gebäudeeigenen Energiemanagement kann der vor Ort produzierte Strom zur anteiligen Wärmeversorgung verwendet werden. Dadurch ergeben sich Einsparungen bei den Wärmekosten und maximale Effizienz der PV-Anlage. Perspektivisch ist eine Anbindung von bidirektional ladenden Elektrofahrzeugen möglich, wodurch das Energiemanagement Zugriff auf eine elektrische Speichermöglichkeit erhält.

Globales Energiemanagement

Zusätzlich ist für das gesamte Areal ein globales Energiemanagement zur Optimierung der Energieflüsse denkbar. Damit können Netzdienlichkeit und Sektorkopplung auf Ebene des Netzbetreibers realisiert werden.

- Durch Integration der lokalen Energiemanagement-Komponenten der einzelnen Gebäude kann auf das Regelpotenzial der Wärmepumpen inkl. Heizelemente des gesamten Gebiets sowie weitere an das lokale Energiemanagement angebundene Komponenten zugegriffen werden. Damit ist im Schwarmkonzept eine Netzstützung oder ein möglichst netzneutrales Verhalten des Areals umsetzbar.
- Durch zusätzliche Komponenten, z.B. Heizelemente im kalten Nahwärmenetz kann das Regelpotenzial erhöht werden. Die elektrisch erzeugte Wärme kann direkt durch die Wärmepumpen oder zur Regeneration der Wärmequelle genutzt werden.
- Durch Einbindung des Lademanagements der Elektro-Ladestationen kann der netzdienliche Betrieb auf die angeschlossenen Elektrofahrzeuge erweitert werden.

Bewertung

Abschließend sollen hier die aufgeführten Details der Variante kaltes Netz bewertet werden.

Vorteile

- + Kaum Netzverluste (Netz kann auch als Wärmekollektor wirken)
- + Niedrige Betriebskosten für das Verteilnetz
- + Geringes Ausfallrisiko des passiven Netzes
- + Vielfältige Möglichkeiten der Sektorkopplung & Netzdienlichkeit
- + Gute nachträgliche Erweiterbarkeit des Netzes
- + Je nach Wärmequelle effiziente Möglichkeit der passiven Kühlung im Sommer

Nachteile

- Erhöhter Aufwand / Platzbedarf für Wärmequelle (Ausnahme Abwärme)
- Erhöhte Investitionen im Vergleich zu Luft-Wasser-Wärmepumpen

4.1.2. Nahwärme der 3. und 4. Generation

Bei konventioneller Nahwärme kann zwischen warmer und heißer Nahwärme bzw. Nahwärme der 3. und 4. Generation unterschieden werden. Die entscheidenden Parameter dieser Unterscheidung stellen dabei die Höhe der Vor- und Rücklauftemperatur dar, wie in Abbildung 17 zu sehen ist.

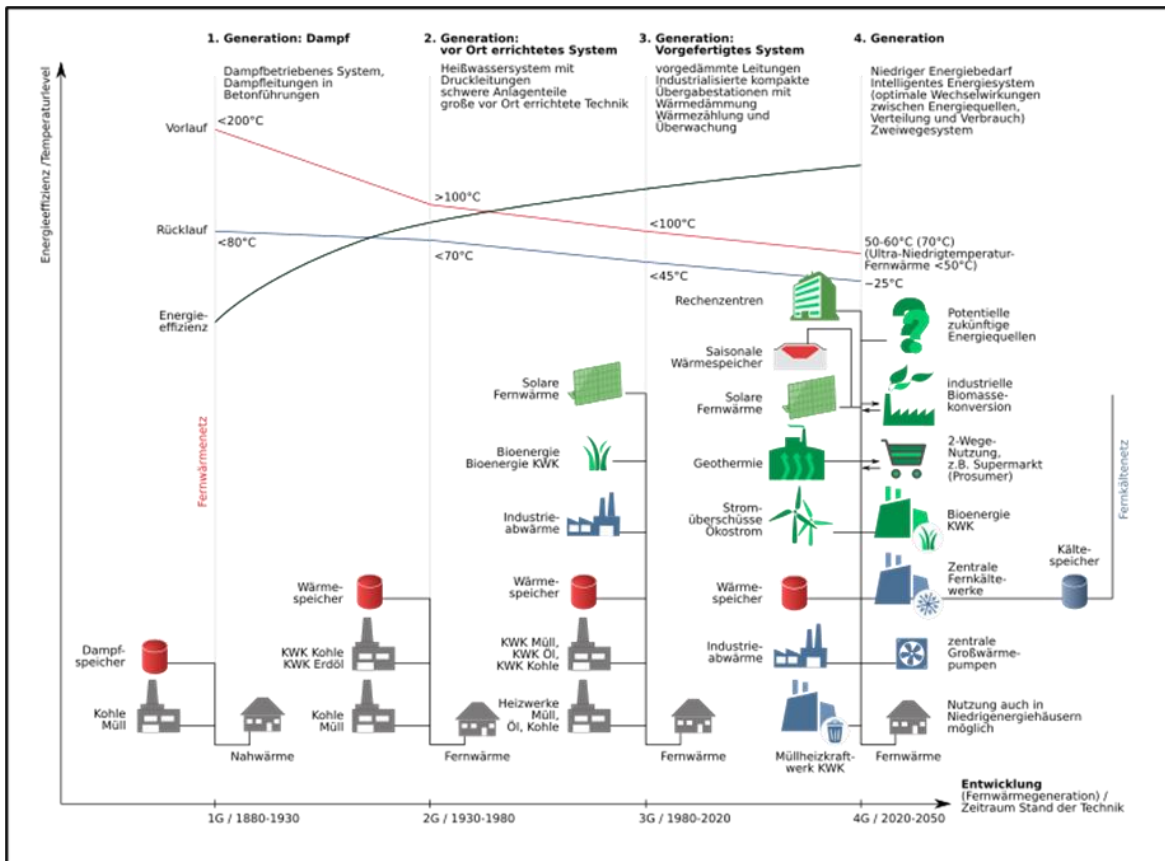


Abbildung 17: Generationen von Nah- und Fernwärmenetzen [4]

Bei der Verteilung der Wärme über ein heißes oder warmes Netz treten Wärmeverluste ins umliegende Erdreich auf. Diese sind unter anderem abhängig von der Qualität (Dämmung) des Rohres, dessen Dimension (Durchmesser), Ausführung (single oder double) und der Länge des Netzes. Der Wärmeübertrag ans Erdreich, in diesem Fall der Wärmeverlust, ist proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Wärmenetz und umliegendem Erdreich:

$$\dot{Q}_V = k \cdot L \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a)$$

mit: \dot{Q}_V =Verlustleistung | k =Faktor für Qualität des Netzes | L =Länge des Netzes | ϑ_i, ϑ_a =Temperatur im Netz, Temperatur im Erdreich.

Da diese Verluste weitestgehend unabhängig vom tatsächlichen Wärmeverbrauch des Netzes ausfallen, können sie – besonders im Sommer – einen großen Anteil der erzeugten Wärme beitragen. Üblicherweise wird ein Wärmenetz auf einen Verlust im Jahresdurchschnitt von max. 10 bis 15 % der Nutzwärme ausgelegt. Hierfür stellt die Wärmebedarfsdichte des zu erschließenden Gebiets die relevante Größe dar, um während des laufenden Betriebs eine hohe Wärmebelegungsdichte (kWh pro Meter Rohr) generieren und so die Wärmeverluste anteilig minimieren zu können.

Technische Beschreibung

Wärmenetz der 4. Generation

Die vierte Generation von Wärmenetzen umfasst eine Vorlauftemperatur im Bereich von 40 bis 60 °C und eine Rücklauftemperatur zwischen 20 und 30°C. Um basierend auf dieser Spreizung die geforderte Raumtemperatur in den zu versorgenden Gebäuden sicherzustellen, ist ein entsprechender energetischer Zustand in Form passender Heizlasten und großflächiger Wärmeübertrager die Voraussetzung. Werden diese Anforderungen von allen Abnehmern erfüllt, ist eine Vorlauftemperatur von 40 °C unter Umständen bereits ausreichend. Je nach Temperaturniveau des Vorlaufs ist es möglich das Warmwasser direkt über das Netz zu bereiten, wobei die Legionellenprophylaxe durch eine Überhitzung des Warmwassers auf höhere Temperaturen mittels eines Heizstabs erfolgt. Ist der Vorlauf zu niedrig, um sekundärseitig eine minimale Warmwassertemperatur von circa 50 °C zu gewährleisten, bestehen verschiedene Möglichkeiten die Warmwasserbereitung durchzuführen. Eine Möglichkeit besteht darin den übrigen erforderlichen Temperaturhub nach der Erwärmung durch die Leistung des Nahwärmenetzes mittels einem elektrischen Nacherwärmer durchzuführen. Alternativ dazu kann die Warmwasserbereitung auch mittels einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe erfolgen, die sich wiederum quellseitig aus dem Wärmenetz bedient und somit den Großteil der Wärmemenge für die WW-Bereitung wiederum aus dem Netz bezieht. Neben der Reduzierung der Vor- und Rücklauftemperatur kann die Reduktion der Verluste innerhalb eines Wärmenetzes zudem über eine temporäre Abschaltung des Netzes während der Sommermonate ohne Heizwärmebedarf erfolgen. Dies setzt eine separate Warmwasserbereitung beispielsweise mit einer Brauchwasserwärmepumpe voraus.

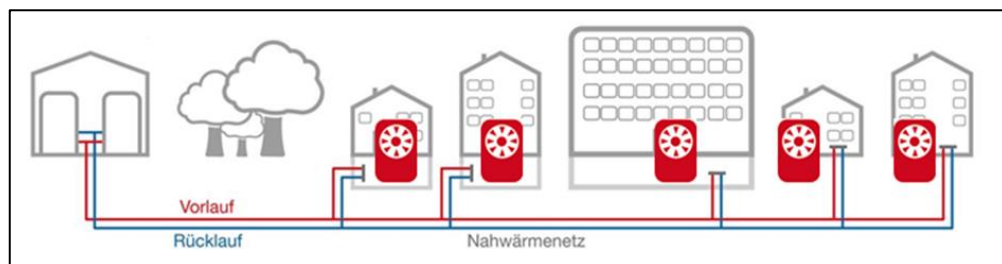


Abbildung 18: Schematische Darstellung eines warmen Netzes inklusive dezentraler WW-Wärmepumpen

Wärmenetz der 3. Generation

Diese Generation von Nahwärmenetz zeichnet sich durch die zentralisierte Wärmeherzeugung auf ausreichendem Temperaturniveau für alle Abnehmer bei einer Größenordnung von 80 °C im Vorlauf aus. Die Warmwasserbereitung und die Versorgung sämtlicher Heizkreise kann bei diesem Temperaturniveau direkt über das Nahwärmenetz erfolgen, wodurch weitere dezentrale Energiequellen entfallen können. Ob die Integration dieser dennoch sinnvoll ist, mit dem Ziel das Netz während der Sommermonate abzuschalten und somit die Netzverluste zu reduzieren, hängt von der Wärmequelle in der Heizzentrale während der Sommermonate ab. Nutzt diese die saisonal erhöhte Einstrahlung der Sonne (beispielsweise mittels Solarthermie oder Luft-WP), relativieren sich die prozentual erhöhten Wärmeverluste während der Sommermonate aufgrund der geringen bedarfsgebundenen Kosten und minimierten Emissionen der Wärmebereitstellung. Befindet sich des Weiteren kein Abnehmer mit der Anforderung ganzjährig hoher Vorlauftemperaturen, zum Beispiel für Prozesswärme, im Kreis der Abnehmer, ist auch ein gleitender Betrieb des Nahwärmenetzes möglich. Dabei können die Vorlauftemperatur während der Sommermonate auf ein Niveau von ca. 65 °C abgesenkt und die thermischen Verluste auch innerhalb des heißen Nahwärmenetzes reduziert werden.

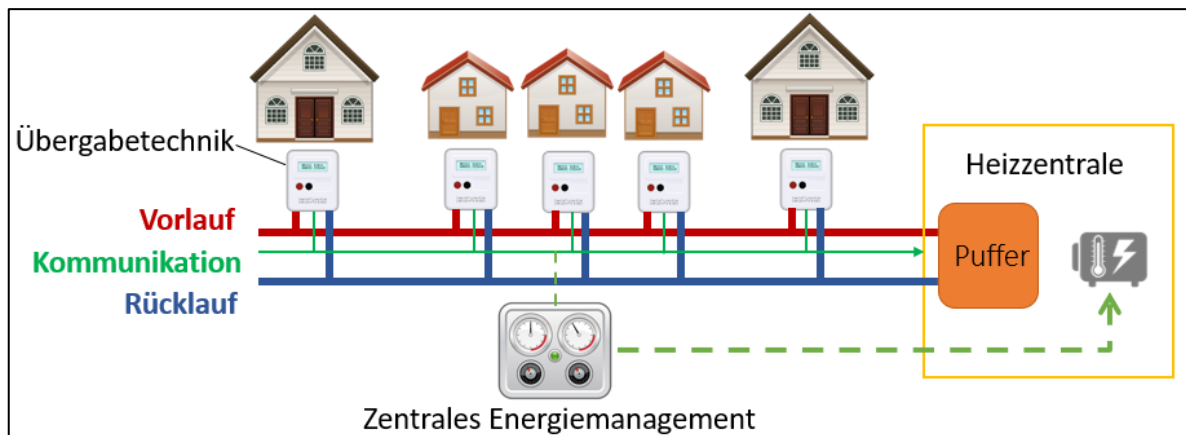


Abbildung 19: Schematische Darstellung eines heißen Nahwärmenetzes

Netzdienlichkeit / Sektorkopplung

Lokales Energiemanagement

In diesem Konzept der Wärmeversorgung wird je nach Ausführung des Wärmenetzes (3. oder 4. Generation) der Großteil der gesamt benötigten Wärmemenge zentral bereitgestellt. Eine effiziente PV-Eigenverbrauchslösung durch ein gebäudeeigenes Energiemanagementsystem ist weiterhin möglich. Die Schnittstelle mit der netzgebundenen Wärmeversorgung kann sowohl dezentral durch die Speisung dezentraler Pufferspeicher oder Wärmepumpen als auch auf Quartiersebene durch die Nutzung von überschüssigem PV-Strom in der Heizzentrale erfolgen. Für die technische Umsetzung auf Quartiersebene ist die Integration der gemessenen Einspeisung bzw. des gemessenen Bezugs elektrischer Energie je Haushalt in die Kommunikation des Wärmenetzes von Nöten. Außerdem ist es nötig alle weiteren Erzeugungs- und Verbrauchsdaten innerhalb des Quartiers zu erfassen. Hierdurch besteht die Möglichkeit gezielt auf Überschüsse oder hohen Bedarf elektrischer Energie innerhalb des Quartiers in der Heizzentrale zu reagieren, indem elektrifizierte Wärmequellen in der Heizzentrale zu oder abgeschaltet werden.

Globales Energiemanagement

Zusätzlich ist für das gesamte Areal ein globales Energiemanagement zur Optimierung der Energieflüsse denkbar. Damit können Netzdienlichkeit und Sektorkopplung auf Ebene des Stromnetzbetreibers realisiert werden.

- Von der Heizzentrale aus kann durch Integration der lokalen Energiemanagement-Komponenten der einzelnen Gebäude auf das Regelpotenzial einzelner elektrischer Verbraucher in den Liegenschaften zurückgegriffen werden. Künftig wird dabei vor allem die bidirektionale Einbindung des Lademanagements der Elektro-Ladestationen eine zentrale Rolle spielen. Damit ist im Schwarmkonzept eine Netzstützung oder ein möglichst netz-neutrales Verhalten des Areals umsetzbar.
- Je nach Ausführung der Wärmeerzeuger fällt das Regelpotenzial in der Heizzentrale aus und kann durch zusätzliche Komponenten, z.B. Heizelemente erhöht werden. Die basierend auf erneuerbarer elektrischer Energie erzeugte Wärme kann in den dezentralen Pufferspeichern der Abnehmer und in einem zentralen Großpufferspeicher eingespeist und bedarfsgerecht mittels des Nahwärmenetzes bereitgestellt werden.

Bewertung

Abschließend sollen hier die einzelnen Details der Variante Nahwärme der 3. und 4. Generation in Bezug auf die Anforderungen innerhalb des betrachteten Quartiers bewertet werden.

Vorteile:

- + Auftretende Gleichzeitigkeit in Netzen → Reduzierung zu installierender Leistung des Wärmeerzeugers → Verringerte betriebsgebundene Kosten
- + Flexibilität hinsichtlich der Energieerzeugung → Nutzung lokaler, nachwachsender Energieträger / hybrider Systeme möglich
- + Erhöhte Bereitschaft bei Störungen → Geringeres Ausfallrisiko
- + Skalierbarkeit, Potenzial weitere Gebiete zu erschließen
- + Geringer Platzbedarf in den Häusern, Komfort für den Abnehmer

Nachteile:

- Aufwand für Betrieb und Wartung sowie Platzbedarf der Heizzentrale
- Erhöhte Auswirkungen eines Ausfalls
- Deutlich reduzierte Effizienz zentraler Wärmepumpe bei Netzen der 3. Generation (Abnehmer mit höchstem Vorlauf maßgebend)
- Auftretende Wärmeverluste
- Hohe kapitalgebundene Kosten für das Verteilnetz

4.2. Wirtschaftlichkeit

Zur Bewertung der nachfolgend aufgeführten Konzepte soll eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Anlehnung an das Kurzverfahren nach VDI 2067 durchgeführt werden. Diese Herangehensweise ermöglicht eine bessere Vergleichbarkeit der Varianten aus monetärer Sicht. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsschätzung werden die jährlichen Aufwendungen für das gesamte Energiesystem im Quartier betrachtet. Dies umfasst:

- Die Investitionskosten für die Energiebereitstellung
- Die jährlichen verbrauchsunabhängigen Betriebskosten
- Die jährlichen verbrauchsgebundenen Kosten, also Brennstoff und Stromverbrauch

Alle im Rahmen dieses Berichts angebrachten Kosten verstehen sich als Brutto-Preise.

4.2.1. Investitionskosten

Die Investitionskosten stellen die Kosten für die Errichtung des gesamten beschriebenen Energiesystems dar. Neben der Anschaffung der Komponenten wird auch der Aufwand für Planung, Genehmigungen, Installation und Inbetriebnahme berücksichtigt. Nicht berücksichtigt werden Kosten für Komponenten, die unabhängig vom jeweiligen Energiesystem ohnehin erforderlich wären, darunter das Stromnetz, Ladeinfrastruktur sowie die Wärmeverteilungssysteme (Heizkreise) in den Gebäuden. Die Gesamt-Investitionskosten werden per Annuitätenmethode auf Basis des zugrunde gelegten Kapitalzinseszinses auf die Nutzungsdauer umgelegt, um die jährlichen kapitalgebundenen Kosten zu erhalten.

4.2.2. Betriebsgebundene Kosten

Unter den betriebsgebundenen Kosten wird der jährliche, verbrauchsabhängige Aufwand für den Betrieb der Anlagentechnik erfasst. Dazu gehören die regelmäßige Wartung, Instandhaltung sowie der Aufwand zur Bedienung der Anlagentechnik.

4.2.3. Verbrauchsgebundene Kosten

Die verbrauchsgebundenen Kosten umfassen den Aufwand zur Beschaffung der erforderlichen Energie. Diese enthalten beispielsweise die Kosten für zugekauften Strom sowie Brennstoffe mit den jeweiligen Kostensteigerungen.

4.2.4. Annahmen

Tabelle 1 zeigt die Annahmen und Parameter für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der Wärmekonzepte. Die Daten basieren auf aktuellen Marktpreisen und Entwicklungen der letzten Jahre sowie auf eigenen Annahmen. In

Tabelle 2 ist der für die Systemkomponenten angesetzte Aufwand für Instandsetzung, Wartung und Bedienung aufgeschlüsselt.

Tabelle 1: Zentrale Annahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Jährlicher Kapitalzins	4 %
Stundenlohn für Betriebsführung	60 €/h, Steigerung 1,5 %/a
Strompreis Durchschnitt	0,25 €/kWh
Jährliche Steigerung Strompreis	3 %
Jährliche Steigerung Hackgutpreis	3%

Tabelle 2: Jährlicher Aufwand für Instandsetzung, Wartung und Bedienung einzelner Systemkomponenten in Anlehnung an VDI 2067 Blatt 1, ergänzt durch eigene Annahmen

Komponente	Nutzungs- dauer	Aufwand In- standsetzung	Aufwand Wartung	Aufwand Bedie- nung
Luft-Wasser WP	18 a	1 %	1 %	5 h/a
Sole-Wasser WP	20 a	1 %	1 %	5 h/a
Kollektor	30 a	0,5 %	0 %	0 h/a
PV-Anlage	25 a	20 €/kWp		
Übergabetechnik Wärme- netz heizkreisseitig	20 a	1 %	1 %	0 h/a

4.2.5. Förderung

Neben den Grundlagen der Systematik der durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden nachfolgend zudem mögliche Förderprogramme für die Realisierung einer nachhaltigen Wärmeversorgung aufgeführt. Per Definition nach GEG wird ein Nahwärmenetz mit weniger als 17 Anschlussnehmer und weniger als 100 zu versorgenden Wohneinheiten als Gebäudenetz bezeichnet. Infolgedessen erfolgt die Förderung der Anschlussnahme an das geplante Netz der dritten Generation durch die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG).

Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)

Förderübersicht: Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)								
Im Einzelnen gelten die nachfolgend genannten Prozentsätze mit einer Obergrenze von 70 Prozent.								
Durchführer	Richtlinien-Nr.	Einzelmaßnahme	Grundfördersatz	iSFP-Bonus	Effizienz-Bonus	Klimageschwindigkeits-Bonus ²	Einkommens-Bonus	Fachplanung und Baubegleitung
BAFA	5.1	Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle	15 %	5 %	–	–	–	50 %
BAFA	5.2	Anlagentechnik (außer Heizung)	15 %	5 %	–	–	–	50 %
	5.3	Anlagen zur Wärmeerzeugung (Heizungstechnik)						
KfW	a)	Solarthermische Anlagen	30 %	–	–	max. 20 %	30 %	50 %
KfW	b)	Biomasseheizungen ¹	30 %	–	–	max. 20 %	30 %	50 %
KfW	c)	Elektrisch angetriebene Wärmepumpen	30 %	–	5 %	max. 20 %	30 %	50 %
KfW	d)	Brennstoffzellenheizungen	30 %	–	–	max. 20 %	30 %	50 %
KfW	e)	Wasserstofffähige Heizungen (Investitionsmehrausgaben)	30 %	–	–	max. 20 %	30 %	50 %
KfW	f)	Innovative Heizungstechnik auf Basis erneuerbarer Energien	30 %	–	–	max. 20 %	30 %	50 %
BAFA	g)	Errichtung, Umbau, Erweiterung eines Gebäudenetzes ¹	30 %	–	–	max. 20 %	30 %	50 %
KfW	h)	Anschluss an ein Gebäudenetz	30 %	–	–	max. 20 %	30 %	50 %
KfW	i)	Anschluss an ein Wärmenetz	30 %	–	–	max. 20 %	30 %	50 %
	5.4	Heizungsoptimierung						
BAFA	a)	Maßnahmen zur Verbesserung der Anlageneffizienz	15 %	5 %	–	–	–	50 %
BAFA	b)	Maßnahmen zur Emissionsminderung von Biomasseheizungen	50 %	–	–	–	–	50 %

¹ Bei Biomasseheizungen wird bei Einhaltung eines Emissionsgrenzwert für Staub von 2,5 mg/m³ ein zusätzlicher pauschaler Zuschlag in Höhe von 2.500 Euro gemäß Nummer 8.4.6 gewährt.
² Der Klimageschwindigkeits-Bonus reduziert sich gestaffelt gemäß Nummer 8.4.4. und wird ausschließlich selbstnutzenden Eigentümern gewährt. Bis 31. Dezember 2028 gilt ein Bonussatz von 20 Prozent.

Abbildung 20: Förderübersicht BEG EM

Abbildung 20 stellt die Fördersatzes der Bundesförderung für effiziente Gebäude dar. Darin enthalten ist auch die Errichtung eines Gebäudenetzes für Bestandsgebäude. Hierbei kann im Rahmen der Substitution alter fossiler Kessel auch der Klimageschwindigkeitsbonus beantragt werden, wodurch ein Fördersatz von bis zu 50 % möglich wird. Im Fall der Errichtung einer Biomasseheizwerks kann der Klimageschwindigkeitsbonus ausschließlich bei Kombination mit einer solarthermischen Anlage oder einer Wärmepumpe abgerufen werden.

Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)

Die BEW umfasst eine bis zu 40-prozentige Erstattung der gesamten Nettoinvestitionskosten bei einer maximalen Fördersumme von 100 Millionen € pro Antrag und ist auf die Wirtschaftlichkeitslücke begrenzt. „Der Antragsteller muss anhand einer Wirtschaftlichkeitslückenberechnung darlegen, dass die beantragte Förderung unter Berücksichtigung sämtlicher Kosten, Erlös- und Förderkomponenten über die Lebenszeit des zu fördernden Projekts sowie eines plausiblen kontrafaktischen Falls für die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens erforderlich ist.“ [5]

Das am 15.09.2022 in kraftgetretene Förderprogramm wird durch das BAFA verwaltet und verfolgt einen ganzheitlicheren Ansatz der Förderung. Dieser äußert sich in der angestrebten engen Verzahnung der kommunalen Wärmeplanung und des Neubaus / der Transformation von Wärmenetzen sowie durch die Bedingung einer Machbarkeitsstudie oder eines Transformationsplan für die Förderfähigkeit zur Sicherung der Klimaneutralität des betreffenden Wärmenetzes. Die daraus resultierende Förderstruktur des BEWs ist in Abbildung 21 zu sehen.

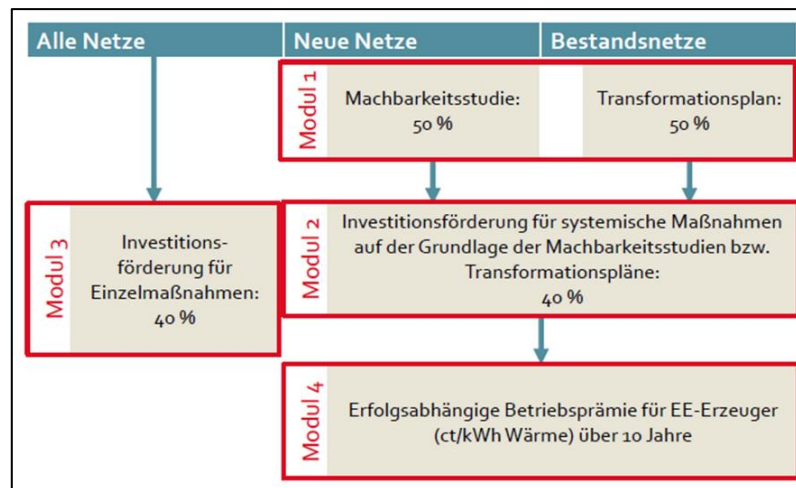


Abbildung 21: Förderkonzept der BEW inklusive maximaler Fördersätze [6]

Hinsichtlich der Förderung von Modul 1 und 2 sind gemäß den online einzusehenden Merkblättern [7] des BAFAs folgende Anforderungen zu erfüllen:

- 75 % erneuerbare Energien und / oder Abwärme an der Wärmeeinspeisemenge
- Aufzeigen eines Pfads zur Treibhausgasneutralität bis 2045 (Zwischenschritte 2030, 2035, 2040)
- Maximaler Biomasseanteil

Netzbezeichnung	Leitungslänge	Max. Anteil Biomasse (zum Ende des Bewilligungszeitraumes)	Max. zulässiger Anteil (Am Ende des Zielbildes Treibhausgasneutralität bis 2045)
Kleines Wärmenetz	<=20 km	100 %	100 %
Mittleres Wärmenetz	20-50 km	35 %	25 %
Großes Wärmenetz	>50 km	25 %	15 %

Abbildung 22: Maximaler Biomasseanteil in Abhängigkeit von der Netzgröße [7]

- Mindestgröße von 17 Gebäuden oder 101 zu versorgende Wohneinheiten
- Maximale Vorlauftemperatur von 95 °C
- Maximal 25 % der Wärmemenge aus fossil befeuerten Anlagen (inkl. KWK-Anlagen), maximal 10 % davon aus gas- oder ölbefeuerten Kesselanlagen
- Vorhandensein erster Untersuchungen und Ideenkonzeptionierungen → Aussagekräftige Projektskizze für Antragsstellung

Für die Förderung eines Neubaus gemäß Modul 2 und der erfolgsabhängigen Betriebsprämie einer auf erneuerbaren Energien basierenden Wärmequelle in Modul 4 dient die Machbarkeitsstudie bei der BEW als Voraussetzung. In Anlehnung an die HOAI erstreckt sich die Machbarkeitsstudie über die Leistungsphasen 1 bis 4. Die konkreten technischen Anforderungen an die verschiedenen Bestandteile der Machbarkeitsstudie sind wiederum im technischen Annex der BEW zu finden. Grundsätzlich ist Modul 1 demnach in zwei Schritte gegliedert. Im ersten Schritt ist der Pfad hin zur Treibhausgasneutralität bis spätestens 2045 unter Berücksichtigung der Potenziale erneuerbarer Energien und Abwärme vor Ort darzulegen. Im zweiten Schritt sind die konkreten Planungsleistungen in Anlehnung an die Leistungsphasen 2 bis 4 für zukünftige Komponenten des Wärmenetzes durchzuführen.

4.3. Bewertungskriterien Emission

Auf technischer Seite spielt besonders die Bewertung der Nachhaltigkeit eines Energieversorgungssystems eine Rolle. Im Rahmen dieses Berichts soll auf zwei Aspekte eingegangen werden:

4.3.1. CO₂-Bilanzierung

Ziel der CO₂-Bilanzierung ist die Bewertung der Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) im Quartier. Die Bilanzierung erfolgt auf Grundlage der **Bilanzierungs-Systematik für Kommunen BSKO**, die in Deutschland als einheitliche Methodik zur Ermittlung der THG-Emissionen im kommunalen Umfeld mit harmonisierten und standardisierten Berechnungsvorschriften angewendet wird.

Dabei werden ausschließlich energetisch bedingte THG-Emissionen, die innerhalb des betrachteten Territoriums durch den dort anfallenden Energieverbrauch verursacht werden, berücksichtigt. Die Ermittlung erfolgt nach Verbrauchssektoren (Haushalte, Gewerbe, öffentlich) sowie nach Endenergie. Aufgrund des Verursacher-Prinzips wird überschüssige Energie, die den betrachteten Bilanzkreis verlässt, nicht berücksichtigt.

Die Umrechnung auf CO₂-Äquivalent erfolgt auf Grundlage der vom Umweltbundesamt veröffentlichten Emissionsfaktoren, bei denen auch die jeweiligen Vorketten berücksichtigt werden. Die für die Abschätzung der CO₂-Emissionen angenommenen spezifischen Werte sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

4.3.2. Primärenergiefaktoren

Im Rahmen von GEG und BEG erfolgt die Bewertung des Gebäudes primär hinsichtlich des für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung sowie Kühlung erforderlichen Primärenergiebedarfs im Verhältnis zu einem vergleichbaren Referenzgebäude. Neben der energetischen Qualität der Gebäudehülle spielt dabei auch der Primärenergiefaktor zur Bereitstellung der erforderlichen Energie eine maßgebende Rolle. Aufgrund der Wechselwirkung zwischen Anlagentechnik und Gebäudehülle ist es jedoch nicht möglich, eine konkrete Vorgabe für einen maximalen Primärenergiefaktor zu definieren. Für den Fall eines zentralen Wärmenetzes muss der für die Wärmebereitstellung erreichte Primärenergiefaktor offiziell definiert werden, da dies für die energetische Betrachtung der einzelnen Gebäude erforderlich ist. Im Rahmen der Ermittlung des Primärenergiefaktors werden die Werte nach Tabelle 3 auf Grundlage der Anlage 4 des GEG angenommen.

Tabelle 3: spezifische CO₂-Emissionswerte, Vermeidungswerte sowie Primärenergiefaktoren für die angenommenen Energieträger im Quartier

Energieträger	CO ₂ Emission	Primärenergiefaktor	Quellen
Strom Strommix DE	445 g/kWh	1,8	[8] [9]
Strom PV-Anlage lokal	57 g/kWh	0,0	[10]
Luft-WP Vorkette	13,7 g/kWh		[10]
Sole-WP Vorkette	31,3 g/kWh		[10]
Holzhackschnitzel nachwachsend bilanziell	23,4 g/kWh	0,2	[10]
Verbrennung Holzhackschnitzel	340 g/kWh		[11]

5. Konzept 1: Nahwärmenetz 3.0 + Hackgut (/ Abwärme Biogas)

Im Ortskern von Röckingen befindet sich aktuell ein ausschließlich durch Hackgut befeuertes Nahwärmenetz der 3. Generation in Planung. Aus energetischer Sicht ist die Kombination der Verbrennung von Biomasse mit einer weiteren, regenerativen Wärmequelle zu empfehlen, um den Bedarf an Hackgut zu reduzieren und die Lebensdauer des Kessels zu verlängern. Hierfür besteht beispielsweise die Möglichkeit eine Luft-Wasser-Wärmepumpe oder Solarthermie in die Heizzentrale zu integrieren. Im Fall der Gemeinde Röckingen besteht zudem die Möglichkeit, das bestehende Wärmenetz mit dem Neubau zu kombinieren. So könnte die Grundlast des neuen Netzes durch einen Anschluss der neuen Heizzentrale an das bestehende Netz bereitgestellt werden. Hierbei gilt es jedoch sicherzustellen, dass **ausschließlich überschüssige Abwärme der bestehenden Biogasanlage** in das neue Nahwärmenetz eingebracht wird, welche andernfalls ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden würde.

Zum Zeitpunkt der Konzepterstellung ist als Wärmequelle ausschließlich die Verbrennung von Hackschnitzeln vorgesehen. Auf Basis dieser Information und der vorliegenden Absichtserklärungen der Nahwärme Höll für die Anschlussnahme des „Altbestand Kindergarten“ sowie des „Lehrerwohnhaus“ erfolgt die nachfolgende Bewertung dieser Variante der Wärmebereitstellung.

5.1. Nahwärmenetz



In Abbildung 23 ist die geplante Topologie des Nahwärmenetzes dargestellt. In der Energiezentrale (Grundriss zwischen den Gebäuden 1,5,6) sind das Hackgutlager, die Hackgutkessel, zentrale Pufferspeicher, die Netzpumpen, die Druckhaltung sowie die Steuerung des Nahwärmenetzes zu verorten. Der Abnehmer Nummer 3 stellt das Lehrerwohnhaus dar, Gebäude Nummer 8 den Neubau des Kindergartens. Dieser wird selbst über eine Luft-Wasser-WP versorgt, stellt jedoch aufgrund einer vorhandenen Zuleitung den Anschlusspunkt zur Versorgung des eingezeichneten Bestandsgebäudes dar.

Die Anbindung der Liegenschaften erfolgt mit flexiblen Polyethylen-Duo-Leitungen. Aufgrund der geringen Zahl an Anschlussnehmern sowie der bereitzustellenden WW-Bereitung ist in diesem Fall, wie von der ENERPIPE GmbH vorgesehen, der Einsatz dezentraler Nahwärme-Pufferspeicher bei den Anschlussnehmern zu empfehlen.

Abbildung 23: Topologie des Nahwärmenetzes Höll (3. Generation)

5.2. Energiemanagement

Aufgrund der vollständigen Wärmebereitstellung auf Basis der Verbrennung fester Biomasse entfällt jegliches Potenzial der der Sektorkopplung und des Energiemanagements in Bezug auf die Wärmebereitstellung.

5.3. CO₂-Emission & Primärenergiefaktoren

Die Bilanzierung der CO₂-Emissionen erfolgt auf Grundlage der in 4.3.1 dargestellten Werte mit der BSKO-Methodik.

Gesamtes Nahwärmenetz:

Für die Bereitstellung von ca. 229.300 kWh Nutzwärme, Netzverlusten von rund 30.800 kWh pro Jahr sowie 3.900 kWh Strom für den Betrieb des Wärmenetzes entstehen demnach Emissionen von rund 7,2 Tonnen CO₂. Nach Berechnung des TFZs Bayern entstehen bei der Verbrennung von Holz 340 g CO₂ je Kilowattstunde Brennstoffenergie [11]. Unter Annahme eines Wirkungsgrads der modernen Kesselanlage von 92 % sind für den laufenden jährlichen Betrieb somit 282.700 kWh Brennstoffenergie von Nöten. Das entspricht rund 72 Tonnen bzw. 329 m³ Hackgut bei 20 % Feuchtigkeit, 220 kg/srm und ca. 860 kWh/srm. Den bilanziellen Emissionen nach Abzug an CO₂, welches durch den erneuten Aufwuchs der Biomasse der Atmosphäre wieder entzogen wird, stehen somit temporäre Emissionen von 98 Tonnen CO₂ gegenüber. Dieses erhebliche Potenzial der Treibhausgasemission bei der Verbrennung von nicht nachwachsender Biomasse wird auch bei der Betrachtung der beiden kommunalen Liegenschaften deutlich, wofür die Möglichkeit einer Anschlussnahme besteht.

Lehrerwohnhaus / Bestandsgebäude Kindergarten:

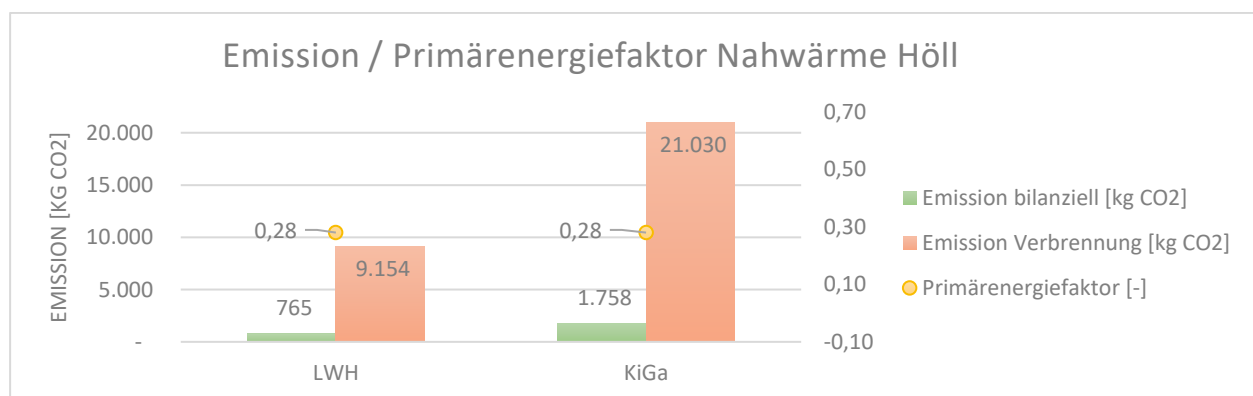


Abbildung 24: Emissionen Hackgut bilanziell / unmittelbar während der Verbrennung; Primärenergiefaktor

Unter Berücksichtigung des Strombedarfs des Nahwärmenetzes, der Kessel- sowie der Netzverluste weist diese Art der Wärmeversorgung einen Primärenergiefaktor von ca. 0,28 auf.

5.4. Wirtschaftlichkeit

Auf Grundlage der Informationen der vorliegenden Absichtserklärung der Nahwärme Höll, sowie der erhobenen Wärmebedarfe der beiden hier zu betrachtenden Liegenschaften ergibt sich folgende Darstellung der Wirtschaftlichkeit. Hierbei wird je Liegenschaft jeweils der Fall mit und ohne Förderung durch die BEG betrachtet sowie in den beiden folgenden Darstellungen die Summe der Investition mit und ohne Erschließung des PV-Aufdachpotenzials unterschieden:

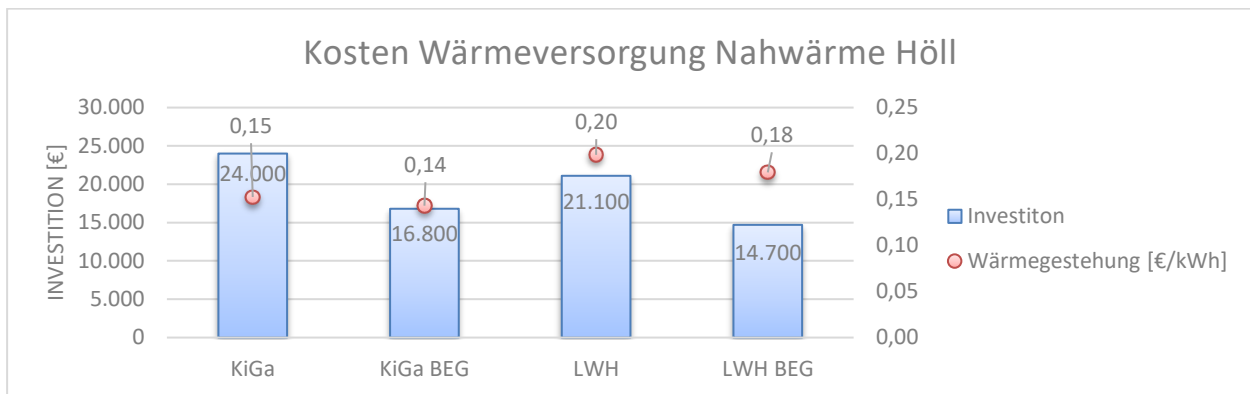


Abbildung 25: Kosten der Wärmeversorgung durch die Nahwärme Höll (brutto)

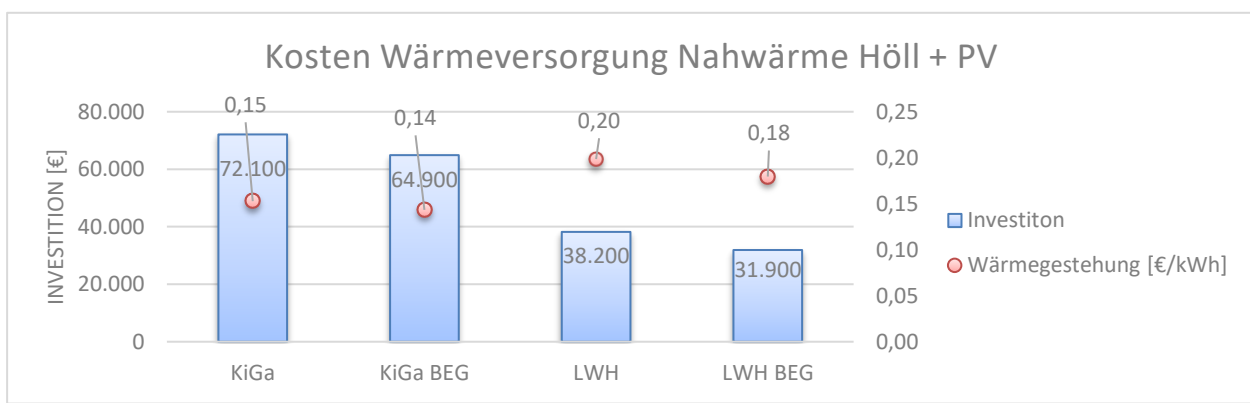


Abbildung 26: Kosten der Wärmeversorgung durch die Nahwärme Höll sowie der Erschließung des PV- Potenzials (brutto)

5.5. Bewertung

Aufgrund der beträchtlichen Wärmemenge je Anschlussnehmer resultieren bei dieser monovalenten Wärmebereitstellung eines Wärmenetzes der 3. Generation niedrige Wärmegestehungskosten. Jedoch steht der Wirtschaftlichkeit der immense Flächenbedarf für den nachhaltigen Betrieb dieses Systems gegenüber.

Vorteile:

- + Geringe Investitionskosten / verbrauchsgebundene Kosten
- + Regionale Wertschöpfung sofern Potenzial vorhanden

Nachteile:

- Hohe temporäre Emissionen für die Wärmebereitstellung
- Keine Möglichkeit der Sektorkopplung
- Erhebliche Menge an Biomasse von Nöten → Hoher Flächenbedarf / logistischer Aufwand

6. Konzept 2: Luft-Wasser-Wärmepumpe + PV

Nachfolgend wird der dezentrale Einsatz von Luft-Wasser-Wärmepumpen bewertet, sofern dieser aufgrund der Gebäudenutzung sowie des bestehenden Wärmeverteilsystems innerhalb der Liegenschaften im Bereich des technisch Möglichen liegt. Die Einführung des natürlichen

Kältemittels Propan bei nahezu allen Herstellern von Luft-Wasser-Wärmepumpen in den vergangenen beiden Jahren ermöglicht die Bereitstellung der Nennheizleistung bei einer Außentemperatur von -10 °C selbst bei hoher Anforderung des Heizkreises (65 °C) ohne den Einsatz einer elektrischen Zusatzheizung (Heizstab). Hierdurch liegt die Versorgung des Gebäudebestandes der Schule sowie des Lehrerwohnhauses durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe im Bereich des technisch Möglichen. Lediglich die Kombination der flächendeckend hohen Anforderung an die Rauminnentemperatur mit der kleinflächigen Wärmeübertragung der bestehenden Heizkörper im Bestand des Kindergartens, erschweren den nachhaltigen, monoenergetischen Einsatz einer Luft-Wasser-WP erheblich. Aus diesem Grund wird nachfolgend der Einsatz dieser Technologie innerhalb des Schulgebäudes sowie des Lehrerwohnhauses im Zusammenspiel mit den in diesem Fall zu installierenden PV-Anlagen simuliert und bewertet.

6.1. Anlagenschema / Simulation

Für das **Lehrerwohnhaus** ist aufgrund des einzelnen Heizkreises eine invertergeführte (leistungsgeregelte) Propan-Maschine zu empfehlen. Durch die direkte Anbindung des Heizkreises können in diesem Fall die nötige Vorlauftemperatur minimiert werden und Kosten für die aufwändige hydraulische Einbindung eines Trennpufferspeichers eingespart werden. Für den WW-Speicher ist ein Volumen in der Größenordnung von 500 Litern zu empfehlen, um mittels dieses Volumens während des Tagesverlaufs gezielt auf die Verfügbarkeit von PV-Strom reagieren zu können. Aufgrund der geringen Trägheit des Heizkreises mit Heizkörpern ist für den Fall einer Leistungsbegrenzung durch den Netzbetreiber bei der Auswahl der Maschine auf die Möglichkeit der elektrischen Leistungsvorgabe zu achten, um die Maschine bei EVU-Sperre gezielt mit der verbleibenden maximalen elektrischen Leistung von 4,2 kW betreiben zu können.

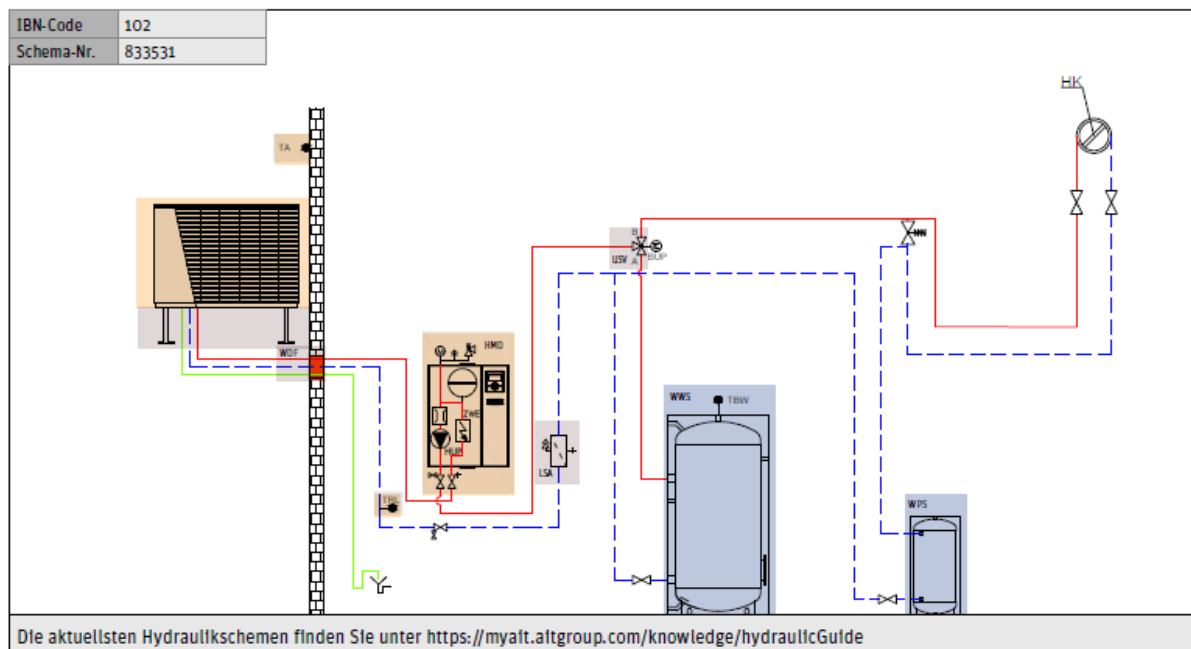


Abbildung 27: Empfehlung der hydraulischen Einbindung einer invertergeregelten WP im Lehrerwohnhaus [12]

In der **ehemaligen Schule** sind hingegen zwei separate Heizkreise zu versorgen, welche somit grundsätzlich der hydraulischen Trennung bedürfen. Zudem tritt der Heizwärmebedarf durch die vermehrt abendliche Nutzung sehr punktuell auf, welche mit Blick auf die Nutzung von PV-Strom die Integration ausreichender Pufferspeichervolumina heizkreisseitig sinnvoll erscheinen lässt. Aus diesen Gründen ist die Integration eines Trennpufferspeichers in einer Größenordnung von mindestens 2.000 Litern zu empfehlen. Dessen Umsetzung im Heizungskeller bei begrenzter

Raumhöhe kann beispielsweise durch zwei in Reihe geschaltete Puffer à 1.000 Liter erfolgen. Dieser Aufbau der Hydraulik lässt wiederum den Einsatz einer klassischen getakteten Maschine mit der entsprechenden Leistung sinnvoll erscheinen.

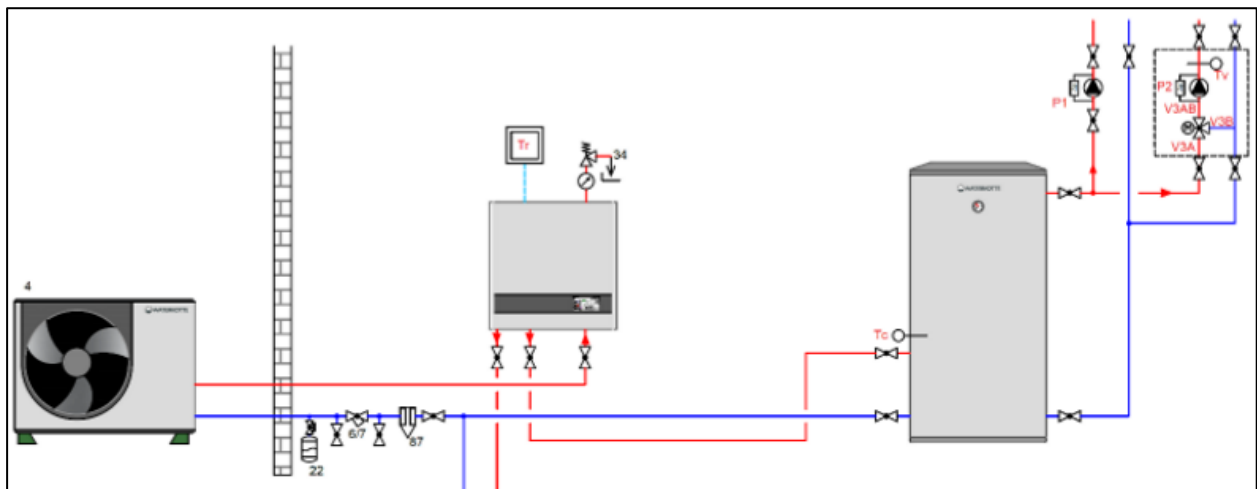


Abbildung 28: Empfehlung der hydraulischen Einbindung einer getakteten WP im Schulgebäude [13]

In die nachfolgende Simulation der Gesamtsysteme je Liegenschaft fließen unter anderem der Lastgang der Wärmebereitstellung nach TRY 15, die stündliche Gestehung von PV-Strom sowie die Leistungsdaten am Markt erhältlicher Wärmepumpen ein. Hierdurch kann der jährliche Betrieb des beschriebenen Systems simuliert und die entsprechenden Kenngrößen des laufenden Betriebs ermittelt werden. Hierbei werden der Ist-Zustand des Heizkreises zugrunde gelegt und entsprechend hohe Vorlauftemperaturen angesetzt. Im Zug der Installation einer geförderten Wärmequelle im Rahmen der BEG ist der hydraulische Abgleich verpflichtend, sodass bei passender Betriebsweise die nötige Vorlauftemperatur weiter abgesenkt werden kann. Die nachfolgende Simulation entspricht somit einer Worst-Case-Betrachtung, wodurch die nachfolgend ermittelten Werte in der Realität keinesfalls unterschritten werden sollten.

		Energiemengen in Summe [kWh]
Erzeugung	Wind	0
	PV	13176
Haushaltsstrom	Stromverbrauch	600
	Netzbezug	262
Überschuss el. nach Haushaltsstrom		12838
E-Mobilität	Stromverbrauch	0
	Netzbezug	0
Überschuss el. nach E-Mob		12838
Wärmepumpe	Stromverbrauch	9295
	Netzbezug	7079
	Wärmemenge	24376
	Jahresarbeitszahl	2,6
Heizstab		103
Überschuss el. nach WP		10622

Abbildung 29: Simulationsergebnis Luft-Wasser-WP LWH

		Energiemengen in Summe [kWh]
Erzeugung	Wind	0
	PV	30773
Haushaltsstrom	Stromverbrauch	3000
	Netzbezug	1450
Überschuss el. nach Haushaltsstrom		29224
E-Mobilität	Stromverbrauch	0
	Netzbezug	0
Überschuss el. nach E-Mob		29224
Wärmepumpe	Stromverbrauch	14536
	Netzbezug	11122
	Wärmemenge	37284
	Jahresarbeitszahl	2,5
Heizstab		161
Überschuss el. nach WP		25809

Abbildung 30: Simulationsergebnis Luft-Wasser-WP ehemalige Schule

Auffällig bei der Analyse des laufenden Betriebs ist die punktuell hohe Belastung des Stromnetzes bei sehr niedrigen Außentemperaturen ($< -10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Die hohen Vorlauftemperaturen können in der Spitze lediglich durch den Betrieb eines Heizstabes erreicht werden, wodurch erhebliche Leistungsspitzen im Stromnetz entstehen (LWH 9,1 kW; eh. Schule 15,6 kW).

6.2. Energiemanagement

Auf Gebäudeebene kann ein Energiemanagement vorgesehen werden, um den direkten Eigenverbrauch des lokal erzeugten PV-Stroms zu optimieren. Somit kann ein abgestimmter und netzdienlicher Betrieb ermöglicht werden, der das Gebäude zu einem aktiven Teilnehmer am Netzgeschehen macht und gleichzeitig die Kosten sowie die CO₂-Emissionen des aus dem Netz erforderlichen Energiebedarfs minimiert.

Potenzielle Optimierungsmaßnahmen:

- Überhöhter Betrieb der Wärmepumpen bei ausreichend PV-Strom zur Einspeicherung von Wärme in Pufferspeicher und Heizkreisen
- PV-geführter Betrieb der Ladeinfrastruktur
- Gezielter Betrieb von Wärmepumpen, Ladeinfrastruktur und Laden von Batteriespeichern bei Überschuss im öffentlichen Stromnetz
- Lastabwurf (Leistungsbegrenzung von Wärmepumpen und Ladeinfrastruktur) und lokale Nutzung von Batteriespeichern bei sehr hoher Netzlast (z.B. Mittags- oder Abendspitze)

6.3. CO₂-Emission & Primärenergiefaktoren

Die Bilanzierung der CO₂-Emissionen erfolgt auf Grundlage der in 4.3.1 dargestellten Werte sowie der durch die Simulation ermittelten Betriebsparameter mit der BSKO-Methodik.

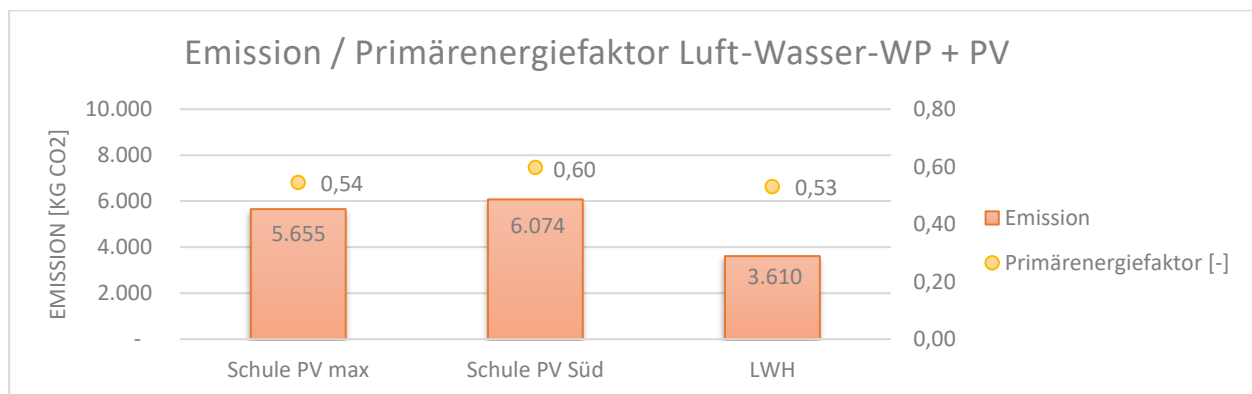


Abbildung 31: Emissionen + Primärenergiefaktor des Betriebs einer Luft-Wasser-WP

6.4. Wirtschaftlichkeit

Auch im Fall der Wärmebereitstellung durch eine Luft-Wasser-WP wird je Liegenschaft jeweils der Fall mit und ohne Förderung durch die BEG betrachtet.

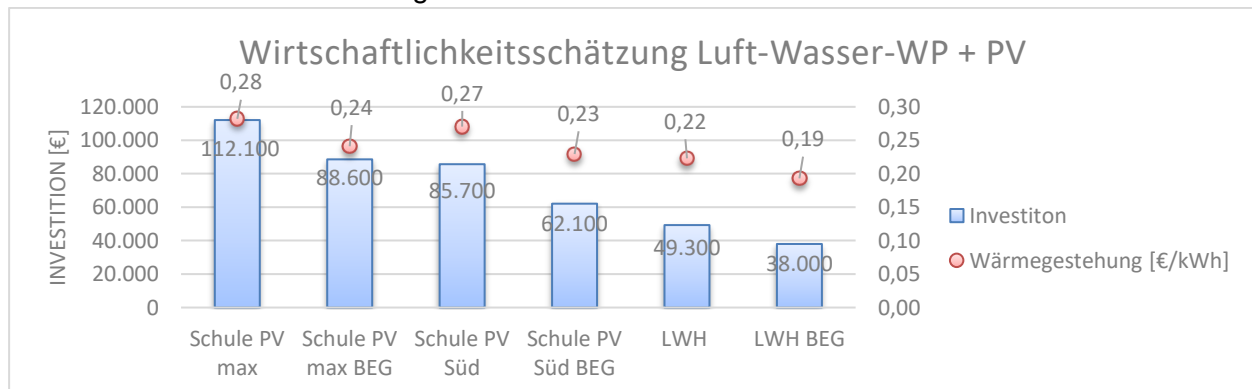


Abbildung 32: Wirtschaftlichkeitsschätzung der Wärmeversorgung durch eine Luft-Wasser-WP (brutto)

6.5. Bewertung

Vorteile:

- + Perspektivisch vollständig emissionsfreie Wärmebereitstellung
- + Direktnutzung von PV-Strom / Möglichkeit der Sektorkopplung
- + Geringe verbrauchsgebundene Kosten

Nachteile:

- Mäßige Effizienz bei niedrigen Außentemperaturen → Hohe Belastung des Stromnetzes
- Schallemission des außenstehenden Verdampfers

7. Konzept 3: Nahwärmenetz 5.0 + PV

Die Grundlage für das dritte Konzept der Wärmebereitstellung stellt ein geplantes Neubaugebiet mit 16 Parzellen nahe der ehemaligen Schule sowie des Lehrerwohnhauses dar. Basierend auf diesem Bauvorhaben am Ortsrand besteht die Möglichkeit ein Nahwärmenetz der 5. Generation gespeist durch einen Erdwärmekollektor zu realisieren. Die Quellwärme in diesem Szenario wird einem Erdwärmekollektor entzogen, welcher in einer der landwirtschaftlich genutzten Flächen mittels eines Pflugs in einer Tiefe von ca. 1,5 m eingebracht werden kann. Die nötige Fläche ist stark abhängig von der Bodenbeschaffenheit vor Ort. Für die Versorgung des LWHs und der ehemaligen Schule ist abzüglich der Netzgewinne eine Fläche von rund 700 m² von Nöten. Diese Fläche kann nach Einbringung des Kollektors landwirtschaftlich genutzt werden.

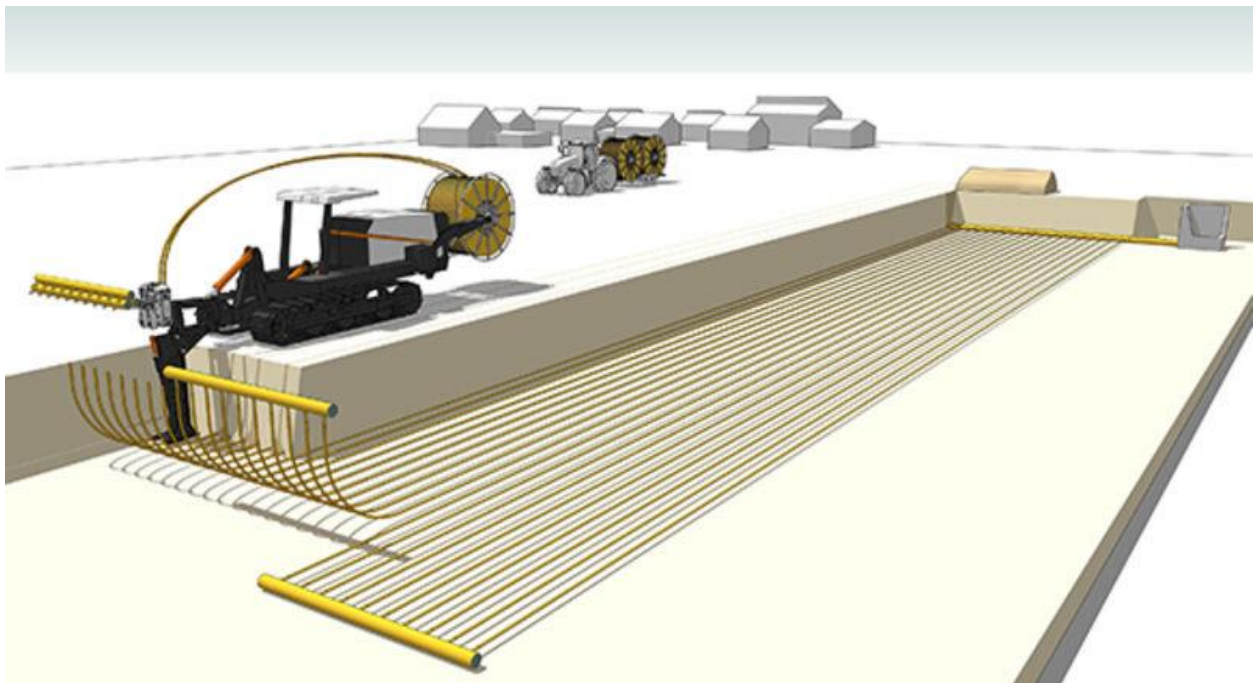


Abbildung 33: Schematische Darstellung der Einbringung eines Agrothermiekollektors [14]

Auf Basis dieser Wärmequelle besteht die Möglichkeit neben den neuen Einfamilienhäusern auch die beiden gemeindeeigenen Liegenschaften ganzjährig mit Quellwärme auf dem Niveau von Abbildung 34 zu versorgen. Sollte in Zukunft auch auf dem Bauhof ein erhöhter Wärmebedarf entstehen, könnte auch dieser unter Anbindung an diese Wärmequelle gedeckt werden.

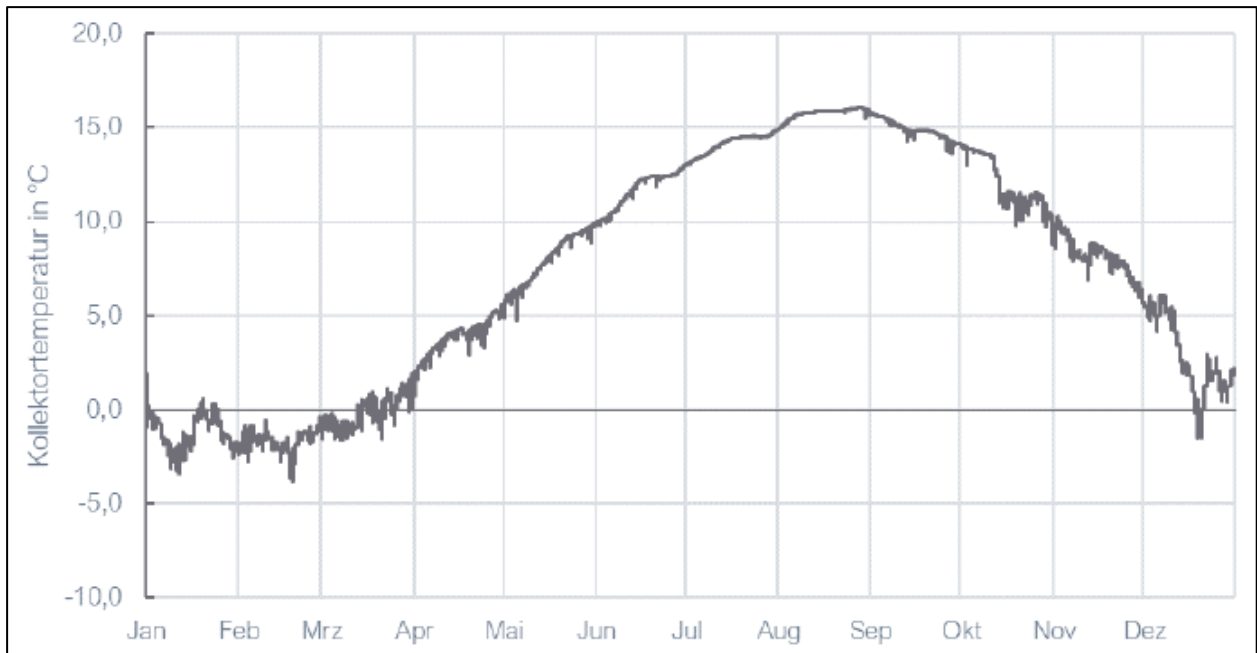


Abbildung 34: Jährliches Temperaturniveau eines Erdwärmekollektors

7.1. Anlagenschema / Simulation

Die empfohlenen Anlagenschemata für die Einbindung einer Wärmepumpe in das Lehrerwohnhaus sowie das ehemalige Schulgebäude aus Kapitel 6 können auch für eine Sole-Wasser-Wärmepumpe angewendet werden. Anhand der beispielhaften Darstellung für das Lehrerwohnhaus wird ersichtlich, dass im Fall der Solemaschine die Außeneinheit der Wärmepumpe entfällt.

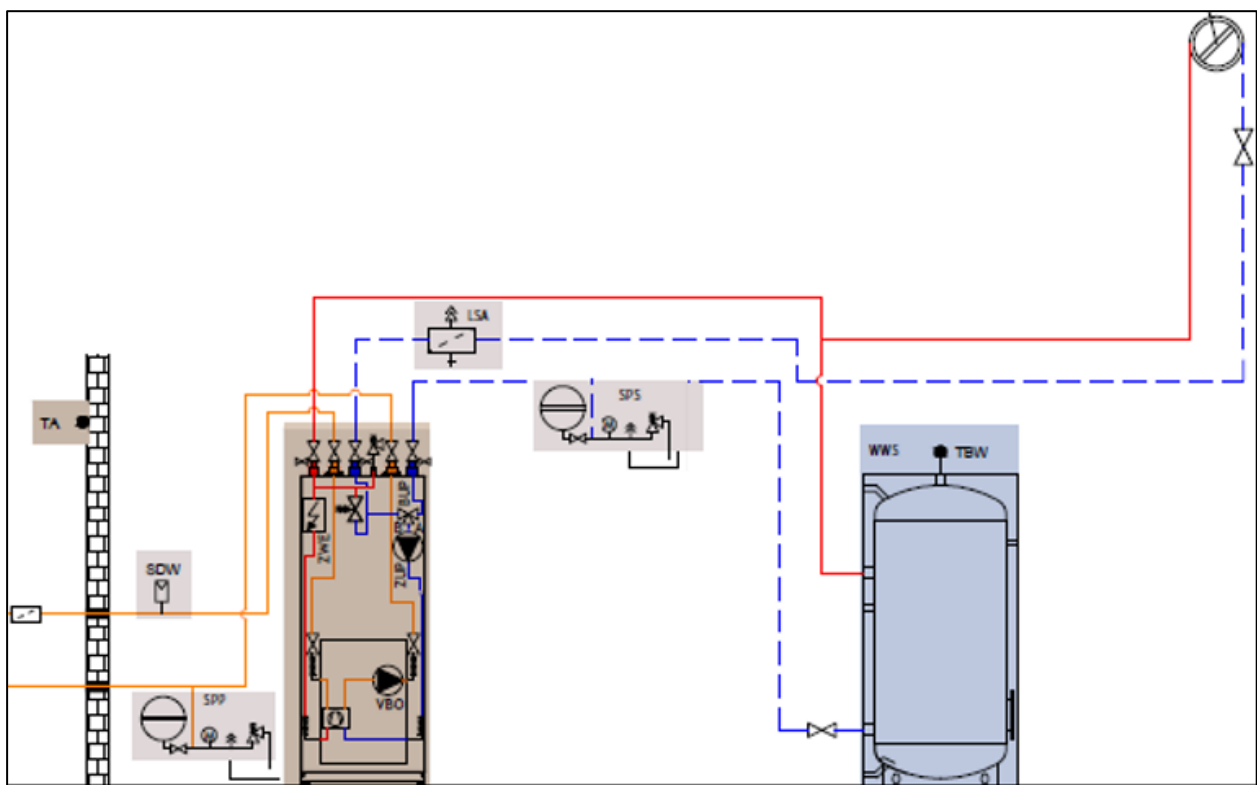


Abbildung 35: Empfehlung der hydraulischen Einbindung einer invertergeregelten WP im Lehrerwohnhaus [12]

Wie schon bei der Variante der Luft-Wasser-WP entspricht die nachfolgende Simulation einer Worst-Case-Betrachtung des laufenden Betriebs, wodurch die nachfolgend ermittelten Werte in der Realität keinesfalls unterschritten werden sollten.

		Energiemengen in Summe [kWh]
Erzeugung	Wind	0
	PV	13176
Haushaltsstrom	Stromverbrauch	600
	Netzbezug	262
Überschuss el. nach Haushaltsstrom		12838
E-Mobilität	Stromverbrauch	0
	Netzbezug	0
Überschuss el. nach E-Mob		12838
Wärmepumpe	Stromverbrauch	7331
	Netzbezug	5287
	Wärmemenge	24376
	Jahresarbeitszahl	3,3
Überschuss el. nach WP		10794

Abbildung 36: Simulationsergebnis Sole-Wasser-WP LWH

		Energiemengen in Summe [kWh]
Erzeugung	Wind	0
	PV	30773
Haushaltsstrom	Stromverbrauch	3000
	Netzbezug	1450
Überschuss el. nach Haushaltsstrom		29224
E-Mobilität	Stromverbrauch	0
	Netzbezug	0
Überschuss el. nach E-Mob		29224
Wärmepumpe	Stromverbrauch	11208
	Netzbezug	8192
	Wärmemenge	37284
	Jahresarbeitszahl	3,3
Überschuss el. nach WP		26208

Abbildung 37: Simulationsergebnis Sole-Wasser-WP ehemalige Schule

Die Belastung des Stromnetzes fällt aufgrund der Entkopplung von Außentemperatur und Niveau der Quellwärme deutlich geringer aus (LWH 3,7 kW; eh. Schule 6,3 kW).

7.2. Energiemanagement

Das Potenzial hinsichtlich des Energiemanagements ist auf Gebäudeebene mit dem in Kapitel 5.2 aufgeführten Potenzial gleichzusetzen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit mittels eines zentralen, übergeordneten Energiemanagements den gesamten Betrieb im Quartier (KNW-Netz) anhand der globalen Rahmenbedingungen zu koordinieren. Somit wird aus Sicht des Quartiers ein abgestimmter und netzdienlicher Betrieb ermöglicht, der das gesamte Quartier zu einem aktiven Teilnehmer am Netzgeschehen macht.

7.3. CO₂-Emission & Primärenergiefaktoren

Die Bilanzierung der CO₂-Emissionen erfolgt auf Grundlage der in 4.3.1 dargestellten Werte sowie der durch die Simulation ermittelten Betriebsparameter mit der BSKO-Methodik.

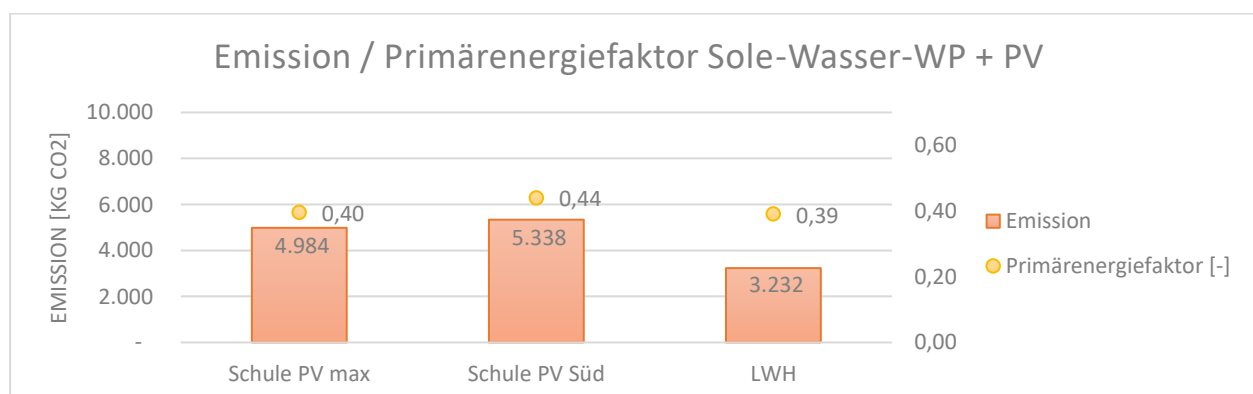


Abbildung 38: Emissionen + Primärenergiefaktor des Betriebs einer Sole-Wasser-WP

7.4. Wirtschaftlichkeit

Auch im Fall der Wärmebereitstellung durch eine Sole-Wasser-WP wird je Liegenschaft jeweils der Fall mit und ohne Förderung durch die BEW betrachtet.

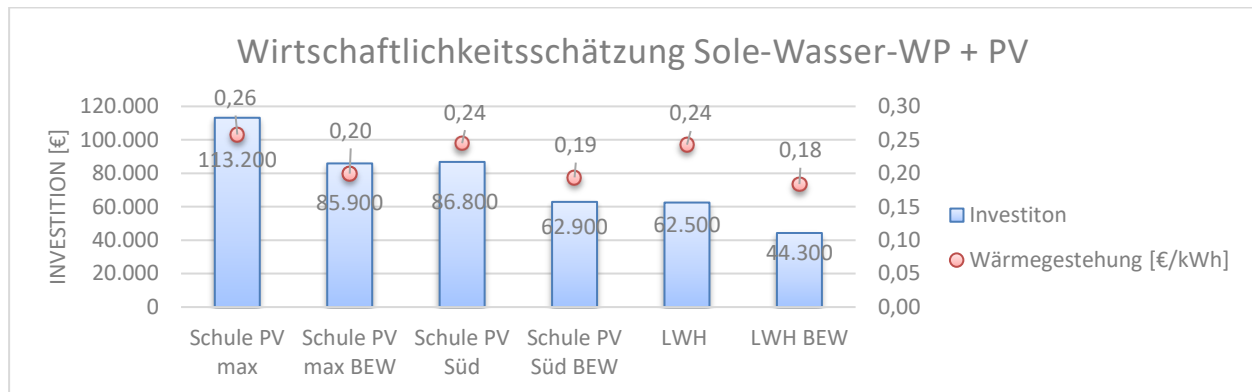


Abbildung 39: Wirtschaftlichkeitsschätzung der Wärmeversorgung durch eine Sole-Wasser-WP (brutto)

7.5. Bewertung

Vorteile:

- + Perspektivisch vollständig emissionsfreie Wärmebereitstellung
- + Konstant hohe Effizienz durch entkoppeltes Temperaturniveau
- + Direktnutzung von PV-Strom / Möglichkeit der Sektorkopplung
- + Geringe verbrauchsgebundene Kosten
- + Möglichkeit passiver Kühlung

Nachteile:

- Hohe Investitionskosten
- Bedarf geeigneter Fläche für den Kollektor

8. Handlungsempfehlung und Ausblick

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen kann nachfolgend vor dem Hintergrund der Zielsetzung einer nachhaltigen und bezahlbaren Energieversorgung eine Handlungsempfehlung ausgesprochen werden:

- **Belegung der Bestandsgebäude mit PV**
- **Anschluss des Kindergartens an das geplante Nahwärmenetz 3.0**
 - Empfehlung einer ergänzenden Wärmequelle zu Biomasse in der Heizzentrale des Wärmenetzes
- **Hydraulischer Abgleich, Minimierung der Vor- und Rücklauftemperaturen in den Liegenschaften**

- **Prüfung der Machbarkeit / Realisierung eines kalten Nahwärmenetzes**

- Anschluss des Lehrerwohnhauses, der ehemaligen Schule und des Neubaugebiets
- Bei fehlender Machbarkeit Versorgung der beiden Gebäude durch Luft-Wasser-Wärmepumpen

Die dargestellten Betrachtungen basieren auf den momentanen Nutzungsprofilen der Gebäude sowie auf den aktuellen mittleren Marktpreisen elektrischer Energie. Findet perspektivisch auch die Beladung von Elektrofahrzeugen möglichst PV-orientiert über die Hausanschlüsse der Liegenschaften statt, so kann der Anteil an Direktnutzung der PV-Anlagen sowie die Wirtschaftlichkeit der Anlagen nochmals deutlich verbessert werden. Hinsichtlich des verbleibenden Netzbezugs elektrischer Energie können durch zeitvariable Stromtarife die verbrauchsgebundenen Kosten weiter reduziert und die Wirtschaftlichkeit des gesamten Energiesystems so weiter optimiert werden.

9. Literaturverzeichnis

- [1] D. Wetterdienst, „Testreferenzjahre (TRY),“ [Online]. Available: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/testreferenzjahre.html>. [Zugriff am 02 02 2024].
- [2] a. A. A. V. v. S. s. E. Wind. [Online]. Available: <https://testing.awattar.com/awattar-web/product-price-transparency-charts/>. [Zugriff am 07 12 2022].
- [3] C.A.R.M.E.N, „Entscheidungskriterien für ein neues Heizsystem - mehr als ein Heizkostenvergleich,“ [Online]. Available: <https://www.carmen-ev.de/2023/03/20/heizungsmodernisierung-im-einfamilienhaus-ein-kostenvergleich/>. [Zugriff am 08 02 2024].
- [4] „Generationen von Wärmenetzen,“ [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Generations_of_district_heating_systems_DE.svg.
- [5] B. f. W. u. Ausfuhrkontrolle, „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW),“ [Online]. Available: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html. [Zugriff am 02 03 2023].
- [6] BBH-Gruppe, *Startschuss für die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) - die neue Förderrichtlinie kurz und knapp*, Berlin, 2022.

- [7] B. f. W. u. Ausfuhrkontrolle, „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze,“ [Online]. Available:
https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/bew_merkblatt_technik.pdf;jsessionid=4DEF8098F0F3C51C09341EA352C42292.1_cid387?__blob=publicationFile&v=1
 . [Zugriff am 06 12 2022].
- [8] Umweltbundesamt, „Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2022,“ [Online]. Available:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2023_05_23_climate_change_20-2023_strommix_bf.pdf. [Zugriff am 06 08 2023].
- [9] statista. [Online]. Available:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1421117/umfrage/emissionen-strom-deutschland-und-frankreich/>. [Zugriff am 06 05 2024].
- [10] U. Bundesamt, „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger,“ [Online]. Available:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-12-09_climate-change_43-2022_emissionsbilanz_erneuerbarer_energien_2021.pdf. [Zugriff am 16 02 2023].
- [11] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, *Ist die Verbrennung von Holz gesundheits- und klimaschädlich?*, 2023.
- [12] ait-deutschland GmbH, *Preis- & Typenliste Wärmepumpen und Zubehör*, Kasendorf, 2023.
- [13] Waterkotte GmbH, *Betriebsanleitung mit Planung und Installation Basic Line Air Bloc*, 44628 Herne, 2024.
- [14] „Bundesverband Geothermie,“ [Online]. Available:
<https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/a/agrothermie.html>. [Zugriff am 29 04 2024].

10. Hinweise

zeitgeist engineering trifft keine verbindlichen rechts- und steuerberaterlichen Auskünfte, deren Hoheitsgebiete einschlägigen Berufsgruppen obliegen.

Alle im Rahmen dieser Arbeit angenommenen oder vorausgesetzten Rahmenbedingungen basieren auf der Sichtweise von zeitgeist engineering auf die aktuell vorliegenden Gesetzestexte und anderen Unterlagen. Die Betrachtung erfolgt grundsätzlich auf einer ingenieurtechnischen Perspektive. Aufgrund der komplexen Thematik und teils unterschiedlichen Auslegungen der Rechtslage kann keine Gewährleistung für die Richtigkeit dieser Annahmen übernommen werden.

Konkrete Rechtsfragen zu der Thematik dürfen ausschließlich durch zugelassene Anwälte und Experten beantwortet werden. Ebenso können steuerliche Fragen ausschließlich durch einen Steuerberater rechtssicher geklärt werden. Die hier getroffenen Annahmen können nicht als belastbare Steuerberatung oder Rechtsberatung angesehen werden.

X *Ramsauer*

Signiert von: Benedikt Ramsauer