



Quartierskonzept Pullach Wenzsiedlung

Projekt: Quartierskonzept Pullach Adolf-Wenz-Siedlung

Auftraggeber: Gemeinde Pullach a. d. Isar

Erstellt: Team für Technik GmbH
Büro München
Zielstattstraße 11
81379 München
Tel. 089. 891461-0
Fax 089. 891461-10

Datum: 27.11.2024

Kurzfassung

Das Quartierskonzept für die Adolf-Wenz-Siedlung in Pullach an der Isar zielt darauf ab, die Energieeffizienz der Siedlung zu verbessern und eine klimaneutrale Wärmeversorgung bis 2040 zu erreichen. Der Bericht beginnt mit einer umfassenden Bestandsanalyse, die die vorhandenen Gebäude und ihre aktuelle Energieversorgung untersucht. Dazu wurden unter anderem drei repräsentative Typgebäude ausgewählt, für die jeweils drei energetische Sanierungsvarianten entwickelt und verglichen wurden. Variante 1 bildet energetische Einzelmaßnahmen in Kombination mit einer Luftwärmepumpe ab, Variante 2 stattdessen den Anschluss an ein Nahwärmenetz. Variante 3 beinhaltet die Sanierung auf der Effizienzhaus 55-Standard in Kombination mit einer Luftwärmepumpe. Die Varianten wurden hinsichtlich ihrer Energieeinsparung, Investitionskosten und Fördermöglichkeiten miteinander verglichen.

Parallel zur Gebäudesanierung wurden verschiedene Konzepte für die zukünftige Wärmeversorgung des Quartiers entwickelt. Diese reichen von rein dezentralen Lösungen, bei denen jedes Gebäude seine eigene Wärmequelle nutzt, bis hin zu großflächigen Nahwärmenetzen, die erneuerbare Energien wie Grundwasser oder den Isarwerkkanal einbeziehen. Der Bericht bewertet diese Konzepte in Bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit, Primärenergiefaktoren und CO₂-Emissionen. Ziel ist es, eine nachhaltige und kosteneffiziente Lösung zu finden, die sowohl den energetischen als auch den finanziellen Anforderungen der Bewohner gerecht wird.

Auf Basis der vergleichbaren Wirtschaftlichkeit und des ökologischen Nutzens eines Kaltwärmenetzes mit dezentralen Wärmepumpen im Vergleich zur direkten Umstellung der Einzelheizungen auf Wärmepumpen, sowie unter Berücksichtigung der hohen Umsetzungsrisiken, die sich aus technischen Rahmenbedingungen wie mehrfachen Abhängigkeiten von Durchleitungsrechten über Privatgrundstücke ergeben, empfiehlt sich in diesem Quartier ein klarer Fokus auf die energetische Sanierung der Gebäude und die Umstellung der Einzelheizungen auf Wärmepumpenlösungen. Dies ermöglicht eine effiziente, wirtschaftliche und zukunftssichere Lösung, um die Klimaneutralität bis 2040 zu erreichen, ohne die organisatorischen, wirtschaftlichen und infrastrukturellen Herausforderungen eines Netzprojekts in Kauf nehmen zu müssen.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	III
INHALTSVERZEICHNIS	IV
1 VORBEMERKUNGEN UND ALLGEMEINES	6
2 BESTANDSANALYSE	7
2.1 DATENGRUNDLAGE	7
2.2 BESCHREIBUNG DER ADOLF-WENZ-SIEDLUNG	7
2.2.1 BAUALTERSKLASSEN	8
2.2.2 ENERGIETRÄGER FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNG	9
2.2.3 SPARTEN	10
2.3 DARSTELLUNG DES RÄUMLICH AUFGELOSTEN WÄRMEBEDARFS IM IST-ZUSTAND	11
3 POTENZIALANALYSE	13
3.1 POTENZIALE ZUR SENKUNG DES ENERGIEBEDARFS	13
3.2 POTENZIALE VON ERNEUERBAREN ENERGIEN ZUR ENERGIEVERSORGUNG	14
3.2.1 GEOTHERMIE (GRUNDWASSER)	14
3.2.2 THERMISCHES POTENZIAL DES ISARWERKKANALS	15
3.2.3 THERMISCHES POTENZIAL AUS LUFT	16
3.2.4 ABWÄRME AUS KANALISATION	16
3.2.5 PHOTOVOLTAIK-DACHFLÄCHENPOTENZIAL	16
3.2.6 SOLARTHERMIE	17
4 ENERGETISCHE SANIERUNGSVARIANTEN	18
4.1 TYPGEBÄUDE 1 – EINFAMILIENHAUS 1970ER	19
4.1.1 BESCHREIBUNG	19
4.1.2 VERGLEICH DER VARIANTEN	20
4.2 TYPGEBÄUDE 2 – MEHRFAMILIENHAUS 1980ER	22
4.2.1 BESCHREIBUNG	22
4.2.2 VERGLEICH DER VARIANTEN	23
4.3 TYPGEBÄUDE 3 – REIHENHAUS 1980ER	25
4.3.1 BESCHREIBUNG	25
4.3.2 VERGLEICH DER VARIANTEN	26
5 WÄRMEVERSORGUNGSKONZEPT	28
5.1 WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN	28
5.1.1 VARIANTE A: REIN DEZENTRALE ENERGIEVERSORGUNG	32
5.1.2 VARIANTE B: GROBES NAHWÄRMENETZ FÜR GESAMTES QUARTIER MIT ANSCHLUSS ALLER GEBÄUDE MIT INTERESSE	32
5.1.3 VARIANTE C: OPTIMIERTES NETZ	35
5.2 ZUSAMMENFASSUNG VARIANTEN	38
5.3 WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG	40
5.3.1 GRUNDLAGEN UND ANNAHMEN FÜR DIE WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG	40
5.3.2 ERGEBNISSE DER WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG	42

Inhaltsverzeichnis

5.4	ABSCHÄTZUNG PRIMÄRENERGIEFAKTOREN UND CO ₂ -EMISSIONEN	48
5.4.1	EMISSIONSFAKTOREN	48
5.4.2	PRIMÄRENERGIEFAKTOREN	49
5.4.3	VERGLEICH DER VARIANTEN MIT DEM IST-ZUSTAND	49
5.5	AUSWAHLEMPFEHLUNG VARIANTEN	51
5.6	NACHTRÄGLICHE ERWÄGUNG: NUTZUNG WENZBACH UND RÜCKSPRACHE WWA	51
6	MAßNAHMENKATALOG	53
6.1	GEBÄUDESANIERUNG	53
6.2	WÄRMEVERSORGUNG	53
7	ERFOLGSKONTROLLE, VERSTETIGUNG UND MONITORING	54
8	INFORMATION UND BERATUNG, ÖFFENTLICHKEITSARBEIT	55
9	ZUSAMMENFASSUNG & FAZIT	56
	QUELLENVERZEICHNIS	57
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	58
	TABELLENVERZEICHNIS	59
	ANHANG	60

1 Vorbemerkungen und Allgemeines

In diesem Bericht wird die Adolf-Wenz-Siedlung (im Folgenden kurz als „Wenzsiedlung“ bezeichnet) in Pullach an der Isar und mögliche Potenziale zur Energiegewinnung untersucht. Zuerst wird dafür eine Bestandsanalyse unter Beteiligung der Anwohner und Eigentümer im Rahmen einer Online-Umfrage durchgeführt.

Es werden drei Typgebäude des Quartiers für die Bewertung energetischer Sanierungsmaßnahmen untersucht, für die jeweils drei Sanierungsvarianten verglichen werden:

- Energetische Einzelmaßnahmen + Luftwärmepumpe
- Energetische Einzelmaßnahmen + Nahwärmenetz
- Sanierung auf Effizienzhaus 55-Standard + Luftwärmepumpe

Die Varianten werden hinsichtlich Energieeffizienz, Investitionskosten (inkl. Instandhaltungstau), möglicher Fördermittel und dynamischer Vollkostenbetrachtung über 20 Jahre verglichen.

Weiterhin werden verschiedene Wärmeversorgungsvarianten auf Quartiersebene mit dem Ziel der Klimaneutralität ab 2040 betrachtet:

- Rein dezentrale Energieversorgung mit Ersatz der Bestandsheizungen durch Luftwärmepumpen, Grundwasserwärmepumpen und Pelletkesseln (jeweils anteilig in einer Variante)
- Großes Netz mit hoher Anschlussquote, jeweils eine Variante mit
 - o Warmes Netz mit zentraler Wärmeerzeugung mittels zentraler Grundwasser-Sole-Wärmepumpe
 - o Kaltes Netz mit einem zentralen Grundwasserbrunnen und dezentralen Wärmepumpen
- Optimierte Variante: Kaltes Netz mit Nutzung des Isarwerkkkanals als Wärmequelle mit Interessenten im Süden in Kombination mit kleinem kaltem Gebäudenetz im Norden des Quartiers mit Grundwasser als Wärmequelle

Die Varianten werden hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit, Primärenergiefaktoren und CO₂ Emissionen verglichen.

2 Bestandsanalyse

2.1 Datengrundlage

Für die Bestandsanalyse werden verschiedene Datenquellen verwendet. Unter anderem werden Daten wie der Energienutzungsplan des Landkreises München, das Solarkataster der Energieagentur Ebersberg-München, das GeoPortal der Stadt München und Luftbilder aus Google Maps etc. verwendet. Diese Informationen werden durch Vorortbegehungen und eine Online-Umfrage unter Beteiligung der Eigentümer in der Wenzsiedlung erweitert. Weiterhin gab es schon 2008 eine von Bewohnern der Wenzsiedlung selbst durchgeführte Umfrage zu Verbräuchen und Interesse an einem potenziellen Fernwärmenetz.

Die Online-Umfrage war vorwiegend an die Eigentümer der Häuser in der Wenzsiedlung gerichtet. Die Umfrage lief zwei Wochen und lieferte aktuelle und genaue Informationen für ca. 35 % der Gebäude (20 vollständige Fragebögen, ohne Dopplungen). Wichtige Informationen wurden durch telefonische Rückfragen ergänzt, so dass zu 37 von 56 Gebäuden Informationen vorlagen. Unter anderem wurden Fragen zu den Gebäuden (Baujahr, Grundfläche, Anzahl der Bewohner etc.), zu den installierten Heizungen und deren Energieträgern, sowie zum Wärme- und Stromverbrauch im Quartier gestellt. Auch wurden bereits durchgeführte Sanierungsmaßnahmen und Interesse an zukünftiger Sanierung abgefragt. Weitere Fragen bezogen sich auf das Interesse am Anschluss an ein mögliches Nahwärmenetz und die Offenheit bezüglich Erdarbeiten auf dem Grundstück zur Verlegung eines Netzes. Bei letzteren Fragen wurde teilweise auch nochmal telefonisch von der Gemeinde nachgefragt, um eine höhere Planungssicherheit gewährleisten zu können. Ebenfalls wurde das Bestehen von und das Interesse an Photovoltaik-Anlagen erfragt, u.a. im Zusammenhang mit einer möglichen Verpachtung an die Innovative Energie für Pullach GmbH (IEP). Alle Fragen (und Antworten) können in den ebenfalls bereitgestellten Rohdaten eingesehen werden.

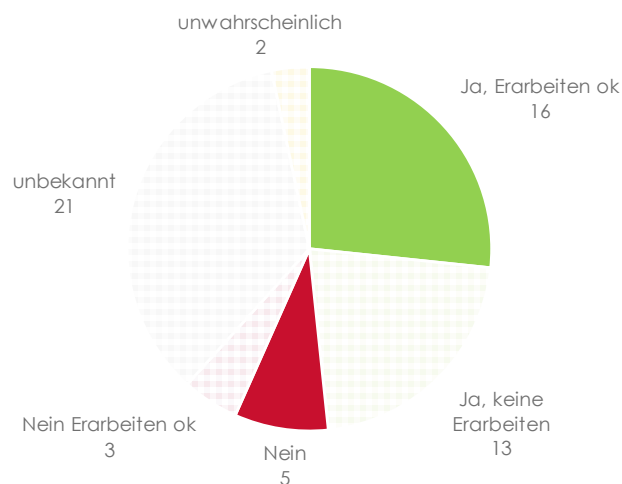


Abbildung 1: Interesse an Nahwärme (Beispielerggebnis Umfrage)

2.2 Beschreibung der Adolf-Wenz-Siedlung

Die Wenzsiedlung liegt in der Gemeinde Pullach a. d. Isar, im äußersten Norden des Gemeindegebietes und ist geografisch vom übrigen bewohnten Gebiet der Gemeinde sowie von der angrenzenden Landeshauptstadt München durch den Isarhang abgeschieden. Sie befindet sich am Fuß des Isarhanges direkt neben dem Isarwerkkanal und damit etwa 30 Höhenmeter tiefer als die Siedlungsflächen oberhalb des Isarhanges. Die Siedlung umfasst

56 Wohngebäude an den Straßen „Adolf-Wenz-Straße“ und „An der Isar“. Abbildung 2 zeigt die Siedlung und den Isarwerkkanal von oben. Im Süden (am linken Rand) ist auch die Großhesseloher Brück gesehen.

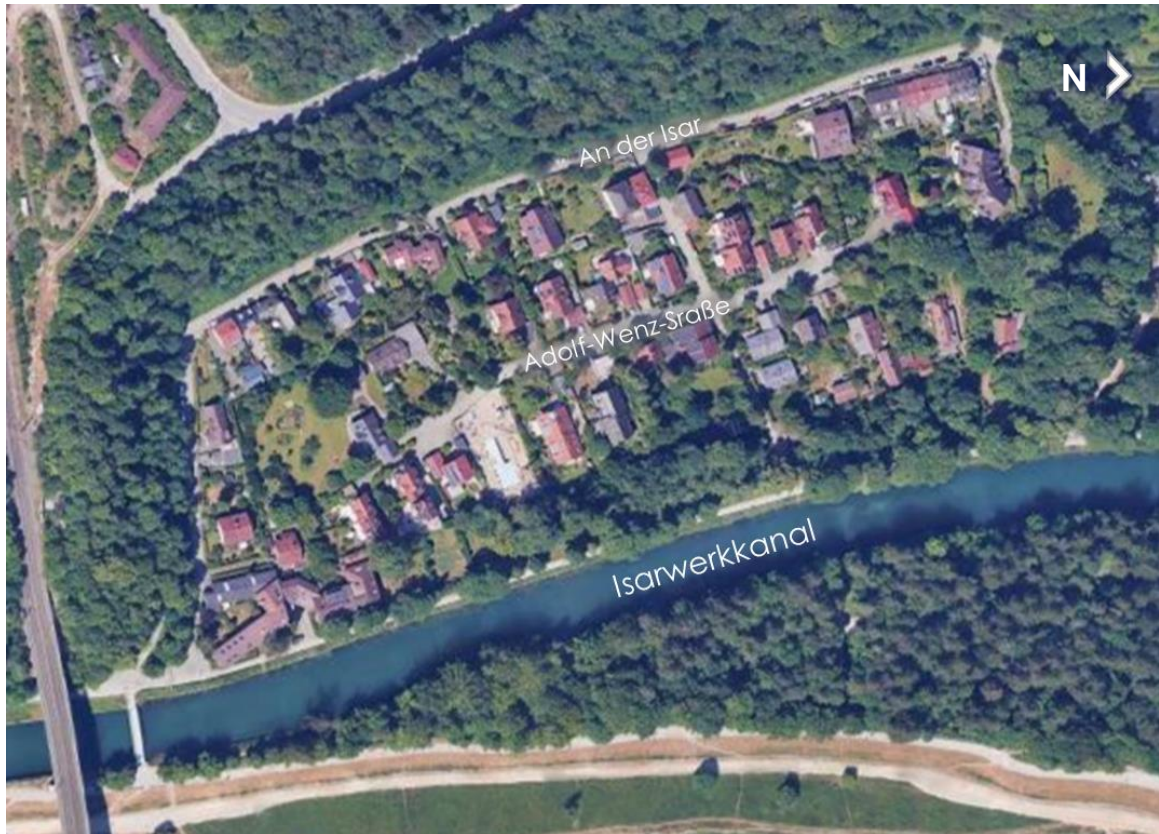


Abbildung 2: Wenzsiedlung und Isarwerkkanal

2.2.1 Baualtersklassen

Der Gebäudebestand wird nach Baualter klassifiziert. Durch die Umfrage können die Baujahre für ca. die Hälfte der Gebäude festgestellt werden. Für die anderen wird durch Abschätzung des Zustandes und Bauart eine Baualtersklasse abgeschätzt. Wie in Abbildung 3 zu sehen, ist ein Großteil der Gebäude (72 %) in den 1980er Jahren oder früher gebaut und damit vor der 3. Wärmeschutzverordnung von 1995 entstanden.

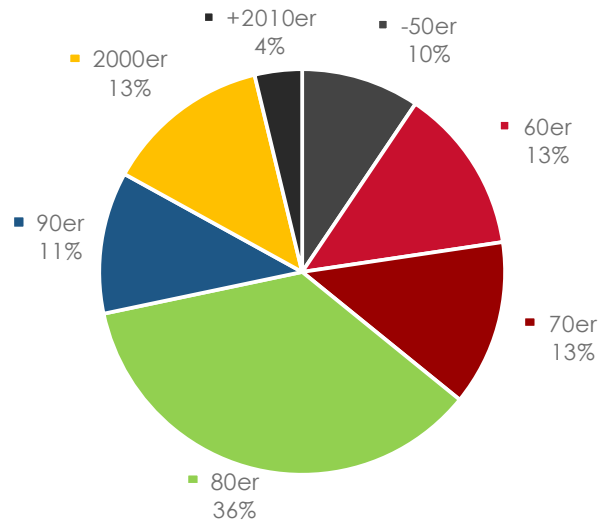


Abbildung 3: Verteilung der Baualtersklassen nach Jahrzehnten

2.2.2 Energieträger für die Wärmeversorgung

Die aktuell verwendeten Energieträger und Wärmebedarfe werden aus verschiedenen Datenquellen ermittelt. Wenn bekannt, werden die Antworten aus der durchgeführten Umfrage übernommen, ansonsten wurde über die Spartenauskunft das Vorhandensein eines Gasanschlusses geprüft und Daten aus einer von Bewohnern 2008 durchgeführten Umfrage verwendet. Auch die Bohrungen für Förder- und Schluckbrunnen im Umweltatlas werden herangezogen. Das Vorhandensein von Solarthermie wurde bei einer Vorortbegehung bzw. über Google Maps festgestellt. Falls kein Wärmebedarf aus Umfragen bekannt ist, wird dieser aus dem Energienutzungsplan des Landkreises München entnommen. Abbildung 4 zeigt den Strom- und Wärmebedarf des Quartiers (links) und die Energieträger für die Wärmeerzeugung (rechts). Aktuell werden die Gebäude in der Wenzsiedlung vorwiegend mit Gas und Öl geheizt, teilweise mit Unterstützung durch Solarthermie und Holzöfen. Der Anteil an nicht erneuerbaren Energieträgern zum Heizen beträgt über 67 Prozent, wobei davon ausgegangen werden kann, dass ein großer Teil der unbekanntesten Energieträger, zusätzlich 14 Prozent, ebenfalls nicht erneuerbar sein dürften. Abbildung 5 veranschaulicht die CO₂-Emissionen, die im Ist-Zustand für das Quartier angenommen werden. Nur für Heizenergie werden pro Jahr im Quartier 390 t CO₂ emittiert. Fossile Energieträger machen beim Heizen über 70 % der Emissionen aus, wobei wiederum davon ausgegangen werden muss, dass die „unbekanntesten“ Emissionen vorwiegend aus fossilen Energieträgern gewonnen wird und hier noch dazukommen.

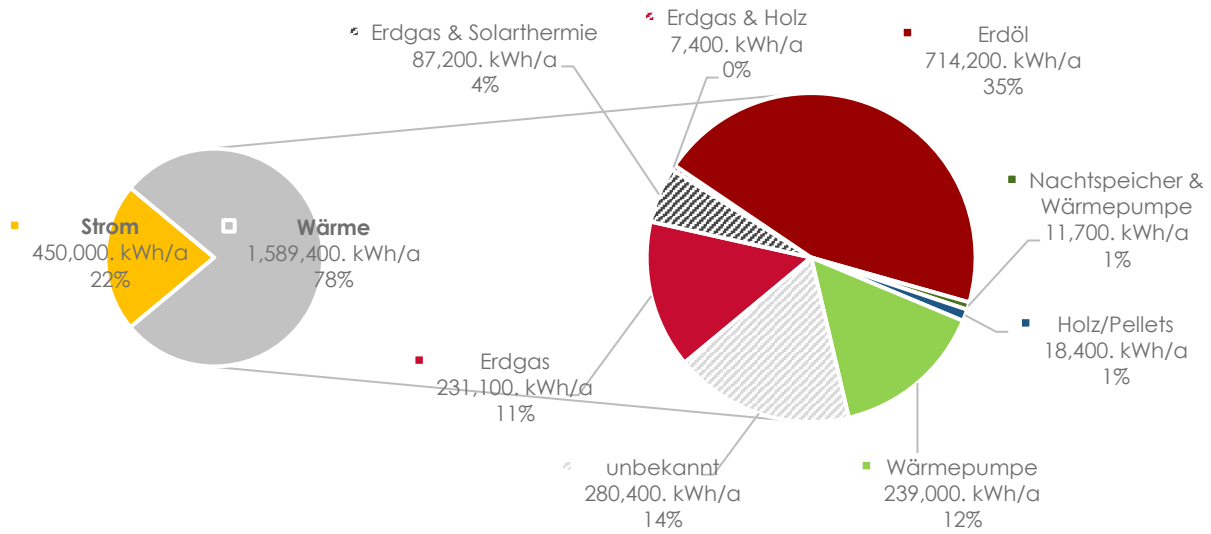


Abbildung 4: Strom- (gelb) und Wärmebedarf (grau) des Quartiers (links) und Anteile der Energieträger am Wärmebedarf in kWh/a im Quartier (rechts)

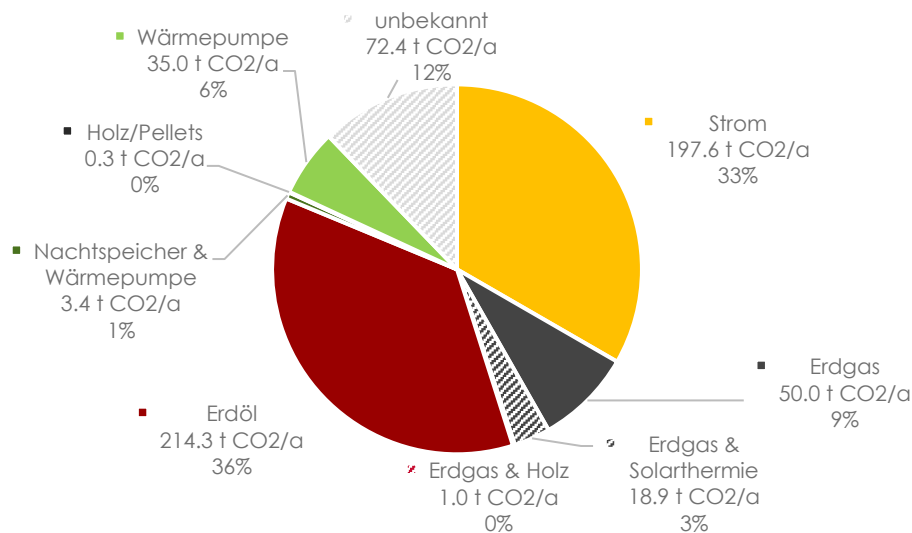


Abbildung 5: CO₂-Emissionen pro Jahr und Energieträger im Quartier

2.2.3 Sparten

Die bereits bestehenden Sparten in den beiden Straßen der Siedlung sind sehr dicht verlegt. Folgende Leitungen liegen bereits in den Straßen:

- Gasleitung
- Stromkabel
- Regenwasserkanal
- Schmutzwasserkanal
- Frischwasserleitung
- Datenkabel (Telekom etc.)

Die zusätzliche Verlegung von Wärmeleitungen in der Straße „An der Isar“ ist aufgrund der großen Trinkwasserleitung (DN300), die ursprünglich zur Frischwasserversorgung von Pullach gedacht war, zu großen Teilen ausgeschlossen. Daher können Leitungen für ein Wärmenetz nur in der Adolf-Wenz-Straße, dem südlichsten Teil von „An der Isar“ und über Grundstücke verlegt werden. Allerdings gibt es auch in der Adolf-Wenz-Straße mit Engpässen, vor allem im westlichen und im ersten Abschnitt des südlichen Teils der Straße, an den Stellen, an denen Regenwasserkanäle verlegt sind.



Abbildung 6: Spartenplan der Wenzsiedlung mit Flurstücksgrenzen

2.3 Darstellung des räumlich aufgelösten Wärmebedarfs im Ist-Zustand

Auf die Darstellung des räumlich aufgelösten Wärmebedarfs pro Haus wurde hier aus Datenschutzgründen verzichtet. Die höchsten Wärmebedarfe sind wie zu erwarten in den Mehrfamilienhäusern aufgetreten. Um die Häuser besser vergleichen zu können, ist auch der spezifische Wärmebedarf pro Haus berechnet worden. Hier kann eine Verbindung zu den Baualtersklassen hergestellt werden: Erwartungsgemäß haben tendenziell älteren Häuser höhere spezifische Wärmebedarfe. Diese könnten durch Sanierungsmaßnahmen gesenkt werden. Die Wenzsiedlung hat wie bereits in Abbildung 4 dargestellt einen Gesamtwärmebedarf von 1.589 MWh/a. Wird dieser mit Außentemperaturstandortdaten des DWD und einer Heizgrenztemperatur von 15 °C auf das Jahr verteilt, erhält man eine Jahresdauerlinie, mit der eine vorläufige Spitzenlast bestimmt werden kann. Die Jahresdauerlinie ist in Abbildung 7 dargestellt und die damit berechnete Spitzenlast beträgt ca. 580 kW. Hierbei ist zu beachten, dass hier davon ausgegangen wird, dass die Heizbedarfe aller Häuser zur gleichen Zeit anfallen und keine Pufferspeicher zur Verfügung stehen. In der Realität könnte die gleichzeitig auftretende Spitzenlast daher etwas kleiner ausfallen, da dieser Fall nur wenige Stunden im Jahr auftritt und durch eine sinnvolle Regelung gesenkt werden kann.

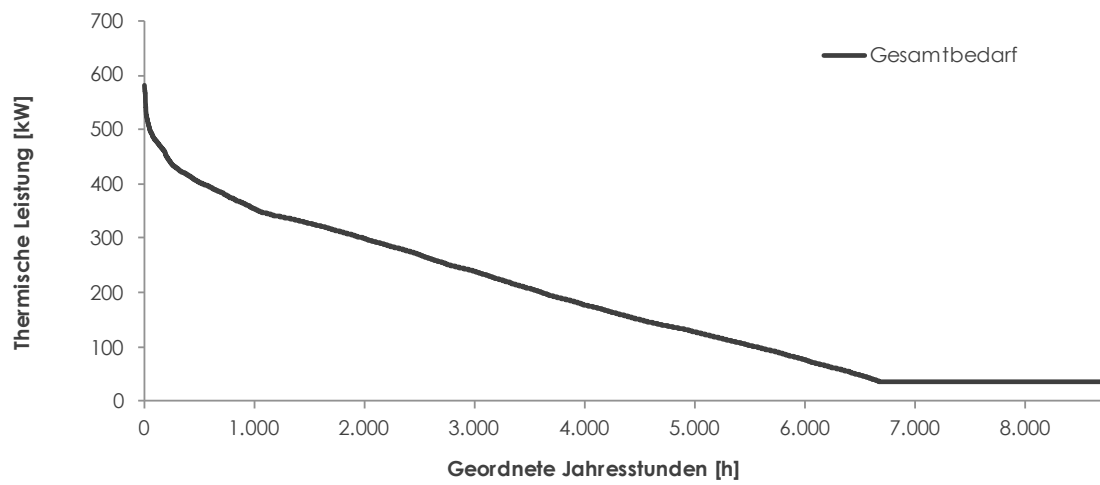


Abbildung 7: Jahresdauerlinie für das Gesamte Quartier

3 Potenzialanalyse

3.1 Potenziale zur Senkung des Energiebedarfs

Die Gebäudesanierung stellt besonders im privaten Sektor eine der Hauptmöglichkeiten zur Emissionsreduzierung dar. Nach einer Studie des Instituts Wohnen und Umwelt aus dem Jahr 2018 wird deutschlandweit von einer Gesamtmodernisierungsrate für den Wärmeschutz im Altbau (Baujahr bis 1978) von 1,4 % und etwa 1% für den gesamten Wohngebäudebestand ausgegangen. Untersuchungszeitraum waren die Jahre 2010 bis 2016. Dabei ist der Sanierungsstandard jedoch nicht festgelegt.

Nach Daten des Umweltbundesamtes sind von den rund 18 Millionen Wohngebäuden, die vor 1977 gebaut wurden, etwa 70 % gar nicht oder nur teilweise energetisch saniert worden. Dabei könnten laut Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg rund 40 – 49 % der Treibhausgasemissionen eingespart werden, würde man die Gebäude der Effizienzklassen G und H (entspricht einem Endenergieverbrauch von jährlich über 200 kWh/m²) zu Effizienzhäusern 55 sanieren.

Trotz ungenauer Definition des Begriffs „Sanierungsquote“ kann davon ausgegangen werden, dass die von der Bundesregierung formulierten Ziele zum Erreichen der Klimaneutralität nicht erfüllt werden können, sollte die Sanierungsquote oder -aktivität nicht deutlich steigen. Es bleibt zu erwähnen, dass aufgrund von Generationenwechsel und demografischen Wandel die kommenden Jahre die Sanierungsaktivität im Vergleich zur Neubauaktivität im privaten Sektor deutlich zunehmen wird.

Für die Abschätzung der Energieeinsparung durch Sanierungen wurden die Ergebnisse der Sanierungsteckbriefe auf das Quartier angewandt. Für Gebäude mit Baujahr 2010 und neuer wurde keine Reduzierung angenommen. Ältere Mehrfamilienhäuser reduzieren ihren Wärmebedarf um 33% mit Einzelmaßnahmen und mit Sanierung auf Effizienzhaus 55-Standard um 53%. Für Einfamilienhäuser, Reihenhäuser und Doppelhaushälften, die zwischen 1990 und 2010 gebaut wurden, liegen diese Werte im Schnitt bei 19 % bzw. 51%. Für ältere Gebäude dieser Gruppe wurde der Wärmebedarf um 32% bzw. 50% verringert. Mit der Umsetzung von Einzelmaßnahmen für alle Gebäude wird damit der Gesamtwärmebedarf von 1.589 MWh auf 1.101 MWh herabgesetzt, was einer Einsparung von 31 % entspricht. Bei der flächendeckenden Sanierung auf Effizienzhaus 55-Standard, wären sogar 51 % Einsparungen möglich.

Beide Werte sind aber voraussichtlich sehr optimistisch. In der durchgeführten Umfrage gaben 58 % der Teilnehmenden Interesse an Sanierung an. Abbildung 8 veranschaulicht auch, welche Sanierungsmaßnahmen sich die Teilnehmenden vorstellen können (teilweise Mehrfachauswahl). Bei Übertragung dieser Aussagen auf das gesamte Quartier sind in den nächsten 10 bis 15 Jahren Einsparungen von 21 % bzw. auf 1.256 MWh als realistisch anzusehen. Dies deckt sich auch mit Erfahrungswerten bei Team für Technik.

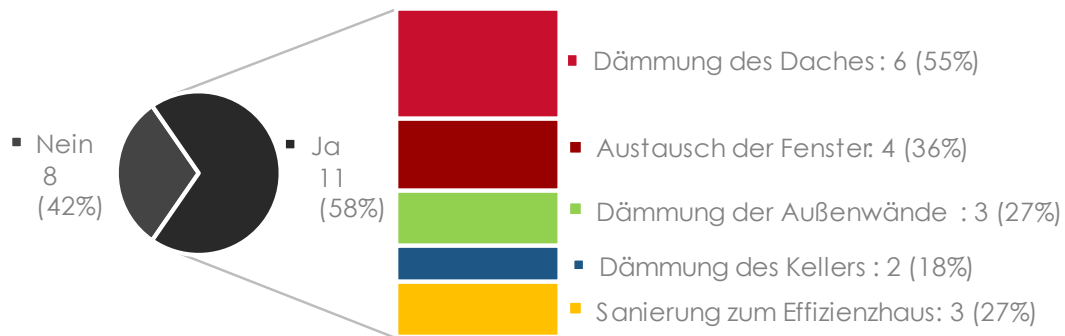


Abbildung 8: Ergebnisse zu Interesse an Sanierung aus der Umfrage (die prozentualen Angaben bei den einzelnen Maßnahmen geben den Anteil an, in dem diese Maßnahme in den sanierten Häusern durchgeführt wurde (Mehrfachauswahl war möglich)).

3.2 Potenziale von erneuerbaren Energien zur Energieversorgung

3.2.1 Geothermie (Grundwasser)

Die Nutzung von oberflächennaher Geothermie ist in weiten Teilen der Siedlung über Grundwasserbrunnen möglich (siehe geoportal.muenchen.de bzw. Abbildung 9) und wird auch von manchen Gebäuden bereits genutzt. Das Wasserwirtschaftsamt sieht keine grundsätzlichen Einschränkungen bei der Nutzung des Grundwassers und spricht sich grundsätzlich für weniger Eingriffe in den Boden aus. Dies bedeutet, dass vom Wasserwirtschaftsamt eine zentrale Grundwasserbohrung im Vergleich zu vielen kleinen Bohrungen bevorzugt wird. Der Einfluss und Beeinträchtigung bereits bestehender Grundwasserwärmepumpen müssen bei einer thermischen Grundwassernutzung berücksichtigt werden. Das hoch anstehende Grundwasser ermöglicht leichtes Abgreifen des Wassers, allerdings kann es gleichzeitig bei den Schluckbrunnen zu Komplikationen führen.

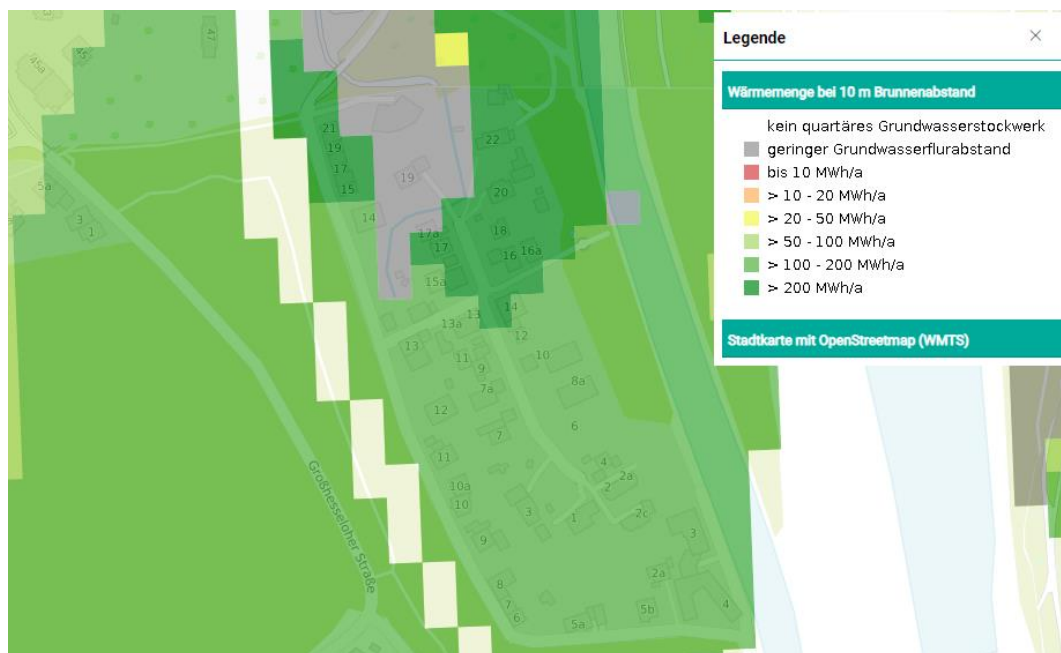


Abbildung 9: Verfügbare Wärmemenge Abschätzung aus dem geoportal.muenchen.de

Hinsichtlich der Nutzung des Grundwassers für Grundwasserwärmepumpen gilt das Prioritätsprinzip: Die frühesten Anträge werden vorrangig bearbeitet. Bei einer größeren Anzahl gleichzeitiger Anträge kann die Behörde jedoch eine Simulation und/oder eine Auswertung des Grundwasserpegels verlangen, basierend auf der Beobachtung bereits bekannter Entnahmestellen.

3.2.2 Thermisches Potenzial des Isarwerkkanal

Die Nähe zum Isarwerkkanal macht diesen als potenzielle Wärmequelle interessant. Auch hier sieht das Wasserwirtschaftsamt keine grundsätzlichen Einschränkungen der Nutzung des Wassers aus dem Isarwerkkanal und bevorzugt diese im Vergleich zur Grundwassernutzung. Allerdings müssen bauliche Einbauten mit den Stadtwerken München (SWM) abgestimmt werden. Im Grundsatz sollte die Entnahmemenge so ausgelegt werden, dass die temperaturbedingte Veränderung der Wasserbeschaffenheit so gering wie möglich gehalten wird. Einbauten in den Kanal, insbesondere der direkte Einbau von Wärmetauschern, sind auch aufgrund von anderweitigen Nutzungen (u.a. Isarflößer) zu vermeiden. Das Wasser kann voraussichtlich nur bis zu einer Temperatur von mindestens 3 °C genutzt werden. Bei einer Entnahmeleistung von 300 kW und einer Abkühlung des entnommenen Wassers um 1 K wird eine Wassermenge von 80 L/s benötigt, was gut 0,3 % des Durchflusses des Isarwerkkanal entspricht (siehe Abbildung 10). Laut einer aktuellen Studie des FfE über Wärmepumpen in Fließgewässern in Bayern würde eine Entnahme von 1 % des Durchflusses und einer Spreizung von 1 K zu einer Temperaturveränderung von 0,01 K führen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die hier vorgesehene Nutzung keine oder nur kaum messbare Auswirkungen auf die Wassertemperatur des Isarwerkkanal hätte. Herausforderungen bei der Nutzung des Kanals sind die Temperaturschwankungen und im speziellen der Abfall der Tagesminimaltemperatur des Kanals auf weniger als 3 °C an durchschnittlich 12 Tagen im Jahr zwischen 2010 und 2023. Von anderen Flussnutzungen sind diese tiefen Temperaturen und die Schwierigkeit der Nutzung bei diesen Temperaturen bekannt und können nicht einfach umgangen werden.

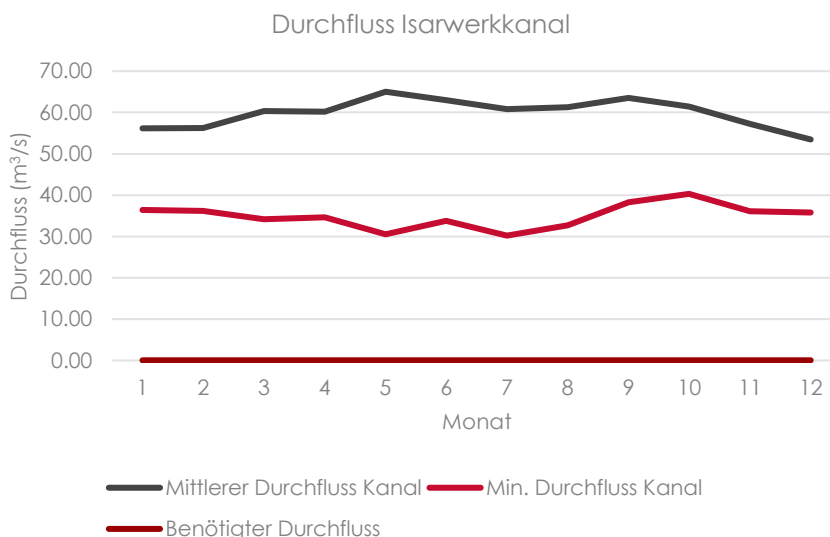


Abbildung 10: Durchfluss des Isarwerkkanal gemittelt von 2010-2023

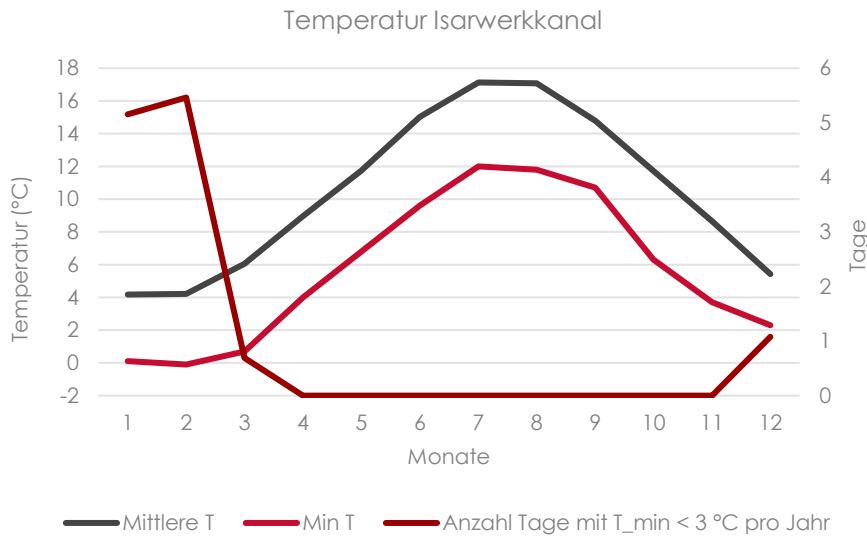


Abbildung 11: Temperatur der Isar gemittelt von 2010-2023

3.2.3 Thermisches Potenzial aus Luft

Die Nutzung der Umgebungsluft als Wärmequelle mit Hilfe von Luft-Wärmepumpen ist grundsätzlich eine sinnvolle Lösung zur nachhaltigen Wärmeversorgung, die in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte bezüglich Effizienz und Leistungsfähigkeit gemacht hat. Es ist davon auszugehen, dass nicht alle Gebäude der Wenzsiedlung sich an ein mögliches Nahwärmenetz anschließen werden und auch nicht auf jedem Grundstück eine Grundwasserwärmepumpe installiert werden kann. Die durchschnittliche JAZ für Luft-Wasser-Wärmepumpen bei optimierter Vorlauftemperatur liegt heute bei etwa 2,5 bis 3,5, was bedeutet, dass sie etwa 2,5 bis 3,5-mal mehr Wärmeenergie erzeugen, als sie elektrische Energie verbrauchen. Dieser hohe Wirkungsgrad macht Wärmepumpen zu einer attraktiven Option für eine nachhaltige und kosteneffiziente Wärmeversorgung in Wohngebäuden.

3.2.4 Abwärme aus Kanalisation

Die Nutzung von Abwärme aus der Kanalisation wurde nicht genauer untersucht, da aus Erfahrungswerten bekannt ist, dass die Erschließung dieser Wärmequelle sehr teuer und die anfallende Abwassermengen bei reinen Wohngebäuden aus Erfahrung tendenziell nicht ausreichend ist als alleinige Wärmequelle. Um Energie zu sparen könnte aber z.B. Wärmerückgewinnung beim Duschabwasser in Einzelhaushalten genutzt werden, siehe z.B. [Duschwasser auffangen – innovative Produkte | co2online](#).

3.2.5 Photovoltaik-Dachflächenpotenzial

Für das Photovoltaikpotenzial wurde sich auf das Solarkataster des Landkreises München, betreut durch die Energieagentur München Ebersberg, gestützt. Dort wird für das gesamte Quartier ein Potenzial für 605 kWp bzw. 523.900 kWh/a angenommen. Die belegten Dachflächen haben eine Leistung von 62 kWp und die IEP hat unabhängig davon für die nicht belegten Dachflächen ein tatsächlich nutzbares Potenzial von 200 kWp angenommen (40 Dächer á 5 kWp).

3.2.6 Solarthermie

Solarthermie wurde als Wärmequelle nicht genauer untersucht und wird in den Berechnungen lediglich ergänzend zu Pelletkesseln eingesetzt. Als Basis für eine Abschätzung des Potenzials für Solarthermie kann der Solarkataster der Energieagentur München-Ebersberg dienen. Für die Bestandsaufnahme wird über Google-Maps identifiziert welche Dächer bereits mit Solarthermie ausgestattet sind, falls dies nicht aus der durchgeführten Umfrage bekannt war.

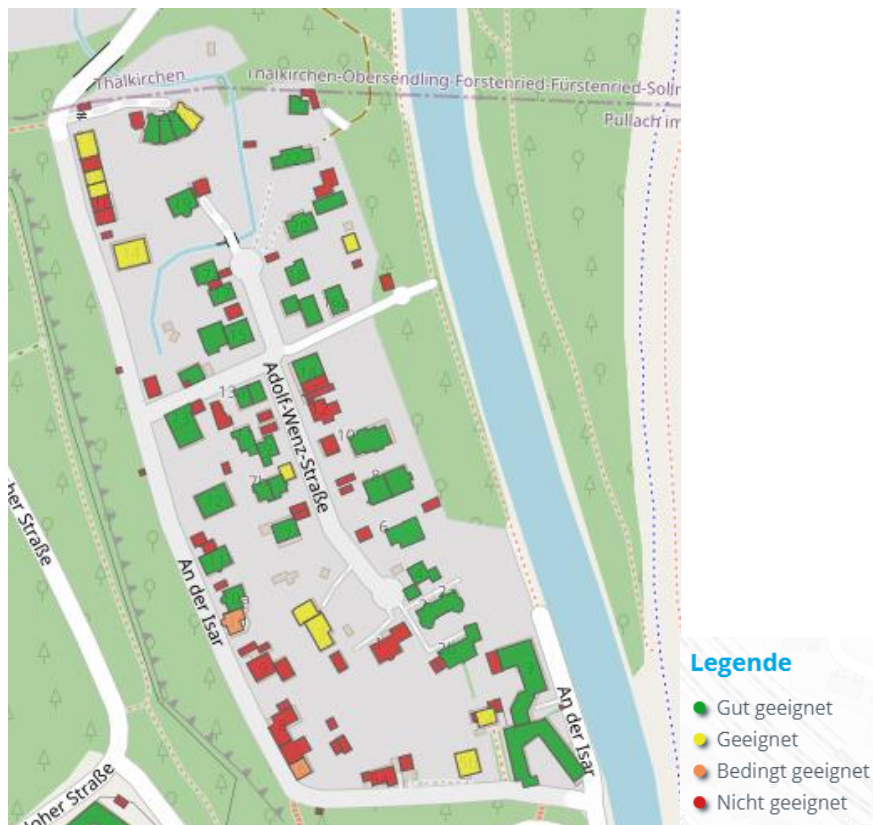


Abbildung 12: Potenzial für Solarthermie aus dem Solarkataster des Landkreises München

4 Energetische Sanierungsvarianten

Für die Bewertung energetischer Sanierungsmaßnahmen werden als Typgebäude drei unterschiedliche Gebäude gewählt, die gemäß Baualter und Gebäudetyp als charakteristisch für das Quartier sind. Zur Auswahl der Typgebäude gibt es verschiedene Auswahlkriterien. Zuerst wurden die Gebäude in 3 Kategorien geteilt: Einfamilienhäuser (EFH), Mehrfamilienhäuser (MFH) und Reihenhäuser/Doppelhaushälften (RH/DHH), da zwischen diesen Kategorien Unterschiede zum Beispiel hinsichtlich Wärmebedarf, Trinkwarmwasserversorgung sowie Sanierungsmaßnahmen bestehen. Zudem werden die Gebäude in Baualtersklassen von 1950er und älter bis 2010er und jünger im Abstand von Jahrzehnten eingeteilt und pro Kategorie (EFH/MFH/RH/DHH) die häufigste Baualtersklasse bestimmt. In der häufigsten Bauklasse werden dann Gebäude ausgewählt, für die ein beantworteter Fragebogen in der Online-Umfrage abgegeben wurde und die möglichst repräsentativ für die Siedlung sind, so dass der Übertrag auf andere Gebäude in der Siedlung ermöglicht wird.

Folgende Gebäude werden ausgewählt:

- Typgebäude 1 – Einfamilienhaus 1970er am konkreten Beispiel „An der Isar 9“
- Typgebäude 2 – Mehrfamilienhaus 1980er am konkreten Beispiel „An der Isar 14“
- Typgebäude 3 – Reihenhäuser 1980er am konkreten Beispiel „An der Isar 16“

Pro Gebäude werden jeweils drei Varianten gegenübergestellt: In Variante 1 werden energetische Einzelmaßnahmen durchgeführt und eine Luft-Wärmepumpe eingebaut. Für Variante 2 wird statt der Luft-Wärmepumpe ein warmes Nahwärmenetz betrachtet, während in Variante 3 die Sanierung auf Effizienzhaus 55-Standard in Kombination mit einer Luft-Wärmepumpe analysiert wird.

Für jedes Gebäude wird ein ausführlicher Bericht erstellt. Hier werden nur kurze Steckbriefe vorgestellt.

4.1 Typgebäude 1 – Einfamilienhaus 1970er

4.1.1 Beschreibung

Tabelle 1: Gebäudedaten Bestand von Typgebäude 1 – Einfamilienhaus 1970er

Gebäudedaten		
Anzahl Wohneinheiten	1	
Baujahr	1979	
Anzahl Geschosse	2	Wohngeschosse + teilbeheizter Keller
m² NuF pro Bewohner	73	m ² /pers.
Nutzfläche NuF (beheizte Wohnfläche)	220	m ²
Gebäudehüllfläche A (abgeschätzt)	508	m ²
Fensterflächenanteil	6,6	%
Endenergiebedarf	112	kWh/m ² a



Abbildung 13: Typgebäude 1 – Einfamilienhaus

4.1.2 Vergleich der Varianten

Tabelle 2: Kennwerte der Sanierungsvarianten im Überblick

Kennwerte im Überblick		1. EM + L-WP	2. EM + Nahwärme	3. EH 55 + L-WP
Endenergiebedarf*	kWh/m ² a	29	89	21
Absolute Investition				
(Gebäudehülle, technische Anlagen, Planung)	€ brutto	129.700	100.400	301.800
mit Förderung	€ brutto	101.500	80.500	232.300
Durchschnittlich eingesparte Energiekosten	€ brutto	5.220	3.820	5.910
Euro pro eingesparter Tonne CO₂ im Jahr 2025	€/t CO ₂	700	710	950

*Der Endenergiebedarf einer Wärmepumpe ist oft niedriger als der tatsächliche Wärmebedarf eines Gebäudes. Dies liegt daran, dass die Wärmepumpe einen großen Teil der benötigten Wärmeenergie aus der Umwelt bezieht.

Gesamtkosten kumuliert in € brutto

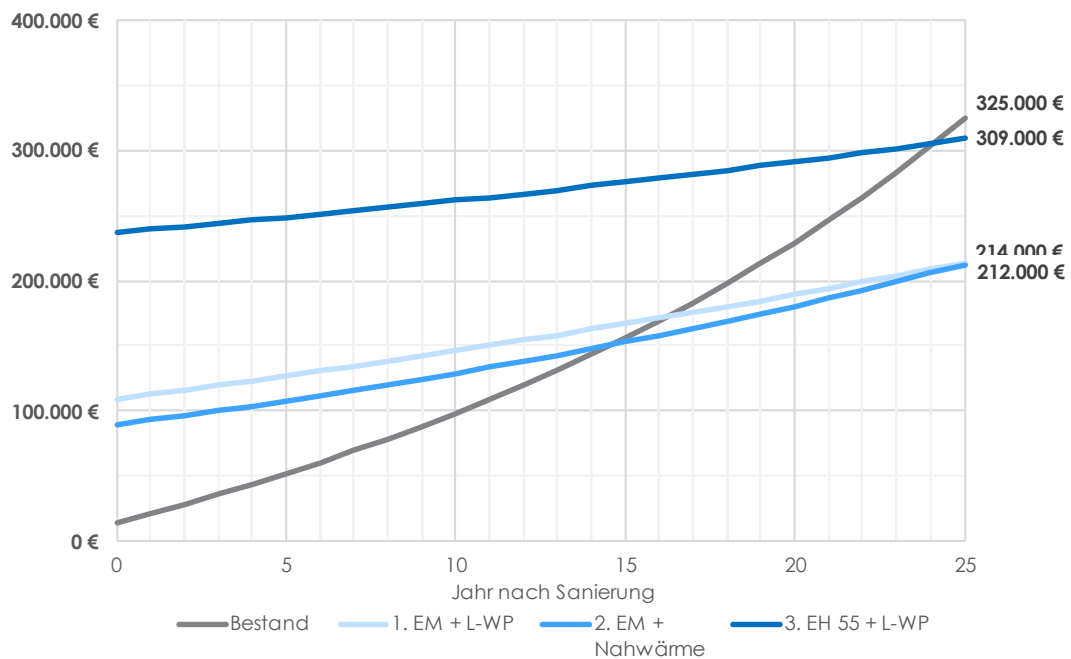


Abbildung 14: Gesamtkosten Typgebäude 1 kumuliert

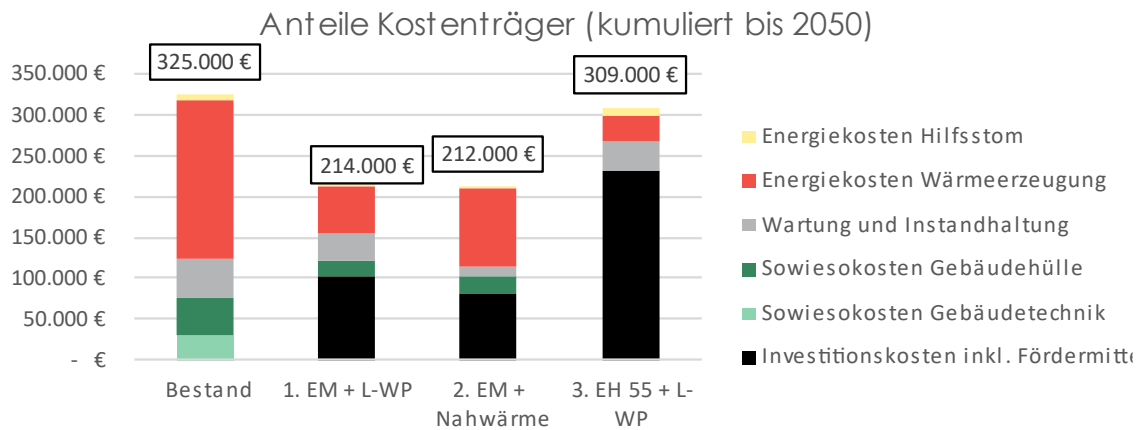


Abbildung 15: Anteile Kostenträger Typgebäude 1

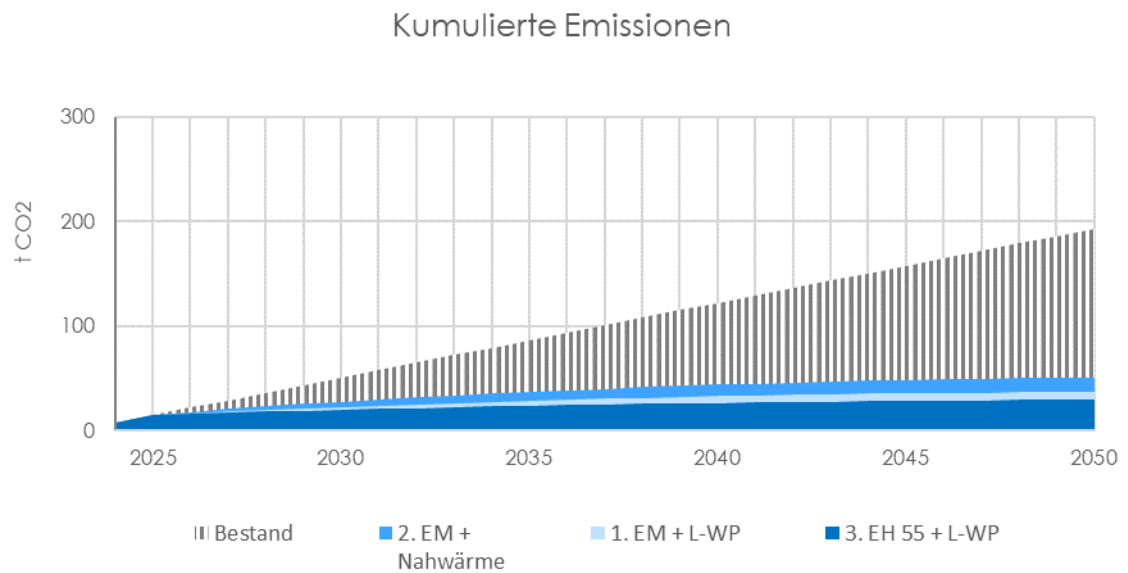


Abbildung 16: Kumulierte Emissionen Typgebäude 1

4.2 Typgebäude 2 – Mehrfamilienhaus 1980er

4.2.1 Beschreibung

Tabelle 3: Gebäudedaten Bestand von Typgebäude 2 – Mehrfamilienhaus 1980er

Gebäudedaten		
Anzahl Wohneinheiten	3	
Baujahr	1981	
Anzahl Geschosse	3	Wohngeschosse
m² NuF pro Bewohner	44	m ² /pers
Nutzfläche NuF (beheizte Wohnfläche)	350	m ²
Gebäudehüllfläche A (abgeschätzt)	821	m ²
Fensterflächenanteil	16,3	%
Endenergiebedarf	119	kWh/m ² a



Abbildung 17: Typgebäude 2 – Mehrfamilienhaus

4.2.2 Vergleich der Varianten

Tabelle 4: Kennwerte der Sanierungsvarianten für Typgebäude 2 im Überblick

Kennwerte im Überblick		1. EM + L-WP	2. EM + Nahwärme	3. EH 55 + L-WP
Endenergie	kWh/m²a	27	79	23
Absolute Investition (Gebäudehülle, technische Anlagen, Planung)	€ brutto	345.800	313.000	474.300
mit Förderung	€ brutto	264.500	248.800	366.400
Durchschnittlich eingesparte Energiekosten	€ brutto	10.680	6.680	11.320
Euro pro eingesparter Tonne CO₂ im Jahr 2025	€/t CO ₂	730	845	840

*Der Endenergiebedarf einer Wärmepumpe ist oft niedriger als der tatsächliche Wärmebedarf eines Gebäudes. Dies liegt daran, dass die Wärmepumpe einen großen Teil der benötigten Wärmeenergie aus der Umwelt bezieht.

Gesamtkosten kumuliert in € brutto

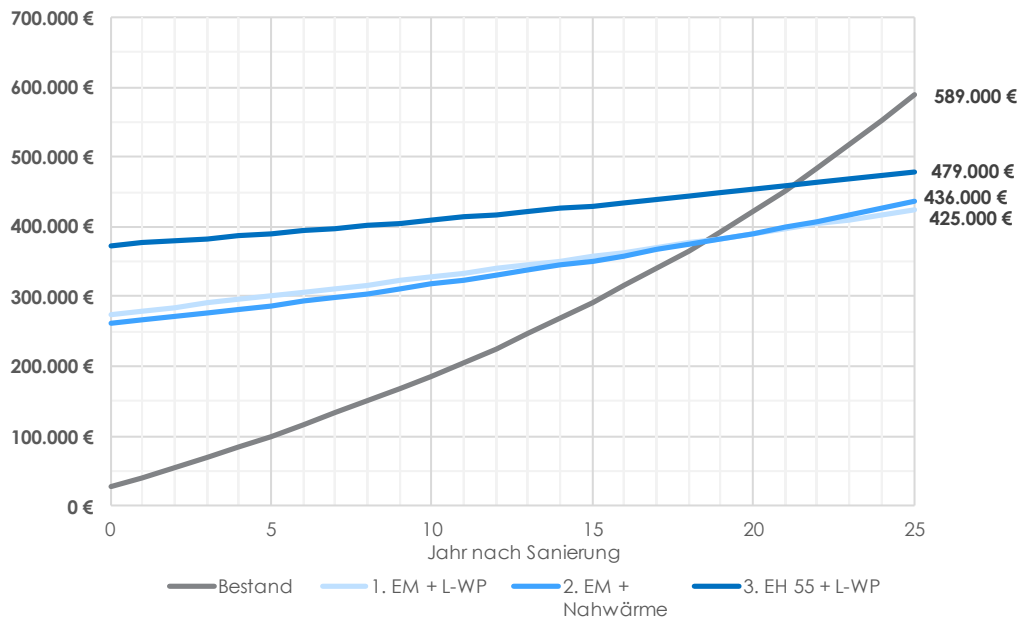


Abbildung 18: Gesamtkosten Typgebäude 2 kumuliert

Anteile Kostenträger (kumuliert bis 2050)

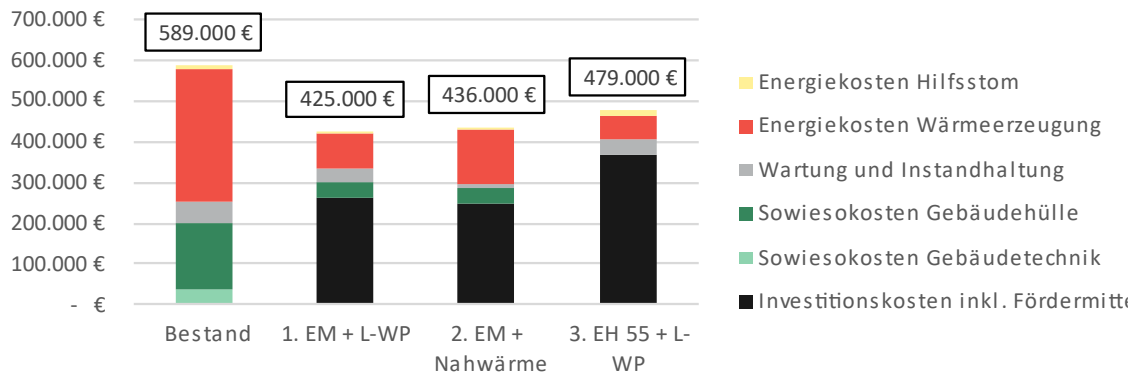


Abbildung 19: Anteile Kostenträger Typgebäude 2

Kumulierte Emissionen

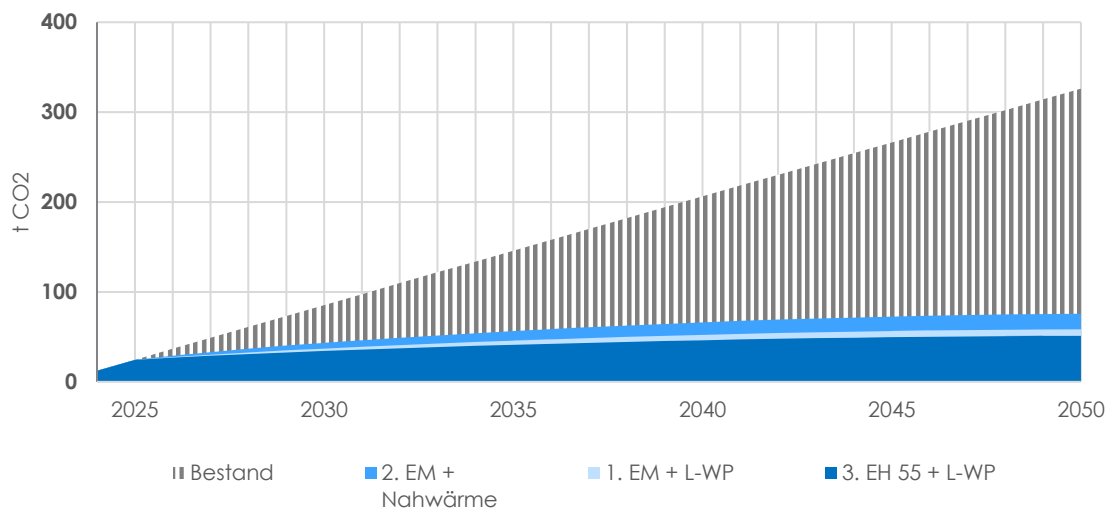


Abbildung 20: Kumulierte Emissionen Typgebäude 2

4.3 Typgebäude 3 – Reihenhaus 1980er

4.3.1 Beschreibung

Tabelle 5: Gebäudedaten Bestand von Typgebäude 3 – Reihenhaus 1980er

Gebäudedaten		
Anzahl Wohneinheiten	1	
Baujahr	1987	
Anzahl Geschosse	2	Wohngeschosse
m ² NuF pro Bewohner	83	m ² /pers
Nutzfläche NuF (beheizte Wohnfläche)	83	m ²
Gebäudehüllfläche A (abgeschätzt)	182	m ²
Fensterflächenanteil	9,2	%
Endenergiebedarf	113	kWh/m ² a



Abbildung 21: Typgebäude 3 - Reihenhaus

4.3.2 Vergleich der Varianten

Tabelle 6: Kennwerte der Sanierungsvarianten für Typgebäude 3 im Überblick

Kennwerte im Überblick		1. EM + L-WP	2. EM + Nahwärme	3. EH 55 + L-WP
Endenergiebedarf	kWh/m ² a	25	75	24
Absolute Investition				
(Gebäudehülle, technische Anlagen, Planung)	€ brutto	126.600	99.100	157.200
mit Förderung	€ brutto	92.700	75.200	120.000
Durchschnittlich eingesparte Energiekosten	€ brutto	1.730	1.290	1.800
Euro pro eingesparter Tonne CO₂ im Jahr 2025	€/t CO ₂	1.955	2.080	2.115

*Der Endenergiebedarf einer Wärmepumpe ist oft niedriger als der tatsächliche Wärmebedarf eines Gebäudes. Dies liegt daran, dass die Wärmepumpe einen großen Teil der benötigten Wärmeenergie aus der Umwelt bezieht.

Gesamtkosten kumuliert in € brutto

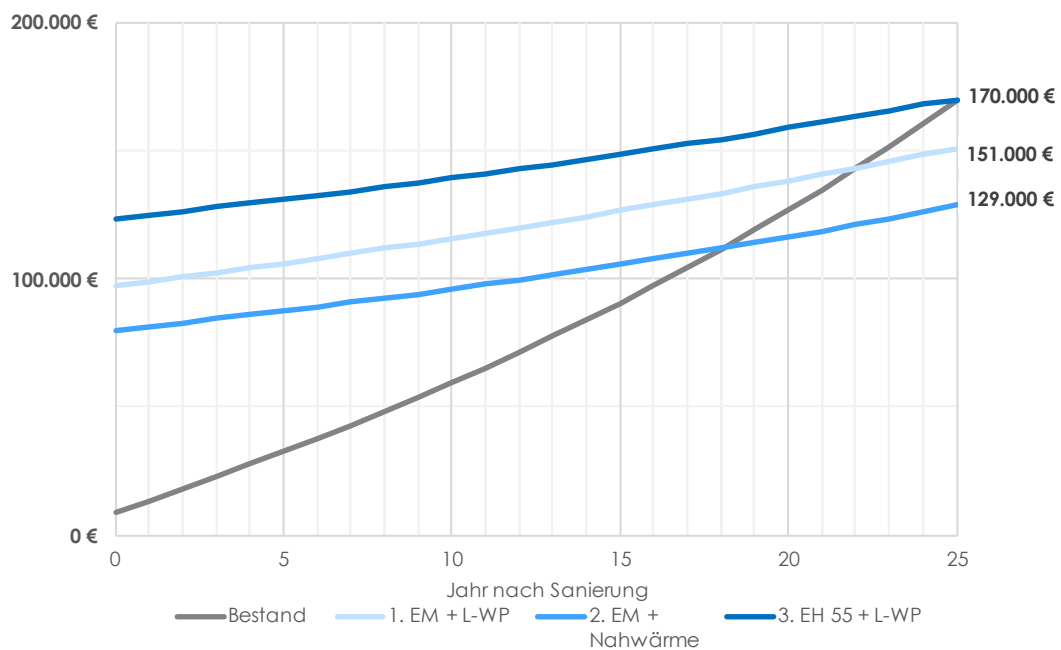


Abbildung 22: Gesamtkosten Typgebäude 3 kumuliert

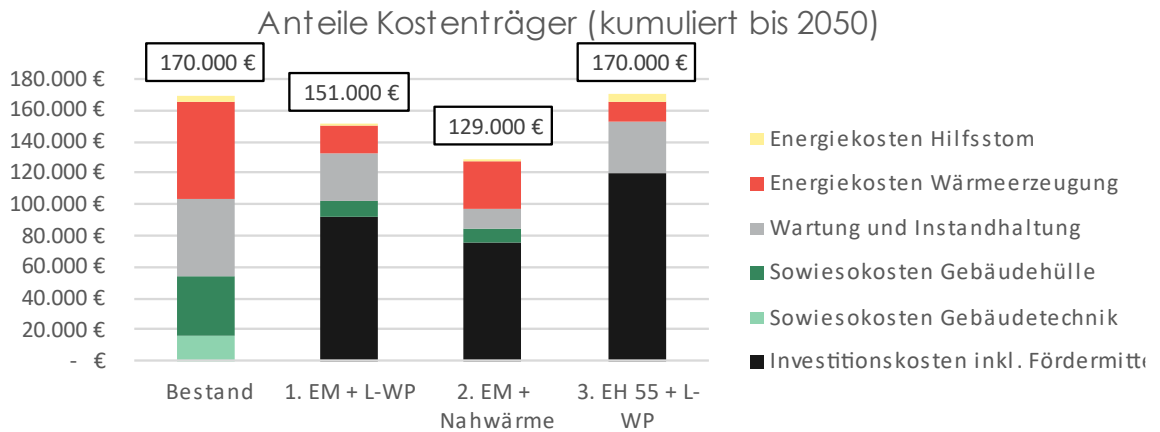


Abbildung 23: Anteile Kostenträger Typgebäude 3

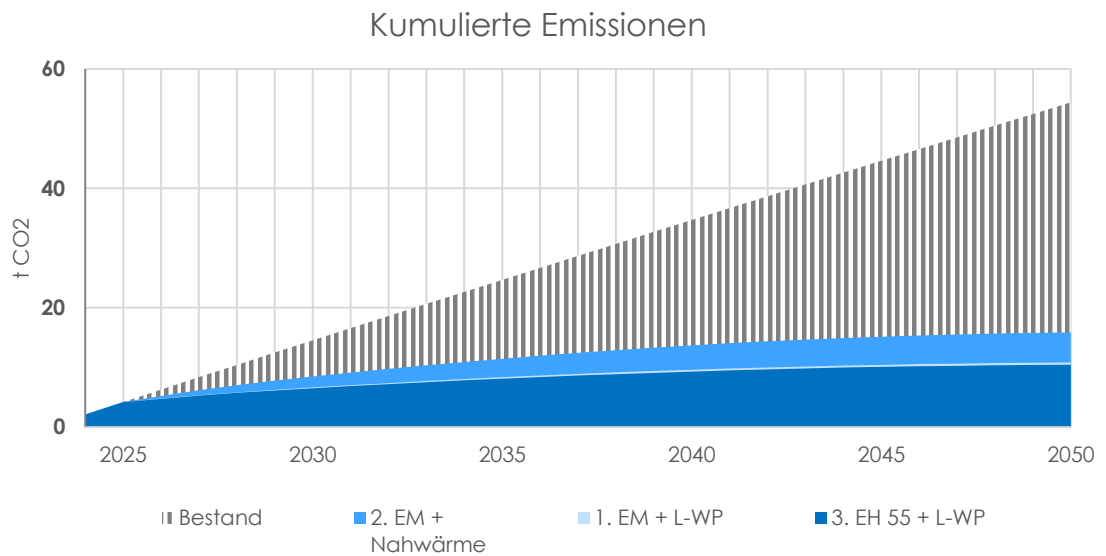


Abbildung 24: Kumulierte Emissionen Typgebäude 3

5 Wärmeversorgungskonzept

5.1 Wärmeversorgungsvarianten

Einen vereinfachten Überblick über die Optionen der Wärmeversorgung im Quartier gibt Abbildung 25. Als Wärmequellen kommen Grundwasserquellen bzw. die Quellen im Brunnenhaus, der Isarwerkkanal sowie Luft und Solarthermie in Frage. Vor der detaillierten Untersuchung der drei Wärmeversorgungsvarianten werden verschiedene Netz- und Wärmequellenoptionen gegeneinander abgewogen und anschließend eine Auswahl für Variante B und C getroffen. Variante A stand von Anfang an als rein dezentrale Wärmeversorgung mit Luft- und Grundwasserwärmepumpen und einem kleinen Anteil an Biomasse fest.

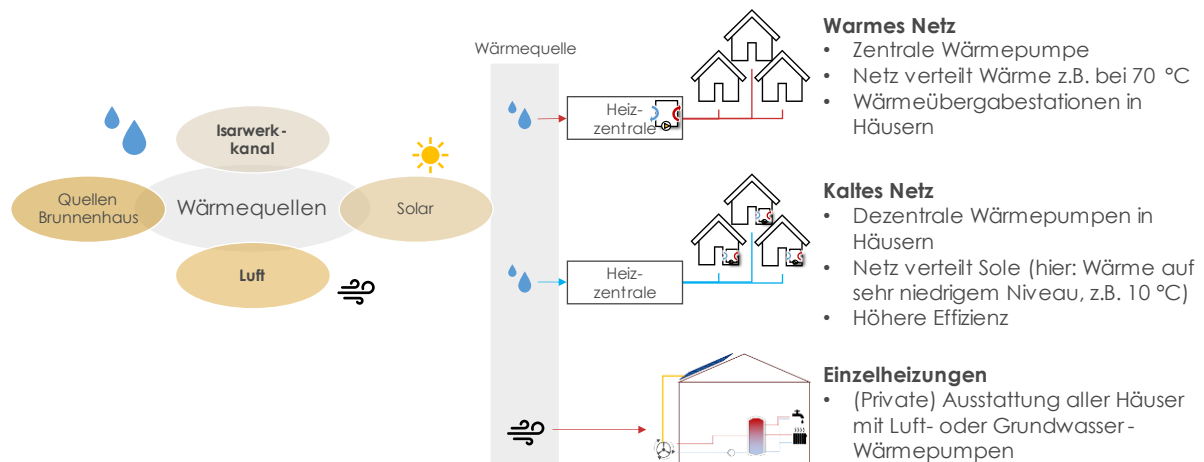


Abbildung 25: Wärmequellen und grundlegende Netzoptionen

In Tabelle 7 ist eine Übersicht über mögliche Varianten der Wärmeversorgung der Wenzsiedlung mit einem Nahwärmenetz zu finden. Unterschieden wird einerseits nach der Netzart (warm, kalt, mittel-warm) und nach der genutzten Wärmequelle (Hangwasser, Isarwerkkanal, Geothermie, teilweise mit Unterstützung durch Nutzung von Luft als Wärmequelle).

Für die Auswahl wurden folgende Abwägungen in die Überlegungen mit einbezogen:

Das alte Brunnenhaus und das darin abgreifbare Hangwasser stellen auf den ersten Blick eine interessante Wärmequelle dar, da die Infrastruktur schon teilweise vorhanden ist. Allerdings ist die Leitungsführung von Wärme vom Brunnenhaus weg aufgrund der Spartenlage sehr schwierig und zudem sind weitere Wärmequellen im Brunnenhaus aufgrund der Trinkwasserleitungen zu vermeiden. Weiterhin ist unklar, ob die Hangwasserquellen in Zukunft weiterhin genug Wasser führen werden. Daher wurde diese Wärmequelle ausgeschlossen und die Geothermie und Isarwerkkanal als interessanteste Wärmequellen ausgewählt.

Es sollten jeweils ein warmes und ein kaltes Netz untersucht werden, um die Vor- und Nachteile, sowie Wirtschaftlichkeit für beide Varianten genauer zu untersuchen. Ein Vorteil eines warmen Netzes ist der geringe Umbauaufwand in den einzelnen Häusern, da nur eine Übergabestation mit Wärmemengenzähler und Wärmetauscher pro Haus notwendig ist. Dafür ist vermehrt mit Wärmeverlusten in den Leitungen zu rechnen sowie einer schlechteren Jahresarbeitszahl (JAZ) der zentralen Wärmepumpe aufgrund der hohen Vorlauftemperatur. Beim kalten Netz ist mit sehr geringen Verlusten (oder sogar Wärmegewinnen) entlang der Leitungen zu rechnen und die Vorlauftemperaturen können in den meisten Häusern heruntersetzt werden, sodass die JAZ sich deutlich verbessern sollte. Dafür muss in jedes

angeschlossene Haus eine eigene dezentrale Wärmepumpe eingebaut werden, was den Umbauaufwand erhöht.

Nach diesen Überlegungen wurden folgende Varianten gewählt:

Für Variante B wird die Untersuchung eines Netzes mit Grundwasser-Wärmepumpe ausgewählt und alle Gebäude angeschlossen, die Interesse an Nahwärme angemeldet hatten. Für diese Variante wird jeweils ein warmes Netz und ein kaltes Netz berechnet (V2 bzw. V5 in Tabelle 7). Die Variante C stellt eine optimierte Option dar, bei dem nur einfach erreichbare Gebäude angeschlossen werden und zwei verschiedene kalte Netze für die Versorgung zuständig sind. Variante C1 ist ein kaltes Nahwärmenetz mit dem Isarwerkkanal als Wärmequelle für den südlichen Teil des Quartiers, ergänzt durch Variante C2, ein kleines kaltes Gebäudenetz für 6 Gebäude im Norden des Quartiers (Kombination aus V5 und V6 in Tabelle 7). Die in dieser Variante nicht angeschlossenen Gebäude müssten trotz Interesse wie das restliche Quartier dezentral versorgt werden. So können sowohl die interessantesten Wärmequellen als auch verschiedene Nahwärmenetzvarianten miteinander verglichen werden.

Tabelle 7: Übersicht über mögliche Varianten der Wärmeversorgung mit einem Nahwärmenetz in der Wenzsiedlung

Netzart		Erzeuger-varianten	Mögliche Leistung der Quelle	JAZ	Vorlauf-T Netz	Vorlauf-T Haus	Vorteile Netz	Nachteile Netz	Nachteile Wärmequelle	Offene Fragen
Warm	V1	Brunnenhaus/ Hangwasser	ca. 215-220 kW	2,66-3 (bei 9°C)	70	70	keine WP in Häusern (weniger Umbau in Häusern)	mehr Wärmeverluste; höhere Vorlauftemperatur für wenige MFH --> schlechtere JAZ	Unsichere Versorgung in Zukunft; Je nach Anschlussquote zusätzliche Wärmequelle notwendig	Wasser von Brunnenhaus zu Heizzentrale?
	V2	Grundwasserbohrung	300 - 400 kW	2,66 - 3 (bei 9°C)	70	70			WWA bevorzugt Kanalnutzung	Kosten Bohrung etc. noch nicht berechnet; Potenzial unklar; ggf. Probebohrung notwendig; bereits GW-Brunnen in der Siedlung in Betrieb
	V3a	Isarwerkkanal	32 L/s für 400 kW (entspricht 0,1 % des Kanaldurchfluss)	2,58	70	70			Gaskessel oder elektrische Heizung zur Sicherung der Wärmeversorgung notwendig?	
	V3b	Isarwerkkanal + Luft	32 L/s für 400 kW (entspricht 0,1 % des Kanaldurchfluss) + Luft ?	2,59	70	70				genaue Effizienzerhöhung noch unklar, müsste genauer untersucht werden. Vsl. keine wirtschaftliche Kosten/Nutzen-Abwägung
	V3c	Isarwerkkanal (CO2 WP)		2,7 - 3,7	70	70	Hohe Netzpreisung vorteilhaft für Effizienz	komplexere Quellregelung	Effizienz stark abhängig von Rücklauf und Wärmeabnahme	Erste Modelle kommen derzeit auf den Markt, enge Zusammenarbeit mit Herstellern notwendig

Netzart		Erzeuger-varianten	Mögliche Leistung der Quelle	JAZ	Vorlauf-T Netz	Vorlauf-T Haus	Vorteile Netz	Nachteile Netz	Nachteile Wärmequelle	Offene Fragen
Kalt	V4	Brunnenhaus/ Hangwasser	ca. 215-220 kW	3,52 (bei 9°C)	ca. 7 °C (?)	55	In EFH kann Vorlauf-temperatur abgesenkt werden (evtl. auch mehr als auf 55 °C); weniger Platzbedarf in den Straßen; keine Netzverluste; bei Verlegung im frostfreien Bereich mit Wärmege- winn in Leitungen zu rechnen --> höhere Effizienzen mgl.	Unklar, bis "wohin" (Wärmetau- scher/ Wärme- pumpe...) Anla- gen in Häusern gehören müs- sen Netzbetrei- ber, damit för- derfähig (?)	Unsichere Versorgung in Zukunft; Je nach Anschlussquote zusätzliche Wärmequelle notwendig. Quelle Be- grenzt auf ca. 60 % max. Anschlussquote	Wasser von Brunnenhaus zu Heizzentrale?
	V5	Grundwas- serbohrung	?	3,52 (bei 9°C)	ca. 7 °C (?)	55			WWA bevorzugt Kanal- nutzung	Kosten Bohrung etc. noch nicht berechnet; Potenzial unklar; ggf. Probe- bohrung notwendig; bereits GW-Brunnen in der Siedlung in Betrieb
	V6	Isarwerk- kanal	32 L/s für 400 kW (entspricht 0,1 % des Kanaldurch- fluss)	3,34	3-20 °C	55			elektrische Heizung in Häusern zur Sicherung der Wärmeversorgung notwendig?/ Oder elekt- rische/andere Vorwär- mung in Heizzentrale auf minimale Temperatur (z.B. 3-5°C)	Effizienzgewinn im Boden schwer zu quantifizieren
Mittel- Warm	V7	mit allen oben ge- nannten Quellen möglich	ähnlich wie für andere Netzlö- sungen	?	40 °C	Wärmeverluste geringer als bei warmem Netz; Moderne Einfami- lienhäuser kön- nen über eine Flächenheizung komplett beheizt werden	Wärmeverluste höher als bei kaltem Netz; Netzisolierung notwendig; sicher keine Wär- megevinne wie bei kaltem Netz; TWW-Ber- eitung mit Elektroheizstab, bzw. dezentrale WP; Dezentrale WP für Mehrfamilienhäu- ser/ältere oder nicht sanierte Häuser; hö- here Investitionskosten	JAZ Berechnung noch nicht durchgeführt		

5.1.1 Variante A: Rein dezentrale Energieversorgung

Für die rein dezentrale Energieversorgung im Quartier werden drei Möglichkeiten angenommen, die in Abbildung 26 grob schematisch dargestellt sind: Die meisten Häuser decken ihren Wärmebedarf mit Luftwärmepumpen (85%) und Grundwasser-Wärmepumpen (10%) und unterstützen die Stromversorgung der Wärmepumpen mit PV-Anlagen auf den Dächern. Zusätzlich wird angenommen, dass ca. 5% der Häuser eine Pelletheizung installieren. Dies lohnt sich vor allem bei Gebäuden, die hohe Vorlauftemperaturen benötigen und vorher mit Öl geheizt haben und die daher Platz für ein Pelletlager haben, wenn der Öltank ausgebaut wird. Bei der Verwendung von Pelletheizungen muss mindestens 15 % des Wärmebedarfs durch Solarthermie gedeckt werden, damit die Förderung über das BEG so hoch wie angenommen möglich ist. Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, ist mit höheren Kosten zu rechnen.

Für alle Wärmepumpenoptionen werden mit den Testreferenzjahren des DWD für den Standort Jahresdauerlinien und Jahresarbeitszahlen für mit passenden Wärmepumpenmodellen bei einer Vorlauftemperatur von 55°C berechnet. Für die Luftwärmepumpe wird mit dem Modell Stiebel Eltron WPL-A 13 HK 400 Premium eine Jahresarbeitszahl von 2,6 erreicht. Bei der Grundwasserwärmepumpe wird das Modell Stiebel Eltron WPE-I 15 HW 230 hinterlegt, was zu einer Jahresarbeitszahl von 3,77 führte. Für Pelletkessel wird ein Wirkungsgrad von 87% angenommen.

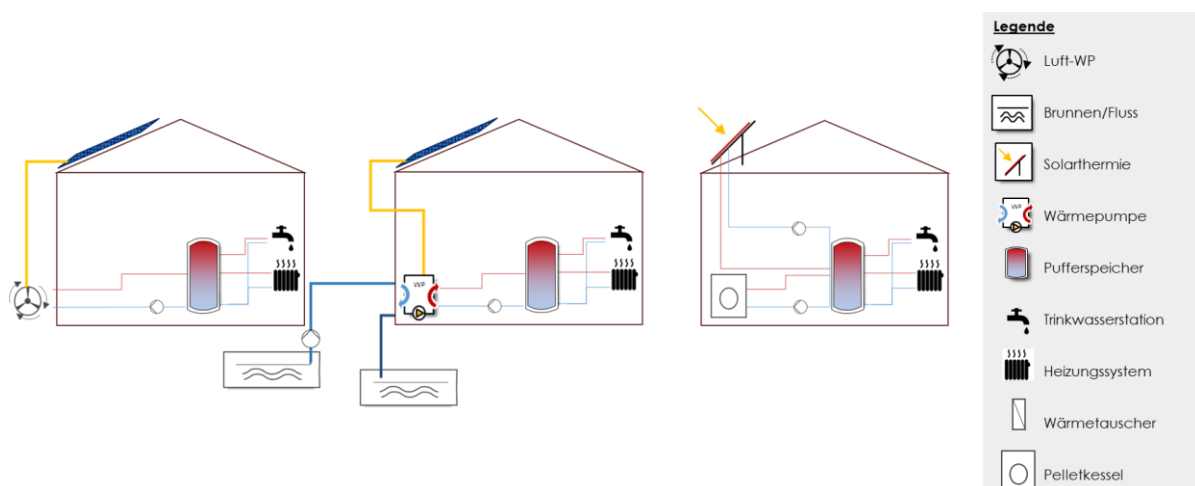


Abbildung 26: Dezentrale Wärmeversorgung; v.l.n.r. Luftwärmepumpe, Grundwasserwärmepumpe und Pelletkessel mit Solarthermie

5.1.2 Variante B: Großes Nahwärmenetz für gesamtes Quartier mit Anschluss aller Gebäude mit Interesse

In dieser Variante werden zwei Alternative Netzauslegungen betrachtet: Ein warmes (B1) und ein kaltes (B2) Nahwärmenetz. Für die Auslegung der Varianten B werden folgende Grundlagen und Annahmen verwendet:

- Alle Häuser, die in der Umfrage Interesse angemeldet haben, werden angeschlossen
- Der Anteil an Trinkwarmwasserbedarf vom gesamten Wärmebedarf beträgt 20 %.
- Die nicht angeschlossenen Gebäude werden wie in Variante A (Einzelheizungen) versorgt

5.1.2.1 Variante B1: Warmes Nahwärmenetz mit zentraler Wärmeversorgung mittels Wasser-Sole-Wärmepumpe und Grundwasserbrunnen

Für die Auslegung des warmen Netzes wurden folgende Grundlagen und Annahmen verwendet:

- Das Netz soll mit einer Vorlauftemperatur von 70 °C betrieben werden
- Es werden Verluste im Netz von 10 % angenommen

In Abbildung 27 sind die Lage des warmen Nahwärmenetzes und die Durchmesser der Leitungen dargestellt.

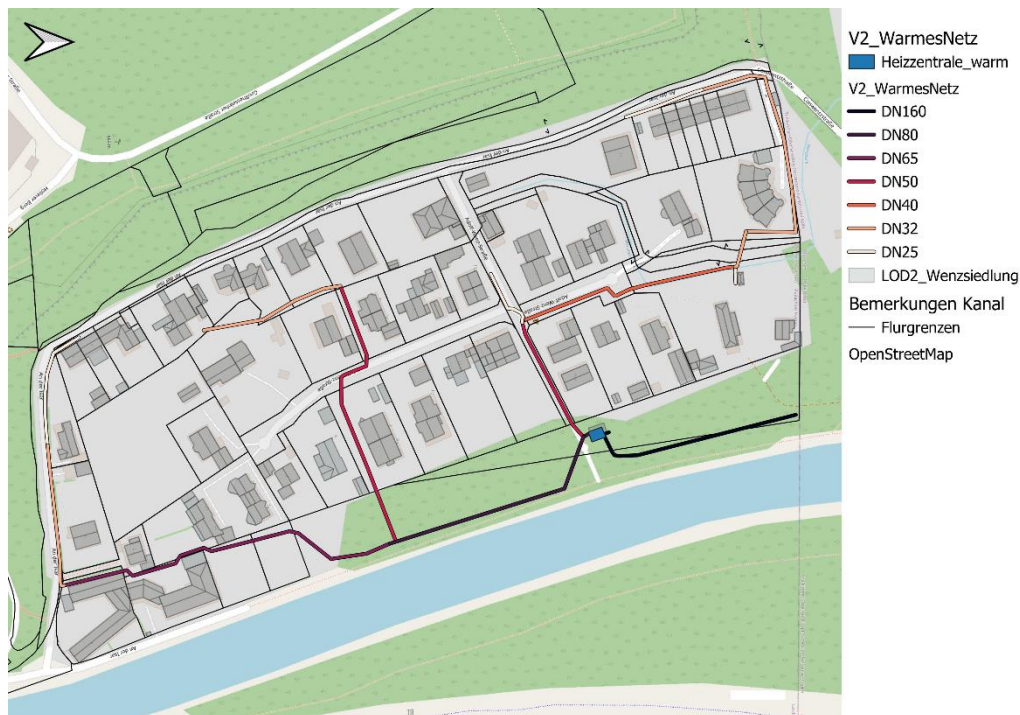


Abbildung 27: Leitungen warmes großes Netz in der Wenzsiedlung

Aus diesen Annahmen hat sich folgendes ergeben: Es werden 30 Gebäude mit Wärme versorgt, die aktuell zusammen einen Wärmebedarf von knapp 900.900 kWh/a haben, da zusätzlich 10% Netzverluste anfallen muss die Wärmepumpe 990.960 kWh/a erzeugen. Dies entspricht bei den vor Ort gemessenen Temperaturen (Datengrundlage Testreferenzjahre des DWD für Pullach) einer (maximalen, gleichzeitigen) Heizlast von ca. von 360 kW. Dabei ist zu beachten das aus dem großen Mehrfamilienhaus unten links (rot eingefärbt) sowohl positive als auch negative Rückmeldungen kamen und es ebenfalls ans Netz angeschlossen wird, obwohl es rot eingefärbt ist.

Die für ein warmes Netz benötigte Heizentrale mit Wärmetauschern, Wärmepumpen und einer Power-to-Heat Einheit für die Sicherstellung der Versorgung bei Ausfall wird an der Stelle des aktuellen Gerätehauses der Feuerwehr geplant. Es werden jeweils zwei Wärmetauscher und zwei Wärmepumpen (je á 150 kW) installiert, um z.B. bei Wartung oder Havarien in einem Anlagenteil immer noch eine Grundleistung sicherstellen zu können. In unmittelbarer Nähe dazu wird der Saugbrunnen installiert, der Schluckbrunnen wird ca. 80 m stromabwärts gebohrt. Die Leitungen werden teilweise durch Gärten und über Grundstücke verlegt, da die Spartenlage in der Wenzsiedlung eine Verlegung von zusätzlichen Leitungen in den Straßen kaum bis nicht zulässt. Wo möglich werden trotzdem Leitungen in den Straßen

verlegt, um möglichst wenig Wegerechte erforderlich zu machen sowie den Einfluss auf vorhandene Bepflanzung gering zu halten. Eine schematische Darstellung des Nahwärmenetzes ist in Abbildung 28 zu sehen. Die Abbildung zeigt beispielhaft, wie eine direkte Versorgung der zentralen Wärmepumpe mit Strom von Photovoltaik-Anlagen auf den Dächern der einzelnen Häuser aussehen könnte, dies ist allerdings ebenfalls aufgrund der Spartenlage schwierig umzusetzen.

Wie für die Einzelheizungen wurde auch hier eine JAZ mithilfe der DWD Daten (TRY2015) und einem passenden Wärmepumpenmodell (Vitocal 350-HT ProTyp BW 353.AHT147) berechnet. Aufgrund der hohen Vorlauftemperatur von 70°C liegt die JAZ voraussichtlich bei 2,6.

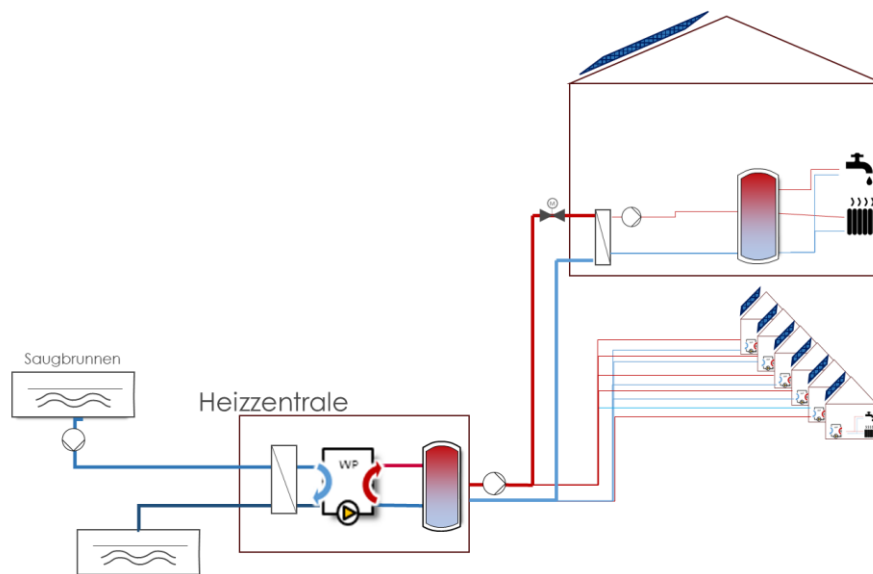


Abbildung 28: Schema Variante B1 (Warmes großes Netz, Grundwasser)

5.1.2.2 Variante B2: Kaltes Nahwärmenetz mit dezentralen Sole-Wärmepumpen und Grundwasserbrunnen

Die Leitungsverlegung in dieser Variante ist grundsätzlich gleich wie in Variante B1, nur dass die Rohre nicht gedämmt werden müssen, aber tendenziell größere Durchmesser aufgrund des höheren benötigten Durchflusses haben. Die „Heizzentrale“ enthält in dieser Variante in erster Linie die Wärmetauscher, die dem Wasser aus dem Saugbrunnen die Wärme entziehen und Pumpen, um die Sole im Netz zu verteilen. Auch hier werden zwei kleinere statt einer größeren Pumpe verbaut, um die Wartung und Ausfallsicherheit zu gewährleisten.

Abbildung 29 zeigt den schematischen Aufbau dieser Variante: Aus einem Grundwasserbrunnen wird Wasser, das über einen Wärmetauscher seine Wärme an eine Sole abgibt, die dann durch die Leitungen zu den Verbrauchern gebracht wird. Dort entziehen dezentrale Wärmepumpen der Sole die Wärme, um heißes Wasser bereitzustellen. Für die Auslegung dieser Variante wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Vorlauftemperatur im Netz ist aufgrund der Wärmequelle Grundwasser konstant bei ca. 8°C angenommen.
- Netzverluste sind nicht zu erwarten.

Wegen der dezentralen Wärmepumpen kann hier eine niedrigere Vorlauftemperatur (55°C) angenommen werden, was mit einer Beispielwärmepumpe (Stiebel Eltron WPE-I 15 HW 230) zu einer Jahresarbeitszahl von 3,77 führt.

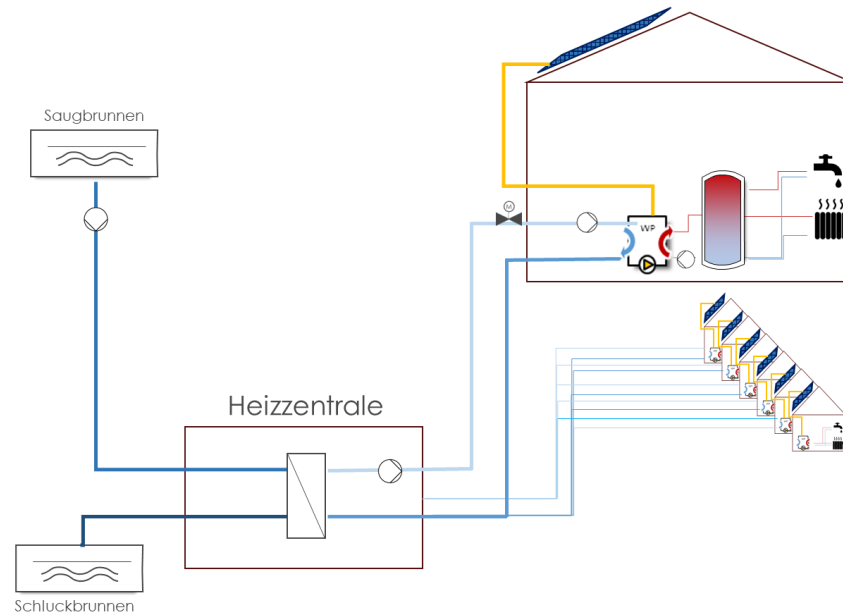


Abbildung 29: Schema Variante B2 (Kaltes großes Netz, Grundwasser)

5.1.3 Variante C: Optimiertes Netz

Es ist zu beachten, dass die optimierte Variante eigentlich aus zwei unabhängigen kalten Netzen besteht, deren Ausführung nicht voneinander abhängt: Ein größeres kaltes Nahwärmenetz mit Isarwerkkanal als Wärmequelle im Süden, und ein kleines Gebäudenetz im Norden mit gemeinsamen Grundwasserbrunnen als Quelle. Für die Auslegung der optimierten Variante werden folgende Annahmen getroffen:

- Isartemperaturverlauf übers Jahr zwischen 3 und 17 °C → variabel Vorlauftemperatur im großen Netz
- Die Interessenten im Süden der Siedlung werden an ein kaltes Nahwärmenetz angeschlossen (19 Gebäude), die Interessenten an der nord-westlichen Ecke der Siedlung werden mit einem kleinen Gebäudenetz versorgt (6 Gebäude)
- Es werden Verluste im Netz von 0 % angenommen
- Der Anteil an Trinkwarmwasserbedarf vom gesamten Wärmebedarf beträgt 20 %.
- Die nicht angeschlossenen Gebäude werden wie in Variante A (Einzelheizungen) versorgt

Abbildung 30 zeigt den Verlauf und die Durchmesser der Leitungen für die kalten Netze. Im Weiteren werden die Netze getrennt beschrieben.



Abbildung 30: Leitungen kalte Netze in der Wenzsiedlung

5.1.3.1 Variante C1: Kaltes Nahwärmenetz am Isarwerkkanal

Die „Heizzentrale“ ist hier etwas weiter südlich gelegen, als in Variante B (großes Nahwärmenetz), um näher an den zu versorgenden Häusern zu sein. Sie enthält in erster Linie die Wärmetauscher, die dem Wasser aus dem Isarwerkkanal die Wärme entziehen und Pumpen, um die Sole im Netz zu verteilen. Auch hier werden zwei kleinere statt einer größeren Pumpe verbaut, um die Wartung und Ausfallsicherheit zu gewährleisten. Das Wasser wird aus dem Isarwerkkanal entnommen und wenige Meter weiter flussabwärts wieder zurückgeführt. Aufgrund der schwankenden Temperaturen wird der Volumenstrom geregelt, so dass vor allem bei niedrigen Wassertemperaturen (unter 3 °C) immer noch genug Wärme entzogen werden kann. Die kalten Vorlauftemperaturen (v.a. im Winter) und die unisolierten Leitungen können dazu beitragen, dass es statt Wärmeverlusten zur Wärmegewinnen entlang der Leitungen kommt und so der hier berechnete Wirkungsgrad sogar noch gesteigert werden kann. Das Netz versorgt insgesamt 19 Gebäude, die einen Jahreswärmebedarf von ca. 712.000 kWh/a haben, was einer maximalen Heizlast von 260 KW entspricht (wiederum ist auch das rotgefärbte Mehrfamilienhaus unten links im Bild angeschlossen). In Abbildung 31 ist der Aufbau des Netzes auch schematisch dargestellt. Alle versorgten Gebäude haben dezentrale Wärmepumpen, die auf 55 °C hochheizen. Für Mehrfamilienhäuser muss mit einer schlechteren JAZ gerechnet werden bzw. eine getrennte/kaskadierte Trinkwassererwärmung vorgesehen werden. Wenn niedrigere Vorlauftemperaturen möglich sind, z.B. in sanierten Einfamilienhäusern, können dafür noch bessere Effizienzen und niedrigere Kosten erreicht werden. Um die Förderung durch das BEW zu ermöglichen, müssen die dezentralen Wärmepumpen im Besitz des Netzbetreibers sein.

Unter Annahme einer Vorlauftemperatur der dezentralen Wärmepumpen von 55 °C und einer Beispielwärmepumpe (Stiebel Eltron WPE-I 15 HW 230) wird hier eine Jahresarbeitszahl von 3,55 erreicht.

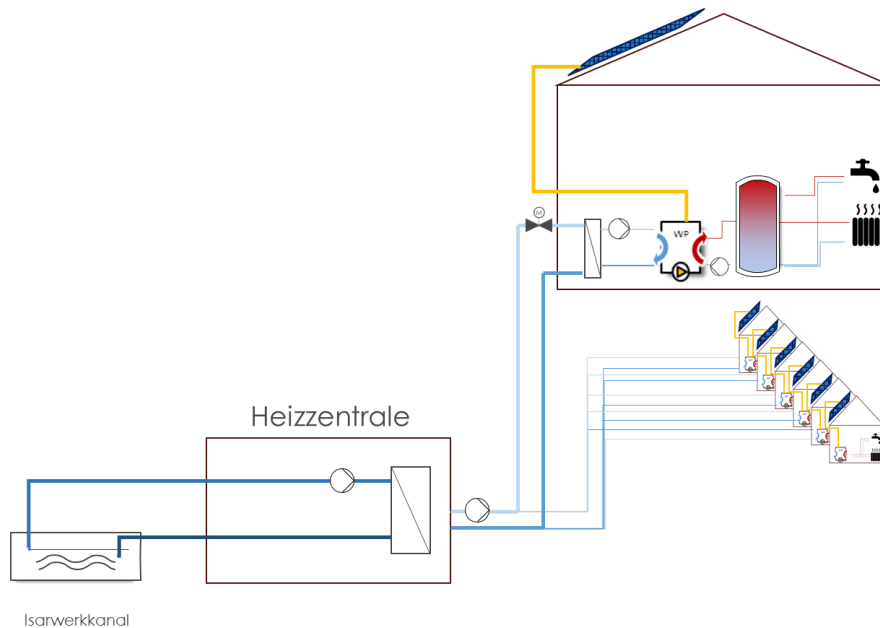


Abbildung 31: Schema Variante C1 (Optimiertes kaltes Netz, Isar)

5.1.3.2 Variante C2: Kaltes Gebäudenetz mit Grundwasser-Wärmepumpen

Dieses Netz stellt ein Beispiel dar, wie sich mehrere Häuser einen gemeinsamen Saugbrunnen teilen könnten. Das Netz befindet sich in der nord-westlichen Ecke der Siedlung und besteht aus zwei Leitungssträngen, die jeweils aus einem gemeinsamen Saugbrunnen Wasser entziehen. Am Ende der Leitungen befindet sich jeweils ein Schluckbrunnen. Abbildung 32 zeigt den schematischen Aufbau des Netzes. Auch hier haben alle Gebäude eine dezentrale Wärmepumpe, die mit 55 °C Vorlauftemperatur in den Gebäuden arbeitet, sodass auch hier die JAZ sich je nach Gebäude verbessern/verschlechtern kann. Insgesamt werden 6 Gebäude versorgt, die zusammen einen Jahreswärmebedarf von 114.000 kWh/a haben. Die Leitungsverlegung erfolgt in der aktuellen Planung in den Straßen, in den Reihenhäusern „An der Isar 15-19“ wäre auch die Verlegung der Leitung durch die Keller denkbar, wenn sich auch Parteien bereiterklären die Leitungen im Haus zu haben, wenn sie selbst keinen Anschluss wünschen.

Wegen der dezentralen Wärmepumpen kann hier eine niedrigere Vorlauftemperatur (55°C) angenommen werden, was mit einer Beispielwärmepumpe (Stiebel Eltron WPE-I 15 HW 230) zu einer Jahresarbeitszahl von 3,77 führt.

Grundsätzlich ergeben sich bei einem so kleinen Netz viele organisatorische Fragestellungen, die aktuell noch nicht geklärt sind, wie z.B. Wer ist der Netzbetreiber? Muss eine eigene GmbH o.ä. gegründet werden?

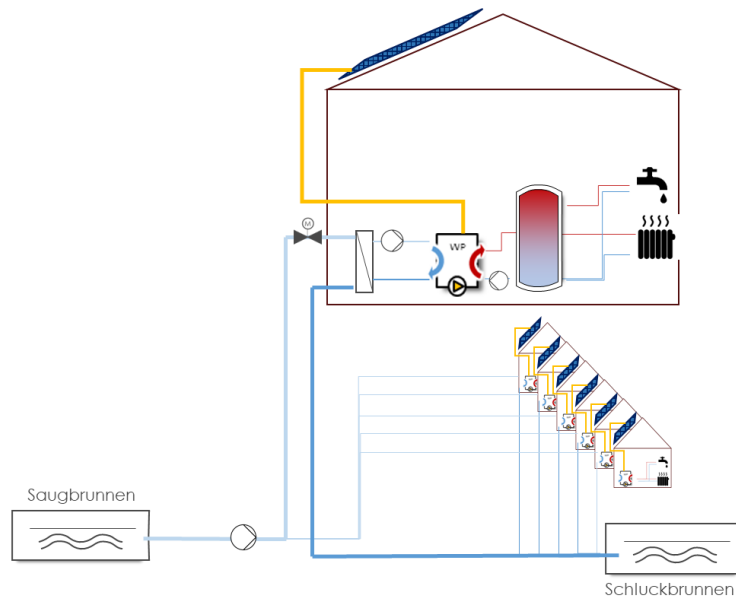


Abbildung 32: Schema Variante C2 (Optimiertes kaltes Netz klein, Grundwasser)

5.2 Zusammenfassung Varianten

Die verschiedenen Varianten sollen vor der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nochmal zusammenfassend dargestellt werden. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Varianten und deren Kennwerte. Außer Variante B1 (Großes Warmes Netz, Grundwasser) haben alle Varianten den gleichen Gesamtwärmebedarf. Der erhöhte Gesamtwärmebedarf im Quartier ergibt sich für das warme Netz aus den 10% Netzverlusten. In Variante B und C haben die Netze den höchsten Anteil an der Wärmeversorgung, während in den anderen Varianten die Luftwärmepumpen den größten Anteil übernehmen. Damit haben die Jahresarbeitszahlen der Luftwärmepumpen und der Netze den größten Einfluss auf die Effizienz der Wärmeversorgung. Für die Luftwärmepumpen wurde im Quartier eine JAZ von 2,6 berechnet, für die Grundwasserwärmepumpen und die Netz-Wärmepumpen in Variante B2 (großes kaltes Netz, Grundwasser) und C2 (optimiertes kaltes Netz (klein), Grundwasser) eine JAZ von 3,7. Für die zentrale Großwärmepumpe in Variante B1 (Großes Warmes Netz, Grundwasser) ist aufgrund der hohen Vorlauftemperaturen im Netz im Vergleich zu den dezentralen Grundwasserwärmepumpen eine niedrigere JAZ von 2,6 errechnet worden. Im kalten Netz mit Isarwerkkanal als Wärmequelle (Variante C1) erreichen die dezentralen Wärmepumpen eine JAZ von 3,55. Diese ist leicht niedriger als die der Grundwasserwärmepumpen aufgrund der niedrigen Temperaturen des Isarwerkkanals im Winter, eventuell könnte dies mit Wärmegegewinnen in den Leitungen im Boden ausgeglichen werden. Um dies abzuschätzen, sind Simulationen notwendig. Abbildung 33 zeigt aus welcher Wärmequelle in den verschiedenen Varianten welcher Anteil des Wärmebedarfs gedeckt wird.

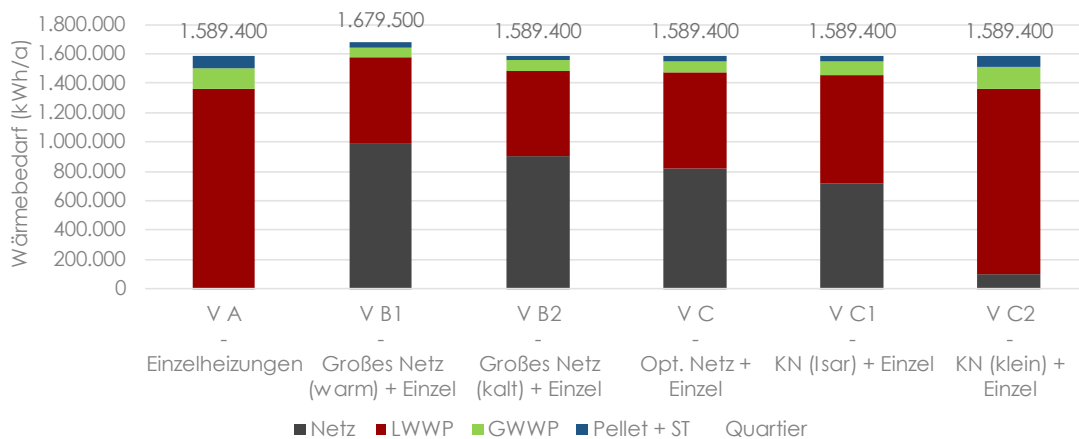
Tabelle 8: Übersicht über Varianten und deren Kennwerte

Variante		Wärmequelle	Standort Wärmepumpe?	JAZ	Vorlauftemperatur (°C)	Leistung	Anzahl Gebäude (bei Netzen)	Wärmebedarf (kWh/a) ¹		
A	Einzelheizungen	LWWP	Luft	dezentral	2,6	55 °C	10-15 kW	85%	1.362.300	
		GWWP	Grundwasser	dezentral	3,7	55 °C	10-15 kW	10%	141.900	
		Pellet-Heizungen		dezentral			10-15 kW	5%	85.100	
B1	Großes Netz	Warm	Grundwasser	zentral	2,6	70 °C	300 kW	30	990.960 ²	
B2		Kalt	Grundwasser	dezentral	3,7	55 °C	10-15 kW	30	900.900	
C ³	C1	Optimiertes Netz	Kalt (Isar)	Isar	dezentral	3,5	55 °C	10-15 kW	19	712.500
	C2		Kaltes Netz (klein)	Grundwasser	dezentral	3,7	55 °C	10-15 kW	6	103.440

¹ Bei Netzen nur Wärmebedarf angeschlossener Häuser (Rest über Einzelheizungen abgedeckt), Variante A Einzelheizungen gesamter Wärmebedarf Quartier auf Heizungsarten aufgeteilt

² inkl. Netzverluste

³ Variante C ist Kombination aus C1 + C2



Varianten	Wärme (inkl. Netzverluste) kWh/a					
	Netz	Rest	LWWP	GWWP	Pellet + ST	Quartier
V A Einzelheizungen	-	1.589.400	1.362.300	141.900	85.100	1.589.400
V B1 Großes Netz (warm) + Einzel	990.960	688.500	585.200	68.900	34.400	1.679.500
V B2 Großes Netz (kalt) + Einzel	900.900	688.500	585.200	68.900	34.400	1.589.400
V C Opt. Netz + Einzel	815.900	773.400	657.400	77.300	38.700	1.589.400
V C1 KN (Isar) + Einzel	712.500	876.900	745.400	87.700	43.800	1.589.400
V C2 KN (klein) + Einzel	103.400	1.485.900	1.263.100	148.600	74.300	1.589.400

Abbildung 33: Deckung der Wärmebedarfe in den Varianten+ Tabellarische Darstellung

5.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

5.3.1 Grundlagen und Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird angelehnt an VDI 2067 mit der Annuitätenmethode durchgeführt. Die Annuitätenmethode ist ein Verfahren zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen, bei dem die gesamten Kosten (Investitions- und Betriebskosten) gleichmäßig über die Nutzungsdauer verteilt werden. Hierbei wird der Kapitalwert in jährliche Raten (Annuitäten) umgerechnet, die Zinsen und Tilgung enthalten. Diese Methode ermöglicht den Vergleich von Projekten mit unterschiedlichen Laufzeiten und Investitionssummen, da die Kosten auf eine einheitliche Zeitbasis umgelegt werden. In der VDI 2067 sind hier für Annahmen zur Lebensdauer einzelner Komponenten sowie zu deren Betriebs- und Wartungskosten hinterlegt, die hier übernommen wurden. Die Annuitätenmethode wird hier über 20 Jahre mit einem Kapitalzinssatz von 4 %/a durchgeführt.

Für die untersuchten Versorgungsvarianten wurden Kapital- (bzw. Anschaffungs-), Verbrauchs- und Wartungs- und Instandhaltungskosten ermittelt und damit die Wärmegestehungskosten berechnet, um einen Vergleich der Varianten zu ermöglichen. Die durchschnittliche Heizlast pro Gebäude beträgt 12 kW, weshalb für die Kosten der Heizungen und Übergabestationen mit einer Leistung von etwa 15 kW kalkuliert wurde, um auch den höheren Kosten für Mehrfamilienhäuser gerecht zu werden.

In die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden bei den Anschaffungskosten aktuelle Förderbedingungen eingerechnet:

- BEW für Variante B (große Netze) und C1 (optimiertes kaltes Netz, Isar) (Förderung für den Neubau von Wärmenetze mit hohen Anteilen erneuerbaren Energien)
- BEG für alle Varianten bei den Einzelheizungen, sowie für das Gebäudenetz von Variante C2 (kaltes kleines Netz, Grundwasser) (KfW Förderung Kauf und Einbau einer klimafreundlichen Heizung → dezentrale Luft- und Grundwasser-Wärmepumpen, Pelletheizung mit Solarthermie und Gebäudenetze)

Bei den Verbrauchskosten, faktisch die Brennstoffkosten bzw. Stromkosten der Wärmepumpen, sind alle Preisangaben Nettoangaben und aus aktuellen Angeboten, Erfahrungswerten und dem Baukostenindex ermittelt. Zu beachten ist, dass sich Brennstoffkosten näherungsweise direkt als Kosten/kWh Wärme verstehen lassen, während Stromkosten zum Betrieb von Wärmepumpen je kWh Strom ca. 3 kWh Wärme liefern, d.h. die Wärmekosten/kWh betragen ca. 1/3 der Stromkosten/kWh.

Für die Häuser, die mit dezentralen Wärmepumpen versorgt werden und nicht an ein Wärmenetz angeschlossen sind, wird ein Eigenverbrauch von PV-Strom von 15 % bei Gestehungskosten von 11 ct/kWh angenommen. Für an Netze angeschlossene Häuser und die Großwärmepumpe des warmen Netzes wird hingegen ein PV-Eigenanteil von 0 % berücksichtigt. Für dezentralen Wärmepumpen wird angenommen, dass diese bereits mit elektrischen Heizstäben ausgestattet sind für die Versorgungssicherheit. Der reguläre Strompreis wird mit 30 ct/kWh angesetzt, während für die Variante B1 (Großes warmes Netz, Grundwasser) als Großabnehmer ein reduzierter Strompreis von 22 ct/kWh gilt. Für beide Strompreise wurde eine jährliche Preissteigerung von 2 % festgelegt. Die Kosten für Pellets wurden von der Webseite des C.A.R.M.E.N. e.V. (Marktpreise Pellets – C.A.R.M.E.N. e.V. (carmen-ev.de)) entnommen und auf 300 €/t bzw. 6 ct/kWh festgesetzt, wobei eine jährliche Preissteigerung von 3,5 % eingeplant wurde. Die resultierenden Kosten für Nahwärme sind hier nur beispielhaft eingefügt und beruhen auf den Berechnungen für das große warme Netz (Variante B1).

Hinweis: Bei den angenommenen Kosten für die Nahwärme handelt es sich nicht um die Wärmegestehungskosten, sondern um den Arbeitspreis, sprich die reinen Verbrauchs- und Betriebskosten. Die Anschaffungskosten müssten über Baukostenzuschüsse, Anschlusskosten und evtl. einen zusätzlichen Grundpreis gedeckt werden.

Tabelle 9 zeigt eine Übersicht über diese Preise und Abbildung 34 die Preisentwicklung. Hier sind auch Gas- und Öl-Preise mit einbezogen, die zur Berechnung der Bestandsvarianten bei den Typgebäuden benötigt werden. Die Preissteigerungen enthalten für Öl und Gas sowohl die Inflation als auch CO₂-Preise und die Pflicht zu einem steigenden Anteil an Bioheizöl/Biogas nach GEG-Anforderung. Hier ist ab 2029, 2035 und 2040 mit höheren Preisen zum Erreichen des Anteils an 65% erneuerbare Energien durch den Zukauf von Biogas/Bioheizöl zu rechnen.

Tabelle 9: Übersicht über Energiekosten Ansätze

	Aktueller Preis (ct/kWh)	Preissteigerung pro Jahr
Strom (normal)	0,30	2%
Strom (Großabnehmer)	0,22	2%
Pellet	0,06	3,5%
Nahwärme	0,11	3,5%
Gas	0,10	6,5%
Öl	0,10	7,5%

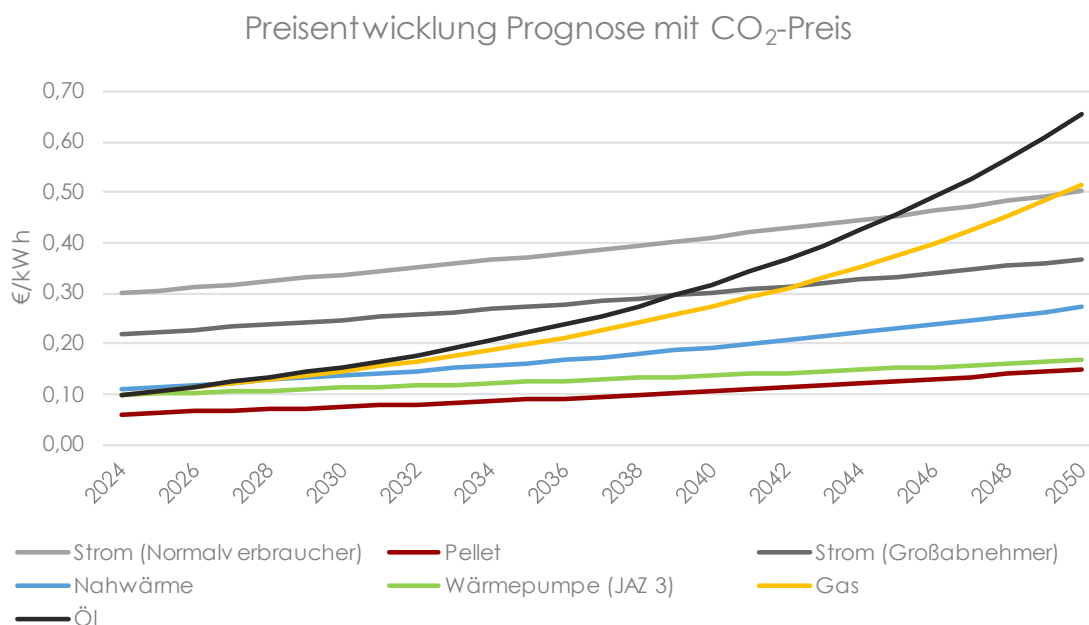


Abbildung 34: Darstellung der Preisentwicklung mit CO₂ Preis

Jährliche Versicherungskosten für Energieanlagen wurden für die beiden großen Netze bei 0,25% der Investitionskosten angenommen. Bei der Berechnung der Gestehungskosten der Netze wurden die Kosten auf die gelieferte Wärmemenge bezogen (nicht auf die hergestellte Wärmemenge wegen der Netzverluste), um die Vergleichbarkeit auf Verbraucherseite zu gewährleisten.

5.3.2 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

5.3.2.1 Investitionskosten

Die verschiedenen Anlagenteile wurden in Anlagen zur Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeübergabe aufgeteilt und die Investitionskosten summiert. Tabelle 10 zeigt die verschiedenen Posten und deren Investitionskosten für die verschiedenen Varianten.

Tabelle 10: Annahme zu Investitionskosten, Nutzungsdauer und Anteile Instandsetzung und Wartung und Inspektion nach VDI 2067

	Einzelkosten	Nutzungsdauer	Anteil Instandsetzung	Anteil Wartung und Inspektion	Warmes Netz (B1)			Kaltes Netz (groß - GW) (B2)			Kaltes Netz (Isar) opt.(C1)			Kaltes Netz (klein) (C2)			Einzelheizungen (A)		
					Anzahl	Gesamtkosten	Förderung	Anzahl	Gesamtkosten	Förderung	Anzahl	Gesamtkosten	Förderung	Anzahl	Gesamtkosten	Förderung	Anzahl	Gesamtkosten	Förderung
Wärmeerzeugung					1.010.800			1.096.800			821.900			205.400			1.796.100		
WT Fluss	140.000	20	2%	0%	0			0	0	0	2	280.000	112000	0	0	0	0	0	0
Bohrung + Anlegen Grundwasserbrunnen (Saug- und Schluckbrunnen)	abh. Von Netz	50	1%	1%	1	268.800	107.520	1	268.800	0	0	0	0	1,5	84.100	35.310	0	0	0
Leitung von Brunnen zur Heizzentrale (Rohre)	abh. Von Netz	40	1%	0%	1	13.900	5.560	1	13.900	5.560	1	7.700	3.080	0	0	0	0	0	0
Leitung von Brunnen zur Heizzentrale (Tiefbau)	abh. Von Netz	40			1	51.100	20.440	1	51.100	20.440	1	15.500	6.200	0	0	0	0	0	0
Pumpen (zwischen WT & WP, zwischen WP Pufferspeicher)	abh. Von Netz	10	2%	1%	4	36.000	14.400	2	18.000	7.200	2	18.000	7.200	1	5.500	0	0	0	0
Plattenwärmetauscher Heizzentrale	16.000	20	2%	0%	2	32.000	12.800	2	32.000	12.800	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Großwärmepumpe	130.000	20	1%	2%	2	260.000	104.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pufferspeicher (zentral)	19.000	20	1%	1%	1	19.000	7.600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizzentrale Verrohrung/Hydraulik	abh. Von Netz	40	1%	0%	1	40.000	16.000	1	16.000	6.400	1	16.000	6.400	0	0	0	0	0	0
Heizzentrale Armaturen	0,5	20	2%	1%	1	20.000	8.000	1	8.000	3.200	1	8.000	3.200	0	0	0	0	0	0
Heizzentrale Gebäude	abh. Von Netz	50	1%	1%	1	150.000	60.000	1	70.000	28.000	1	70.000	28.000	0	0	0	0	0	0
Elektroanschluss Heizzentrale	abh. Von Netz	15	10%	0%	1	70.000	28.000	1	40.000	16.000	1	40.000	16.000	0	0	0	0	0	0
Dezentrale Wasser-Wärmepumpe	19.300	20	1%	2%	0	0	0	30	579.000	231.600	19	366.700	146.680	6	115.800	10.615	0	0	0
Dezentrale Luftwärmepumpe	28.900	18	1%	2%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	1.387.200	762.960
Dezentrale Grundwasser-Wärmepumpe + Bohrung	49.500	20	1%	2%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	247.500	82.500
Pelletkessel + Lager+ Kamin+ Fördersystem	46.600	15	3%	3%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	139.800	45.000
Solarthermie (8m2)	7.200	18	1%	1%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	21.600	0
2. Wärmeerzeugung (Versorgungssicherheit) (P2H-Modul)	50.000	20	1%	2%	1	50.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

					Warmes Netz (B1)			Kaltes Netz (groß - GW) (B2)			Kaltes Netz (Isar) opt.(C1)			Kaltes Netz (klein) (C2)			Einzelheizungen (A)		
	Einzelkosten	Nutzungsdauer	Anteil Instandsetzung	Anteil Wartung und Inspektion	Anzahl	Gesamtkosten	Förderung	Anzahl	Gesamtkosten	Förderung	Anzahl	Gesamtkosten	Förderung	Anzahl	Gesamtkosten	Förderung	Anzahl	Gesamtkosten	Förderung
					Wärmeverteilung						1.095.300			1.030.400			574.100		
Netzbau (Rohre)	abh. Von Netz	40	1%	0%	1	123.600	49.440	0	1.030.400	0	1	61.600	24.640	1	4.500		0	0	0
Netzbau (Tiefbau)	abh. Von Netz	40			1	780.700	312.280	1	818.800	327.520	1	414.100	165.640	1	147.900		0	0	0
Druckhaltung	abh. Von Netz	15	1%	1%	1	50.000	20.000	1	20.000	8.000	1	20.000	8.000	0	0		0	0	0
Pumpen Netz	9.000	10	2%	1%	2	18.000	7.200	2	18.000	7.200	2	18.000	7.200	0	0		0	0	0
MSR übergeordnet	abh. Von Netz	12,15	10%	2%	1	123.000	49.200	1	78.000	31.200	1	60.400	24.160	1	10.500		0	0	0
Wärmeübergabe						402.100			451.900			289.800			90.700			572.500	
Hausanschluss (Rohre) Sticleitungen	abh. Von Netz	40	1%	0%	1	22.300	8.920	1	7.000	2.800	1	5.900	2.360	1	1.800		0	0	0
Hausanschluss (Tiefbau) Sticleitungen	abh. Von Netz	40			1	112.800	45.120	1	57.900	23.160	1	36.300		1	11.500		0	0	0
Hausanschluss (Abdichtungen+weitere Arbeiten)	1.000	20	2%	1%	30	30.000	12.000	30	30.000	12.000	19	19.000	7.600	6	6.000		0	0	0
Wärmetauscher	2.000	20	2%	1%	30	60.000	24.000	0	0	0	0						0	0	0
Kugelhahn und Wärmemengenzähler/Durchflusszähler (Belimo)	1.400	20	2%	1%	30	42.000	16.800	30	42.000	16.800	19	26.600	10.640	6	8.400		0	0	0
Pufferspeicher (dezentral)	4.500	20	1%	1%	30	135.000	0	30	135.000	0	19	85.500	0	6	27.000	0	56	252.000	0
Heizkörperaustausch	3.500	40	1%	0%	0	0	0	30	105.000	0	19	66.500		6	21.000		53	185.500	0
Elektroanpassungen Gebäude (50%)	5.000	10	2%	2%	0	0	0	15	75.000	0	10	50.000		3	15.000		27	135.000	0
Zwischensumme						2.508.200	929.280		2.579.100	798.120		1.685.800	579.000		459.000	87.420		2.368.600	890.460
Planungskosten Gesamt	abh. Von Netz	20			20%	501.640		20%	515.820	0	20%	337.160		15%	68.850	30.000	5%	118.430	
Planungskosten LPH 1-4						150.492	75.246		154.746	77.373	0	101.148	50.574						
Rest Planungskosten						351.148	140.459		361.074	144.430	0	236.012	94.405						
Gesamtkosten						3.009.840	1.144.985		3.094.920	1.019.923		2.022.960	723.979		527.850	87.420		2.487.030	890.460

Die entsprechenden Werte und Anteil an Förderung sind in Abbildung 35 dargestellt. Die Investitionskosten für die Netzvarianten sind jeweils deutlich höher (13-100 % mehr) als die für dezentrale Einzelheizungen, natürlich sind dementsprechend auch die absoluten Förderungen für dezentrale Lösungen geringer. In diesen Vergleich fallen zudem keine Betriebskosten für Wartung und Instandhaltung oder Energiekosten ins Gewicht. Dies wird im Folgenden betrachtet.

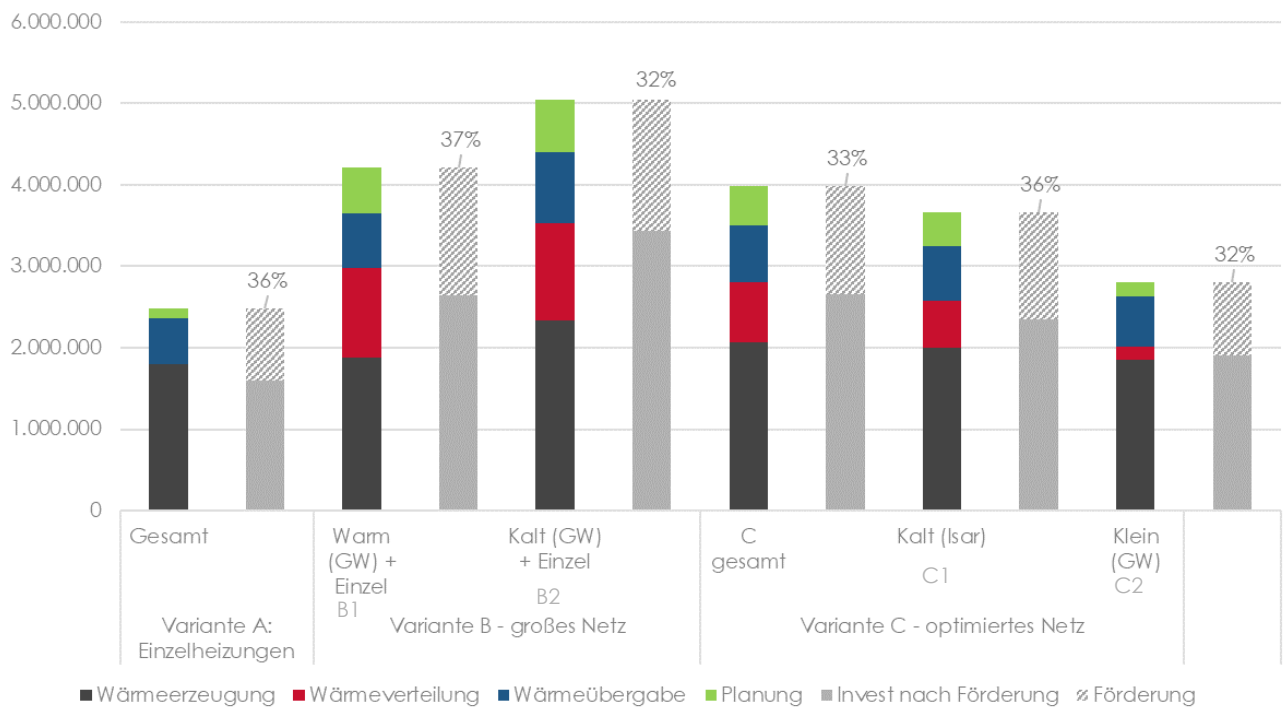


Abbildung 35: Investitionskosten mit und ohne Förderung, aufgeteilt in Kosten für Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeübergabe

5.3.2.2 Jährliche Kosten

Die Betriebs- und Energiekosten wurden in Abhängigkeit von angenommenen Preissteigerungen pro Jahr berechnet und sind in Abbildung 36 dargestellt. Die Annahmen für Nutzungszeit und jährlichen Betriebskosten sind nach VDI 2067 berechnet. Hier ist hervorzuheben, dass die Betriebskostenförderung durch BEW Modul 4 nur für das warme Netz angewandt werden kann. Die niedrigsten Kosten hat hier Variante C1: Kalt (Isar) (371.300 €/a): insgesamt 1.400 €/a weniger, als die zweitgünstigste Option der Einzelheizungen. Die großen Netzvarianten (B1 & B2) sind auch jährlich die teuerste Option (bis zu 33 % mehr als günstigste Variante). Im nächsten Schritt werden diese Kosten nun auf den jährlichen Wärmebedarf bezogen, um einen einfachen Vergleich zu ermöglichen, der auch die Effizienzen der verschiedenen Optionen einbezieht.

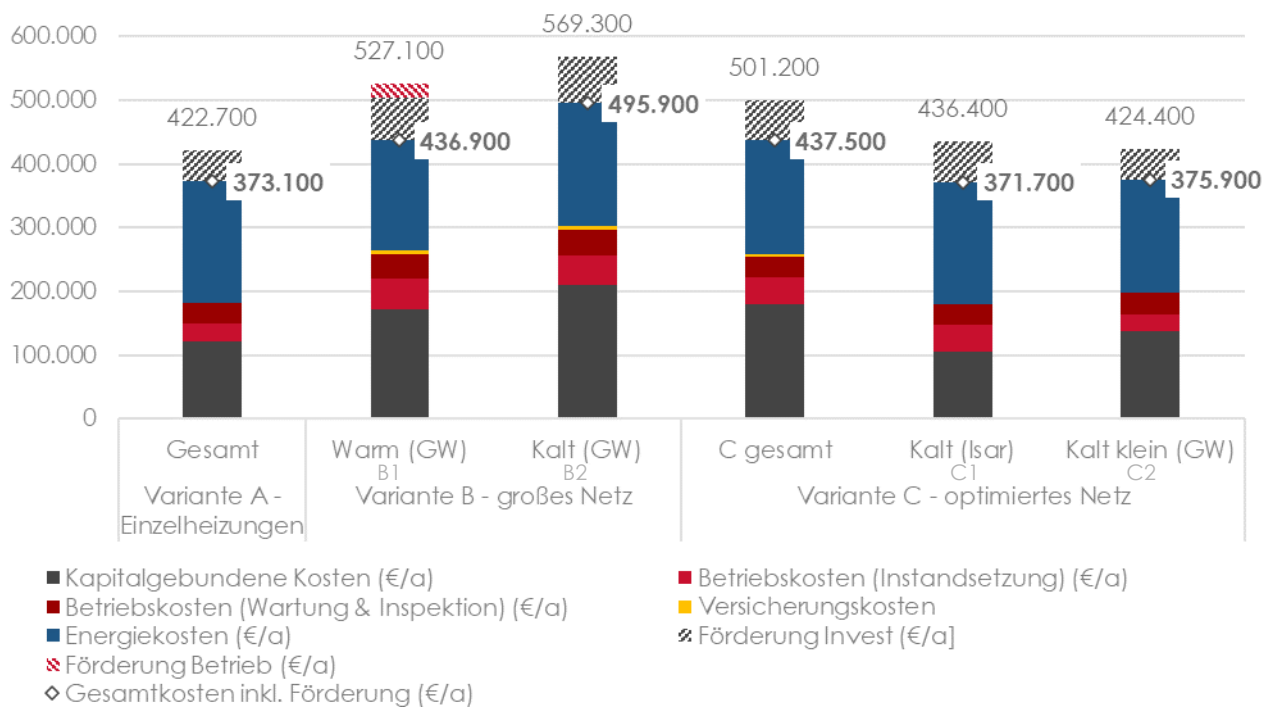


Abbildung 36: Jährliche Kosten (Berechnet mit Annuitätenmethode über 20 Jahre und 4 % Zinsen) – nicht angeschlossene Gebäude mit Einzelheizungen versorgt

5.3.2.3 Gesteungskosten

Um einen Vergleich nach Kosten pro verbrauchte kWh zu ermöglichen, wurden aus diesen Kosten die Gesteungskosten berechnet. Hier wurden bei den Netzvarianten lediglich die Kosten für die Netze herangezogen und die Einzelheizungen in die verschiedenen Heizungsarten aufgeteilt. Die so errechneten die Gesteungskosten, die in Abbildung 37 dargestellt werden, zeigen die Kosten pro kWh für Anschlussnehmer an Netzen bzw. Häuser, die sich die entsprechende dezentrale Heizung einbauen. Zusätzlich sind die Gesteungskosten für eine Gasheizung aufgezeigt. Die Luftwärmepumpe ist damit mit 23 ct/kWh die günstigste Variante zur Wärmeversorgung, wobei die kalten Netze und Grundwasserwärmepumpen nicht weit (3-4 ct/kWh mehr) davon entfernt sind. Bezüglich der Unterscheidung zwischen Variante B1 und B2, fällt auf, dass B2 zwar höhere Investitionskosten hat, was in der großen Anzahl an dezentralen Wärmepumpen begründet ist, diese aber in den Gesteungskosten kaum mehr ersichtlich ist, da die Mehrkosten, über die Effizienz ausgeglichen werden. Die Quellerschließung Grundwasser oder Isar würde sich nur wenig auf einen Unterschied in den Kapitalkosten auswirken. Natürlich beruht diese Berechnung auf Vereinfachung und die Kosten für ein spezifisches Haus könnten abhängig von notwendiger Vorlauftemperatur und Heizleistung größer oder kleiner sein.

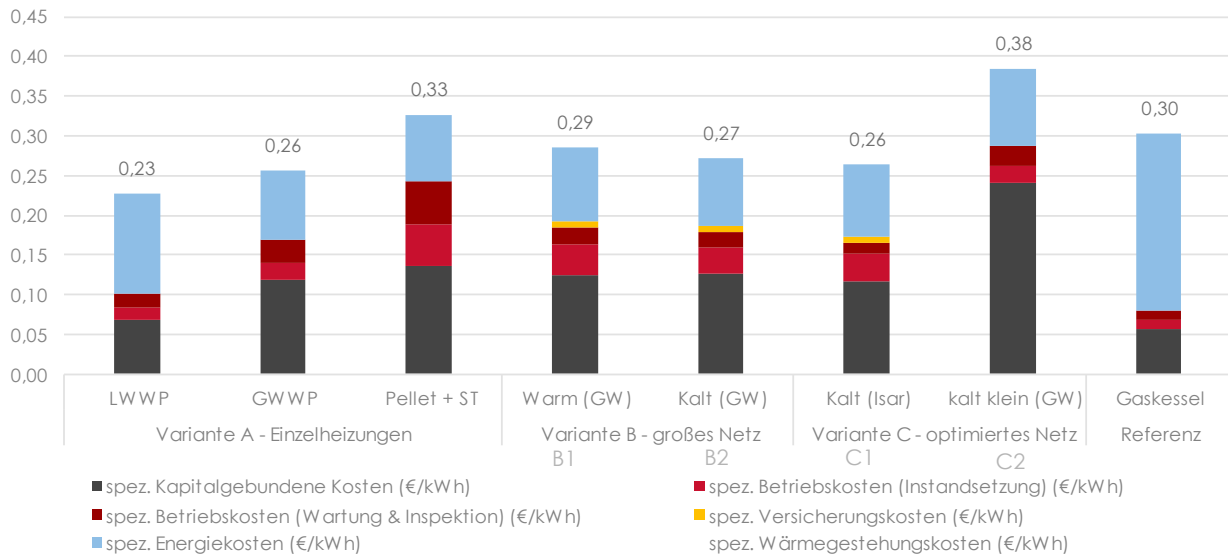


Abbildung 37: Spezifische Gestehungskosten pro kWh für Netze und Einzelheizungen

Besonders auffällig sind die hohen Kosten der Variante C2 (kaltes Gebäudenetz, Grundwasser), weswegen sie noch genauer untersucht wurde.




5.3.2.4 Sensitivitätsanalyse Anschlussquote am Beispiel von Variante C2

Die hohen Gestehungskosten für Variante C2 (kaltes Gebäudenetz, klein, Grundwasser) sind in der hohen Leitungslänge bei wenigen angeschlossenen Gebäuden begründet. Aus dem Vierer-Reihenhausblock „An der Isar 22-22c“ wird nur ein Haus angeschlossen, für das aber eine Leitung von 42 m gelegt wird. Für diese Variante wurde daher eine Sensitivitätsanalyse (siehe Tabelle 11) für 3 Fälle durchgeführt:

- Der Reihenhausblock „An der Isar 22-22c“ wird nicht angeschlossen
- Nur eins der Häuser aus Reihenhausblock „An der Isar 22-22c“ wird angeschlossen (aktuell Variante C2)
- Der Reihenhausblock „An der Isar 22-22c“ wird komplett angeschlossen

Das zeigt, dass vor allem eine höhere Anschlussquote die Kosten deutlich senken kann. Der Anschluss von 3 Gebäuden mehr an die bestehende Leitung senkt die Kosten um 20% von 34 ct/kWh auf 28 ct/kWh.

Tabelle 11: Sensitivitätsanalyse Variante C2

	- 1 Gebäude	Kaltes Gebäudenetz (C2)	+ 3 Gebäude
Anzahl Gebäude	5	6	9
Heizwärmebedarf	78.983 kWh/a (-24%)	103.435 kWh/a	180.866 kWh/a (+75%)
Hausanschlussleitung	1 x 8 m weniger - 1965 € (-15%)		3 x 8 m mehr + 5895 € (+44%)
Netzleitung	Leitung 13 (DN 50) nicht mehr nötig - 52.242 € (-34%)		Leitung 13 größer (DN50 zu DN75) + 700 € (+0.5%)
Brunnen	1 Förder-, 1 Schluck- (-36%)	1 Förder-, 2 Schluck-	1 Förder-, 2 Schluck- (+/-0%)
Gestehungskosten	0,34 €/kWh	0,35 €/kWh	0,28 €/kWh
Angeschlossene Häuser mit "x" gekennzeichnet			

5.4 Abschätzung Primärenergiefaktoren und CO₂-Emissionen

Für die untersuchten Varianten wurden die Primärenergiefaktoren und CO₂-Emissionen ermittelt und untereinander und mit den Ergebnissen aus dem Status quo der Bestandsanalyse gegenübergestellt.

5.4.1 Emissionsfaktoren

Als Grundlage für die Varianten werden die in Abbildung 38 dargestellten CO₂-Emissionsfaktoren für die in der Wenzsiedlung auftretenden Endenergeträger verwendet. Diese beruhen für Erdgas, Erdöl, Holz/Pellets und Biogas auf den Emissionsfaktoren aus GEG Anlage 9 und für die Entwicklung des Strommixes auf einer Publikation des IINAS aus dem Jahr 2022 ([IINAS_2023_KEV_THG_Strom-2022_2030-2050.pdf](#)). Für diese Werte wird angenommen, dass die aktuellen Ausbauziele für erneuerbare Energien erreicht werden.

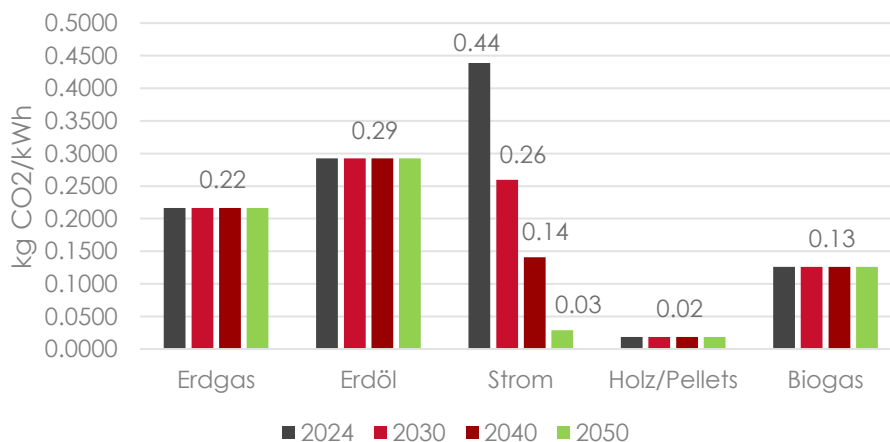


Abbildung 38: CO₂-Emissionen der Energieträger

5.4.2 Primärenergiefaktoren

Für die Primärenergiefaktoren werden ebenfalls die Werte aus dem GEG zugrunde gelegt, die in Tabelle 12 zu sehen sind. Dabei kann der hohe Primärenergiefaktor für Strom erstmal zu einer Verschlechterung bei einem Umstieg auf Wärmepumpen führen, sofern diese nicht hauptsächlich aus PV-Strom vor Ort betrieben werden.

Tabelle 12: Primärenergiefaktoren gemäß GEG

Primärenergiefaktoren gemäß GEG	
Erdgas	1,1
Erdöl	1,1
Strom	1,8
Holz/Pellets	0,2
Biogas	1,1
Strom (gebäudenah, PV/Windkraft)	0
Zentrale WP (groß)	1,2

5.4.3 Vergleich der Varianten mit dem Ist-Zustand

Bei der Verwendung von Wärmepumpen hat vor allem die Entwicklung der CO₂-Emissionen des aktuellen Strommixes und der Anteil an eigen erzeugtem PV-Strom eine Auswirkung, sowie die verschiedenen Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen:

- der Großwärmepumpe des großen warmen Netzes (B1: 2,6),
- der dezentralen Wärmepumpen des großen kalten Netzes (B2: 3,7)
- der dezentralen Wärmepumpen des optimierten kalten Netzes am Isarwerkkanal (C1: 3,5),
- der Grundwasserwärmepumpen (VA: 3,7) und
- der Luftwärmepumpen (VA: 2,6).

Abbildung 39 zeigt den Verlauf der CO₂-Emissionen in t_{CO2}/Jahr für die verschiedenen Varianten bis ins Jahr 2050. Der Knick in den Emissionen um das Jahr 2030 ergibt sich aus der Annahme der IINAS, dass ab diesem Jahr die Emissionen des Stroms langsamer sinken. Zudem ist das Klimaneutralitätsziel der Gemeinde Pullach im Jahr 2040 markiert. Alle Varianten zeigen von Anfang an eine deutliche Verbesserung im Vergleich zum aktuellen Bestand). Im Jahr 2050 sind alle Varianten unter 20 t/a angekommen. Keine der Varianten erreicht Klimaneutralität im Jahr 2040, so dass hier weitere Ausgleichsmaßnahmen zur Erreichung dieses Ziels notwendig wären. Abbildung 40 zeigt die Emissionen der Varianten zusätzlich kumuliert bis 2050. Dies verdeutlicht vor allem, was die leicht höheren Emissionen pro Jahr bei Variante B1 (Großes warmes Netz) über die Zeit ausmachen. Für die Variante A, B2, C, C1 und C2 ergeben sich nur sehr geringe Unterschiede. Variante B2 (Großes kaltes Netz) erweist sich hier als die ökologischste Option aufgrund der hohen Anschlussquote, während Variante B1 50% mehr Emissionen ausstößt, was in der hohen Vorlauftemperatur im Netz (schlechtere JAZ) und den Wärmeverlusten begründet ist. Variante A (Einzelheizungen) hat nur 5 % mehr Emissionen als Variante B2. Dieser Unterschied könnte durch eine schnellere Umsetzbarkeit der Einzelheizungen (kontinuierlich nach und nach) im Vergleich zum Netzausbau (2-5 Jahre) eingeholt werden.

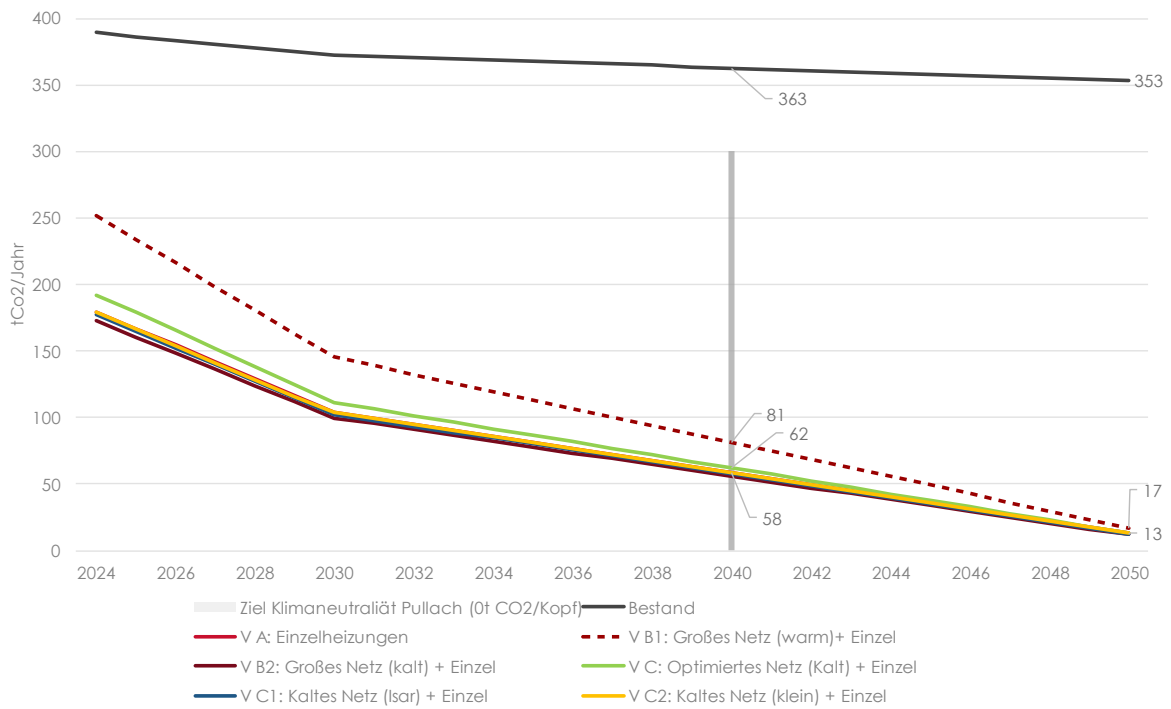


Abbildung 39: CO₂-Emissionen in tCO₂/Jahr für die verschiedenen Varianten.

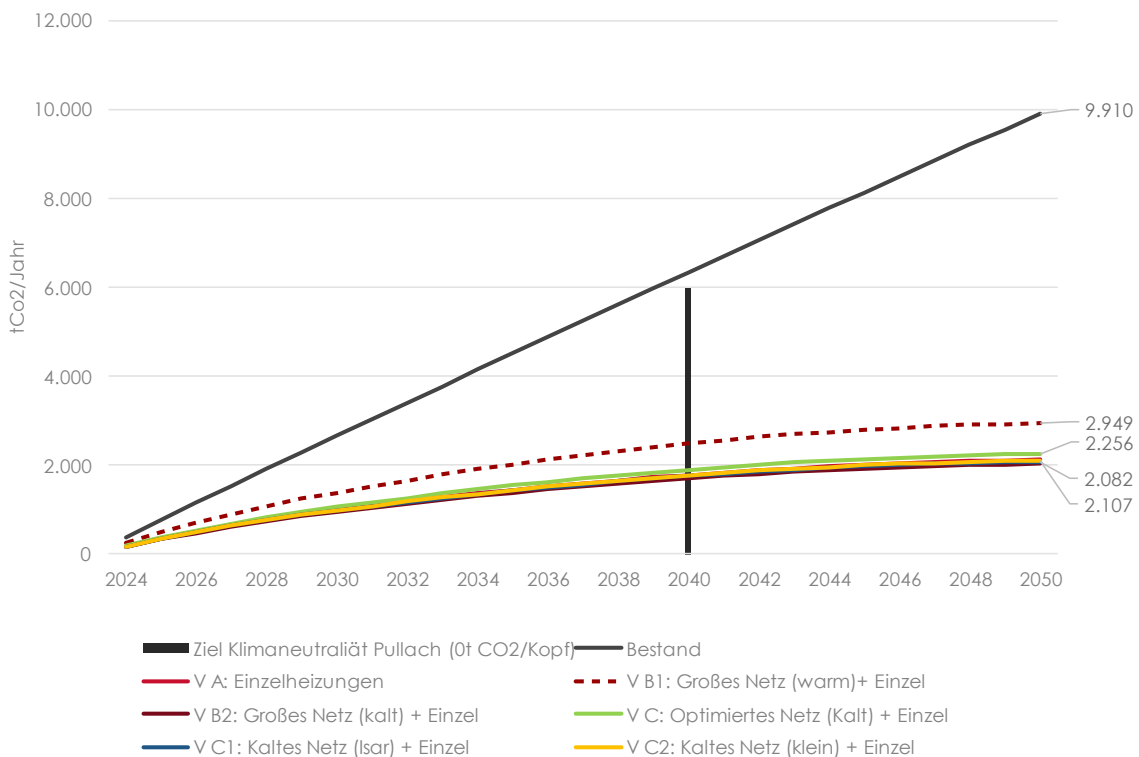


Abbildung 40: Kumulierte CO₂-Emissionen bis ins Jahr 2050 für die verschiedenen Varianten

5.5 Auswahlempfehlung Varianten

Technisch sind alle untersuchten Varianten zur Wärmeversorgung in der Adolf-Wenz-Siedlung umsetzbar. Kalte Netze und dezentrale Wärmepumpen, insbesondere Grundwasserwärmepumpen, zeichnen sich durch eine leicht höhere Effizienz aus, da sie geringere Wärmeverluste aufweisen und die Vorlauftemperaturen je Gebäude optimiert werden können (z.B. 55°C statt 70°C). Die Jahresarbeitszahl (JAZ) liegt bei kalten Netzen und Grundwasserwärmepumpen bei 3,5 bis 3,7, während sie bei warmen Netzen bei 2,6 liegt.

Alle Netzvarianten unterliegen in der **Umsetzung** größeren Unsicherheiten, einerseits aufgrund der Notwendigkeit einer hohen Anschlussquote, andererseits aufgrund der engen Spartenlage in den Straßen: viele Grundstückeigentümer müssten ein Wegerecht einräumen. Diese Abhängigkeit von einzelnen kann eine große Herausforderung darstellen.

Wirtschaftlich betrachtet erweist sich die dezentrale Luftwärmepumpe als die günstigste Option. Mit Kosten von etwa 23 ct/kWh liegen sie unter allen anderen untersuchten Optionen. Grundwasserwärmepumpen und kalte Netze sind nur geringfügig teurer, mit etwa 3 bis 4 ct/kWh Mehrkosten. Alle Wärmepumpenlösungen profitieren stark von den aktuell geltenden Fördermitteln, die 30 bis 55 % der Investitionskosten decken können. Das warme Netz (0,29 ct/kWh) sowie Pelletheizungen (0,33 ct/kWh) sind am unwirtschaftlichsten. Die Umsetzung eines Gebäudenetzes (Variante C2) ist stark abhängig von der jeweiligen Umsetzung und Anschlussquote, wie die Sensitivitätsanalyse gezeigt hat.

Mit der aktuellen Bewertung und in Rücksprache mit IEP und Gemeinde scheint eine Netzlösung nicht sinnvoll und mit hohen Unsicherheiten in der Umsetzung verbunden. Daher wird empfohlen den Fokus auf Sanierung und Ausstattung der Gebäude mit dezentralen Lösungen zu legen, besonders mit Luft- und Grundwasser-Wärmepumpen.

5.6 Nachträgliche Erwägung: Nutzung Wenzbach und Rücksprache WWA

Nach der Untersuchung verschiedener Varianten und der Empfehlung gegen eine zentrale Netzlösung wurde in der Öffentlichkeitsveranstaltung die Nutzung des Wenzbachs in der Wenzsiedlung als Wärmequelle diskutiert.

Grundsätzlich gilt es bei der Nutzung von Oberflächengewässern die Auswirkungen gering zu halten. Einen Leitfaden gibt dabei das Hinweisblatt des WWA Deggendorf ([Link](#)). Unter anderem sind dort folgende Anforderungen/Einschränkungen aufgelistet:

- Bezüglich Temperaturänderung kann in erster Näherung eine Abweichung von 1 K gegenüber unbelastetem Zustand als unwesentlich betrachtet werden
- Gewässerstruktur darf nicht beeinträchtigt werden
- Wasserabfluss darf nicht behindert werden
- Bestehende Nutzung darf nicht beeinträchtigt werden
- Gewässerschutz: darf nicht nachteilig verändert werden
- Sicherheitseinrichtungen bei wassergefährdenden Wärmeträgermedien
- Alternativen sind zu prüfen

Folgende Daten wurden als Grundlage für die Abschätzung der möglichen Entzugsleistung genutzt:

- Der Wenzbach wird aus den Isarhangquellen gespeist und führt konstant 25 l/s.
- Die Temperatur der Quellen liegt bei 8-9 °C, mit der Annahme, dass der Wenzbach über das Jahr eine ungefähr gleichbleibende Temperatur hat.

Damit wurden beruhend auf der aktuellen Studie der FfE (FfE - Bayern heizt künftig auch mit Wärme aus dem Fluss - FfE) mögliche Entzugsleistungen und die dadurch erfolgende Abkühlung des Wenzbachs ermittelt. Dies ist in Tabelle 13 dargestellt. Die maximale Entnahmelistung wird somit auf ca. 41 kW abgeschätzt. In der Annahme einer JAZ von 3,6 können damit mit einer Wärmepumpe ca. 58 kW Wärmeleistung erreicht werden, was ungefähr einen Anschluss von 2-5 Gebäuden je nach Größe und Heizlast ermöglichen könnte.

Tabelle 13: Entnahmelistung in Abhängigkeit von Entnahmeanteil und Abkühlung des genutzten Wassers. Farbliche Markierung zeigt Abkühlung des Wenzbachs

Entnahmelistung (kW)	Entnahmeanteil (l/s)							
	0,25	0,5	1,25	2,5	5	12,5	25	
	Entnahmeanteil (%)							
	1	2	5	10	20	50	100	
DeltaT (K) Genutztes Wasser	1	1,0	2,1	5,2	10,5	20,9	52,3	104,6
	2	2,1	4,2	10,5	20,9	41,9	104,6	209,3
	3	3,1	6,3	15,7	31,4	62,8	156,9	313,9
	4	4,2	8,4	20,9	41,9	83,7	209,3	418,5
	5	5,2	10,5	26,2	52,3	104,6	261,6	523,1
	6	6,3	12,6	31,4	62,8	125,6	313,9	627,8

Abkühlung Wenzbach:
 Grün < 0,5 K Abkühlung, Orange 0,5 bis 1 K Abkühlung, Rot > 1 K Abkühlung

Das Wasserwirtschaftsamt stimmt den als grün markierten Bereichen zu und schätzt die Nutzung als genehmigungsfähig ein. Eine zusätzliche Beurteilung durch einen Biologen könnte erforderlich sein. Bei der Nutzung muss jedoch sichergestellt werden, dass der Wasserfluss im Wenzbach vor und nach der Wärmeentnahme nicht spürbar reduziert wird. Aus diesem Grund wird eine zentrale Entnahme der Wärme und eine Verteilung über eine Soleleitung bevorzugt, da dies die Genehmigung vereinfachen könnte (nur eine Genehmigung notwendig). Bei Einzelentnahmen müssten für jede Einleitung in den Bach separate Genehmigungen eingeholt werden. Zuständig für diese Genehmigungen ist das Landratsamt. Weiterhin hat das WWA darauf hingewiesen, dass der Wenzbach bereits genutzt wird, um den (abgekühlten) Rücklauf von min. einer Grundwasserwärmepumpe einzuleiten, so dass die Nutzung dahinter eventuell davon beeinflusst werden könnte.

Einschätzung TFT: Kurzzeitige Entnahmespitzen (über 100 kW) könnten technisch auch abgefangen werden und damit genehmigungsfähig sein, da beim Anschluss mehrere Gebäude nicht von einer 100%igen Gleichzeitigkeit ausgegangen werden kann und sich dies nur auf sehr wenige Stunden im Jahr beschränken würde.

6 Maßnahmenkatalog

Im Rahmen der KfW 432 Förderung wurden verschiedene energetische Maßnahmen zur Reduzierung des Bedarfs und zur klimaneutralen Deckung des Wärmebedarfs in der Wenzsiedlung untersucht. Diese umfassen potenziell die Installation dezentraler Wärmepumpen, die Nutzung von Grundwasser- sowie Isarwerkkanalwärme über ein Nahwärmenetz, und die umfassende energetische Sanierung der Gebäudehüllen. Weitere mögliche Maßnahmen sind die Modernisierung der Heizungsanlagen sowie die Installation von Photovoltaikanlagen auf den Dächern zur Steigerung des Eigenverbrauchs von Solarstrom. Vor der Umsetzung muss jede Maßnahme auf ihre Machbarkeit und Effizienz geprüft werden. Das Ziel ist es, den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen signifikant zu reduzieren und die Energieeffizienz der Siedlung zu verbessern. Im Folgenden werden die Maßnahmen beschrieben, die bezüglich Gebäudesanierung und Wärmeversorgung als sinnvoll betrachtet werden.

6.1 Gebäudesanierung

Die Gemeinde Pullach bietet ab dem 23. September 2024 im Rahmen der "Energiekarawane" eine umfassende Sanierungsberatung an, die mit einer Auftaktveranstaltung beginnt. In den Gebäudesteckbriefen der Typgebäude sind verschiedene Sanierungsoptionen für die Eigentümer detailliert beschrieben. Dabei wird zwischen energetischen Einzelmaßnahmen und einer Sanierung auf den Effizienzhausstandard 55 unterschieden. Zu den möglichen Maßnahmen gehören:

- Dachdämmung,
- Austausch der Fenster,
- Dämmung der Außenwände,
- Austausch der Haustüren,
- Optimierung von Wärmebrücken.

Für eine Sanierung auf Effizienzhausstandard 55 sind meist alle genannten Maßnahmen notwendig, während bei Einzelmaßnahmen je nach Gebäude spezifische Optionen ausgewählt werden können.

6.2 Wärmeversorgung

Die Machbarkeitsstudie hat ergeben, dass eine Netzlösung eher unwirtschaftlich und mit hohen Umsetzungsrisiken behaftet ist. Stattdessen erscheint die Umstellung auf dezentrale Wärmeerzeuger, insbesondere Luftwärmepumpen, als wirtschaftlich und technisch am sinnvollsten. Auch Grundwasserwärmepumpen können je nach Gebäude eine effiziente und wirtschaftliche Lösung darstellen. Neben den Fördermöglichkeiten durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG) wird die Umstellung durch ein spezielles Förderprogramm der Gemeinde Pullach unterstützt. Um den Übergang zu erleichtern und Kosten zu senken, könnte die Gemeinde Sammelbestellungen für Wärmepumpen oder Photovoltaikanlagen organisieren. Zudem könnten Nachbarn gemeinsam eine Brunnenanlage für eine Grundwasserwärmepumpe errichten, um die Investitionskosten zu teilen.

7 Erfolgskontrolle, Verstetigung und Monitoring

Ohne eine Netzlösung sind Erfolgskontrolle und Verstetigungsmaßnahmen in der Umsetzung komplex, insbesondere durch die Abschaffung des KfW-432 Programms zum Sanierungsmanagement. Folgende Maßnahmen können dennoch Sanierungen und Heizungstausche fördern und monitoren:

- Die Gemeinde Pullach plant bereits eine Sanierungskarawane im Herbst 2024, um die Sanierung voranzutreiben und die Bewohner und Eigentümer zu informieren.
- Der Fortschritt der Sanierungsmaßnahmen kann dann durch (halb)jährliche Vorortbegehungen oder den regelmäßigen Kontakt mit den Bewohnern und Eigentümern analysiert werden. Dies ermöglicht eine genaue Einschätzung des Sanierungsstands und die Dokumentation der erzielten Verbesserungen. In diesem Rahmen könnten auch erfolgte Heizungserneuerungen erfasst werden.
- Weiterhin ermöglicht das Förderprogramm der Gemeinde Pullach zu Sanierung und Heizungstausch eine Dokumentation über den Fortschritt der Sanierung und Heizungserneuerung im Quartier (wenn sie beantragt wird)

Monatliche und jährliche Berichte können die Fortschritte dokumentieren und die erzielten Einsparungen und CO₂-Reduktionen aufzeigen. Eine externe Evaluierung durch unabhängige Experten könnten die Objektivität und Genauigkeit der Erfolgskontrolle sicherstellen.

Falls sich Änderungen zur aktuellen Einschätzung bezüglich einer Netzoption ergeben, wären bei der Umsetzung einer Netzvariante zusätzlich folgende Maßnahmen zur Erfolgskontrolle und zum Monitoring denkbar: Implementierung eines umfassenden Systems zur Datenerfassung und -auswertung, um sowohl den Fortschritt der umgesetzten Maßnahmen als auch deren Effizienz zu überprüfen. In jedem ans Netz angeschlossene Gebäude sowie an zentralen Punkten des Wärmenetzes werden Mess- und Zähleinrichtungen angebracht, die kontinuierlich Daten über den Energieverbrauch und die Energieerzeugung erfassen.

Diese Daten werden regelmäßig ausgewertet, um die Effizienz der Maßnahmen zu überwachen und gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen. Für die verschiedenen Maßnahmenoptionen werden spezifische Kontrollmechanismen vorgeschlagen:

- Dezentrale Wärmepumpen: Überwachung der Stromnutzung und der erzeugten Wärmemenge.
- Nahwärmenetz: Kontrolle der Effizienz des Netzwerks und der zentralen Wärmezeugung.

8 Information und Beratung, Öffentlichkeitsarbeit

Die Information und Beratung der Bewohner und Eigentümer der Wenzsiedlung sind zentrale Elemente der Projektdurchführung. Eine erste Informationsveranstaltung hat bereits im Frühjahr 2024 (19.03.2024) stattgefunden, um die Beteiligten über die geplanten Maßnahmen und deren Nutzen zu informieren. Eine weitere Veranstaltung fand am 17.09.2024 statt, um die Ergebnisse zu präsentieren und offene Fragen zu beantworten. Die Präsentation kann bei der Gemeinde angefragt werden. Unter anderem wurden dabei folgende Links zum Thema Sanierung vorgestellt:

- Sanierungskonfigurator des BMWK: <https://www.sanierungskonfigurator.de/index.php>
- Übersicht Fördermittel BEG: [Bundesförderung effiziente Gebäude - GIH Bundesverband](#)
- Deutsche Energieagentur – Leitfaden Energieausweise: <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/leitfaden-energieausweis-teil-1-energiebedarfsausweis-datenaufnahme-wohngebäude/>
- Liste der Energie-Effizienz-Experten: [Energie-Effizienz-Experten \(EEE\)](#)
- Energieberatersuche GIH: [Energieberatersuche - GIH Bundesverband](#)
- Vortragsreihe Energieeffizienz Bauen und Sanieren der Stadt Nürnberg: [Energieeffizient bauen und sanieren - Wir machen das Klima \(nuernberg.de\)](#)
- Zukunft Altbau - Merkblätter energetische Sanierung: <https://www.zukunftaltbau.de/material>
- Sanierungsgalerie – So haben es andere gemacht: <https://www.sanierungsgalerie.de/>
- Energiesparkommissar – Tipps und Tricks rund ums Sanieren und DIY: [ENERGIESPARKOMMISSAR – YouTube](#)

Darüber hinaus hat die Gemeinde für dieses Jahr eine "Sanierungskarawane" geplant, die die Bewohner der Wenzsiedlung über Sanierungsmöglichkeiten und Fördermöglichkeiten informiert. Die im Rahmen dieses Projekts erstellten Sanierungsberichte für Typgebäude können den Anwohnern helfen, sich mit den Sanierungsthemen vertraut zu machen. Ergänzend könnten regelmäßige Newsletter und eine Projektwebsite eingerichtet werden, um kontinuierlich über den Projektstand zu informieren. Beratungsangebote durch Energieberater vor Ort oder telefonisch können die Bewohner bei der Umsetzung individueller Maßnahmen unterstützen. Informationsbroschüren und Workshops zu Themen wie energieeffizientem Wohnen und der Nutzung erneuerbarer Energien können das Bewusstsein und die Akzeptanz für das Ziel der Klimaneutralität weiter fördern. Diese Maßnahmen tragen dazu bei, die Bewohner aktiv einzubinden und die langfristige Nachhaltigkeit zu gewährleisten.

9 Zusammenfassung & Fazit

Das Quartierskonzept für die Adolf-Wenz-Siedlung im Rahmen der KfW 432 Förderung, die leider aktuell nicht für mehr zur Verfügung steht, bietet eine fundierte Grundlage für die energetische Transformation der Siedlung hin zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung bis 2040. Die Bestandsanalyse hat gezeigt, dass viele der Gebäude Potenziale für Energieeinsparungen durch Sanierungsmaßnahmen bieten. Die entwickelten Steckbriefe für die drei Typgebäude verdeutlichen die unterschiedlichen Möglichkeiten, wie durch gezielte Sanierungsmaßnahmen und die Nutzung effizienter Heiztechnologien der Energiebedarf der Gebäude signifikant reduziert werden kann. So zeigt die Sanierung auf Effizienzhaus 55-Standard das höchste Potenzial zur Einsparung von Energie und CO₂-Emissionen, ist jedoch auch mit den höchsten Investitionskosten verbunden—bis zu 120 % mehr als die Option, energetische Einzelmaßnahmen mit einer Luftwärmepumpe zu kombinieren.

Neben den Gebäudesanierungen wurden verschiedene Wärmeversorgungskonzepte untersucht, darunter dezentrale Lösungen mit Luft- und Grundwasserwärmepumpen sowie Pelletheizungen, und unterschiedliche Varianten von Nahwärmenetzen. Die Analyse hat gezeigt, dass kalte Netze und dezentrale Wärmepumpen, insbesondere Grundwasserwärmepumpen, aufgrund ihrer höheren Effizienz und geringeren Wärmeverluste technisch besonders vorteilhaft sind. Bei kalten Netzen und Grundwasserwärmepumpen liegt die Jahresarbeitszahl (JAZ) bei 3,5 bis 3,7, während sie bei warmen Netzen aufgrund der höheren Vorlauftemperaturen nur bei 2,6 liegt. Diese Effizienzvorteile resultieren aus der Möglichkeit, die Vorlauftemperaturen auf Gebäudeebene zu optimieren (z.B. 55°C statt 70°C).

Alle untersuchten Varianten zur Wärmeversorgung sind technisch umsetzbar, allerdings unterliegen Netzvarianten größeren Unsicherheiten in der Umsetzung. Einerseits ist eine hohe Anschlussquote notwendig, andererseits erfordert die enge Spartenlage in den Straßen, dass viele Grundstückseigentümer ein Wegerecht einräumen müssten. Dies stellt eine erhebliche organisatorische Herausforderung dar. Zudem sind die Verantwortung und Organisationsstruktur bei kleineren Netzen unklar, was die Umsetzung zusätzlich erschwert. Die Realisierung eines Netzprojekts könnte zwischen zwei und fünf Jahren in Anspruch nehmen.

Wirtschaftlich betrachtet erweist sich die dezentrale Luftwärmepumpe als die günstigste Option mit Kosten von etwa 23 ct/kWh. Grundwasserwärmepumpen und kalte Netze sind nur geringfügig teurer, mit etwa 3 bis 4 ct/kWh Mehrkosten. Diese Wärmepumpenlösungen profitieren erheblich von den aktuell geltenden Fördermitteln, die 30 bis 55 % der Investitionskosten decken können. Im Vergleich dazu sind das warme Netz (29 ct/kWh) und Pelletheizungen (33 ct/kWh) die unwirtschaftlichsten Optionen. Bei Netzlösungen hängt die Wirtschaftlichkeit stark von einer hohen Anschlussquote ab, wie die Sensitivitätsanalyse gezeigt hat.

Ökologisch bieten alle untersuchten Maßnahmen eine signifikante Verbesserung gegenüber dem aktuellen energetischen Zustand der Adolf-Wenz-Siedlung und führen zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen um 70 % bis 79 %. Das große kalte Netz erweist sich als die ökologisch sinnvollste Option. Allerdings sind die Emissionseinsparungen bei sofortiger Umsetzung von Luftwärmepumpen aufgrund der schnelleren Realisierbarkeit vergleichbar, was sie besonders attraktiv macht.

Mit Blick auf die technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Herausforderungen, die mit der Umsetzung von Netzlösungen verbunden sind, insbesondere die Abhängigkeit von der Anschlussquote und die Unsicherheiten bei der Infrastruktur, wird empfohlen, den Fokus auf die Sanierung der Gebäude und die Ausstattung mit dezentralen Lösungen zu legen, insbesondere Luft- und Wasser-Wasserwärmepumpen (mit Grundwasser oder Wenzbach als Quelle). Dies bietet eine effiziente, kostengünstige und zukunftssichere Lösung, um die Ziele der Klimaneutralität bis 2040 zu erreichen.

Quellenverzeichnis

FfE (2024): Wärmepumpen an Fließgewässern – Analyse des theoretischen Potenzials in Bayern. (Link: [Bayern heizt künftig auch mit Wärme aus dem Fluss - FfE](#))

Treibhausgasemissionen und kumulierter Energieaufwand des deutschen Strommix 2022 mit Ausblick auf 2030-2050 (für HEA, Okt. 2023) (Link: [IINAS 2023 KEV THG Strom-2022 2030-2050.pdf](#)).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Interesse an Nahwärme (Beispielergbnis Umfrage)	7
Abbildung 2: Wenzsiedlung und Isarwerkkanal	8
Abbildung 3: Verteilung der Baualtersklassen nach Jahrzehnten	9
Abbildung 4: Strom- (gelb) und Wärmebedarf (grau) des Quartiers (links) und Anteile der Energieträger am Wärmebedarf in kWh/a im Quartier (rechts)	10
Abbildung 5: CO ₂ -Emissionen pro Jahr und Energieträger im Quartier	10
Abbildung 6: Spartenplan der Wenzsiedlung mit Flurstückgrenzen	11
Abbildung 7: Jahresdauerlinie für das Gesamte Quartier	12
Abbildung 8: Ergebnisse zu Interesse an Sanierung aus der Umfrage (die prozentualen Angaben bei den einzelnen Maßnahmen geben den Anteil an, in dem diese Maßnahme in den sanierten Häusern durchgeführt wurde (Mehrfachauswahl war möglich).	14
Abbildung 9: Verfügbare Wärmemenge Abschätzung aus dem geoportal.muenchen.de	14
Abbildung 10: Durchfluss des Isarwerkkanals gemittelt von 2010-2023.....	15
Abbildung 11: Temperatur der Isar gemittelt von 2010-2023	16
Abbildung 12: Potenzial für Solarthermie aus dem Solarkataster des Landkreises München	17
Abbildung 13: Typgebäude 1 – Einfamilienhaus	19
Abbildung 14: Gesamtkosten Typgebäude 1 kumuliert	20
Abbildung 15: Anteile Kostenträger Typgebäude 1	21
Abbildung 16: Kumulierte Emissionen Typgebäude 1	21
Abbildung 17: Typgebäude 2 – Mehrfamilienhaus	22
Abbildung 18: Gesamtkosten Typgebäude 2 kumuliert	23
Abbildung 19: Anteile Kostenträger Typgebäude 2.....	24
Abbildung 20: Kumulierte Emissionen Typgebäude 2	24
Abbildung 21: Typgebäude 3 - Reihenhaus.....	25
Abbildung 22: Gesamtkosten Typgebäude 3 kumuliert	26
Abbildung 23: Anteile Kostenträger Typgebäude 3.....	27
Abbildung 24: Kumulierte Emissionen Typgebäude 3	27
Abbildung 25: Wärmequellen und grundlegende Netzoptionen	28
Abbildung 26: Dezentrale Wärmeversorgung: v.l.n.r. Luftwärmepumpe, Grundwasserwärmepumpe und Pelletkessel mit Solarthermie	32
Abbildung 27: Leitungen warmes großes Netz in der Wenzsiedlung	33
Abbildung 28: Schema Variante B1 (Warmes großes Netz, Grundwasser)	34
Abbildung 29: Schema Variante B2 (Kaltes großes Netz, Grundwasser)	35
Abbildung 30: Leitungen kalte Netze in der Wenzsiedlung	36
Abbildung 31: Schema Variante C1 (Optimiertes kaltes Netz, Isar)	37
Abbildung 32: Schema Variante C2 (Optimiertes kaltes Netz klein, Grundwasser)	38
Abbildung 33: Deckung der Wärmebedarfe in den Varianten+ Tabellarische Darstellung	40
Abbildung 34: Darstellung der Preisentwicklung mit CO ₂ Preis	42
Abbildung 35: Investitionskosten mit und ohne Förderung, aufgeteilt in Kosten für Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeübergabe	45
Abbildung 36: Jährliche Kosten (Berechnet mit Annuitätenmethode über 20 Jahre und 4 % Zinsen) – nicht angeschlossene Gebäude mit Einzelheizungen versorgt	46
Abbildung 37: Spezifische Gestehungskosten pro kWh für Netze und Einzelheizungen	47
Abbildung 38: CO ₂ -Emissionen der Energieträger	48
Abbildung 39: CO ₂ -Emissionen in tCO ₂ /Jahr für die verschiedenen Varianten.....	50
Abbildung 40: Kumulierte CO ₂ -Emissionen bis ins Jahr 2050 für die verschiedenen Varianten	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gebäudedaten Bestand von Typgebäude 1 – Einfamilienhaus 1970er.....	19
Tabelle 2: Kennwerte der Sanierungsvarianten im Überblick.....	20
Tabelle 3: Gebäudedaten Bestand von Typgebäude 2 – Mehrfamilienhaus 1980er.....	22
Tabelle 4: Kennwerte der Sanierungsvarianten für Typgebäude 2 im Überblick	23
Tabelle 5: Gebäudedaten Bestand von Typgebäude 3 – Reihenhaus 1980er	25
Tabelle 6: Kennwerte der Sanierungsvarianten für Typgebäude 3 im Überblick	26
Tabelle 7: Übersicht über mögliche Varianten der Wärmeversorgung mit einem Nahwärmenetz in der Wenzssiedlung	30
Tabelle 8: Übersicht über Varianten und deren Kennwerte	39
Tabelle 9: Übersicht über Energiekosten Ansätze	42
Tabelle 10: Annahme zu Investitionskosten, Nutzungsdauer und Anteile Instandsetzung und Wartung und Inspektion nach VDI 2067	43
Tabelle 11: Sensitivitätsanalyse Variante C2.....	48
Tabelle 12: Primärenergiefaktoren gemäß GEG.....	49
Tabelle 13: Entnahmeleistung in Abhängigkeit von Entnahmeanteil und Abkühlung des genutzten Wassers. Farbliche Markierung zeigt Abkühlung des Wenzbachs	52

Anhang

Veranstaltungen

Veranstaltung 1: „Präsentation_ Quartierskonzept_Wenzsiedlung_20240319.pdf“

Veranstaltung 2: „Präsentation_Quartierskonzept_Wenzsiedlung_Pullach_17-09-2024.pdf“

Auswertungen/Rohdaten

Rohdaten der Online-Umfrage: „2024-04-04-Rohdaten von Umfrage QK-Pullach-Wenzsiedlung (alle Teilnehmer).csv“

Auswertung der Online-Umfrage: „Auswertung_Umfrage.xlsx“

Zusammenfassung der Daten zu allen Gebäuden: „Gebäudeübersicht.xlsx“

Shape-Dateien und Stile für QGIS

Ordner „AbgabeQGIS“

Koordinatensystem: EPSG:25832

Immer QGIS-Datei zusammen mit Unterordner „Dateien“ kopieren, dann öffnen, um Darstellung zu erhalten

Im Ordner Dateien gibt es wiederum folgende Unterordner

„Shapes“ → Shape-Dateien der Wenzsiedlung

„Sparten“ → Spartenplan

„Stile“ → Darstellung der shapes (z.B. Baujahr etc.)