

Energieversorgungskonzept für den B-Plan 88.1 in Hallbergmoos – Zusammenfassung

In Hallbergmoos entwickelt die Allgemeine Landesboden Beteiligungsverwaltung GmbH ein neues, produktives Quartier. Neben dem Fokus auf die gewerbliche Hauptnutzung der Flächen, sollen auch Büro- und Wohnflächen entstehen. Die verschiedenen Nutzungen verursachen Energiebedarfe. Diese sollen mit zukunftsfähigen Technologien gedeckt werden. Im Rahmen umfassender Untersuchungen wurden Ansätze zu sinnhaften Zielforderungen im Kontext der Klimaneutralität analysiert, die zukünftige energetische Bedarfssituation auf Basis aktueller Testentwürfe abgeschätzt und Energieträgerpotenziale eruiert, um Varianten zur Energieversorgung ableiten und bewerten zu können. Ziel ist die Definition von Standards für das weitere Bebauungsplanverfahren.

Die Klimaneutralität von Quartieren ist nicht einheitlich und verbindlich in ihrer Bilanzierung definiert. In einem ersten Schritt wurden daher mögliche Zielstellungen untersucht. Auf Basis einer ersten Grobabschätzung des zukünftigen Energiebedarfs konnte herausgearbeitet werden, dass die zur Verfügung stehende Dachfläche voraussichtlich für einen jahresbilanziellen Ausgleich der jährlichen Emissionen, die durch den Primärenergiebedarf einer wärmepumpenbasierten Wärme- und Kälteversorgung verursacht werden, auch unter Berücksichtigung von erforderlichen Dachaufbauten und alternativen Dachflächennutzungen in der Jahresbilanz ausreichend ist. Neben der großflächigen Erstellung von PV-Anlagen, sollen weitere Vorgaben, wie der Verzicht auf die Verbrennung von Brennstoffen zur Raumwärmebereitstellung, ein möglichst hoher Anteil in räumlicher Nähe erzeugter Energie, die Nutzung von Abwärmepotenzialen bei entsprechenden Nutzungstypen (z.B. Rechenzentrum) sowie grundsätzlich eine robuste und resiliente Infrastruktur eine Rolle in der Konzeption und der späteren Realisierung spielen.

Die Ermittlung des prospektiven, jährlichen, energiebedingten Lastverhaltens erfolgte anschließend auf Basis nutzungsspezifischer Heiz-, Kühl-, Trinkwarmwasser-, und Strombedarfe. Die angewandten Kennzahlen basieren auf Norm-, Literatur- und Erfahrungswerten, die im Detail der umfassenden Dokumentation entnommen werden können. Die angesetzten Nutzungen, die von unterschiedlichsten Gewerbeformen über produzierende Einheiten mit Industriecharakter, Verwaltungs- und Wohnnutzungen reichen können, unterliegen entsprechenden Unsicherheiten und werden sich bedarfsorientiert im Zuge der Entwicklung der Fläche ergeben. Ein entsprechend flexibles und robustes Versorgungssystem ist daher essenziell. Die überschlägig ermittelten elektrischen Bedarfe, die auch die potenzielle Entwicklung von wärmepumpenbasierten Versorgungssystemen und Ansätze zur Elektromobilität berücksichtigen, wurden dem lokalen Netzbetreiber übermittelt. Aus dem direkt benachbarten Umspannwerk können übliche elektrische Lasten bedient werden. Nutzungen mit besonderen Anforderungen an Versorgungssicherheit und Redundanz, im Konkreten Rechenzentren, müssen frühzeitig angemeldet und in der Planung berücksichtigt werden. Hier können sich schnell Entwicklungszeiträume von über 10 Jahren auf Seiten des Netzbetreibers ergeben. Dies gilt es im Zuge der sukzessiven Realisierung zu berücksichtigen.

Das berechnete Lastverhalten dient als energetisches Modell und konkret als Lastgang in Stundenauflösung dem Abgleich mit möglichen Energieträgern und Wärmequellen. Im Rahmen einer umfassenden Evaluierung wurden die verfügbaren Technologien von einer „long-list“, die sämtliche, grundsätzlich denkbaren Optionen enthält, zu einer „short-list“, die ausschließlich weiterzuverfolgende und zu priorisierende Potenziale umfasst, gekürzt. Dabei wurden die relevanten Akteure, wie beispielsweise Geologen, Fernwärmenetzbetreiber und die Gemeinde Hallbergmoos eingebunden. Die vollständige Auflistung der untersuchten Potenziale kann der beigefügten Dokumentation entnommen werden. Aus den priorisierten Potenzialen wurden fünf Vorzugsvarianten zur thermischen Energieversorgung abgeleitet:

- Variante 1: Fernwärme, dezentrale Kompressionskälte
- Variante 2: Fernwärme, dezentrale reversible Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Variante 3: Fernwärme, zentrale Grundwasser-Wärmepumpe, Wärme- und Kältenetz (4-Leiter), dezentrale Kompressionskälte
- Variante 4: Zentrale, reversible Luft-Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit Grundwasser-Wärmepumpe, Wärme- und Kältenetz (4-Leiter)
- Variante 5: Dezentrale, reversible Luft-Wasser-Wärmepumpen

Anschließend wurden die technischen Anlagen der einzelnen Varianten grobdimensioniert, Systemtemperaturen angesetzt und die wesentlichen technischen Parameter Primärenergiebedarf, Jahresarbeitszahl / EER, etc. berechnet. Zudem wurden qualitative Vor- und Nachteile eruiert und in einer Bewertungsmatrix gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass alle Vorzugsvarianten für sich und in Kombination miteinander realisierbar und wirtschaftlich sind. Während zunächst der Fokus auf eine homogene, „sortenreine“ Betrachtung der Varianten gelegt wurde, um eine quantitative und qualitative Vergleichbarkeit herzustellen, erwies es sich im Kontext der voraussichtlich langfristigen Entwicklung der Fläche als sinnvoll, auch mögliche zukünftige Entwicklungen zuzulassen. Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass eine finale Entscheidung zu einer Variante nicht erforderlich ist, sondern zunächst mit einer Variante begonnen werden kann, die wiederum sukzessiv weiterentwickelt werden kann – ggf. um die alternativen Variantenansätze. Beispielsweise kann es sinnvoll sein, zunächst geringinvestive Ansätze zu verfolgen, um die Grundlage für die weiteren Varianten sowie Betriebserfahrungen zu schaffen und auf sich ggf. ändernde Rahmenbedingungen reagieren zu können. Dies bedeutet jedoch auch, dass die Energieversorgung des Quartiers fortwährend begleitet und im Kontext des jeweiligen Ausbauzustands bewertet wird. Begrenzt verfügbare Quellen wie das Grundwasser müssen weiter untersucht und gezielt eingebunden werden. Gerade im nördlichen Bereich der Fläche bietet sich die Nutzung aufgrund der Versickerungssituation sowie dem Fokus auf eine gewerbliche Nutzung mit Kühlbedarf an. Im Süden können reversible Luft-Wasser-Wärmepumpen vermehrt eine Rolle spielen – Schallemissionen sind bei der Planung zu berücksichtigen. Die Fernwärme kann ein erster Schritt für die nördliche Entwicklung sein, ist aber vor dem Hintergrund der Transformation des Erzeugerarks stets hinsichtlich ihrer Zukunftsfähigkeit und Kostenentwicklung im Betrieb zu bewerten. Eine Förderung des Aufbaus der Erzeuger- und Netzstruktur ist mit dem Förderprogramm „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ (BEW) durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) ab einer Größe von mindestens 17 Gebäuden oder 100 Wohneinheiten möglich. Dies betrifft im Vorliegenden insbesondere die wärmepumpenbasierten Versorgungsstrukturen. Der Anschluss an ein Fernwärmenetz wird nicht gefördert.

Die Klimaneutralität im Betrieb ist in allen Varianten erreichbar. Als Grundlage für den Abgleich von verursachten und eingesparten Emissionen wurde eine typische Dachflächennutzung für unterschiedliche Gebäudenutzungstypen zugrunde gelegt. Dabei wurden mögliche Dachaufbauten wie Lüftungsanlagen, Aufzugüberfahren, Wartungsgänge / Abstände, Technikflächen und Wärmepumpen berücksichtigt. Werden folgende Verhältnisse von Modulfläche zu Dachfläche eingehalten, ist in der konzeptionellen Betrachtung die Klimaneutralität im Betrieb (ohne Berücksichtigung des Nutzerstroms) erreichbar:

- Halle, höher technisiert: 35 %
- Halle, geringer technisiert: 60 %
- Verwaltungsgebäude: 35 %
- Wohngebäude: 35 %
- Quartiersgaragen: 60 %

Im Rahmen der Realisierung sind die zum Zeitpunkt der jeweiligen Entwicklung aktuellen ordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen z.B. hinsichtlich Betreibermodell und deren Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit einer entsprechenden Solarisierung zu berücksichtigen.



23.1204 B-Plan Hallbergmoos

Energieversorgungskonzept

Zusammenfassendes Dokument

Kirchheim, 05.08.2025
Ingenieurbüro Hausladen GmbH

Prof. Dipl.-Ing. (univ.) Elisabeth Endres
M.Eng. Christian Götz
M.Sc. Nikolaus Wechs

Einführende Erläuterung zum zusammenfassenden Dokument

In Hallbergmoos entwickelt die Allgemeine Landesboden Beteiligungsverwaltung GmbH ein neues, produktives Quartier. Neben dem Fokus auf die gewerbliche Hauptnutzung der Flächen, sollen auch Büro- und Wohnflächen entstehen. Die verschiedenen Nutzungen verursachen Energiebedarfe. Diese sollen mit zukunftsfähigen Technologien gedeckt werden. Im Rahmen umfassender Untersuchungen wurden Ansätze zu sinnhaften Zielerfordernissen im Kontext der Klimaneutralität analysiert, die zukünftige energetische Bedarfssituation auf Basis aktueller Testentwürfe abgeschätzt und Energieträgerpotenziale eruiert, um Varianten zur Energieversorgung ableiten und bewerten zu können. Ziel ist die Definition von Standards für das weitere Bebauungsplanverfahren.

Im Folgenden werden die Arbeitspakete in der Reihenfolge ihrer Bearbeitung zusammengefasst aufgeführt.

Inhalt

AP 1 Zieldefinition Klimaneutralität	S. 4	AP 4 Vertiefung von Vorzugsvarianten	S. 62
– Begriffsdefinitionen und Grundlagen		– Methodik	
– Flächenabgleich und Empfehlung		– Variantenübersicht	
		– Energiepotenziale: Rückblick & Ergänzungen	
AP 2 Grundlagen- und Bedarfsermittlung	S. 17	– Vertiefung von Vorzugsvarianten	
– Methodik		– Perspektiven	
– Nutzenergiebedarf – Grundlagen		– Bilanzielle Klimaneutralität	
– Erzeuger-Nutzenergiebedarfslastgang		– Variantenvergleich	
– Erzeuger-Nutzenergiebedarfskennwerte			
– Exkurs: Elektrische Erschließung, Energieintensive Nutzung / Abwärmerückgewinnung		Anhang	S. 121
– Flächenabgleich Klimaneutralität			
AP 3 Potenzialermittlung & Vorkonzeption von Energieversorgungsvarianten	S. 39		
– Methodik			
– Bedarfsermittlung: Rückblick & Ergänzungen			
– Energieträgerpotenziale / Wärmequellen			
– Vorkonzeption Energieversorgung			



23.1204 B-Plan Hallbergmoos

Energieversorgungskonzept

AP1: Zieldefinition Klimaneutralität

Kirchheim, 05.08.2025
Ingenieurbüro Hausladen GmbH

Prof. Dipl.-Ing. (univ.) Elisabeth Endres
M.Eng. Christian Götz
M.Sc. Nikolaus Wechs

Begriffsdefinitionen und Grundlagen

Begriffsdefinitionen

Klimaneutralität

Erreichen eines Gleichgewichts zwischen Kohlenstoffemissionen und Kohlenstoffsinken, bzw. das Erreichen von „Netto-Null-Emissionen“.

Entscheidung des Bundesgerichtshofs (BGH, Az. I ZR 98/23) unter welchen Voraussetzungen Unternehmen mit dem Begriff „klimaneutral“ werben dürfen

Auszug: „Der Süßwarenhersteller hätte den Begriff "klimaneutral" insbesondere deshalb schon erklären müssen, weil die Reduktion und die Kompensation von CO₂-Emissionen keine gleichwertigen Maßnahmen, zur Herstellung von Klimaneutralität seien. In Klimaschutzfragen sei die Reduktion von Emissionen gegenüber der Kompensation vorrangig.“

Energieautarkie

Energieautarkie wird hier auf Quartiersebene betrachtet und bezeichnet die Unabhängigkeit von Energielieferungen. Dies ermöglicht die „Trennung“ von Energienetzen.

Infolgedessen wird bei vollständiger Energieautarkie alle Energie, die innerhalb des Quartiers verbraucht wird, auch innerhalb des Quartiers erzeugt.

Der Autarkiegrad bezeichnet den Anteil selbst erzeugter und nutzbarer (ggf. zwischengespeicherter) Energie am Energiebedarf.

Solarer Deckungsgrad

Der solare Deckungsgrad berechnet sich analog zum Autarkiegrad, bezieht sich allerdings lediglich auf solar erzeugte Energie. Er beschreibt somit den Anteil des Strombedarfs, der direkt oder nach Speicherung durch Photovoltaikanlagen gedeckt werden kann.

Eigenverbrauchsgrad

Der Eigenverbrauchsanteil beschreibt den Anteil des erzeugten Stroms (typischerweise Solarstrom), der entweder zeitgleich durch die Stromverbraucher oder nach Speicherung genutzt wird. Je höher der Eigenverbrauchsanteil ist, desto weniger Strom wird in das Netz eingespeist.

Der Eigenverbrauchsgrad bezeichnet das Verhältnis selbst erzeugter (ggf. zwischengespeicherter) und genutzter Energie zur gesamten Erzeugung.

Anlehnung an KFN / QNG

- Lebenszyklusbetrachtung (Erstellung, Betrieb, Rückbau)
 - 20 bzw. 24 kgCO₂/m²a über den Lebenszyklus eines Gebäudes
 - Keine Beheizung mit Öl, Gas oder Biomasse
 - Fernwärme muss einen hohen erneuerbaren Anteil aufweisen (> 50%)
 - Der Primärenergiebedarf darf 96 kWh/m²a nicht überschreiten
 - Anforderungen des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) werden eingehalten
 - Effizienzhaus 40 Standard
- Ansatz: hohe Investitionskosten, geringe Betriebskosten
- Hohe Emissionen in der Erstellung/Rückbau, geringe Emissionen im Betrieb (analog 2.000 W Gesellschaft)

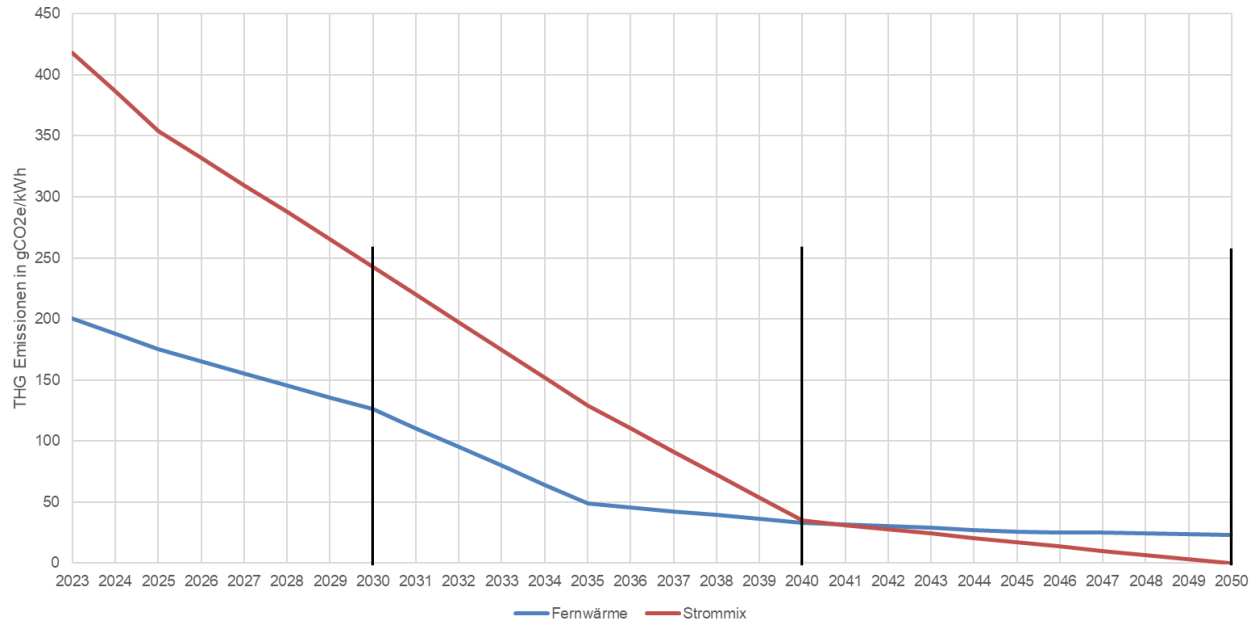
Anlehnung an Rahmenwerk DGNB

- Lebenszyklusbetrachtung (Herstellung, Errichtung, Nutzung, Entsorgung)
 - Klimaneutralität bei Betrachtung ist erreicht, wenn mehr Emissionen vermieden als erzeugt werden „Klimaschutzfahrplan“
 - Unvermeidbare Emissionen aus Herstellung, Erstellung und Entsorgung müssen über die Nutzungsphase kompensiert werden
 - Erzeugungsanlagen (PV / WKA) ermöglichen Kompensation von unvermeidbaren Emissionen
 - Hohe Effizienzhausstandards mit hohem Einsatz grauer Energie erfordern hohen Kompensationsaufwand
 - Mit Holzbauweise können Emissionen zunächst gebunden werden, die bei der Entsorgung gleichermaßen wieder freigesetzt werden
- Je geringer der Kompensationssockel und je früher große Überschussmengen erzeugt werden, desto effizienter kann Klimaneutralität erreicht werden
- Bei einer guten Energieversorgung kann beim Effizienzhausstandard „gespart“ werden und der Kompensationssockel reduziert werden

Klimaneutralität im Betrieb

- Ausschließlich Betrachtung der Nutzungsphase
 - Diejenigen Emissionen, die durch die Energieversorgung pro Jahr emittiert werden, werden im selben Jahr ausgeglichen „ausgeglichene Jahresbilanz“
 - Unterschiedliche Bilanzgrenzen möglich:
 - Inkl./exkl. Nutzerstrom
 - Inkl./exkl. (E-)Mobilität
 - I.d.R. inkl. Wärme- und Kältebereitstellung
 - Typischerweise bei Wärmepumpenlösung: der Strombedarf des Quartiers wird im zeitlichen und/oder räumlichen Zusammenhang erzeugt
 - PV im Quartier auf Dächern und Fassaden
 - PV / WKA in der Nähe des Quartiers
 - PV / WKA über bilanzielle Anrechnung ohne lokalen Zusammenhang mit / ohne zeitlichen Abgleich
- Fokus auf Betriebsphase mit entsprechenden Betreiber- und Nutzungsmodellen von PV / WKA-Strom

Grundlagen – Sensitivität Absenkpfade



- Nur strombasierte Versorgungsvarianten können tatsächlich langfristig klimaneutral im Betrieb sein
 - Verbrennungsprozesse können nur gegengerechnet werden
 - Mit sinkendem Emissionsfaktor des Netzstroms sinkt auch das Kompensationspotenzial
- Fokus auf strombasierte Varianten
- „Kompensation“ direkt vor Ort mittels PV

GEG-Mindeststandard

Wohngebäude

- Primärenergiebedarf 55% des Referenzgebäudes $\triangleq$ EH 55
- H'_T mindestens entsprechend des Referenzgebäudes

Nichtwohngebäude

- Primärenergiebedarf 55% des Referenzgebäudes $\triangleq$ EG 55
- Mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten des Referenzgebäudes dürfen nicht überschritten werden

EH 40

Wohngebäude

- Primärenergiebedarf 40% des Referenzgebäudes
- H'_T maximal 55% des Referenzgebäudes

Nichtwohngebäude

- Primärenergiebedarf 40% des Referenzgebäudes
- Mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten müssen eingehalten werden

Unabhängig von Nutzung / Standard

- Für Neubauten nur noch Heizungen mit 65% erneuerbarem Anteil. Sicherste Lösungen:
 - Wärmenetz
 - Wärmepumpe
 - Stromdirektheizung
 - Solarthermie
- Strom aus erneuerbaren Energien, der im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang zu einem zu errichtenden Gebäude erzeugt wird, darf bei der Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs nach dem Monatsbilanzverfahren angerechnet werden
- Zusatz: Bei Dimensionierung von Wärmepumpen auf 60% kann i.d.R. bereits 95 bis 98 % des Energiebedarfs abgedeckt werden → Spitze über zweiten Erzeuger sinnvoll

Grundlagen – Weitere mögliche Kriterien

- Keine Verbrennung (Entnahme von Stoffen aus dem Kreislauf, „Downcycling“)
- Möglichst hoher Anteil in räumlicher Nähe erzeugter Energie
- Robuste Infrastruktur / Resilienz
- Rückbaubarkeit / Recyclierbarkeit
- Stromnetzdienlichkeit, Lastverschiebung, Speicherkapazität
- Nutzung von Abwärmepotenzialen (z.B. Rechenzentrum)
- ...

// Flächenansatz 19. Dezember 2023 // einfache Rahmenplanung

Gesamtareal Rahmenplanung

Betrachtungsraum	Planungsgebiet	Baufelder gesamt	Verkehrsfläche MIV	Freiraum	Grundfläche	GRZ brutto	GRZ netto	Geschossfläche	GFZ brutto	GFZ netto	
415340,00	375260,00	216374,00	18708,00	140178,00	150000,00	0,40	0,69	450000,00	1,20	2,08	
		0,58	0,05	0,37							

Realisierungsabschnitt A // Allgemeine Landesboden MUC2 GmbH

	Planungsgebiet	Baufelder gesamt	Verkehrsfläche MIV	Freiraum	Grundfläche	GRZ brutto	GRZ netto	Geschossfläche	GFZ brutto	GFZ netto	
Rahmenplanung	167047,00	100228,00	10675,00	56144,00	68678,00	0,41	0,69	199976,00	1,20	2,00	
		0,60		0,40							
			0,06	0,34							
					Geschossfläche	199976,00					
					Gewerbe	139983,20	0,70	149982,00	0,75		
					Wohnen	39995,20	0,20	29996,40	0,15		
					Kunst/Kultur/Sport	19997,60	0,10	19997,60	0,10		

- Gewerbe vorrangig Logistik / Hallen, ca. 15 % davon Verwaltung
- Anzusetzende Flächenfaktoren GF / NGF*
 - Gewerbe (Produktion, Werkstätten, Lagergebäude): 0,89
 - Verwaltung: 0,85
 - Wohnen: 0,85
 - Kunst / Kultur / Sport: 0,91

*Gemäß „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“, BMWi, 2015, Ansatz: GF entspricht näherungsweise BGF

Grundlagen – Energiebedarfsermittlung

Gewerbe (Logistik / Hallen)

Fläche: 127.500 m² GF | 113.500 m² NGF

Heizenergiebedarf: 35 kWh/m²a GF | 4.465 MWh/a

Kühlenergiebedarf: 0 kWh/m²a GF

Kühlenergiebedarf: 40 kWh/m²a GF | 5.100 MWh/a

Strombedarf: 10 kWh/m²a GF | 1.275 MWh/a

Gewerbe (Verwaltung)

Fläche: 22.500 m² GF | 19.125 m² NGF

Heizenergiebedarf: 40 kWh/m²a GF | 900 MWh/a

Kühlenergiebedarf: 40 kWh/m² GF | 900 MWh/a

Strombedarf: 15 kWh/m²a GF | 340 MWh/a

Wohnen

Fläche: 30.000 m² GF | 25.500 m² NGF

Heizenergiebedarf: 50 kWh/m²a GF | 1.500 MWh/a

Strombedarf: 8 kWh/m²a GF | 240 MWh/a

Nutzerstrombedarf: 27 kWh/m²a GF | 810 MWh/a

Kunst / Kultur / Sport

Fläche: 20.000 m² GF | 17.000 m² NGF

Heizenergiebedarf: 80 kWh/m²a GF | 1.600 MWh/a

Strombedarf: 10 kWh/m²a GF | 200 MWh/a

Summe

Fläche: 200.000 m² GF | 175.125 m² NGF

Heizenergiebedarf: 8.465 MWh/a

Kühlenergiebedarf: 900 MWh/a + ggf 5.100 MWh/a

Strombedarf: 2.055 MWh/a

- Ansätze aus VDI 3807, GEG-Berechnungen aus Vergleichsprojekten, DIN 18599, RKU München
- Energiebedarf in Gewerbe (Logistik / Hallen) und Kunst / Kultur / Sport sind stark abhängig von realer Nutzung
- Kühlenergiebedarf in Logistik / Hallen kann in Abhängigkeit der Produkte gar nicht oder in sehr großem Umfang vorhanden sein
- Ohne Kühlenergiebedarf in Logistik / Hallen großes Delta zwischen Heiz- und Kühlenergie
- Nutzerstrombedarf ist stark abhängig von tatsächlichen Nutzungen und deshalb nicht berücksichtigt (nur Beleuchtung / RLT-Anlagen)
- Nutzerstrombedarf für die Wohnnutzung wird nach Ansatz RKU mit 2.500 kWh/a*WE angesetzt (93 m² GF/WE)

Grundlagen – Energiebilanz

Variante A) – keine Kühlung in Logistik / Hallen

Heizenergiebedarf: 8.465 MWh/a

Kühlenergiebedarf: 900 MWh/a

Strombedarf: 2.865 MWh/a

Beispielrechnung Grundwasser-Wärmepumpe:

- Ansatz Jahresarbeitszahl Heizen = 4,5
- Ansatz Jahresarbeitszahl Kühlen = 5
- Strombedarf Heizen / Kühlen: 1.880 MWh/a + 180 MWh/a = 2.060 MWh/a
- Strombedarf gesamt: **4.925 MWh/a**
(2.000 W bei 280 Personen)

PV-Bedarf für Klimaneutralität im Betrieb:

- Ansatz Flächeneffizienz PV: 220 kWh/m²
 - **22.400 m²**
- Ansatz Moduleffizienz PV: 950 kWh/kWp
 - **5.200 kWp**

Variante B) – viel Kühlung in Logistik / Hallen

Heizenergiebedarf: 8.465 MWh/a

Kühlenergiebedarf: 6.000 MWh/a

Strombedarf: 2.865 MWh/a

Beispielrechnung Grundwasser-Wärmepumpe:

- Ansatz Jahresarbeitszahl Heizen = 4,5
- Ansatz Jahresarbeitszahl Kühlen = 5
- Strombedarf Heizen / Kühlen: 1.880 MWh/a + 1.200 MWh/a = 3.080 MWh/a
- Strombedarf gesamt: **5.945 MWh/a**
(2.000 W bei 340 Personen)

PV-Bedarf für Klimaneutralität im Betrieb:

- Ansatz Flächeneffizienz PV: 220 kWh/m²
 - **27.000 m²**
- Ansatz Moduleffizienz PV: 950 kWh/kWp
 - **6.300 kWp**

➤ Folgende zugehörige Fragestellungen werden im weiteren Projektverlauf ermittelt:

- Lastgangbetrachtungen i.A. noch zu definierender Versorgungsvarianten
- Eigenverbrauchsgrad
- Solarer Deckungsgrad (Autarkiegrad)
- Möglichkeiten der Speicherung / optimierten Nutzung
- Ansätze von Betreibermodellen

Flächenabgleich und Empfehlung

PV-Flächenbedarf für ausgeglichene Energiebilanz (Klimaneutralität im Betrieb)



- Die notwendige PV-Fläche für einen klimaneutralen Betrieb steht grundsätzlich (ohne die Berücksichtigung von Nutzerstrom) im Quartier zur Verfügung
- Überschlüssig müssten hierfür
 - 20% (Variante A, exkl. Nutzerstrom Wohnen)
 - 25% (Variante A, inkl. Nutzerstrom Wohnen)
 - 26% (Variante B exkl. Nutzerstrom Wohnen)
 - 30% (Variante B inkl. Nutzerstrom Wohnen)

der Bruttodachflächen (90.982 m²) als Modulfläche realisiert werden

Empfehlung

- Ansatz der Klimaneutralität im Betrieb mit ausgeglichener Jahresenergiebilanz / „Kompensation“ vor Ort
- Inkl. / exkl. Nutzerstrom und E-Mobilität steht zur Diskussion
- Reale Nutzung von PV-Strom ist abhängig von Betreibermodell und muss im Weiteren detailliert werden
- Lastspitze über zweiten Erzeuger ggf. zusätzlich zu kompensieren (z.B. Biomethan, wenn Netzstruktur zukünftig nutzbar)



23.1204 B-Plan Hallbergmoos

Energieversorgungskonzept

AP2: Grundlagen- und Bedarfsermittlung

Kirchheim, 05.08.2025
Ingenieurbüro Hausladen GmbH

Prof. Dipl.-Ing. (univ.) Elisabeth Endres
M.Eng. Christian Götz
M.Sc. Nikolaus Wechs

Grundlagen und Bedarfsermittlung

- Zusammenstellung von überschlägigen Bedarfskennwerten i.A. der Nutzungen
- Charakterisierung der Verbraucher (Temperaturen, Lasten, Betriebszeiten)
- Erstellung von überschlägigen Lastgängen (Wärme, Warmwasser, Nutzerstrom)

Ergebnis: Energetisches Modell als Grundlage für sämtliche der folgenden Betrachtungen

Schnittstellen: Regelmäßiger Austausch auf Arbeitsebene (z.B. Mobilität)



Meilenstein: Überschlägig ermittelte Heizlasten und jährliche Energiebedarfe

Prüfung lokal verfügbarer Energieträgerpotenziale

- Außenluft
- Interne / externe Abwärme
- Oberflächennahe Geothermie
- Abwasser
- Photovoltaik
- Energiespeicher (Heißwasser, H₂)
- Fernwärme...

Ergebnis: Umfassende Zusammenstellung & Bewertung der verfügbaren Technologien („long-list“) inkl. Kondensierung in einer „short-list“ im Abgleich mit Heizlast und Energiebedarf

Schnittstellen: Abstimmung mit Fachbüros und lokalen Akteuren, regelmäßiger Austausch auf Arbeitsebene



Meilenstein: „Short-list“, Vorbetrachtung Konzepte

Vertiefung von 3 Vorzugsvarianten

- Energetische Detaillierung (Lastverläufe, Lastverschiebungen, Quellenanteile, ...)
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach VDI 2067
- Sensitivitätsbetrachtung
- Erläuterung von Betreibermodellen / Schnittstellen
- Erstellung einer Bewertungsmatrix
 - THG-Emissionen, Primär-/Endenergiebedarf
 - Komplexität des Betreibermodells
 - Robustheit / Flexibilität
 - Solarer Deckungsgrad / Flächenbedarf
 - ...

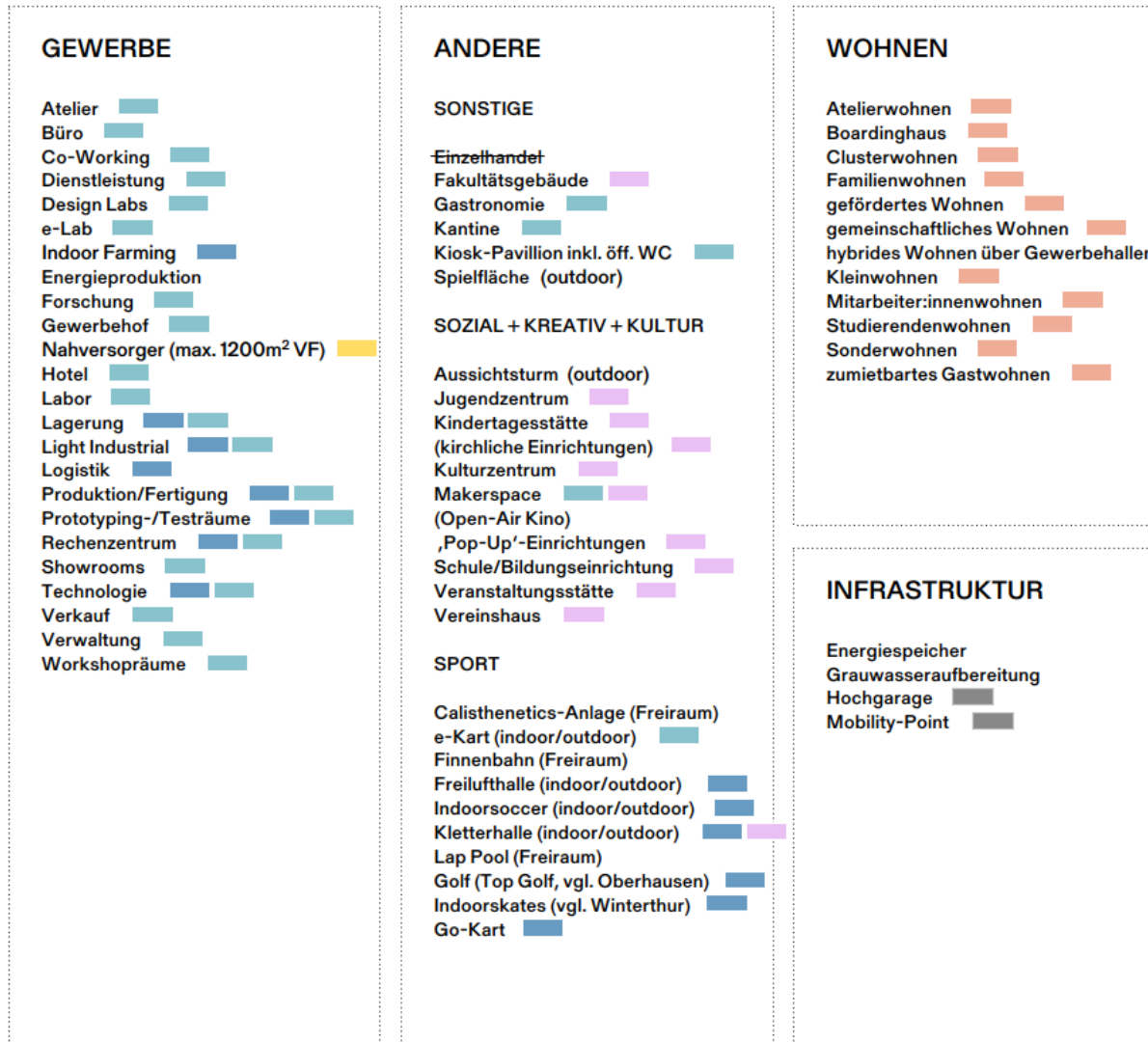
Ergebnis: Empfehlung zur Umsetzung einer Vorzugsvariante in Abstimmung mit dem AG

Schnittstellen: Regelmäßiger Austausch mit AG auf Arbeitsebene



Meilenstein: Abschlusspräsentation

Nutzenergiebedarf – Grundlagen



Die Ermittlung des jährlichen Lastverhaltens erfolgt auf Basis nutzungsspezifischer Heiz-, Kühl-, und Trinkwarmwasserbedarfe.

Die angewandten Kennzahlen auf Nutzenergieebene basieren auf Normwerten, Literaturwerten, Energiebedarfen von Vergleichsgebäuden sowie auf Erfahrungswerten.

Nutzenergie für Heizen und TWW ist die benötigte Energie für die betrachtete Zone, um die thermischen Raumkonditionen (Heizen) und die Trinkwarmwassermenge mit entsprechender Zulufttemperatur zu gewährleisten. Es werden keine Verteil- und Übergabeverluste berücksichtigt.

Die dargestellten Nutzungen sind konzeptionell gewählt und können/werden sich im Projekt ändern.

Vorgehen:

- Zusammenstellung der Bedarfe für Heizen, TWW, Kälte und Strom für alle Nutzungen
- Gewichtung der Nutzungen und Zusammenfassung in übergeordnete Bedarfsprofile
- Ermittlung der Quadratmeter je Baufeld
- Ermittlung der Heiz- und Kühllasten sowie jährlicher Energiebedarfe auf baufeldebene und quartiersumfassend

Nutzenergiebedarf – Grundlagen: Profile Nutzenergie

Nutzung	Zuordnung	Heizung	Warmwasser	Kälte	Strom
Gewerbe		[kWh/(m²·GF)]	[kWh/(m²·GF)]	[kWh/(m²·GF)]	[kWh/(m²·GF)]
Atelier	Gewerbe kleinteilig	40,00	0,00	0,00	5,00
Büro	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
Co-Working	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
Dienstleistung	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
Design Labs	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
e-Lab	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
Indoor-Farming	Gewerbe großflächig	0,00	0,00	1000,00	1000,00
Energieproduktion		-	-	-	-
Forschung hoch technisiert	Gewerbe kleinteilig	120,00	12,00	130,00	40,00
Forschung gering technisiert	Gewerbe kleinteilig	60,00	12,00	60,00	20,00
Gewerbehof	Gewerbe kleinteilig	35,00	12,50	0,00	60,00
Nahversorger	Einzelhandel	6,00	8,00	47,00	104,00
Hotel	Gewerbe kleinteilig	47,00	72,00	38,00	46,00
Labor	Gewerbe kleinteilig	120,00	12,00	130,00	40,00
Lagerung kleinteilig	Gewerbe kleinteilig	29,00	4,00	0,00	5,00
Lagerung großflächig	Gewerbe großflächig	29,00	4,00	0,00	5,00
Light Industrial kleinteilig	Gewerbe kleinteilig	35,00	12,50	0,00	60,00
Light Industrial großflächig	Gewerbe großflächig	35,00	12,50	0,00	60,00
Logistik	Gewerbe großflächig	29,00	4,00	0,00	5,00
Produktion/Fertigung kleinteilig	Gewerbe kleinteilig	50,00	4,00	36,00	40,00
Produktion/Fertigung großflächig	Gewerbe großflächig	50,00	4,00	36,00	40,00
Prototyping-/Testräume kleinteilig	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
Prototyping-/Testräume großflächig	Gewerbe großflächig	40,00	6,00	40,00	20,00
Rechenzentrum kleinteilig	Gewerbe kleinteilig	0,00	0,00	506,00	479,00
Rechenzentrum großflächig	Gewerbe großflächig	0,00	0,00	506,00	479,00
Showrooms	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
Technologie kleinteilig	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
Technologie großflächig	Gewerbe großflächig	40,00	6,00	40,00	20,00
Verkauf	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
Verwaltung	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
Workshopräume	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
Andere					
Sonstige					
Fakultätsgebäude	Andere	40,00	6,00	40,00	20,00
Gastronomie	Gewerbe kleinteilig	57,00	13,00	0,00	100,00
Kantine	Gewerbe kleinteilig	57,00	13,00	0,00	100,00
Kiosk-Pavillon inkl. off. WC	Gewerbe kleinteilig	20,00	3,00	0,00	20,00
Spielfläche (outdoor)		0,00		0,00	0,00
Sozial+Kreativ+Kultur					
Aussichtsturm (outdoor)		0,00		0,00	0,00
Jugendzentrum	Andere	59,00	6,00	0,00	17,00
Kinderfeststätte	Andere	44,00	20,00		16,00
Kirchliche Einrichtungen	Andere	40,00	6,00	40,00	20,00
Kulturzentrum	Andere	40,00	6,00	40,00	20,00
Makerspace	Gewerbe kleinteilig	40,00	6,00	40,00	20,00
Open-Air Kino					?
"Pop-Up" Einrichtungen	Andere	40,00	6,00	40,00	20,00
Schule/Bildungseinrichtungen	Andere	38,00	19,00	15,00	12,00
Veranstaltungsstätte	Andere	40,00	6,00	40,00	20,00
Vereinshaus	Andere	59,00	6,00	0,00	17,00
Sport					
Sporthallen	Gewerbe großflächig	37,00	25,00	8,00	16,00
Wohnen					
Atelierwohnen	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
Boardinghaus	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
Clusterwohnen	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
Familienwohnen	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
gefordertes Wohnen	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
gemeinschaftliches Wohnen	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
hybrides Wohnen über Gewerbehallen	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
Kleinwohnen	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
MitarbeiterInnenwohnen	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
Studierendenwohnen	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
Sonderwohnen	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
Zumietbartes Gastwohnen	Wohnen	55,00	10,00	0,00	17,00
Infrastruktur					
Energiespeicher		0,00		0,00	0,00
Grauwasseraufbereitung		0,00		0,00	0,00
Hochgarage	Mobilität	0,00	0,00	0,00	7,00
Mobility Point	Mobilität	0,00	0,00	0,00	7,00

Nutzenergiebedarf – Grundlagen: Ermittlung gewichteter Bedarfsprofile

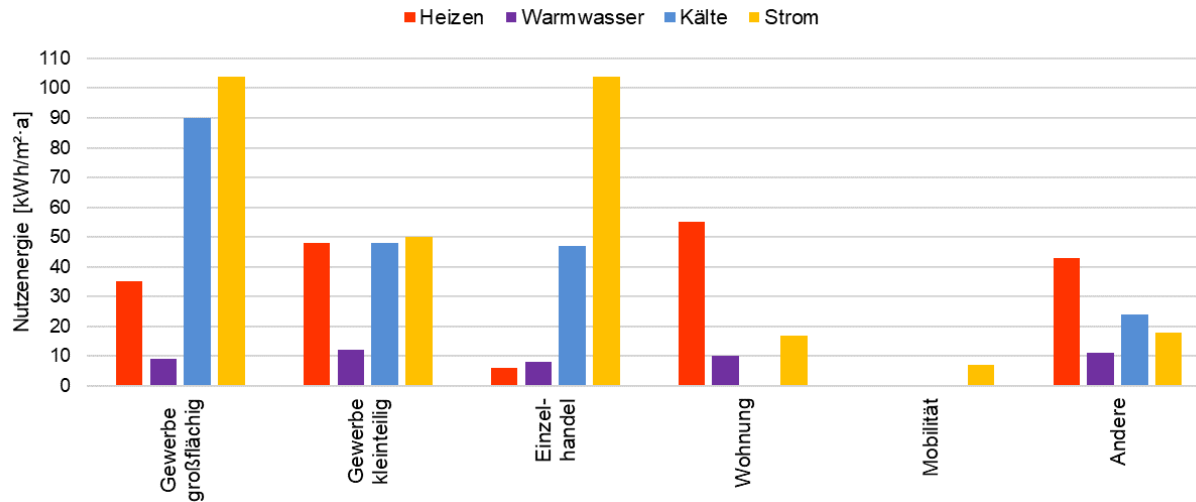
Gewerbe großflächig		72.000 m²_{GF}	Gewerbe kleinteilig		81.000 m²_{GF}	Einzelhandel	5.000 m²_{GF}
Light Industrial großflächig	18.000 m ² (25 %)		Büro		8.100 m ² (10 %)	→ Gewichtung ist nicht erforderlich	
Produktion/Fertigung großfl.	16.200 m ² (22,5 %)		Verkauf		6.075 m ² (7,5 %)		
Lagerung großfl.	7.200 m ² (10 %)		Gewerbehof		6.075 m ² (7,5 %)		
Logistik	7.200 m ² (10 %)		Produktion/Fertigung kleint.		6.075 m ² (7,5 %)		
Technologie großflächig	7.200 m ² (10 %)		Verkauf		6.075 m ² (7,5 %)		
Sporthallen	7.200 m ² (10 %)		Gastronomie		4.860 m ² (6 %)		
Rechenzentrum großflächig	3.600 m ² (5 %)		Kantine		4.050 m ² (5 %)		
Indoor-Farming*	3.600 m ² (5 %)		Verwaltung		4.050 m ² (5 %)		
Prototyping-/Testräume großfl.	1.800 m ² (2,5 %)		Light Industrial kleinteilig		4.050 m ² (5 %)		
			Hotel		4.050 m ² (5 %)		
			Forschung gering technisiert		4.050 m ² (5 %)		
			Forschung hoch technisiert		4.050 m ² (5 %)		
			Dienstleistung		4.050 m ² (5 %)		
			Co-Working		2.025 m ² (2,5 %)		
			Design Labs		2.025 m ² (2,5 %)		
			e-Lab		2.025 m ² (2,5 %)		
			Labor		2.025 m ² (2,5 %)		
			Lagerung kleinteilig		2.025 m ² (2,5 %)		
			Prototyping-/Testräume kleinteilig		2.025 m ² (2,5 %)		
			Rechenzentrum kleinteilig		2.025 m ² (2,5 %)		
			Showrooms		2.025 m ² (2,5 %)		
			Technologie kleinteilig		2.025 m ² (2,5 %)		
			Kiosk-Pavillon inkl. öff. WC		810 m ² (1 %)		
			Makerspace		810 m ² (1 %)		
			Atelier		810 m ² (1 %)		

* In einem Vergleichsprojekt beträgt die vorgehaltene Fläche für Urban Farming ca. 3.000 m²

Nutzenergiebedarf – Grundlagen: Ermittlung gewichteter Bedarfsprofile

Wohnen	28.000 m²_{GF}	Mobilität	36.000 m²_{GF}	Andere	10.000 m²_{GF}
→ Gewichtung ist nicht erforderlich		→ Gewichtung ist nicht erforderlich		Schule/Bildungseinrichtungen	2.000 m ² (20 %)
				Veranstaltungsstätte	1.500 m ² (15 %)
				Fakultätsgebäude	1.250 m ² (12,5 %)
				Kindertagesstätte	1.250 m ² (12,5 %)
				Jugendzentrum	1.000 m ² (10 %)
				Kulturzentrum	1.000 m ² (10 %)
				Kirchliche Einrichtung	750 m ² (7,5 %)
				„Pop-Up“ Einrichtungen	750 m ² (7,5 %)
				Vereinshaus	500 m ² (5 %)

Nutzenergiebedarf – Grundlagen: Nutzenergiebedarf nach Nutzung



Die Ermittlung des jährlichen Lastverhaltens erfolgt auf Basis nutzungsspezifischer Heiz-, Kühl-, und Trinkwarmwasserbedarfe.

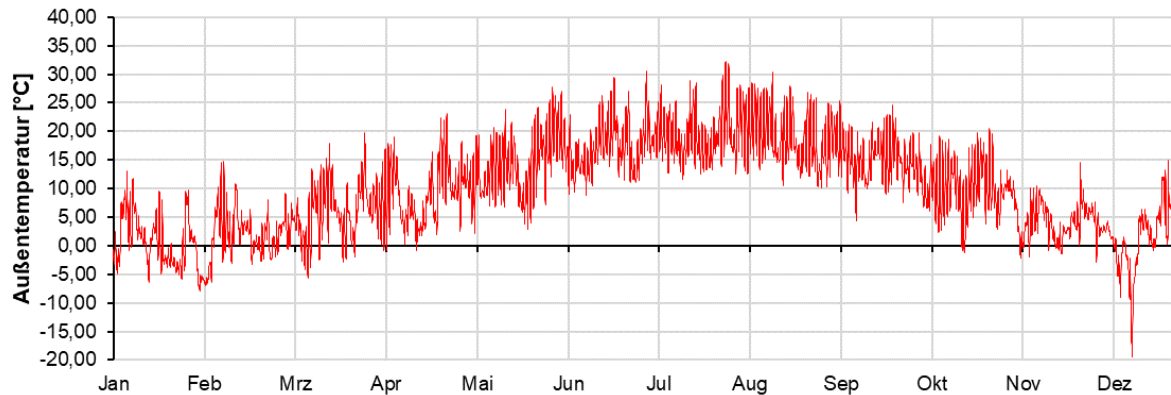
Die angewandten Kennzahlen auf Nutzenergieebene basieren auf Normwerten, Literaturwerten, Energiebedarfen von Vergleichsgebäuden sowie auf Erfahrungswerten.

Nutzenergie für Heizen und TWW ist die benötigte Energie für die betrachtete Zone, um die thermischen Raumkonditionen (Heizen) und die Trinkwarmwassermenge mit entsprechender Zulufttemperatur zu gewährleisten. Es werden keine Verteil- und Übergabeverluste berücksichtigt.

	Heizung kWh/m²a	TWW kWh/m²a	Kühlung kWh/m²a	Strom kWh/m²a
Gewerbe großflächig	35	9	90	104
Gewerbe kleinteilig	48	12	48	50
Einzelhandel	6	8	47	104
Wohnen	55	10	0	17
Mobilität	0	0	0	7
Andere	43	11	24	18

Bezugsfläche: NGF

	Gewerbe großflächig	Gewerbe kleinteilig	Einzelhandel	Wohnen	Mobilität	Andere
	[m ² _{GF}]	[m ² _{GF}]	[m ² _{GF}]	[m ² _{GF}]	[m ² _{GF}]	[m ² _{GF}]
BF 1	17.660	0	0	0	0	0
BF 2+3	34.538	17.690	0	7.204	0	0
BF 4	7.356	4.670	0	0	0	0
BF 5	0	0	2.629	0	13.145	0
BF 6	2.537	8.677	0	0	0	0
BF 7	0	2.960	2.332	0	16.391	945
BF 8	0	9.240	0	0	0	1.900
BF 9	0	2.161	0	8.011	6.684	1.011
BF 10	0	4.050	0	0	0	3.375
BF 11	6.332	6.668	0	0	0	0
BF 12	0	5.621	0	4.356	0	1.489
BF 13+14	3.570	15.221	0	4.591	0	0
BF 15	0	3.604	0	4.058	0	1.692
	71.993	80.562	4.961	28.220	36.220	10.412



Für die Berechnung stündlicher Wärmebedarfe werden lokale Wetterrandbedingungen zugrunde gelegt. Hierzu werden die Daten des ortsgenauen Testreferenzjahres mit dem Bezugszeitraum 2031-2060 (TRY2045) des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung verwendet.

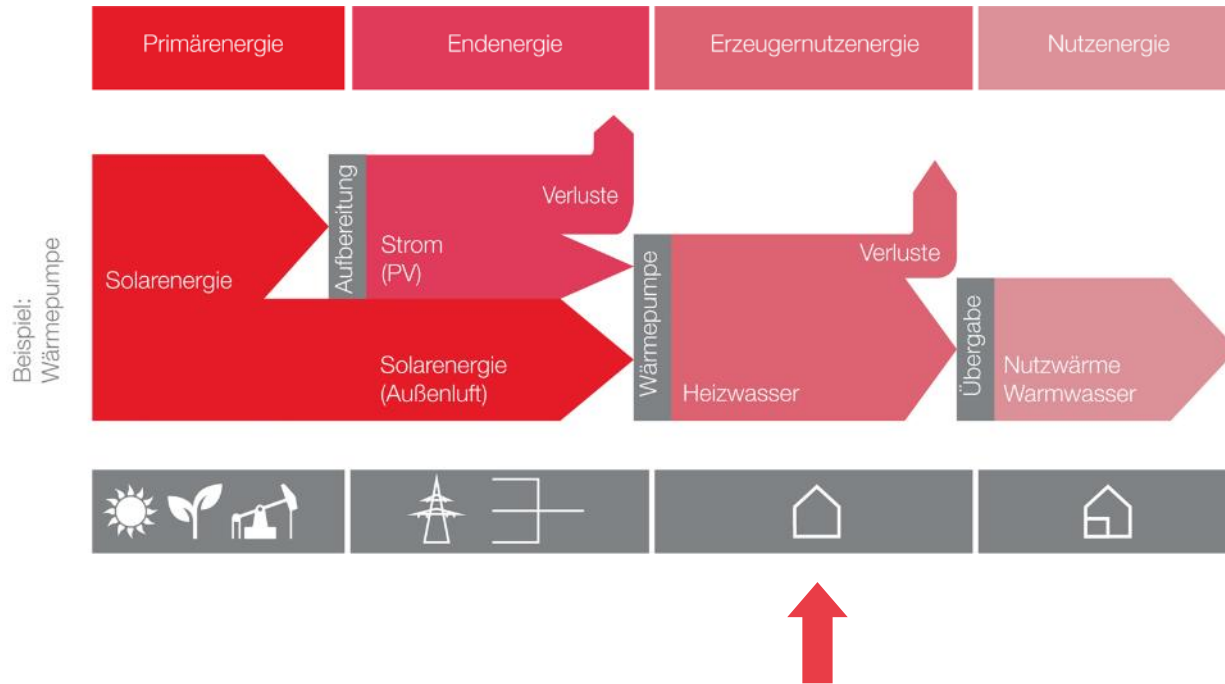
Die Testreferenzjahre werden mit einer Auflösung von ca. einem Quadratkilometer erzeugt. Es wird der Datensatz mit den Koordinaten 48,3237°N 11,7371°O (Hallbergmoos) verwendet. Der Einfluss des Ortes und die Höhenabhängigkeit werden dabei berücksichtigt.

Die Berechnungen erfolgen auf Basis von Zukunftsprognosen für Witterungsverhältnisse eines typischen Jahres. Dieses ursprünglich als Zukunftsszenario angesetzte Typ-Jahr entspricht bereits den heutigen Witterungsverhältnissen und erlaubt damit eine genauere Abschätzung von Lastgängen gegenüber den Typ-Jahren, die auf Vergangenheitswerten basieren.

Der Betrachtungszeitraum beträgt ein Jahr vom 1. Januar bis 31. Dezember.



Quelle: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (TRY2045)



→ Die Energieform in nachfolgenden Berechnungen ist **Erzeugernutzenergie**

Erzeuger-Nutzenergie ist die Energie, die nach Umwandlungsprozessen vom Erzeuger dem Heiz-System zugeführt wird. Verluste im Gebäude sind damit berücksichtigt.

Die Art der Warmwasserbereitung hat dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Verluste im Gebäude. Es kann zwischen Frischwasserstation (Zirkulation), elektrischen Durchlauferhitzern und Wohnungsübergabestationen differenziert werden.

Warmwasserbereitung

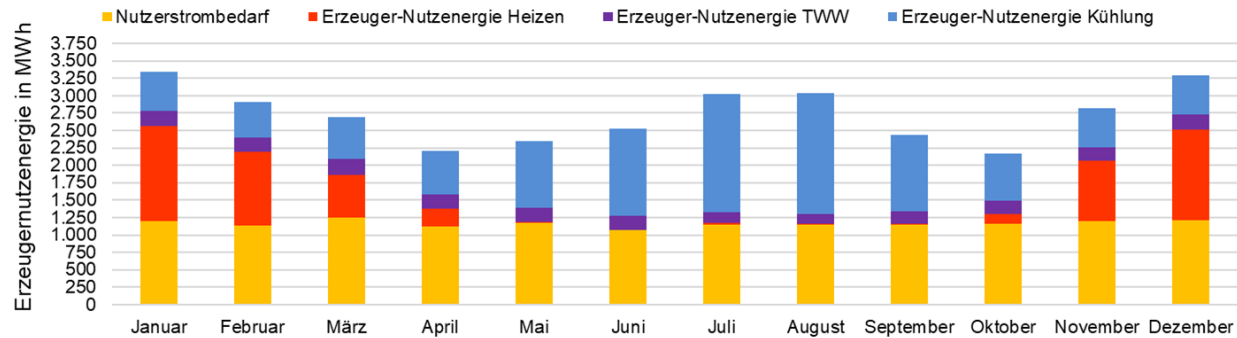
- Bei Wohnnutzung werden **Zirkulationsverluste von 100 %** angenommen.
- In den Nutzungen Gewerbe kleinteilig, Gewerbe großflächig, Einzelhandel und anderen Nutzungen wird eine **verlustfreie** dezentral elektrische Warmwasserbereitung angenommen

Lüftung

- In den Nutzungen Gewerbe kleinteilig, Gewerbe großflächig, Einzelhandel und anderen Nutzungen wird in der energetischen Bilanzierung von einer Lüftungsanlage und einer resultierenden Erzeugernutzwärmeeinsparung von 40% ausgegangen
- Bei den o.g. Nutzungen wird zunächst ein Strombedarf für eine Lüftungsanlage von $6 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ angesetzt

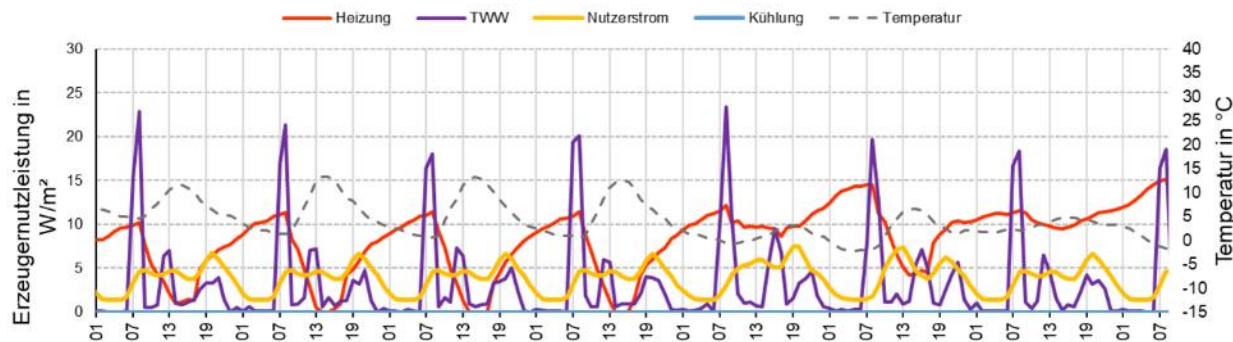
Erzeuger- Nutzenergiebedarfslastgang

Erzeuger-Nutzenergiebedarfslastgang



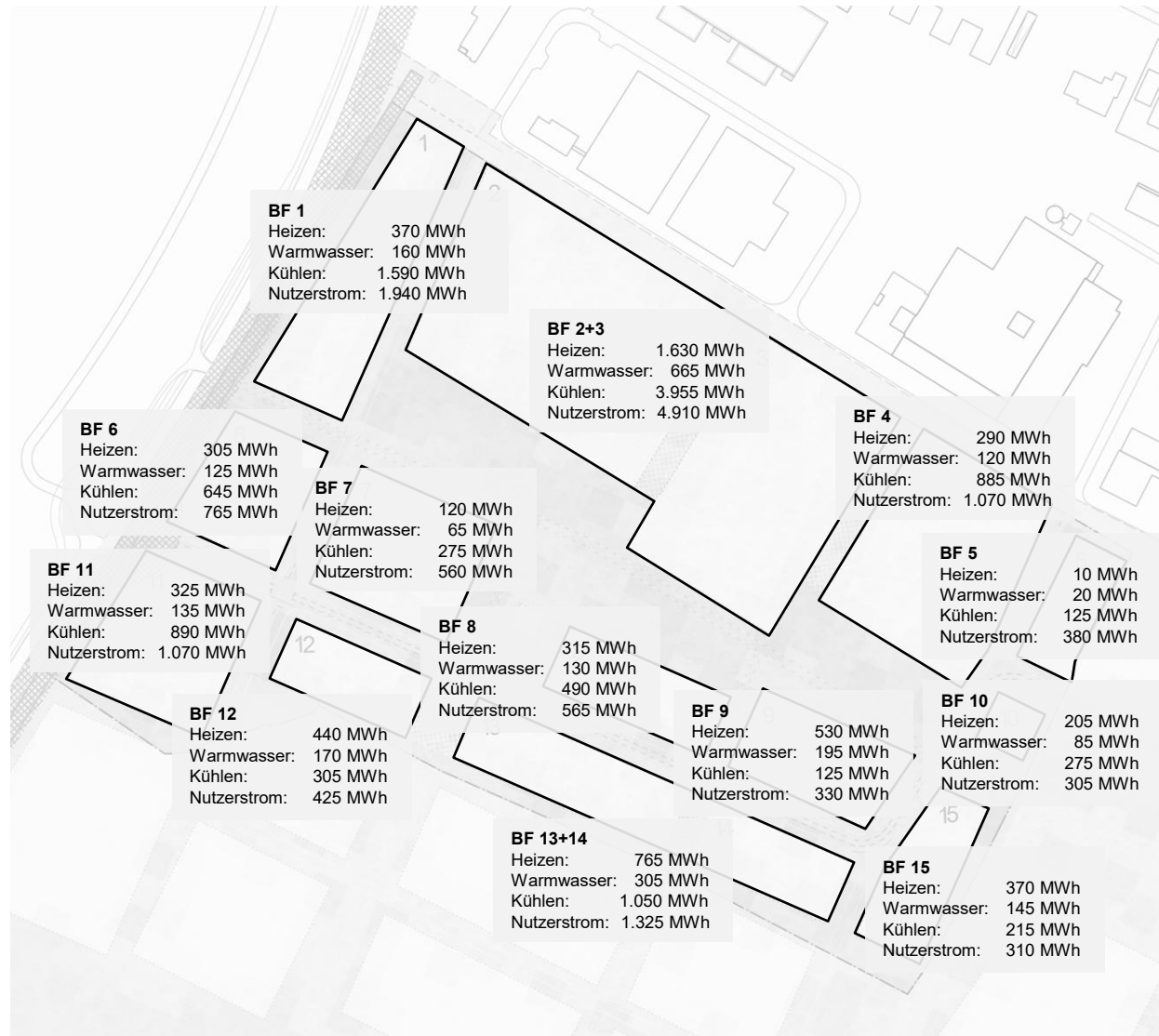
→ Die dargestellte Erzeuger-Nutzenergie berücksichtigt Zirkulationsverluste sowie Energieeinsparungen und –aufwände von Lüftungsanlagen

Über die spezifischen Bedarfskennwerte wird in einem vereinfachten Verfahren ein gebäudeseitiger Lastgang auf Nutzenergieebene in Stundenaufösung erstellt. Im Wesentlichen wird der Energiebedarf in Abhängigkeit der Wetterrandbedingungen (Temperatur, Sonneneinstrahlung, etc.) und einem typischen Nutzerprofil auf die Stunden eines Jahres verteilt. Die Warmwasserzapfung erfolgt ebenfalls nach einem simulierten Typprofil. Der Stromlastgang wird gemäß den Standardlastprofilen des VDEW erzeugt.



Profil Wohnen – Beispiel Februarwoche

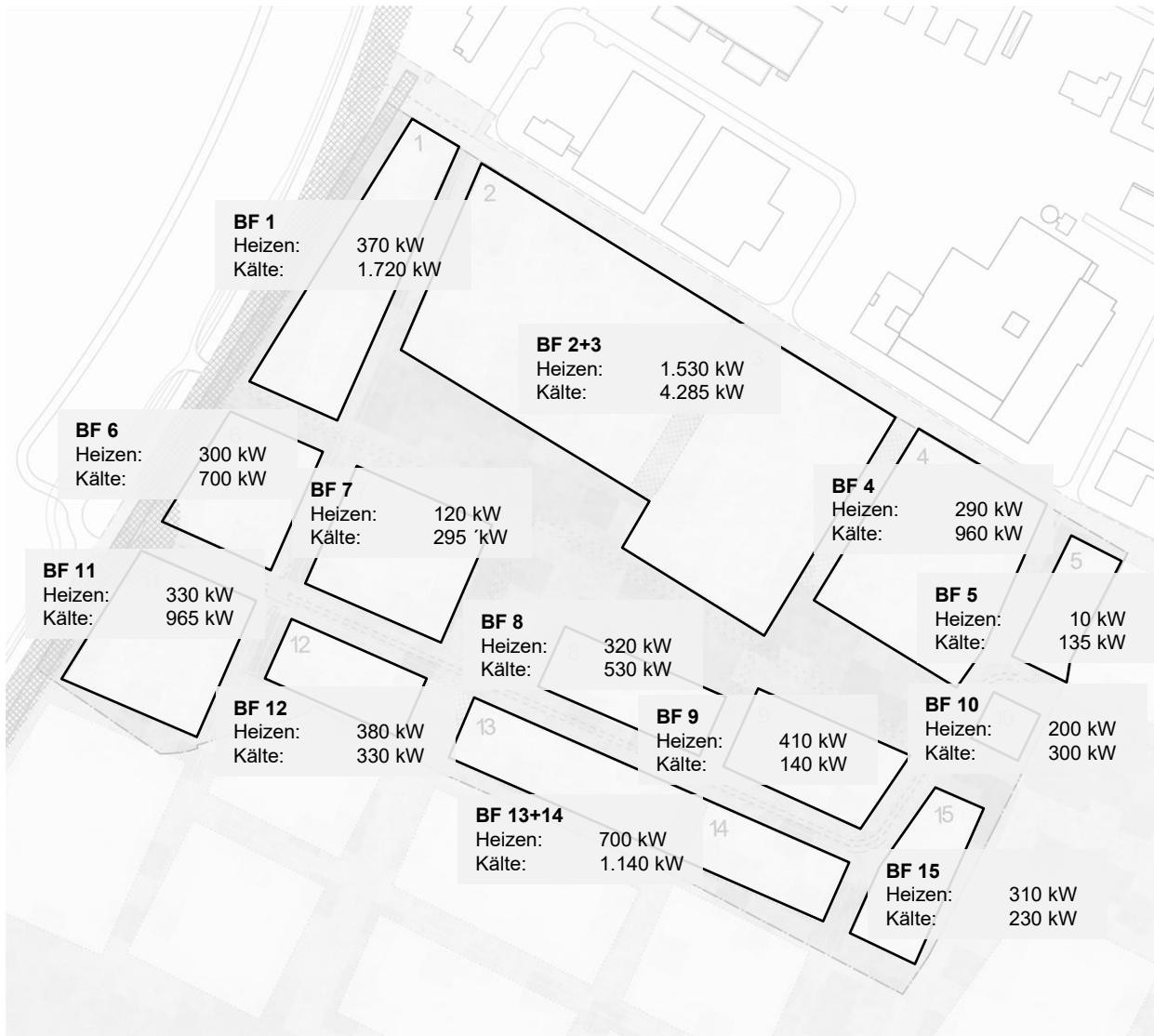
Erzeuger- Nutzenergiebedarfskennwerte



Erzeuger-Nutzenergiebedarfe:

Heizen:	5.670 MWh/a
Trinkwarmwasser:	2.335 MWh/a
Kühlen:	10.830 MWh/a
Nutzerstrom:	13.960 MWh/a

Erzeuger-Nutzenergiebedarfskennwerte: Heiz- und Kühllasten nach Baufeld



Heizlast Quartier:	5.300 kW
mit Gleichzeitigkeit 0,8:	4.200 kW
Kühllast Quartier:	11.700 kW
mit Gleichzeitigkeit 0,8:	9.400 kW

Exkurs: Elektrische Erschließung,
Energieintensive Nutzung / Abwärmerückgewinnung

Verbrauchsgruppe	Elektrische Leistung	Elektrische Energie	Bemerkung
Nutzerstrom	3 – 4 MW _{el}	Ca. 14.000 MWh _{el} /a	Annahme: 3.800 Vbh
Wärmeversorgung	2 – 3 MW _{el}	Ca. 2.500 MWh _{el} /a	Annahme: COP 2,5
Kälteversorgung	2 – 3 MW _{el}		Annahme: COP 4
Elektromobilität	Ca. 1 MW _{el}		Annahme: 1.600 Stellplätze, Elektrifizierung: 20%, Gleichze
Industrielle Anwendungen	offen		Rechenzentren, Light Industrial, Indoor Farming
Summe, ohne Gleichzeitigkeit	10 MW_{el}		exkl. Light industrial & Rechenzentrum

Erzeugung quartiersintern	Elektrische Leistung	Bemerkung
Photovoltaik	Ca. 6 MW _{el}	Annahme: Ausgeglichene Jahresenergiebilanz in der Wärmeversorgung

Indoor Farming



Einschätzung:

- Hoher Strombedarf durch Beleuchtung und Kühlung (bis zu 3.000 kWh/m²·a), perspektivisch mit Grundlastanteil
- Potenzielle Wärmerückgewinnung an Quartier (Warmwasser, Heizung bei netzgebundener Wärmeversorgung)
- Potenziell Kühlung mit Geothermie

Rechenzentrum



Einschätzung:

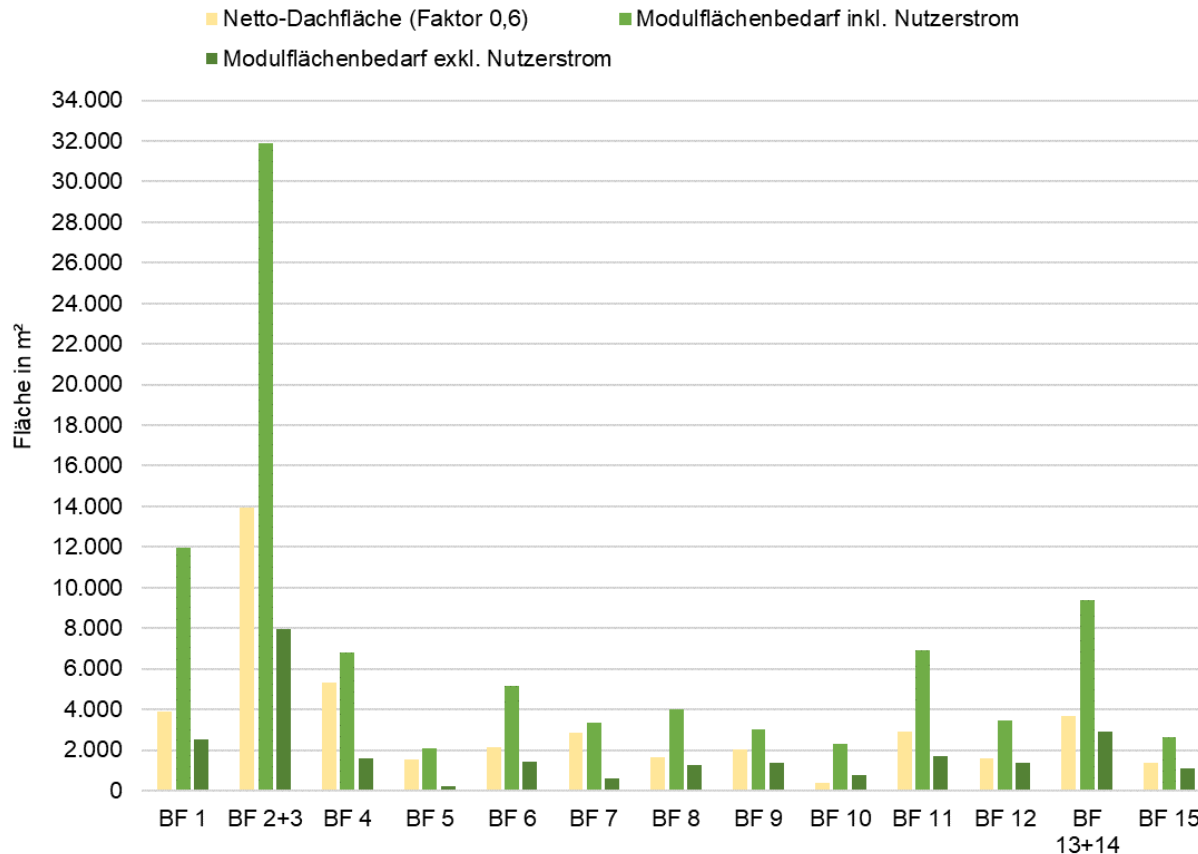
- Hoher Strom- und Kältebedarf (jeweils ca. 500 kWh/m²·a)
- Potenzielle Wärmerückgewinnung an Quartier (Warmwasser, Heizung bei netzgebundener Wärmeversorgung)
- Potenziell Kühlung mit Geothermie

Konsequenzen auf Versorgungssystem

- Ggf. verfügbare Abwärme kann im Winter zum Heizen und im Sommer zur (zentralen) Warmwasserbereitung verwendet werden
 - Die Abwärmenutzung erfordert, sofern sie nicht direkt beim Erzeuger genutzt werden kann, eine netzgebundene Wärmeversorgung (Nahwärme)
 - Bei hohen Kältelasten, bietet sich eine zentrale Wärme- und Kälteerzeugung mit 4-Leiter-Netz an, um die Abwärme der Kälteerzeugung zentral verteilen zu können
 - Abwärmenutzung reduziert den Bedarf weiterer Energiequellen (z.B. kleinere Rückkühler, geringerer Grundwasservolumenstrom ausreichend)
 - Machbarkeit ist in Abhängigkeit der elektrischen Erschließung zu prüfen
- Die Möglichkeit zur Auskopplung und Verteilung von Abwärme aus den industriellen Prozessen, aber auch der davon unabhängigen Kälteerzeugung, kann erhebliche Auswirkungen haben und muss je Versorgungsvariante berücksichtigt und bewertet werden

Flächenabgleich Klimaneutralität

PV-Flächenbedarf für ausgeglichene Energiebilanz (Klimaneutralität im Betrieb)



Bilanzierung exklusive Nutzerstrom, Nettoflächen:

- Bei isolierter Betrachtung der Baufelder ist eine ausgeglichene, jährliche Energiebilanz erreichbar (Nicht in BF10)
- Quartiersumgreifend eine ausgeglichene, jährliche Energiebilanz bei einer Belegung von rund 60% der Netto-Dachflächen erreicht

Bilanzierung inklusive Nutzerstrom, Nettoflächen:

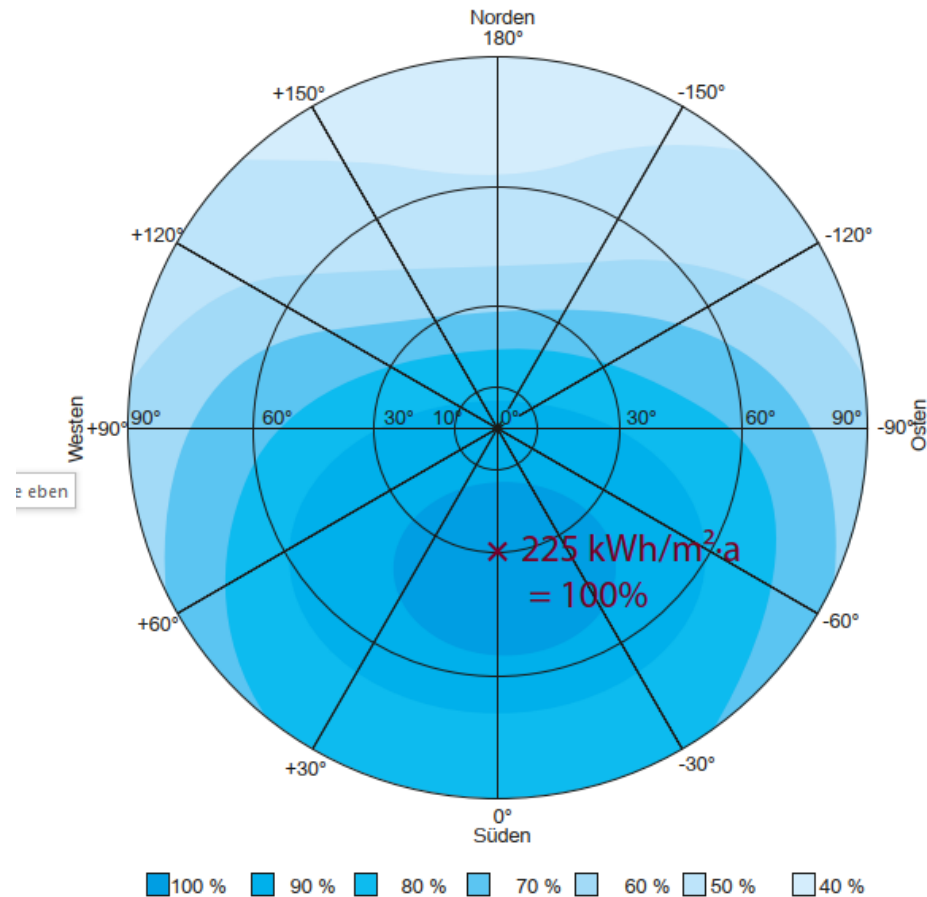
- Eine ausgeglichene, jährliche Energiebilanz bei Belegung von Netto-Dachflächen nicht erreicht
- Quartiersumgreifend besteht ein Defizit von rund 55 % bzw. 50.000 m² Netto-Dachfläche

Annahmen:

- Jahresarbeitszahl Heizen: 4
- Jahresarbeitszahl Warmwasser: 1,5
- EER-Kühlung: 5
- Effizienz Photovoltaik 205 kWh/m²
- Ausrichtung: Ost/West, 10°
- Volllaststunden: 955 kWh/kWp
- Belegungsfaktor: 0,6*

*in Abhängigkeit der Dachgestaltung (Entwässerung)
ist der Faktor geringer

PV-Flächenbedarf für ausgeglichene Energiebilanz (Klimaneutralität im Betrieb)



Solare Erträge in Abhängigkeit von Neigungswinkel und Himmelsrichtung
des Maximalwerts bei optimaler Ausrichtung und Neigung

Quelle: Ratka et alii., Technik Erneuerbarer Energien, S.71, 2015

- In Abhängigkeit der Dachgestaltung resultieren je nach Ausrichtung höhere oder niedrigere Erträge
- An Fassaden ergeben sich im Vergleich zu einer 10° Ost-West-Anlage näherungsweise folgende Ertragsfaktoren:
 - Süd: 0,80
 - West: 0,60
 - Ost: 0,65



23.1204 B-Plan Hallbergmoos

Energieversorgungskonzept

AP3: Potenzialermittlung & Vorkonzeption von
Energieversorgungsvarianten

Kirchheim, 05.08.2025
Ingenieurbüro Hausladen GmbH

Prof. Dipl.-Ing. (univ.) Elisabeth Endres
M.Eng. Christian Götz
M.Sc. Nikolaus Wechs

Grundlagen und Bedarfsermittlung

- Zusammenstellung von überschlägigen Bedarfskennwerten i.A. der Nutzungen
- Charakterisierung der Verbraucher (Temperaturen, Lasten, Betriebszeiten)
- Erstellung von überschlägigen Lastgängen (Wärme, Warmwasser, Nutzerstrom)

Ergebnis: Energetisches Modell als Grundlage für sämtliche der folgenden Betrachtungen

Schnittstellen: Regelmäßiger Austausch auf Arbeitsebene (z.B. Mobilität)



Meilenstein: Überschlägig ermittelte Heizlasten und jährliche Energiebedarfe

Prüfung lokal verfügbarer Energieträgerpotenziale

- Außenluft
- Interne / externe Abwärme
- Oberflächennahe Geothermie
- Abwasser
- Photovoltaik
- Energiespeicher (Heißwasser, H₂)
- Fernwärme...

Ergebnis: Umfassende Zusammenstellung & Bewertung der verfügbaren Technologien („long-list“) inkl. Kondensierung in einer „short-list“ im Abgleich mit Heizlast und Energiebedarf

Schnittstellen: Abstimmung mit Fachbüros und lokalen Akteuren, regelmäßiger Austausch auf Arbeitsebene



Meilenstein: „Short-list“, Vorbetrachtung Konzepte

Vertiefung von Vorzugsvarianten

- Energetische Detaillierung (Lastverläufe, Lastverschiebungen, Quellenanteile, ...)
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach VDI 2067
- Sensitivitätsbetrachtung
- Erläuterung von Betreibermodellen / Schnittstellen
- Erstellung einer Bewertungsmatrix
 - THG-Emissionen, Primär-/Endenergiebedarf
 - Komplexität des Betreibermodells
 - Robustheit / Flexibilität
 - Solarer Deckungsgrad / Flächenbedarf
 - ...

Ergebnis: Empfehlung zur Umsetzung einer Vorzugsvariante in Abstimmung mit dem AG

Schnittstellen: Regelmäßiger Austausch mit AG auf Arbeitsebene



Meilenstein: Abschlusspräsentation

Bedarfsermittlung: Rückblick und Ergänzungen

Grundlage: Testentwurf B vom 30.08.2024

Übersicht Bedarfsermittlung: Heiz- und Kühllasten, Erzeuger-Nutzenergiebedarfe



Heizlast Quartier: **5.300 kW**

mit Gleichzeitigkeit 0,8: 4.200 kW

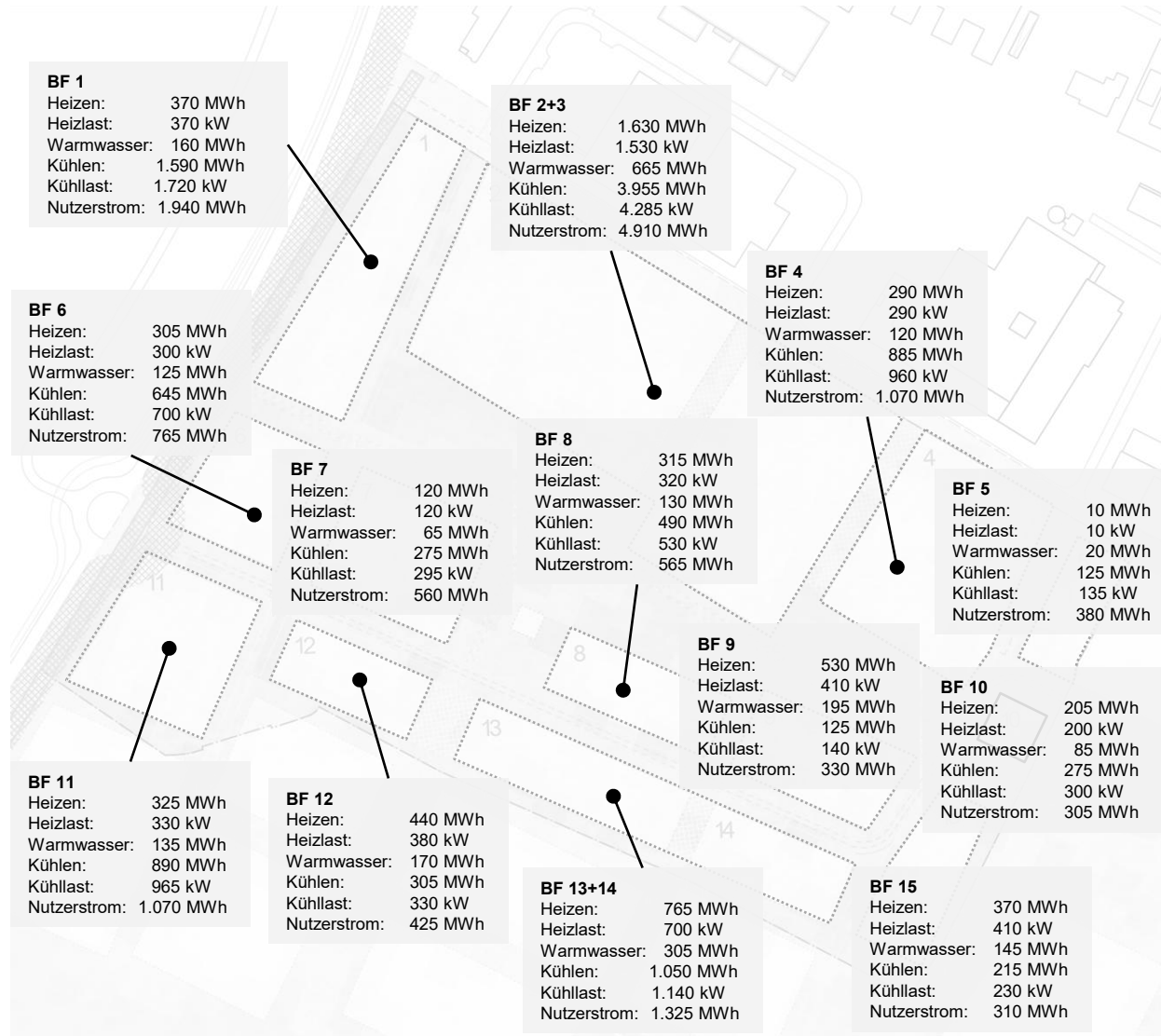
Kühllast Quartier: **11.700 kW**

mit Gleichzeitigkeit 0,8: 9.400 kW

Erzeuger-Nutzenergiebedarfe:

Heizen:	5.300 kW	5.670 MWh/a
Trinkwarmwasser:		2.335 MWh/a
Kühlen:	11.700 kW	10.830 MWh/a
Nutzerstrom:		13.960 MWh/a

Übersicht Bedarfsermittlung: Heiz- und Kühllasten, Erzeuger-Nutzenergiebedarfe



Heizlast Quartier: **5.300 kW**

mit Gleichzeitigkeit 0,8: 4.200 kW

Kühllast Quartier: **11.700 kW**

mit Gleichzeitigkeit 0,8: 9.400 kW

Erzeuger-Nutzenergiebedarfe:

Heizen:	5.300 kW		5.670 MWh/a
Trinkwarmwasser:			2.335 MWh/a
Kühlen:	11.700 kW		10.830 MWh/a
Nutzerstrom:			13.960 MWh/a

Energieträgerpotenziale und Wärmequellen für Wärmepumpen

Vorauswahl Energieträger und Wärmequellen für Wärmepumpen

Long list

Abwärme off-site / quartiersextern

- Deco-Pack, Hekuma

Abwärme on-site / quartiersintern

- Wärmerückgewinnung bei Kälteerzeugung
- Wärmerückgewinnung aus light Industrial (z.B. Vertical Farming, Rechenzentren)

Abwasser-Abwärme kommunal

Außenluft

Biomasse / Holzbrennstoffe

Eisspeicher

Erdwärmekollektoren / Erdwärmekörbe

Erdwärmesonden / Energiepfähle

Fernwärme

Grundwasser

Oberflächengewässer

Photovoltaik

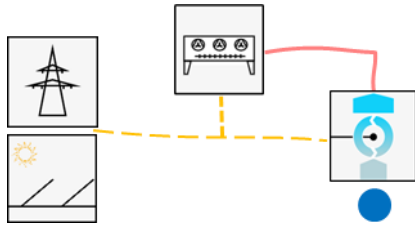
PVT-Kollektoren

Saisonale Wärmespeicherung

Solarthermie

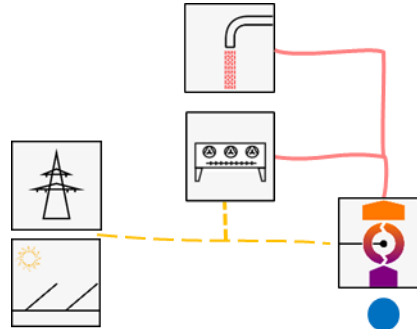
Wasserstoff / EE-Gase

Rückkühlung an Außenluft



- Die Verflüssigung erfolgt über einen trockenen Rückkühler an Außenluft
- Die Effizienz der Kälteerzeugung ist optimiert
- Eine Wärmerückgewinnung an die Warmwassererzeugung ist nicht möglich
- Außerhalb der Kühlperiode ist der Betrieb der Kältemaschine als Wärmepumpe (zum Heizen und zur Warmwasserbereitung) möglich

WRG an Warmwasser und/oder Heizung



- Die Verflüssigung erfolgt nach Bedarf an die Warmwasserbereitung
- Die Effizienz des Gesamtsystems Warmwasserbereitung, Gebäudebeheizung und Kühlung wird optimiert
- Abwärme kann (anteilig) zur Warmwasserbereitung während zeitgleicher Kälteerzeugung verwendet werden
- Außerhalb der Kühlperiode ist der Betrieb der Kältemaschine als Wärmepumpe (zum Heizen und zur Warmwasserbereitung) möglich

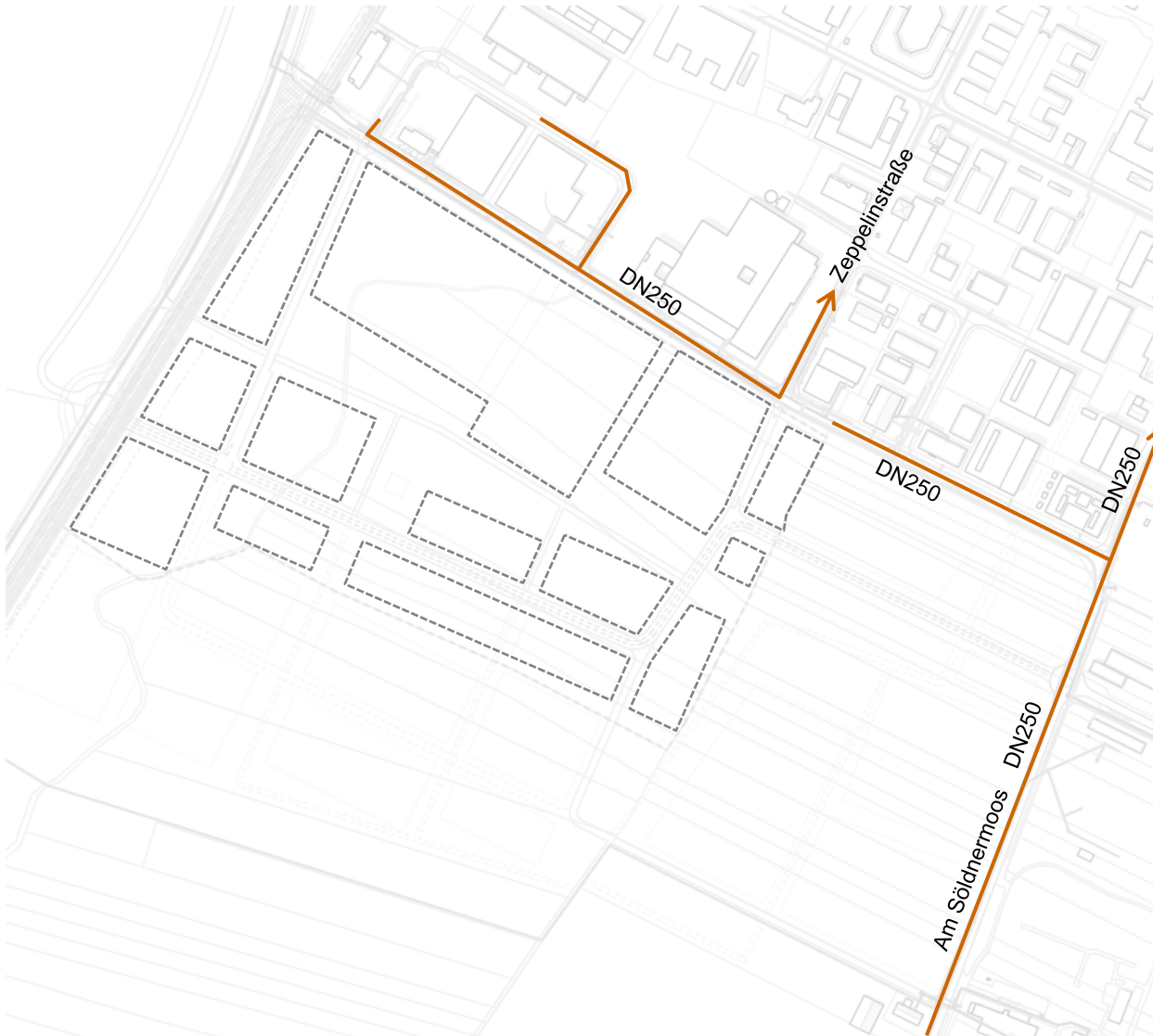
Die Nutzung von Abwärme ist eine effektive Möglichkeit, die Effizienz zu steigern.

Ein entscheidendes Kriterium ist das Temperaturniveau, auf dem die Abwärme anfällt. Im Quartierskontext liegt dieses in der Regel zu niedrig für eine direkte Nutzung und muss daher zunächst erhöht werden, was mit einem gewissen Energieaufwand verbunden ist.

Standort Hallbergmoos:

- Rechenzentren und gewerbliche Nutzungen (z.B. Indoor Farming) benötigen ganzjährig Prozesskühlung, wodurch die Wärmerückgewinnung im Winter zur Heizungsunterstützung und im Sommer zur Warmwasserbereitung beitragen kann
- Bei der Kälteerzeugung für die Raumklimatisierung fällt Abwärme primär im Sommer an. Dieses kann primär für die Warmwasserbereitung eingesetzt werden
- Der Umfang des Abwärmepotenzials lässt sich bei der Festlegung der Nutzungen genau quantifizieren
- Verhältnis des jährlichen Kältebedarfs zum Wärmebedarf: 1,9

➤ Weiter zu berücksichtigen



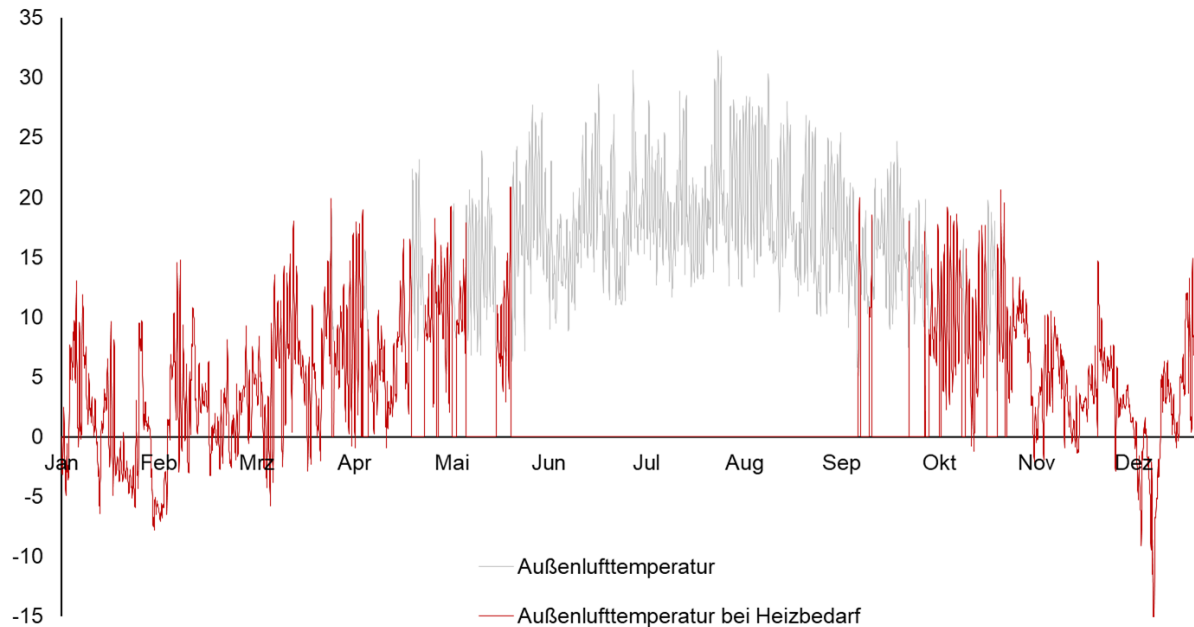
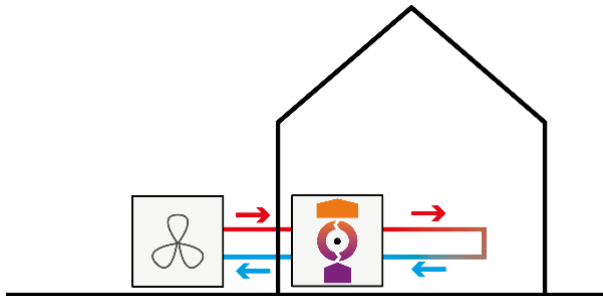
Abwasser weist je nach Nutzung und Jahreszeit Temperaturen von 5 bis ca. 20°C auf. In der Regel wird das Abwasser ohne energetische Nutzung zur Kläranlage geleitet. Durch Abwasserwärmeübertrager lässt sich die im Abwasser gespeicherte Wärme in Kombination mit Wärmepumpentechnik zu Heiz- und Kühlzwecken nutzen. Eine passive Temperierung ist i.d.R. nur bedingt möglich.

Externe Systeme können laut Hersteller bereits ab einem Trockenwetterabfluss von 10 Litern pro Sekunde bei einer Abkühlung von 2 K wirtschaftlich betrieben werden.

Standort Hallbergmoos:

- In der Straße Am Söldnermoos verläuft ein Schmutzwassersammler der Dimension DN250; über diesen werden nur geringe Wassermengen geführt (Sportheim)
- Ein weiterer Schmutzwasserkanal verläuft in der Dornierstraße und weiter in die Zeppelinstraße; dessen Auslastung liegt lt. Gemeinde bei ca. 5 Litern pro Sekunde
- Mit den gegebenen Dimensionen ist überschlägig eine Leistung von ca. 25-50 kW realisierbar

➤ Die Dimensionen sind am Standort nicht ausreichend.



Außenluft kann mit Luft-Wasser-Wärmepumpen zu Heiz- und Kühlzwecken genutzt werden.

Die Versorgung ist zentral über ein Nahwärmenetz oder dezentral je Gebäudekomplex möglich.

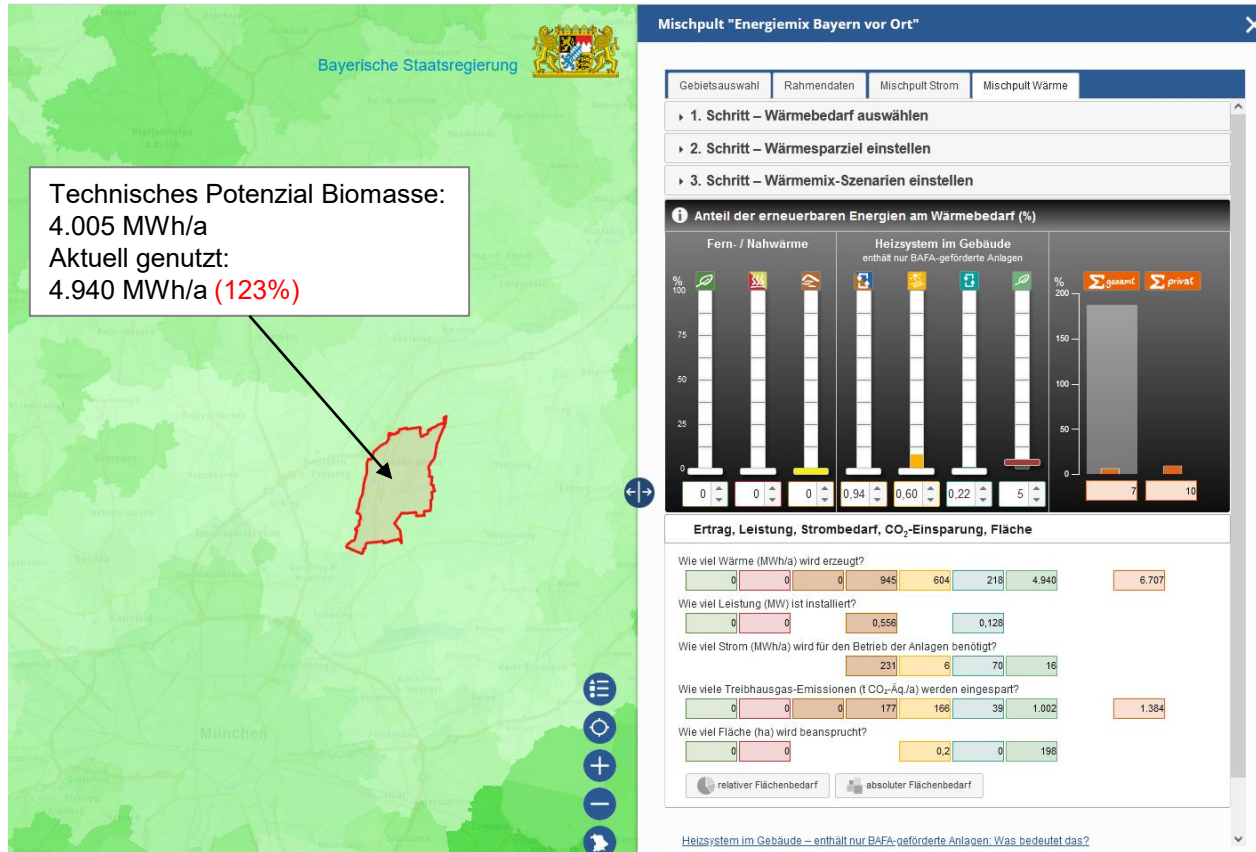
Luft-Wasser-Wärmepumpen können inzwischen hohe Vorlauftemperaturen bis 80°C bedienen. Der Nachteil der benötigten Leistungsklasse liegt in dem hohen Schalleleistungspegel.

Die Auswirkung des Schalls auf die Umgebung ist standortspezifisch von einem Sachverständigen zu bewerten.

Standort Hallbergmoos:

- Die mittlere, gewichtete Außentemperatur (für den Heizfall) liegt bei ca. **1 °C**, also nur unwesentlich niedriger als bei Sole-Wasser-Wärmepumpen
- Ausführung kann dezentral je Baufeld oder zentral für das gesamte Quartier erfolgen

➤ Weiter zu berücksichtigen



Holzbrennstoffe / Biomasse verursachen lokale Emissionen (Lärm, Staub, CO₂) und benötigen Lagerfläche.

Grundsätzlich werden bei der Verbrennung von nicht nachhaltigem Holz mehr CO₂-Emissionen emittiert als bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Folglich wird von der thermischen Verwertung von Holz abgeraten und die stoffliche Verwertung priorisiert. Die Nutzungsdauer muss die Bindungsdauer überschreiten. Bei langen Nutzungsphasen, anschließendem Recycling und zuletzt der thermischen Verwertung kann durch neue Bäume bereits wieder CO₂ kompensiert werden.

Im Gebäudeenergiegesetz ist für Holz ein im Vergleich zu wissenschaftlichen Quellen niedriger Emissionsfaktor von 20 gCO₂Äq/kWh gegeben.

Standort Hallbergmoos

Hackschnitzel:

16 Tonnen LKW (70 SRM): 14 / Woche
100 / Jahr

Lagervolumen (Füllhöhe 4 m): ca. 250 m³
12 m x 21 m

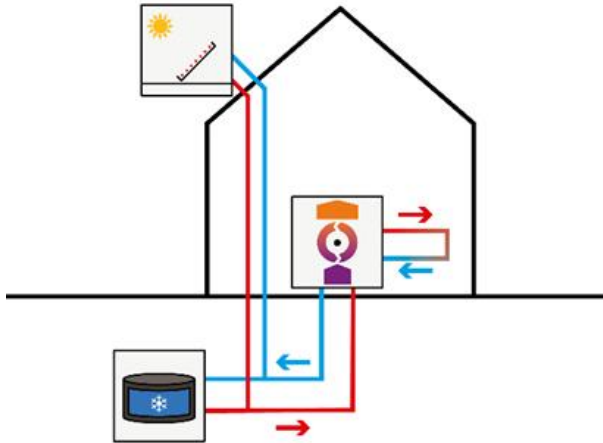
Holzpellets:

16 Tonnen LKW (70 SRM): 13 / Woche
90 / Jahr

Pelletbunker: 8 x 24 t
d = 6 m

➤ Die thermische Verwertung von Holz / Biomasse wird für den Standort nicht empfohlen

Eisspeicher



Bei einem Eisspeicher handelt es sich um einen Latentwärmespeicher, der auf einem niedrigen Temperaturniveau arbeitet. Im Winter dient er einer Wärmepumpe als Wärmequelle, insbesondere zur Überbrückung kalter und wolkiger Tage. In dieser Zeit entzieht die Wärmepumpe dem Wasser im Eisspeicher Wärme, bis dieses vollständig gefroren ist.

Der Eisspeicher wird, sobald er ausgekühlt ist, ständig durch das umliegende Erdreich des nicht gedämmten Behälters erwärmt. Zusätzlich wird dem Eisspeicher durch eine Regenerationseinheit Wärme zugeführt. Wenn die Vorlauftemperatur der Regenerationseinheit oberhalb der Temperatur des Eisspeichers liegt, dient diese vorrangig direkt als Wärmequelle für die Wärmepumpe. Erst die Überschüsse werden für die Wiedererwärmung des Eisspeichers genutzt. Bei der Regenerationseinheit kann es sich auch um eine Gebäude- oder Prozesskühlung handeln.



Standort Hallbergmoos

- Zur Abdeckung der gesamten Heizlast sind ca. 23 Eisspeicher mit einem Durchmesser von 13,5 Metern (Höhe 5 Meter) erforderlich

➤ **Untergeordnet; kann ggf. vereinzelt zur Spitzenlastabdeckung oder als Tag/Nacht-Speicher eingesetzt werden**



Als Fernwärme wird die Wärmelieferung zur Versorgung von Gebäuden mit Raumwärme und Warmwasser bezeichnet. Der Transport erfolgt in wärmegeprägten Wärmenetzen. Die Erzeugung von Fernwärme erfolgt i.d.R. mittels zentraler Erzeugungsanlagen, die an Knotenpunkten der Wärmenetzinfrastruktur situiert werden.

Im Fernwärmenetz Freising-Zolling-Hallbergmoos wird die Fernwärme mit den Brennstoffen Steinkohle (45%), Erdgas (12%) und Biomasse (43%) erzeugt. Der Primärenergiefaktor liegt bei 0,26.

Vorlauftemperatur: Gleitend, min. 80°C, max. 115°C

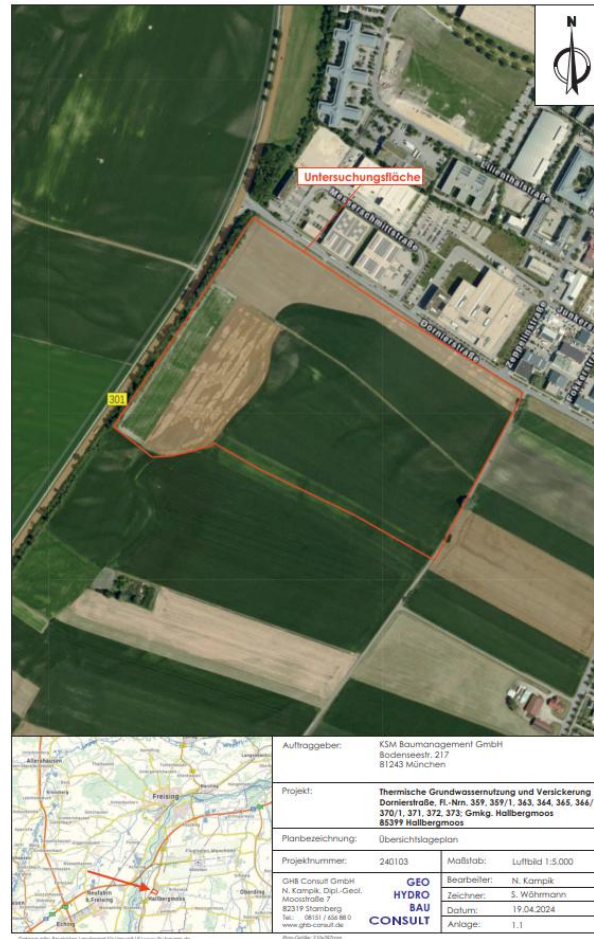
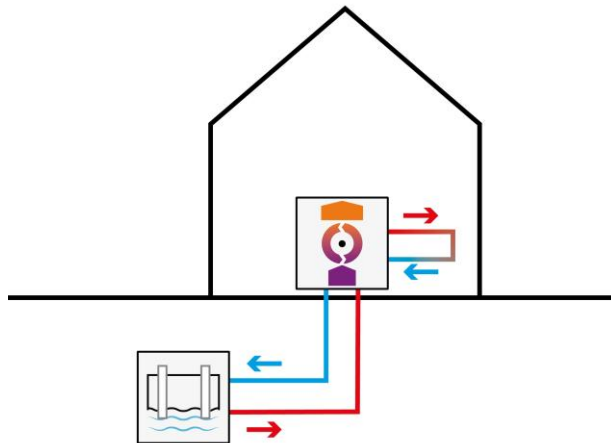
Rücklauftemperatur: max. 50°C primärseitig, sekundärseitig max. 45°C

Standort Hallbergmoos

- Lt. Aussage des Fernwärmeversorgers ist die Kapazität zur Versorgung des Quartiers ausreichend

➤ Weiter zu berücksichtigen

- Entspricht die Fernwärmeerzeugung mit Steinkohle den Nachhaltigkeitsansprüchen des Quartiers?



Bei der thermischen Nutzung von Grundwasser wird dieses über einen Saugbrunnen aus dem Grundwasserleiter entnommen, über einen Wärmeübertrager geleitet und anschließend über Schluckbrunnen wieder dem Grundwasserleiter zugeführt.

Der Vorteil gegenüber Erdwärmesonden liegt in der konstanten Quelltemperatur von ca. 10°C. Die Nutzbarkeit von Grundwasser ist stark abhängig von den lokalen (geologischen) Voraussetzungen, wie z.B. Grundwasserbeschaffenheit, Bodenverunreinigungen, Beschaffenheit des Grundwasserleiters, Tiefe, Mächtigkeit und Fließgeschwindigkeit des Grundwasserleiters. Bereits existierende Bohrungen dürfen nicht thermisch beeinflusst werden.

Standort Hallbergmoos

- Grundsätzlich genehmigungsfähig, guter Chemismus, rd. 1,2 m u. GOK zu erwarten
- Es ist von jahreszeitlichen Temperaturschwankungen zwischen 8 und 16 °C auszugehen – somit wird eine passive Temperierung kaum möglich sein
- Im Abstrom sind bereits mehrere Grundwasserbrunnen realisiert, diese dürfen durch eine Nutzung nicht beeinflusst werden
- Grundwasser steht in großen Mengen zur Verfügung, kann aber nur begrenzt versickert werden, das Potenzial ist dadurch auf rd. 30 bis 50 l/s beschränkt (500 kW bis 840 kW Heizleistung)

➤ Weiter zu berücksichtigen, ggf. in Kombination mit weiteren Quellen



Pro Quadratmeter ist mit einem marktüblichen Modul eine Leistung von $0,215 \text{ kWp/m}^2_{\text{Modul}}$ realisierbar. Um weitere Dachaufbauten, Schächte und Modulabstände zu berücksichtigen wird nachfolgend von einer Belegung von 60% der Brutto-Dachfläche ausgegangen. In dieser überschlägigen Abschätzung wird die Grundfläche mit der Bruttodachfläche gleichgesetzt.

Pro kWp kann (Vereinfachend: Ost-West, 15°) am Standort von einem Ertrag von 955 kWh/kWp ($205 \text{ kWh/m}^2_{\text{Modul}} \cdot \text{a}$) ausgegangen werden.

An ein Fassaden ergeben sich im Vergleich zur Dachfläche näherungsweise die Faktoren 0,80, 0,60 und 0,65 für Süd-, West- bzw. Ostausrichtung.

Standort Hallbergmoos:

Bruttodachfläche: 72.180 m²

PV-Modulfläche (Faktor 0,6): 43.305 m²

Leistung: 9.315 kWp

Jährliche Stromerzeugung: 8.875 MWh

➤ Ergänzend in allen Varianten empfohlen / erforderlich

Saisonale Wärmespeicher



Behälterspeicher Ackermannbogen



Heißwasserspeicher Heidelberg



Erdbeckenspeicher, Arcon-Sunmark



Großwärmespeicher, Cupasol

In Heißwasserspeichern wird bis zu 95°C heißes Wasser gespeichert. Im Betrieb können bei der saisonalen Speicherung Wärmeverluste von ca. 25% gemessen werden.

Entsprechende Speicher können im Sommer z.B. mit PV-Strom gespeisten Wärmepumpen, Abwärme oder mit Solarthermie beladen werden. Im Winter wird das heiße Wasser zum Heizen verwendet. Um die Speicherdimensionierung zu optimieren, kann der Speicher am Ende der Heizperiode, wenn die Speichertemperatur bereits Temperaturen unter Bedarfsniveau erreicht hat, aktiv mittels Wärmepumpen entladen werden.

Unterschiedliche Ausführungen, die je nach Anforderungen oder Potenzial eingesetzt werden, können sinnvoll sein:

- Behälterspeicher
- Erdbeckenspeicher

Standort Hallbergmoos:

- Flächenkonkurrenz, Integrierbarkeit über Entwicklungsdauer des Quartiers (Städtebaulich, wirtschaftlich)
- Dimensionen: 115.000 m³ → 5 Stück, Höhe: 14 Meter x Durchmesser: 50 Meter (Cupasol)
- Hohes Investitionsrisiko aufgrund unsicherer zeitlicher Entwicklung des Quartiers, Abhängigkeit von Nutzungstypen & deren Abwärmemengen

➤ Aufgrund hoher Investitionskosten und komplexer baulicher Integrierbarkeit unterzuordnen



ZRSA, Solaragentur, LfU, Verbraucherzentrale

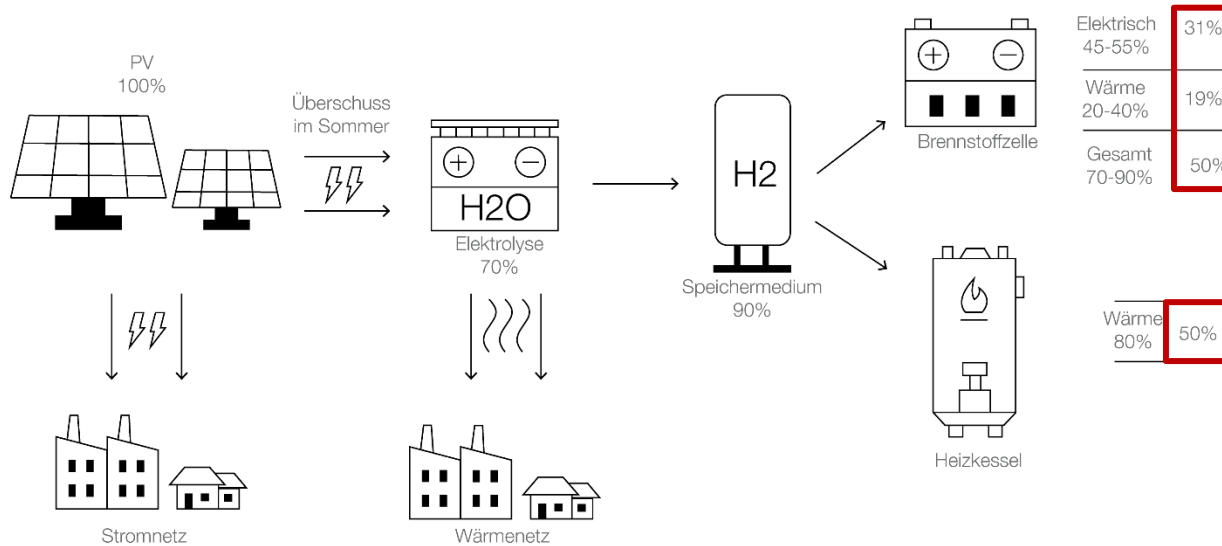
Wärme aus Solarthermieanlagen kann im Sommer für die Warmwasserbereitung sowie im Winter zur Heizungsunterstützung genutzt werden.

Strom aus Photovoltaikanlagen kann zur anteiligen Deckung von Nutzerstrom- oder Allgemeinstrombedarfen oder zur Einspeisung genutzt werden.

Bei solarthermischen saisonalen Aufdach-Anlagen beträgt der Kollektorertrag bei einer jährlichen Einstrahlung von 1.000 kWh/m^2 zwischen 250 und $350 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Moderne Photovoltaikanlagen erreichen inkl. Wechselrichter einen Systemwirkungsgrad von ca. 21%. Bei einer Einstrahlung von 1.000 kWh/m^2 ergibt sich ein Jahresertrag von $210 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

In Verbindung mit Wärmepumpen kann der Strom analog zu solarthermischen Anlagen im Sommer genutzt werden, um einen saisonalen Wärmespeicher zu beladen. Mit der Wärmequelle Außenluft kann eine mittlere Jahresarbeitszahl von 3 erreicht werden. Daraus ergibt sich ein spezifischer Flächenertrag von ca. 630 kWh/m^2 Wärme. Im Winter kann der PV-Strom zur Deckung des Haushaltsstrom verwendet werden.



Anhand der Prozesskette in der Erzeugung und (saisonalen) Speicherung von Wasserstoff kann der Systemwirkungsgrad veranschaulicht werden.

Die Elektrolyse hat einen Wirkungsgrad von ca. 70%. Für die Kompression zum Speichern oder Transport beträgt der Wirkungsgrad ca. 90%

Wasserstoff kann anschließend entweder über einen Gaskessel zum Heizen verwendet werden oder über eine Brennstoffzelle zur Produktion von Strom und Wärme eingesetzt werden.

Der Gesamtwirkungsgrad beträgt jeweils rd. 50%.

Die Round Trip Efficiency liegt somit bezogen auf den Strom bei ca. 30%. Wenn die Abwärme der Brennstoffzelle genützt werden kann, erhöht sich die Effizienz auf ca. 50%

Wenn der gespeicherte Wasserstoff zur Wärmeerzeugung verbrannt wird, ergibt sich eine Effizienz von ca. 50%.

Wasserstoff → E-Gas / E-Fuels

Unter dem Begriff „E-Gas“ wird aus regenerativ erzeugtem Strom produziertes Gas wie Bio-Methan oder Wasserstoff zusammengefasst. Bei „E-Fuels“ handelt es sich um aus regenerativ erzeugtem Strom produzierten Kraftstoff wie Bio-Methanol. Dieser kann z.B. in konventionellen Heizöl-Kesseln eingesetzt werden.

E-Gase und Fuels können z.B. im Sommer mit PV-Strom erzeugt werden, um anschließend zur Nutzung in der Heizperiode im Winter zwischengespeichert zu werden. Analog zur Bewertung der Flächeneffizienz von Biogas in Bezug auf die Stromerzeugung ist hier der Flächenbedarf zur Erzeugung von Wärme ausschlaggebend.

Für den Vergleich des Flächenbedarfs werden folgende Systeme gegenübergestellt:

- Freiflächen PV mit Wärmepumpe
- Freiflächen PV mit Wasserstofferzeugung über Elektrolyse und Verbrennung im Heizkessel
- Freiflächen PV mit Wasserstofferzeugung über Elektrolyse Umwandlung in Methan oder Methanol und Verbrennung im Heizkessel
- Energiepflanzenanbau, Umwandlung in Biogas in Biogasanlage und Verbrennung im Heizkessel

Freiflächen PV mit Wärmepumpe:

Mit der Wärmepumpe kann mit einer Freiflächenanlage auf 1 ha ein Energiebedarf von 5.400 MWh pro Jahr bilanziell gedeckt werden. Für die Wärmepumpe wird eine JAZ von 2,4 angesetzt, um die Beheizung von Bestandsgebäuden über Heizkörper zu berücksichtigen.

Freiflächen PV mit Wasserstofferzeugung:

Für die Wasserstofferzeugung wird Strom über eine Freiflächen PV Anlage erzeugt. Mittels Elektrolyse (Wirkungsgrad 70%) wird Wasserstoff erzeugt. Die Speicherung und Verteilung des Wasserstoffs hat einen Wirkungsgrad von etwa 90%. Die Beheizung erfolgt über einen Heizkessel. Der Gesamtwirkungsgrad liegt hier bei etwa 50%, somit benötigt man etwa die 4,3 fache Fläche gegenüber der Wärmepumpenheizung.

Freiflächen PV und E-Fuels:

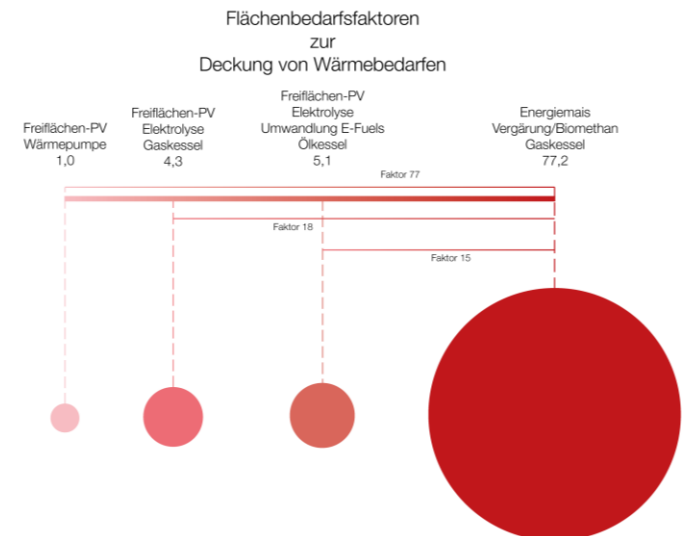
E-Fuels werden aus Wasserstoff und CO₂ erzeugt. Der Wirkungsgrad der Kraftstoff-Synthese beträgt rd. 80%. Somit sinkt der Gesamtwirkungsgrad der Kette von 50% auf etwa 40%. Vorteil von E-Fuels ist die bestehende Verteilung über die Gas- bzw. Ölinfrastruktur. Die benötigte Fläche ist ggü. der Wärmepumpenheizung um etwa 5,1-mal größer.

Energiepflanzenanbau und Biomethan:

Die Darstellung rechts dient der Verdeutlichung des hohen Flächenbedarfs für die Bereitstellung von Biomethan aus Energiepflanzen.

E-Fuels sind derzeit nicht in ausreichenden Mengen verfügbar und werden zunächst in anderen, hocheffizienten Anwendungen zur Erreichung der nationalen Klimaziele benötigt. Für die Dekarbonisierung wird davon ausgegangen, dass E-Fuels in etwa 20 Jahren für kurzfristige, energieintensive Anwendungen zur Verfügung stehen.

- Geringe Verfügbarkeit
- Geringe System- und Flächeneffizienz
- Hohe Systemkosten
- THG-Wirkung
- **Wasserstoff kann im Sinne der Zielerreichung ausschließlich direkt vor Ort und aus ggf. anfallenden Stromspitzen erzeugt werden. Der Bezug von Wasserstoff wird ausgeschlossen**



Exkurs: Elektrische Erschließung



- Derzeit begrenzt Hochspannungsebene die Kapazität
- Erweiterung der Hochspannungskapazität in Abhängigkeit der Quartiersentwicklung grundsätzlich mit entsprechendem Vorlauf möglich
- Aktuell mehrere Themen im Bereich elektrische Erschließung in Hallbergmoos: Neue Bäckerei, Rechenzentrum
- Vorlaufzeit bei erforderlicher Kapazitätserweiterung: ca. 5 Jahre
- Vorlaufzeit bei Bedarf eines zusätzlichen UW: ca. 10 Jahre → Rechenzentrum am Anfang des Bauablaufs ggf. kritisch (wenn entsprechende Versorgungssicherheit notwendig)
- Umspannwerk wird derzeit umgebaut und ist in 2-3 Jahren entwickelt

- Staffelung der Quartiersentwicklung
- Gleichzeitigkeiten berücksichtigen

Vorauswahl Energieträger und Wärmequellen für Wärmepumpen

Long list

Abwärme off-site / quartiersextern

- Deco-Pack, Hekuma

Abwärme on-site / quartiersintern

- Wärmerückgewinnung bei Kälteerzeugung
- Wärmerückgewinnung aus light Industrial (z.B. Vertical Farming, Rechenzentren)

Abwasser-Abwärme kommunal

Außenluft

Biomasse / Holzbrennstoffe

Eisspeicher

Erdwärmekollektoren / Erdwärmekörbe

Erdwärmesonden / Energiepfähle

Fernwärme

Grundwasser

Oberflächengewässer

Photovoltaik

PVT-Kollektoren

Saisonale Wärmespeicherung

Solarthermie

Wasserstoff / EE-Gase

Status

→ Keine Abwärmeüberschüsse

→ Vertiefende Betrachtung

→ Dimensionen nicht ausreichend

→ Vertiefende Betrachtung

→ Ausschluss (Lieferungen, Emissionen)

→ Ausschluss (Flächenbedarf)

→ Ausschluss (Flächenbedarf)

→ Ausschluss (Bohrtiefenbegrenzung)

→ Vertiefende Betrachtung

→ Vertiefende Betrachtung

→ nicht verfügbar

→ Vertiefende Betrachtung

→ Gegenüber Photovoltaik untergeordnet

→ Ausschluss (Integrierbarkeit)

→ Gegenüber Photovoltaik untergeordnet

→ Ausschluss (Verfügbarkeit)

Vorauswahl

Abwärme on-site / quartiersintern

- Wärmerückgewinnung bei Kälteerzeugung
- Wärmerückgewinnung aus light Industrial (z.B. Vertical Farming, Rechenzentren)

Außenluft

Fernwärme

Grundwasser

Photovoltaik

Vorkonzeption Energieversorgung

	Wärmeerzeuger 1	Wärmeerzeuger 2	Zentral / Dezentral	Kälteerzeuger ²	Warmwasser- bereitung ³	Einbringsystem
Variante 1	Fernwärme	-	-	Kompressionskälte	Zirkulation	Flächenheiz- /kühlsystem
Variante 2	Fernwärme	Dezentrale Luft-Wasser- Wärmepumpe	-	Luft-Wasser- Wärmepumpe (rev.)	Zirkulation	Flächenheiz- /kühlsystem
Variante 3	Fernwärme	Zentrale Wasser-Wasser- Wärmepumpe	Wärme- und Kältenetz (Vier-Leiter-Netz) ¹	Rückkühlung an Grundwasser, Kompressionskälte	Zirkulation	Flächenheiz- /kühlsystem
Variante 4	Luft-Wasser- Wärmepumpen	Zentrale Wasser-Wasser- Wärmepumpe	Wärme- und Kältenetz (Vier-Leiter-Netz)	Rückkühlung an Grundwasser, Luft-Wasser- Wärmepumpen (rev.)	Zirkulation (Booster- Wärmepumpe)	Flächenheiz- /kühlsystem
Variante 5	Luft-Wasser- Wärmepumpen	-	-	Luft-Wasser- Wärmepumpe (rev.)	Zirkulation (Booster- Wärmepumpe)	Flächenheiz- /kühlsystem

¹ Vier- oder Zweileiternetz in Abhängigkeit der realisierbaren Grundwasserrückkühlung

² Kleine Leistungen über Splitkälte

³ Kleine Wassermengen mit Durchlauferhitzern



23.1204 B-Plan Hallbergmoos

Energieversorgungskonzept

AP4: Vertiefung von Vorzugsvarianten

Kirchheim, 05.08.2025
Ingenieurbüro Hausladen GmbH

Prof. Dipl.-Ing. (univ.) Elisabeth Endres
M.Eng. Christian Götz
M.Sc. Nikolaus Wechs

Grundlagen und Bedarfsermittlung

- Zusammenstellung von überschlägigen Bedarfskennwerten i.A. der Nutzungen
- Charakterisierung der Verbraucher (Temperaturen, Lasten, Betriebszeiten)
- Erstellung von überschlägigen Lastgängen (Wärme, Warmwasser, Nutzerstrom)

Ergebnis: Energetisches Modell als Grundlage für sämtliche der folgenden Betrachtungen

Schnittstellen: Regelmäßiger Austausch auf Arbeitsebene (z.B. Mobilität)



Meilenstein: Überschlägig ermittelte Heizlasten und jährliche Energiebedarfe

Prüfung lokal verfügbarer Energieträgerpotenziale

- Außenluft
- Interne / externe Abwärme
- Oberflächennahe Geothermie
- Abwasser
- Photovoltaik
- Energiespeicher (Heißwasser, H₂)
- Fernwärme...

Ergebnis: Umfassende Zusammenstellung & Bewertung der verfügbaren Technologien („long-list“) inkl. Kondensierung in einer „short-list“ im Abgleich mit Heizlast und Energiebedarf

Schnittstellen: Abstimmung mit Fachbüros und lokalen Akteuren, regelmäßiger Austausch auf Arbeitsebene



Meilenstein: „Short-list“, Vorbetrachtung Konzepte

Vertiefung von Vorzugsvarianten

- Energetische Detaillierung (Lastverläufe, Lastverschiebungen, Quellenanteile, ...)
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach VDI 2067
- Sensitivitätsbetrachtung
- Erläuterung von Betreibermodellen / Schnittstellen
- Erstellung einer Bewertungsmatrix
 - THG-Emissionen, Primär-/Endenergiebedarf
 - Komplexität des Betreibermodells
 - Robustheit / Flexibilität
 - Solarer Deckungsgrad / Flächenbedarf
 - ...

Ergebnis: Empfehlung zur Umsetzung einer Vorzugsvariante in Abstimmung mit dem AG

Schnittstellen: Regelmäßiger Austausch mit AG auf Arbeitsebene



Meilenstein: Abschlusspräsentation

Variantenübersicht



Heizen

- Die Wärmeversorgung erfolgt einzig über Fernwärme
- Die Übergabe der Fernwärme (hohe Drücke, Temperaturen bis 115 °C) erfolgt je Baufeld; die Übergabe kann in ein Gebäude integriert werden
- Ausgehend von der Übergabe sind die Drücke und Temperaturen niedriger (z.B. 70°C für die Gebäudebeheizung und die Warmwasserbereitung)

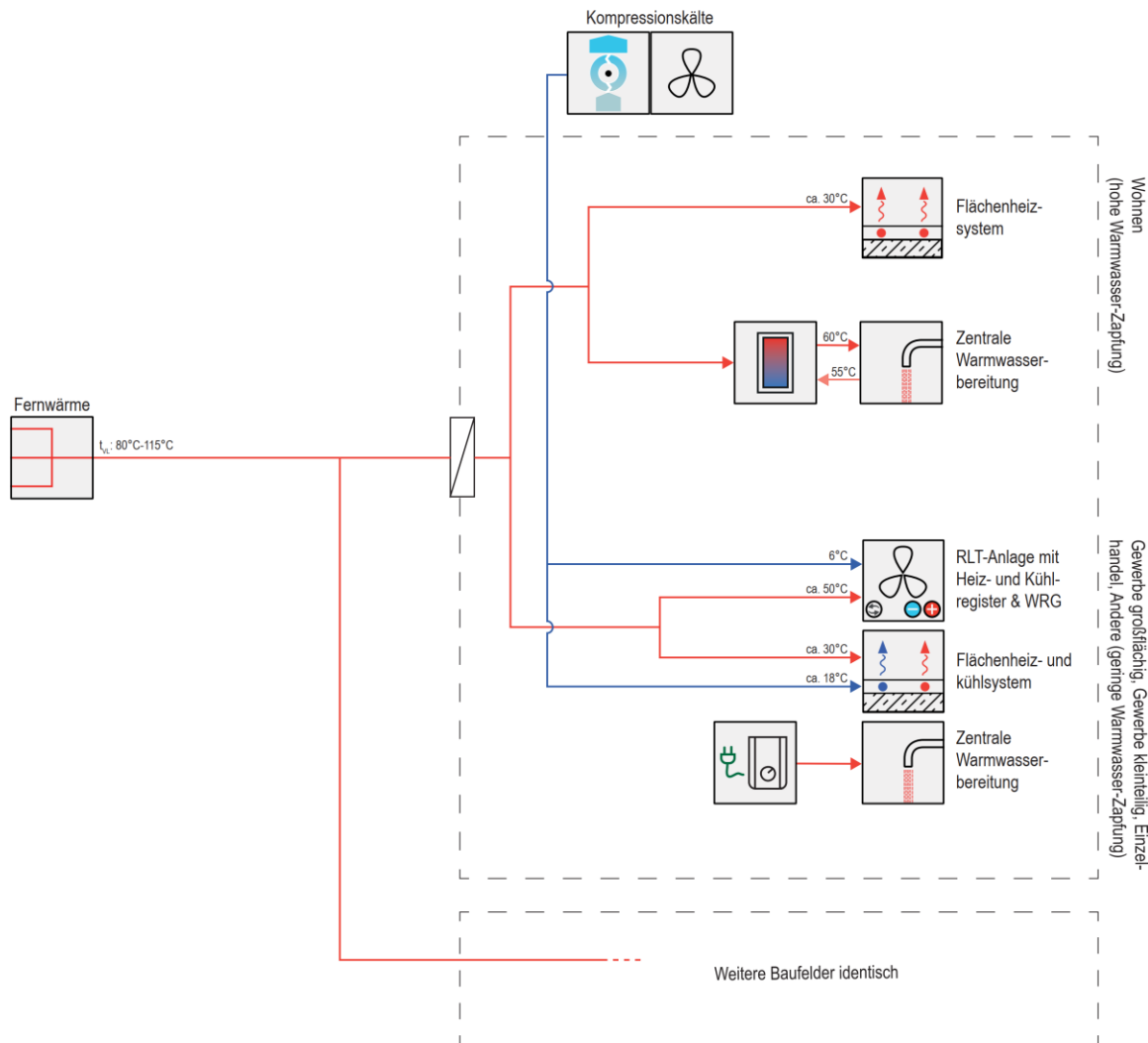
Warmwasserbereitung

- Die Warmwasserbereitung erfolgt über Zirkulationssysteme (bei geringeren Bedarfen über dezentrale elektrische Durchlauferhitzer)

Kühlen

- Die Kühlung erfolgt über baufeldzentrale (oder gebäudezentrale) Kompressions-Kälteanlagen
- Tiefkälte wird dezentral individuell erzeugt

Variante 1 – Fernwärme, Kompressionskälte



- Externalisierung der Wärmeerzeugung (Preisgestaltung, Wärmeverluste,...)
- Transformation zur erneuerbaren Wärmebereitstellung ausgelagert (65 %-EE Vorgabe gem. GEG erfüllt)
- Abwärme aus der Kälteerzeugung wird nicht weiter genutzt → die Effizienz der Kälteerzeugung ist optimiert

Anteile Wärmeerzeugung

Fernwärme 100 %

Anteile Warmwasserbereitung

Durchlauferhitzer 76 %

Fernwärme 24 %

Effizienz

SEER Kälte inkl. WRG 3,7

Jährlicher Endenergiebedarfe

Strom TWW 1.770 MWh/a

Strom Kälte inkl. WRG 2:920 MWh/a

Fernwärme TWW, Heizung 6.235 MWh/a

➤ **Überschlägige Betriebskosten*** 1.795 T€/a

*AP Strom: 25ct/kWh, AP Fernwärme: 10ct/kWh



Heizen

- Die primäre Wärmeversorgung erfolgt über Fernwärme
- Die Übergabe der Fernwärme (hohe Drücke, Temperaturen bis 115 °C) erfolgt je Baufeld; die Übergabe kann in ein Gebäude integriert werden
- Ausgehend von der Kopfstation sind die Drücke und Temperaturen geringer (z.B. 70°C für die Warmwasserbereitung und 45°C für die Gebäudebeheizung)
- Als sekundärer Wärmeerzeuger sind in den Baufeldern reversible Luft-Wasser-Wärmepumpen vorhanden, die auf die Kälteleistung dimensioniert werden

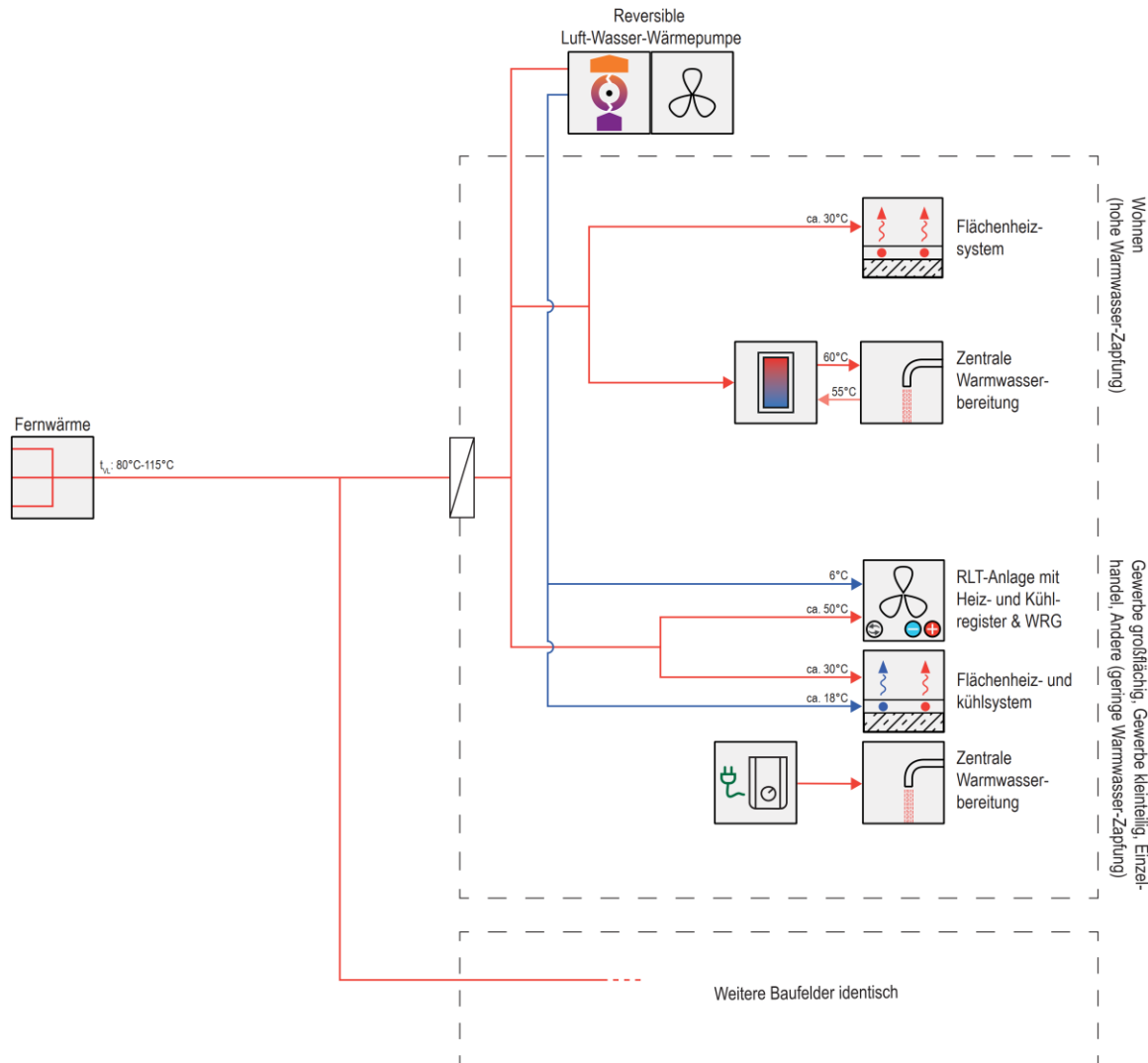
Warmwasserbereitung

- Die Warmwasserbereitung erfolgt über Zirkulationssysteme (bei geringeren Bedarfen über dezentrale elektrische Durchlauferhitzer)

Kühlen

- Die Kühlung erfolgt über baufeldzentrale (oder gebäudezentrale) Luft-Wasser-Wärmepumpen im reversiblen Betrieb
- Tiefkälte wird dezentral individuell erzeugt

Variante 2 – Fernwärme, Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpe



- Betriebskostenoptimierte Umschaltung bei -5°C Außentemperatur ($\text{LZ} = 2,5$) auf die Wärmeerzeugung mit Wärmepumpe
- Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen ermöglichen eine gekoppelte Wärme- und Kälteerzeugung
- Die reversiblen, dezentralen Wärmepumpen sind auf die Kühllast ausgelegt, die in den Baufeldern höher ist als die Heizlast. In der Folge ergeben sich keine Einschränkungen bei der Beheizung

Szenario Betriebskostenoptimiert ($\text{JAZ} \geq 2,5^*$)

Anteile Wärmeerzeugung

Fernwärme	90 %
Wärmepumpe	10 %

Anteile Warmwasserbereitung

Durchlauferhitzer	76 %
Wärmepumpe inkl. WRG	12 %
Fernwärme	13 %

Effizienz

Jahresarbeitszahl TWW, Heizung	3,6
SEER Kälte inkl. WRG	2,2

Jährlicher Endenergiebedarfe

Strom TWW, Heizung	3.185 MWh/a
Strom Kälte inkl. WRG	2.955 MWh/a
Fernwärme TWW, Heizung	845 MWh/a

➤ **Überschlägige Betriebskosten*** **1.620 T€/a**

*AP Strom: 25ct/kWh, AP Fernwärme: 10ct/kWh



Heizen

- Die primäre Wärmeversorgung erfolgt über Fernwärme
- Die Übergabe der Fernwärme (hohe Drücke, Temperaturen bis 115 °C) erfolgt zentral in einer Kopfstation; die Übergabe kann in ein Gebäude integriert werden
- Ausgehend von der Kopfstation sind die Drücke und Temperaturen niedriger (z.B. 70°C für die Gebäudebeheizung und die Warmwasserbereitung)
- Als sekundärer Wärmeerzeuger sind quartierszentral Grundwasserwärmepumpen vorgesehen (Begrenzte verfügbare Leistung)

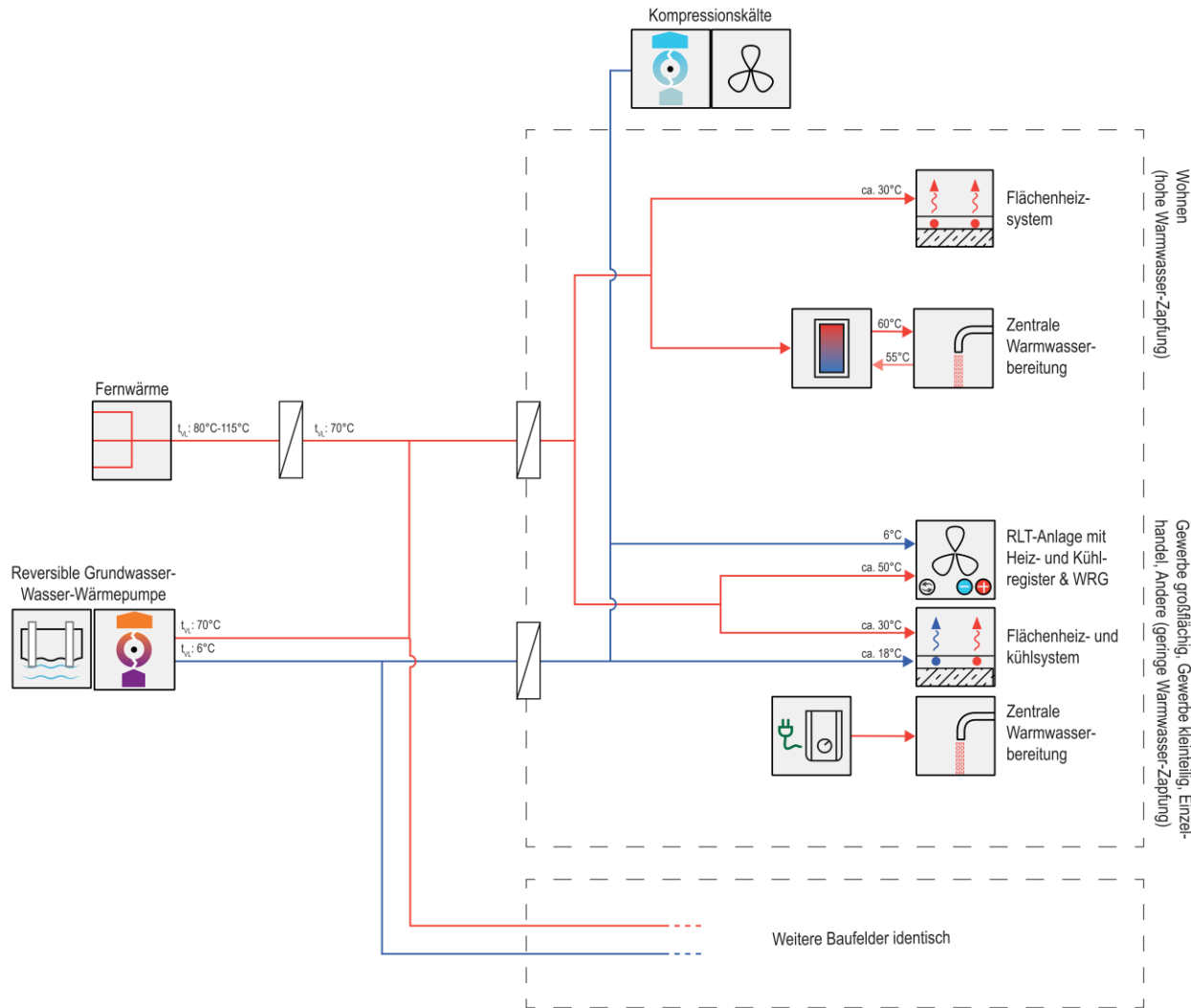
Warmwasserbereitung

- Die Warmwasserbereitung erfolgt über Zirkulationssysteme (bei geringeren Bedarfen über dezentrale elektrische Durchlauferhitzer)

Kühlen

- Die Kühlung erfolgt über die quartierszentrale Grundwasser-Wärmepumpe im reversiblen Betrieb (Vier-Leiter-Netz, 6/12)
- Ergänzend, da die verfügbare Kühlleistung aus Grundwasser begrenzt ist, sind baufeldzentrale (oder gebäudezentrale) Kompressions-Kälteanlagen vorgesehen
- Tiefkälte wird dezentral individuell erzeugt

Variante 3 – Fernwärme, Zentrale Wasser-Wasser-Wärmepumpe, Kompressionskälte



Szenario maximale Kühlung/Heizung mit GW

Anteile Wärmeerzeugung

Fernwärme	57 %
Wärmepumpe	43 %

Anteile Warmwasserbereitung

Durchlauferhitzer	75 %
Wärmepumpe inkl. WRG	24 %
Fernwärme	2 %

Effizienz

Wärmenetzverluste	5 %
Jahresarbeitszahl TWW, Heizung	3,0
SEER Kälte GW+KKM inkl. WRG	3,9

Jährlicher Endenergiebedarfe

Strom TWW, Heizung	2.700 MWh/a
Strom Kälte inkl. WRG	2.735 MWh/a
Fernwärme TWW, Heizung	3.465 MWh/a

➤ **Überschlägige Betriebskosten*** **1.705 T€/a**

*AP Strom: 25ct/kWh, AP Fernwärme: 10ct/kWh



Heizen

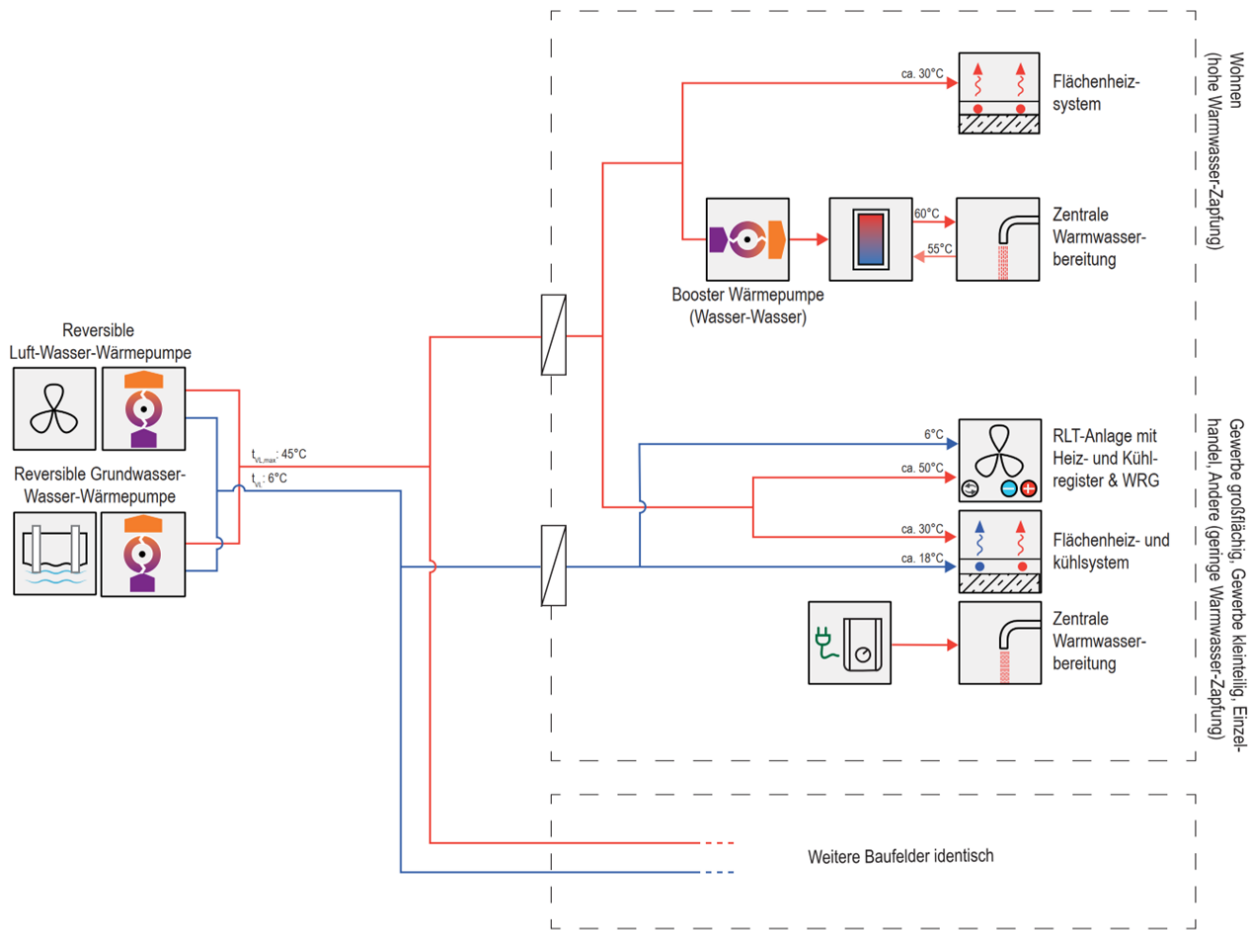
- Die primäre Wärmeversorgung erfolgt über quartierszentrale, reversible Luft-Wasser-Wärmepumpen (hoher Leistungsanteil)
- Sekundär erfolgt die Wärmeerzeugung mit quartierszentralen, reversiblen Grundwasser-Wasser-Wärmepumpen (die verfügbare Leistung aus Grundwasser ist begrenzt, niedriger Leistungsanteil)
- Die Wärmeverteilung erfolgt in einem Vier-Leiter-Netz (Vorlauftemperatur Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung z.B. 45°C)

Warmwasserbereitung

- Die Warmwasserbereitung erfolgt über Zirkulationssysteme (bei geringeren Bedarfen über dezentrale elektrische Durchlauferhitzer)
- Die Warmwasserbereitung erfordert höhere Temperaturen, daher wird die Temperatur dezentral mit Booster-Wärmepumpen angehoben

Kühlen

- Die Kühlung erfolgt über die quartierszentralen Luft-Wasser-Wärmepumpen und Grundwasser-Wärmepumpen im reversiblen Betrieb (Vier-Leiter-Netz, 6/12)
- Tiefkälte wird dezentral individuell erzeugt



Szenario effizienzoptimierte Umschaltung

Anteile Wärmeerzeugung	
Grundwasser-Wärmepumpe	57 %
Luft-Wasser-Wärmepumpe	43 %

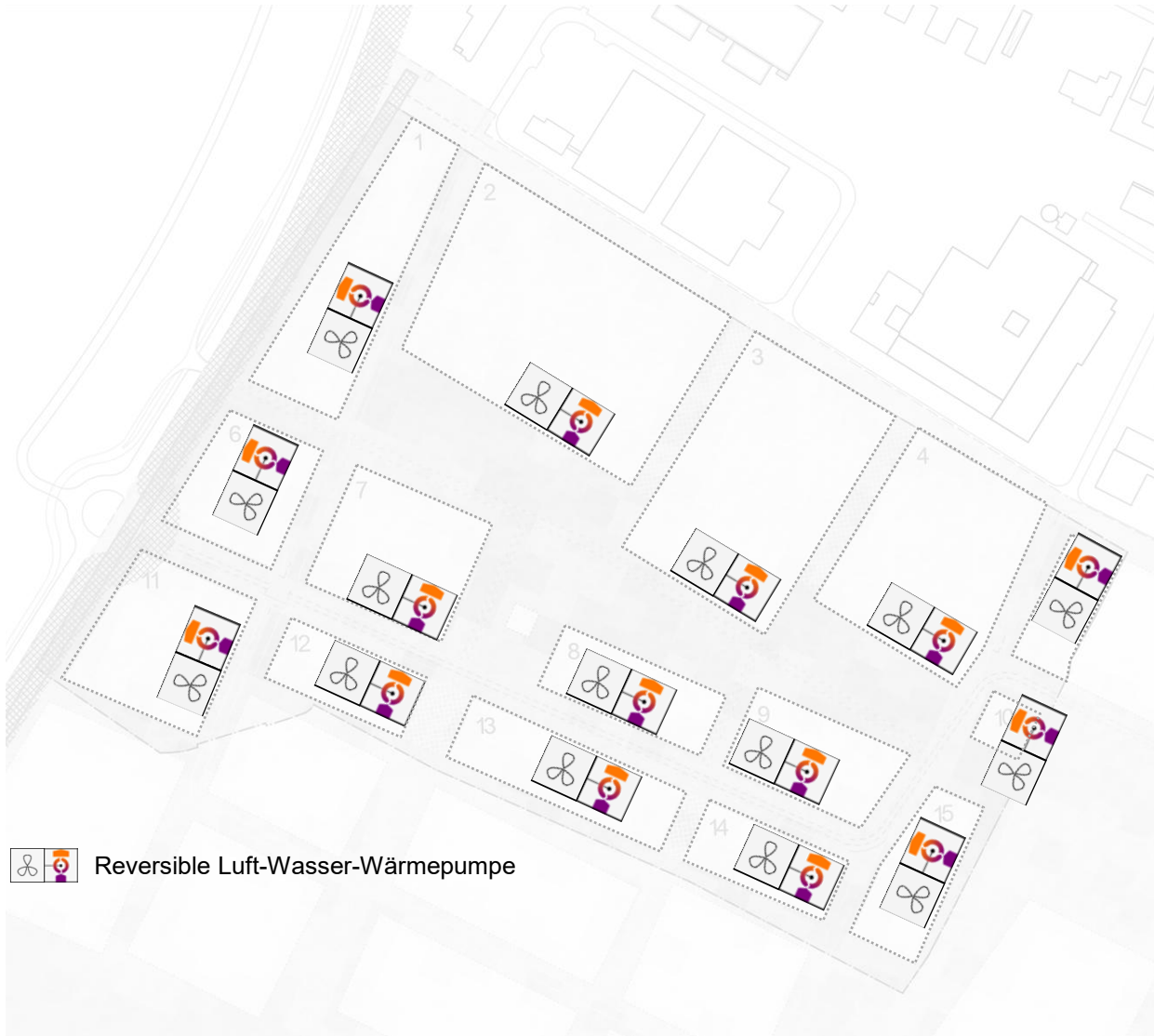
Anteile Warmwasserbereitung	
Durchlauferhitzer	75 %
Wärmepumpe inkl. WRG	25 %

Effizienz	
Wärmenetzverluste	3 %
Jahresarbeitszahl TWW, Heizung	4,1
SEER Kälte GW+LW inkl. WRG	4,0

Jährlicher Endenergiebedarfe	
Strom TWW, Heizung	3.170 MWh/a
Strom Kälte inkl. WRG	2.580 MWh/a

➤ **Überschlägige Betriebskosten*** **1.435 T€/a**

*AP Strom: 25ct/kWh, AP Fernwärme: 10ct/kWh



 Reversible Luft-Wasser-Wärmepumpe

Heizen

- Die Wärmeerzeugung erfolgt mit Luft-Wasser-Wärmepumpen je Bauabschnitt als Insellösung
- Die Wärmeverteilung erfolgt auf mittlerem Temperaturniveau (Vorlauftemperatur Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung z.B. 45°C)

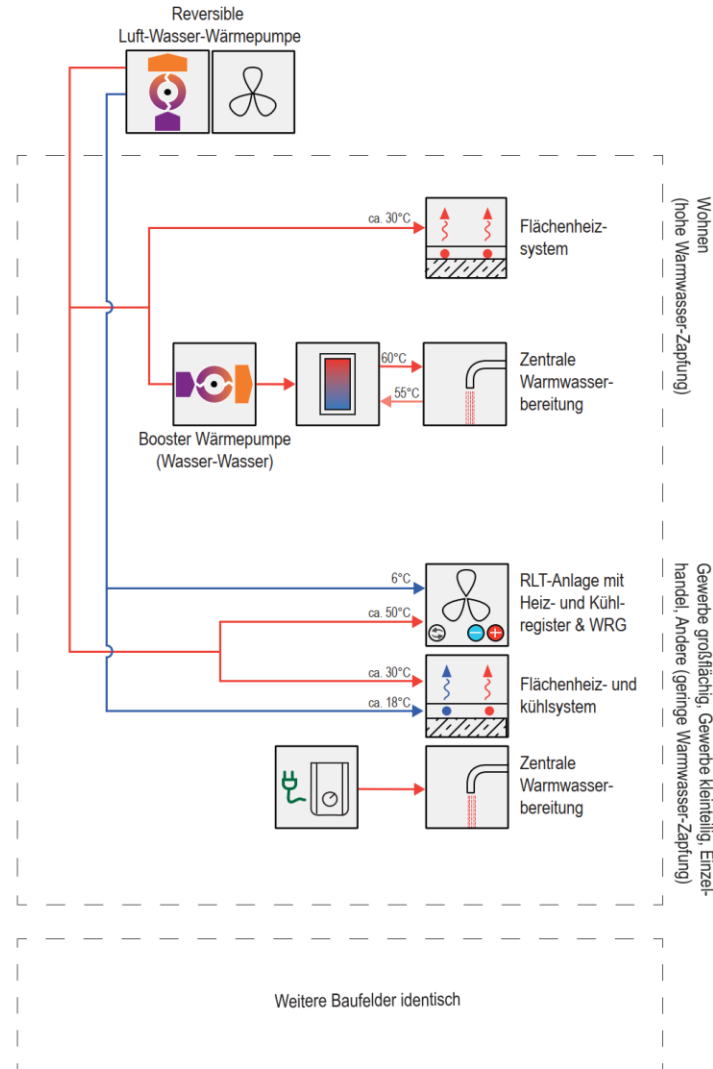
Warmwasserbereitung

- Die Warmwasserbereitung erfolgt über Zirkulationssysteme (bei geringeren Bedarfen über dezentrale elektrische Durchlauferhitzer)
- Die Warmwasserbereitung erfordert höhere Temperaturen, daher wird die Temperatur dezentral mit Booster-Wärmepumpen angehoben

Kühlen

- Die Kühlung erfolgt über baufeldzentrale (oder gebäudezentrale) Luft-Wasser-Wärmepumpen im reversiblen Betrieb
- Tiefkälte wird dezentral individuell erzeugt

Variante 5 – Luft-Wasser-Wärmepumpe, WW-Booster



Szenario maximale Kühlung/Heizung mit GW

Anteile Wärmeerzeugung

Wärmepumpe 100 %

Anteile Warmwasserbereitung

Durchlauferhitzer 76 %

Wärmepumpe inkl. WRG 24 %

Effizienz

Wärmenetzverluste 5 %

Jahresarbeitszahl TWW, Heizung 3,4

SEER Kälte GW+KKM inkl. WRG 3,7

Jährlicher Endenergiebedarfe

Strom TWW, Heizung 2.700 MWh/a

Strom Kälte inkl. WRG 3.470 MWh/a

➤ **Überschlägige Betriebskosten*** 1.595 T€/a

*AP Strom: 25ct/kWh, AP Fernwärme: 10ct/kWh

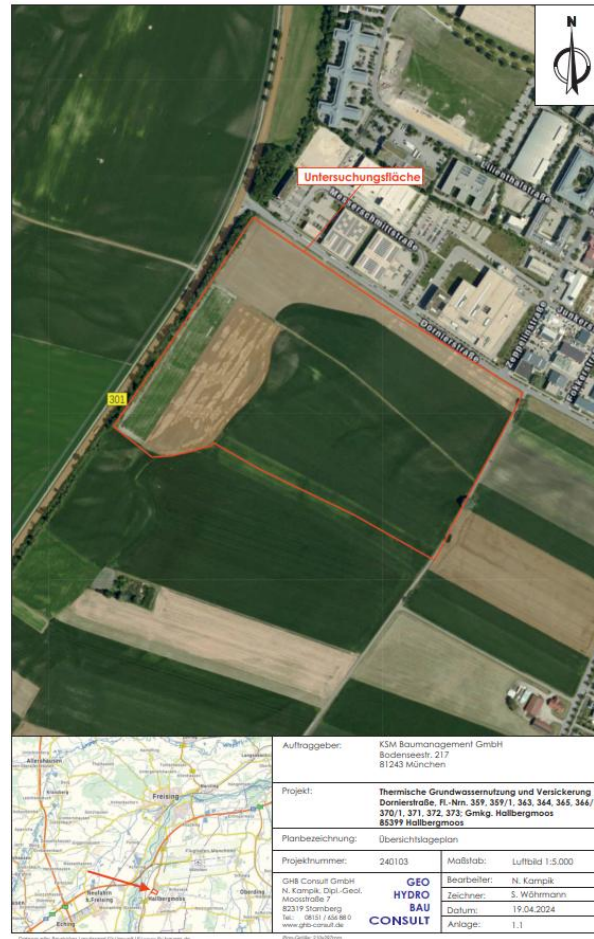
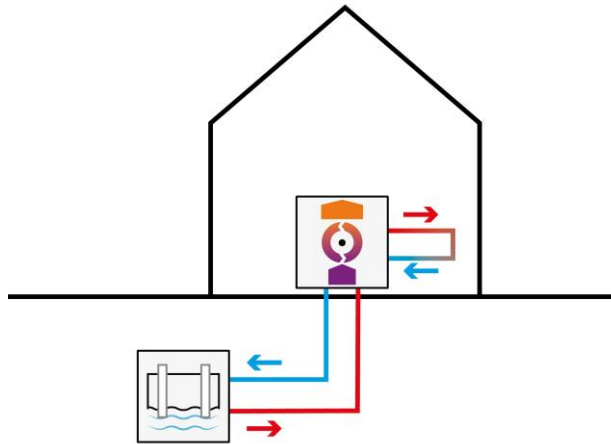
Gegenüberstellung der Energetischen Parameter

	Variante 1 FW +KKM	Variante 2 FW +LWWP	Variante 3 FW+GWWP +KKM	Variante 4 LWWP +GWWP	Variante 5 LWWP
Bivalenzpunkt Heiz		-5			-
Bivalenzpunkt WW		9			-
Wärmeverluste					
Wärmenetzverluste relativ	-	-	5,2%	3,1%	- [%]
Wärmenetzverluste absolut	-	-	324.777	190.879	- [kWh/a]
Anteile Gebäudebeheizung					
LW-WP	-	90%	-	43%	100% [-]
GW-WP	-	-	43%	57%	- [-]
Fernwärme	100%	10%	57%	-	- [-]
Anteile Warmwasserbereitung					
D-Erh.	76%	76%	75%	75%	76% [-]
GW-WP	-	-	15%	0%	3% [-]
LW-WP	-	0%	-	0%	12% [-]
Fernwärme	24%	13%	2%	-	- [-]
TWW aus WRG	0%	12%	9%	26%	12% [-]
Erzeuger-Nutzenergie Wärmerückgewinnung					
TWW-Kälte TWW	-	270.853	210.423	599.486	282.200 [kWh _{th} /a]
TWW-Kälte Kälte	-	183.118	142.262	405.298	190.789 [kWh _{th} /a]
TWW-Kälte Strom	-	87.736	68.161	194.188	91.411 [kWh _{th} /a]
Erzeuger-Nutzenergie Gebäudebeheizung					
GW-WP	-	-	2.537.040	2.525.650	- [kWh _{th} /a]
LW-WP	-	5.116.834	-	3.318.579	5.670.628 [kWh _{th} /a]
Fernwärme	5.670.628	553.794	3.428.752	-	- [kWh _{th} /a]
Erzeuger-Nutzenergie Warmwasserbereitung					
GW-WP TWW	-	-	353.088	0	- [kWh _{th} /a]
LW-WP TWW	-	0	-	0	68.261 [kWh _{th} /a]
Fernwärme TWW	564.400	293.547	37.719	-	- [kWh _{th} /a]
Erzeuger-Nutzenergie Kälte					
GW-WP	0	0	2.202.002	5.053.277	- [kWh _{th} /a]
LW-WP	-	10.646.284	-	5.370.826	10.638.613 [kWh _{th} /a]
KKM	10.829.402	-	8.485.137	-	- [kWh _{th} /a]
Effizienz Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung					
JAZ Heiz GW-WP	-	-	3,0	6,9	- [-]
JAZ Heiz LW-WP	-	3,6	-	3,2	3,4 [-]
JAZ TWW GW-WP	-	-	3,2	3,2	- [-]
JAZ TWW LW-WP	-	2,8	-	2,3	2,5 [-]
WRG-COP	-	7,0	5,0	4,9	7,0 [-]
Effizienz Kälte					
SEER GW-WP (inkl. WRG)	-	-	4,95	5,43	- [-]
SEER LW-WP (inkl. WRG)	-	3,66	-	3,69	3,72 [-]
SEER KKM (inkl. WRG)	3,71	-	3,71	-	- [-]
Endenergie Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung					
Strom Heizen	-	1.416.855	849.513	1.416.031	1.675.354 [kWh _{el} /a]
Strom TWW GW-WP+LW-WP	-	0	109.980	0	27.387 [kWh _{el} /a]
Strom TWW D.Erh.	1.768.901	1.768.901	1.739.552	1.751.623	1.768.901 [kWh _{el} /a]
Strom Kälte KKM inkl. WRG Betrieb	2.918.767	2.957.413	2.734.944	2.580.566	2.908.004 [kWh _{el} /a]
SUMMEN					
Summe Strom	4.687.669	6.143.169	5.433.989	5.748.220	6.379.646 [kWh _{el} /a]
Summe Fernwärme	6.235.028	847.340	3.466.470	0	0 [kWh _{th} /a]

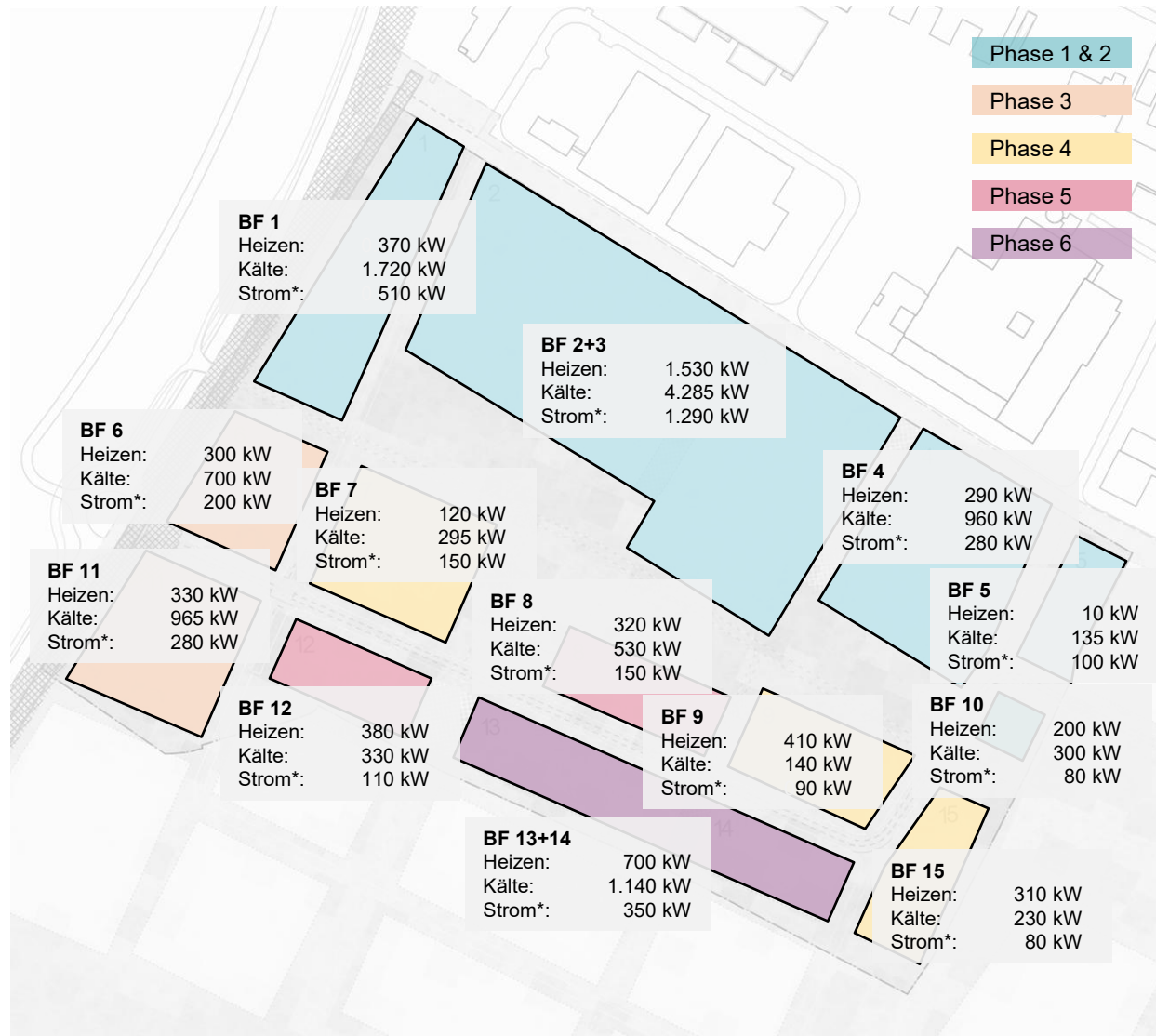
Energiepotenziale: Rückblick & Ergänzungen



- Lt. Aussage der Bayernwerke Natur ist die Kapazität zur Versorgung des Quartiers ausreichend
 - Derzeit wird die Fernwärme mit den Brennstoffen Steinkohle (45%), Erdgas (12%) und Biomasse (43%) erzeugt. Der Primärenergiefaktor liegt bei 0,26
 - Ein Wärmetransformationsplan wird derzeit erarbeitet (Zielsetzung: Klimaneutralität 2035)
 - Ab 2025 ist das Kraftwerk Zolling in der Kaltreserve; eine langfristige Erzeugungsstrategie wird erarbeitet
 - Im Zeitraum 2026-2028/2030 soll die Versorgung in einer Übergangsphase mit einem Biomassekraftwerk erfolgen
 - Langfristig ist eine Kombination aus Biomasse, Flusswasser, Geothermie und industrieller Abwärme angedacht
 - Die maximale Vorlauftemperatur soll von derzeit 115 °C auf 95 °C abgesenkt werden
 - Grundsätzlich ist der Fernwärmebetreiber offen für Alternative Systeme und Fachaustausch (Abwärme, Rücklaufnutzung, Speichereinheiten, Rückkühlung an Fernwärme, ...)
- Nachhaltigkeitsanforderungen sind in Abhängigkeit der Transformation zu bewerten
- Fernwärme wird in der Konzeption berücksichtigt



- Grundsätzlich genehmigungsfähig, guter Chemismus, rd. 1,2 m u. GOK zu erwarten
 - Es ist von jahreszeitlichen Temperaturschwankungen zwischen 8 und 16 °C auszugehen – somit wird eine passive Temperierung kaum möglich sein
 - Im Abstrom sind bereits mehrere Grundwasserbrunnen realisiert, diese dürfen durch eine Nutzung nicht beeinflusst werden
 - Grundwasser steht in großen Mengen zur Verfügung, kann aber nur begrenzt verpresst werden, das Potenzial ist dadurch auf rd. 30 bis 50 l/s beschränkt (500 kW bis 840 kW Heizleistung)
 - Zur Konkretisierung des Potenzials muss eine Probebohrung mit anschließender Modellierung durchgeführt werden (Wärme-/ Kältefahnenmodell)
 - Je Schluckbrunnen können voraussichtlich maximal 10 l/s verpresst werden → Je Saugbrunnen ca. 2 – 3 Schluckbrunnen
- Auf Planungsebene folgt eine detaillierte Modellierung zur genauen Verortung der Brunnen
- Grundwasser wird in der Konzeption, in Kombination mit anderen Wärmequellen und Energieträgern berücksichtigt



*Annahme: 3.800 Vbh

Ab 2027

Phase 1 & 2

– Heizen:	2.400 kW	(46%)
– Kühlen:	7.400 kW	(63%)
– Nutzerstrom:	2.260 kW	(62%)

Ab 2029

Phase 3

– Heizen:	630 kW	(12%)
– Kühlen:	1.665 kW	(14%)
– Nutzerstrom:	480 kW	(13%)

Ab 2030

Phase 4

– Heizen:	840 kW	(16%)
– Kühlen:	665 kW	(6%)
– Nutzerstrom:	320 kW	(9%)

Phase 5

– Heizen:	700 kW	(13%)
– Kühlen:	860 kW	(7%)
– Nutzerstrom:	260 kW	(7%)

Phase 6

– Heizen:	700 kW	(13%)
– Kühlen:	1.140 kW	(10%)
– Nutzerstrom:	350 kW	(10%)

Vertiefung von Vorzugsvarianten

Variante 1: Fernwärme, Kompressionskälte



Heizen

- Die Wärmeversorgung erfolgt einzig über Fernwärme
- Die Übergabe der Fernwärme (hohe Drücke, Temperaturen bis 115 °C) erfolgt je Baufeld; die Übergabe kann in ein Gebäude integriert werden
- Ausgehend von der Übergabe sind die Drücke und Temperaturen niedriger (z.B. 70°C für die Gebäudebeheizung und die Warmwasserbereitung)

Warmwasserbereitung

- Die Warmwasserbereitung erfolgt über Zirkulationssysteme (bei geringeren Bedarfen über dezentrale elektrische Durchlauferhitzer)

Kühlen

- Die Kühlung erfolgt über baufeldzentrale (oder gebäudezentrale) Kompressions-Kälteanlagen
- Tiefkälte wird dezentral individuell erzeugt



Vorteile:

- Geringe Investitionskosten / Betreiber refinanziert über Betrieb
- Erschließung kann in Abstimmung mit Betreiber sukzessiv in dessen Verantwortung erfolgen, geringe Anfangsinvestition
- Geringe Komplexität, erprobte Versorgung auf dem Stand der Technik, hohe Versorgungssicherheit bei Ausführung mit Redundanz mit entsprechendem Flächenbedarf

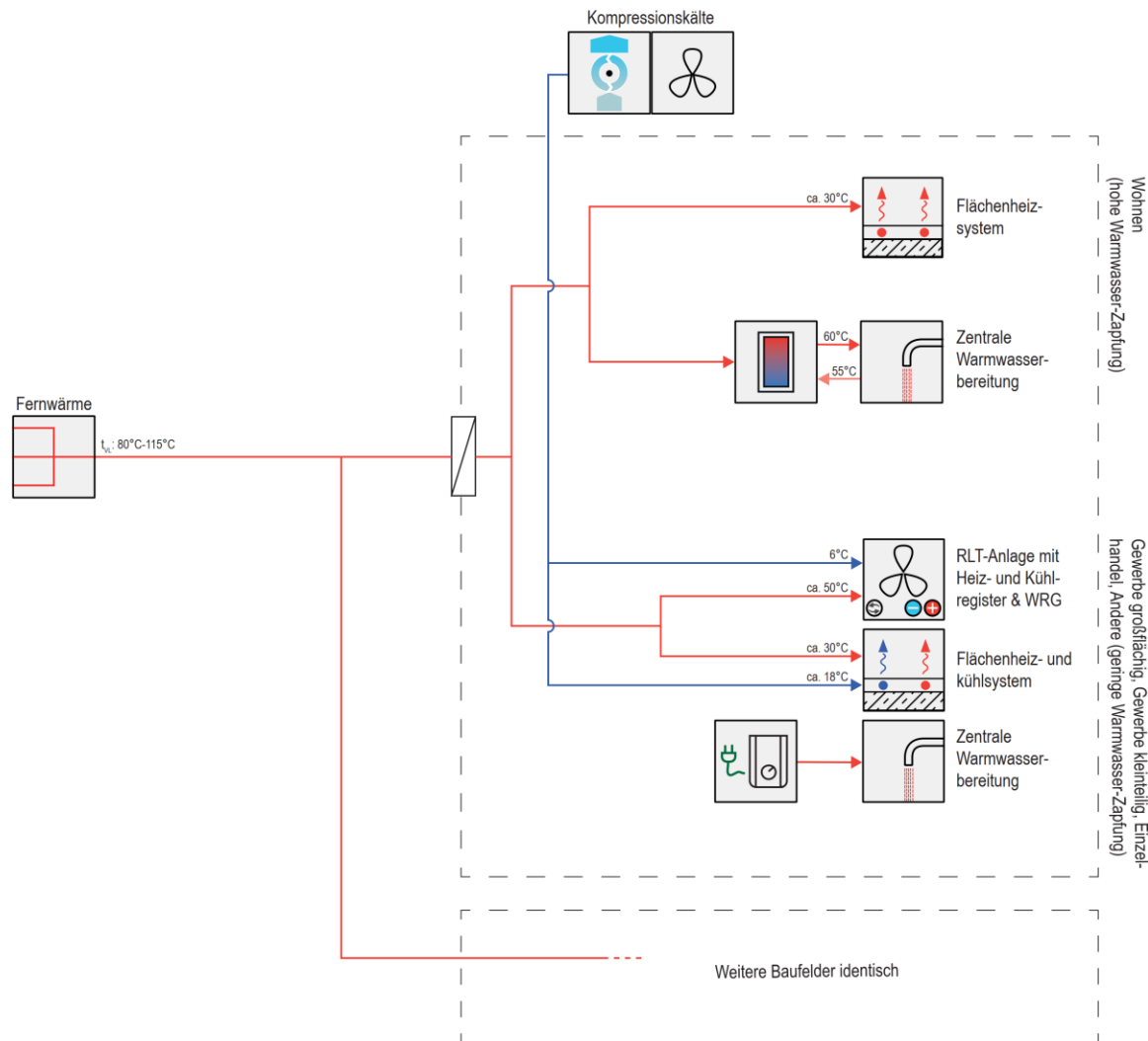
Neutral:

- Dezentrale Kältemaschinen erfordern Wartungsaufwand je Abschnitt, Fernwärme wird durch Betreiber gewartet

Nachteile:

- Preisgestaltung externalisiert, keine WRG, keine Abwärmenutzung, geringste Nutzung von PV-Strom für thermische Versorgung möglich
- Nicht förderfähig nach Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW), QNG Förderung in Abhängigkeit der Transformation des Wärmenetzes
- PV-Strom kann nur dezentral für die Kälterzeugung genutzt werden, EE-Anteil externalisiert, Emissionen in Abhängigkeit der Transformation der Fernwärme

Variante 1 – Fernwärme, Kompressions-Kälte



Anteile Wärmeerzeugung

Fernwärme 100 %

Anteile Warmwasserbereitung

Durchlauferhitzer 76 %

Fernwärme 24 %

Effizienz

SEER Kälte 3,7

Jährlicher Endenergiebedarfe

Strom TWW 1.770 MWh/a

Strom Kälte inkl. WRG 2.920 MWh/a

Fernwärme TWW, Heizung 6.235 MWh/a

➤ **Überschlägige Betriebskosten*** 1.795 T€/a

*AP Strom: 25ct/kWh, AP Fernwärme: 10ct/kWh

Vertiefung von Vorzugsvarianten

Variante 2: Fernwärme, Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpe



Heizen

- Die primäre Wärmeversorgung erfolgt über Fernwärme
- Die Übergabe der Fernwärme (hohe Drücke, Temperaturen bis 115 °C) erfolgt je Baufeld; die Übergabe kann in ein Gebäude integriert werden
- Ausgehend von der Kopfstation sind die Drücke und Temperaturen geringer (z.B. 70°C für die Warmwasserbereitung und 45°C für die Gebäudebeheizung)
- Als sekundärer Wärmeerzeuger sind in den Baufeldern reversible Luft-Wasser-Wärmepumpen vorhanden, die auf die Kälteleistung dimensioniert werden

Warmwasserbereitung

- Die Warmwasserbereitung erfolgt über Zirkulationssysteme (bei geringeren Bedarfen über dezentrale elektrische Durchlauferhitzer)

Kühlen

- Die Kühlung erfolgt über baufeldzentrale (oder gebäudezentrale) Luft-Wasser-Wärmepumpen im reversiblen Betrieb
- Tiefkälte wird dezentral individuell erzeugt



Vorteile:

- Geringe Investitionskosten / Betreiber refinanziert über Betrieb
- Erschließung kann in Abstimmung mit Betreiber sukzessiv in dessen Verantwortung erfolgen, geringe Anfangsinvestition
- Mittlere Komplexität, erprobte Versorgung auf dem Stand der Technik, hohe Versorgungssicherheit bei Ausführung mit Redundanz mit entsprechendem Flächenbedarf

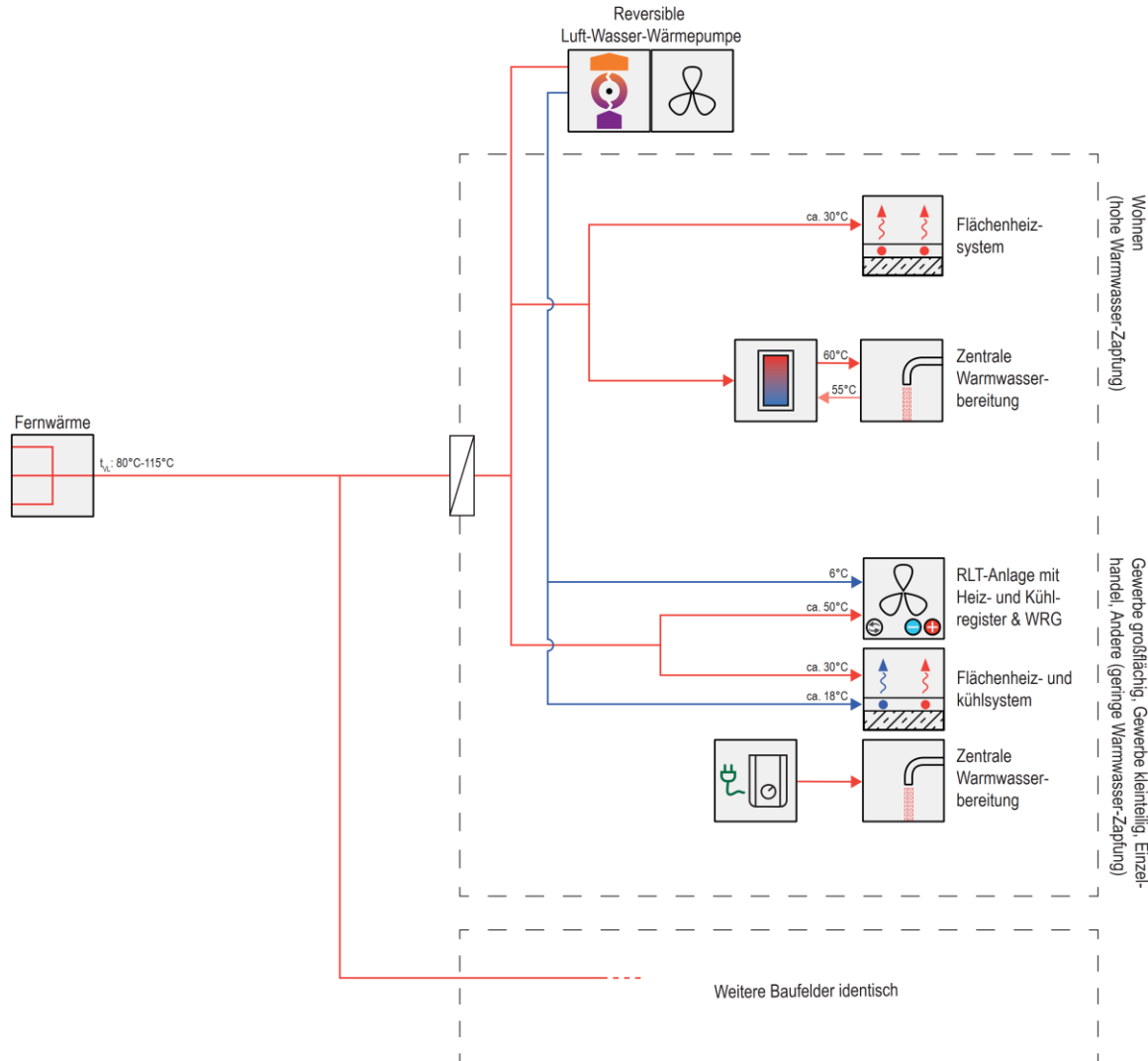
Neutral:

- Dezentrale Wärmepumpen erfordern Wartungsaufwand je Abschnitt, Fernwärme wird durch Betreiber gewartet
- Flexibilität besteht durch variablen Bivalenzpunkt, Abwärmenutzung innerh. Baufeld möglich, PV-Nutzung für Heizen und Kühlen möglich
- PV-Strom kann nur dezentral anteilig für Wärme- und Kälteerzeugung verwendet werden, Anteil EE durch Wärmepumpe variabel aber begrenzt

Nachteile:

- Nicht förderfähig nach Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW), QNG Förderung in Abhängigkeit der Transformation des Wärmenetzes

Variante 2 – Fernwärme, Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpe



Szenario Betriebskostenoptimiert (JAZ $\geq 2,5^*$)

Anteile Wärmeerzeugung

Fernwärme	10 %
Wärmepumpe	90 %

Anteile Warmwasserbereitung

Durchlauferhitzer	76 %
Wärmepumpe inkl. WRG	12 %
Fernwärme	13 %

Effizienz

Jahresarbeitszahl TWW, Heizung	3,6
SEER Kälte inkl. WRG	2,2

Jährlicher Endenergiebedarfe

Strom TWW, Heizung	3.185 MWh/a
Strom Kälte inkl. WRG	2.955 MWh/a
Fernwärme TWW, Heizung	845 MWh/a

➤ **Überschlägige Betriebskosten*** **1.620 T€/a**

*AP Strom: 25ct/kWh, AP Fernwärme: 10ct/kWh

Vertiefung von Vorzugsvarianten

Variante 3: Fernwärme, Zentrale Wasser-Wasser-Wärmepumpe,
Kompressionskälte



Heizen

- Die primäre Wärmeversorgung erfolgt über Fernwärme
- Die Übergabe der Fernwärme (hohe Drücke, Temperaturen bis 115 °C) erfolgt zentral in einer Kopfstation; die Übergabe kann in ein Gebäude integriert werden
- Ausgehend von der Kopfstation sind die Drücke und Temperaturen niedriger (z.B. 70°C für die Gebäudebeheizung und die Warmwasserbereitung)
- Als sekundärer Wärmeerzeuger sind quartierszentral Grundwasserwärmepumpen vorgesehen (Begrenzte verfügbare Leistung)

Warmwasserbereitung

- Die Warmwasserbereitung erfolgt über Zirkulationssysteme (bei geringeren Bedarfen über dezentrale elektrische Durchlauferhitzer)

Kühlen

- Die Kühlung erfolgt über die quartierszentrale Grundwasser-Wärmepumpe im reversiblen Betrieb (Vier-Leiter-Netz, 6/12)
- Ergänzend, da die verfügbare Kühlleistung aus Grundwasser begrenzt ist, sind baufeldzentrale (oder gebäudezentrale) Kompressions-Kälteanlagen vorgesehen
- Tiefkälte wird dezentral individuell erzeugt



Vorteile:

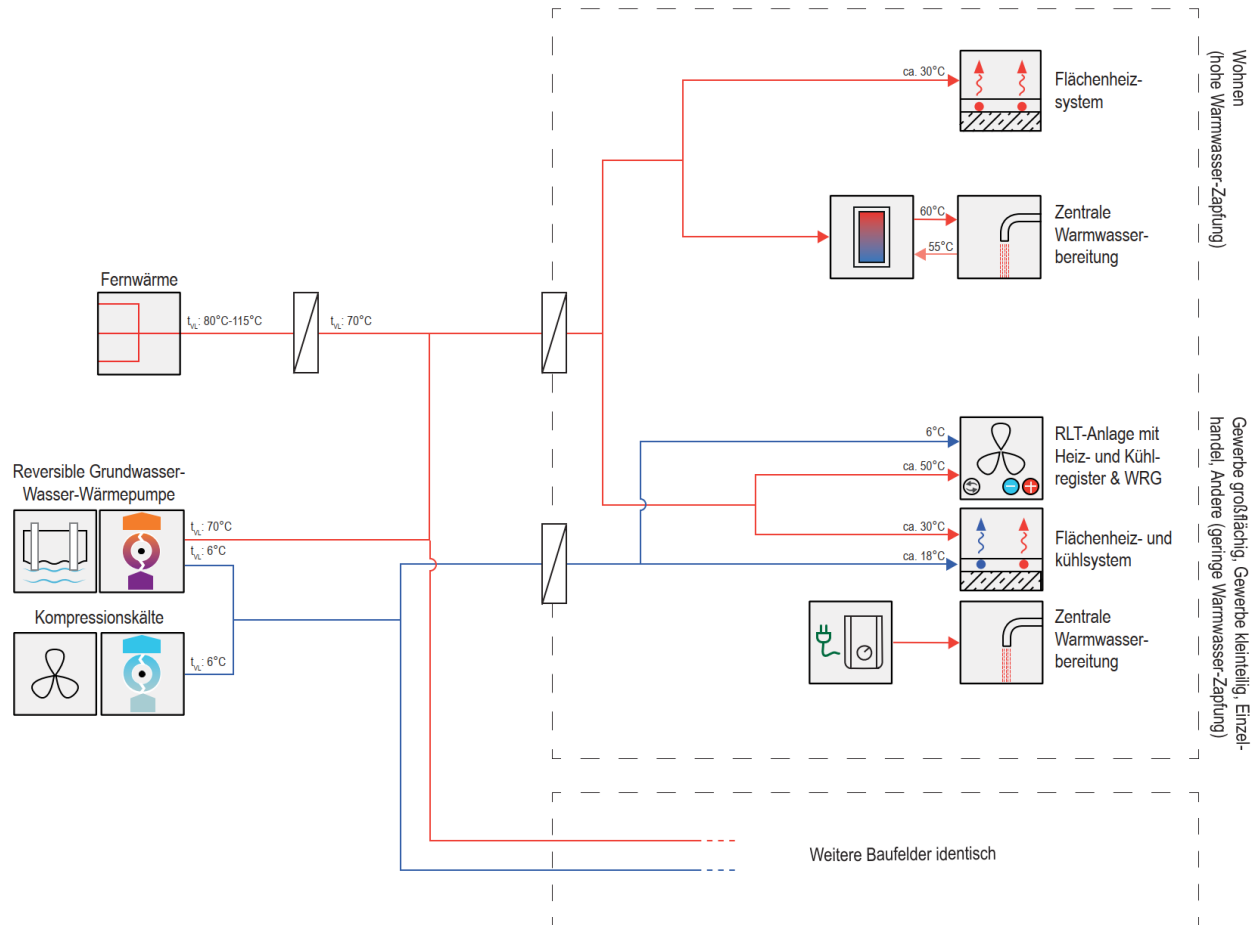
- Höchste Flexibilität bezüglich Energiequellen, Abwärmequellen können abhängig von Szenario im Quartierskontext eingebunden werden, PV-Nutzung von Heizen und Kühlen möglich
- De facto kein dezentraler Wartungsaufwand, zentralisierte Anlagentechnik vereinfacht Wartung und Instandhaltung
- Vrstl. förderfähig nach Bundesförderung effiziente Wärmenetze, QNG Förderung möglich
- PV Strom kann vor allem von externen Quellen zentral verwendet werden, sehr hoher Anteil erneuerbarer EE i.A. der Verfügbarkeit möglich

Neutral:

- Hohe Komplexität, innovative Versorgung, Höchste Versorgungssicherheit aufgrund zentraler Redundanz mit geringstem Flächenbedarf

Nachteile:

- Vielzahl an Erzeugern erhöht Komplexität und Investitionsbedarf
- Höchste Zentralisierung erfordert große Anfangsinvestition und verursacht ggf. Überdimensionierung ("Überinvestition"), Erschließung mittels 4-Leiter-Netz kann sukzessiv erfolgen



Szenario maximale Kühlung/Heizung mit GW

Anteile Wärmeerzeugung

Fernwärme	57 %
Wärmepumpe	43 %

Anteile Warmwasserbereitung

Durchlauferhitzer	75 %
Wärmepumpe inkl. WRG	24 %
Fernwärme	2 %

Effizienz

Wärmenetzverluste	5 %
Jahresarbeitszahl TWW, Heizung	3,0
SEER Kälte GW+KKM inkl. WRG	3,9

Jährlicher Endenergiebedarfe

Strom TWW, Heizung	2.700 MWh/a
Strom Kälte inkl. WRG	2.735 MWh/a
Fernwärme TWW, Heizung	3.465 MWh/a

➤ **Überschlägige Betriebskosten*** **1.705 T€/a**

*AP Strom: 25ct/kWh, AP Fernwärme: 10ct/kWh

Vertiefung von Vorzugsvarianten

Variante 4: Luft-Wasser-Wärmepumpe, Wasser-Wasser-Wärmepumpe (rev.), WW-Booster



Heizen

- Die primäre Wärmeversorgung erfolgt über quartierszentrale, reversible Luft-Wasser-Wärmepumpen (hoher Leistungsanteil)
- Sekundär erfolgt die Wärmeerzeugung mit quartierszentralen, reversiblen Grundwasser-Wasser-Wärmepumpen (die verfügbare Leistung aus Grundwasser ist begrenzt, niedriger Leistungsanteil)
- Die Wärmeverteilung erfolgt in einem Vier-Leiter-Netz (Vorlauftemperatur Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung z.B. 45°C)

Warmwasserbereitung

- Die Warmwasserbereitung erfolgt über Zirkulationssysteme (bei geringeren Bedarfen über dezentrale elektrische Durchlauferhitzer)
- Die Warmwasserbereitung erfordert höhere Temperaturen, daher wird die Temperatur dezentral mit Booster-Wärmepumpen angehoben

Kühlen

- Die Kühlung erfolgt über die quartierszentralen Luft-Wasser-Wärmepumpen und Grundwasser-Wärmepumpen im reversiblen Betrieb (Vier-Leiter-Netz, 6/12)
- Tiefkälte wird dezentral individuell erzeugt

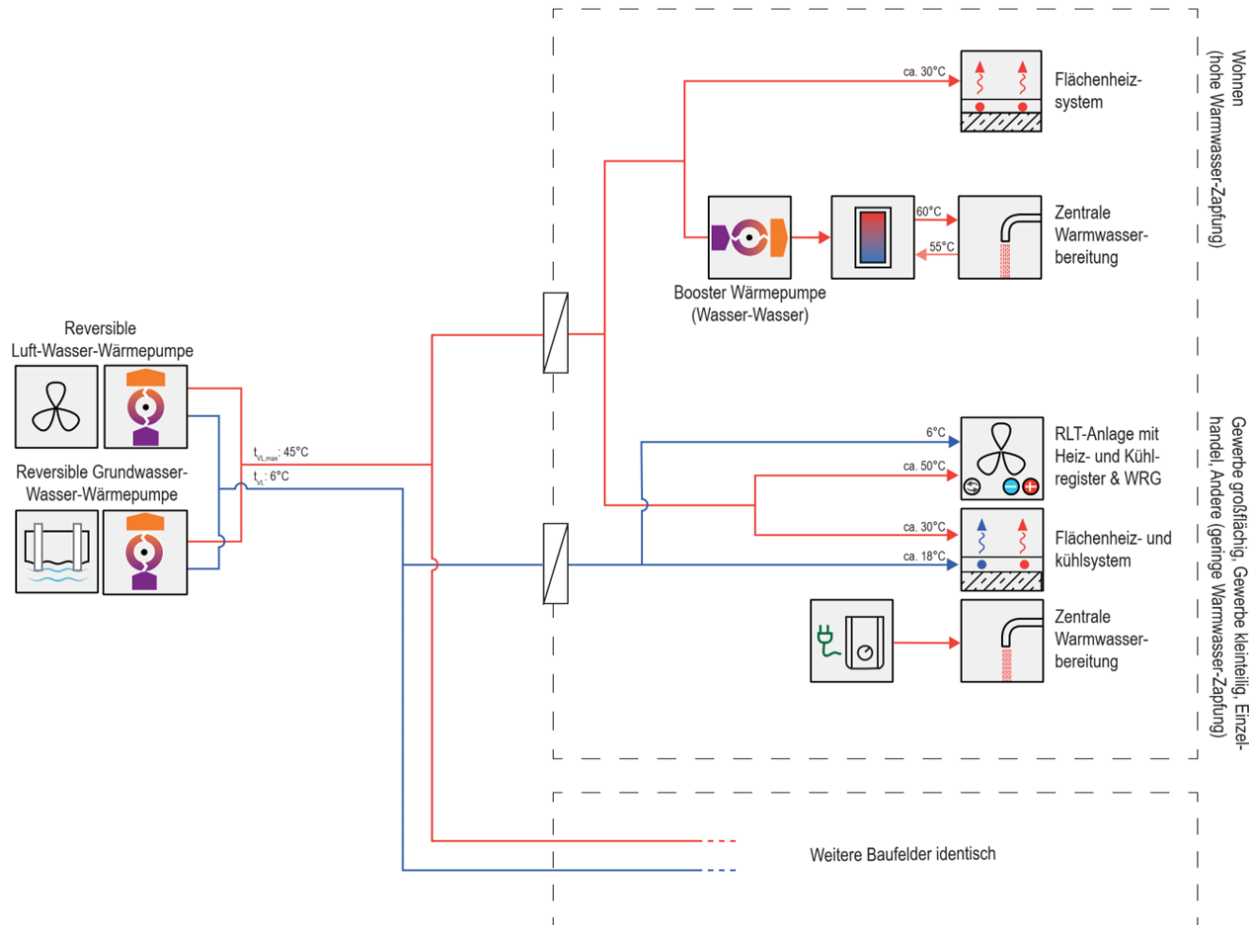


Vorteile:

- Flexibilität bzgl. Energiequellen, Abwärme kann eingebunden werden, PV-Nutzung für Heizen und Kühlen zentral möglich
- Vrstl. förderfähig nach Bundesförderung effiziente Wärmenetze, QNG Förderung möglich
- PV Strom kann von externen Quellen und dezentral von den Dächern der Gebäude verwendet werden, Höchster Anteil erneuerbarer EE

Nachteile:

- Keine Fernwärme, Erzeugungsanlagen werden im Quartier errichtet, hohe Gleichzeitigkeit reduziert spezifische Investitionskosten
- Hohe Zentralisierung erfordert große Anfangsinvestition und verursacht ggf. Überdimensionierung ("Überinvestition"), Erschließung mittels 4-Leiter-Netz kann sukzessiv erfolgen
- Höchster Wartungsaufwand aufgrund komplexer zentraler und dezentraler Komponenten (Booster), keine Fernwärme
- Hohe Komplexität, innovative Versorgung, hohe Versorgungssicherheit bei Ausführung mit Redundanz mit entsprechendem Flächenbedarf



Szenario effizienzoptimierte Umschaltung (LZ)

Anteile Wärmeerzeugung	
Grundwasser-Wärmepumpe	57 %
Luft-Wasser-Wärmepumpe	43 %

Anteile Warmwasserbereitung	
Durchlauferhitzer	75 %
Wärmepumpe inkl. WRG	25 %

Effizienz	
Wärmenetzverluste	3 %
Jahresarbeitszahl TWW, Heizung	4,1
SEER Kälte GW+LW inkl. WRG	4,0

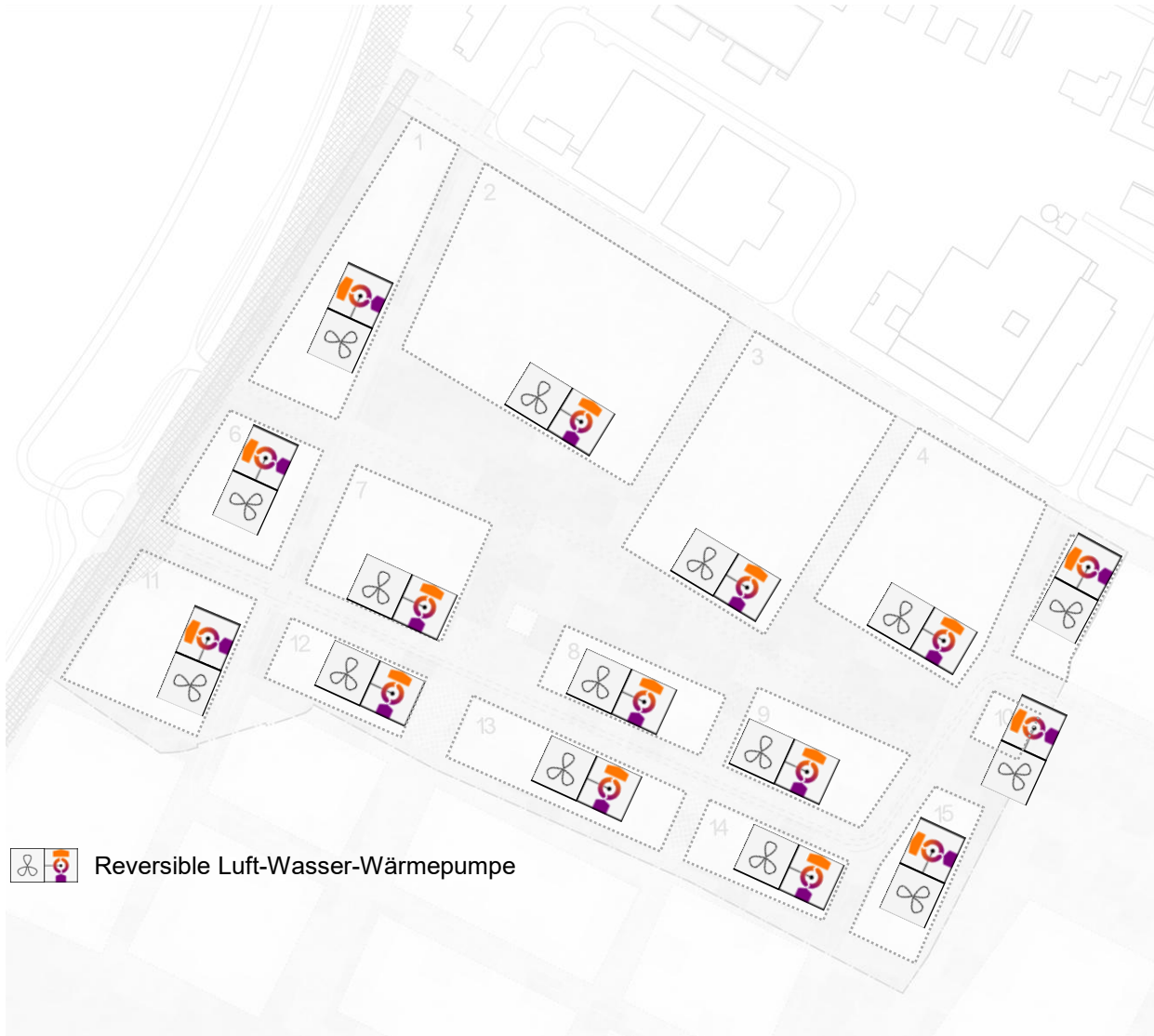
Jährlicher Endenergiebedarfe	
Strom TWW, Heizung	3.170 MWh/a
Strom Kälte inkl. WRG	2.580 MWh/a

➤ **Überschlägige Betriebskosten*** **1.435 T€/a**

*AP Strom: 25ct/kWh, AP Fernwärme: 10ct/kWh

Vertiefung von Vorzugsvarianten

Variante 5: Luft-Wasser-Wärmepumpe, WW-Booster



 Reversible Luft-Wasser-Wärmepumpe

Heizen

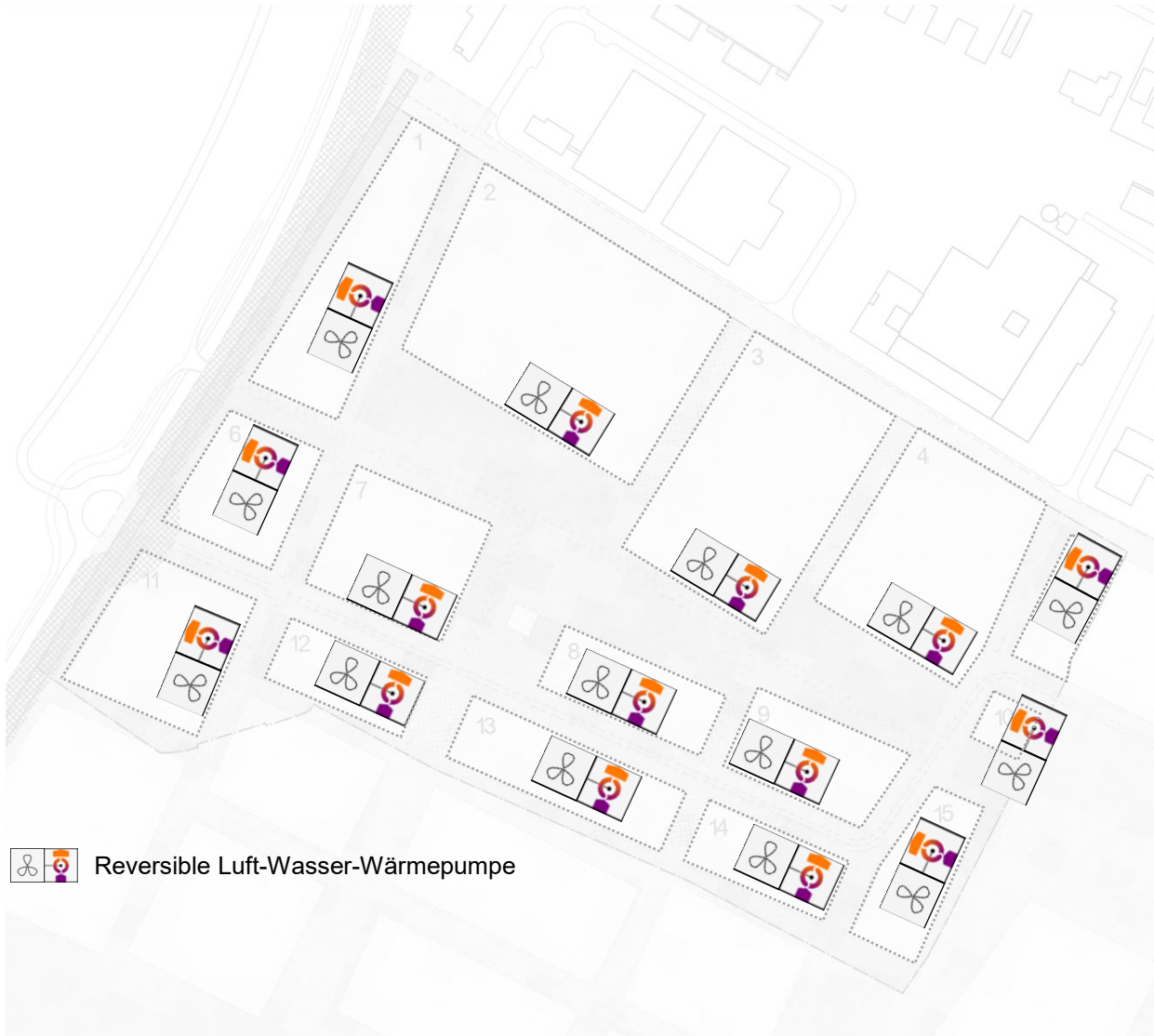
- Die Wärmeerzeugung erfolgt mit Luft-Wasser-Wärmepumpen je Bauabschnitt als Insellösung
- Die Wärmeverteilung erfolgt auf mittlerem Temperaturniveau (Vorlauftemperatur Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung z.B. 45°C)

Warmwasserbereitung

- Die Warmwasserbereitung erfolgt über Zirkulationssysteme (bei geringeren Bedarfen über dezentrale elektrische Durchlauferhitzer)
- Die Warmwasserbereitung erfordert höhere Temperaturen, daher wird die Temperatur dezentral mit Booster-Wärmepumpen angehoben

Kühlen

- Die Kühlung erfolgt über baufeldzentrale (oder gebäudezentrale) Luft-Wasser-Wärmepumpen im reversiblen Betrieb
- Tiefkälte wird dezentral individuell erzeugt

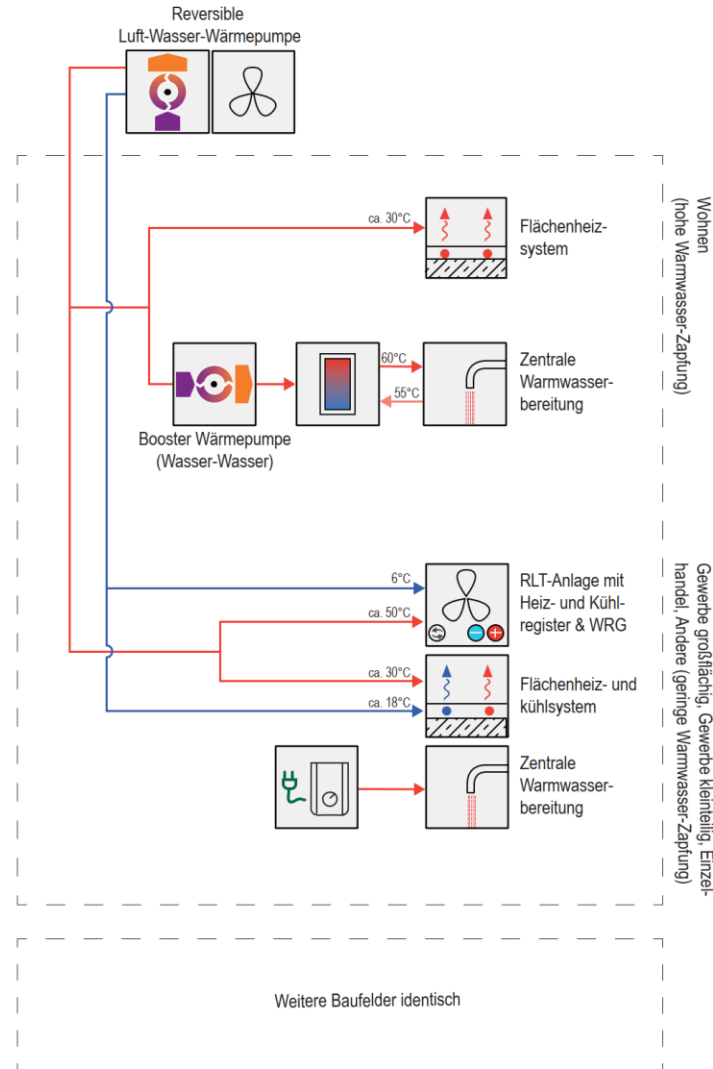


Vorteile:

- Geringe Kosten für Quellenerschließung, einfache Anlagentechnik, Investition in die Wärmeseite sind bereits Kälteseitig abgedeckt
- Keine Einbindung von Abwärme, keine Flexibilität bzgl. Energiequellen, Effizienter Wärmepumpenbetrieb (Heizkurve)
- Höchste Flexibilität, Dezentralität, geringe Anfangsinvestition
- Geringe Komplexität, erprobte Versorgung auf dem Stand der Technik, hohe Versorgungssicherheit bei Ausführung mit Redundanz mit entsprechendem Flächenbedarf

Neutral:

- keine zentrale Technik, hohe Anzahl an Geräten verursacht hohen Wartungsaufwand
- Förderfähig nach Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) ist ab 16 Gebäuden oder 100 Wohneinheiten gegeben, QNG Förderung vorstl. Möglich
- PV-Strom kann dezentral für Wärme- und Kälteerzeugung verwendet werden, Bezug von extern nicht sinnvoll möglich



Szenario maximale Kühlung/Heizung mit GW

Anteile Wärmeerzeugung	
Wärmepumpe	100 %

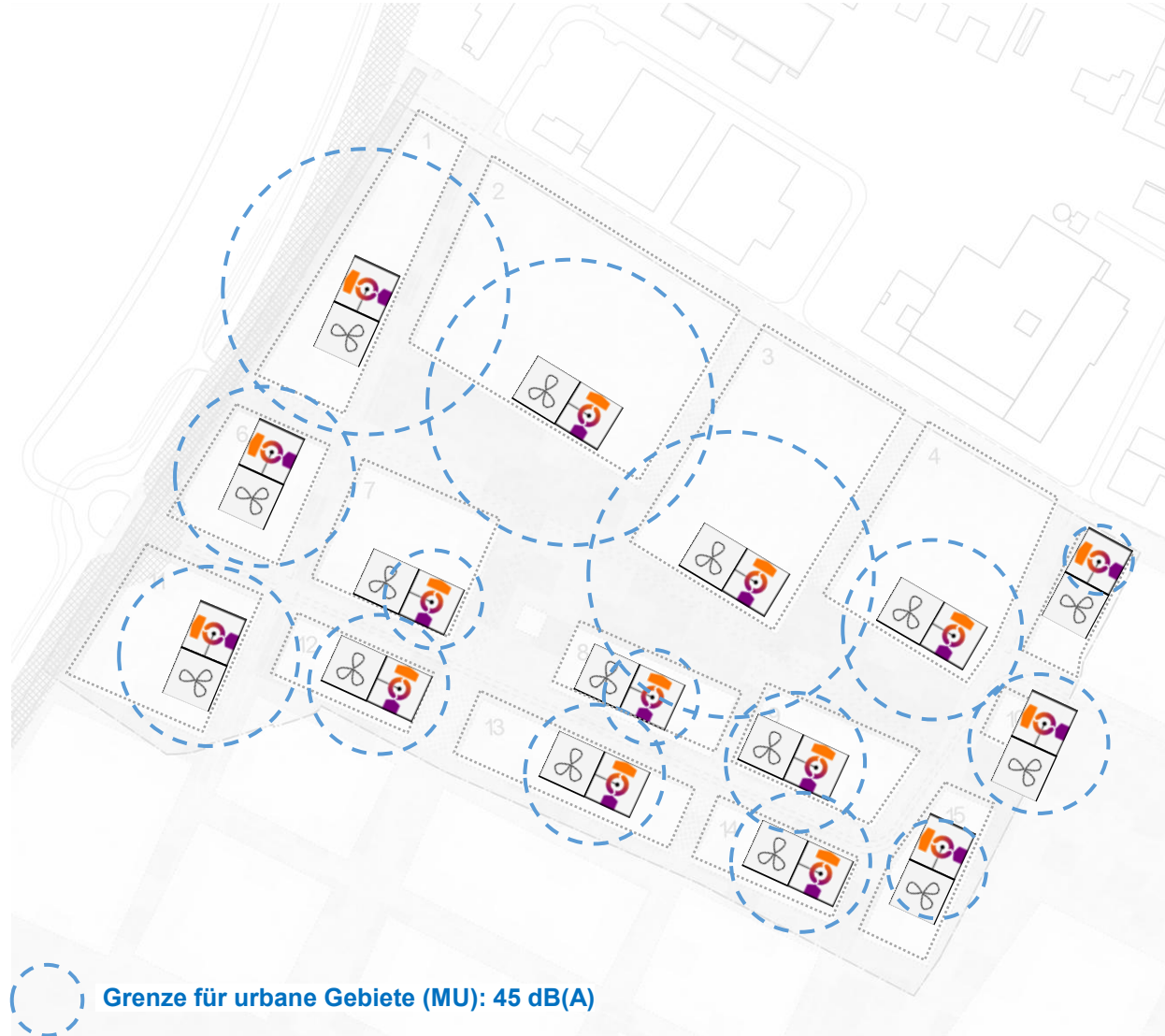
Anteile Warmwasserbereitung	
Durchlauferhitzer	76 %
Wärmepumpe inkl. WRG	24 %

Effizienz	
Jahresarbeitszahl TWW, Heizung	3,4
SEER Kälte GW+KKM inkl. WRG	3,7

Jährlicher Endenergiebedarfe	
Strom TWW, Heizung	3.470 MWh/a
Strom Kälte inkl. WRG	2.910 MWh/a

➤ **Überschlägige Betriebskosten*** **1.595 T€/a**

*AP Strom: 25ct/kWh, AP Fernwärme: 10ct/kWh



MU: Urbane Gebiete

- In urbanen Gebieten (MU) ist nach der TA Lärm ein Immissionsrichtwert von 45 dB(A) zum nächstgelegenen Immissionsort einzuhalten
- Bei Wärmepumpengruppen werden je zusätzlicher Wärmepumpe 3 dB(A) zum maximalen Schallleistungspegel addiert
- Mit einer Schallschutzhaube wird in einer überschlägigen Berechnung eine Reduktion des maximalen Schallleistungspegels von 20 dB(A) erzielt
- Für die Wärmepumpengruppen im Quartier sind überschlägig berechnet die dargestellten Abstände erforderlich
- Die dargestellten Abstände beziehen sich auf die Aufstellung an einer Außenwand; bei Dachaufstellung sind die erforderlichen Abstände voraussichtlich geringer
- Im Quartier ist in den meisten Fällen die kälteseitige Leistungsanforderung ausschlaggebend für den erforderlichen Abstand

➤ Die überschlägige Berechnung ersetzt keine Bewertung durch sachverständige Person

Perspektiven



- In der Konzeption wurden zunächst homogene Varianten vorgestellt während in der Planung und Ausführung Möglichkeiten der Kombination bestehen
- Förderfähigkeit nach Bundesförderung für effiziente Wärmenetze ab 16 Gebäuden oder 100 Wohneinheiten

Vorteile eines Wärmeverbunds:

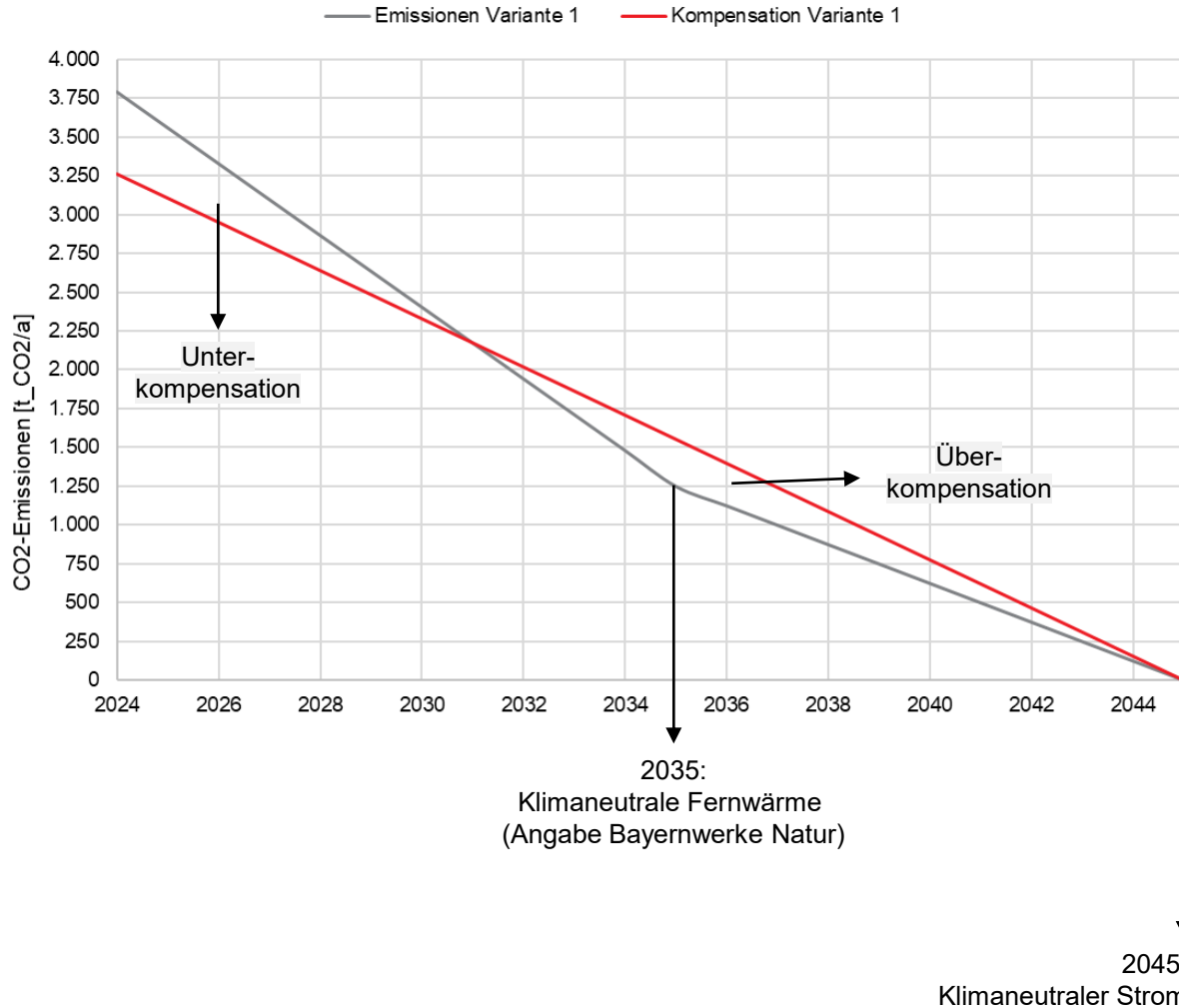
- Einbindung von Abwärme
- Gleichzeitigkeiten
- Zentrale Einbindung von PV-Strom
- Förderfähigkeit

Vorteile einer dezidierten Versorgung der Baufelder:

- Geringere Abhängigkeiten (Zeitlicher Verlauf, Eigentümerstruktur, ...)
- Investitionskosten fallen in Abhängigkeit mit der Entstehung des Quartiers an

Bilanzielle Klimaneutralität

Kompensation von Emissionen

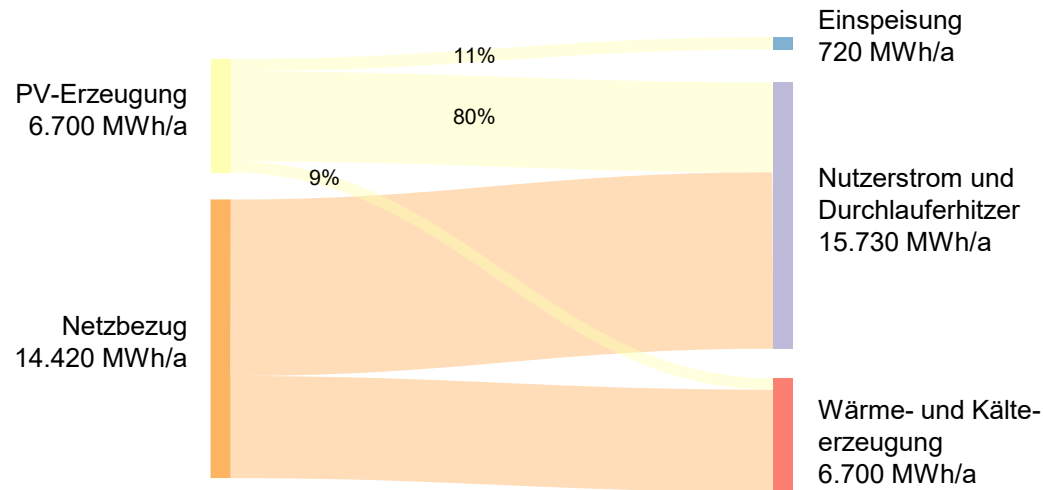


- Emissionen der Fernwärme können mit der Einspeisung von PV-Strom kompensiert werden
- Die Kompensation und die erforderliche PV-Fläche werden durch die Absenkpfade von Netzstrom und Fernwärme definiert

Erforderliche Photovoltaikflächen einer bilanziell klimaneutralen Wärmeversorgung (bei dargestellten Absenkszenario):

- Variante 1: 28.500 m²
- Variante 2: 32.400 m²
- Variante 3: 31.200 m²
- Variante 5: 32.800 m²

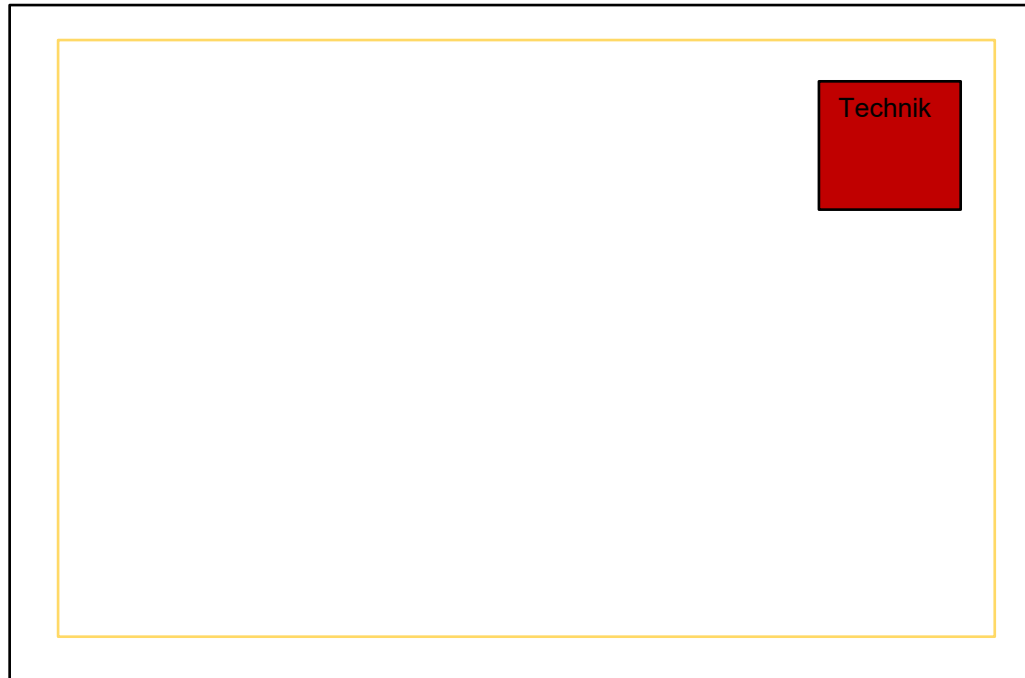
- Bei strombasierten Varianten ist eine bilanzielle Klimaneutralität bei einer ausgeglichenen Bilanz von Erzeugung und Bedarf erreicht
- Bei Fernwärme wird die Photovoltaik durch das Verhältnis der Absenkpfade für Strom und Fernwärme bestimmt; mit sinkendem Emissionsfaktor des Netzstroms sinkt auch das Kompensationspotenzial



- Solarer Deckungsgrad: 29%
- Eigenverbrauchsgrad: 89%
- Wenn PV-Strom priorisiert zur Abdeckung des Nutzerstroms zur Verfügung steht, ist die Reststrommenge für die Wärme- und Kälteerzeugung gering

- Strom, der dezentral auf den Dächern der Baufelder erzeugt wird, wird physikalisch vor allem als Nutzerstrom und für Durchlauferhitzer verwendet
- Strom, der außerhalb des Quartiers erzeugt wird, kann bei einer zentralen Wärmeversorgung vergleichsweise einfach eingebunden werden (Schnittstelle Betreiber PV / Betreiber Wärme)

Ableitung PV-Potenzial auf Dächern unter Berücksichtigung von Technikflächen

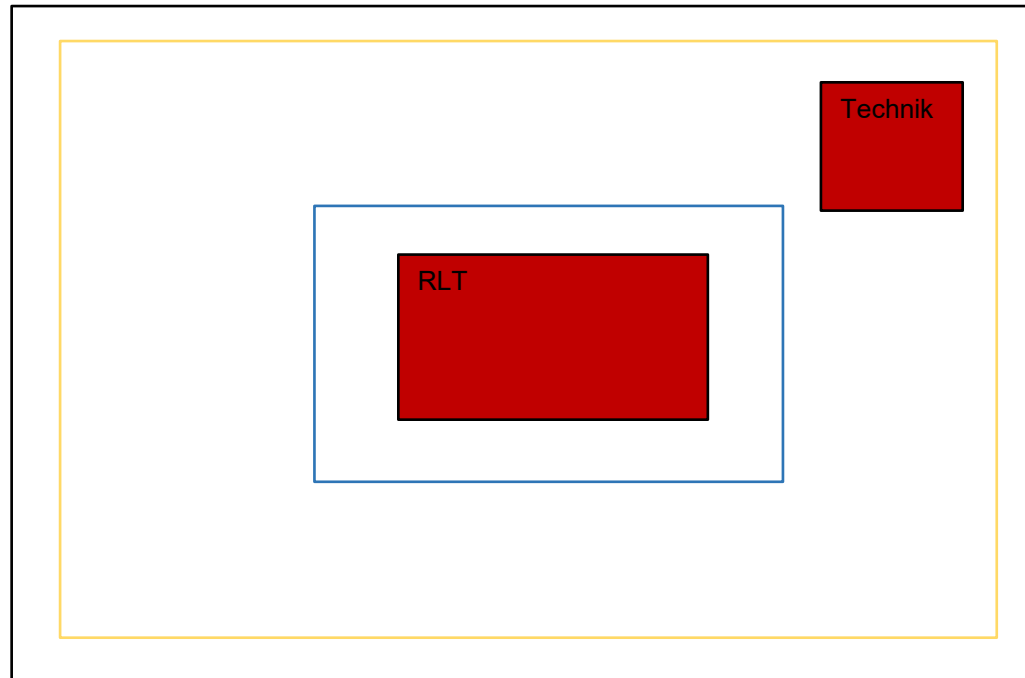


10 % Technikflächenanteil (der Dachfläche) auf Dächern in Anlehnung an Bebauungspläne in München + 1 m Abstand zur Attika

Es verbleiben 615 m² (69 %) an nutzbarer Bruttodachfläche → bei einer Belegungsdichte von 60 % (Berücksichtigung von Wartungsgängen, Dachbegrünung / kombiniertes System) ergibt sich ein maximaler Belegungsgrad von 41 % (Wohnen) bezogen auf die Bruttodachfläche.

Bruttodachfläche:	890,4 m ²
Technikfläche:	89,0 m ²
Attika:	186,6 m ²
nutzbar / PV:	614,8 m ²

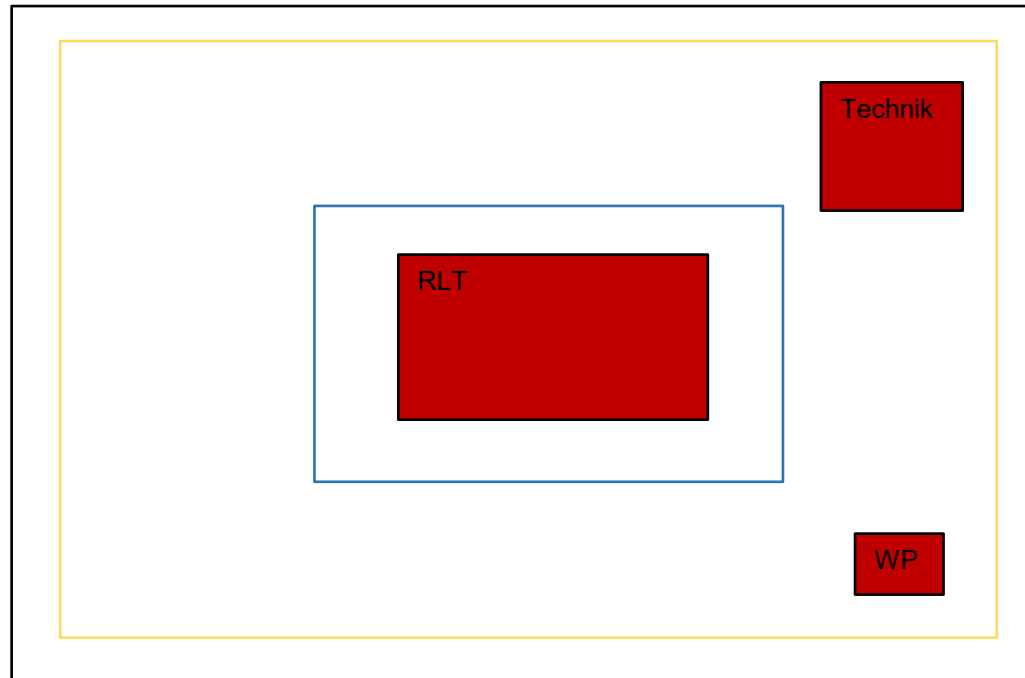
10 % Technikflächenanteil auf Dächern in
Anlehnung an Bebauungspläne in München + 1 m
Abstand zur Attika + Lüftungsanlage Wohnen vs.
Verwaltung (2 m Abstand zur RLT)



Es verbleiben 570 (64 %) bzw. 454 m² (51 %) an
nutzbarer Bruttodachfläche → bei einer
Belegungsdichte von 60 % (Berücksichtigung von
Wartungsgängen, Dachbegrünung / kombiniertes
System) ergeben sich maximale Belegungsgrade
von 38 % (Wohnen) bis 31 % (Verwaltung)
bezogen auf die Bruttodachfläche.

Bruttodachfläche:	890,4 m ²
Technikfläche:	89,0 m ²
Attika:	186,6 m ²
RLT-Anlage (Wohnen):	19,0 m ²
RLT-Anlage (Verwaltung):	105,7 m ²
Abstand zur RLT-Anlage (Wohnen):	26,0 m ²
Abstand zur RLT-Anlage (Verwaltung):	55,4 m ²
Nutzbar / PV (Wohnen):	569,8 m ²
Nutzbar / PV (Verwaltung):	453,7 m ²

10 % Technikflächenanteil auf Dächern in
Anlehnung an Bebauungspläne in München + 1 m
Abstand zur Attika + Lüftungsanlage Wohnen vs.
Verwaltung + Wärmepumpe bei 30 W/m² (30 W/m²
* Dachfläche x 7 Geschosse * 0,8 = inst. Leistung =
15 kW)



Es verbleiben 544 (60 %) bzw. 428 m² (48 %) an
nutzbarer Bruttodachfläche → bei einer
Belegungsichte von 60 % (Berücksichtigung von
Wartungsgängen, Dachbegrünung / kombiniertes
System) ergeben sich maximale Belegungsgrade
von 36 % (Wohnen) bis 29 % (Verwaltung)
bezogen auf die Bruttodachfläche.

Bruttodachfläche:	890,4 m ²
Technikfläche:	89,0 m ²
Attika:	186,6 m ²
RLT-Anlage (Wohnen):	19,0 m ²
RLT-Anlage (Verwaltung):	105,7 m ²
Abstand zur RLT-Anlage (Wohnen):	26,0 m ²
Abstand zur RLT-Anlage (Verwaltung):	55,4 m ²
Wärmepumpe:	20 m ²
Nutzbar / PV (Wohnen):	544,2 m ²
Nutzbar / PV (Verwaltung):	428,1 m ²

Übertrag des PV-Flächenpotenzials auf den Städtebau

Geftungsbereich Bebauungsplan
Baufelder

■ Halle höher technisiert
(z.B. Montage, Fertigung): ca. 35%
■ Halle geringer technisiert
(z.B. Lagerung, Logistik): ca. 60%
■ Verwaltung: ca. 35%
■ Wohnen: ca. 35%
■ Quartiersgaragen: ca. 60%
■ Privat oder öffentlich nutzbare
Dachflächen

Dachflächen Halle höher tech.:
 $29.216 \text{ m}^2 \cdot 0,35 = 10.225 \text{ m}^2 \text{ PV-Fl.}$

Dachflächen Halle gering tech.:
 $21.411 \text{ m}^2 \cdot 0,60 = 12.846 \text{ m}^2 \text{ PV-Fl.}$

Dachflächen Verwaltung:
 $6.320 \text{ m}^2 \cdot 0,35 = 2.212 \text{ m}^2 \text{ PV-Fl.}$

Dachflächen Wohnen:
 $8.721 \text{ m}^2 \cdot 0,35 = 3.052 \text{ m}^2 \text{ PV-Fl.}$

Dachflächen Quartiersgaragen:
 $5.906 \text{ m}^2 \cdot 0,60 = 3.543 \text{ m}^2 \text{ PV-Fl.}$

PV-Flächen Gesamt:
31.878 m²

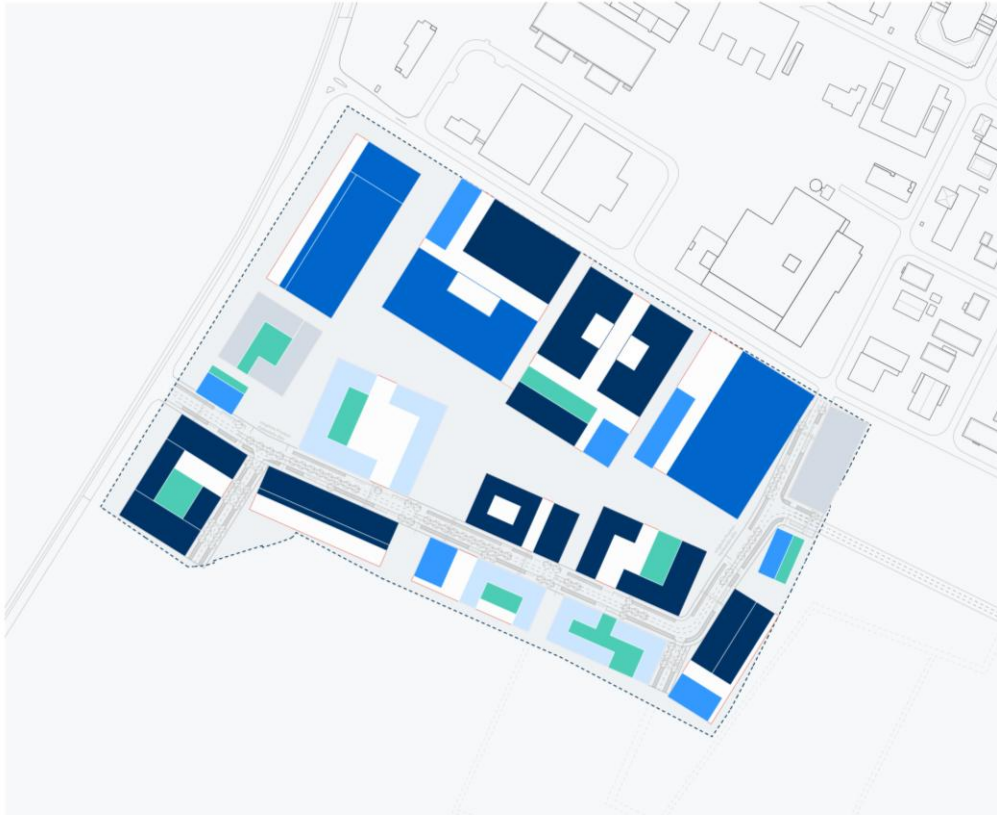
Erforderliche Photovoltaik-
Modulfächen einer bilanziell
klimaneutralen Wärmeversorgung
(bei dargestellten Absenkszenario):

– Variante 1: 28.500 m²
– Variante 2: 32.400 m²
– Variante 3: 31.200 m²
– Variante 5: 32.800 m²

d.h.:
Zum Erreichen einer bilanziell
klimaneutralen Wärmeversorgung
des Quartiers ist abschätzungsweise
eine Photovoltaik-Modulfäche von
30.000 m² (ca. 6.450 kWp)
erforderlich

03 Arch. GmbH
602 HAL Produktives Quartier
Rahmenplan
Dachflächen PV

M 1:2500
D 15.07.2025



- Folgende Verhältnisse von Modulfläche zu Dachfläche können für die verschiedenen Nutzungen im Quartier angesetzt werden:
 - Halle, höher technisiert: 35 %
 - Halle, geringer technisiert: 60 %
 - Verwaltungsgebäude: 35 %
 - Wohngebäude: 35 %
 - Quartiersgaragen: 60 %
- Mit diesen Flächenansätzen kann der ermittelte PV-Flächenbedarf zur Erreichung der bilanziellen Klimaneutralität eingehalten werden

Variantenvergleich

Vollkosten

Methodik

Im Folgenden Vergleich werden die Investitionskosten insbesondere auf Basis der Hauptkomponenten der jeweiligen Versorgungsvariante betrachtet. Kleinteilige Komponenten (z.B. MSR, Hydraulik in Heizzentralen, Ventile, Klappen, ...) werden nur überschlägig mit Kostenfaktoren berücksichtigt. Es verbleiben entsprechende Unsicherheiten, die dem konzeptionellen Anspruch der Betrachtungen genügen.

Der Vergleich erfolgt auf Basis der Grobkostenschätzung mittels einer über den Betrachtungszeitraum annualisierten und mit Preisänderungsfaktoren beaufschlagten dynamischen Betrachtung der jährlichen Nettokosten unter Berücksichtigung sämtlicher kostenrelevanter Parameter in Anlehnung an die VDI 2067. Dabei wird differenziert zwischen:

Kapitalgebundene Kosten,
(Abschreibung, Zinsdienst, Rücklagen, ...)

Betriebsgebundene Kosten,
(Wartung, Instandhaltung, Bedienen)

Bedarfsgebundene Kosten.
(Energiekosten)

Rahmenbedingungen

Betrachtungszeitraum:	20 Jahre
Kalkulationszinssatz:	4,5 %
Preisänderung kapitalgeb. Kosten:	2 %/a
Preisänderung betriebsgeb. Kosten:	2 %/a
Preisänderung Strom:	2 %/a

Energiebezugspreise

Strom:	
Mischpreis Leistung/Energie	= 25 ct/kWh
Fernwärme:	
Arbeitspreis ¹	= 12 ct/kWh
Leistungspreis Quartier ¹	= 20 €/kW
Leistungspreis Baufeld ¹	= 27 €/kW

Emissionen

THG Strom (gem. GEG)	= 560 gCO ₂ -Äq/kWh
THG-Reduktionspfad:	100% EE im Jahr '45, lineare Absenkung ab 2023
THG Fernwärme ² (gem. Ökobaudat)	= 187 gCO ₂ -Äq/kWh

Weitere Parameter

Stundenlohn Bedienung = 70 €/h

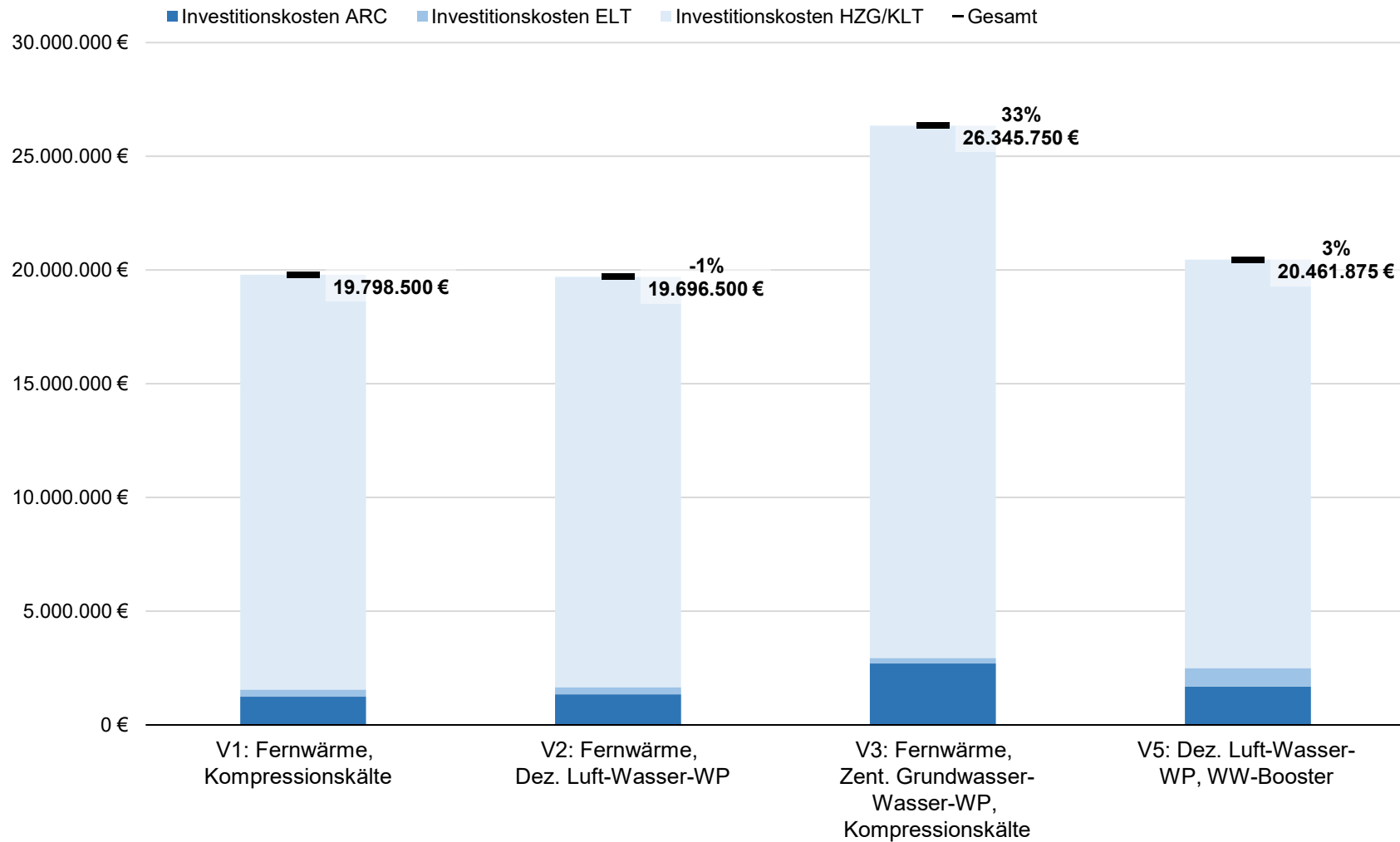
Die Variante „Variante 1 – Fernwärme, Kompressions-Kälte“ wird als Referenzvariante angesetzt.

Die Erstellung von Photovoltaik-Anlagen und die Nutzung von Photovoltaik-Strom wird nicht berücksichtigt.

¹ Bayernwerke Natur, Preisblatt 01.10.2024

² Bayernwerke Natur, Energiedaten Fernwärmenetz Freising, Zolling, Hallbergmoos, März 2023, Berechnet mit den Faktoren der Ökobaudat 2024-I

Variantenvergleich – Investitionskosten (netto, Differenzkosten)



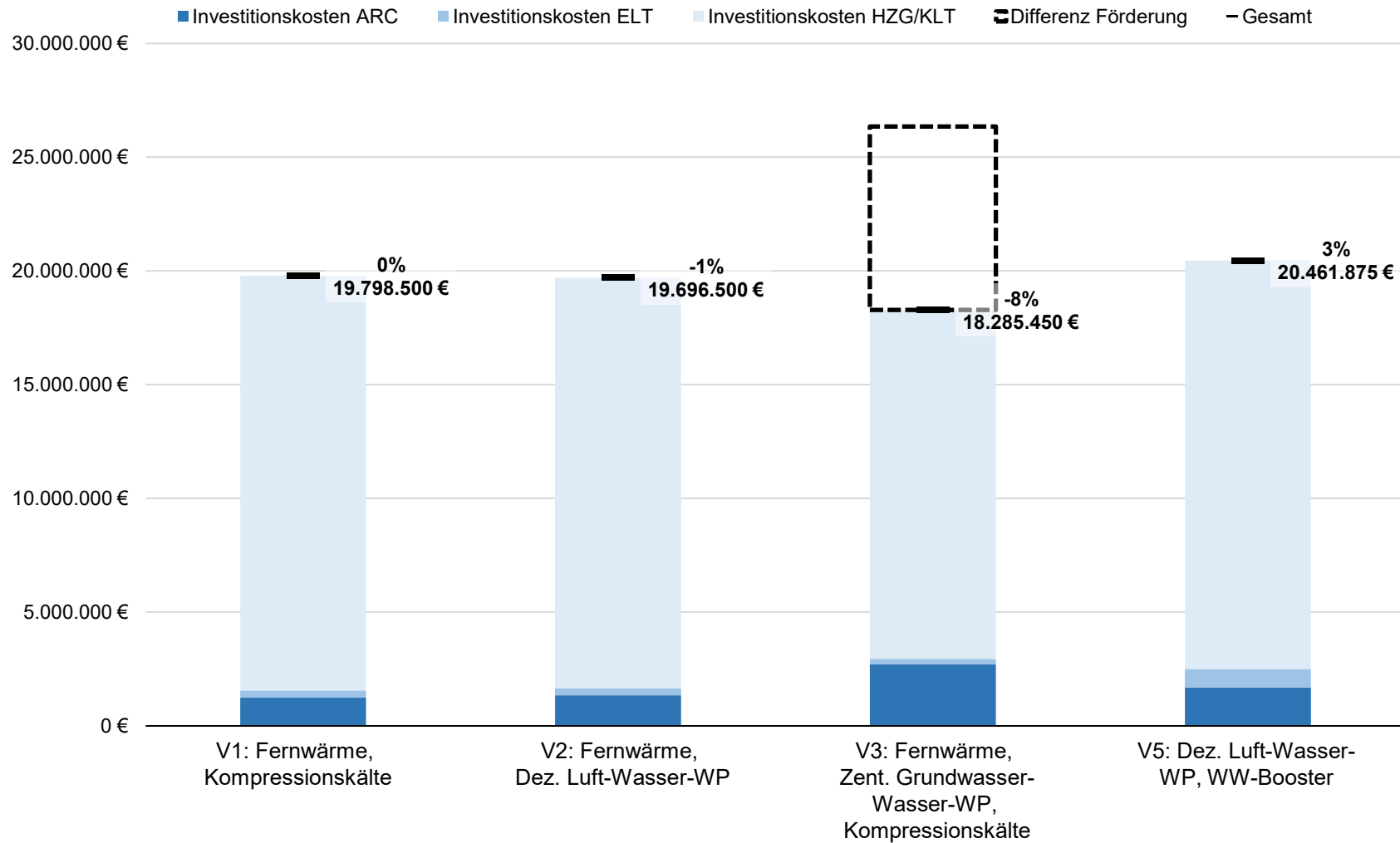
ARC: Bauliche Kosten, hier insb. Kosten für Zentralenflächen und Fundamente

ELT: Differenzkosten Stromanschluss

HZG/KLT: Kosten der Anlagentechnik für Heizung und Kälte

Variantenvergleich – Investitionskosten (netto, Differenzkosten)

BEW-Förderung (40%) berücksichtigt

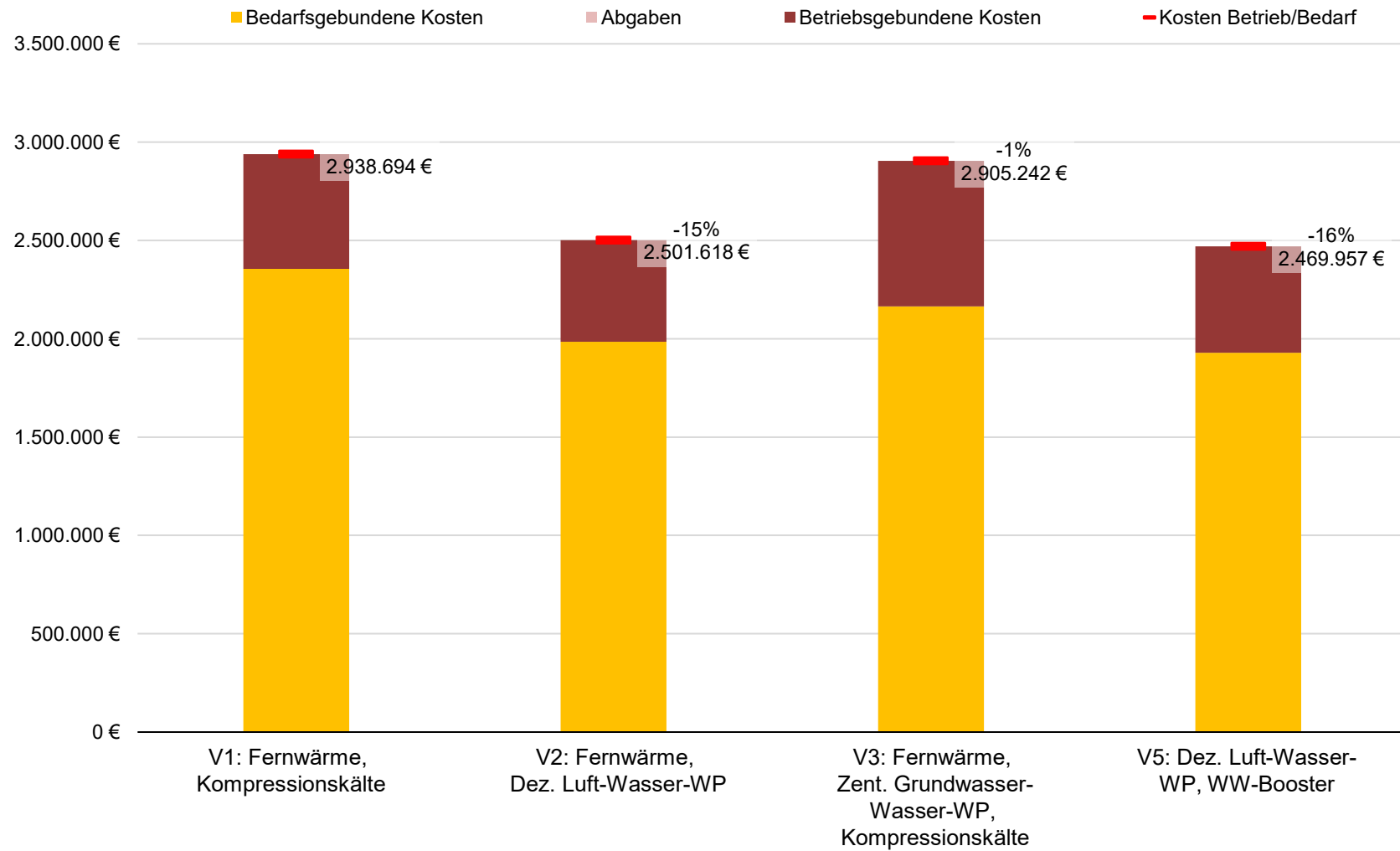


ARC: Bauliche Kosten, hier insb. Kosten für Zentralenflächen und Fundamente

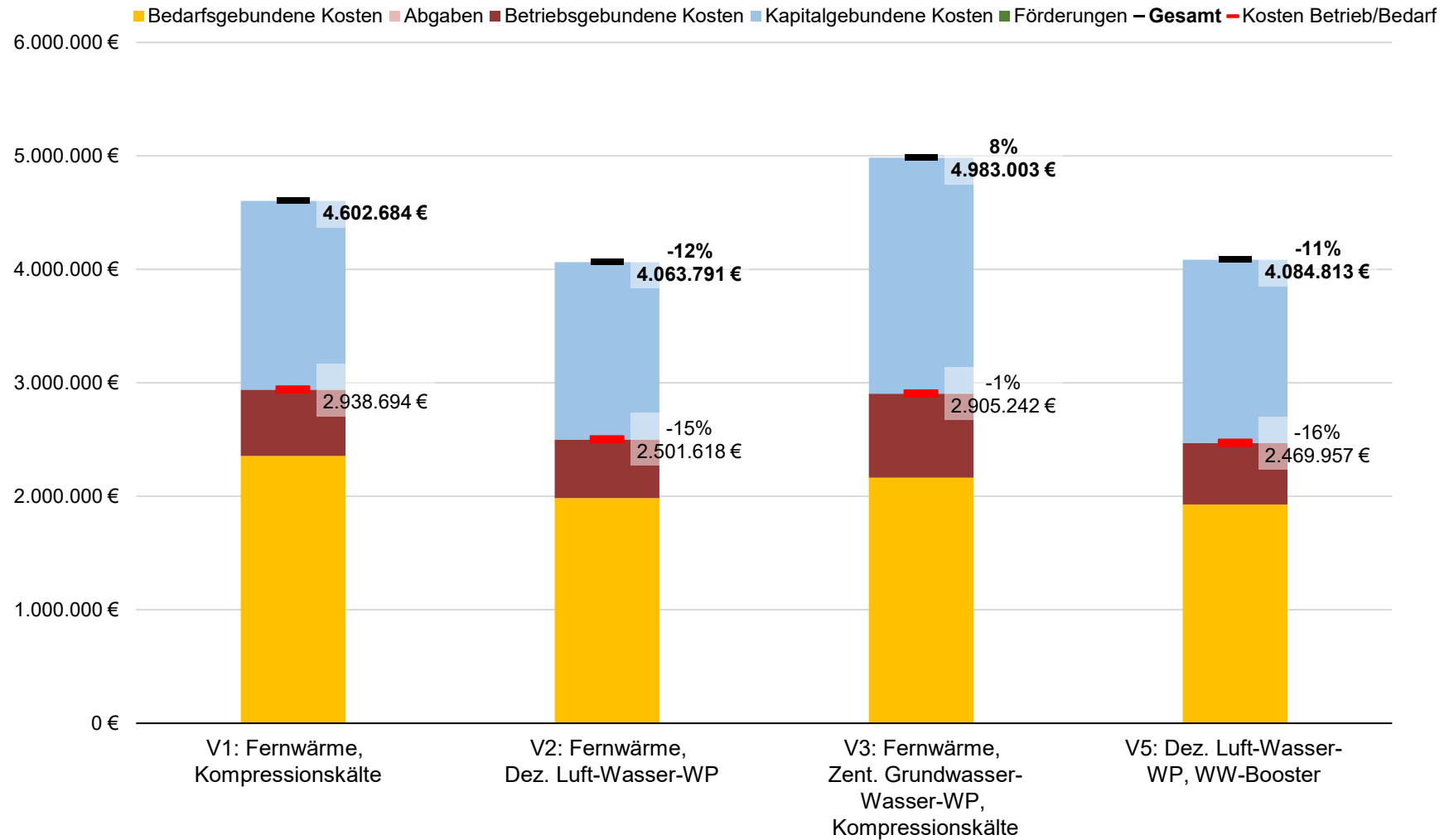
ELT: Differenzkosten Stromanschluss

HZG/KLT: Kosten der Anlagentechnik für Heizung und Kälte

Variantenvergleich – Betriebs- und Bedarfsgebundene Kosten

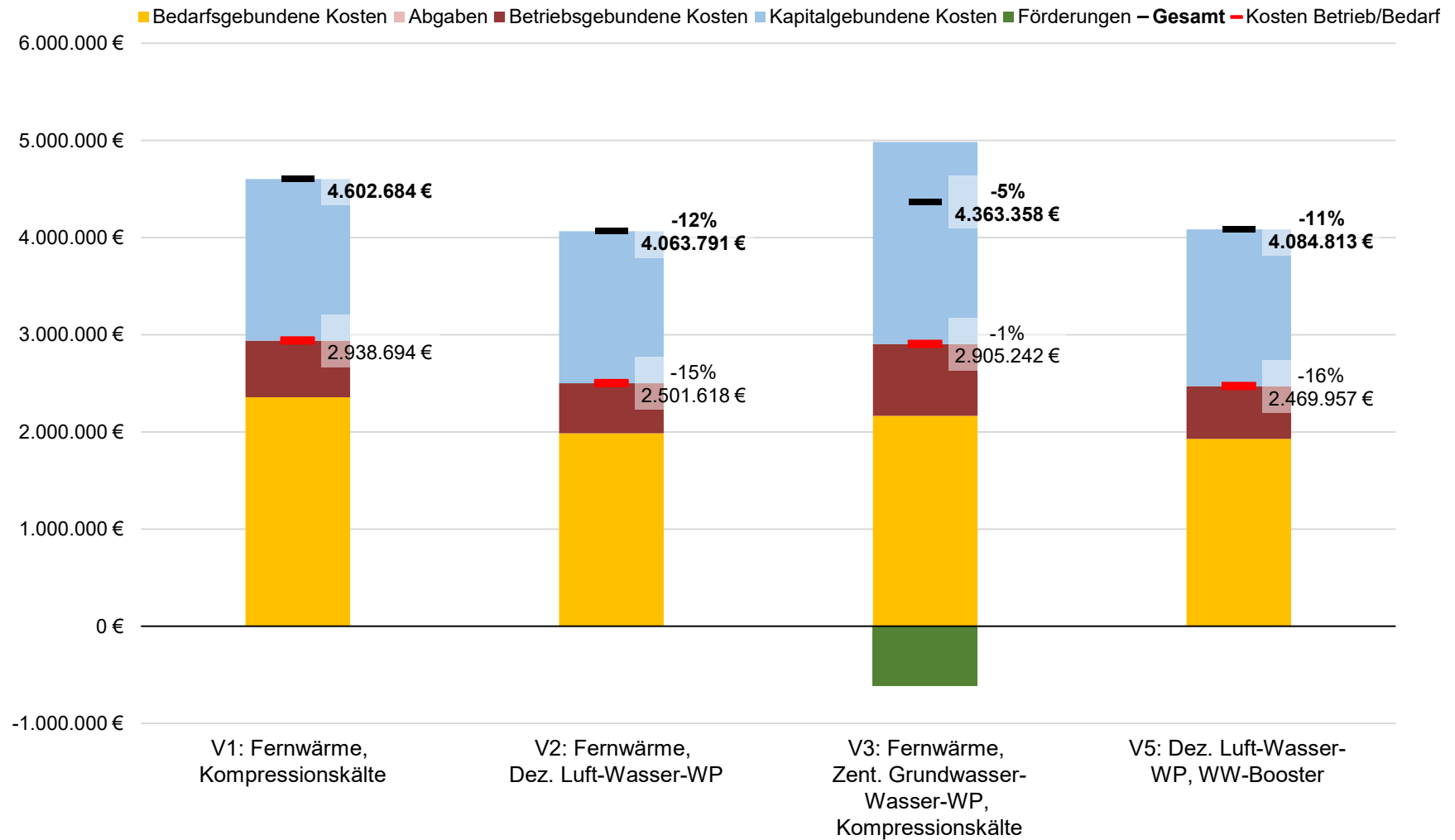


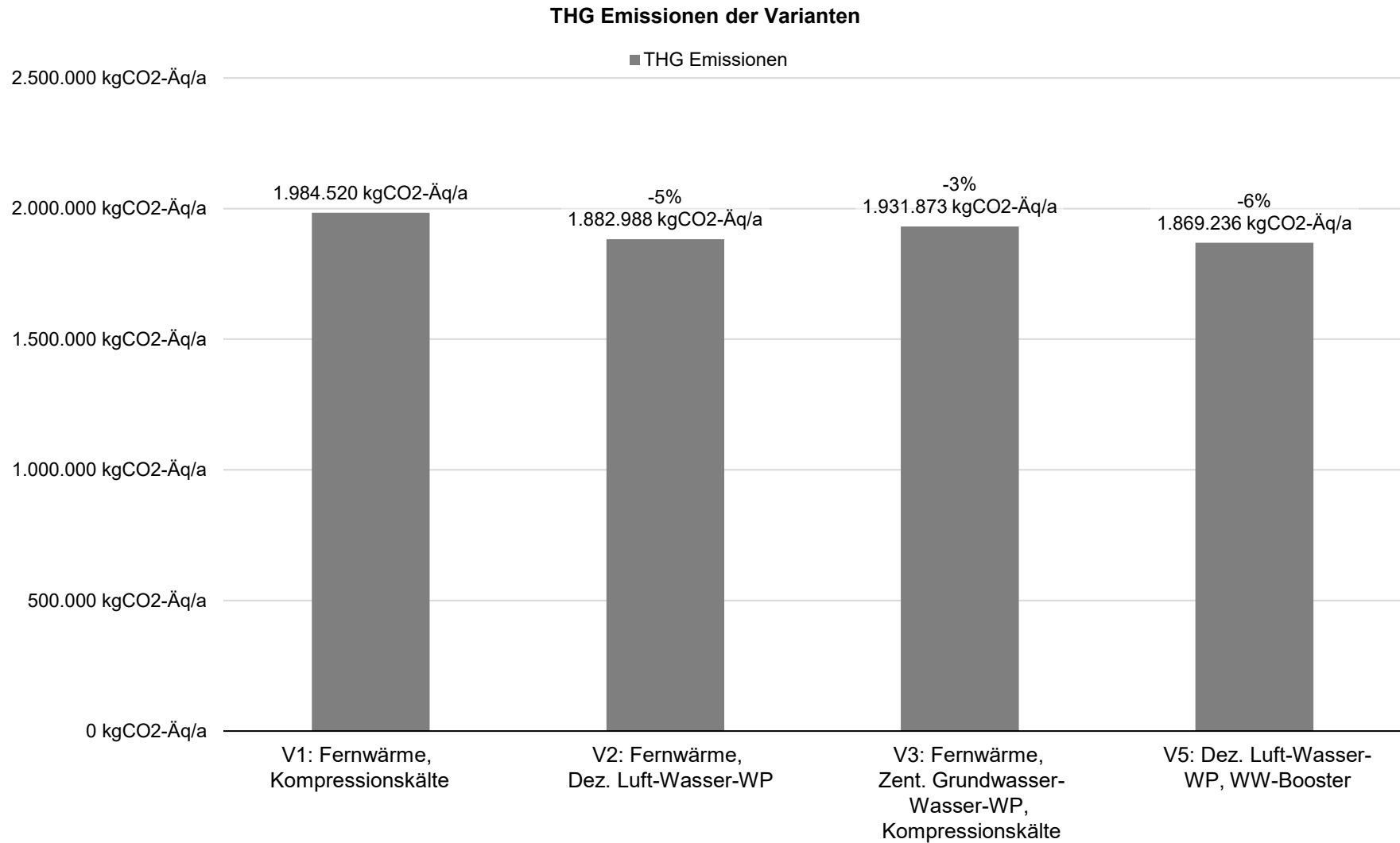
Variantenvergleich – Vollkosten (netto, Differenzkosten)



Variantenvergleich – Vollkosten (netto, Differenzkosten)

BEW-Förderung (40%) berücksichtigt





THG-Faktor Strom: 560 gCO₂/kWh, lineare Absenkung bis 2045

THG-Faktor Fernwärme: 187 gCO₂/kWh, lineare Absenkung bis 2045

Variantenvergleich

Qualitativer Vergleich

Variantenvergleich – Bewertungsmatrix

	Wirtschaftlichkeit					Nutzerfreundlichkeit				Ökologie		
	Investitionskosten (ohne Förderung)	Bedarfsgebundene Kosten	Wartungsaufwand / Betriebsgebundene Kosten VDI 2067	Förderfähigkeit (Bundesregierung energieeffiziente Wärmenetze)	Abschnittsweise Erschließung & Investitionsschiene	Robustheit im Betrieb (Energiepreise, CO ₂ -Bepreisung)	Robustheit in der Planung (Änderungen in der Nutzungsstruktur)	Flexibilität bei der Einbindung von Abwärme	Komplexität in der Er- schließung (Schallemissionen, Dachgestaltung)	CO ₂ -Emissionen im Betrieb	Systemeffizienz und Einbindung von Abwärme	Einbindung von externem PV-Strom
Variante 1 (Fernwärme, KKM)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Variante 2 (Fernwärme, Dezentrale Luft-Wasser-WP)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Variante 3 (Fernwärme, zentrale Grundwasser-WP, KKM)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Variante 5 (Luft-Wasser-WP, Warmwasser-Booster-WP)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■



im Vergleich positiv zu bewerten



im Vergleich neutral zu bewerten



im Vergleich negativ zu bewerten

Variante 1 (Fernwärme, KKM)	– Initiale Erschließung / Kurzfristige Umstellung – Vorteile bei geringen Kühllasten (Geringe Investition)
Variante 2 (Fernwärme, Dezentrale Luft-Wasser-WP)	– Initiale Erschließung / Kurzfristige Umstellung – Vorteile bei ausgeglichenen Heiz- und Kühllasten
Variante 3 (Fernwärme, zentrale Grundwasser-WP, KKM)	– Langfristige Planung / Integraler Ansatz – Vorteile bei höheren Kühlbedarfen mit Grundlastanteil – Hohe Fördermöglichkeiten – Vorteile bei der Einbindung von Abwärme
Variante 5 (Luft-Wasser-WP, Warmwasser-Booster-WP)	– Höchste Flexibilität, geringe Schnittstellen

➤ In Abhängigkeit der Nutzungsstruktur und der Zeitschiene sowie des Betreibers ist eine Variante oder die Kombination von Versorgungsvarianten von Vorteil

Anhang

Investitionskosten (Differenzkosten)

V1 Fernwärme, Kompressions-Kälte					
Bezeichnung	Anzahl	Einheit	Einheitspreis	Einheit	Summe
Netzanschluss					315.000 €
Fernwärmeübergabestation	5.300	[kW]	100	[€/kW]	530.000 €
Baukostenzuschuss	15	[Stk.]	2.000	[€/Stk.]	30.000 €
2-Leiter-Netz	1.220	[Tm]	550	[€/Tm]	671.000 €
Zentraleneinrichtung	1	[Stk.]	795.000	[€/Stk.]	795.000 €
Dezentrale Fernwärmeübergabe	375	[m²]	1.500	[€/m²]	562.500 €
Kompressions-Kälte dezentral	11.700	[kW]	500	[€/kW]	5.850.000 €
Kompressions-Kälte Einrichtung	1	[Stk.]	8.775.000	[€/Stk.]	8.775.000 €
Kältezentrale	450	[m²]	1.500	[€/m²]	675.000 €
Mess- und Regelungstechnik	1	[Stk.]	1.595.000	[€/Stk.]	1.595.000 €
Summe					19.798.500 €

V2 Fernwärme, Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen					
Bezeichnung	Anzahl	Einheit	Einheitspreis	Einheit	Summe
Netzanschluss					315.000 €
Fernwärmeübergabestation	1.250	[kW]	100	[€/kW]	125.000 €
Baukostenzuschuss	15	[Stk.]	2.000	[€/Stk.]	30.000 €
2-Leiter-Netz	1.220	[Tm]	550	[€/Tm]	671.000 €
Zentraleneinrichtung	1	[Stk.]	1.005.000	[€/Stk.]	1.005.000 €
Dezentrale Fernwärmeübergabe	450	[m²]	1.500	[€/m²]	675.000 €
Luft-Wasser-Wärmepumpen	11.700	[kW]	500	[€/kW]	5.850.000 €
L-W-WP Einrichtung	1	[Stk.]	8.775.000	[€/Stk.]	8.775.000 €
Kältezentrale	450	[m²]	1.500	[€/m²]	675.000 €
Mess- und Regelungstechnik	1	[Stk.]	1.575.500	[€/Stk.]	1.575.500 €
Summe					19.696.500 €

Investitionskosten (Differenzkosten)

V3 Fernwärme, Zentrale Wasser-Wasser-Wärmepumpen, zentrale Kompressionskälte					
Bezeichnung	Anzahl	Einheit	Einheitspreis	Einheit	Summe
Netzanschluss					244.000 €
Fernwärmeübergabestation zentral	5.100	[kW]	100	[€/kW]	510.000 €
Baukostenzuschuss	1	[Stk.]	2.000	[€/Stk.]	2.000 €
4-Leiter-Netz	1.765	[Tm]	1.100	[€/Tm]	1.941.500 €
Quartierszentrale inkl. Fernwärmeübergabe	1.500	[m²]	1.500	[€/m²]	2.250.000 €
Saug- und Schluckbrunnen	15	[Stk.]	55.000	[€/Stk.]	825.000 €
Wasser-Wasser-Wärmepumpe	670	[kW]	400	[€/kW]	268.000 €
Kompressionskälte	8.880	[kW]	500	[€/kW]	4.440.000 €
Zentraleneinrichtung	1	[Stk.]	7.827.000	[€/Stk.]	7.827.000 €
Wärmeübergabestation dezentral	5.300	[kW]	100	[€/kW]	530.000 €
Kälteübergabestation dezentral	11.700	[kW]	150	[€/kW]	1.755.000 €
Dezentrale Übergabestationen Fläche	300	[m²]	1.500	[€/m²]	450.000 €
Zentraleneinrichtung dezentral	1	[Stk.]	3.427.500	[€/Stk.]	3.427.500 €
Mess- und Regelungstechnik	1	[Stk.]	1.875.750	[€/Stk.]	1.875.750 €
Summe					26.345.750 €

V5 Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen, Warmwasser-Booster-Wärmepumpen					
Bezeichnung	Anzahl	Einheit	Einheitspreis	Einheit	Summe
Netzanschluss					810.000 €
Luft-Wasser-Wärmepumpen dezentral	11.700	[kW]	500	[€/kW]	5.850.000 €
Warmwasser-Booster Wärmepumpen	975	[kW]	700	[€/kW]	682.500 €
Zentraleneinrichtung	1	[Stk.]	9.798.750	[€/Stk.]	9.798.750 €
Baufeldzentralen	1.125	[m²]	1.500	[€/m²]	1.687.500 €
Mess- und Regelungstechnik	1	[Stk.]	1.633.125	[€/Stk.]	1.633.125 €
Summe					20.461.875 €

Energiebilanzen

	Variante 1 FW +KKM	Variante 2 FW +LWWP	Variante 3 FW+GWWP +KKM	Variante 5 LWWP
Bivalenzpunkt Heiz		-5		-
Bivalenzpunkt WW		9		-
Wärmeverluste				
Wärmenetzverluste relativ	-	-	5,2%	- [%]
Wärmenetzverluste absolut	-	-	324.777	- [kWh/a]
Anteile Gebäudebeheizung				
LW-WP	-	90%	-	100% [-]
GW-WP	-	-	43%	- [-]
Fernwärme	100%	10%	57%	- [-]
Anteile Warmwasserbereitung				
D-Erh.	76%	76%	75%	76% [-]
GW-WP	-	-	15%	- [-]
LW-WP	-	0%	-	12% [-]
Fernwärme	24%	13%	2%	- [-]
TWW aus WRG	0%	12%	9%	12% [-]
Erzeuger-Nutzenergie Wärmerückgewinnung				
TWW-Kälte TWW	-	270.853	210.423	282.200 [kWh _{th} /a]
TWW-Kälte Kälte	-	183.118	142.262	190.789 [kWh _{th} /a]
TWW-Kälte Strom	-	87.736	68.161	91.411 [kWh _{th} /a]
Erzeuger-Nutzenergie Gebäudebeheizung				
GW-WP	-	-	2.537.040	- [kWh _{th} /a]
LW-WP	-	5.116.834	-	5.670.628 [kWh _{th} /a]
Fernwärme	5.670.628	553.794	3.428.752	- [kWh _{th} /a]
Erzeuger-Nutzenergie Warmwasserbereitung				
GW-WP TWW	-	-	353.088	- [kWh _{th} /a]
LW-WP TWW	-	0	-	68.261 [kWh _{th} /a]
Fernwärme TWW	564.400	293.547	37.719	- [kWh _{th} /a]
Erzeuger-Nutzenergie Kälte				
GW-WP	0	0	2.202.002	- [kWh _{th} /a]
LW-WP	-	10.646.284	-	10.638.613 [kWh _{th} /a]
KKM	10.829.402	-	8.485.137	- [kWh _{th} /a]
Effizienz Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung				
JAZ Heiz GW-WP	-	-	3,0	- [-]
JAZ Heiz LW-WP	-	3,6	-	3,4 [-]
JAZ TWW GW-WP	-	-	3,2	- [-]
JAZ TWW LW-WP	-	2,8	-	2,5 [-]
WRG-COP	-	7,0	5,0	7,0 [-]
Effizienz Kälte				
SEER GW-WP (inkl. WRG)	-	-	4,95	- [-]
SEER LW-WP (inkl. WRG)	-	3,66	-	3,72 [-]
SEER KKM (inkl. WRG)	3,71	-	3,71	- [-]
Endenergie Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung				
Strom Heizen	-	1.416.855	849.513	1.675.354 [kWh _{el} /a]
Strom TWW GW-WP+LW-WP	-	0	109.980	27.387 [kWh _{el} /a]
Strom TWW D.Erh.	1.768.901	1.768.901	1.739.552	1.768.901 [kWh _{el} /a]
Strom Kälte KKM inkl. WRG Betrieb	2.918.767	2.957.413	2.734.944	2.908.004 [kWh _{el} /a]
SUMMEN				
Summe Strom	4.687.669	6.143.169	5.433.989	6.379.646 [kWh _{el} /a]
Summe Fernwärme	6.235.028	847.340	3.466.470	0 [kWh _{th} /a]

Qualitativer Variantenvergleich

	Investitionskosten (ohne Förderung)	Bedarfsgebundene Kosten	Wartungsaufwand (Betriebsgebundene Kosten VDI 2067)	Förderfähigkeit (Bundesförderung energieeffiziente Wärmenetze)	Abschnittsweise Erschließung & Investitionsschiene	Robustheit im Betrieb gegenüber Preisänderungen, CO ₂ - Bepreisung	Robustheit in der Planung gegenüber Variation im Bedarf (Nutzerstruktur, EH Standard)	Flexibilität bei der Einbindung von Abwärme (aus Light-Industrial, Kälteerzeugung)	Komplexität in der Erschließung (Schallemissionen, Dachgestaltung, elektrische Erschließung)	CO ₂ -Emissionen im Betrieb	Systemeffizienz und Einbindung von Abwärme	Einbindung von PV-Strom
Variante 1 FW, KKM	Im Vergleich mittlere Investitionskosten (siehe WiBe)	Im Vergleich hohe bedarfsgebundene Kosten (siehe WiBe)	Im Vergleich mittlere betriebsgebundene Kosten (siehe WiBe)	Nicht förderfähig nach Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW), QNG Förderung in Abhängigkeit der Transformation des Wärmenetzes	Erschließung kann in Abstimmung mit Betreiber sukzessiv in dessen Verantwortung erfolgen, geringe Anfangsinvestition	Preisgestaltung externalisiert	Dezierte Erschließung der Baufelder 6-15 ist mit höherem Aufwand verbunden	Keine Abwärmenutzung	Schallemissionen treten für die Kälteerzeugung dezentral auf und sind im Vergleich niedrig, Anforderungen an Dachflächen, kleinteilige elektrische Erschließung der thermischen Versorgung	Im Vergleich mittlere CO ₂ -Emissionen im Betrieb (siehe WiBe) - direkte Abhängigkeit vom Netzstrommix und der Transformation der Fernwärme, Einordnung von fester Biomasse als nachhaltiger Brennstoff ist in Frage zu stellen	Keine WRG, Effiziente Kälte, hohes Temperaturniveau	PV-Strom kann nur dezentral für die Kälteerzeugung genutzt werden, EE-Anteil externalisiert, Emissionen in Abhängigkeit der Transformation der Fernwärme
Variante 2 FW, dez. LW-WP	Im Vergleich mittlere Investitionskosten (siehe WiBe)	Im Vergleich niedrige bedarfsgebundene Kosten (siehe WiBe)	Im Vergleich mittlere betriebsgebundene Kosten (siehe WiBe)	Nicht förderfähig nach Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW), QNG Förderung in Abhängigkeit der Transformation des Wärmenetzes	Erschließung kann in Abstimmung mit Betreiber sukzessiv in dessen Verantwortung erfolgen, geringe Anfangsinvestition	Flexibilität besteht durch variablen Bivalenzpunkt, Abhängigkeit von Fernwärme gegeben	Abwärmenutzung innerhalb des Baufelds möglich	Abwärmenutzung innerhalb des Baufelds möglich	Schallemissionen treten für die Kälte- und Wärmeerzeugung dezentral auf und sind im Vergleich höher, Anforderungen an Dachflächen, kleinteilige elektrische Erschließung der thermischen Versorgung	Im Vergleich mittlere CO ₂ -Emissionen im Betrieb (siehe WiBe) - direkte Abhängigkeit vom Netzstrommix und der Transformation der Fernwärme, Einordnung von fester Biomasse als nachhaltiger Brennstoff ist in Frage zu stellen	WRG im Baufeld begrenzt, mittleres Temperaturniveau	PV-Strom kann nur dezentral anteilig für Wärme- und Kälteerzeugung verwendet werden, Anteil EE durch Wärmepumpe variabel aber begrenzt
Variante 3 FW, zent. GW-WP, KKM	Im Vergleich hohe Investitionskosten (siehe WiBe)	Im Vergleich mittlere bedarfsgebundene Kosten (siehe WiBe)	Im Vergleich hohe betriebsgebundene Kosten (siehe WiBe), aber zentralisierte Technik	Vrstl. förderfähig nach Bundesförderung effiziente Wärmenetze, QNG Förderung möglich	Höchste Zentralisierung erfordert große Anfangsinvestition und verursacht ggf. Überdimensionierung ("Überinvestition"), Erschließung mittels 4- Leiter-Netz kann sukzessiv erfolgen	Höchste Flexibilität bezüglich Energiequellen und variable Bivalenzpunkte	Platzbedarf in Quartierszentrale muss vorgehalten werden, Stromanschluss muss ausreichend für Endausbau dimensioniert werden	Abwärmequellen können abhängig von Szenario im Quartierskontext eingebunden werden	Erschließung erfolgt über eine zentrale Heizzentrale, Schallemissionen treten zentral auf und sind im Vergleich geringer (Grundwasser- Wärmepumpe), die zentrale Wärmeerzeugung ermöglicht eine flexible Dachgestaltung, gebündelte elektrische Erschließung für thermische Versorgung	Im Vergleich mittlere CO ₂ -Emissionen im Betrieb (siehe WiBe) - direkte Abhängigkeit vom Netzstrommix und der Transformation der Fernwärme, Einordnung von fester Biomasse als nachhaltiger Brennstoff ist in Frage zu stellen	WRG Baufeld, hohes Temperaturniveau, viele Quellen	PV Strom kann vor allem von externen Quellen zentral verwendet werden, sehr hoher Anteil erneuerbarer EE i.A. der Verfügbarkeit möglich, Integration von Speichern und ggf. strompreisgeführter Betrieb ist am leichtesten umsetzbar
Variante 5 Dez. LW-WP	Im Vergleich mittlere Investitionskosten (siehe WiBe)	Im Vergleich niedrige bedarfsgebundene Kosten (siehe WiBe)	Im Vergleich mittlere betriebsgebundene Kosten (siehe WiBe)	Förderfähig nach Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) ist ab 16 Gebäuden oder 100 Wohneinheiten gegeben, QNG Förderung vrstl. Möglich	Höchste Flexibilität, Dezentralität, geringe Anfangsinvestition	Preisgestaltung externalisiert, Anbieterwechsel leichter möglich	Nachteil in der Gleichzeitigkeit	Abwärmenutzung innerhalb des Baufelds möglich	Schallemissionen treten für die Kälte- und Wärmeerzeugung dezentral auf und sind im Vergleich höher, Anforderungen an Dachflächen, kleinteilige elektrische Erschließung der thermischen Versorgung	Im Vergleich mittlere CO ₂ -Emissionen im Betrieb (siehe WiBe) - direkte Abhängigkeit vom Netzstrommix	WRG Baufeld, mittleres Temperaturniveau	PV-Strom kann dezentral für Wärme- und Kälteerzeugung verwendet werden, Bezug von extern nicht sinnvoll möglich

Modul 1 – Machbarkeitsstudien und Transformationspläne

- Analyse des bestehenden Wärmenetzes / Gebietes des geplanten Wärmenetzes
- Analyse der potenziellen Wärmequellen und Abwärme
- Identifizierung von Maßnahmen zur Erreichung der Meilensteine 2030, 2035, 2040, 2045
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Modul 2 – Systemische Förderung von Wärme- und Kältenetzen

- Finanzierung ganzer Wärmenetze oder Teilnetze, inkl. z. B. Großwärmepumpen, Speicher, Leitungen
- Transformationsplan oder Machbarkeitsstudie erforderlich (Anforderung nach Modul 1)

Modul 4 – Betriebskostenförderung

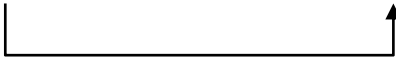
- Förderung von zentralen Wärmepumpen und Solarthermieanlagen, die in ein Wärmenetz einspeisen
- Förderung für die ersten 10 Betriebsjahre
- Systemische Förderung von Wärme oder Kältenetzen erforderlich (Anforderungen nach Modul 2)

Höchstförderung: 50% bzw. 2 Mio. €

**Höchstförderung: 40% bzw. 100 Mio. €
Ist limitiert von der Wirtschaftlichkeitslücke**

**Abhängig von den Anlagekennwerten
Maximal tatsächliche Betriebsausgaben**


Voraussetzung
(auch nicht geförderte Vorstudien mit inhaltlicher Mindestanforderung möglich)


Voraussetzung

Modul 3 – Einzelmaßnahmen (bei Transformation von Wärmenetzen):
Zusätzlich zum oder ohne Transformationsplan möglich, Förderung von Solarthermie- und Biomasseanlagen, Wärmepumpen, Wärmespeichern, Hausübergabestationen (inkl. Rohrleitungen zur Einbindung)