

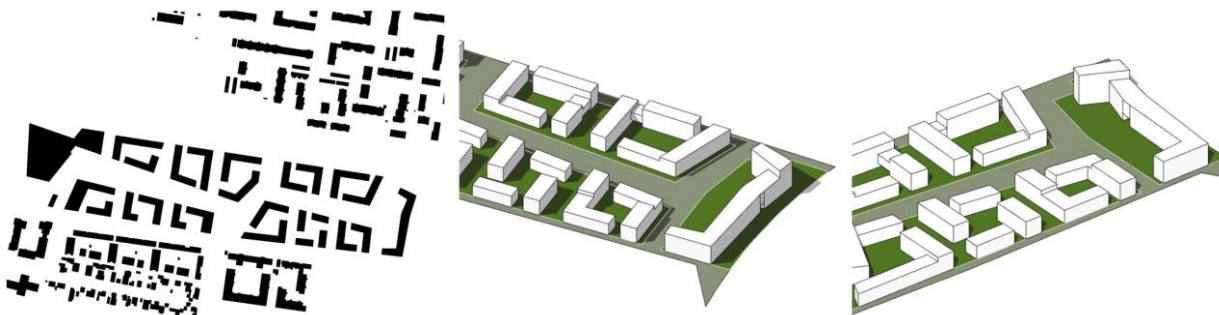


22.0213 Neues Mitterfeld

Energieversorgungsstrategien

Photovoltaik, Erschließung, Kälteerzeugung,
Trinkwarmwasserbereitung

Kirchheim, 16.02.2023



deloossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

Inhalt

Begriffsdefinitionen

Photovoltaik

Anschlussoptionen Fernwärme

Kälteerzeugung

Trinkwarmwasserbereitung

Nächste Schritte

Anhang:

- Betreibermodelle
- Detaillierte Variantendarstellung zur Kälteversorgung
- Auflistung der Kostenparameter zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Auszug Richtlinien und Normen zur Trinkwarmwasserbereitung

Begriffsdefinitionen

Begriffsdefinitionen

Klimaneutralität

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

Angenommen wird hier der Betrachtungszeitraum von einem Jahr und somit das Erreichen einer ausgeglichenen Jahresbilanz.

Eine vollständige Betrachtung beinhaltet die Mitbetrachtung von vor- und nachgelagerten Prozessen (z.B. Herstellung und Entsorgung von Photovoltaikanlagen / „Cradle-to-Cradle“)

Energieautarkie

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

In Folge dessen 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.

Eigenverbrauchsgrad

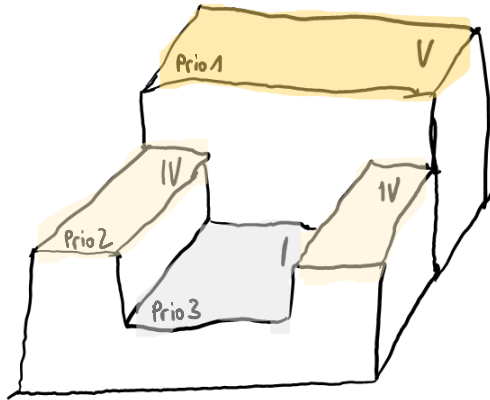
Der Eigenverbrauchsanteil beschreibt den Anteil des erzeugten Solarstroms, der entweder zeitgleich durch die Stromverbraucher oder zur Ladung eines Batteriespeichers genutzt wird. Je höher der Eigenverbrauchsanteil ist, desto weniger Solarstrom wird in das Netz eingespeist.

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

Solarer Deckungsgrad

Der solare Deckungsgrad berechnet sich analog zum Autarkiegrad, bezieht sich allerdings lediglich auf solar erzeugte Energie.

Photovoltaik (PV)



Eigene Darstellung

Prio 1*: Nicht einsehbar, keine oder geringe Verschattung




Prio 2*: Teilweise einsehbar, kaum Verschattung

Prio 3*: Gut einsehbar und teilweise starke Verschattung
→ **Keine Belegung!**




**Priorisierung durch die Architektur festgelegt.*

Kombination mit (extensiver) Dachbegrünung wird empfohlen – keine Flächenkonkurrenz!




Differenzierung der Dachflächen nach

| | | |
|--------------|---|---|
| Priorität 1: | 9.450 m ² (41 %) |  |
| Priorität 2: | 5.610 m ² (25 %) |  |
| Priorität 3: | 7.870 m ² (34 %) |  |
| Summe: | 22.930 m ² (inkl. Priorität 3) | |

Installierte Leistung (60%-Belegung)

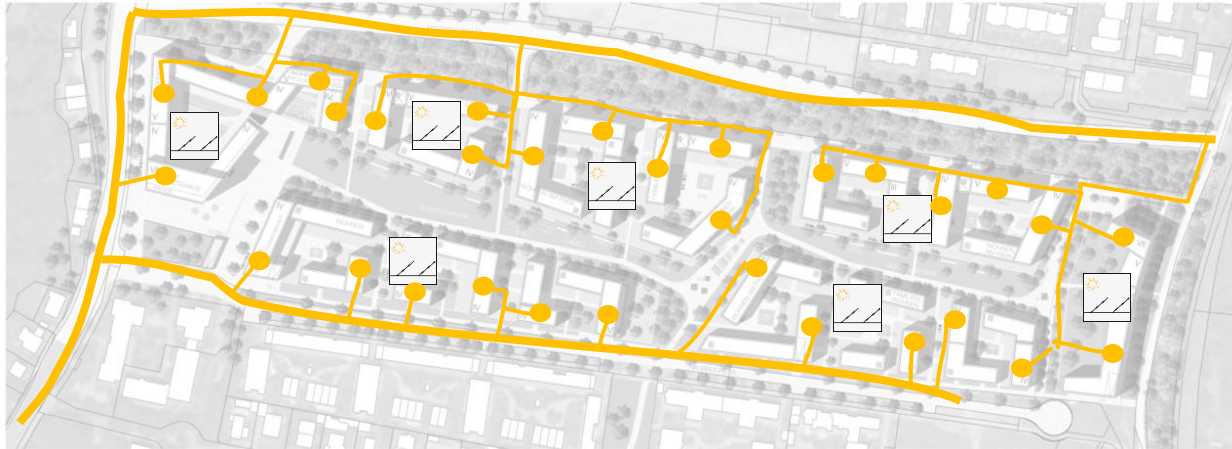
| | | |
|---------------|------------------------------|---|
| Priorität 1: | 1.160 kWp |  |
| Priorität 2: | 690 kWp |  |
| (Priorität 3: | 970 kWp) |  |
| Summe: | 1.850 kWp (2.820 kWp) | |

Stromerzeugung bei Ost-West Belegung

| | | |
|---------------|----------------------------------|---|
| Priorität 1: | 1.115 MWh/a |  |
| Priorität 2: | 660 MWh/a |  |
| (Priorität 3: | 930 MWh/a) |  |
| Summe: | 1.775 MWh/a (2.705 MWh/a) | |

*Annahme für Priorität 3 – Flächen: nicht verschattet!
Zusätzlich mögliche Energie entspricht dem Jahresstrombedarf von ca. 510 E-Autos!*

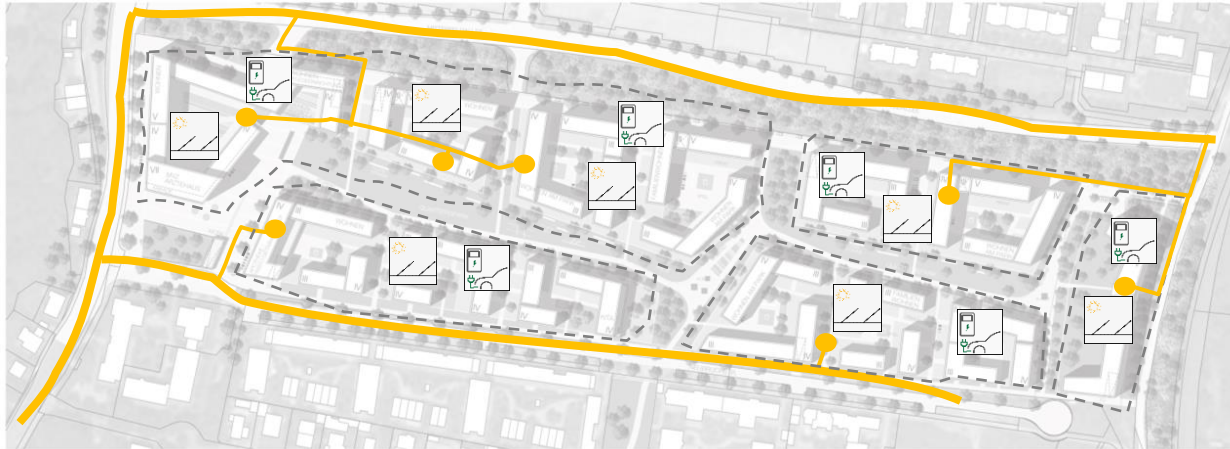




delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

Anbindung der Photovoltaikanlagen (PV) an das Netz der öffentlichen Stromversorgung mit jeweils einzelner Marktlokation pro Gebäude.

- Für Letztverbraucher besteht weiterhin die freie Wahl eines Energielieferanten. Daraus entstehen Anforderungen an das Messkonzept, welches die Strombedarfe einzelner Verbraucher aufschlüsselt (Drittmengenabgrenzung)
- Der Betrieb der Anlagen erfolgt i.d.R. über einen Contractor / Mieterstromlieferanten
- Aufgrund der zeitlichen Diskrepanz von Erzeugung und Bedarf ist ein vergleichsweise geringer Anteil des mittels PV erzeugten Stroms direkt nutzbar. Dies entspricht einem geringen solaren Deckungsgrad
- Pro Gebäude kann nur die Leistung der eigenen PV-Anlage genutzt werden. Reicht die Leistung der PV-Anlage nicht zur Deckung des Bedarfs, können Überschüsse benachbarter Anlagen nicht genutzt werden. Daraus resultiert eine niedrigere nutzbare Leistung aus PV, während Überschüsse eingespeist werden
- Aus der kleinteiligen Struktur resultiert ein organisatorisch und ökonomisch hoher Aufwand. Netzanschlüsse müssen koordiniert werden, das Leitungsrecht gestattet werden und eine Vielzahl an Zähl-/Messeinrichtungen eingerichtet werden. Für die Messeinrichtungen fallen jährliche Gebühren an
- Die Leitungsführung und Stromnetzkapazität / Stromaufnahmefähigkeit der Netze ist im §4.1 Verfahren mit den Versorgern abzustimmen



delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterführung

Anlagenleistungen > 1.000 kWp (ab EEG 2023) müssen vermieden werden (Ausschreibungspflicht) !

Innerhalb des Quartiers werden geschlossene Verteilnetze definiert, die jeweils mit einem zentralen Netzanschlusspunkt und zentraler Marktlokation erschlossen sind.

- Für Letztverbraucher besteht weiterhin die freie Wahl eines Energielieferanten. Daraus entstehen Anforderungen an das Messkonzept, welches die Strombedarfe einzelner Verbraucher aufschlüsselt (Drittmengenabgrenzung)
- Der Betrieb der Netze erfolgt i.d.R. über einen Contractor oder eine Betreibergemeinschaft
- Die Erschließungskosten sind aufgrund der geringeren Anzahl an Netzschlüsseln im Vergleich zur Direkterschließung geringer (nur ein Netzanschlusspunkt je Kundenanlage)
- Durch die Vergrößerung der Abnehmeranzahl fallen einzelne Lastspitzen weniger stark ins Gewicht (Gleichzeitigkeit). Die Vergleichmäßigung des Bedarfs in Kombination mit großen PV-Anlagen führt zu einem höheren solaren Deckungsgrad und hohen nutzbaren Leistungen für Nutzerstrom, E-Mobilität und Kälte
- Höherer planerischer Aufwand für die Errichtung zusätzlicher Stromnetze
- Die Leistungsführung und Stromnetzkapazität / Stromaufnahmefähigkeit der Netze ist im §4.1 Verfahren mit den Versorgern abzustimmen. Ggfs. muss aus der Niederspannung in die Mittelspannung ausgewichen werden (höhere Investition für Trafos, geringere Strombezugs-kosten durch niedrigere Netznutzungsentgelte)

Nutzungspotenzial – Empfehlung

Direkterschließung

Vorteile

- Eindeutige Schnittstellen pro Gebäude
- Differenzierung des Betreibermodells gebäudeweise möglich (reine Einspeisung, Mieterstrom, Dach/Anlage verpachten)

Nachteile

- Kleinteilige Versorgungs- und Erzeugungseinheiten
- Höhere Volatilität pro Einheit und folglich geringerer solarer Deckungsgrad sowie niedrigere nutzbare Leistung aus PV
- Kleinteilige Zählerstruktur
- Vielzahl an kleinen Einheiten möglicherweise nicht wirtschaftlich in das Netzmanagement des Netzbetreibers integrierbar → kann abgelehnt werden
- Partner für das Angebot von Mieterstrom notwendig (Reststromlieferung)

➤ Aus ökonomischen, organisatorischen und technischen Gründen nicht zu empfehlen.

Kundenanlage

Vorteile

- Weniger Anschlüsse an das Netz der öffentlichen Stromversorgung und geringere Erschließungskosten
- Niedrigerer Gleichzeitigkeitsfaktor und höhere Leistung je Einheit = hoher solarer Deckungsgrad
- Höhere Flexibilität bei der PV-Stromnutzung in den Sektoren Wärme und Mobilität

Nachteile

- Bauseits höherer planerischer Aufwand für die Erstellung der Netzinfrastruktur
- Partner für den Betrieb der Kundenanlage notwendig (Stromversorger)
- Durch die große Anlagenleistung je Netzübergabepunkt könnte der Netzbetreiber den Anschluss an die Mittelspannungsebene mittels Trafoeinheiten auf Kosten der Bauherrn fordern (Anlagen können bei drohender Netzüberlastung auch abgeregelt werden → Abstimmung mit dem Netzbetreiber)

➤ Aufgrund höherer Flexibilität und geringerer Zählerkosten zu empfehlen

Anschlussoptionen Fernwärme

Zentraler Übergabepunkt



delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

- Geringer Baukostenzuschuss
- Hohe Gleichzeitigkeit am Übergabepunkt
- Geringe Flexibilität in der sukzessiven Erstellung
- Lange Leitungswege, wenn öffentliche Mitte nicht genutzt werden darf
- Leitungsführung ist im §4.1 Verfahren mit dem Versorger und den privaten Eigentümern abzustimmen

Schätzkostenkennwerte*

| | |
|--|--------------------|
| - Baukostenzuschuss: | 135.000 € |
| - Grundpreis: | 54.000 €/a |
| - Mittlerer Arbeitspreis: | 64 €/MWh |
| - Kosten Wärmetrassen: (bauseits)** | 750.000 € |
| Kosten über 20 Jahre: | 8.350.000 € |

- >> Wärme- und Kälteversorgung ausgehend von einem zentralen Punkt
- >> Zentrale muss im Zuge der ersten Baumaßnahme entstehen
- >> Leitungsführung und Dimensionierung müssen bekannt sein

*auf Basis Preisblatt Geovol Unterföhring GmbH, Stand:
Oktober 2022

** Eigene Berechnung für die Verteilung zu den Gebäuden,
Verteilung zwischen Gebäuden nicht berücksichtigt

Zentraler Übergabepunkt – Bruttokosten



delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

- Geringer Baukostenzuschuss
- Hohe Gleichzeitigkeit am Übergabepunkt
- Geringe Flexibilität in der sukzessiven Erstellung
- Lange Leitungswege, wenn öffentliche Mitte nicht genutzt werden darf
- Leitungsführung ist im §4.1 Verfahren mit dem Versorger und den privaten Eigentümern abzustimmen

Schätzkostenkennwerte brutto*

| | |
|--|-------------------------|
| – Baukostenzuschuss: | 160.000 € ¹ |
| – Grundpreis: | 57.000 €/a ² |
| – Mittlerer Arbeitspreis: | 69 €/MWh ² |
| – Kosten Wärmetrassen: (bauseits)** | 900.000 € ¹ |
| Kosten über 20 Jahre: | 9.045.000 € |

- >> Wärme- und Kälteversorgung ausgehend von einem zentralen Punkt
- >> Zentrale muss im Zuge der ersten Baumaßnahme entstehen
- >> Leitungsführung und Dimensionierung müssen bekannt sein

*auf Basis Preisblatt Geovol Unterföhring GmbH, Stand: Oktober 2022

** Eigene Berechnung für die Verteilung zu den Gebäuden, Verteilung zwischen Gebäuden nicht berücksichtigt

¹ inkl. 19% UST ² inkl. 7% UST

Teilzentrale Übergabepunkte



delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

- Baukostenzuschuss für die Anbindung der jeweiligen Übergabepunkte
- Mittlere Gleichzeitigkeit
- Gestattungs- / Konzessionsvertrag für Verteilung auf Eigentum des Bauherrn notwendig
- Hohe Flexibilität pro Baufeld
- Leitungsführung ist im §4.1 Verfahren mit dem Versorger und den privaten Eigentümern abzustimmen

Schätzkostenkennwerte*

| | |
|--|---------------------|
| – Baukostenzuschuss: | 210.000 € |
| – Grundpreis: | 65.000 €/a |
| – Mittlerer Arbeitspreis: | 75 €/MWh |
| – Kosten Wärmetrassen: (bauseits)** | 210.000 € |
| Kosten über 20 Jahre: | 10.460.000 € |

- >> Wärme- und Kälteversorgung ausgehend von zentralen Punkten
- >> Zentralen entstehen sukzessive mit der Entwicklung des Quartiers
- >> Leitungsführung und Dimensionierung müssen für die Teilversorgungsgebiete bekannt sein

*auf Basis Preisblatt Geovol Unterföhring GmbH, Stand:
Oktober 2022

** Eigene Berechnung für die Verteilung zu den Gebäuden,
Verteilung zwischen Gebäuden nicht berücksichtigt

Teilzentrale Übergabepunkte – Bruttokosten



delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

- Baukostenzuschuss für die Anbindung der jeweiligen Übergabepunkte
- Mittlere Gleichzeitigkeit
- Gestattungs- / Konzessionsvertrag für Verteilung auf Eigentum des Bauherrn notwendig
- Hohe Flexibilität pro Baufeld
- Leitungsführung ist im §4.1 Verfahren mit dem Versorger und den privaten Eigentümern abzustimmen

Schätzkostenkennwerte brutto*

- Baukostenzuschuss: 264.000 €¹
- Grundpreis: 70.000 €/a²
- Mittlerer Arbeitspreis: 80 €/MWh²
- Kosten Wärmetrassen: 250.000 €¹
(bauseits)**

Kosten über 20 Jahre: **11.245.000 €**

- >> Wärme- und Kälteversorgung ausgehend von zentralen Punkten
- >> Zentralen entstehen sukzessive mit der Entwicklung des Quartiers
- >> Leitungsführung und Dimensionierung müssen für die Teilversorgungsgebiete bekannt sein

*auf Basis Preisblatt Geovol Unterföhring GmbH, Stand: Oktober 2022

** Eigene Berechnung für die Verteilung zu den Gebäuden, Verteilung zwischen Gebäuden nicht berücksichtigt

¹ inkl. 19% UST ² inkl. 7% UST

Dezentrale Übergabepunkte



delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

- Hoher Baukostenzuschuss
- Geringerer Aufwand in der Netzplanung im Quartier (Aufwand beim Fernwärmeversorger)
- Geringe Gleichzeitigkeit am Übergabepunkt
- Kleinteilige Versorgungsstruktur mit erhöhtem Wartungs- und Instandhaltungsaufwand
- Hohe Flexibilität je Gebäude
- Leitungsführung ist im §4.1 Verfahren mit dem Versorger und den privaten Eigentümern abzustimmen

Schätzkostenkennwerte*

| | |
|--------------------------------------|---------------------|
| - Baukostenzuschuss: | 375.000 € |
| - Grundpreis: | 81.000 €/a |
| - Mittlerer Arbeitspreis: | 81 €/MWh |
| - Kosten Wärmetrassen: (bauseits) | n.v. |
| Kosten über 20 Jahre: | 11.630.000 € |

- >> Wärme- und Kälteversorgung dezentral
- >> Versorgung entsteht sukzessive mit der Entwicklung einzelner Gebäude
- >> Entwicklung der Leitungsführung muss mit dem Versorger abgestimmt werden

*auf Basis Preisblatt Geovol Unterföhring GmbH, Stand:
Oktober 2022

Dezentrale Übergabepunkte – Bruttokosten



delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

- Hoher Baukostenzuschuss
- Geringerer Aufwand in der Netzplanung im Quartier (Aufwand beim Fernwärmeversorger)
- Geringe Gleichzeitigkeit am Übergabepunkt
- Kleinteilige Versorgungsstruktur mit erhöhtem Wartungs- und Instandhaltungsaufwand
- Hohe Flexibilität je Gebäude
- Leitungsführung ist im §4.1 Verfahren mit dem Versorger und den privaten Eigentümern abzustimmen

Schätzkostenkennwerte brutto*

| | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| – Baukostenzuschuss: | 445.000 € ¹ |
| – Grundpreis: | 87.000 €/a ² |
| – Mittlerer Arbeitspreis: | 87 €/MWh ² |
| – Kosten Wärmetrassen: (bauseits) | n.v. |
| Kosten über 20 Jahre: | 12.490.000 € |

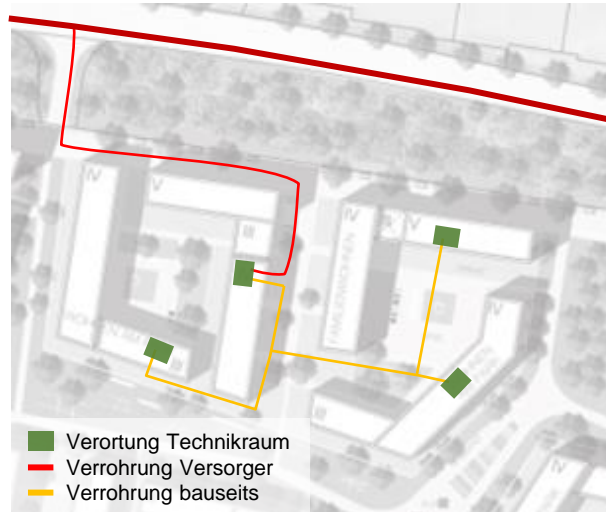
- >> Wärme- und Kälteversorgung dezentral
- >> Versorgung entsteht sukzessive mit der Entwicklung einzelner Gebäude
- >> Entwicklung der Leitungsführung muss mit dem Versorger abgestimmt werden

*auf Basis Preisblatt Geovol Unterföhring GmbH, Stand:
Oktober 2022

¹ inkl. 19% UST ² inkl. 7% UST

Vergleich teilzentrale und dezentrale Übergabepunkte

Verteilung teilzentrale Übergabe



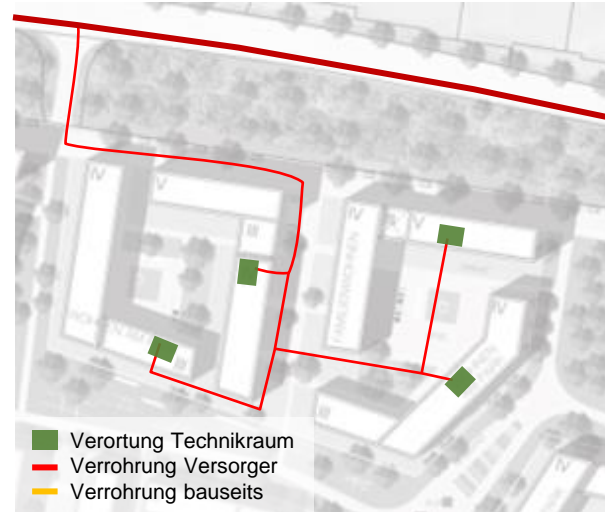
Eigene Darstellungen basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

Grobkostenschätzung (nur Differenzkosten):

- „bauseitige“ Verteilverluste
- Bauseitige Investitionskosten
- Trassenmeter bauseits: 180 Tm
- Wärmeverluste: 47 MWh/a
(ca. 5,5 % des jährl. Wärmebed. BF 3)
- Mehrkosten für Verluste pro Jahr: 6.300 €/a
- Pumpenstrom pro Jahr: 1.400 €/a
- Investitionskosten bauseits*: 60.000 €

Kosten über 20 Jahre: 214.000 €

Verteilung dezentrale Übergabe



Grobkostenschätzung (nur Differenzkosten):

- Höherer Baukostenzuschuss
- Höhere Arbeits- und Grundpreise
- Mehrkosten Baukostenzuschuss: 40.000 €
- Mehrkosten Arbeitspreis: 12,50 €/MWh
- Mehrkosten Grundpreis: 3.950 €/a
- Zusatzkosten für Mehrlängen sind noch mit dem Versorger abzustimmen

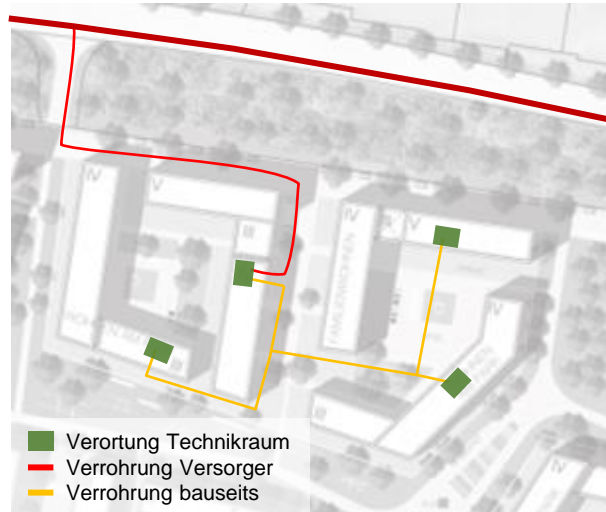
Kosten über 20 Jahre: 335.000 €
 → Differenz 121.000 €

- Gegenüberstellung zur Ermittlung der Kostendifferenz zwischen teilzentralen und dezentralen Übergabepunkten am Beispiel des Baufeld 3
- Die tatsächliche Verortung der Technikflächen in den Gebäuden steht derzeit noch nicht fest
- Ansatz Vorlauftemperatur: 70 °C, Rücklauftemperatur: 35 °C
- Verteilung innerhalb des Gebäudes ist in beiden Varianten erforderlich und wird identisch angenommen
- Zusätzliche Pumpengruppe für die Verteilung bauseits in der teilzentralen Lösung berücksichtigt
- Trassen werden bei bauseitiger Verlegung, um Grabungs- und Oberflächenwiederherstellungskosten zu vermeiden, in Tiefgaragen unter den Gebäuden verlegt

*inkl. Planungskosten

Vergleich teilzentrale und dezentrale Übergabepunkte – Bruttokosten

Verteilung teilzentrale Übergabe



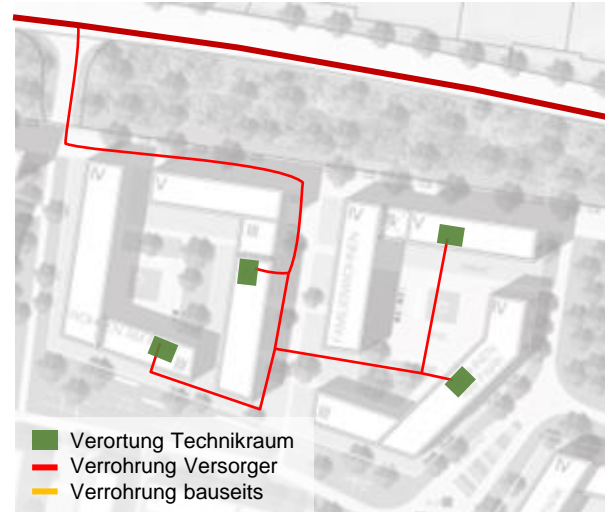
Eigene Darstellungen basierend auf deloossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

Grobkostenschätzung (nur Differenzkosten, brutto):

- „bauseitige“ Verteilverluste
- Bauseitige Investitionskosten
- Trassenmeter bauseits: 180 Tm
- Wärmeverluste: 47 MWh/a
(ca. 5,5 % des jährl. Wärmebed. BF 3)
- Mehrkosten für Verluste pro Jahr: 6.800 €/a²
- Pumpenstrom pro Jahr: 1.500 €/a²
- Investitionskosten bauseits: 71.500 €¹

Kosten über 20 Jahre: 237.500 €

Verteilung dezentrale Übergabe



Grobkostenschätzung (nur Differenzkosten, brutto):

- Höherer Baukostenzuschuss
- Höhere Arbeits- und Grundpreise
- Mehrkosten Baukostenzuschuss: 48.000 €¹
- Mehrkosten Arbeitspreis: 13,50 €/MWh²
- Mehrkosten Grundpreis: 4.200 €/a²
- Zusatzkosten für Mehrlängen sind noch mit dem Versorger abzustimmen

Kosten über 20 Jahre: 361.000 €
→ Differenz 123.500 €

- Gegenüberstellung zur Ermittlung der Kostendifferenz zwischen teilzentralen und dezentralen Übergabepunkten am Beispiel des Baufeld 3
- Die tatsächliche Verortung der Technikflächen in den Gebäuden steht derzeit noch nicht fest
- Ansatz Vorlauftemperatur: 70 °C, Rücklauftemperatur: 35 °C
- Verteilung innerhalb des Gebäudes ist in beiden Varianten erforderlich und wird identisch angenommen
- Zusätzliche Pumpengruppe für die Verteilung bauseits in der teilzentralen Lösung berücksichtigt
- Trassen werden bei bauseitiger Verlegung, um Grabungs- und Oberflächenwiederherstellungskosten zu vermeiden, in Tiefgaragen unter den Gebäuden verlegt

¹ inkl. 19% UST ² inkl. 7% UST

Übergabepunkte Fernwärme: Qualitative Bewertung

Zentraler Übergabepunkt

Vorteile

- Niedriger Baukostenzuschuss, da in Summe geringere Anschlussleistung notwendig (kleiner Gleichzeitigkeitsfaktor) und durch degressiven Ansatz in der Kostendefinition
- Niedrige Arbeits- und Grundpreise (degressiver Ansatz)
- Geringer Abstimmungsbedarf mit dem Versorger

Nachteile

- Geringe Flexibilität in der sukzessiven Erstellung
- Lange Leitungswege verursachen hohe Verteilverluste und Investitionskosten für die bauseitige Wärmenetzerstellung
- Verantwortung für Betrieb, Wartung, Instandhaltung und Abrechnung der Infrastruktur im Quartier liegt beim Bauherrn

➤ Aufgrund der bauseits zu erstellenden langen Leitungswege sowie der beschränkten Flexibilität nicht empfohlen

Teilzentrale Übergabepunkte

Vorteile

- Hohe Flexibilität pro Baufeld
- Aufwand für Betrieb, Wartung und Instandhaltung je Baufeld überschaubar
- Gleichzeitigkeit durch Zusammenschluss von Gebäuden weiterhin wirksam

Nachteile

- Höherer Baukostenzuschuss für die Erschließung der Baufelder durch höhere Anzahl Anschlüsse (degressive spezifische Kosten mit steigender Leistung je Anschluss)
- Gestattungs- / Konzessionsvertrag für Verteilung auf Eigentum der Bauherrn notwendig
- Höhere Arbeits- und Grundpreise (degressiver Ansatz)

➤ Aufgrund hoher Flexibilität je Baufeld und übersichtlichem Aufwand im Betrieb empfohlen

Dezentrale Übergabepunkte

Vorteile

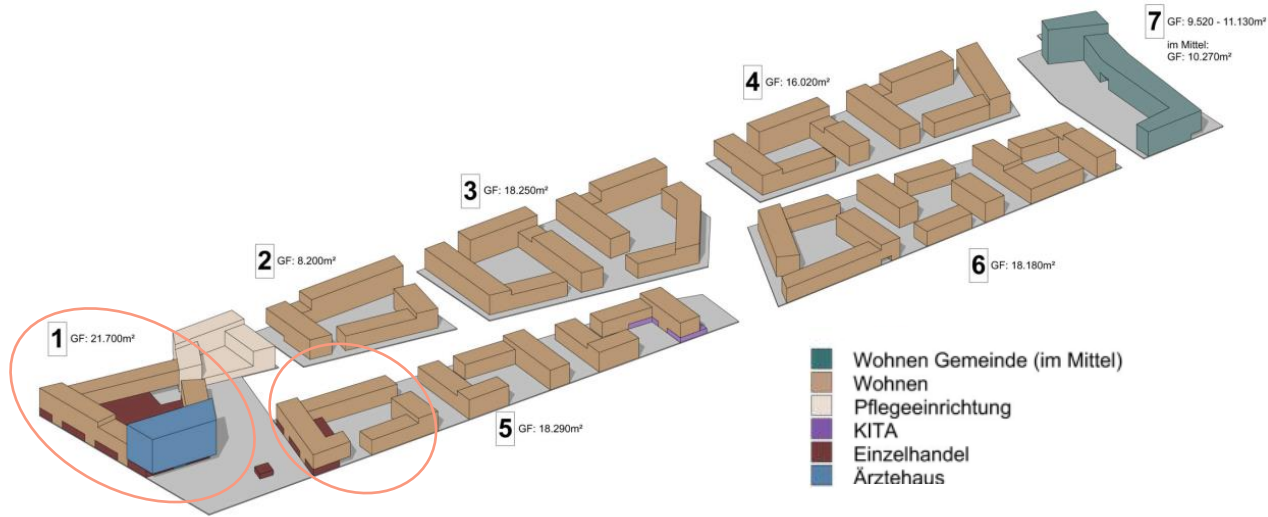
- Geringer Aufwand in der Verteilung im Quartier
- Hohe Flexibilität je Gebäude
- Kosten für die Erschließung vernachlässigbar, wenn kurze Wege von Netz zu Gebäude eingehalten werden können (15 Trassenmeter)

Nachteile

- Hoher Baukostenzuschuss (degressive spezifische Kosten mit steigender Leistung je Anschluss)
- Hoher Gleichzeitigkeitsfaktor je Gebäude
- Kleinteilige Versorgungsstruktur mit erhöhtem Wartungs- und Instandhaltungsaufwand
- Hohe Arbeits- und Grundpreise (degressiver Ansatz)

➤ Aufgrund der kleinteiligen Struktur und hoher Kosten im Betrieb nicht empfohlen

Kälteerzeugung



Ärztehaus und Einzelhandel benötigen Kälte:

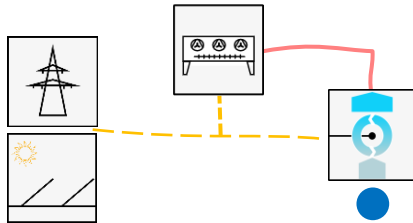
Kältelast und Kältebedarf

| | |
|----------------------|-----------|
| Kältelast Baufeld 1: | 230 kW |
| Kältelast Baufeld 5: | 30 kW |
| Kältebedarf: | 395 MWh/a |

Zu berücksichtigen: Einzelhandel bringt i.d.R. eigene Versorgungskonzepte mit!

Varianten Kälteerzeugung

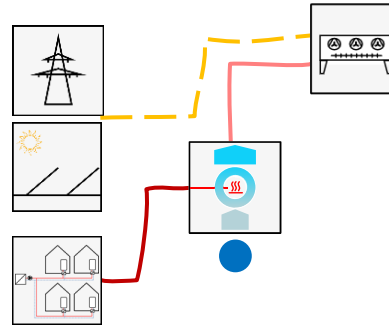
Variante 1: Kompressionskälte



Wärmesenke: Außenluft

- Mit Netz- oder PV Strom wird über einen elektrischen Verdichter Kälte erzeugt
- Über einen Rückkühler wird die Kondensationswärme an die Außenluft abgegeben

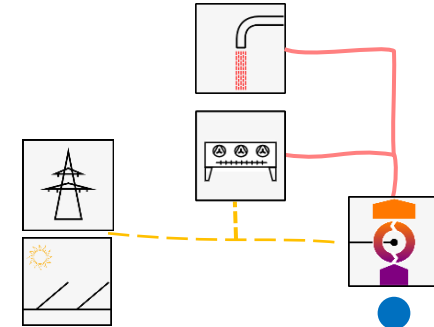
Variante 2: Absorptionskälte



Wärmesenke: Außenluft

- Mit Fernwärme wird über einen thermischen Verdichter Kälte erzeugt
- Über einen Rückkühler wird die Kondensationswärme an die Außenluft abgegeben
- Der Betrieb des Rückkühlers erfordert Netz- und PV Strom in geringerem Maße

Variante 3: CO₂-Wärmepumpe



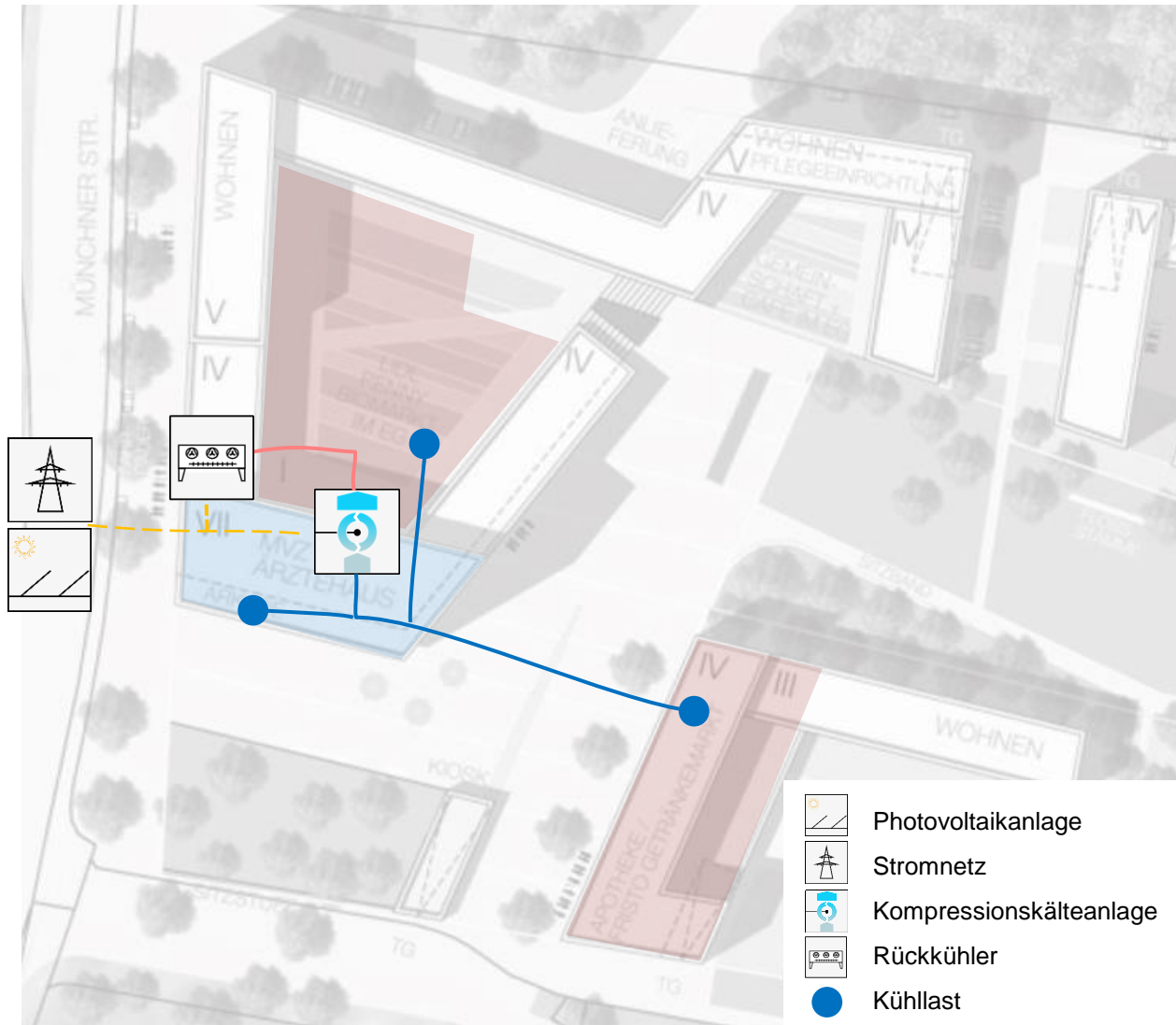
Wärmesenke: Warmwasserbereitung

- Mit Netz- oder PV Strom wird über einen elektrischen Verdichter Kälte erzeugt
- Die Kondensationswärme wird zur Unterstützung der Warmwasserbereitung verwendet
- Überschüssige Wärme wird an die Außenluft abgegeben

Eigene Darstellungen

- **Grundwasser** ist am Standort lt. Wasserwirtschaftsamt und lokal aktiven Bohrfirmen nur in sehr geringen Mengen verfügbar und wird daher für die thermische Nutzung ausgeschlossen
- **Erdwärmesonden** werden aufgrund der geringen zulässigen Bohrtiefe ausgeschlossen

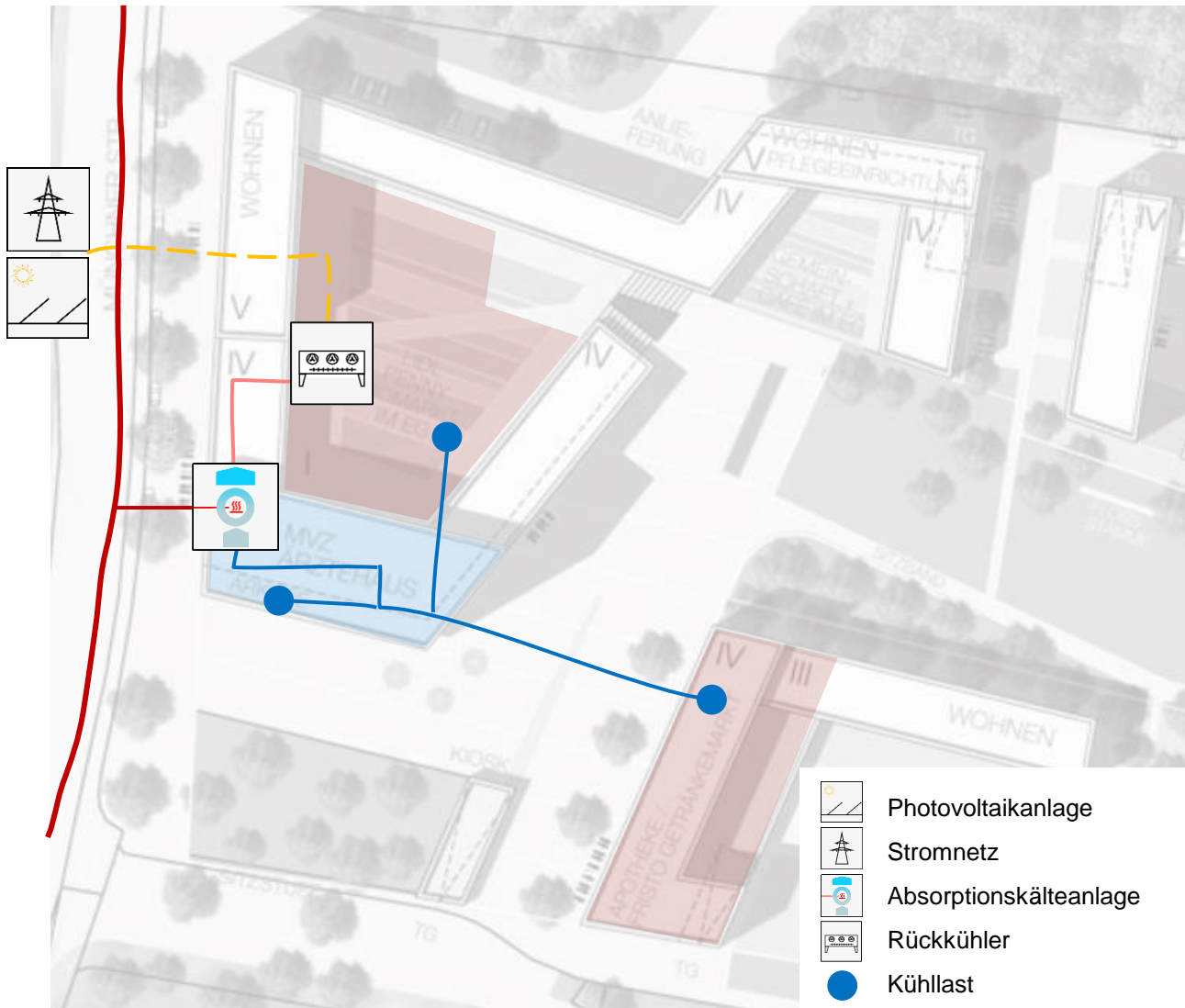
Variante 1: Kompressionskälte – Kaltwassersatz mit trockenem Rückkühler



Eigene Darstellungen basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

- Kaltwassersatz in Kältezentrale
- Trockener Rückkühler auf dem Dach mit Auffangwanne und Glykoldetektor
- Strom aus Photovoltaik und öffentlichem Netz für Kaltwassersatz und Rückkühleinheit
- Baufeld 5 **kann** nachträglich aufgeschlossen werden, Kälteerzeugung gebäudeweise möglich

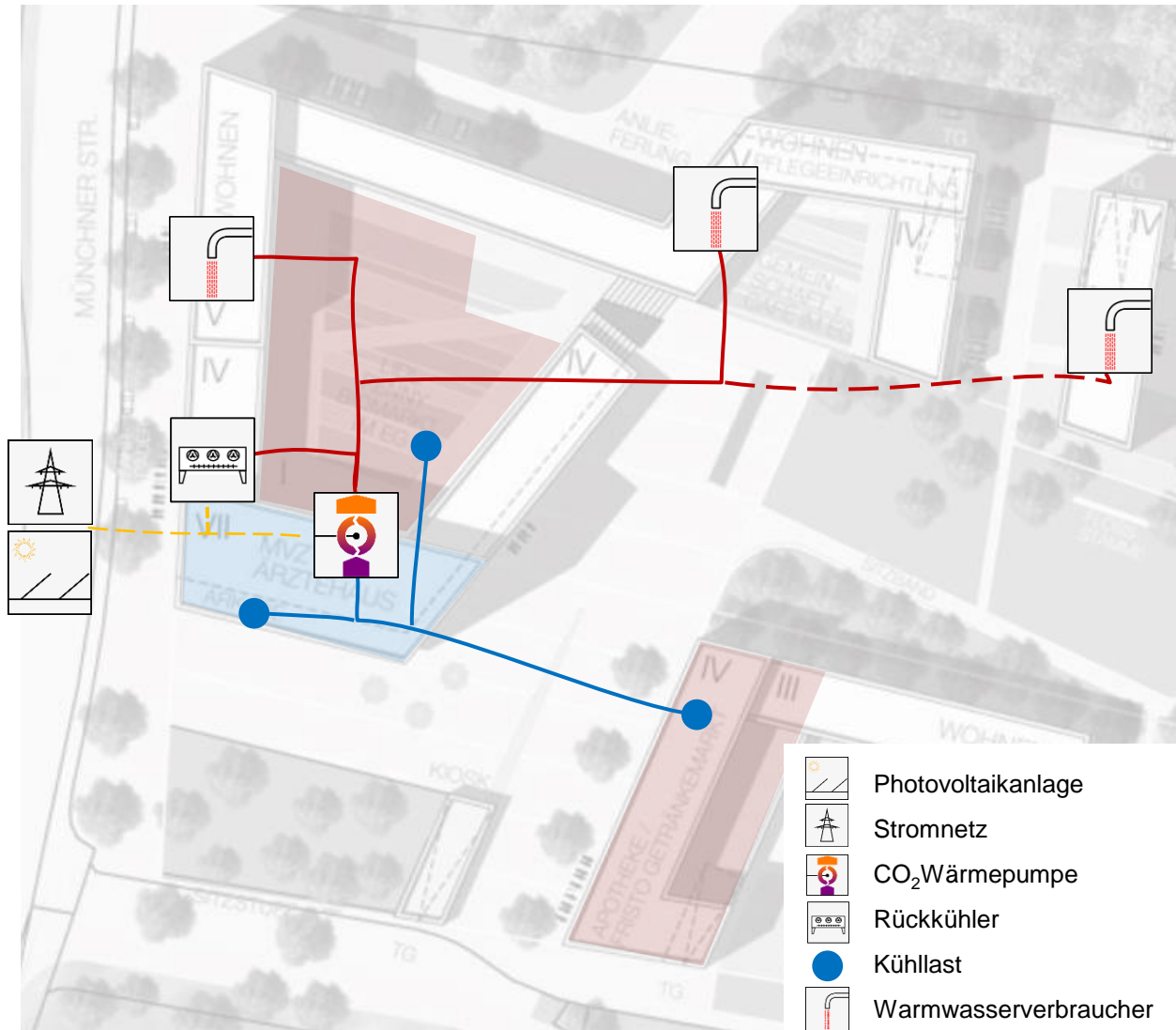
Variante 2: Absorptionskältemaschine mit adiabatem Rückkühler



Eigene Darstellungen basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

- Mittels Fernwärme gespeiste Absorptionskältemaschine
- Adiabater Rückkühler auf dem Dach
- Strom aus Photovoltaik und öffentlichem Netz der Versorgung für Rückkühleinheit
- Baufeld 5 **muss** im Sinne der Wirtschaftlichkeit nachträglich aufgeschlossen werden; Kälteerzeugung gebäudeweise nicht sinnvoll möglich
- Durch Fernwärmeversorger Geovol betreibbar

Variante 3: CO₂-Wärmepumpe



Eigene Darstellungen basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

- Kälteerzeugung mittels CO₂-Wärmepumpe
- Nutzung der „Abwärme“ zur Warmwasserbereitung
- Baufeld 5 **kann** nachträglich aufgeschlossen werden, Kälteerzeugung gebäudeweise möglich gemeinsame Kälteerzeugung wird empfohlen
- Weitere Baufelder **könnten** im Sinne der Systemeffizienz mit Abwärme versorgt werden
- Rückkühleinheit zur „Entsorgung“ der Überschusswärme
- Versorgung von weiteren Baufeldern mit Abwärme aus der Kälteerzeugung im sukzessiven Ausbau des Quartiers sinnvoll
- Weiterer Wärmeerzeuger (Kältemaschine) zusätzlich zur Fernwärme möglich, da es sich um regenerative Abwärme handelt
- Anteilige Versorger aller Baufelder mit Abwärme möglich

Grundlagen Vollkostenbetrachtung

Methodik

Über den Betrachtungszeitraum annuisierte und mit Preisänderungsfaktoren beaufschlagte dynamische Betrachtung der jährlichen **Nettokosten** unter Berücksichtigung sämtlicher kostenrelevanter Parameter in Anlehnung an die VDI 2067:

- Kapitalgebundene Kosten (Abschreibung, Zinsdienst, Rücklagen, ...)
- Betriebsgebundene Kosten (Wartung, Instandhaltung, Bedienen)
- Verbrauchsgebundene Kosten (Energiekosten)

Rahmenbedingungen

| | |
|--|----------|
| Betrachtungszeitraum: | 15 Jahre |
| Mittlerer Kalkulationszinssatz: (2023 4%, 2024 4,25%, 2025 ff 3,5%) | 3,5 % |
| Preisänderung kapitalgeb. Kosten: (2023 6%, 2024 2,5%, 2025 ff 2,1%) | 2,4 %/a |
| Preisänderung betriebsgeb. Kosten: (2023 6%, 2024 2,5%, 2025 ff 2,1%) | 2,4 %/a |
| Preisänderung Fernwärme: | 5 %/a |
| Preisänderung Strom: | 4 %/a |

Beschränkung der Abschreibungsdauer auf 15 Jahre (Annuität über 15 a gerechnet, keine Restwertgutschrift) !

Energiebezugspreise

| | |
|----------------------|-------------|
| Fernwärme Mischpreis | = 10 ct/kWh |
| Strom Mischpreis | = 40 ct/kWh |
| PV-Strom | = 0 ct/kWh |

Weitere Parameter

Treibhausgas-Emissionsfaktoren:

| | |
|---------------------|--------------------------------|
| Fernwärme | = 40 gCO _{2-Äq} /kWh |
| Strom (gem. GEG) | = 560 gCO _{2-Äq} /kWh |
| PV-Strom (gem. GEG) | = 0 gCO _{2-Äq} /kWh |

| | |
|-----------------------|----------|
| Stundenlohn Bedienung | = 70 €/h |
|-----------------------|----------|

Mischpreis Fernwärme ergibt sich aus der Variante „teilzentrale Übergabe“ als Mischpreis aus Arbeits- und Grundpreis

Grundlagen Vollkostenbetrachtung – Bruttokosten

Methodik

Über den Betrachtungszeitraum annuisierte und mit Preisänderungsfaktoren beaufschlagte dynamische Betrachtung der jährlichen **Bruttokosten** unter Berücksichtigung sämtlicher kostenrelevanter Parameter in Anlehnung an die VDI 2067:

- Kapitalgebundene Kosten (Abschreibung, Zinsdienst, Rücklagen, ...)
- Betriebsgebundene Kosten (Wartung, Instandhaltung, Bedienen)
- Verbrauchsgebundene Kosten (Energiekosten)

Rahmenbedingungen

| | |
|--|----------|
| Betrachtungszeitraum: | 15 Jahre |
| Mittlerer Kalkulationszinssatz: (2023 4%, 2024 4,25%, 2025 ff 3,5%) | 3,5 % |
| Preisänderung kapitalgeb. Kosten: (2023 6%, 2024 2,5%, 2025 ff 2,1%) | 2,4 %/a |
| Preisänderung betriebsgeb. Kosten: (2023 6%, 2024 2,5%, 2025 ff 2,1%) | 2,4 %/a |
| Preisänderung Fernwärme: | 5 %/a |
| Preisänderung Strom: | 4 %/a |

Beschränkung der Abschreibungsdauer auf 15 Jahre (Annuität über 15 a gerechnet, keine Restwertgutschrift) !

Energiebezugspreise

| | |
|----------------------|--------------------------|
| Fernwärme Mischpreis | = 11 ct/kWh ³ |
| Strom Mischpreis | = 46 ct/kWh ² |
| PV-Strom | = 0 ct/kWh |

Weitere Parameter

Treibhausgas-Emissionsfaktoren:

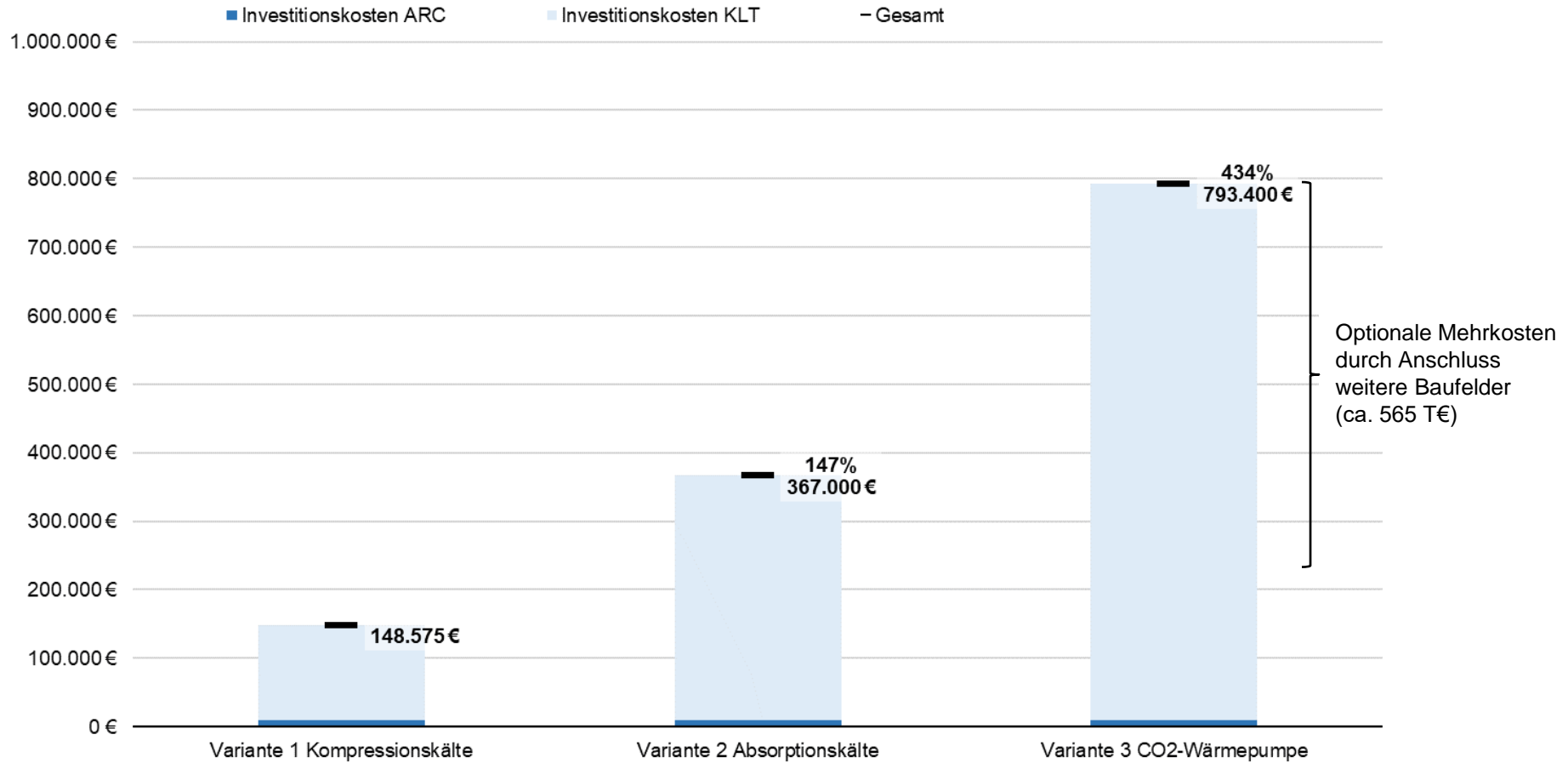
| | |
|---------------------|--------------------------------|
| Fernwärme | = 40 gCO _{2-Äq} /kWh |
| Strom (gem. GEG) | = 560 gCO _{2-Äq} /kWh |
| PV-Strom (gem. GEG) | = 0 gCO _{2-Äq} /kWh |

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Stundenlohn Bedienung | = 83 €/h ¹ |
|-----------------------|-----------------------|

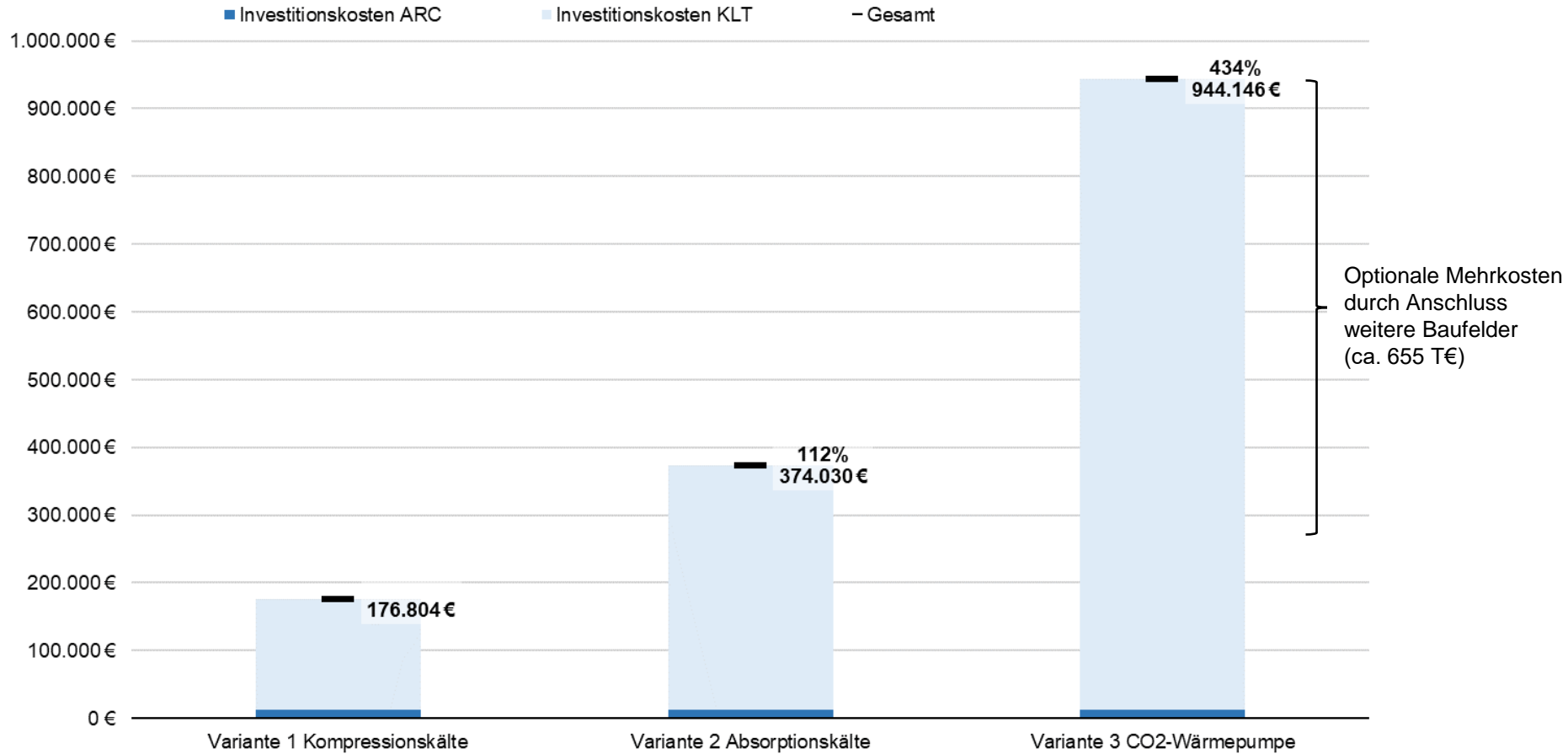
Mischpreis Fernwärme ergibt sich aus der Variante „teilzentrale Übergabe“ als Mischpreis aus Arbeits- und Grundpreis

¹ inkl. 19% UST ² inkl. 16% UST ³ inkl. 7% UST

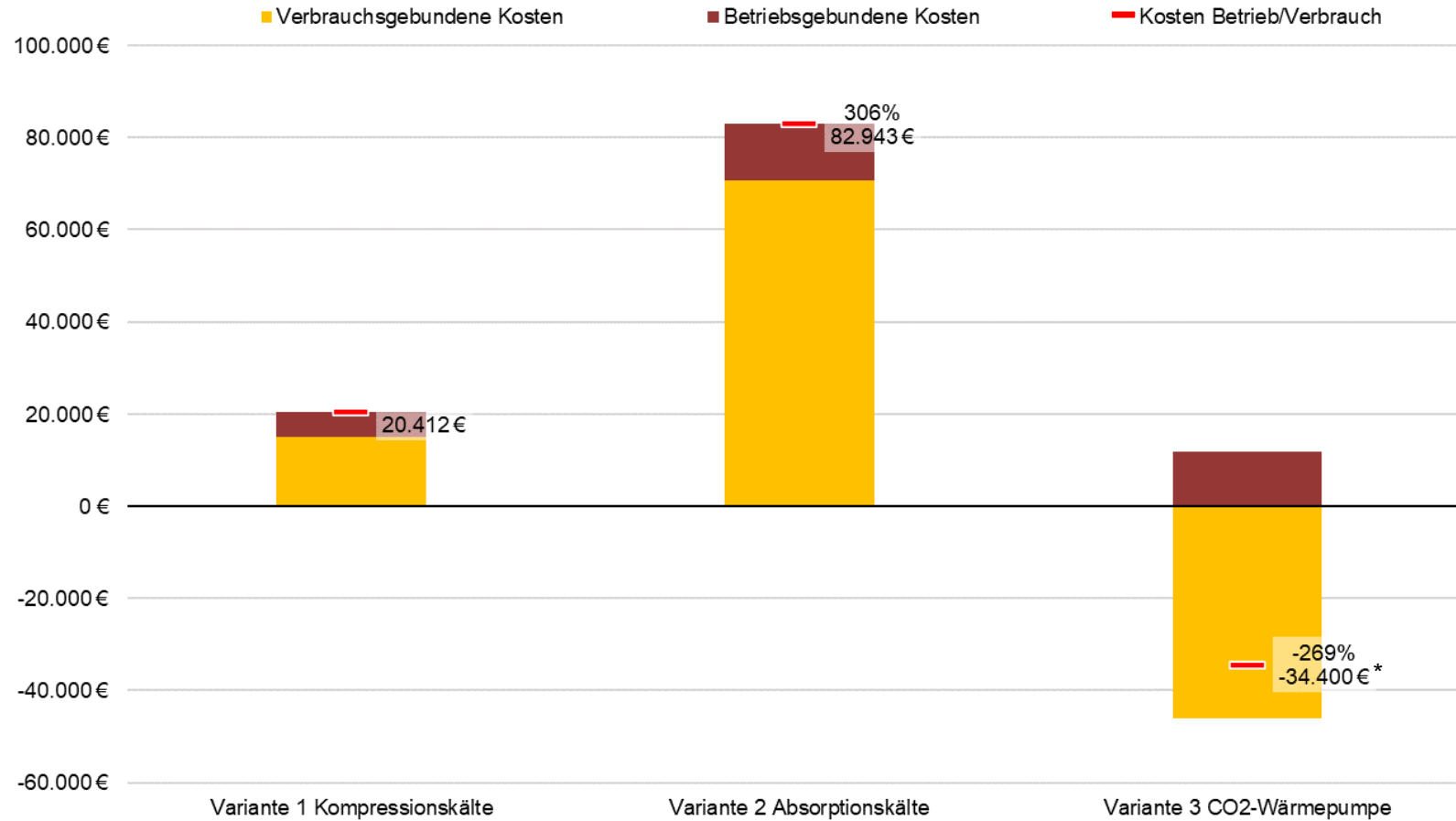
Variantenvergleich – Investitionskosten (Differenzkosten)



Variantenvergleich – Investitionskosten (Differenzkosten) – Bruttokosten

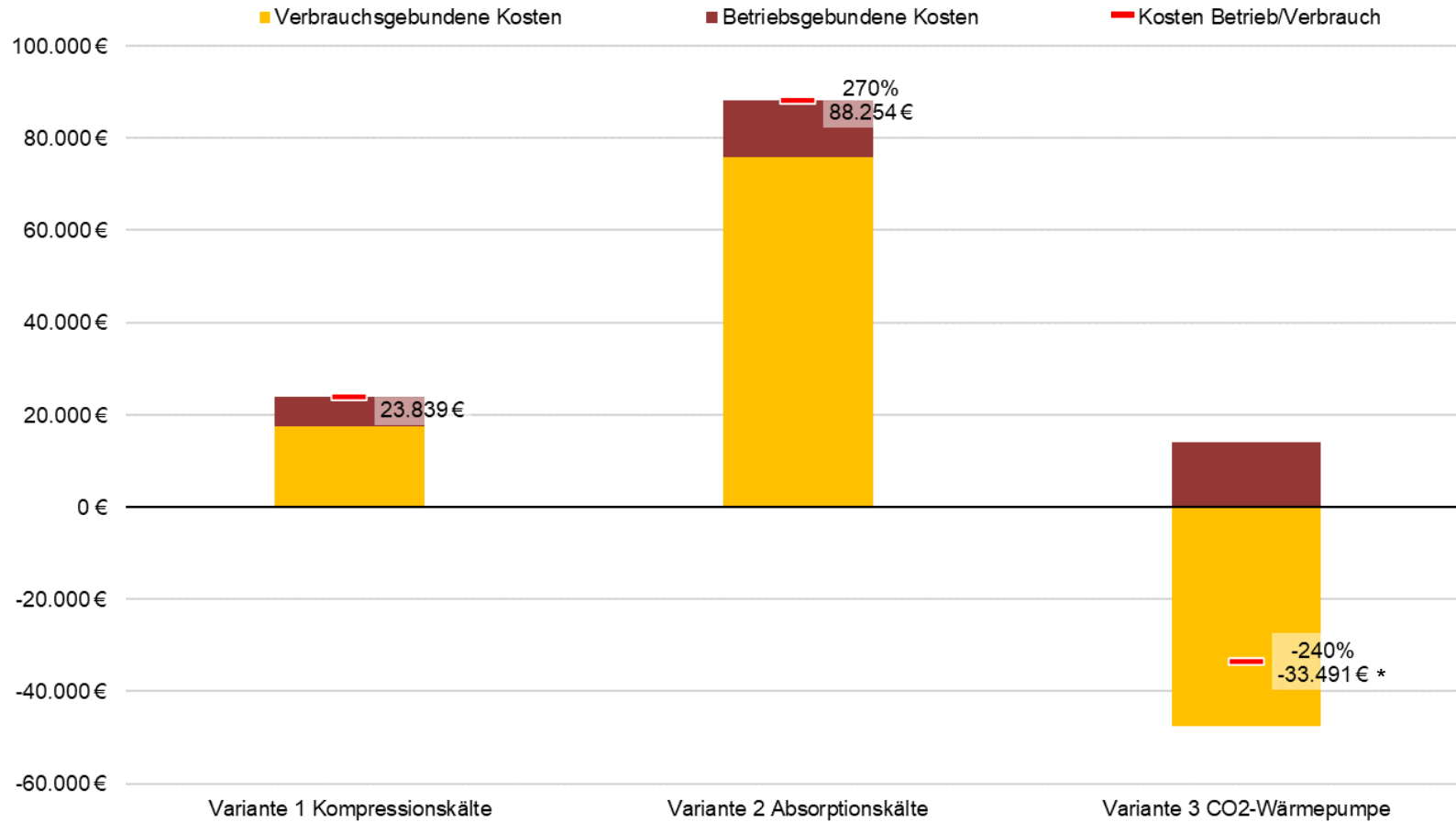


Variantenvergleich – Betriebs- und Bedarfskosten



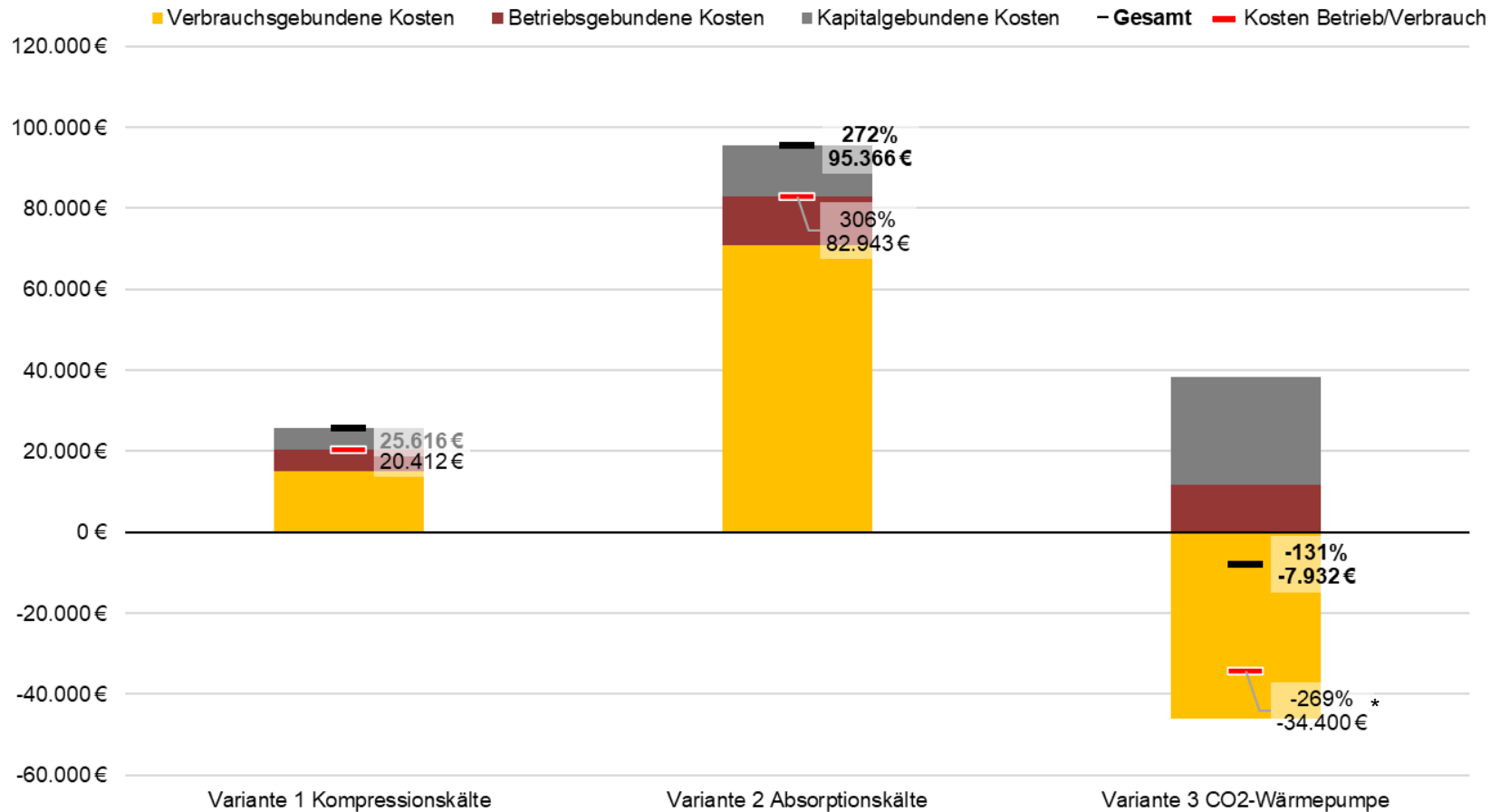
* negative verbrauchsgebundene Kosten aufgrund der Wärmegutschrift durch die Warmwasserbereitung (500 MWh/a)

Variantenvergleich – Betriebs- und Bedarfskosten – Bruttokosten



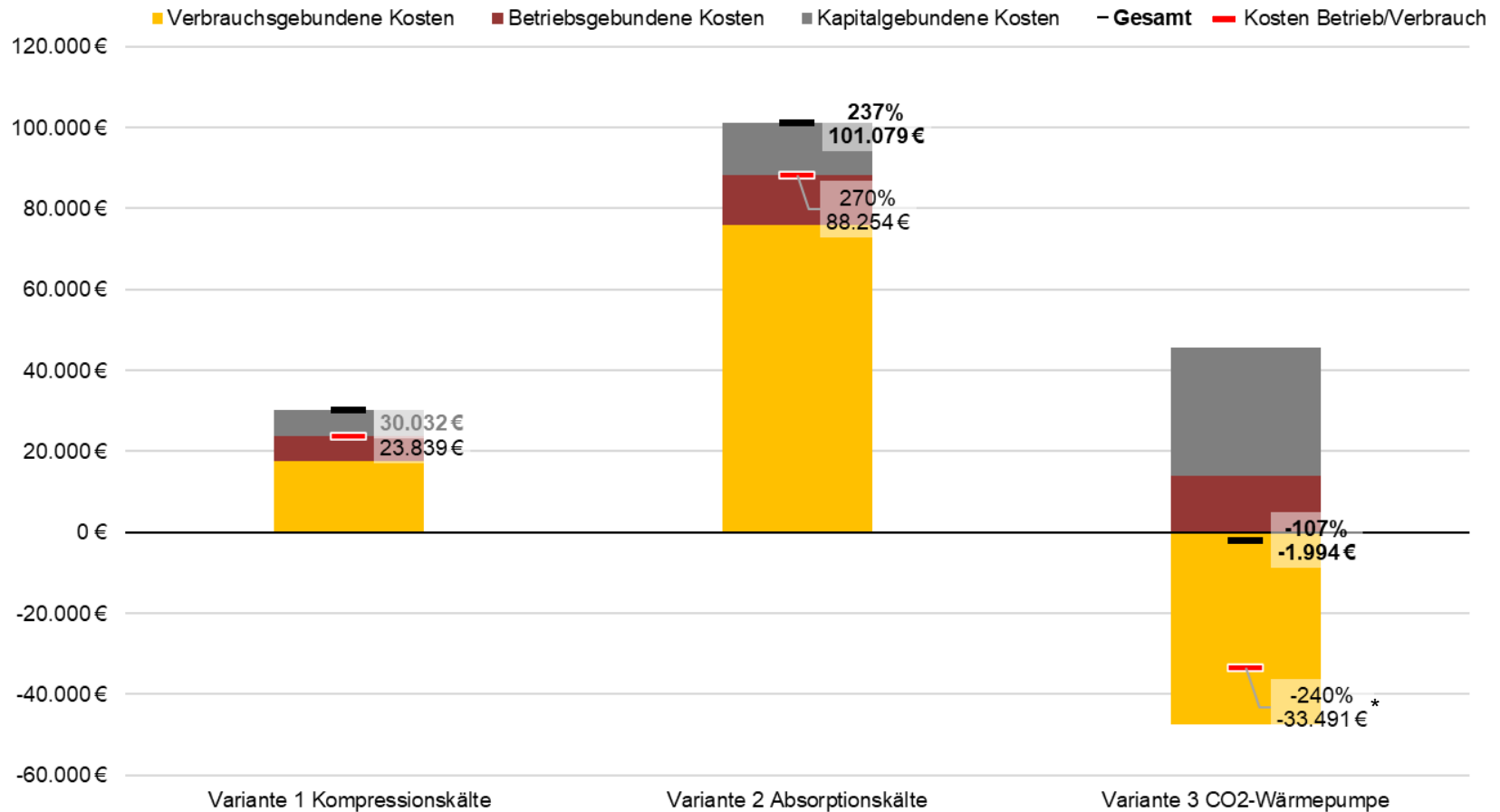
* negative verbrauchsgebundene Kosten aufgrund der Wärmegutschrift durch die Warmwasserbereitung (500 MWh/a)

Variantenvergleich – Vollkosten (Variante 3 mit Versorgung von BF 1-5)



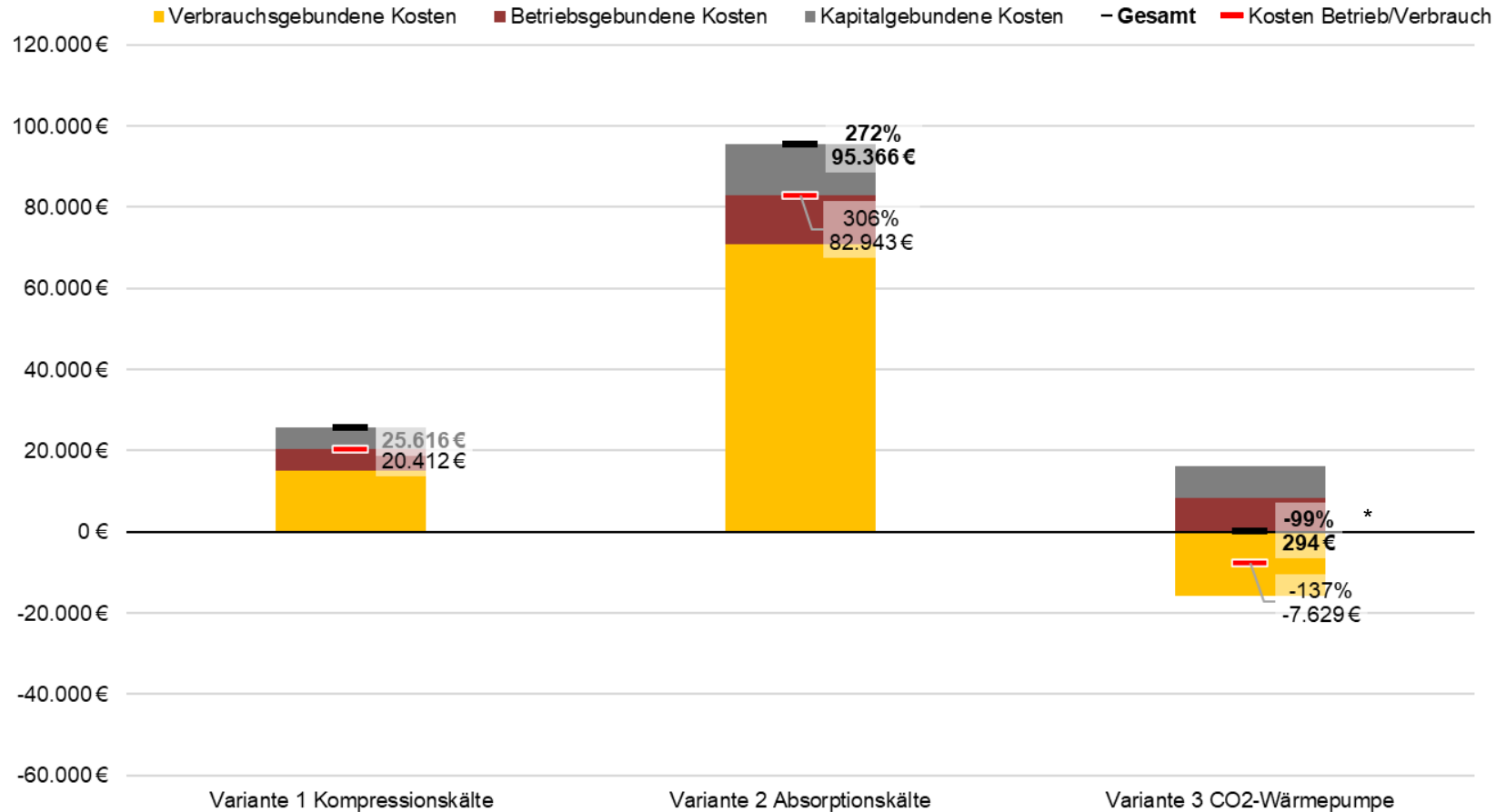
* negative verbrauchsgebundene Kosten aufgrund der Verdrängung von Fernwärme für die Warmwasserbereitung (500 MWh/a; 12 Jahre Amortisationszeitraum)
→ Kostenparität bereits bei 120 MWh/a gegeben (ca. 50% von Baufeld 1)

Variantenvergleich – Vollkosten (Variante 3 mit Versorgung von BF 1-5) – Bruttokosten



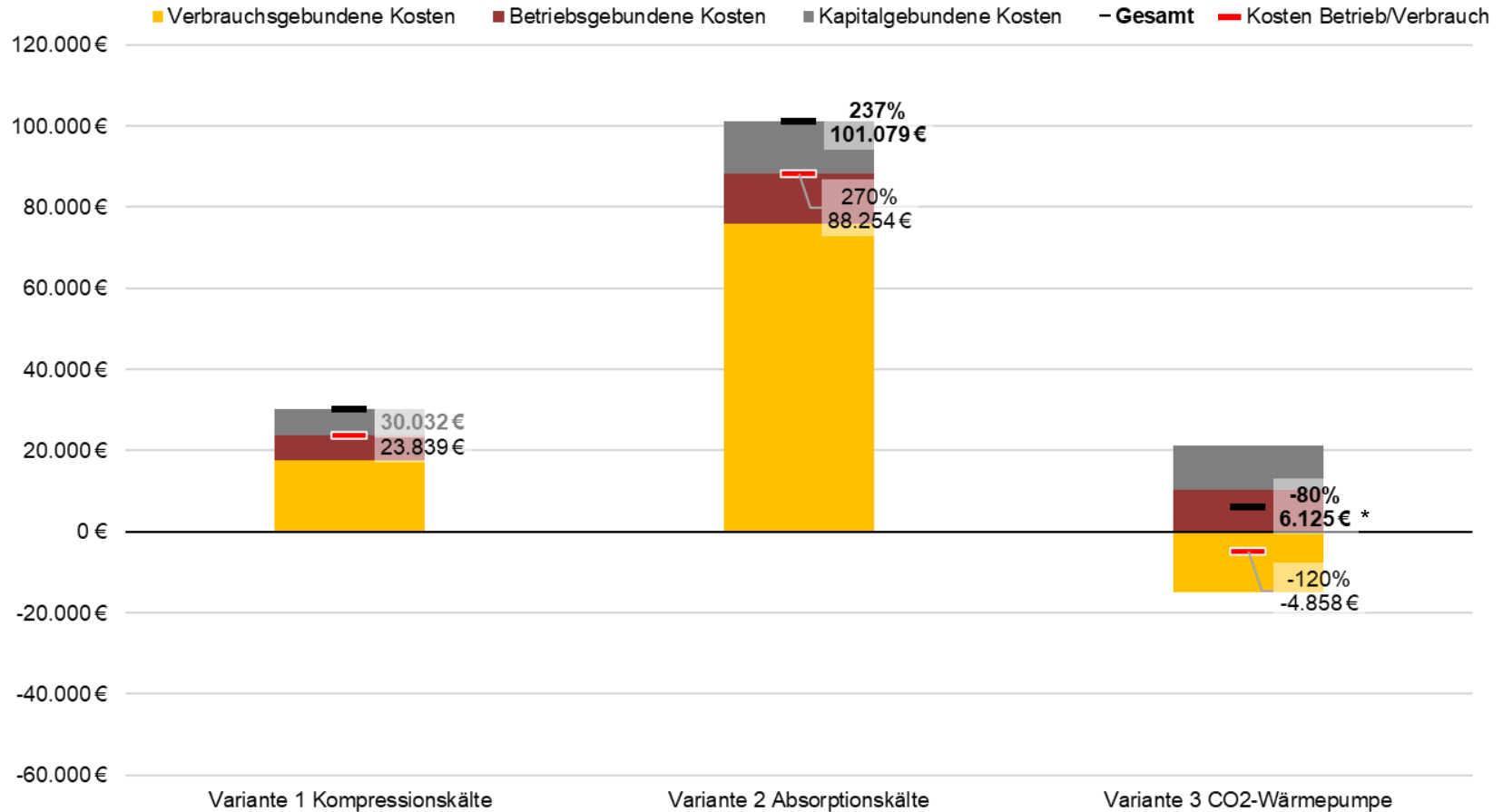
* negative verbrauchsgebundene Kosten aufgrund der Verdrängung von Fernwärme für die Warmwasserbereitung (500 MWh/a; 12 Jahre Amortisationszeitraum)
 → Kostenparität bereits bei 120 MWh/a gegeben (ca. 50% von Baufeld 1)

Variantenvergleich – Vollkosten (Variante 3 mit Versorgung von BF 1)



* negative verbrauchsgebundene Kosten aufgrund der Verdrängung von Fernwärme für die Warmwasserbereitung (275 MWh/a; 3 Jahre Amortisationszeitraum)
 → Kostenparität bereits bei 120 MWh/a gegeben (ca. 50% von Baufeld 1)

Variantenvergleich – Vollkosten (Variante 3 mit Versorgung von BF 1) – Bruttokosten



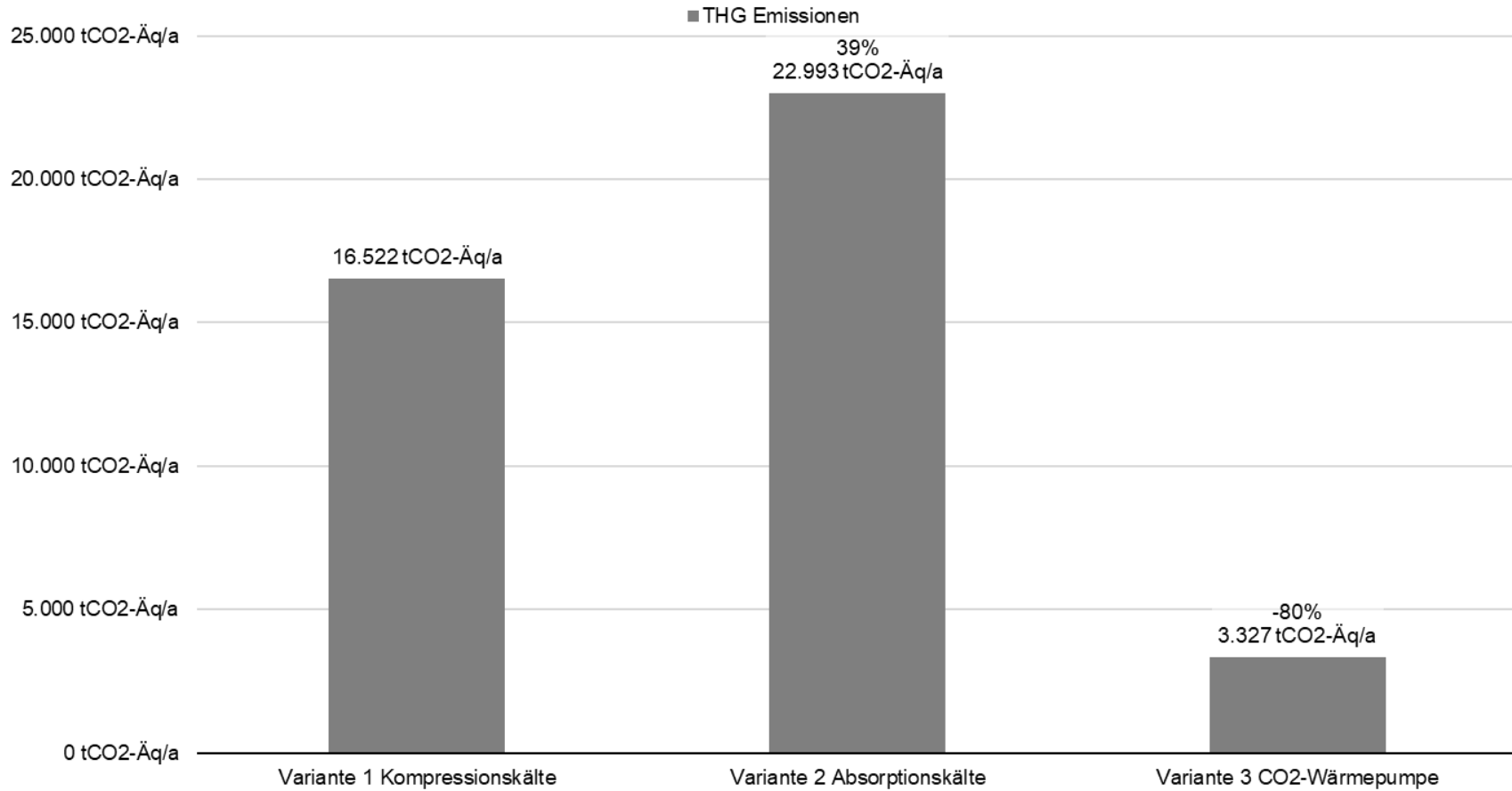
* negative verbrauchsgebundene Kosten aufgrund der Verdrängung von Fernwärme für die Warmwasserbereitung (275 MWh/a; 3 Jahre Amortisationszeitraum)
→ Kostenparität bereits bei 120 MWh/a gegeben (ca. 50% von Baufeld 1)

Nutzbare Wärmerückgewinnung (WRG) Kälteerzeugung (Variante 3)

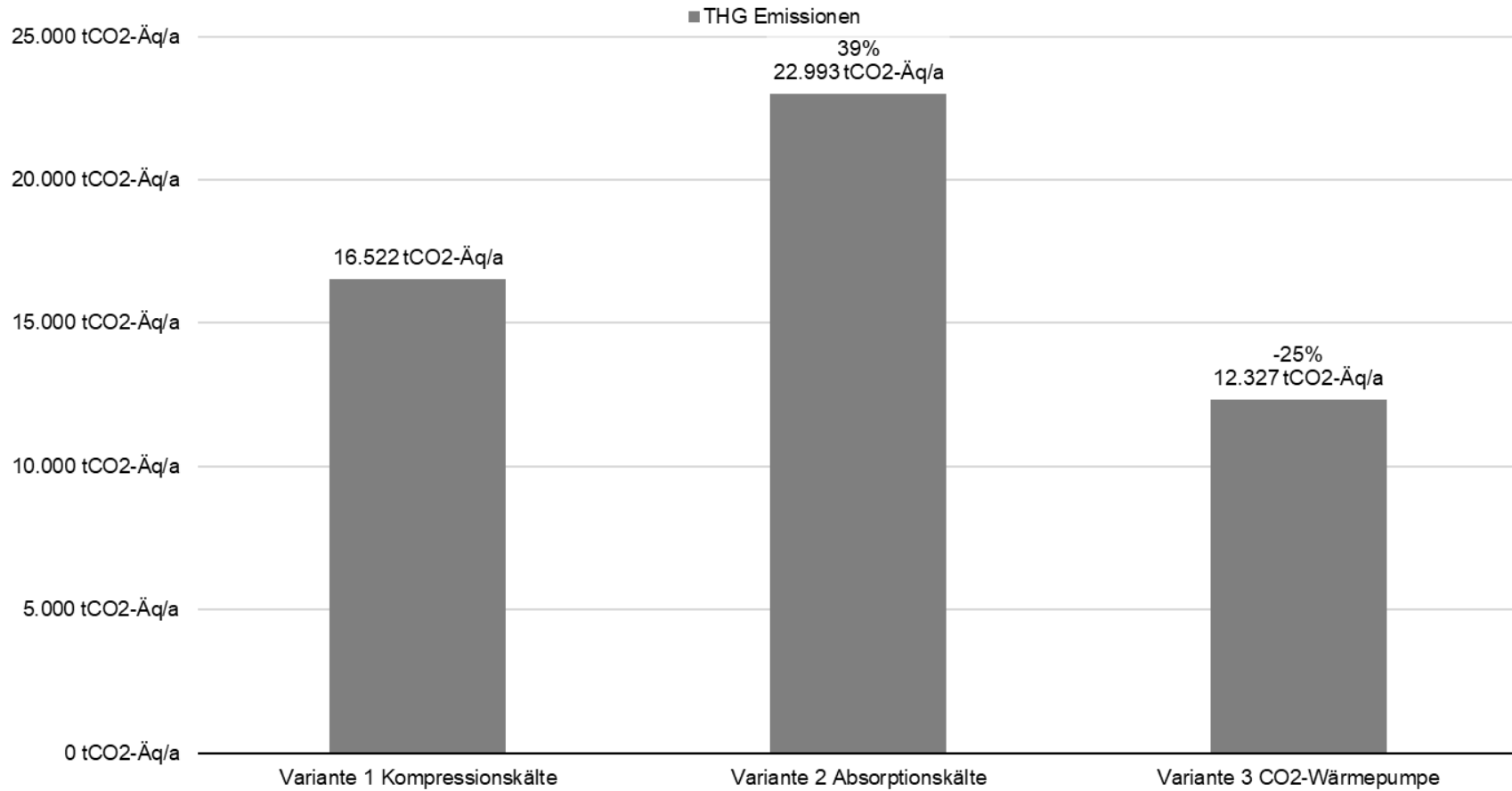
| Anteilige Versorgung von: | Bedarf Trinkwarmwasser [MWh/a] | durch WRG abdeckbar [MWh/a] | nicht durch WRG abdeckbar [MWh/a] | Mehrnutzung je Baufeld [MWh/a] |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Baufeld 1 | 295 | 275 | 15 | - |
| Baufelder 1 + 2 | 445 | 330 | 115 | 55 |
| Baufelder 1 + 2 + 5 | 770 | 390 | 380 | 60 |
| Baufelder 1 + 2 + 5 + 3 | 1.115 | 440 | 680 | 45 |
| Baufelder 1 + 2 + 5 + 3 + 4 | 1.415 | 460 | 955 | 20 |
| Baufelder 1 + 2 + 5 + 3 + 4 + 6 | 1.760 | 480 | 1.280 | 20 |

- Insgesamt werden 545 MWh Abwärme erzeugt
- Davon sind aufgrund der zeitlichen Diskrepanz zwischen Erzeugung und Verbrauch 65 MWh nicht nutzbar

Variantenvergleich – THG Emissionen (Variante 3 mit Versorgung von BF 1-5)



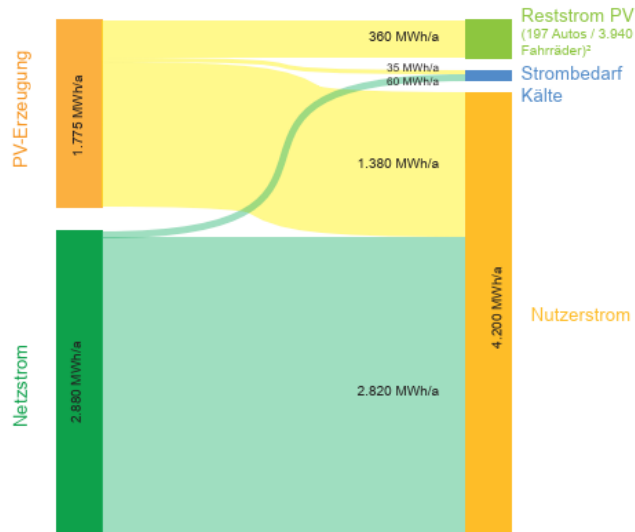
Variantenvergleich – THG Emissionen (Variante 3 mit Versorgung von BF 1)



Abgleich Stromerzeugung / -verbrauch

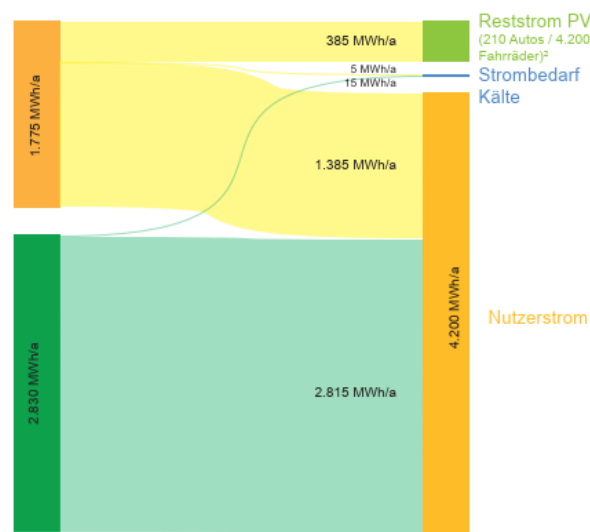
Variante 1

Kaltwassersatz | trockener
Rückkühler



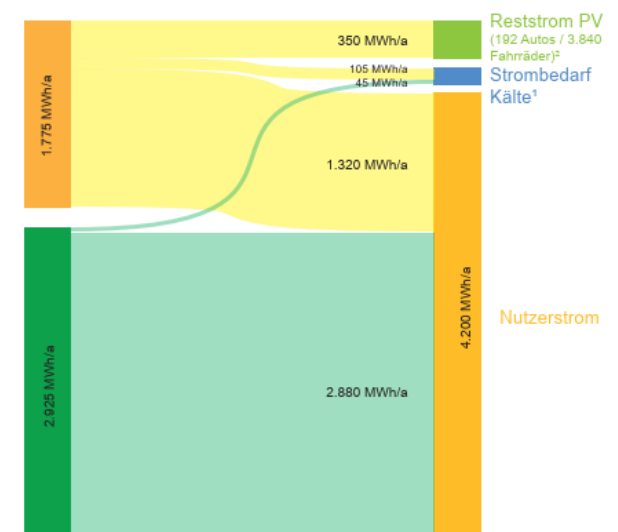
Variante 2

Absorptionskältemaschine |
adiabater Rückkühler



Variante 3

CO₂-Wärmepumpe



Solarer Deckungsgrad: 33%

Eigenverbrauchsgrad (ohne E-Mob.): 80%

Solarer Deckungsgrad: 33%

Eigenverbrauchsgrad (ohne E-Mob.): 78%

Solarer Deckungsgrad: 33%

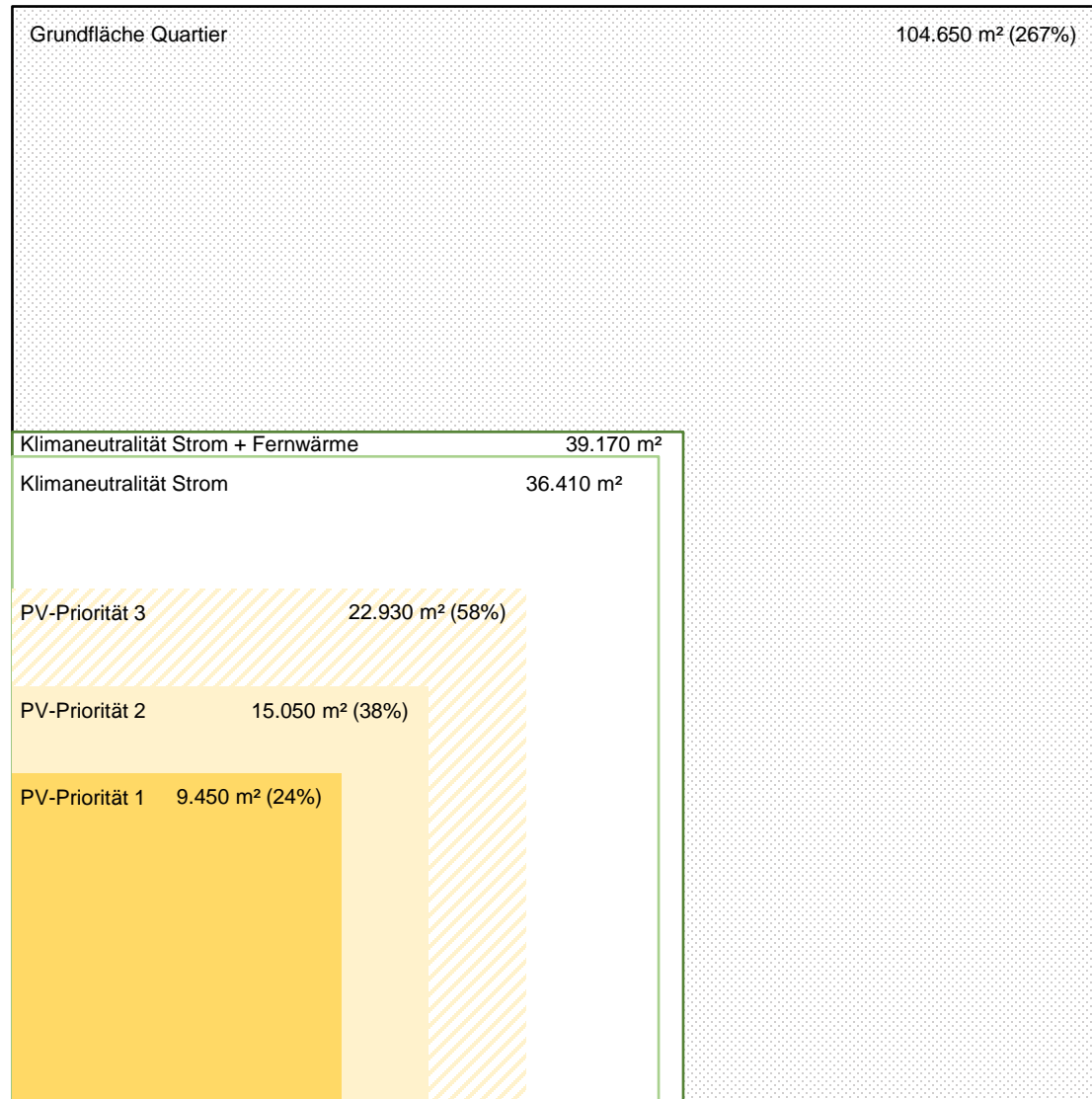
Eigenverbrauchsgrad (ohne E-Mob.): 80%

- PV-Erzeugung hier ausschließlich auf Prio 1 und 2 Flächen
- Ansatz: primäre Deckung des Strombedarfs der Kühlung, sekundäre Deckung des Nutzerstrombedarfs, tertiäre Bedienung der Elektromobilität
- PV-Strom wird in Höhe von 38% des Gesamtstrombedarfs im Quartier erzeugt. Da der PV-Strom nicht immer dann zur Verfügung steht, wenn er gebraucht wird, müssen 62% des Gesamtstrombedarfs aus dem Netz der öffentlichen Versorgung bezogen werden
- Mit dem Überschuss nach Kälte- und Nutzerstromversorgung könnten bilanziell ca. 10% der konzipierten BEV-Stellplätze mit Strom versorgt werden

¹ Höherer Stromverbrauch durch die Erzeugung von Hochtemperaturabwärme

² 20 kWh/100 km; 25 km/Tag = 5 kWh/Tag = 1.825 kWh/a; bei Fahrrädern ~ Faktor 20

Dachflächenbedarf für bilanzielle Klimaneutralität über Photovoltaik

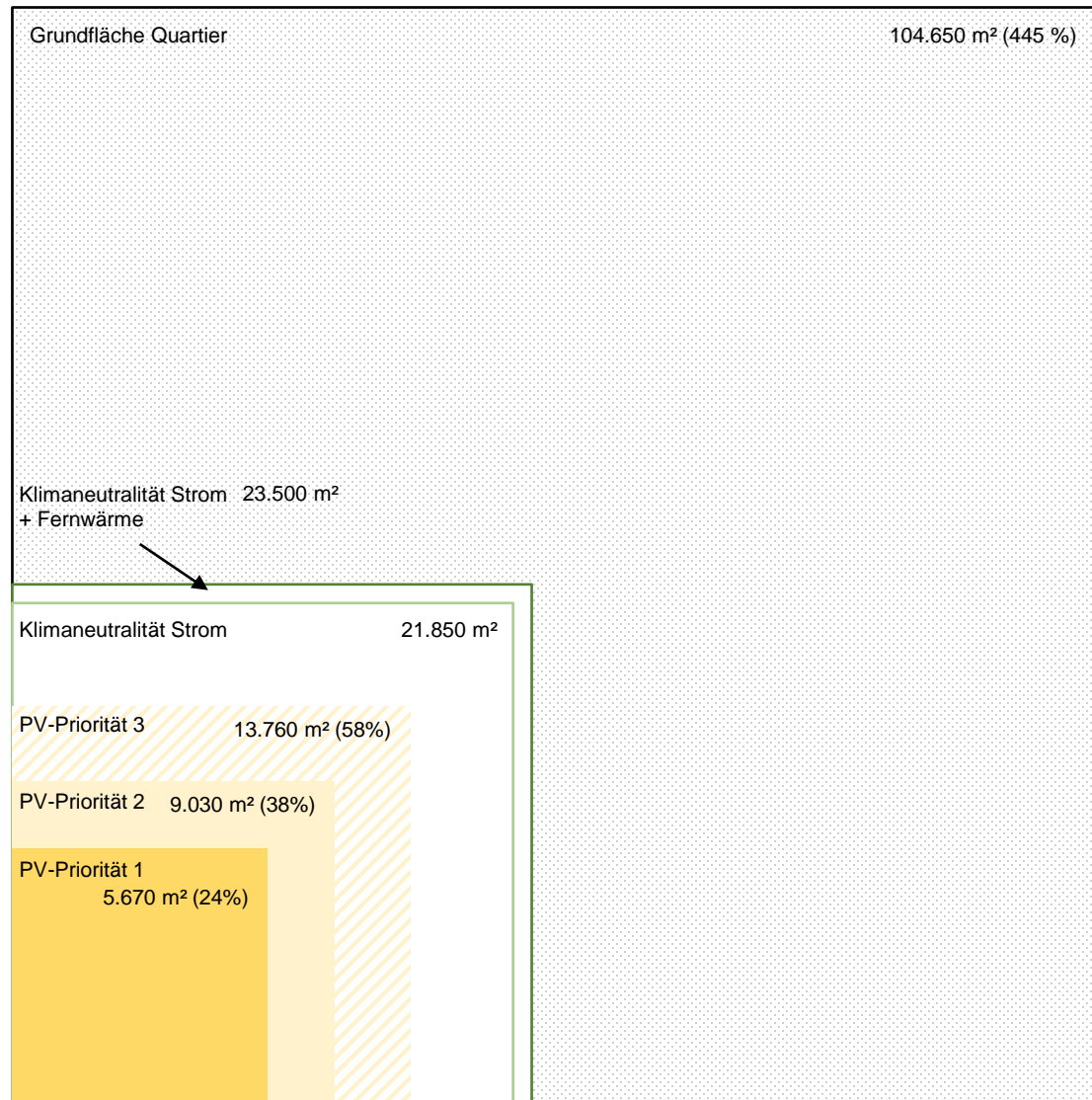


Pauschaler Belegungsfaktor von 60% berücksichtigt, Modulleistung 330 Wp, 202 Wp/m²
Zahlen in Klammern bezogen auf Klimaneutralität inkl. Kompensation Fernwärme

Eigene Darstellung

- Angenommen ist der Strombedarf der Variante 1, der Flächenbedarf unterscheidet sich zu den anderen Varianten der Kälteversorgung nur vernachlässigbar
- Der Flächenbedarf für bilanzielle Klimaneutralität wird über PV-Flächen zur Abdeckung des Strombedarfs im Quartier und der Netzstromverdrängung zur Kompensation der Fernwärme abgeschätzt
- Der Verdrängungsfaktor bei Einspeisung ist mit $560 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$ (GEG2020) angenommen
- Die THG-Emissionen der Fernwärme (FW309, Anlage 9 GEG) betragen $40 \text{ gCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$
- PV-Flächen können von den Dächern an die Fassade verschoben werden – durch den geringeren Ertrag wird die Flächeneffizienz um 20% reduziert
- Zusätzlich zu den Prio 1 und 2 Dachflächen sind 25.630 m^2 Südfassadenfläche oder 21.360 m^2 Horizontalfläche nötig, um eine ausgeglichene Jahresstrombilanz zu erreichen
- Wenn die Prio 3 Flächen uneingeschränkt und unverschattet nutzbar sind, reduziert sich der zusätzliche Flächenbedarf an der Südfassade auf 16.180 m^2 bzw. 13.480 m^2 an Horizontalflächen
- Wird Elektromobilität mitbilanziert, ist pro Fahrzeug eine zusätzliche Fläche von 15 m^2 horizontal oder 19 m^2 an Südfassaden (unverschattet) notwendig

Modulflächenbedarf für bilanzielle Klimaneutralität über Photovoltaik



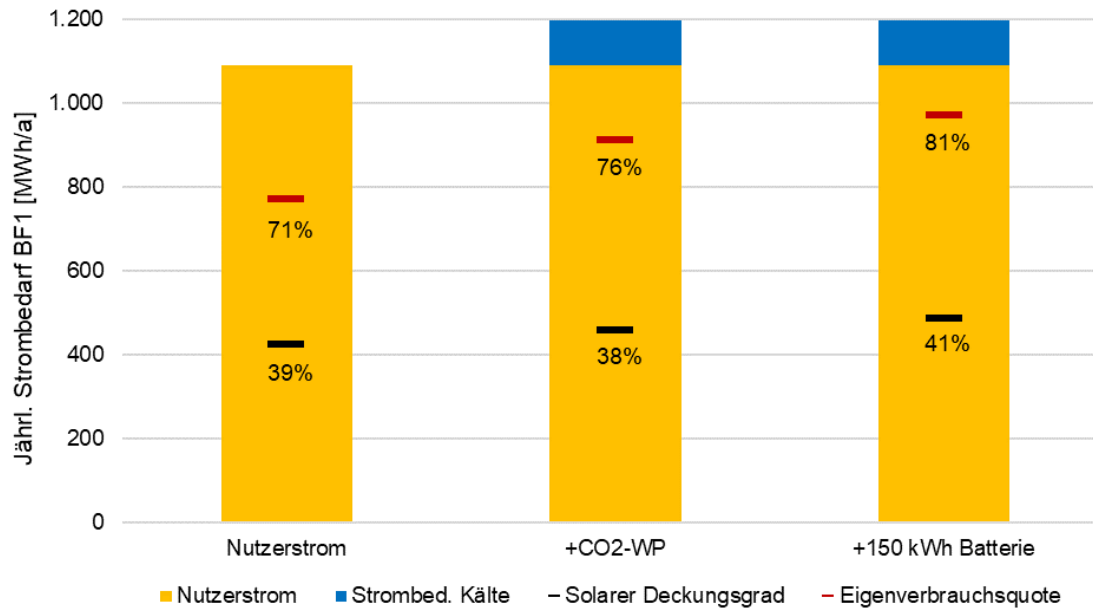
Modulleistung 330 Wp, 202 Wp/m²

Zahlen in Klammern bezogen auf Klimaneutralität inkl. Kompensation Fernwärme

Eigene Darstellung

- Angenommen ist der Strombedarf der Variante 1, der Flächenbedarf unterscheidet sich zu den anderen Varianten der Kälteversorgung nur vernachlässigbar
- Der Flächenbedarf für bilanzielle Klimaneutralität wird über PV-Flächen zur Abdeckung des Strombedarfs im Quartier und der Netzstromverdrängung zur Kompensation der Fernwärme abgeschätzt
- Der Verdrängungsfaktor bei Einspeisung ist mit 560 g CO_{2eq}/kWh (GEG2020) angenommen
- Die THG-Emissionen der Fernwärme (FW309, Anlage 9 GEG) betragen 40 gCO_{2eq}/kWh
- Zum Erreichen bilanzieller Klimaneutralität müssten rund 20% der Grundfläche des gesamten Quartiers mit PV-Modulen belegt werden
- PV-Flächen können von den Dächern an die Fassade verschoben werden – durch den geringeren Ertrag wird die Flächeneffizienz um 20% reduziert
- Zusätzlich zu den Prio 1 und 2 Modulflächen sind 15.380 m² Modulfläche an Südfassaden oder 12.820 m² Modulfläche in der Horizontalen nötig, um eine ausgeglichene Jahresstrombilanz zu erreichen
- Wenn die Prio 3 Flächen uneingeschränkt und unverschattet nutzbar sind, reduziert sich der zusätzliche Modulflächenbedarf an der Fassade auf 9.700 m² bzw. 8.100 m² Modulfläche in der Horizontalen
- Wird Elektromobilität mitbilanziert, ist pro Fahrzeug eine zusätzliche Modulfläche von 9 m² horizontal bzw. 11 m² an Südfassaden (unverschattet) notwendig

Solarer Deckungsgrad und Eigenverbrauchsquote mit Batteriespeicher in Baufeld 1



Randbedingungen:

- PV-Erzeugung (Prio 1+2+3): 600 MWh¹
- Strombedarf Kälte²: 105 MWh
- Nutzerstrombedarf: 1.100 MWh
- Batteriekapazität³: 150 kWh

- Der Solare Deckungsgrad ist mit den Prio 1 bis 3-Flächen aufgrund des Erzeugungs- und Verbrauchsverhältnisses auf 50 - 55% gedeckelt

Abschätzung Wirtschaftlichkeit Batterie

| | |
|---|---------------------|
| Investition (150 kWh): | 120.000 € |
| Annahme Strompreis: | 40 ct/kWh |
| Gestehungskosten: (PV + Speicherung) | 30 ct/kWh |
| Einsparung Strom: | 30 MWh/a |
| → Jährliche Ersparnis: | 3.000 € |
| → Statische Amortisation: | ca. <u>40 Jahre</u> |

- Batteriespeicher zur Eigenstromoptimierung vrstl. nicht wirtschaftlich darstellbar und nur durch den Mieterstromanbieter sinnvoll betreibbar. Flächen für eine Nachrüstung sollten vorgehalten werden!

¹ Annahme: keine Verschattung

² Jahresarbeitsszahl: 3,25

³ Kapazität so ausgewählt, dass ca. 200 Zyklen erreicht werden

Variantenvergleich – Qualitative Bewertung

Variante 1: Kompressionskälte

Vorteile

- Vergleichsweise geringe Investitions- und Betriebskosten
- Niedrige Investitionskosten
- Hohe Flexibilität in der Erstellung

Nachteile

- Abwärme wird ungenutzt an die Umgebung abgegeben
- Schallemissionen
- Auffangwanne mit Glykoldetektor auf dem Dach notwendig
- Hohe THG-Emissionen aufgrund des (noch) geringen Anteils regenerativer Stromerzeugung im Netz der öffentlichen Stromversorgung

➤ Aufgrund geringerer Systemeffizienz der Nutzung von reversiblen Wärmepumpen unterzuordnen

Variante 2: Absorptionskälte

Vorteile

- Mit Fernwärme steht grundsätzlich nachhaltige Antriebsenergie zur Verfügung
- Betrieb durch Fernwärmeversorger möglich

Nachteile

- Hohe investitions- und bedarfsgebundene Kosten
- Hoher Wartungsaufwand durch adiabaten Rückkühler
- Auffangwanne mit Glykoldetektor auf dem Dach notwendig
- Sehr hohe THG-Emissionen aufgrund der geringen Effizienz des Prozesses und des damit verbundenen hohen Fernwärmebedarfs

➤ Aufgrund hoher Emissionen, Investitions- und Vollkosten nicht zu empfehlen

Variante 3: CO₂-Wärmepumpe

Vorteile

- Sehr hohe Systemeffizienz durch Nutzung „beider Seiten“ der Wärmepumpe
- Geringe THG-Emissionen durch Verdrängung von Fernwärme in der Warmwasserbereitung mit Abwärme
- Signifikante Kostenvorteile im Betrieb durch Verdrängung von Fernwärme in der Warmwasserbereitung
- Natürliches Kältemittel

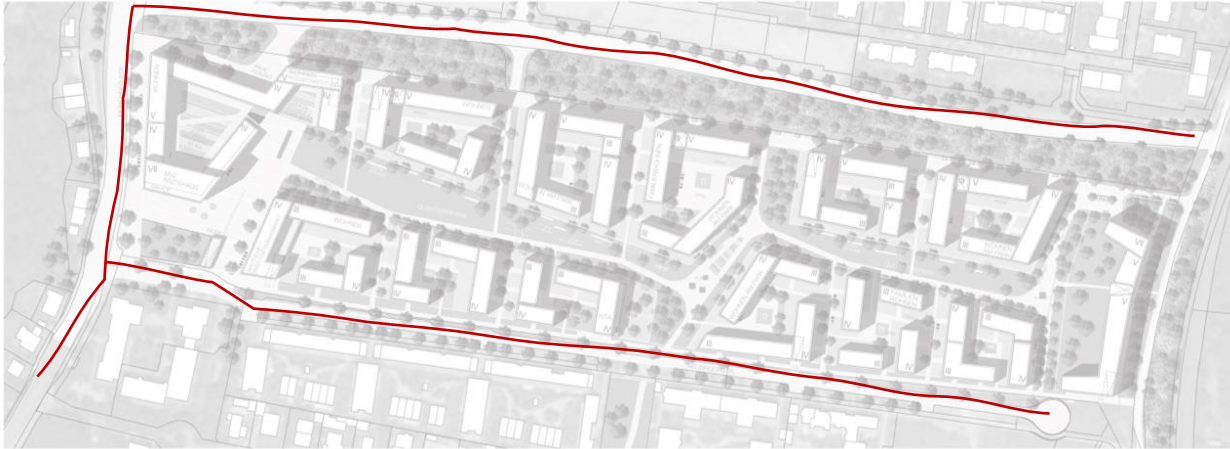
Nachteile

- Höhere Komplexität im Heizsystem
- Schallemissionen
- Auffangwanne mit Glykoldetektor auf dem Dach notwendig
- Bei Versorgung weiterer Baufelder: hohe Investitionskosten

➤ Aufgrund des doppelten Nutzens und des Verhältnisses von Abwärmeerzeugung zu empfehlen

Trinkwarmwasserbereitung

Problemstellung Rücklauftemperatur



Eigene Darstellung basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

Gemäß den technischen Anschlussbedingungen der Geovol Unterföhring GmbH darf der Rücklauf eines Neubaus 45°C nicht überschreiten.

Im Sommer ist nur die Warmwasserbereitung aktiv. Es wird keine Fernwärme für die Raumwärme benötigt. Die Warmwasserbereitung ist daher ausschlaggebend für die Rücklauftemperatur. Bei einer zentralen Warmwasserbereitung führt die aufgrund der Trinkwasserhygiene notwendige Zirkulation zu sehr hohen Rücklauftemperaturen.

Dies kann mit Systemen, die den Rücklauf der Zirkulation in einem Speicher zwischenspeichern und zur Vorerwärmung des Trinkwarmwassers nutzen umgangen werden.

Bei diesen Warmwasserbereitern ist für die Rücklauftemperatur die Vorlauftemperatur der Fernwärme und das Verhältnis von TWW-Bedarf und Zirkulationsverlusten entscheidend.

Wenn im Sommer bei 80°C Vorlauftemperatur der Fernwärme eine mittlere Rücklauftemperatur von 45°C eingehalten werden muss, darf das **Verhältnis Zirkulationsverluste zu TWW-Bedarf maximal 0,7** betragen.

Vergleich der möglichen Varianten

Hybridsystem

Investitionskosten:

| | |
|--------------------------|---------|
| Frischwasserstation: | 5.000 € |
| Pufferspeicher 1.500 l: | 1.500 € |
| Rohrleitung Mehraufwand: | 960 € |
| Durchlauferhitzer 11 kW: | 6.000 € |
| Warmwasserzähler: | 800 € |

Je WE: 1.785 €

Gesamtkosten 8 WE: **14.260 €**
(zzgl. Flächenbedarf Schacht/Keller)

Betriebskosten:

Kosten für TWW **1.700 €/a**

(Wärme = 100 €/MWh, Strom = 400 €/MWh)

Kosten über 10 Jahre: **31.300 €**

Wohnungsübergabestation

Investitionskosten:

| | |
|---------------------------------|---------|
| Wohnungsübergabestation 8 Stk.: | 3.000 € |
| Pufferspeicher 1.500 l: | 1.500 € |
| Rohrleitung Mehraufwand: | 300 € |

Je WE: 3.225 €

Gesamtkosten 8 WE: **25.800 €**
(zzgl. Mehraufwand Installation Brandschutzwand)

Betriebskosten:

Kosten für TWW **1.200 €/a**

(Wärme = 100 €/MWh)

Kosten über 10 Jahre: **37.800 €**

Elektrische Durchlauferhitzer

Investitionskosten:

Durchlauferhitzer für 2 Duschen, Gäste WC und Küche je Wohnung

Je WE: 4.250 €

(inkl. Mehraufwand ELT)

Gesamtkosten für 8 WE: **34.000 €**

Betriebskosten:

Kosten für TWW: **3.200 €/a**

(Strom = 400 €/MWh)

Kosten über 10 Jahre: **66.000 €**

| | | Hybridsystem | Wohnungs- übergabestation | Durchlauf- erhitzer |
|-------------------------------|-----------|--------------|------------------------------|------------------------|
| Warmwasserbedarf | [kWh/m²a] | 8,25 | 11 | 11 |
| Rohrleitungsverluste | [kWh/m²a] | 4 | 5 | 0 |
| Wärmebedarf gesamt spezifisch | [kWh/m²a] | 12,25 | 16 | 11 |
| Wärmebedarf gesamt absolut | [kWh/a] | 9.000 | 12.000 | 8.000 |
| Verhältnis Zirku zu WW-Bedarf | [-] | 0,5 | 0,5 | - |
| mittlere Rücklauftemperatur | [°C] | 32 | < 40 | - |

Vergleich der möglichen Varianten - Bruttokosten

Hybridsystem

Investitionskosten:

| | |
|--------------------------|----------------------|
| Frischwasserstation: | 5.950 € ¹ |
| Pufferspeicher 1.500 l: | 1.750 € ¹ |
| Rohrleitung Mehraufwand: | 1.150 € ¹ |
| Durchlauferhitzer 11 kW: | 7.150 € ¹ |
| Warmwasserzähler: | 950 € ¹ |

Je WE: 2.120 €¹

Gesamtkosten 8 WE:
(zzgl. Flächenbedarf Schacht/Keller) **16.970 €¹**

Betriebskosten:

Kosten für TWW **1.910 €/a**

(Wärme = 110 €/MWh², Strom = 460 €/MWh³)

Kosten über 10 Jahre: **36.100 €**

Wohnungsübergabestation

Investitionskosten:

| | |
|---------------------------------|----------------------|
| Wohnungsübergabestation 8 Stk.: | 3.600 € ¹ |
| Pufferspeicher 1.500 l: | 1.800 € ¹ |
| Rohrleitung Mehraufwand: | 350 € ¹ |

Je WE: 3.870 €¹

Gesamtkosten 8 WE:
(zzgl. Mehraufwand Installation Brandschutzwand) **30.960 €¹**

Betriebskosten:

Kosten für TWW **1.400 €/a**

(Wärme = 110 €/MWh²)

Kosten über 10 Jahre: **44.700 €**

Elektrische Durchlauferhitzer

Investitionskosten:

Durchlauferhitzer für 2 Duschen, Gäste WC und Küche je Wohnung

Je WE: 5.060 €¹

(inkl. Mehraufwand ELT)

Gesamtkosten für 8 WE: **40.480 €¹**

Betriebskosten:

Kosten für TWW: **3.700 €/a**

(Strom = 460 €/MWh³)

Kosten über 10 Jahre: **77.500 €**

| | | Hybridsystem | Wohnungs- übergabestation | Durchlauf- erhitzer |
|-------------------------------------|------------------------|--------------|------------------------------|------------------------|
| Warmwasserbedarf | [kWh/m ² a] | 8,25 | 11 | 11 |
| Rohrleitungsverluste | [kWh/m ² a] | 4 | 5 | 0 |
| Wärmebedarf gesamt spezifisch | [kWh/m ² a] | 12,25 | 16 | 11 |
| Wärmebedarf gesamt absolut | [kWh/a] | 9.000 | 12.000 | 8.000 |
| Verhältnis Zirkulation zu WW-Bedarf | [-] | 0,5 | 0,5 | - |
| mittlere Rücklauf-temperatur | [°C] | 32 | < 40 | - |

¹ inkl. 19% UST ² inkl. 7% UST ³ inkl. 16% UST

Frischwasserstation mit verkürzter Zirkulation und elektrischen Durchlauferhitzern (Hybridsystem)

Optimierung zur Frischwasserstation mit verkürzter Zirkulation:

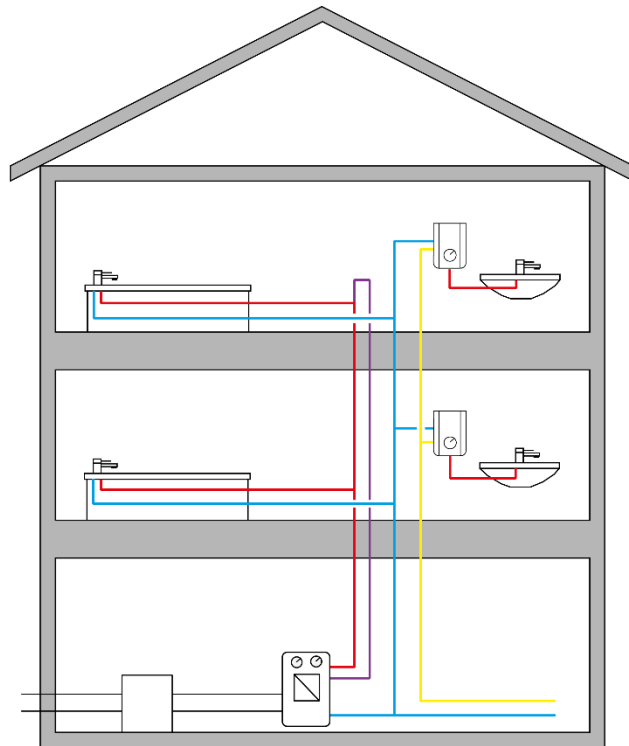
Das warme Wasser aus dem oberen, heißen Bereich des Speichers wird je Wohneinheit nur über den Steigstrang und über eine dezidierte Leitung im Kreis zurück zur Frischwasserstation geführt. Zapfstellen, für die die maximale Ausstoßzeit nicht eingehalten werden kann, werden mit elektrischen Durchlauferhitzern ausgestattet. So werden sowohl die Bereitschaftsverluste durch die Zirkulation maximal reduziert, als auch die elektrische Anschlussleistung für Durchlauferhitzer auf ein Minimum reduziert.

Vorteile:

- Niedrige Investitionskosten
- Geringe Bereitschaftsverluste
- Keine Auswirkungen auf den Grundriss von Wohnungen (Anordnung Zapfstellen)

Nachteile:

- Beschränkte Trinkwarmwasserhygiene
- Flächenbedarf
 - für Speichereinheit in Technikzentrale
 - für Zirkulationsleitung im Schacht



| Rohrart | Nennweite DN | Wasserinhalt l/m | zulässige Rohrlänge Spüle/Waschtisch m | zulässige Rohrlänge Dusche/Badewanne m |
|-----------------------------------|--------------|------------------|--|--|
| Mapres Edelstahl (Systemrohr) | 10 | 0,079 | 8,9 | 19 |
| | 12 | 0,133 | 5,3 | 11,3 |
| | 15 | 0,201 | 3,5 | 7,5 |
| | 20 | 0,302 | 2,3 | 5 |
| | 25 | 0,514 | 1,4 | 2,9 |
| Geberit Mepla (Metallverbundrohr) | 12 | 0,103 | 6,8 | 14,6 |
| | 15 | 0,176 | 4 | 8,5 |
| | 20 | 0,314 | 2,2 | 4,8 |
| | 25 | 0,531 | 1,3 | 2,8 |

Vergleich der Varianten & Empfehlung

Hybridsystem

- Niedrige Investitionskosten
 - Niedriger Wärmebedarf durch Reduktion der Wärmeverluste
 - Hoher Komfort
 - Sehr gute Einhaltung der Anforderungen an die Hygiene
 - Mindestvolumenstrom in den Nachtstunden mit geringer Zapfung muss mit dem Versorger abgestimmt werden
- Für die Bereiche mit hohem Trinkwarmwasserbedarf (Wohnnutzung) wird das Hybridsystem zur Umsetzung empfohlen

Wohnungsübergabestation

- Hoher Wartungs- und Installationsaufwand
 - Bei Versorgung mit Fernwärme kommt der Vorteil der geringeren Systemtemperaturen nicht zum tragen
 - Kurze Leitungswege von Wohnungsübergabestation zu Zapfstelle sind einzuhalten (Einfluss auf den Grundriss)
- Höherer Aufwand ist nicht gerechtfertigt, Wohnungsübergabestationen werden daher nicht empfohlen

Elektrische Durchlauferhitzer

- In Abhängigkeit der Ausstattung (im Wesentlichen der Anzahl der Bäder) resultieren hohe Anschlussleistungen und Kosten
 - Direktmessung kann nicht garantiert werden
 - Gegenüber der Warmwasserbereitung über Fernwärme ist die Effizienz in der Wohnnutzung (häufige Zapfung) sehr gering
 - In den weiteren Nutzungen mit vernachlässigbaren Zapfmengen (Verwaltung, Einzelhandel) überwiegen die Vorteile der geringen Bereitschaftsverluste
- In den Bereichen mit Verwaltung / Einzelhandel werden daher elektrische Durchlauferhitzer empfohlen (Berücksichtigung einer prospektiv möglichen Umnutzung mit ausreichend Puffer in Versorgungsschächten!)

Nächste Schritte

- Diskussion der Varianten zur PV-Nutzung und Betreibermodellen
- Diskussion der Varianten zur Kälteerzeugung
- Ggfs. Abstimmung mit den weiteren Planern sofern notwendig/sinnvoll
- Weitere Abstimmung mit Geovol zur Erschließung des Quartiers
- Entscheidungsfindung PV / Kälte / Erschließung

Anhang

Betreibermodelle

Betreibermodelle – Wärme- und Kälteversorgung

Eigenbetrieb

Betrieb:

- Bauherr = Betreiber
- Volle Bauherrenpflicht und Gewährleistung / Haftung zur Wärmeversorgung
- Aufwand für Wartung, Instandsetzung, Reparatur der Anlagen
- Ggfs. keine bis geringe Betriebsexpertise, Betriebsführung durch externen Dienstleister möglich

Kosten:

- Investitions- und Planungskosten (Lp 1-5) durch Bauherrn zu tragen
- Ggfs. höhere Betriebskosten als im Contracting, jedoch positiver Ertrag möglich
- Verantwortung Kostensicherheit liegt beim Bauherrn
- Messaufwand zur Erstellung der Betriebskostenabrechnungen
- Regulatorische Rahmenbedingungen und Prozesse durch Bauherrn zu verantworten
- Energiekosten werden über die Nebenkosten umgelegt

Sonstiges:

- Größere Flexibilität bei Betreibermodellen in Verbindung mit Eigenstromerzeugung und -nutzung
- Ggfs. keine bis geringe Erfahrungen im Eigenbetrieb und daher Bindung von Dritten oder Aufbau von Eigenkapazitäten notwendig

Joint Venture

Betrieb:

- Joint Venture = Gründung einer Betreibergesellschaft zwischen Versorger und Bauherr
- Betriebsführung erfolgt durch den Versorger
- Aufwand für Wartung, Instandsetzung und Reparatur der Anlagen liegt beim Betriebsführenden

Kosten:

- Aufteilung der Investitionskosten verhandelbar und Teil des Business Case
- Preisanpassungen im Business Case zu berücksichtigen
- Regelung zur Aufteilung der Rendite in Konsortial- und Gesellschaftsvertrag
- Weitere Geschäftsmodelle zur Kostenreduktion möglich (Mieterstrom, E-Mobilität, ...)

Sonstiges:

- Konzentration beider Vertragspartner auf das jeweilige Kerngeschäft

Contracting

Betrieb:

- Contractor = Betreiber
- Bauherrenpflicht und Gewährleistung / Haftung zur Wärmeversorgung obliegt dem Betreiber
- Kein Aufwand für Wartung, Instandsetzung und Reparatur der Anlagen
- Hohe Expertise im Betrieb

Kosten:

- Investitions- und Planungskosten (i.d.R. ab Lp 3) ist durch den Contractor zu tragen
- Ggfs. geringere Betriebskosten durch veränderte Preiskonditionen für Contractoren („Mengenrabatt“)
- Hohe Kostensicherheit aufgrund verhandelbarer Preise
- Preisanpassung nur über vertraglich definierte Preisgleitung möglich
- Weitere Geschäftsmodelle zur Kostenreduktion über Contractor möglich (Mieterstrom, E-Mobilität, ...)

Sonstiges:

- Konzentration auf das Kerngeschäft



Eigene Darstellung basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

- >> Wärme- und Kälteversorgung ausgehend von einem zentralen Punkt
- >> Zentrale muss im Zuge der ersten Baumaßnahme entstehen
- >> Leitungsführung und Dimensionierung müssen bekannt sein

Zentraler Übergabepunkt

- Ab dem zentralen Übergabepunkt erfolgt die weitere Versorgung der Netze und Gebäude:
 - im Eigenbetrieb
 - durch den Betriebsführer
 - durch den Contractor
- Verteilverluste im Quartier liegen in der Verantwortung des Betreibers der Unterversorgung
- Planung und Bau der Verteilungen und Unterstationen liegen in Abhängigkeit des gewählten Betreibermodells bei
 - Bauherrn
 - Joint Venture
 - Contractor
- Geringer Baukostenzuschuss
- Hohe Gleichzeitigkeit am Übergabepunkt
- Leistungspreis aufgrund hoher Gleichzeitigkeit und der i.d.R. mit steigender Leistung spezifisch sinkenden Leistungspreise vrstl. geringer
- Kein Gestattungs- / Konzessionsvertrag für Verteilung auf Eigentum des Bauherrn notwendig
- Klare Schnittstellen und Verantwortlichkeiten
- Verantwortung für die Verteilung in den Gebäuden beim Eigentümer / Bauherr / WEG
- Zusätzlicher Wärmetauscher notwendig (Grädigkeit)



Eigene Darstellung basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

- >> Wärme- und Kälteversorgung ausgehend von zentralen Punkten
- >> Zentralen entstehen sukzessive mit der Entwicklung des Quartiers
- >> Leitungsführung und Dimensionierung müssen für die Teilversorgungsgebiete bekannt sein

Teilzentrale Übergabepunkte

- Ab dem jeweiligen Übergabepunkt erfolgt die weitere Versorgung der Netze und Gebäude:
 - im Eigenbetrieb
 - durch den Betriebsführer
 - durch den Contractor
- Verteilverluste ausgehend vom Übergabepunkt liegen in der Verantwortung des Betreibers der Unterversorgungen
- Planung und Bau der Verteilungen und Unterstationen liegen in Abhängigkeit des gewählten Betreibermodells bei
 - Bauherrn
 - Joint Venture
 - Contractor
- Baukostenzuschuss für die Anbindung der jeweiligen Übergabepunkte
- Leistungspreis aufgrund mittlerer Gleichzeitigkeit und mit steigender Leistung spezifisch sinkenden Leistungspreise vrstl. etwas geringer
- Gestattungs- / Konzessionsvertrag für Verteilung auf Eigentum des Bauherrn notwendig
- Kleinteiligere Versorgungsstruktur mit erhöhtem Wartungs- und Instandhaltungsaufwand
- Verantwortung für die Verteilung in den Gebäuden beim Eigentümer / Bauherr / WEG
- Zusätzlicher Wärmetauscher bei indirektem System notwendig (Grädigkeit)



Eigene Darstellung basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

Dezentrale Übergabepunkte

- Ab dem Übergabepunkt erfolgt die weitere Versorgung im Gebäude:
 - i.d.R. im Auftrag des Eigentümers / Bauherrn / WEG durch einen Dienstleister
- Höherer Baukostenzuschuss für die Anbindung der jeweiligen Übergabepunkte
- Verantwortung für die Verteilung in den Gebäuden beim Eigentümer / Bauherr / WEG
- Hoher Abstimmungsbedarf mit Fernwärmeversorger
- Geringerer Aufwand in der Netzplanung im Quartier (Aufwand beim Fernwärmeversorger)
- Geringe Gleichzeitigkeit am Übergabepunkt
- Gestattungs- / Konzessionsvertrag für Verteilung auf Eigentum des Bauherrn notwendig
- Kleinteilige Versorgungsstruktur mit erhöhtem Wartungs- und Instandhaltungsaufwand
- Auf zusätzlichen Wärmetauscher kann verzichtet werden
- In Abhängigkeit der Trinkwarmwasserbereitung geringfügig geringerer Flächenbedarf

>> Wärme- und Kälteversorgung dezentral

>> Versorgung entsteht sukzessive mit der Entwicklung einzelner Gebäude

>> Entwicklung der Leitungsführung muss mit dem Versorger abgestimmt werden

Nutzungspotenzial – Betreibermodelle

Netzanschlusspunkt

Direkterschließung

Anbindung an das Netz der öffentlichen Stromversorgung und Marktlokation pro Gebäude / Treppenaufgang.

- + Schnittstellen eindeutig, Unabhängigkeit
- Höhere Volatilität pro Anschluss und daher i.d.R. geringer solarer Deckungsgrad
- Niedrigere nutzbare Leistung aus PV
- organisatorisch und ökonomisch hoher Aufwand aufgrund vieler Netzanschlüsse

Kundenanlage

Geschlossenes Verteilnetz mit zentralem Netzanschlusspunkt und zentraler Marktlokation

Für Letztverbraucher weiterhin freie Wahl eines Energielieferanten (Drittmengenabgrenzung)

Betrieb des Netzes i.d.R. über einen Contractor oder eine Bergemeinschaft

- + geringere Stromanschlusskosten an das öffentliche Netz (nur ein Netzanschlusspunkt)
- + Im Quartierskontext höhere Gleichzeitigkeit und daher i.d.R. hoher solarer Deckungsgrad, hohe Leistung aus PV für E-Mobilität oder Wärmeerzeugung nutzbar
- höherer planerischer & organisatorischer Aufwand, aufwändigeres Zählerkonzept, i.d.R. dritte Partei erforderlich
- zusätzliches Stromnetz und ggfs. Trafostation im Quartier notwendig

Vermarktungsoptionen für PV-Anlageneigentümer

(A) Eigenverbrauch

Strombezug aus dem Netz der öffentlichen Stromversorgung wird reduziert

Anteil Eigenverbrauch ist befreit von Umlagen, Abgaben sowie Steuern da das öffentliche Netz nicht genutzt wird

Überschussstrom kann eingespeist / vermarktet werden

- + hohe Wirtschaftlichkeit
- nicht kombinierbar mit Wärmepumpentarif
- Beschränkung der Anlagenleistung auf 750 kWp

(B) Einspeisung mit fester EEG-Vergütung

Anlagen < 100 kWp erhalten eine feste Einspeisevergütung über 20 Jahre

- + geringe Komplexität
- geringe Wirtschaftlichkeit

(C) Direktvermarktung/ Marktprämienmodell

Bei Anlagen > 100 kWp und < 1 MWp* ist eine Direktvermarktungsform zu wählen, dabei sind bei der Ermittlung der Anlagengröße Verklammerungsvorschriften zu beachten (§24 EEG)

Stromverkauf über einen Direktvermarkter an der Strombörse zum jeweils aktuellen Strompreis

Alternativ ist bei dieser Anlagengröße und bei Anlagen > 1 MWp* an den Ausschreibungen der BNetzA teilzunehmen, wobei eine Eigenstromnutzung dann ausgeschlossen ist.

- + gesicherte Mindestvergütung für größere Anlagen
- + als Mieterstrommodell (auch durch Wohnungseigentümergeinschaft) ausführbar
- Fernsteuerbarkeit notwendig, aufwändige Zählerinfrastruktur

(D) Sonstige Direktvermarktung

Abschluss eines Power Purchase Agreements (PPA) zwischen Anlagenbetreiber und Stromabnehmer über einen definierten Zeitraum

Umsetzung meist nur bei Großanlagen (Freiflächen-PV, Windparks)

(E) Verpachtungsmodelle

Dachfläche wird zur Aktivierung mit PV-Anlagen verpachtet oder PV-Anlagen werden verpachtet

Als Mieterstrommodell ausführbar, z.B. wenn Gebäudeeigentümer organisatorischen Aufwand der Stromvermarktung nicht tragen möchte oder Steuerrechtliche Gründe dagegen sprechen

*Die Ausschreibungsgrenze von 1 MWp ist voraussichtlich ab Inkrafttreten des EEG 2023 gültig.

Nutzungspotenzial – Betreibermodelle

Marktllokation (Kundenanlage / Direkterschließung)

Werden die Photovoltaikanlagen im Quartier innerhalb von 12 aufeinanderfolgenden Monaten errichtet, sind diese aufgrund des örtlichen sowie zeitlichen Zusammenhangs nach §24 EEG zu verklammern. Update EEG 2023: Anlagendifferenzierung nach Anschlusspunkt!

Zusammengefasst beträgt die Leistung der Anlage im Quartier über 1.000 kWp. Baufeldweise liegt die Leistung zwischen 70 kWp und 315 kWp (Varianz auch durch Differenzierung zwischen Prio 1 / Prio 2 Flächen). Eine Kundenanlage mit allen Gebäuden & Anlagen ist daher nicht möglich. Kundenanlagen pro Baufeld mit Mieterstrommodellen, über mehrere Baufelder oder die Direkterschließung zur Einspeisung sind valide Optionen.

Für die direkte Nutzung in den Gebäuden mit Anlagenleistungen > 100 kWp sind Kundenanlagen zu empfehlen, da dann auf kostenintensive Zählerinfrastruktur verzichtet werden kann (RLM-Zähler pro Letztverbraucher, RLM Zähler für die Erzeugungs- und Einspeisemessung, 500 €/a pro RLM Zähler vs. 16 €/a pro SLP Zähler).

→ **Es wird die Umsetzung als Kundenanlage(n) empfohlen!**

Alternativ: Verpachtung der Dächer!

MS- oder NS-seitiger Anschluss

Die Wahl des Netzanschlusses, ob MS- oder NS-seitig, ist abhängig von den vorhandenen Trafostationen vor Ort sowie deren Auslastung im Versorgungsgebiet

In der Regel ist aufgrund geringerer Investitionskosten und dem geringeren Platzbedarf ein NS-seitiger Anschluss zu favorisieren

Ein MS-seitiger Anschluss verursacht höhere Investitionskosten, sofern die Trafostation nicht vom Netzbetreiber erstellt wird. Ist für das Bauvorhaben in jedem Fall eine Trafostation notwendig, sind die Mehrkosten für einen MS-seitigen Anschluss vernachlässigbar. In beiden Fällen kann von den geringeren Bezugskosten im MS-Netz profitiert werden

Direktmessung / Wandlermessung

In der Regel schreiben Netzbetreiber ab einer Stromstärke von 63 A (~ 44 kW) eine (Klein-) Wandlermessung für den Hausanschluss vor. Einige Netzbetreiber erlauben die „konventionelle“ Direktmessungen bis 100 A (~ 69 KW). Eine Wandlermessung verursacht deutlich höhere Investitionskosten und einen erhöhten Platzbedarf für den Messschrank. Kleinwandlerrmessungen können in den standardmäßigen Messschrank integriert werden und benötigen darin zwei Zählerplätze.

Die Vorgaben bzgl. der Messung sind im Kontext der Lasten, die durch die Elektromobilität, die Warmwasserbereitung und den Nutzerstrom verursacht werden, zu berücksichtigen.

Gegenstand des Planungsprozesses

Betreibermodelle – Stromversorgung/-nutzung: Projektbezogen

Variante „Marktprämienmodell“

Eigentümer / Mieter ist Eigentümer und Betreiber der Stromerzeugungsanlagen.

Eigentümer / Mieter verkauft den Anteil an der Stromerzeugung, der durch die Mieterstromkunden genutzt wird, an einen Contractor / Dienstleister. Dies entspricht der sonstigen Direktvermarktung¹.

Der Dienstleister vermarktet den übrigen Strom im Auftrag des Eigentümers über das Marktprämienmodell.

Das Marktprämienmodell ist auf 1.000 kWp begrenzt.

- + Niedrigere Strompreise für die Nutzer von Mieterstrom
- + Anreiz zur gezielten Nutzung von PV-Strom (Nutzerverhalten)

Variante „Festabnahmevertrag“

Eigentümer / Mieter ist Eigentümer und Betreiber der Stromerzeugungsanlage.

Contractor nimmt die vollständige Strommenge zu einem Festpreis ab. Dies entspricht der sonstige Direktvermarktung (Power Purchase Agreement).

Ein Anteil wird durch den Contractor an die Mieterstromkunden (Mieterstrom ohne Förderung) geliefert.

Der übrige Strom wird durch den Contractor an sonstige Kunden oder z.B. an der Strombörse verkauft.

- + Organisatorische Umsetzbarkeit
- + Niedrigere Strompreise für Nutzer von Mieterstrom
- + Anreiz zur gezielten Nutzung von PV-Strom (Nutzerverhalten)
- Ggf. sind die Einnahmen durch den Vertrieb des übrigen Stroms für den Contractor niedriger als im Marktprämienmodell
→ höhere Mieterstrompreise

Variante „Pachtmodell“

Eigentümer / Mieter ist Eigentümer der Stromerzeugungsanlage.

Contractor pachtet die PV-Anlage für eine feste Gebühr über einen definierten Zeitraum und wird zum Anlagenbetreiber.

Ein Anteil des PV-Stroms wird an die Mieterstromkunden geliefert, der übrige Strom kann z.B. über das Marktprämienmodell oder anderweitig vermarktet werden.

Alternativ kann die Dachfläche verpachtet werden, der Contractor entscheidet sich für ein Vermarktungsmodell (z.B. Mieterstrom)

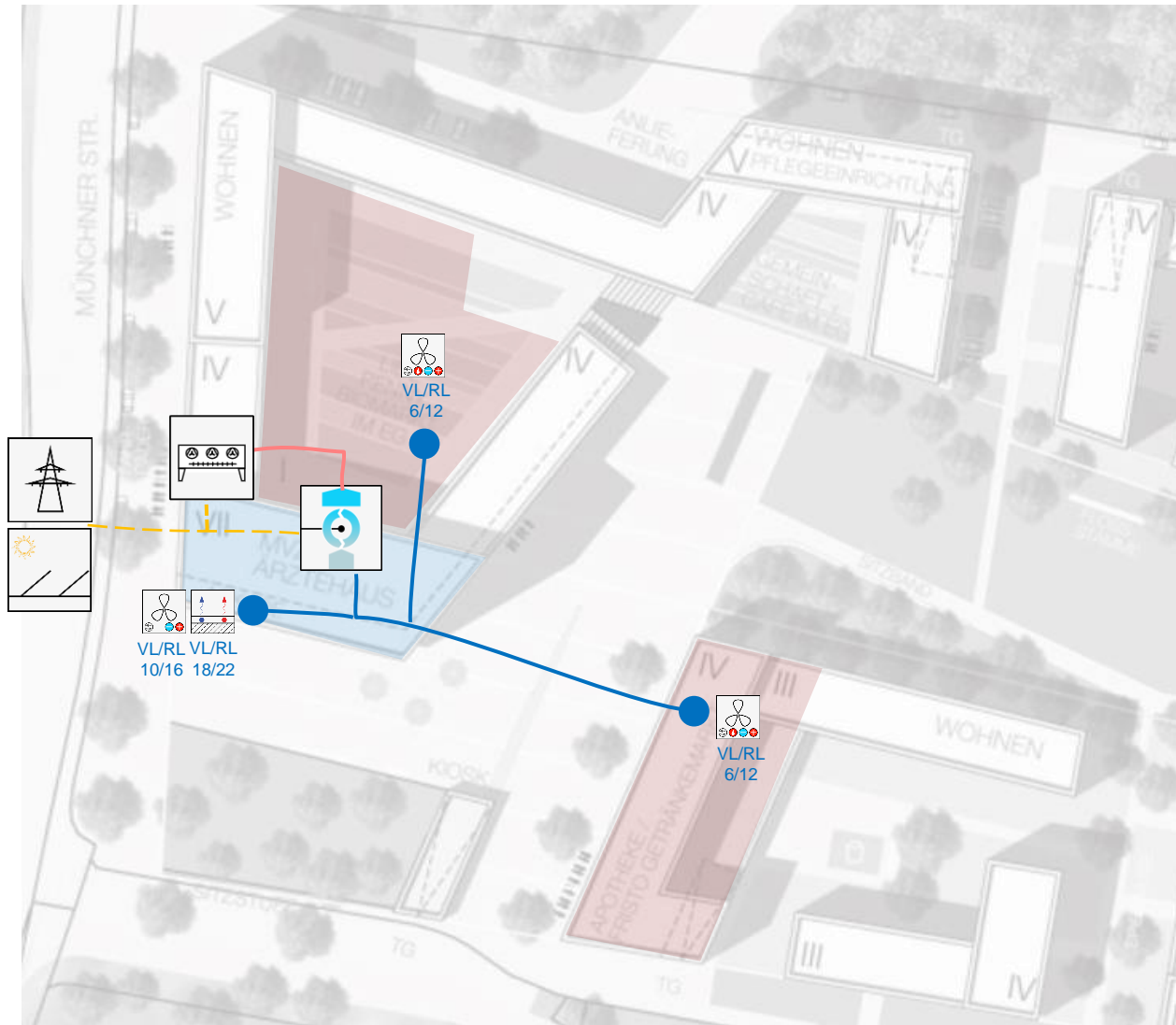
- + Konzentration auf das „Kerngeschäft“
- + Wirtschaftliches Ertragsrisiko liegt beim Contractor
- Geringe Wertschöpfung bei der WEG

Zeitnahe Kontaktaufnahme mit möglichen Contractoren wird empfohlen!

¹ Sonstige Direktvermarktung: §21a EEG 2021:
Anlagenbetreiber verkaufen ihren Strom ohne
Inanspruchnahme einer Förderung durch das EEG

Detaillierte Variantendarstellung

Variante 1: Kaltwassersatz mit trockenem Rückkühler



Eigene Darstellung basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

Kaltwassersatz mit trockenem Rückkühler |
Direktverflüssigung an Außenluft

Vorteile

- Bewährte Technik
- niedrige Investitionskosten

Nachteile

- Schallemission
- Auffangwanne mit Glykoldetektor notwendig

Energiemengen

| | |
|-------------------|-----------|
| Strombedarf | 95 MWh/a |
| Erzeugte Kälte | 395 MWh/a |
| Jahresarbeitszahl | 4,2 |

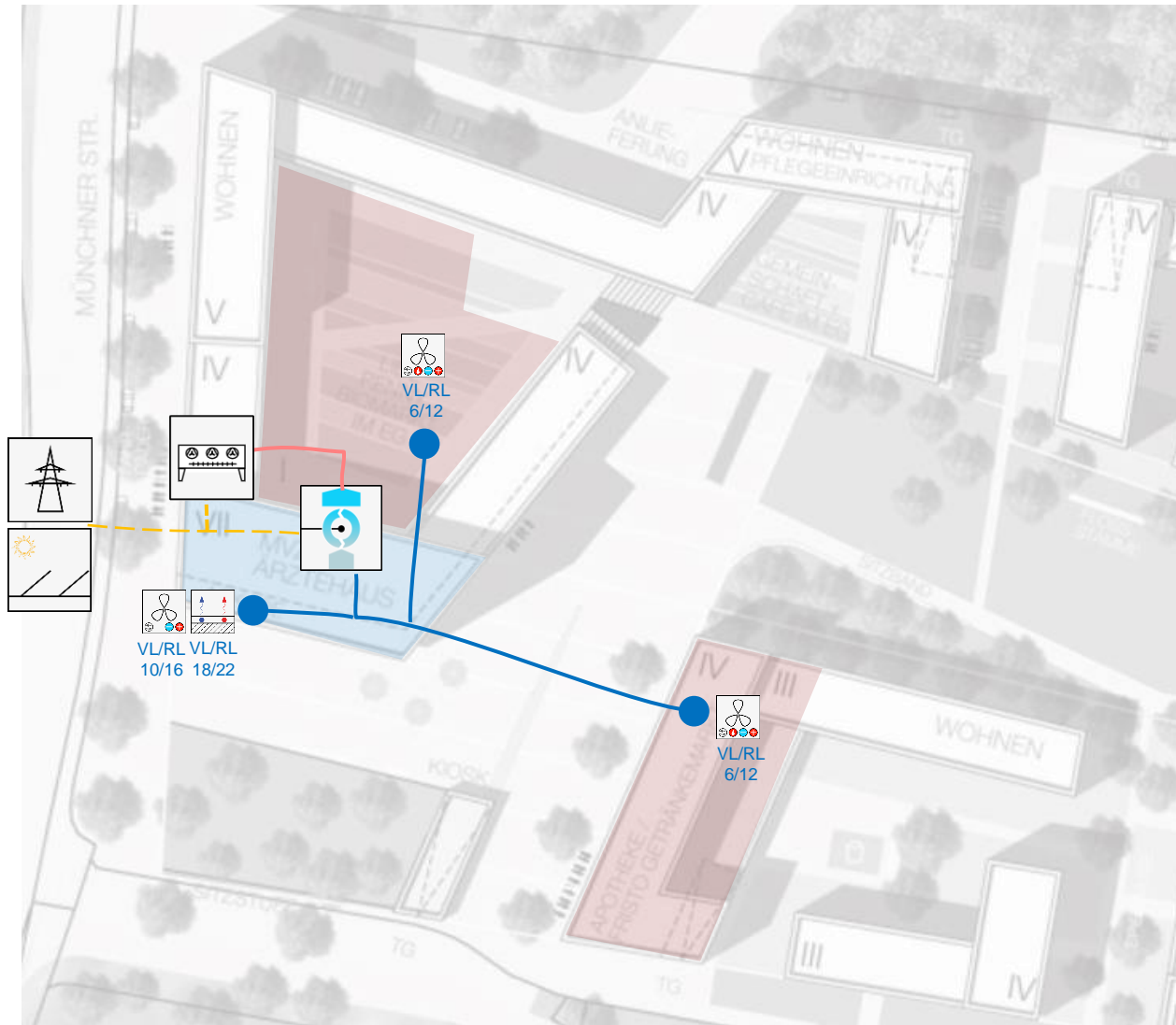
Jährliche Verbrauchskosten

| | |
|-----------|-----------------|
| Netzstrom | 37.900 € |
|-----------|-----------------|

Investitionskosten

| | |
|----------------------------|------------------|
| Kältemaschine + Rückkühler | 118.000 € |
| Rohrleitungen | 14.000 € |
| Fundament Rückkühler | 10.000 € |
| Pumpe | 7.000 € |
| Summe | 149.000 € |

Variante 1: Kaltwassersatz mit trockenem Rückkühler – Bruttokosten



Eigene Darstellung basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

Kaltwassersatz mit trockenem Rückkühler |
Direktverflüssigung an Außenluft

Vorteile

- Bewährte Technik
- niedrige Investitionskosten

Nachteile

- Schallemission
- Auffangwanne mit Glykoldetektor notwendig

Energiemengen

| | |
|-------------------|-----------|
| Strombedarf | 95 MWh/a |
| Erzeugte Kälte | 395 MWh/a |
| Jahresarbeitszahl | 4,2 |

Jährliche Verbrauchskosten

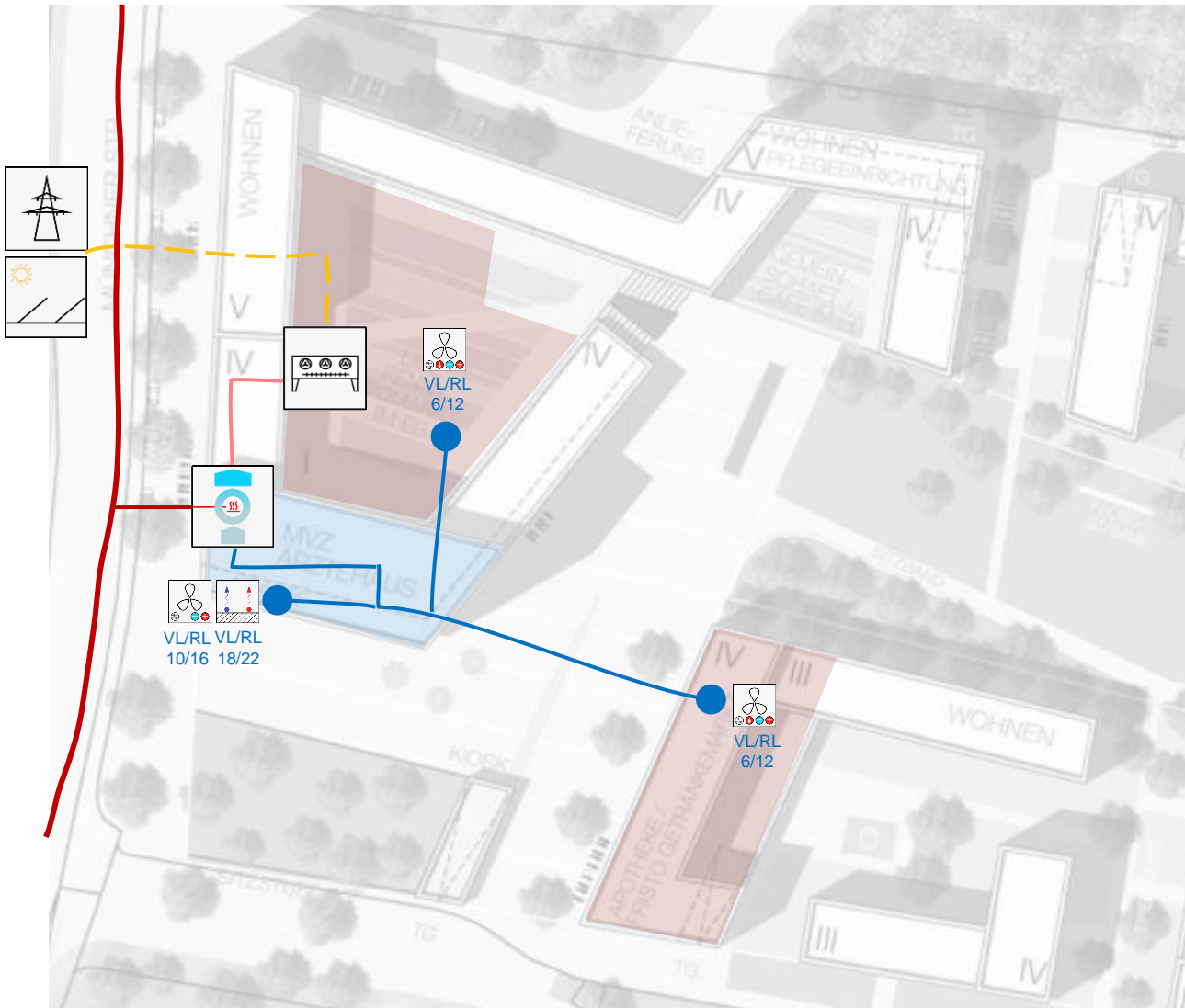
| | |
|-----------|-----------------------------|
| Netzstrom | 44.000 €² |
|-----------|-----------------------------|

Investitionskosten

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| Kältemaschine + Rückkühler | 140.000 € ¹ |
| Rohrleitungen | 14.000 € ¹ |
| Fundament Rückkühler | 10.000 € ¹ |
| Pumpe | 7.000 € ¹ |
| Summe | 177.000 €¹ |

¹ inkl. 19% UST ² inkl. 16% UST

Variante 2: Absorptionskältemaschine mit adiabatem Rückkühler



Eigene Darstellung basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

Absorptionskältemaschine | Direktverflüssigung mit adiabatem Rückkühler an Außenluft

Vorteile

- Antriebsenergie Fernwärme mit gutem Primärenergiefaktor und THG-Faktor verfügbar

Nachteile

- Hoher Wartungsaufwand durch adiabaten Rückkühler
- Schallemission

Energiemengen

| | |
|-----------------|-----------|
| Strombedarf | 20 MWh/a |
| Fernwärme | 510 MWh/a |
| Erzeugte Kälte | 395 MWh/a |
| Wärmeverhältnis | 0,78 |

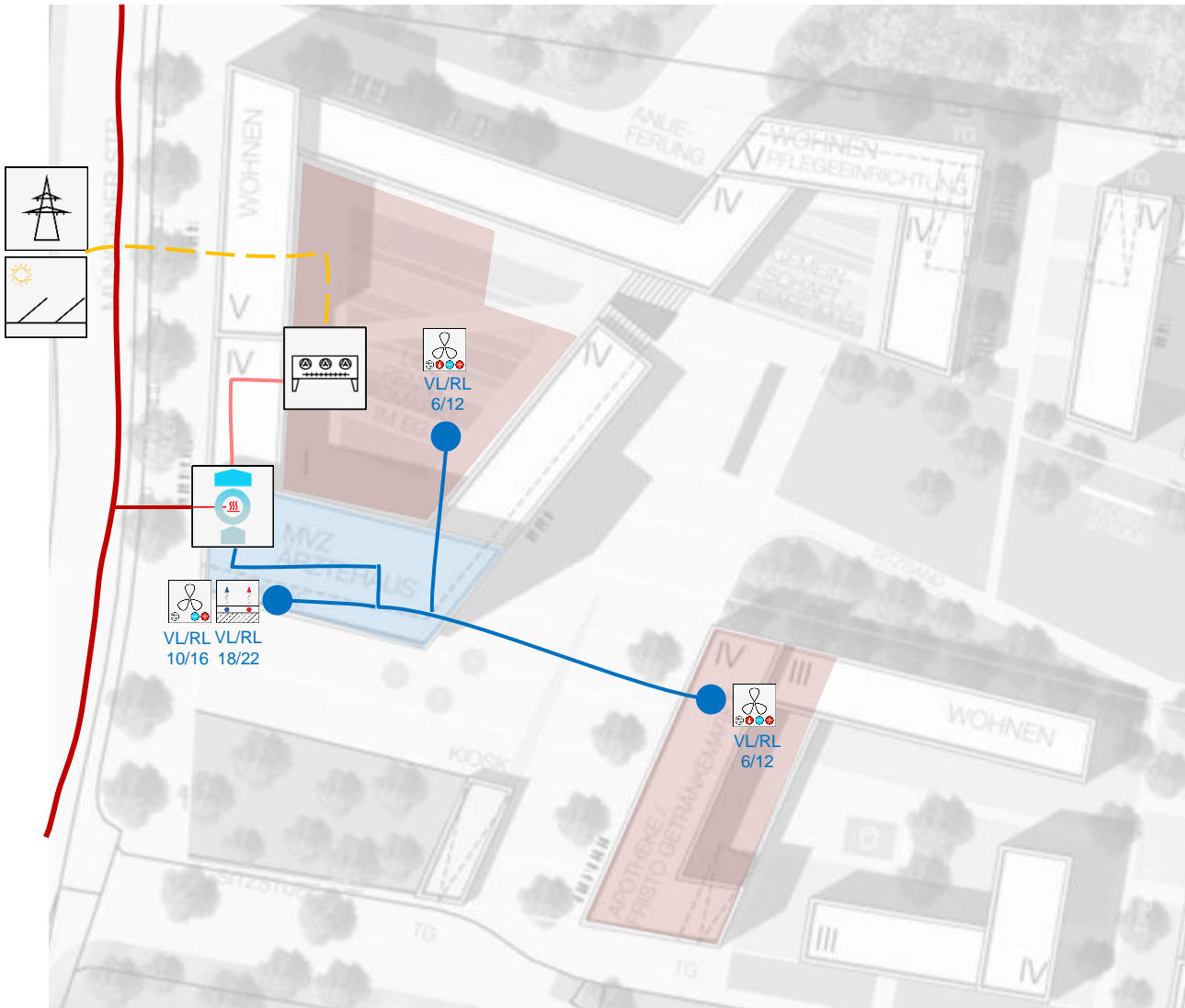
Jährliche Verbrauchskosten

| | |
|-----------|-----------------|
| Netzstrom | 7.900 € |
| Fernwärme | 51.000 € |

Investitionskosten

| | |
|-----------------------------|------------------|
| Kältemaschine + Komponenten | 330.000 € |
| Rohrleitungen | 16.000 € |
| Fundament Rückkühler | 10.000 € |
| Pumpe | 11.000 € |
| Summe | 367.000 € |

Variante 2: Absorptionskältemaschine mit adiabatem Rückkühler – Bruttokosten



Eigene Darstellung basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

Absorptionskältemaschine | Direktverflüssigung mit adiabatem Rückkühler an Außenluft

Vorteile

- Antriebsenergie Fernwärme mit gutem Primärenergiefaktor und THG-Faktor verfügbar

Nachteile

- Hoher Wartungsaufwand durch adiabaten Rückkühler
- Schallemission

Energiemengen

| | |
|-----------------|-----------|
| Strombedarf | 20 MWh/a |
| Fernwärme | 510 MWh/a |
| Erzeugte Kälte | 395 MWh/a |
| Wärmeverhältnis | 0,78 |

Jährliche Verbrauchskosten

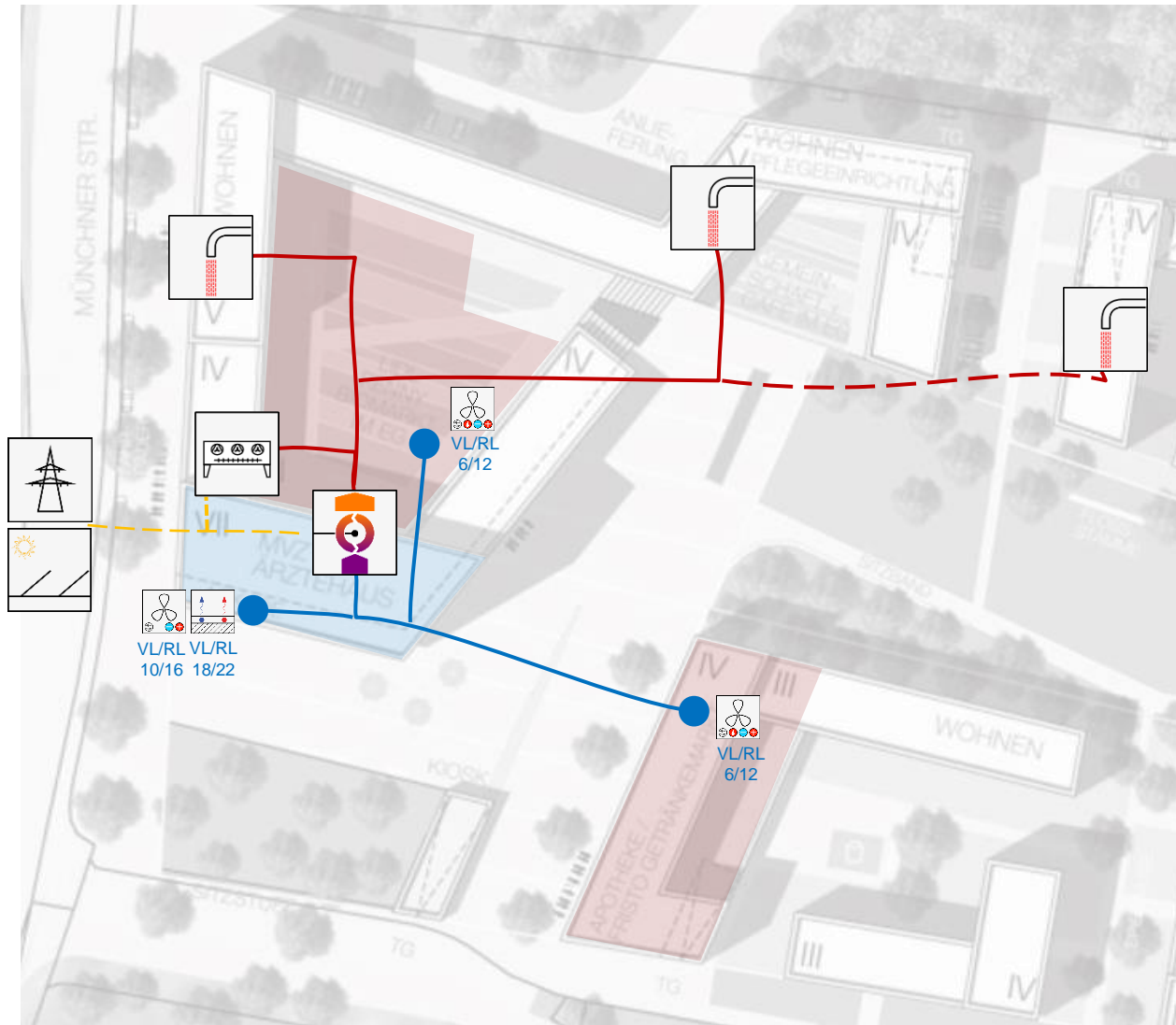
| | |
|-----------|-----------------------------|
| Netzstrom | 9.200 €² |
| Fernwärme | 54.500 €³ |

Investitionskosten

| | |
|-----------------------------|------------------------------|
| Kältemaschine + Komponenten | 393.000 € ¹ |
| Rohrleitungen | 19.000 € ¹ |
| Fundament Rückkühler | 12.000 € ¹ |
| Pumpe | 13.000 € ¹ |
| Summe | 437.000 €¹ |

¹ inkl. 19% UST ² inkl. 16% UST ³ inkl. 7% UST

Variante 3: CO₂-Wärmepumpe und Wärmerückgewinnung



Eigene Darstellung basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

CO₂-Wärmepumpe | Abwärmenutzung für die Warmwasserbereitung

Vorteile

- Hohe gesamtenergetische Effizienz durch doppelten Nutzen
- Natürliches Kältemittel

Nachteile

- Rückkühlwerk weiterhin erforderlich

Energiemengen

| | |
|--------------------------|-----------|
| Strombedarf | 145 MWh/a |
| Erzeugte Kälte | 395 MWh/a |
| Nutzbare Wärme | 500 MWh/a |
| Leistungszahl Kälte | 2,7 |
| Gesamt Jahresarbeitszahl | 6,2 |

Jährliche Verbrauchskosten

| | |
|-----------------|------------------|
| Netzstrom | 60.000 € |
| Ersparnis Wärme | -50.000 € |

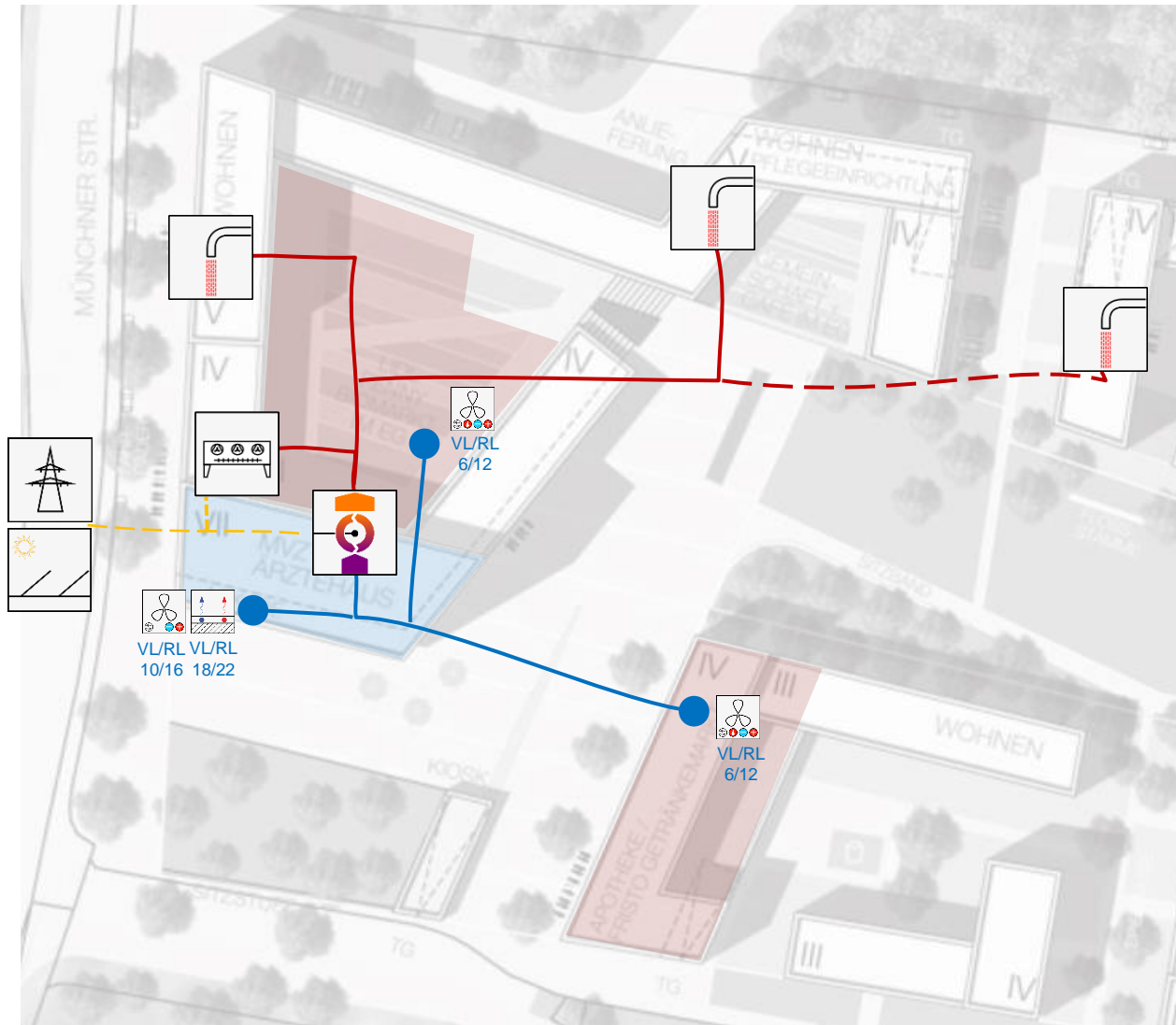
Investitionskosten

| | |
|---|-----------|
| CO ₂ Wärmepumpe + Rückkühler | 180.000 € |
| Rohrleitungen | 24.000 € |
| Fundament Rückkühler | 10.000 € |
| Größerer Pufferspeicher | 10.000 € |

Summe **224.000 €**

Bei Versorgung weiterer Baufelder **793.000 €**

Variante 3: CO₂-Wärmepumpe und Wärmerückgewinnung – Bruttokosten



Eigene Darstellung basierend auf delaossaarchitekten | NRT Landschaftsarchitekten | HVI Unterföhring

CO₂-Wärmepumpe | Abwärmenutzung für die Warmwasserbereitung

Vorteile

- Hohe gesamtenergetische Effizienz durch doppelten Nutzen
- Natürliches Kältemittel

Nachteile

- Rückkühlwerk weiterhin erforderlich

Energiemengen

| | |
|--------------------------|-----------|
| Strombedarf | 145 MWh/a |
| Erzeugte Kälte | 395 MWh/a |
| Nutzbare Wärme | 500 MWh/a |
| Leistungszahl Kälte | 2,7 |
| Gesamt Jahresarbeitszahl | 6,2 |

Jährliche Verbrauchskosten

| | |
|-----------------|------------------------------|
| Netzstrom | 69.200 €² |
| Ersparnis Wärme | -53.500 €³ |

Investitionskosten

| | |
|---|------------------------|
| CO ₂ Wärmepumpe + Rückkühler | 215.000 € ¹ |
| Rohrleitungen | 29.000 € ¹ |
| Fundament Rückkühler | 12.000 € ¹ |
| Größerer Pufferspeicher | 12.000 € ¹ |

Summe **287.000 €¹**

Bei Versorgung weiterer Baufelder **944.000 €¹**

¹ inkl. 19% UST ² inkl. 16% UST ³ inkl. 7% UST

Kostenparameter

Kostenschätzung Variante 1 - KKM TRK

| Bezeichnung | Anzahl | Einheit | Einheitspreis | Einheit | Summe |
|-------------------------------------|--------|---------|---------------|---------|------------------|
| Fundament Rückkühler | 1 | [Stk] | 10.000 | [€] | 10.000 € |
| Rückkühler | 1 | [Stk] | 35.000 | [€] | 35.000 € |
| Rohrleitungen | 80 | [m] | 170 | [€/m] | 13.600 € |
| Umwälzpumpe | 1 | [Stk] | 7.000 | [€/Stk] | 7.000 € |
| Kompressionskälte inkl. Komponenten | 1 | [Stk] | 82.975 | [€] | 82.975 € |
| Summe | | | | | 148.575 € |

Kostenschätzung Variante 2 - AKM

| Bezeichnung | Anzahl | Einheit | Einheitspreis | Einheit | Summe |
|--|--------|---------|---------------|---------|------------------|
| Fundament Rückkühler | 1 | [Stk] | 10.000 | [€/Stk] | 10.000 € |
| Absorptionskälteanlage inkl. Komponenten | 1 | [Stk] | 330.000 | [€/Stk] | 330.000 € |
| Umwälzpumpe | 1 | [Stk] | 11.000 | [€/Stk] | 11.000 € |
| Rohrleitungen | 80 | [m] | 200 | [€/m] | 16.000 € |
| Summe | | | | | 367.000 € |

Kostenschätzung Variante 3 - CO2-WP

| Bezeichnung | Anzahl | Einheit | Einheitspreis | Einheit | Summe |
|--|--------|---------|---------------|---------|------------------|
| Fundament Rückkühler | 1 | [Stk] | 10.000 | [€/Stk] | 10.000 € |
| Rückkühler | 1 | [Stk] | 40.000 | [€/Stk] | 40.000 € |
| Mehrkosten Pufferspeicher | 1 | [Stk] | 10.000 | [€/Stk] | 10.000 € |
| Rohrleitungen | 150 | [m] | 160 | [€/m] | 24.000 € |
| Rohrleitungen zur Anbindung weiterer Baufelder | 820 | [Tm] | 600 | [€/Tm] | 492.000 € |
| Einbindung in weiteren Baufeldern | 6 | [Stk] | 10.000 | [€/Stk] | 60.000 € |
| Umwälzpumpen BF 1 + weitere BF | 2 | [Stk] | 8.500 | [€/Stk] | 17.000 € |
| CO2-Wärmepumpe inkl. Komponenten | 1 | [Stk] | 140.400 | [€/Stk] | 140.400 € |
| Summe | | | | | 793.400 € |

Nur bei Versorgung
weiterer Baufelder

| Kostenschätzung Variante 1 - KKM TRK | | | | | |
|--------------------------------------|--------|---------|---------------|---------|------------------|
| Bezeichnung | Anzahl | Einheit | Einheitspreis | Einheit | Summe |
| Fundament Rückkühler | 1 | [Stk] | 11.900 | [€] | 11.900 € |
| Rückkühler | 1 | [Stk] | 41.650 | [€] | 41.650 € |
| Rohrleitungen | 80 | [m] | 202 | [€/m] | 16.184 € |
| Umwälzpumpe | 1 | [Stk] | 8.330 | [€/Stk] | 8.330 € |
| Kompressionskälte inkl. Komponenten | 1 | [Stk] | 98.740 | [€] | 98.740 € |
| Summe | | | | | 176.804 € |

| Kostenschätzung Variante 2 - AKM | | | | | |
|--|--------|---------|---------------|---------|------------------|
| Bezeichnung | Anzahl | Einheit | Einheitspreis | Einheit | Summe |
| Fundament Rückkühler | 1 | [Stk] | 11.900 | [€/Stk] | 11.900 € |
| Absorptionskälteanlage inkl. Komponenten | 1 | [Stk] | 392.700 | [€/Stk] | 392.700 € |
| Umwälzpumpe | 1 | [Stk] | 13.090 | [€/Stk] | 13.090 € |
| Rohrleitungen | 80 | [m] | 238 | [€/m] | 19.040 € |
| Summe | | | | | 436.730 € |

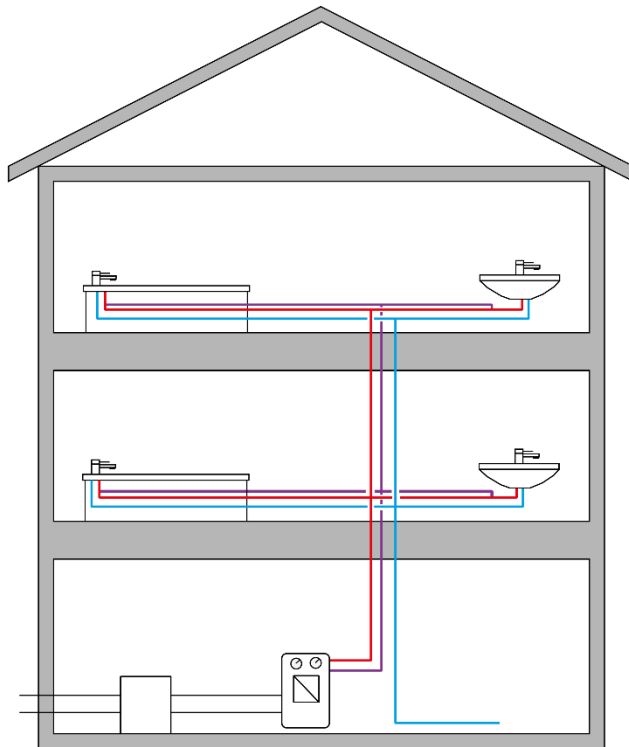
| Kostenschätzung Variante 3 - CO2-WP | | | | | |
|--|--------|---------|---------------|---------|------------------|
| Bezeichnung | Anzahl | Einheit | Einheitspreis | Einheit | Summe |
| Fundament Rückkühler | 1 | [Stk] | 11.900 | [€/Stk] | 11.900 € |
| Rückkühler | 1 | [Stk] | 47.600 | [€/Stk] | 47.600 € |
| Mehrkosten Pufferspeicher | 1 | [Stk] | 11.900 | [€/Stk] | 11.900 € |
| Rohrleitungen | 150 | [m] | 190 | [€/m] | 28.560 € |
| Rohrleitungen zur Anbindung weiterer Baufelder | 820 | [Tm] | 714 | [€/Tm] | 585.480 € |
| Einbindung in weiteren Baufeldern | 6 | [Stk] | 11.900 | [€/Stk] | 71.400 € |
| Umwälzpumpen BF 1 + weitere BF | 2 | [Stk] | 10.115 | [€/Stk] | 20.230 € |
| CO2-Wärmepumpe inkl. Komponenten | 1 | [Stk] | 167.076 | [€/Stk] | 167.076 € |
| Summe | | | | | 944.146 € |

Nur bei Versorgung
weiterer Baufelder

¹ inkl. 19% UST

Warmwasserbereitung

Frischwasserstation mit Zirkulation



- Trinkwarmwasserleitung
- Trinkkaltwasserleitung
- Zirkulationsleitung

Ein gedämmter Wasserspeicher dient als Puffer („Frischwasserstation“). Der Speicher enthält Heizungswasser. Eine Zirkulation ist aufgrund der langen Leitungswege gemäß DIN 1988 Teil 200 erforderlich. Das warme Wasser aus dem oberen, heißen Bereich des Speichers wird zu sämtlichen Zapfstellen und über eine dezidierte Leitung im Kreis zurück zur Frischwasserstation geführt. Nur bei Zapfung wird dem Kreislauf auch tatsächlich Warmwasser entnommen. Das Wasser muss mindestens 60°C heiß sein und darf nicht kälter als 55°C bzw. um nicht mehr als 5 Kelvin abgekühlt zurückkommen. Entsprechend treten bei der Zirkulation dauerhaft Wärmeverluste auf. Daher ist darauf zu achten, dass das Trinkwarmwassernetz so kurz wie möglich ist. Die Zirkulation in der Vorwandinstallation führt zu einem verstärkten Wärmeübertrag in die Kaltwasserinstallation, wodurch Kaltwassertemperaturen über 20°C ansteigen können. Daraus folgt erhöhte Legionellengefahr im Kaltwasser.

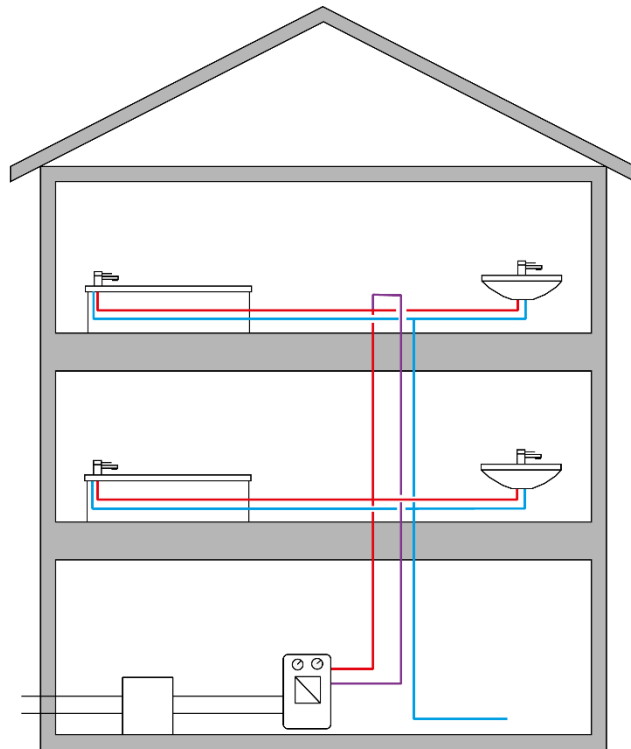
Vorteile:

- Niedrige Investitionskosten
- Keine Auswirkungen auf den Grundriss von Wohnungen

Nachteile:

- Hohe Bereitschaftsverluste durch Zirkulation
- Problematische Trinkkaltwasserhygiene (Wärmeübertragung)
- Flächenbedarf
 - für Speichereinheit in Technikzentrale
 - für Zirkulationsleitung im Schacht

Frischwasserstation mit verkürzter Zirkulation



- Trinkwarmwasserleitung
- Trinkkaltwasserleitung
- Zirkulationsleitung

| Rohrart | Nennweite DN | Wasserinhalt l/m | zulässige Rohrlänge Spüle/Waschtisch m | zulässige Rohrlänge Dusche/Badewanne m |
|----------------------------------|--------------|------------------|--|--|
| Mapres Edelstahl (Systemrohr) | 10 | 0,079 | 8,9 | 19 |
| | 12 | 0,133 | 5,3 | 11,3 |
| | 15 | 0,201 | 3,5 | 7,5 |
| | 20 | 0,302 | 2,3 | 5 |
| | 25 | 0,514 | 1,4 | 2,9 |
| Geberit Mepla (Metalverbundrohr) | 12 | 0,103 | 6,8 | 14,6 |
| | 15 | 0,176 | 4 | 8,5 |
| | 20 | 0,314 | 2,2 | 4,8 |
| | 25 | 0,531 | 1,3 | 2,8 |

Optimierung zur Frischwasserstation mit Zirkulation:

Das warme Wasser aus dem oberen, heißen Bereich des Speichers wird je Wohneinheit nur über die nahegelegenen Zapfstellen und über eine dezidierte Leitung im Kreis zurück zur Frischwasserstation geführt. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die maximale Ausstoßzeit (40-grädiges Wasser nach 10 Sekunden) auch bei der am weitesten von der Zirkulation entfernten Zapfstelle eingehalten wird.

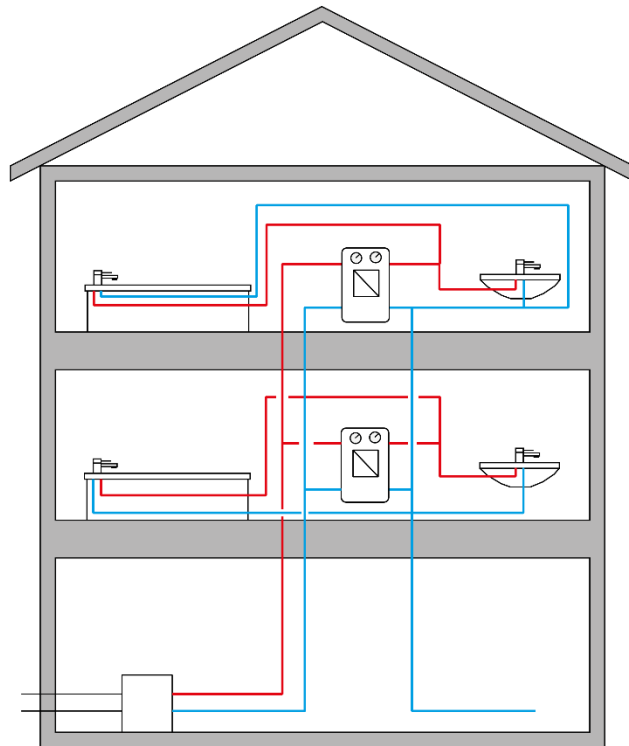
Vorteile:

- Niedrige Investitionskosten
- Geringe Bereitschaftsverluste

Nachteile:

- Auswirkungen auf den Grundriss von Wohnungen (Anordnung Zapfstellen)
- Beschränkte Trinkwarmwasserhygiene
- Flächenbedarf
 - für Speichereinheit in Technikzentrale
 - für Zirkulationsleitung im Schacht

Wohnungsübergabestation ohne Zirkulation



— Warmwasserleitung
— Kaltwasserleitung

| Rohrart | Nennweite DN | Wasserinhalt l/m | zulässige Rohrlänge Spüle/Waschtisch m | zulässige Rohrlänge Dusche/Badewanne m |
|----------------------------------|--------------|------------------|--|--|
| Mapres Edelstahl (Systemrohr) | 10 | 0,079 | 8,9 | 19 |
| | 12 | 0,133 | 5,3 | 11,3 |
| | 15 | 0,201 | 3,5 | 7,5 |
| | 20 | 0,302 | 2,3 | 5 |
| | 25 | 0,514 | 1,4 | 2,9 |
| Geberit Mepla (Metalverbundrohr) | 12 | 0,103 | 6,8 | 14,6 |
| | 15 | 0,176 | 4 | 8,5 |
| | 20 | 0,314 | 2,2 | 4,8 |
| | 25 | 0,531 | 1,3 | 2,8 |

Eigene Darstellung

Eine Wohnungsübergabestation ist nur dann möglich, wenn der Wasserinhalt der Leitung zur am weitest entfernten Zapfstelle kleiner 3 Liter ist. Gemäß Merkblatt DVGW 551 kann dann auf eine Zirkulation verzichtet werden und die sekundärseitige TWW-Temperatur auf 45-50°C abgesenkt werden. Noch besser ist ein maximaler Leitungsinhalt von 1,5 Liter, um die Wartezeit zu verkürzen.

Die geringeren Temperaturen sowie die kürzeren Zirkulationswege tragen signifikant zur Reduktion der Verluste in der TWW-Bereitstellung bei. Dadurch können auch besonders niedrige Rücklauftemperaturen von < 40°C erreicht werden.

Für eine gute Zugänglichkeit im Wartungsfall sollten die Wohnungsübergabestationen im Treppenhauseingang angebracht werden. Dadurch können sich lange Wege zu den Zapfstellen in den Wohnungen ergeben.

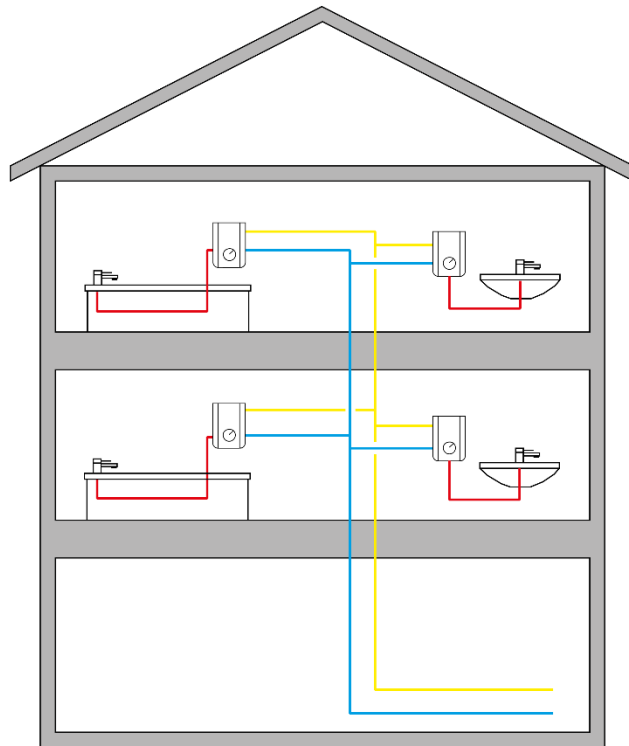
Vorteile:

- Sehr hohe Effizienz aufgrund niedriger Systemtemperaturen in Verbindung mit Wärmepumpen
- Gute Trinkwasserhygiene
- Geringe Bereitschaftsverluste

Nachteile:

- Hohe Investitionskosten
- Höherer Wartungsaufwand aufgrund Kleinteiligkeit
- Auswirkungen auf den Grundriss der Wohnungen (Anordnung Zapfstellen)

Elektrische Durchlauferhitzer



- Trinkwarmwasserleitung
- Trinkkaltwasserleitung
- Stromleitung

Bei elektrischen Durchlauferhitzern wird de facto nur das Wasser erhitzt, das benötigt wird. Es treten kaum Verteilverluste auf.

Die wasserseitige Installation ist sehr einfach, da nur die Kaltwasserleitung verlegt werden muss.

Der elektrische Installationsaufwand ist höher, da für jeden Durchlauferhitzer i.d.R. ein Drehstromanschluss benötigt wird.

Für Duschen werden hohe elektrische Leistungen benötigt. Dies kann aufgrund der hohen Betriebsströme pro Wohneinheit dazu führen, dass seitens des Versorgers aufwändigere Mess-/Zählsysteme gefordert werden.

Vorteile:

- Kaum Verluste
- Sehr gute Trinkwasserhygiene

Nachteile:

- Hohe Investitionskosten
- Hoher Energiebedarf
- Hoher elektrischer Leistungsbedarf, Installationsaufwand und ggf. Betriebskosten
- Nicht mit favorisiertem Kühlsystem kompatibel



Zirkulation 10s

Die Zirkulation wird so weit horizontal bis in die Wohnung verzogen, dass die Ausstoßzeit an der letzten Zapfstelle bei max. 10 Sekunden liegt.

Hybridvariante

Die Zirkulation wird nur im Steigstrang verlegt. In den Bädern kann die Ausstoßzeit eingehalten werden. Die Küche ist zu weit entfernt. Dort erfolgt die Warmwasserversorgung über einen elektrischen Durchlauferhitzer

Zwischenergebnis

In der Hybrid Variante liegt die mittlere Rücklauftemperatur bei ca. 32 °C. Der Energiebedarf kann deutlich reduziert werden. Bei der Variante „Zirkulation 10s“ liegt die Rücklauftemperatur über 50°C. Damit kann diese Variante nicht ausgeführt werden. **Konventionelle Zirkulationssysteme** bis zur letzten Zapfstelle **sind** dadurch ebenfalls **ausgeschlossen** !

In der Hybridvariante können in den Nachtstunden (kaum Zapfung) dennoch Spitzen über 45°C auftreten. In Abstimmung mit dem Versorger muss ein Mindestvolumenstrom gewährleistet werden (~0,2 m³/h).

| | | Zirkulation 10s | Hybridsystem | |
|-------------------------------|-----------|-----------------|--------------|---------------|
| Warmwasserbedarf | [kWh/m²a] | 11 | 8,25 | ● Zirkulation |
| Rohrleitungsverluste | [kWh/m²a] | 30 | 4 | ● Warmwasser |
| Wärmebedarf gesamt spezifisch | [kWh/m²a] | 41 | 12,25 | |
| Wärmebedarf gesamt absolut | [kWh/a] | 30.000 | 9.000 | |
| Verhältnis Zirku zu WW-Bedarf | [-] | 2,6 | 0,5 | |
| mittlere Rücklauftemperatur | [°C] | > 50 | 32 | |

Trinkwarmwasserbereitung: Richtlinien / Normen

DIN 1988 Teil 200

Kapitel 3.6:

„Bei bestimmungsgemäßem Betrieb darf maximal 30 Sekunden nach dem vollen Öffnen einer Entnahmestelle die Temperatur des Trinkwassers kalt 25 °C nicht übersteigen und die Temperatur des Trinkwassers warm muss mindestens 55 °C erreichen. Eine Ausnahme bilden Trinkwassererwärmer mit hohem Wasseraustausch und dezentrale Trinkwassererwärmer.“

Kapitel 9.7.2.1:

„Trinkwassererwärmer [sind] mit geringem Speichervolumen und mit Speicheraustrittstemperaturen ≥ 60 °C zu bevorzugen. Ausnahmen von diesen Grundsätzen können bei Trinkwassererwärmern [...] mit einem nachgeschaltetem Leitungsvolumen ≤ 3 l im Fließweg, zugelassen werden.“

Kapitel 9.7.2.4:

„Bei dezentralen Speicher-Trinkwassererwärmern, die der Versorgung einer Gruppe von Entnahmestellen dienen (Gruppenversorgung), z. B. innerhalb eines Badezimmers einer Wohnung, muss am Austritt aus dem Trinkwassererwärmer die Trinkwassertemperatur ≥ 50 °C betragen. Dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmer können ohne weitere Anforderungen betrieben werden, wenn das nachgeschaltete Leitungsvolumen von 3 l im Fließweg nicht überschritten wird.“

DVGW 551

Differenzierung nach Kleinanlagen:

- EFH / ZFH, unabhängig vom Inhalt des Trinkwassererwärmers / der Rohrleitung
- Anlagen mit Trinkwassererwärmern mit einem Inhalt ≤ 400 l und einem Inhalt ≤ 3 l in jeder Rohrleitung zwischen Abgang Trinkwassererwärmer und Entnahmestelle

→ keine Zirkulation notwendig!

Und Großanlagen:

- Anlagen mit Trinkwassererwärmern mit einem Inhalt > 400 l und einem Inhalt ≤ 3 l in jeder Rohrleitung zwischen Abgang Trinkwassererwärmer und Entnahmestelle

→ keine Zirkulation notwendig!

- Anlagen mit Trinkwassererwärmern mit einem Inhalt > 400 l und einem Inhalt > 3 l in jeder Rohrleitung zwischen Abgang Trinkwassererwärmer und Entnahmestelle

- Anlagen mit Trinkwassererwärmern mit einem Inhalt ≤ 400 l und einem Inhalt > 3 l in jeder Rohrleitung zwischen Abgang Trinkwassererwärmer und Entnahmestelle

→ Zirkulation notwendig!

Ausstoßzeiten:

Bei der TWW-Bereitung muss darauf geachtet werden, dass es bei einer Zapfung nicht zu lange dauert bis warmes Wasser kommt. Ein entsprechendes Gerichtsurteil (**AG Mitte, Urteil vom 25.04.2018 – 7 C 82/17**) dient zur Orientierung: 15 Sekunden nach dem Öffnen des Wasserhahns muss Wasser mit einer Temperatur von 40 Grad und nach 30 Sekunden von 55 Grad ausfließen.

Da die Rohrleitung durch das durchströmende Wasser auch aufgewärmt werden müssen, ist in folgender Tabelle die zulässige Rohrlänge bei einer rechnerischen Ausstoßzeit von 10 s angegeben.

| Rohrart | Nennweite DN | Wasserinhalt l/m | zulässige Rohrlänge Spüle/Waschtisch m | zulässige Rohrlänge Dusche/Badewanne m |
|----------------------------------|--------------|------------------|--|--|
| Mapres Edelstahl (Systemrohr) | 10 | 0,079 | 8,9 | 19 |
| | 12 | 0,133 | 5,3 | 11,3 |
| | 15 | 0,201 | 3,5 | 7,5 |
| | 20 | 0,302 | 2,3 | 5 |
| | 25 | 0,514 | 1,4 | 2,9 |
| Geberit Mepla (Metalverbundrohr) | 12 | 0,103 | 6,8 | 14,6 |
| | 15 | 0,176 | 4 | 8,5 |
| | 20 | 0,314 | 2,2 | 4,8 |
| | 25 | 0,531 | 1,3 | 2,8 |