



HOLSTENQUARTIER

CONSUS  
REAL ESTATE

# Holsten Quartier Hamburg

## Finale Fassung des mit BUKEA/FHH abgestimmten Energiekonzepts Mai 2021



DATUM: 25. Mai 2021

 **BAUMANN**  
CONSULTING

- | ERSTELLT

- | GEPRÜFT & FREIGEGERBE

## Inhaltsverzeichnis

- Einleitung Seite 3
- Teil A – Bedarfsermittlung pro Gebäude (Nov. 2019) Seite 4
- Teil B – Evaluierung Energiekonzept (Nov. 2019) Seite 23
- Teil C – Ganzheitliches Energie- & Versorgungskonzept (Feb. 2020) Seite 29
- Teil C – Anhang mit Detaillierten Analyseergebnissen (Feb. 2020) Seite 45
- Teil D – Abstimmung Einbindung Fernwärme (Jun. 2020 - überholt) Seite 53
- Teil E – Fortschreibung Energie- & Versorgungskonzept Feb. 2021 Seite 57

## Einführung

Die SSN Group ist Eigentümerin des Betriebsgeländes der Holsten-Brauerei in Hamburg-Altona. Auf dem etwa 8,6 ha großen Gelände soll zukünftig eine gemischte Nutzung aus Wohnen, Gastronomie, Büros, Hotel, Einzelhandel und einem Handwerkerhof entstehen.

## Aufgabenstellung

Das mit Datum 26.4.2019 von Averdung Ingenieure vorliegende Energiekonzept ist generell solide aufgebaut, betrachtet allerdings vorrangig die Wärmeerzeugung und beruht auf allgemeinen Annahmen und „groben Abschätzungen“. Die fünf Versorgungsvarianten beziehen sich ausschließlich auf die Wärmeerzeugung und betrachten lediglich den Gebäudeeffizienzstandard KfW55. Energieeffizienzstandards der Gebäude gemäß EnEV 2016 und KfW40 wurden zwar abgeschätzt, aber im Energieversorgungskonzept nicht weiter berücksichtigt. Variante 2 wurde bereits als Vorzugsvariante empfohlen.

Aufbauend auf den von Averdung Ingenieure vorliegenden Untersuchungen soll ein ganzheitliches Energie- und Versorgungskonzept erstellt werden, das mittels vereinfachten Simulationsmodellen dynamisch berechnete Energieverbrauchs- und -leistungswerte zugrunde legt. Hierbei werden alle Gebäude-Energiebedarfe für Wärme, Kälte und Strom berücksichtigt, um daraus ein technisch, ökologisch und wirtschaftlich optimiertes Versorgungskonzept mit klarem Leitbild zu entwickeln.

## Vorgehensweise

Ein abgestimmtes Leitbild für die energetische Konzeption des Quartiers sollte konkrete Zielvorgaben enthalten, die über die aktuellen

gesetzlichen Anforderungen hinausgehen. Diese können dann konsequent mit der weiteren Planung des Quartiers und der einzelnen Gebäude abgeglichen werden. Generell sollte der Ansatz wie folgt sein („Loading Order“):

1. Reduzierte Gebäudelasten durch passive Maßnahmen (z.B. Wärmedämmung gemäß Passivhausstandard, Maximierung solare Gewinne / Reduzierung solare Lasten durch Orientierung, natürliche Lüftung / Hybrid-Lüftung, etc.)
2. Energieversorgung mit hoher Vernetzung für maximale Flexibilität und effizienter Anlagentechnik
3. Einbindung regenerativer Energien (z.B. Solar, Geothermie, etc.)

Die Vorgehensweise im Rahmen dieser Beauftragung ist wie folgt:

- Teil A – Konkrete und detaillierte Bedarfsermittlung nach Plandaten für das Gesamtvorhaben mittels stündlicher Berechnung der Gebäude-Energiebedarfe für Wärme, Kälte und Strom für verschiedene Gebäudeeffizienzklassen (KfW55, KfW40, Passivhaus).
- Teil B – Evaluierung des mit Datum 26.4.2019 vorliegende Energiekonzepts von Averdung Ingenieure hinsichtlich Vollständigkeit, Annahmen, Bewertungsgrundlagen, Ergebnisse sowie die daraus abgeleiteten Empfehlungen.
- Teil C – Erstellung und Bewertung eines optimierten, ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzepts auf Basis der von Averdung empfohlenen Variante 2 sowie einer optimierten Variante mit Geothermienutzung in Anlehnung an Variante 4 aus dem Averdung Konzept.

# TEIL A – Bedarfsermittlung pro Gebäude

Konkrete und detaillierte Bedarfsermittlung nach Plandaten für das Gesamtvorhaben mittels stündlicher Berechnung der Gebäude-Energiebedarfe für Wärme, Kälte und Strom für verschiedene Gebäudeeffizienzklassen. Untersucht werden die folgenden Energie-Effizienz Varianten:

- „KfW 55“ | Heizwärmebedarf  $Q_h \leq 35 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  | Primärenergiebedarf  $Q_p \leq 55\%$  EnEV-Anforderung
- „KfW 40“ | Heizwärmebedarf  $Q_h \leq 25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  | Primärenergiebedarf  $Q_p \leq 40\%$  EnEV-Anforderung
- „Passivhaus“ | Heizwärmebedarf  $Q_h \leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  | Primärenergiebedarf  $Q_p \leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Alle Effizienz-Varianten haben die gleiche Gebäude Geometrien mit einem 30-40% Fensterflächenanteil. Die Wohngebäude haben eine Niedertemperatur-Fußbodenheizung und kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung. Die Nutzungen für Büro, Gewerbe, Hotel und KiTa gehen von Flächenheiz- und -kühlsystemen aus (Niedertemperaturheizung) in Verbindung mit mechanischer Lüftung mit Energie-Rückgewinnung. Aufgrund der Campus Wärmeversorgung mit Niedertemperatur (50/30°C) wird davon ausgegangen, dass die Trinkwarmwassererzeugung elektrisch erfolgt.

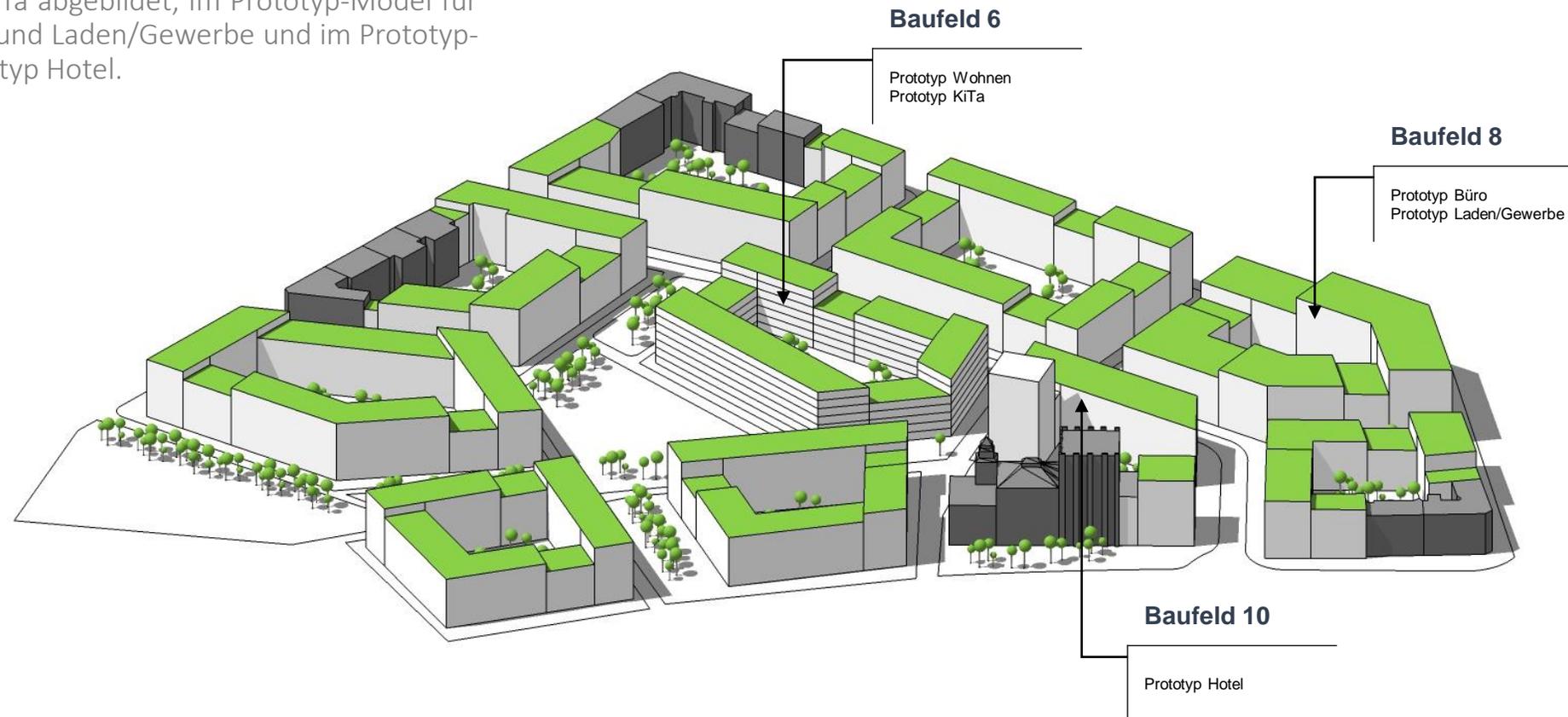
Für die Gebäudehülle werden die folgenden Werte angesetzt:

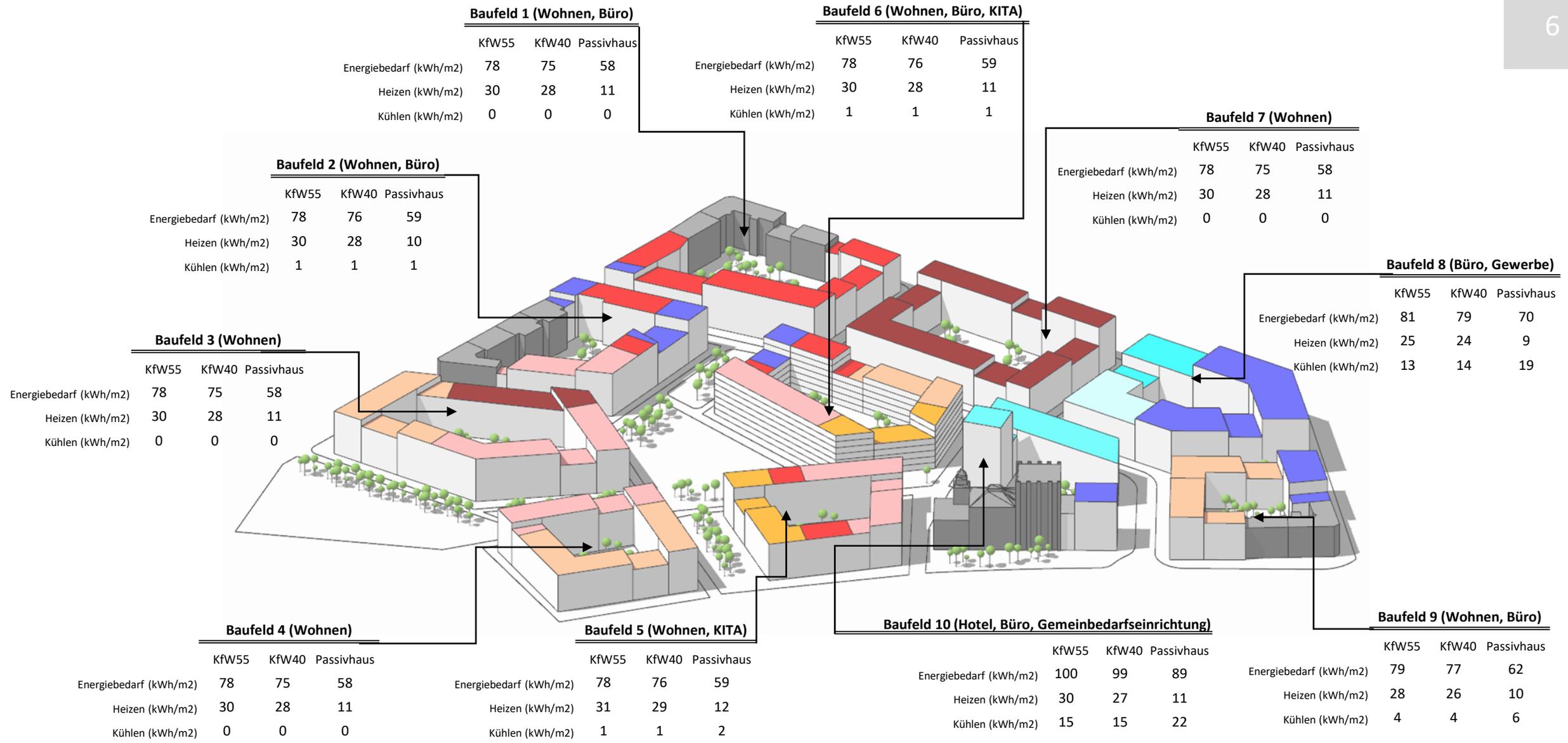
|       | $U_{\text{Wand}}$<br>[W/m <sup>2</sup> K] | $U_{\text{Dach}}$<br>[W/m <sup>2</sup> K] | $U_{\text{Fenster}}$<br>[W/m <sup>2</sup> K] | Luftdichtheit<br>[1/h @ 50 Pa] |
|-------|---|---|--|--------------------------------|
| KfW55 | 0.22                                      | 0.22                                      | 1.2  | 1.5                            |
| KfW40 | 0.20                                      | 0.20                                      | 1.1  | 1.5                            |
| PH    | 0.15                                      | 0.15                                      | 0.8  | 0.6                            |

Die Gebäude-Energieeffizienzklassen werden mittels vereinfachter Simulationsmodelle für alle relevanten Gebäude- und Nutzungsprototypen abgebildet, mit denen die Energieverbrauchs- und -leistungswerte für Wärme, Kälte und Strom dynamisch berechnet werden. Diese sind auf den Seiten 13-18 „Detaillierte Prototypenanalyse“ detailliert dokumentiert.

Die Grafik unten zeigt eine Übersicht über das gesamte Quartier. Alle Gebäude mit grün eingefärbten Dachflächen werden im Rahmen dieses Bearbeitungsumfangs auf Basis der tatsächlichen Planzahlen pro Gebäude und Nutzung berücksichtigt. Die ausgewiesenen Baufelder 6, 8 und 10 werden dabei mittels vereinfachten Modellen mit dynamischer Simulation berechnet und stündliche Energiebedarfswerte für Heizen, Kühlen und Strom berechnet. Im Prototyp-Modell für Baufeld 6 werden die Nutzungstypen Wohnen und KiTa abgebildet, im Prototyp-Modell für Baufeld 8 die Nutzungstypen Büro und Laden/Gewerbe und im Prototyp-Modell für Baufeld 10 der Nutzungstyp Hotel.

Die Grafik auf der nächsten Seite zeigt eine zusammenfassende Übersicht der berechneten spezifischen Energiebedarfswerte (gesamt, Heizen, und Kühlen in kWh/m<sup>2</sup>a) für alle Baufelder und für die drei Gebäude-Energieeffizienz-Varianten KfW55, KfW40 und Passivhaus. Die spezifischen Heizenergiekennwerte zeigen, dass die Zielwerte für die Energieeffizienz-Varianten erreicht werden. Alle detaillierten Ergebnisse finden sich in der Tabelle auf Seite 27.



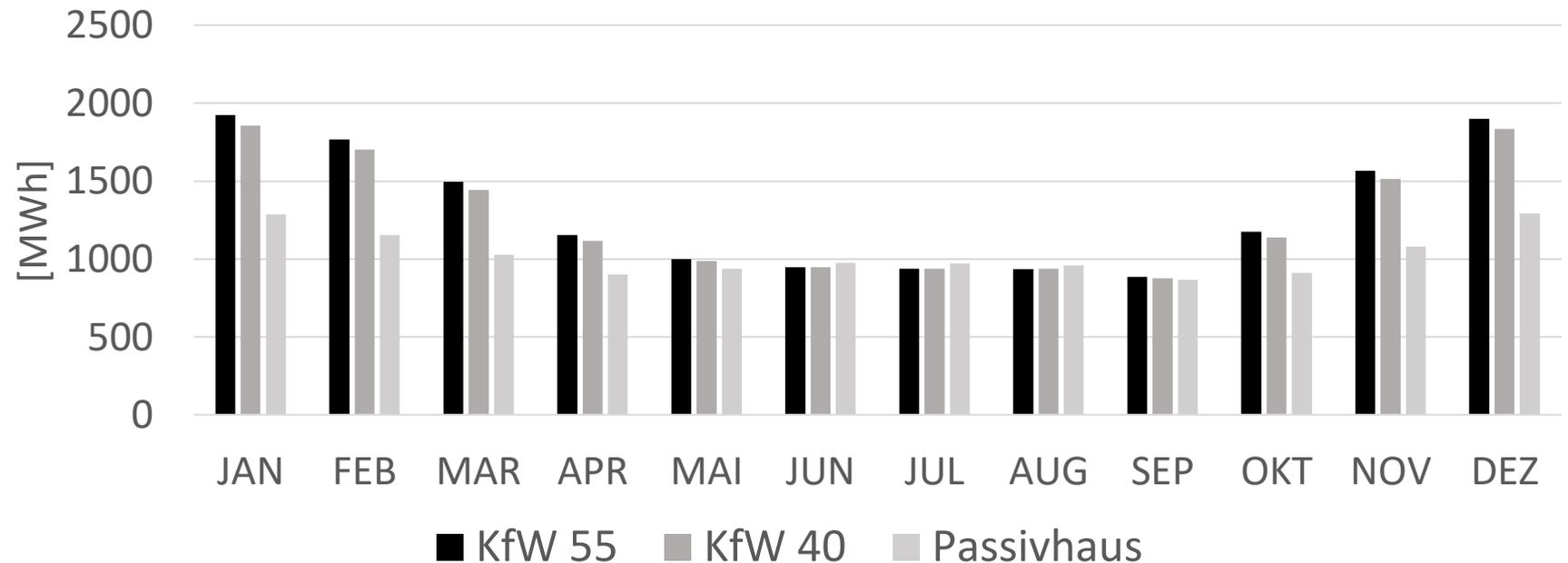


Das Diagramm unten zeigt den Gesamt-Energiebedarf für Wärme, Kälte und Strom für das gesamte Quartier pro Monat. Es werden die drei Energieeffizienz-Varianten KfW55, KfW40 und Passivhaus gegenüber gestellt. Die Wohngebäude werden dabei ohne Kühlung betrachtet.

Varianten KfW55 und KfW40 zeigen einen höheren Gesamtenergiebedarf in den Wintermonaten, der aus höherem Heizenergiebedarf gegenüber der Variante Passivhaus resultiert.

Demgegenüber hat die Variante Passivhaus einen leicht höheren Gesamtenergiebedarf in den Sommermonaten Juni, Juli und August, der aus dem aufgrund der höheren Gebäudedichtheit höheren Kühlbedarf resultiert.

### Endenergiebedarf gesamt ohne Kühlung für Wohngebäude



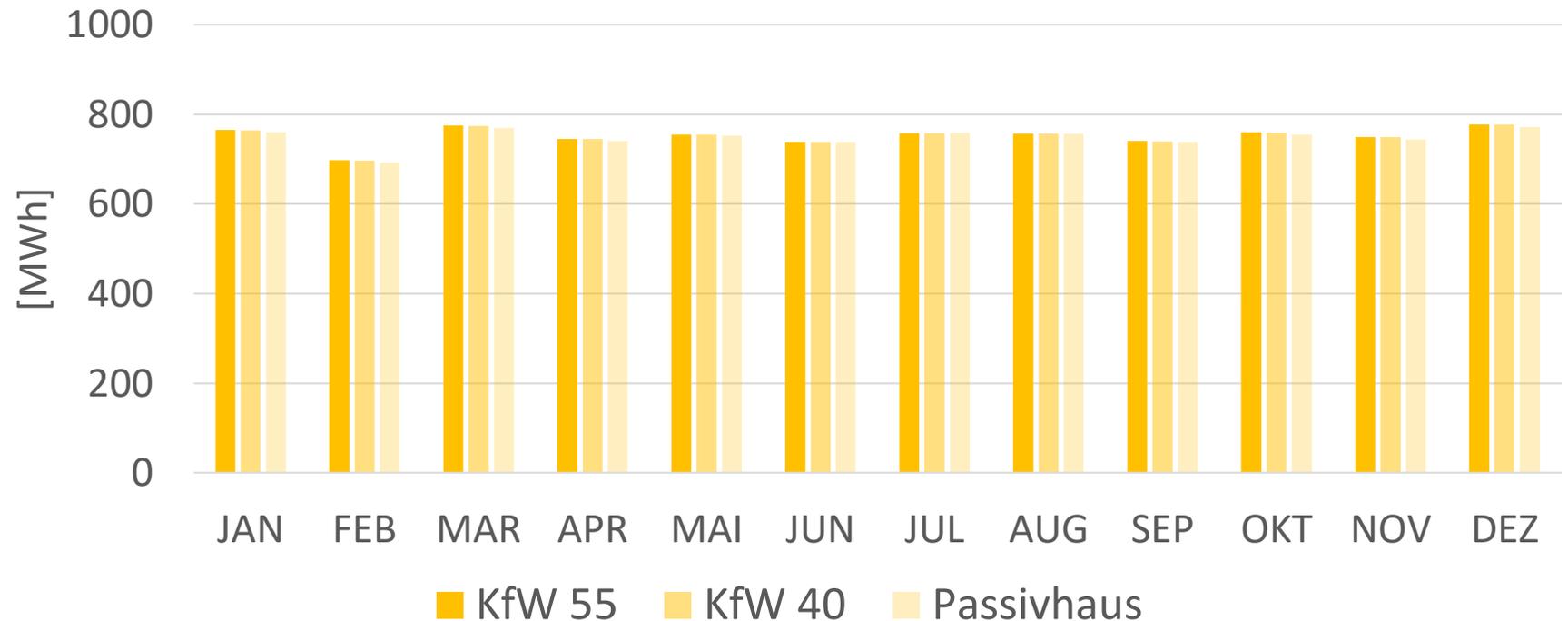
Das Diagramm unten zeigt den monatlichen Endenergiebedarf für Strom. Berücksichtigt sind alle Verbraucher im Gebäude wie Beleuchtung, Nutzgeräte/Arbeitshilfen (z.B. Küchengeräte, Bürogeräte, TV, Computer, etc.) sowie Strom für Trinkwarmwasserbereitung und Pumpen und Ventilatoren für die Wärme- und Kälteverteilung innerhalb der Gebäude.

Nicht berücksichtigt sind Strombedarf für zentrale Anlagen der Wärme- und Kälteversorgung (z.B. zentrale Wärmepumpen, Kältemaschinen). Diese werden im Teil 3 dieser Ausarbeitung berücksichtigt und im Rahmen des ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzepts bewertet.

Ebenfalls nicht berücksichtigt sind eventuelle erneuerbare Strom- bzw. generell Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen (z.B. Strom aus PV, Warmwasser aus Solarthermie).

Der Strombedarf ist deshalb einerseits sehr konstant über das Jahr (keine jahreszeitlichen Schwankungen) und unterscheidet sich kaum zwischen den Energieeffizienz-Varianten. Die Variante Passivhaus zeigt im Winter einen minimal reduzierten Strombedarf durch geringeren Pumpenstrom für die Heizwasserverteilung in den Gebäuden.

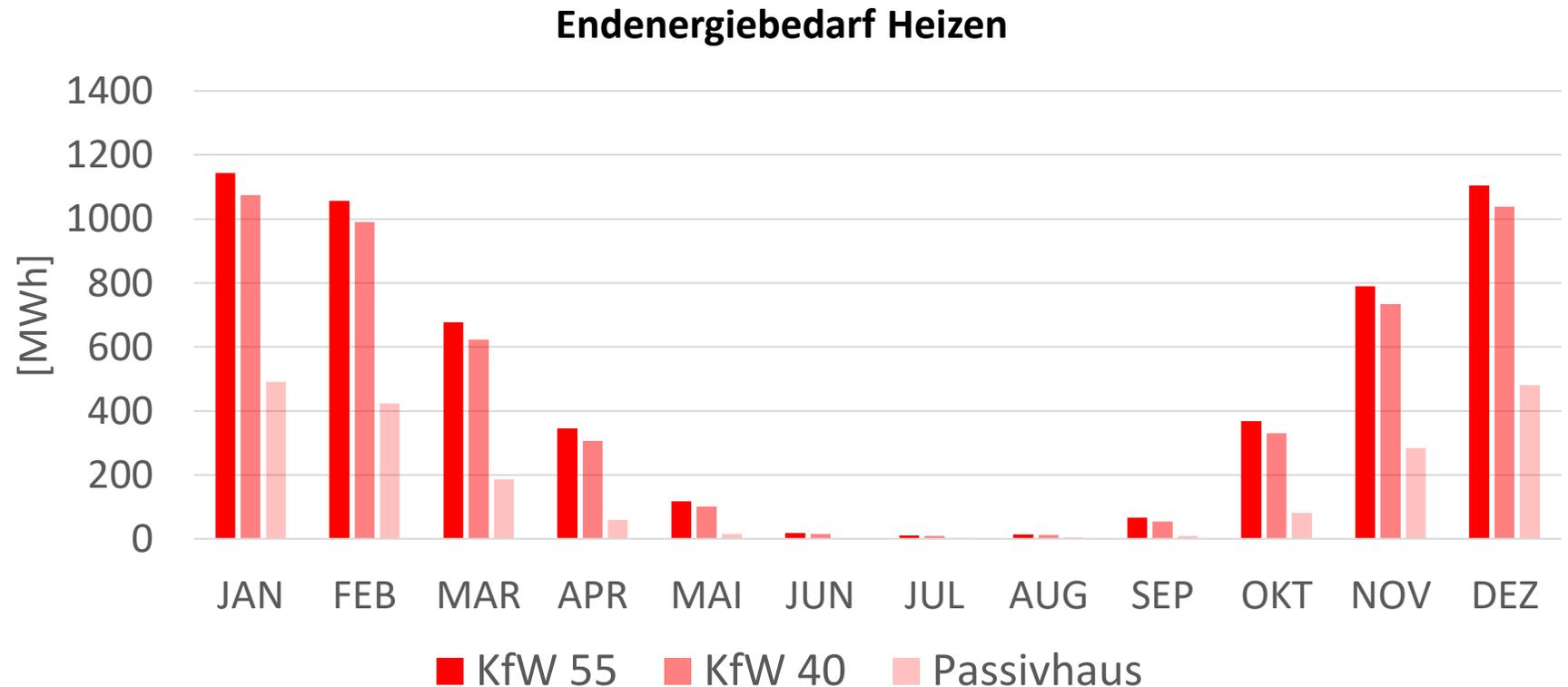
### Endenergiebedarf Strom



Das Diagramm unten zeigt den monatlichen Endenergiebedarf für Heizen. Trinkwarmwasserbereitung ist hier nicht berücksichtigt.

Es zeigt sich eine klare saisonale Abhängigkeit mit Heizwärmebedarf zwischen Oktober und April. Es zeigt sich außerdem ein deutlicher Unterschied zwischen den Effizienz-Varianten. Der monatliche Heizenergiebedarf der Variante KfW40 liegt rund 7-8% unter dem für KfW55. Der monatliche Heizenergiebedarf für die Effizienz-Variante

Passivhaus liegt rund 64% unter dem für KfW55. Neben dem besseren Wärmedämmstandard resultiert dies außerdem aus der höher angesetzten Luftdichtigkeit (d.h. geringere Infiltration).



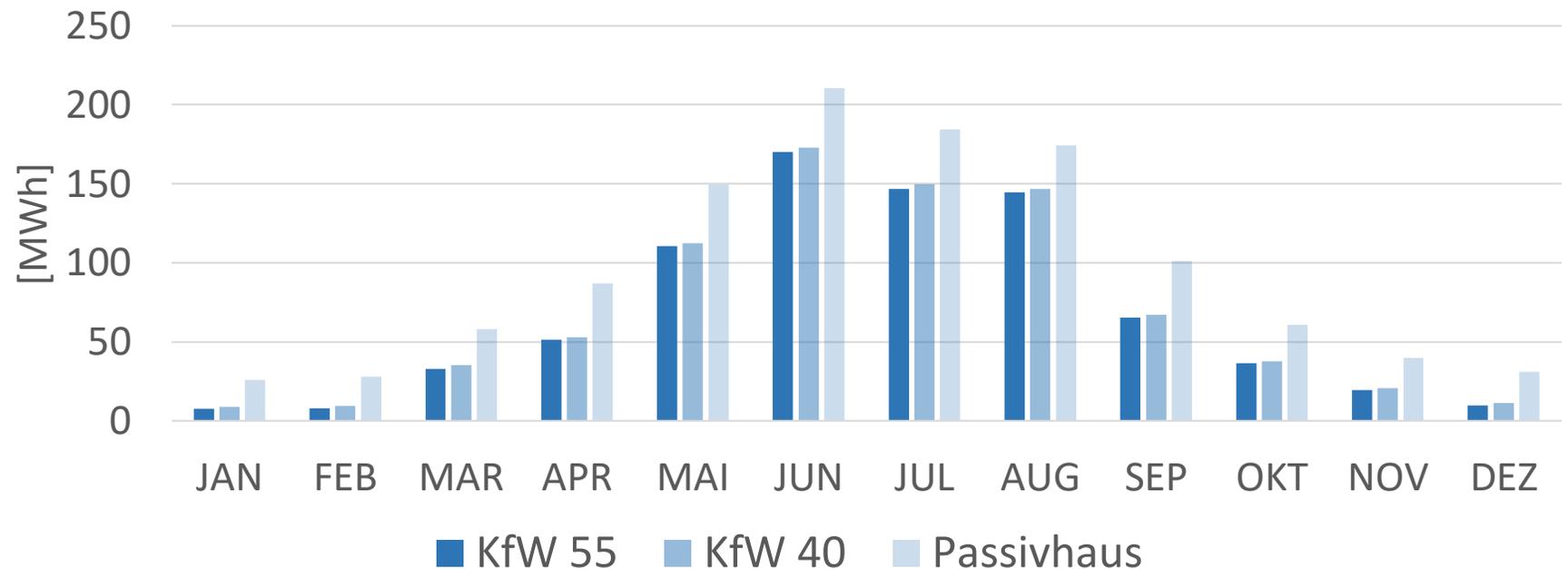
Das Diagramm unten zeigt den monatlichen Endenergiebedarf für Kühlen. Hierbei ist Kühlen für die Nutzungen Büro, Gewerbe, Hotel und KiTa berücksichtigt, jedoch nicht für Wohnen.

Es zeigt sich eine klare saisonale Abhängigkeit mit hohem Kühlbedarf in den Sommermonaten Mai bis August, sowie reduziertem Kühlbedarf in den Übergangsmonaten und im Winter. Diese resultieren in erster Linie aus dem guten Wärmedämmstandard in Verbindung mit höheren

internen Lasten bei den Nutzungen Büro und Hotel. Diese können in der weiteren Planung durch differenziertere Zonierung, Nutzung von freier Kühlung und detailliertere Modellierung reduziert und sogar eliminiert werden.

Der unterschiedliche Dämmstandard und die höhere Luftdichtheit zwischen den Effizienz-Varianten führt außerdem zu höherem Kühlbedarf bei der Variante KfW40 und Passivhaus.

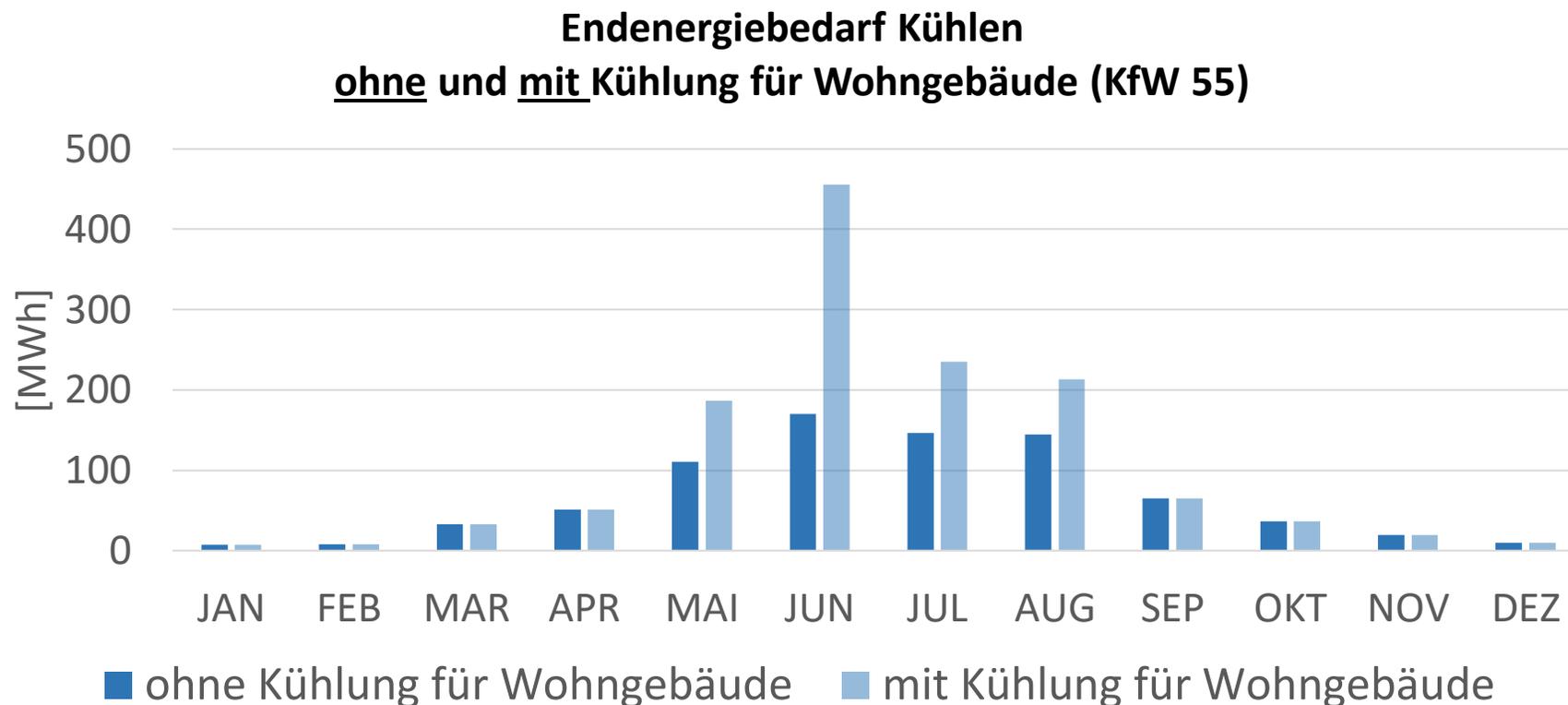
### Endenergiebedarf Kühlen ohne Kühlung für Wohngebäude



Das Diagramm unten zeigt den monatlichen Endenergiebedarf für Kühlen für die Effizienz-Variante KfW55 im Vergleich bei Kühlung der Wohngebäude. Das Szenario mit Kühlung für die Nutzung Wohnen wurde untersucht, da damit bei einem Energieversorgungskonzept mit Geothermie das Erdsondenfeld regeneriert werden kann. Bei der Kälteerzeugung mittels Wärmepumpe fällt Abwärme an (ähnlich wie bei einem Kühlschranks), die in den Untergrund eingespeist wird und zur

Regeneration der beim Heizfall entzogenen Wärme führt. Dieser Effekt wird im Teil 3 dieser Ausarbeitung näher untersucht und bewertet inwieweit dadurch bei Versorgungsvariante 4 auf die Nutzung eines Eisspeichers sowie PVT verzichtet werden kann.

Es zeigt sich, dass der Kältebedarf für Wohnungskühlung ausschließlich in den Sommermonaten Mai bis August anfällt.

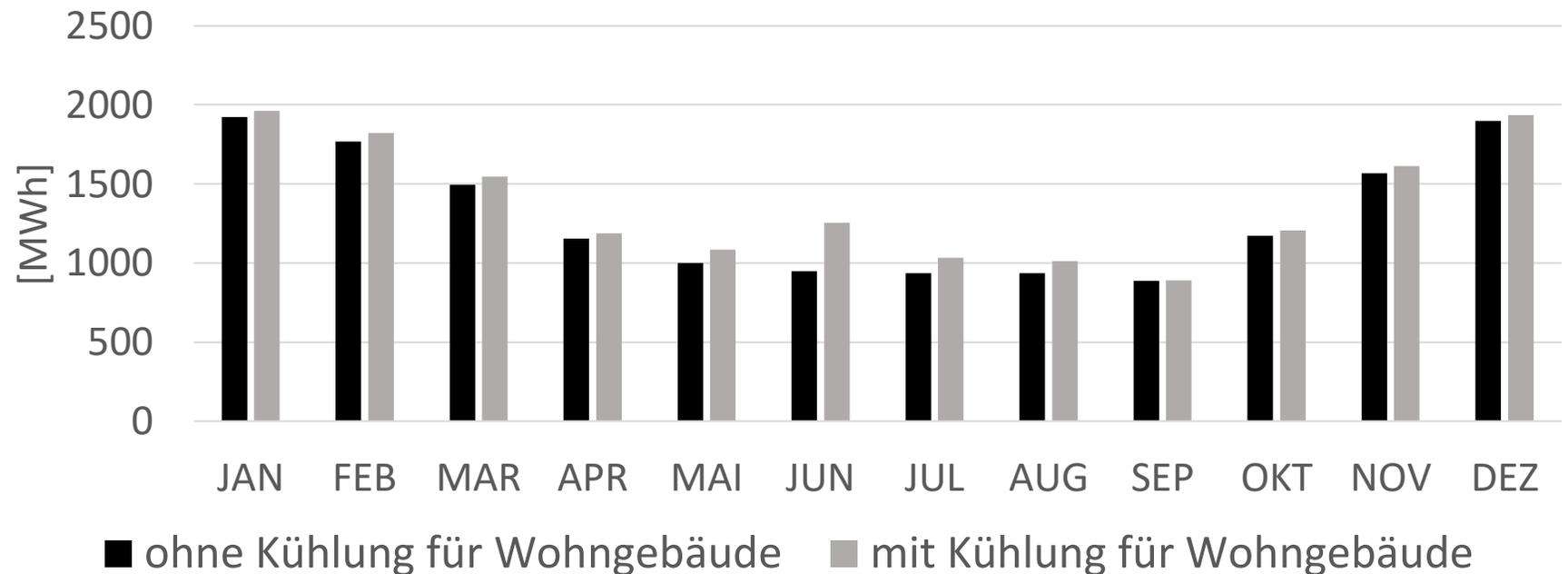


Das Diagramm unten zeigt den monatlichen Gesamt-Endenergiebedarf (Heizen, Kühlen, Strom) für die Effizienz-Variante KfW55 im Vergleich ohne und mit Kühlung der Wohngebäude.

Es zeigt sich, dass der Gesamt-Endenergiebedarf lediglich um 4-5% steigt, bei gleichzeitig signifikantem Nutzen und Mehrwert für den Campus durch die Möglichkeit zur sommerlichen Kühlung von rund 1.370 Wohneinheiten. Es sollte angemerkt werden, dass hier keine

Unterscheidung gemacht wird zwischen Wohntyp „Miete“, „Gefördert“, „ETW“ oder „Baugemeinschaft“.

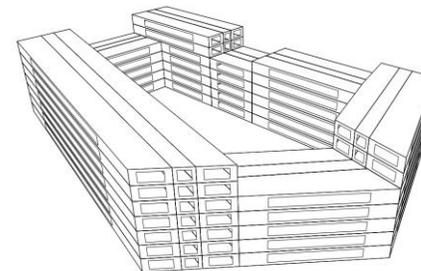
### Endenergiebedarf gesamt ohne und mit Kühlung für Wohngebäude (KfW 55)



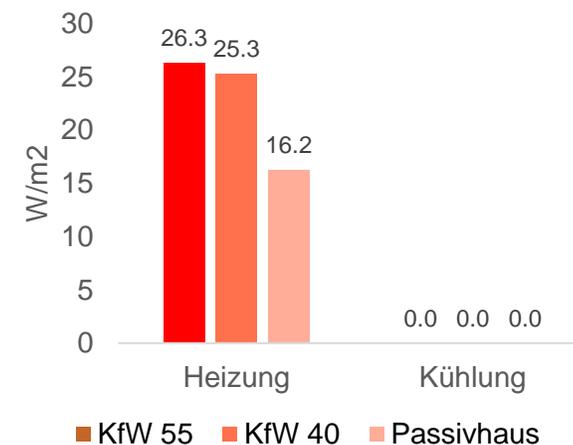
# WOHNUNG OHNE KÜHLUNG INPUTS & ERGEBNISSE



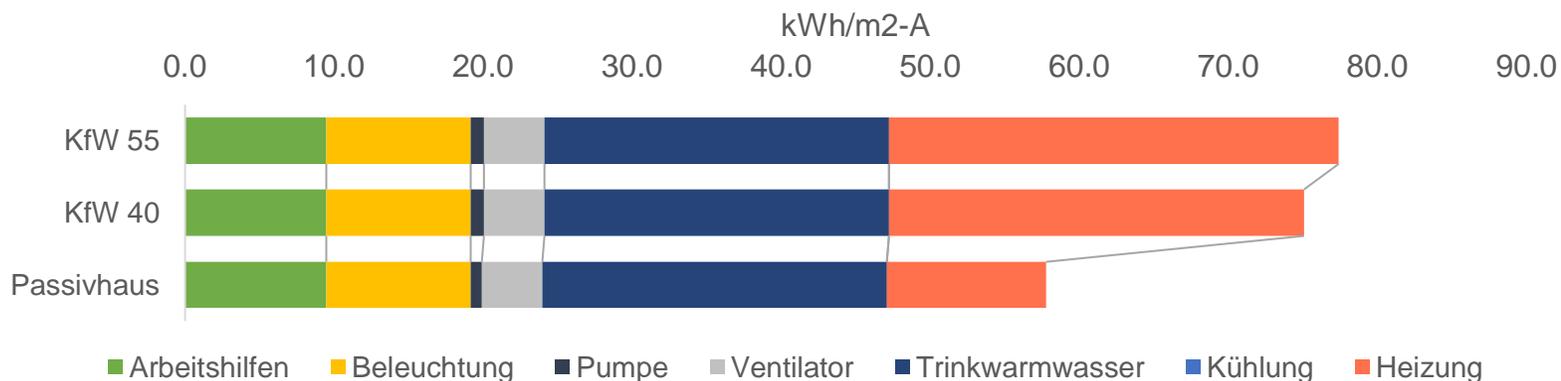
| <u>Form</u>               |       | <u>Interne Wärmequellen</u> |             |
|---------------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| Geschosse (#)             | 7     | Belegungsdichte (m2/P)      | 42          |
| Geschosshöhe [m]          | 3     | Beleuchtung (W/m2)          | 3.75        |
| Dachfläche [m2]           | 3507  | Arbeitshilfen (W/m2)        | 4           |
| Geschossfläche (BGF) (m2) | 22320 | <u>Nutzung</u>              |             |
| Außenwandfläche [m2]      | 10082 | Typ                         | Wohnung     |
| Volumen (m3)              | 66959 | % Belegt                    | 75          |
| <u>Außenluft</u>          |       | Tägliche Nutzungszeit       | 00:00-24:00 |
| Personbezogen [m3/h-P]    | 9     | Jährliche Nutzungstage      | 365         |
| Flächenbezogen [m3/h-m2]  | 0     | Trinkwarmwasser [L/h-P]     | 2.49        |



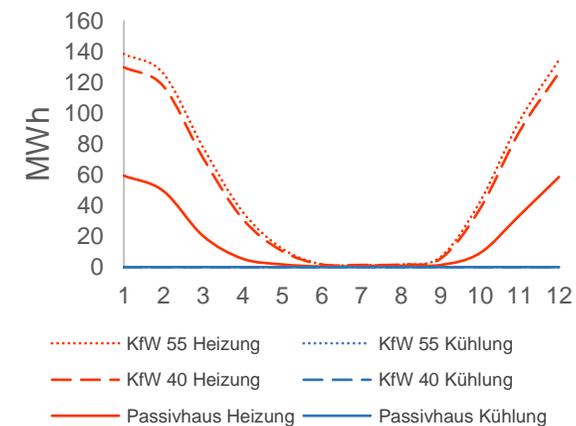
## Spitzenlasten



## Aufteilung der Endenergie



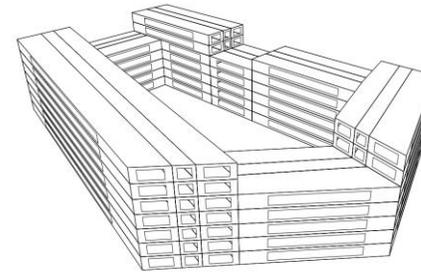
## Heizung und Kühlung Jahresprofil



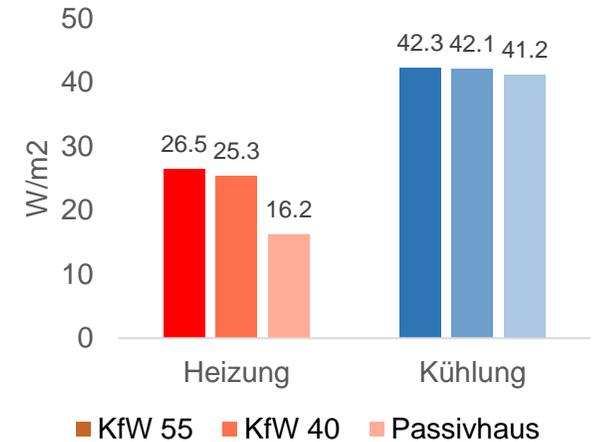
# WOHNUNG MIT KÜHLUNG INPUTS & ERGEBNISSE



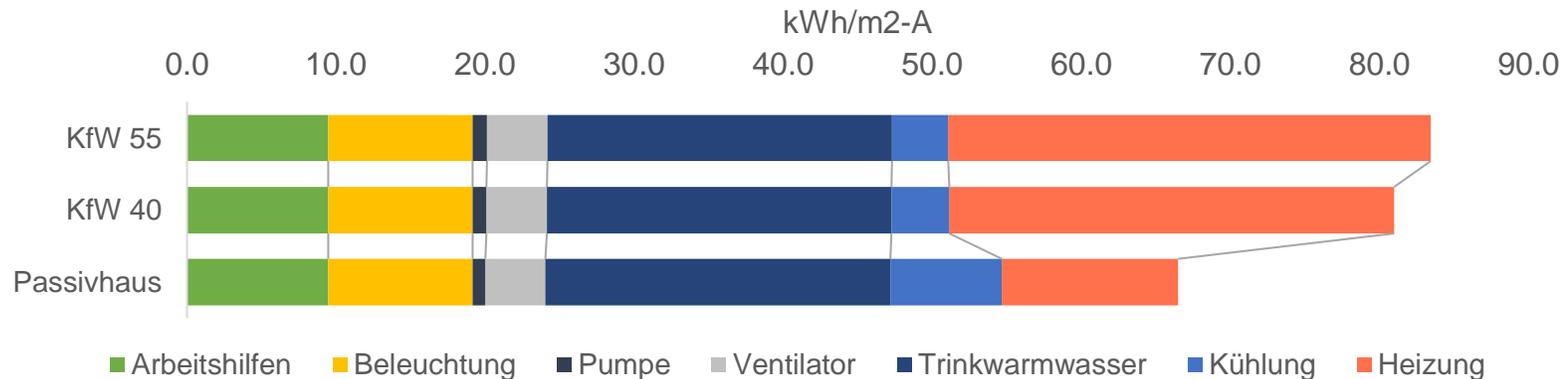
| <u>Form</u>               |       | <u>Interne Wärmequellen</u> |             |
|---------------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| Geschosse (#)             | 7     | Belegungsdichte (m2/P)      | 42          |
| Geschosshöhe [m]          | 3     | Beleuchtung (W/m2)          | 3.75        |
| Dachfläche [m2]           | 3507  | Arbeitshilfen (W/m2)        | 4           |
| Geschossfläche (BGF) (m2) | 22320 | <u>Nutzung</u>              |             |
| Außenwandfläche [m2]      | 10082 | Typ                         | Wohnung     |
| Volumen (m3)              | 66959 | % Belegt                    | 75          |
| <u>Außenluft</u>          |       | Tägliche Nutzungszeit       | 00:00-24:00 |
| Personbezogen [m3/h-P]    | 9     | Jährliche Nutzungstage      | 365         |
| Flächenbezogen [m3/h-m2]  | 0     | Trinkwarmwasser [L/h-P]     | 2.49        |



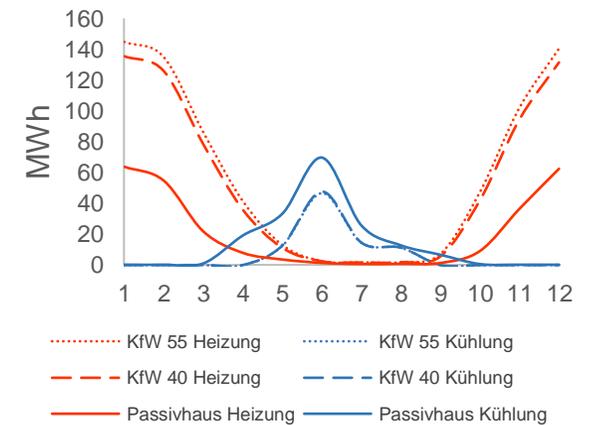
## Spitzenlasten



## Aufteilung der Endenergie



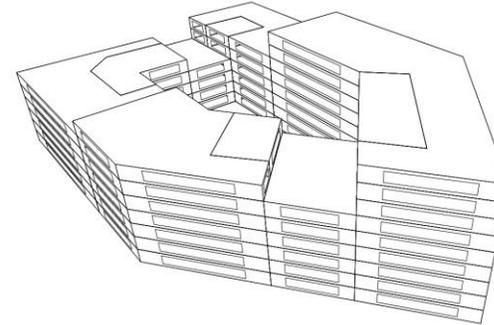
## Heizung und Kühlung Jahresprofil



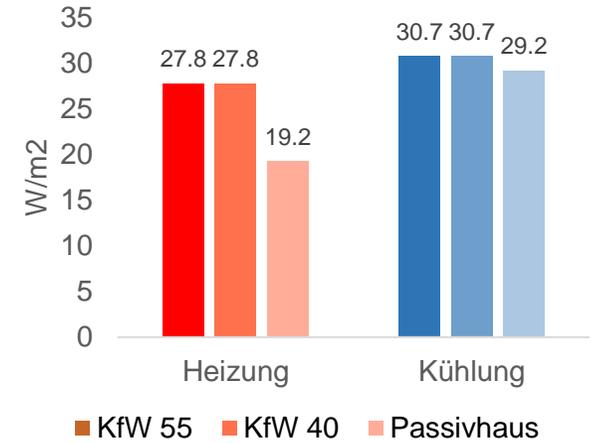
# BÜRO INPUTS & ERGEBNISSE



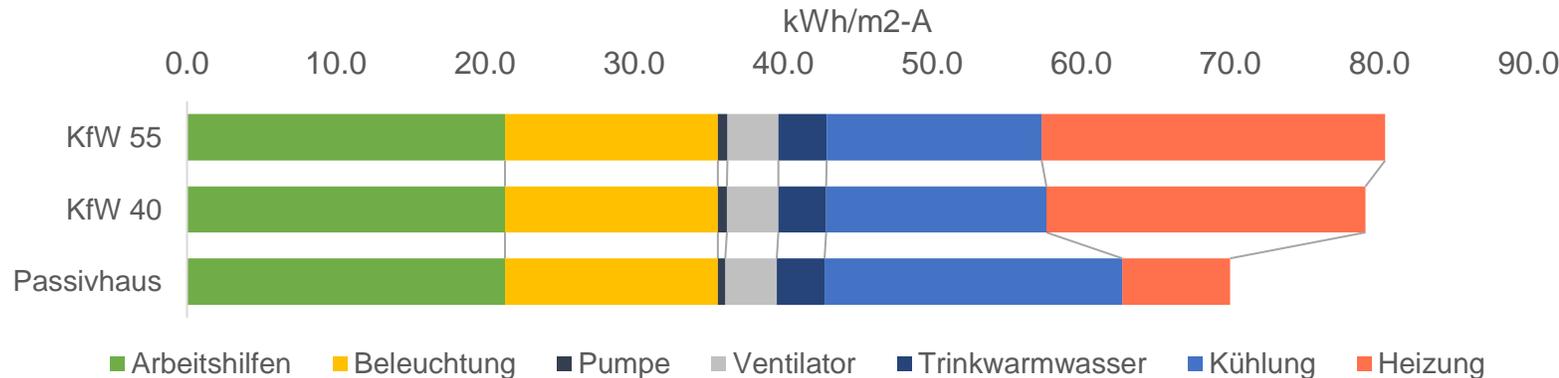
| Form                      |       | Interne Wärmequellen    |             |
|---------------------------|-------|-------------------------|-------------|
| Geschosse (#)             | 9     | Belegungsdichte (m2/P)  | 15          |
| Geschosshöhe [m]          | 3     | Beleuchtung (W/m2)      | 6.25        |
| Dachfläche [m2]           | 4409  | Arbeitshilfen (W/m2)    | 10          |
| Geschossfläche (BGF) (m2) | 32408 | Nutzung                 |             |
| Außenwandfläche [m2]      | 10015 | Typ                     | Büro        |
| Volumen (m3)              | 97223 | % Belegt                | 70          |
| Außenluft                 |       | Tägliche Nutzungszeit   | 07:00-18:00 |
| Personbezogen [m3/h-P]    | 60    | Jährliche Nutzungstage  | 250         |
| Flächenbezogen [m3/h-m2]  | 6     | Trinkwarmwasser [L/h-P] | 0.17        |



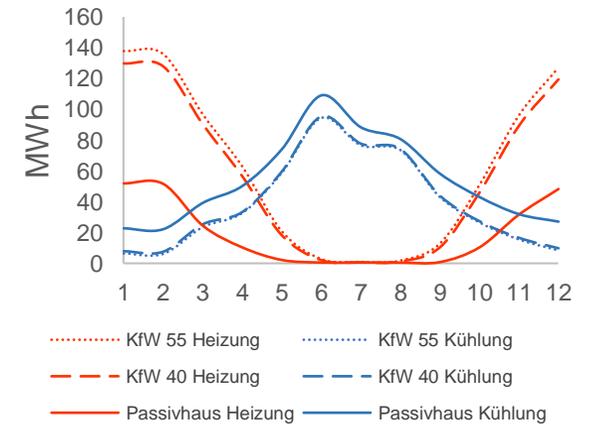
## Spitzenlasten



## Aufteilung der Endenergie



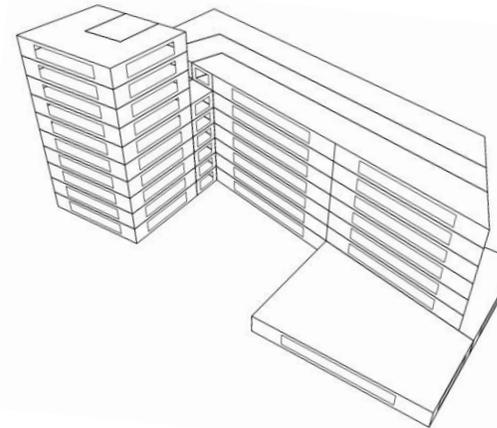
## Heizung und Kühlung Jahresprofil



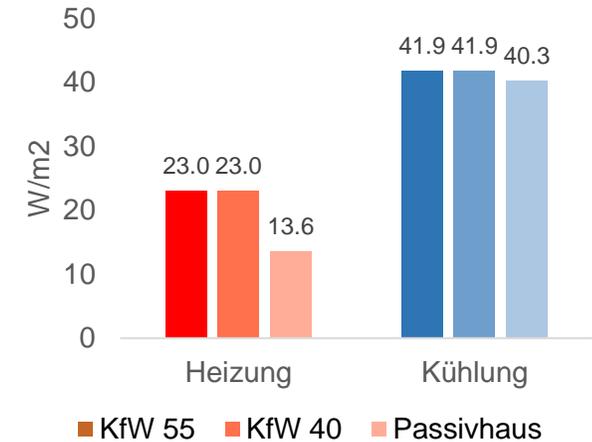
# HOTEL INPUTS & ERGEBNISSE



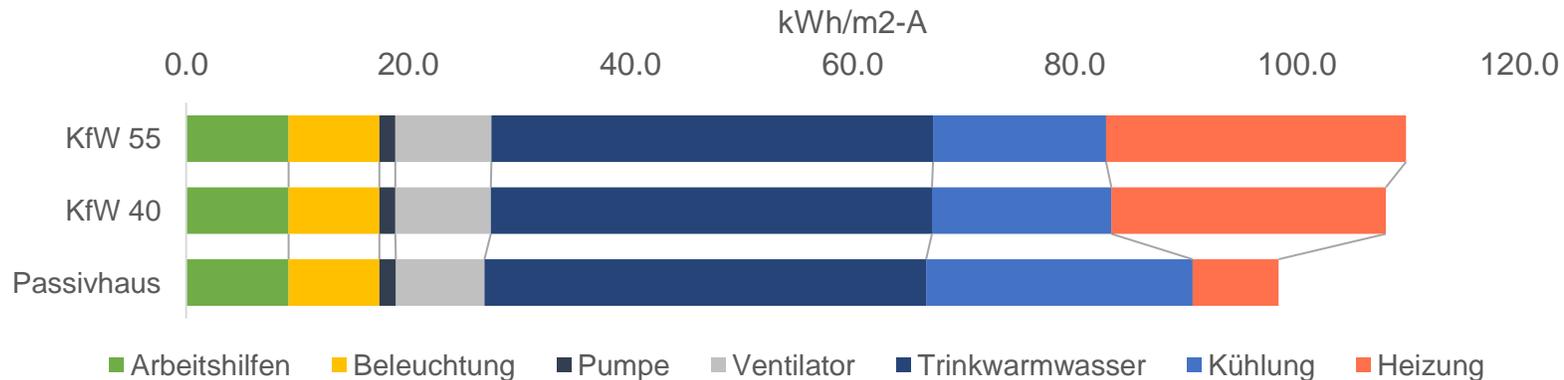
| Form                      |       | Interne Wärmequellen    |             |
|---------------------------|-------|-------------------------|-------------|
| Geschosse (#)             | 7     | Belegungsdichte (m2/P)  | 30          |
| Geschosshöhe [m]          | 3     | Beleuchtung (W/m2)      | 2.5         |
| Dachfläche [m2]           | 1628  | Arbeitshilfen (W/m2)    | 4           |
| Geschossfläche (BGF) (m2) | 12603 | Nutzung                 |             |
| Außenwandfläche [m2]      | 5409  | Typ                     | Hotel       |
| Volumen (m3)              | 37807 | % Belegt                | 75          |
| Außenluft                 |       | Tägliche Nutzungszeit   | 00:00-24:00 |
| Personbezogen [m3/h-P]    | 30    | Jährliche Nutzungstage  | 365         |
| Flächenbezogen [m3/h-m2]  | 0     | Trinkwarmwasser [L/h-P] | 3.15        |



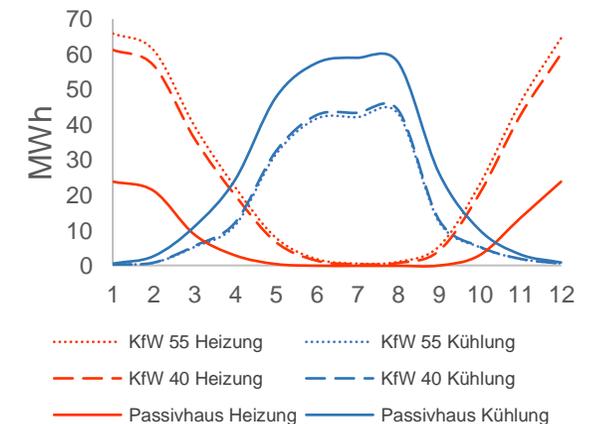
## Spitzenlasten



## Aufteilung der Endenergie



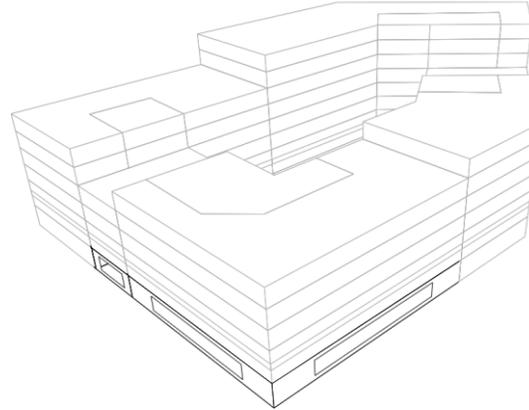
## Heizung und Kühlung Jahresprofil



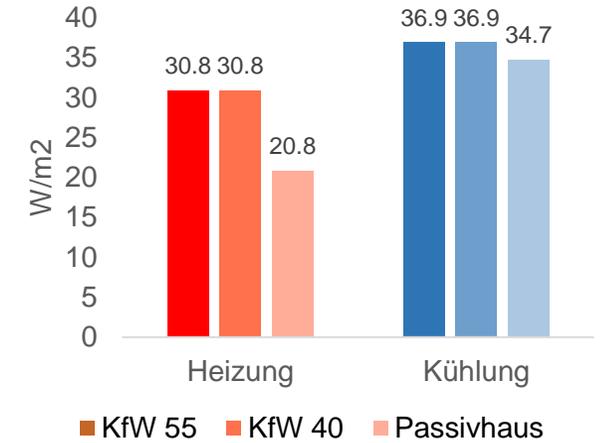
# LADEN INPUTS & ERGEBNISSE



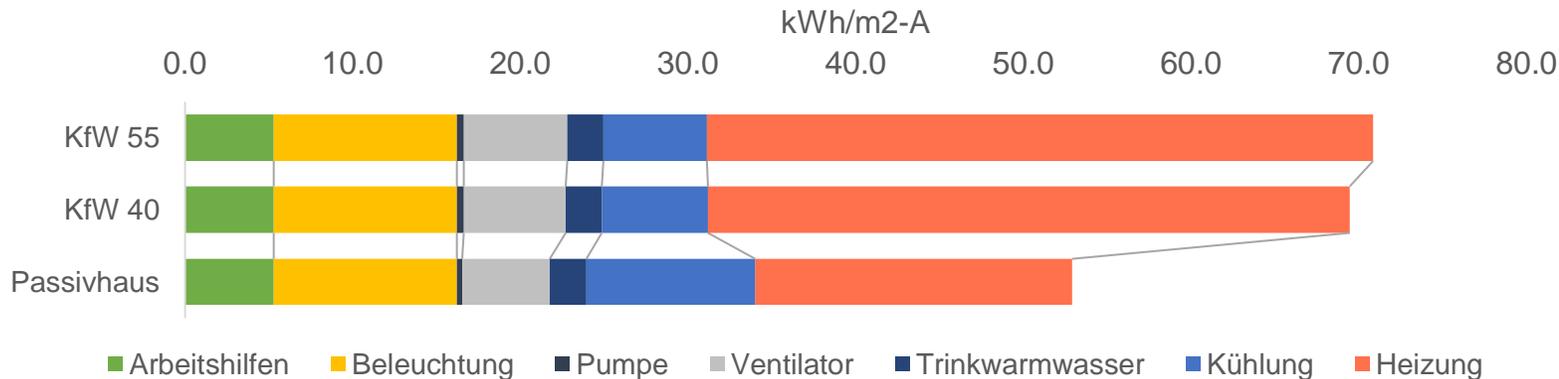
| Form                      |      | Interne Wärmequellen    |             |
|---------------------------|------|-------------------------|-------------|
| Geschosse (#)             | 1    | Belegungsdichte (m2/P)  | 27.9        |
| Geschosshöhe [m]          | 4    | Beleuchtung (W/m2)      | 3.75        |
| Dachfläche [m2]           | 1639 | Arbeitshilfen (W/m2)    | 2           |
| Geschossfläche (BGF) (m2) | 1639 | <b>Nutzung</b>          |             |
| Außenwandfläche [m2]      | 419  | Typ                     | Laden       |
| Volumen (m3)              | 6557 | % Belegt                | 70          |
| <b>Außenluft</b>          |      | Tägliche Nutzungszeit   | 08:00-20:00 |
| Personbezogen [m3/h-P]    | 20   | Jährliche Nutzungstage  | 300         |
| Flächenbezogen [m3/h-m2]  | 0    | Trinkwarmwasser [L/h-P] | 0.17        |



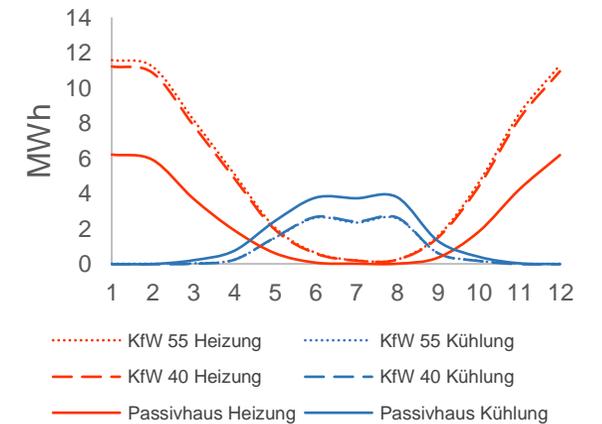
## Spitzenlasten



## Aufteilung der Endenergie



## Heizung und Kühlung Jahresprofil

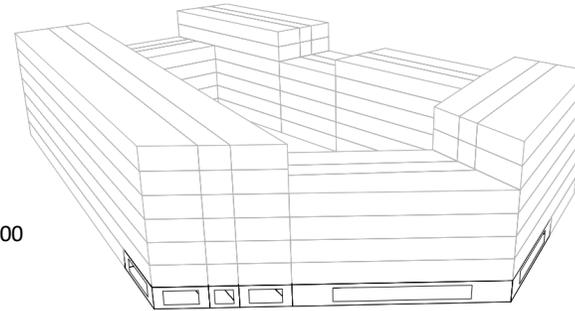


# KITA INPUTS & ERGEBNISSE

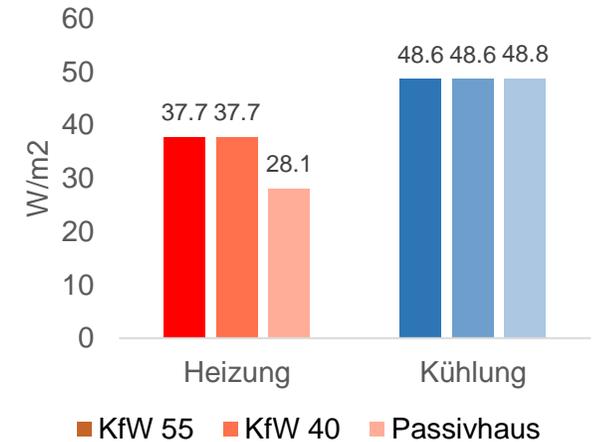


| <u>Form</u>  |      |
|--|------|
| Geschosse (#)                                      | 1    |
| Geschosshöhe [m]                                   | 3    |
| Dachfläche [m <sup>2</sup> ]                       | 819  |
| Geschossfläche (BGF) (m <sup>2</sup> )             | 819  |
| Außenwandfläche [m <sup>2</sup> ]                  | 357  |
| Volumen (m <sup>3</sup> )                          | 2456 |
| <u>Außenluft</u>                                   |      |
| Personbezogen [m <sup>3</sup> /h-P]                | 30   |
| Flächenbezogen [m <sup>3</sup> /h-m <sup>2</sup> ] | 0    |

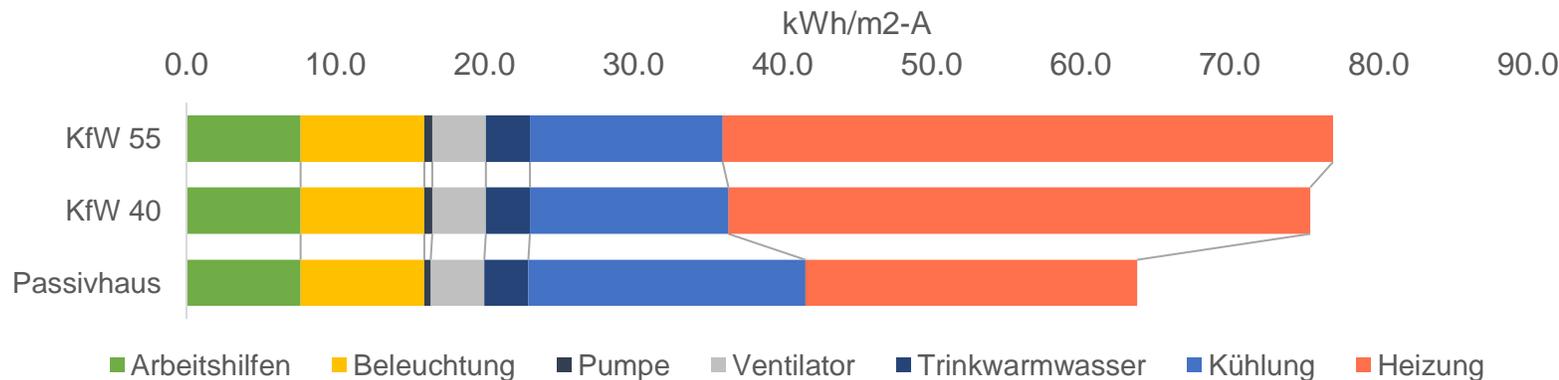
| <u>Interne Wärmequellen</u>         |             |
|-------------------------------------|-------------|
| Belegungsdichte (m <sup>2</sup> /P) | 7           |
| Beleuchtung (W/m <sup>2</sup> )     | 3.75        |
| Arbeitshilfen (W/m <sup>2</sup> )   | 4           |
| <u>Nutzung</u>                      |             |
| Typ                                 | KITA        |
| % Belegt                            | 70          |
| Tägliche Nutzungszeit               | 08:00-15:00 |
| Jährliche Nutzungstage              | 200         |
| Trinkwarmwasser [L/h-P]             | 0.08        |



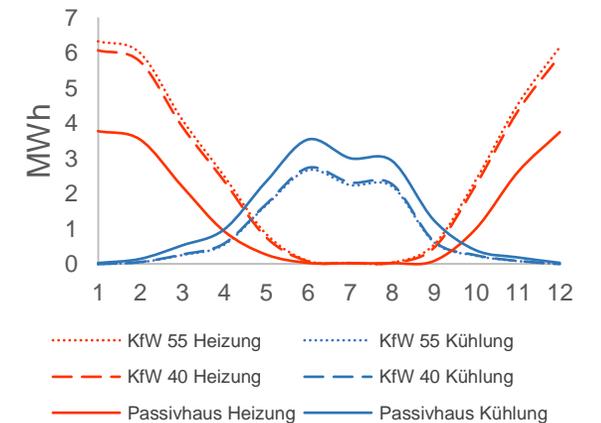
## Spitzenlasten



## Aufteilung der Endenergie



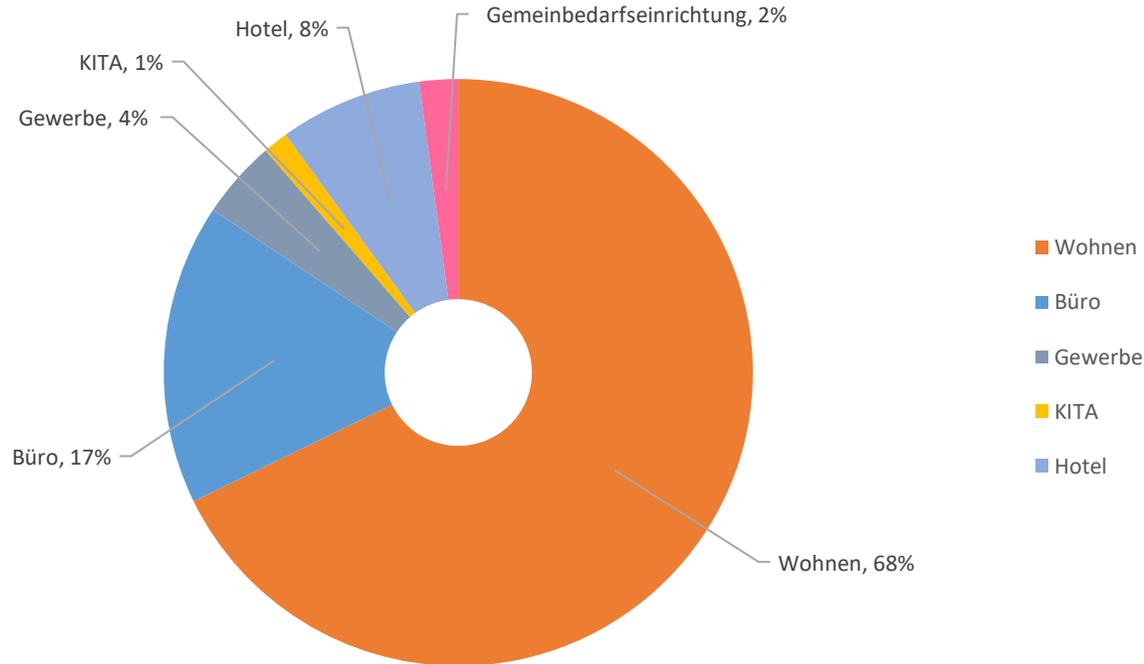
## Heizung und Kühlung Jahresprofil



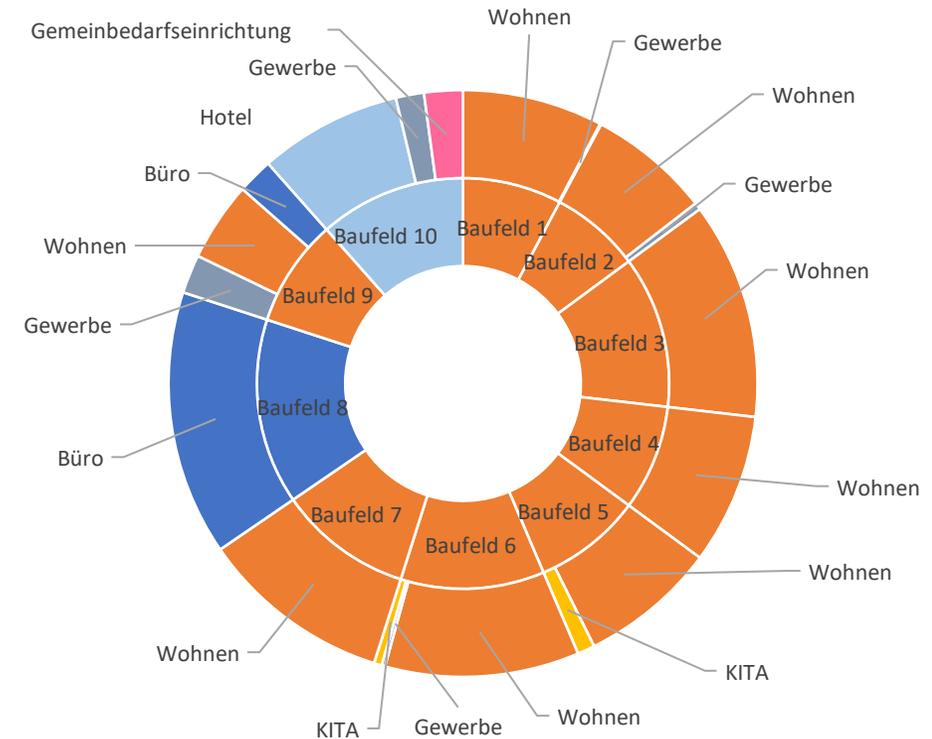
Das Diagramm links unten zeigt den Endenergiebedarf für das gesamte Quartier für die Effizienz-Variante KfW55 aufgeteilt auf die einzelnen Nutzungsarten. Die Aufteilung entspricht im Wesentlichen den Flächenanteilen gemäß den Plandaten für das Gesamtvorhaben.

Das Diagramm rechts zeigt die Aufteilung des Endenergiebedarf (ebenfalls für die Effizienz-Variante KfW55) jeweils pro Baufeld (innerer Ring) und dann die Nutzungsarten pro Baufeld (äußerer Ring).

### Endenergiebedarf pro Nutzungsart



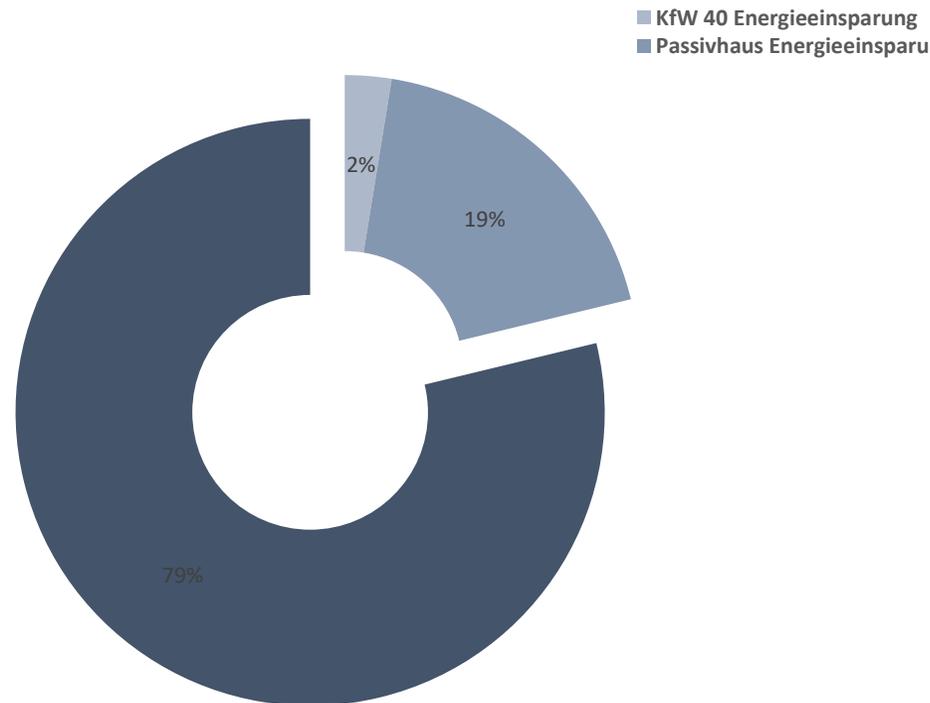
### Endenergiebedarf pro Baufeld / Nutzungsart



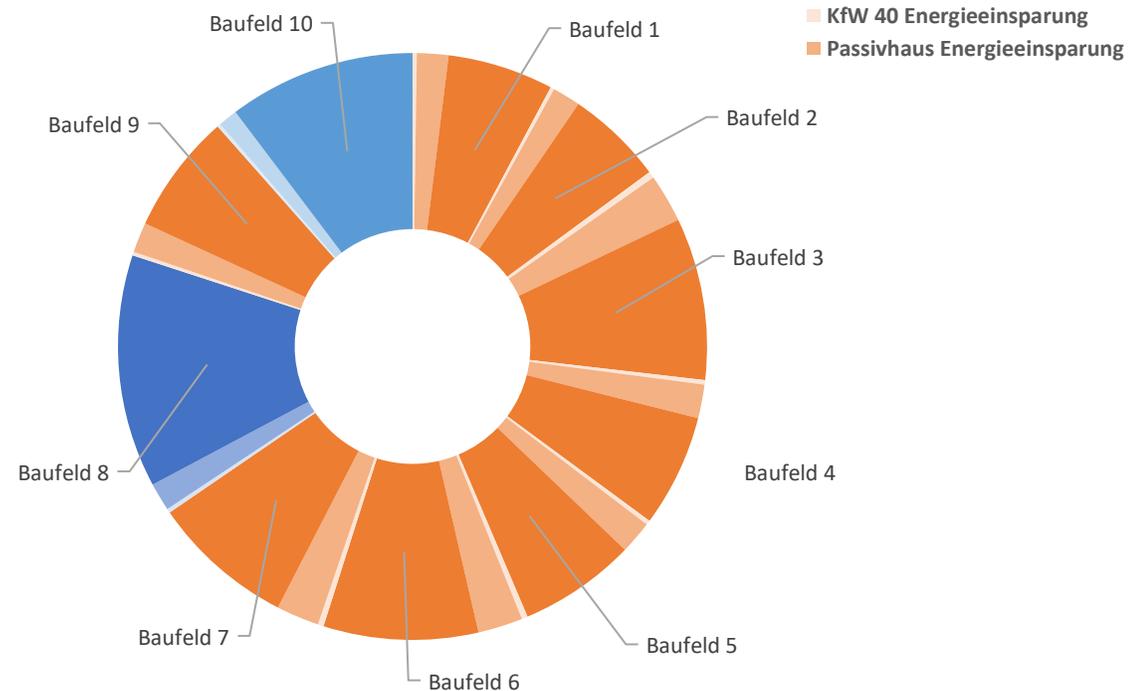
Das Diagramm links zeigt den Gesamt-Endenergiebedarf für das Quartier mit den Einsparpotentialen bei Anwendung der verschiedenen Energieeffizienz-Varianten. Bei einer leichten Erhöhung des Effizienz-Standards von KfW55 auf KfW40 ergeben sich rund 2% Einsparpotential in Bezug auf den Gesamtenergiebedarf. Bei Konzeption der Gebäude in Anlehnung an den Passivhaus-Standard ergibt sich ein weiteres Einsparpotenzial in Höhe von 19%.

Das Diagramm rechts zeigt die Einsparpotenziale jeweils heruntergebrochen auf die einzelnen Baufelder.

### Endenergiebedarf Einsparpotenzial gesamt



### Endenergiebedarf Einsparpotenzial pro Baufeld



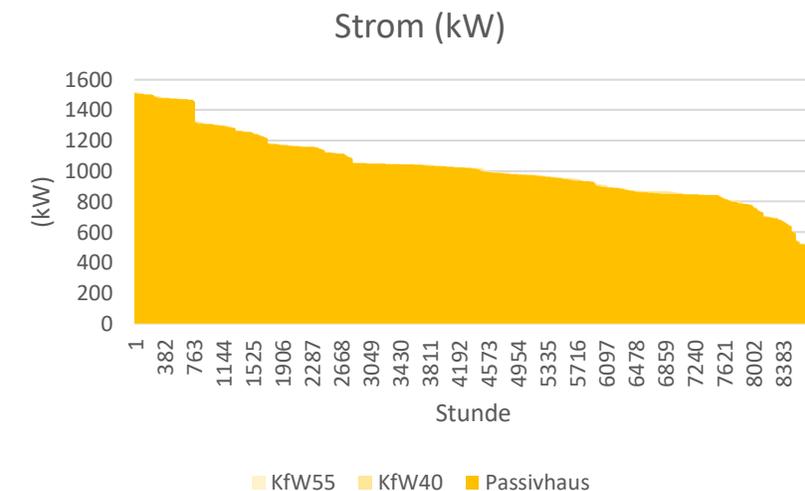
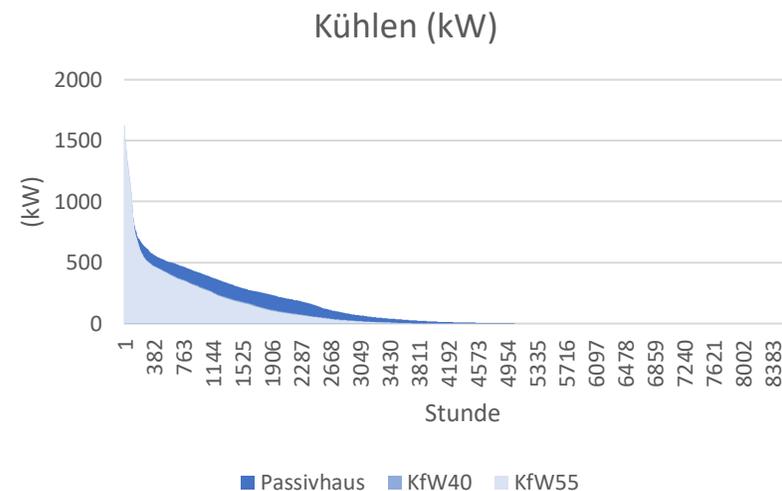
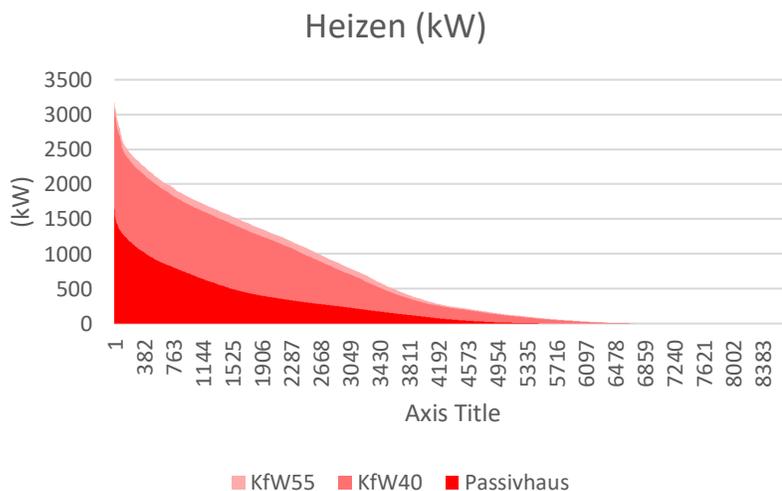
Das Diagramme unten zeigen die geordneten Jahresdauerlinien für jeweils Heizen, Kühlen und Strom für das gesamte Quartier. Diese Jahresdauerlinien wurden ebenfalls pro Gebäude erstellt und stehen in einer separaten Datei zur Verfügung.

Aus der Dauerlinie für Heizen (ohne Trinkwarmwasserbereitung) lässt sich die erforderliche Dimensionierung der Wärmeversorgung für das gesamte Quartier ablesen. Für die Energie-Effizienzklassen KfW55 und KfW40 ist eine Wärmeerzeugungsleistung in Höhe von 3.000 kW erforderlich. Für die Energie-Effizienzklasse Passivhaus reduziert sich

diese auf ca. die Hälfte und bietet damit enormes Einsparpotenzial bei den Investitionskosten für die zentrale Wärmebereitstellung.

Die Jahresdauerlinien für Kälte und Strom unterscheiden sich erwartungsgemäß kaum zwischen den Energie-Effizienzklassen. Sie sind trotzdem hilfreich für die weiteren Grobdimensionierungen der zentralen Versorgungssysteme im Quartier.

Auf der folgenden Seite sind alle Berechnungsergebnisse tabellarisch zusammengefasst.





# TEIL B – Evaluierung Energiekonzept

Die Evaluierung des Energiekonzepts erstellt von Averdung Ingenieure basiert auf den folgenden Dokumenten:

- [1] Energiekonzept Holstenquartier – Präsentation SSN Group am 26.4.2019 (31 Seiten)
- [2] Ergebnisprotokoll Arbeitsgespräch Fachplanungen – Energiekonzept vom 26.4.2019 (5 Seiten + Teilnehmerliste)
- [3] Energiefachplan Holsten Quartier, Zwischenstand 29.8.2018 (41 Seiten)

Bewertet werden Vollständigkeit, Annahmen, Bewertungsgrundlagen, Ergebnisse sowie die daraus abgeleiteten Empfehlungen. Hierbei wird speziell auf die im Fokus stehenden Versorgungstechnologien Augenmerk gelegt und die Potenziale dieser Technologien weiter detailliert.

## Umfang des Energiekonzepts

Das mit Datum 26.4.2019 von Averdung Ingenieure vorliegende Energiekonzept ist generell solide aufgebaut, betrachtet allerdings vorrangig die Wärmeerzeugung und beruht auf allgemeinen Annahmen und „groben Abschätzungen“. Die fünf dargestellten Versorgungsvarianten beziehen sich ausschließlich auf die Wärmeerzeugung, bzw. thermische Energie (Wärme und Kälte) und betrachten lediglich den Gebäudeeffizienzstandard KfW55. Als Ergebnis wird Variante 2 als Vorzugsvariante empfohlen.

Ziel des Energiekonzeptes ist eine weitgehend CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung des Quartiers bezogen auf die Heizwärme, Trinkwarmwasser- und Hilfsenergiebereitstellung für die Wärmeversorgung.

- ➔ Die dargestellte CO<sub>2</sub> Einsparung der Variante 1 resultiert im Wesentlichen auf der Verwendung von Fernwärme mit einem 65% regenerativen Anteil, der als emissionsfrei betrachtet wird. Die Verantwortung für Klimaschutz liegt somit allein beim Fernwärmeversorger.
- ➔ Die empfohlene Variante 2 erreicht durch den Einsatz von Wärme-Kälte-Kopplung (WKK) mittels Wärmepumpe weitere 10% CO<sub>2</sub> Reduzierung.
- ➔ Variante 4 mit zentraler Erdsonden-gekoppelter Wärmepumpe erzielt 24% CO<sub>2</sub> Reduzierung gegenüber Variante 1.

## Wärme- und Kältebedarf

Energieeffizienzstandards der Gebäude gemäß EnEV 2016 und KfW40 wurden zwar abgeschätzt, aber im Energieversorgungskonzept nicht weiter berücksichtigt.

- ➔ Wir sehen durch den Einsatz höherer Energieeffizienzstandards bei der Gebäudehülle ein enormes Potenzial für die weitere Reduzierung des Energieverbrauchs und damit der CO<sub>2</sub> Emissionen. Die Reduzierung der Bedarfswerte (Spitzenlasten) wirkt sich zudem auf die Anlagendimensionierung und damit direkt auf die Investitionskosten aus.

Die Bewertungen im Energiekonzept Averdung beruhen im Wesentlichen auf Annahmen und Literaturwerte:

- Zur Bestimmung der voraussichtlichen Wärme- und Kältebedarfe wurden drei unterschiedliche Baustandards herangezogen. ➔ Bestimmung der Wärme- und Kältebedarfe erfolgt über Literaturwerte, keine Berechnungen
- Ermittlung der notwendigen Anschlussleistung über angenommene Volllaststunden. ➔ keine Berechnungen

Nachfolgend eine zusammenfassende Gegenüberstellung der im Energiekonzept Averdung dargestellten Bedarfswerte im Vergleich mit den von Baumann berechneten Werten (siehe Teil 2); eine detaillierte Gegenüberstellung findet sich auf Seite 7:

- Averdung bewertet den jährlichen Heizwärmebedarf im Quartier auf 4.800 bis 6.700 MWh. Baumann berechnet den jährlichen Heizwärmebedarf auf 5.300 bis 5.700 MWh (KfW55 bzw. KfW40) und 2.000 MWh für Passivhausstandard.
- Averdung bewertet den jährlichen Wärmebedarf für Trinkwarmwasserbereitung auf etwa 3.000 MWh. Baumann berechnet den jährlichen Trinkwarmwasserbedarf auf 3.750 MWh.

## Wärme- und Kältebedarf (Fortsetzung)

- Averdung unterstellt den jährlichen Kältebedarf (abgerundet) auf 2.500 MWh. Baumann berechnet den jährlichen Kältebedarf auf 800-850 MWh (KfW55 bzw. KfW40) und 1.150 MWh (Passivhausstandard).
- Averdung schätzt den jährlichen Strombedarf auf 5 GWh (im Rahmen der Bewertung Solarpotenziale). Baumann berechnet den jährlichen Strombedarf auf 5.300 MWh (ohne Strombedarf für geothermische Wärmepumpen, dieser wird im Rahmen des integrierten Energie- und Versorgungskonzepts separat bewertet).

## Varianten der Wärmeversorgung

Die Varianten 2 und 4 des Energiekonzepts Averdung basieren auf einem Niedertemperatur-Wärmenetz mit Vor- und Rücklauftemperaturen von 50/30°C. Es ist zu beachten, dass bei dieser Auslegung der Wärmeversorgung der Gebäude besondere Maßnahmen getroffen werden müssen, wie z.B. hervorragender baulicher Wärmeschutz und Maßnahmen zur hygienischen Trinkwarmwasserversorgung, die Temperaturen von mindestens 60°C erfordert.

Averdung beschreibt Variante 2 als Niedertemperatur Wärmenetz (50/30°C) mit zentraler Wärmepumpe (800 kW<sub>th</sub>/222 kW<sub>el</sub>) zur Deckung des sommerlichen Kältebedarf für die Klimatisierung der Gewerbeflächen, in Verbindung mit einem Eisspeicher. Die Wärmepumpe soll durch konsequente Nutzung der gleichzeitig anfallenden Wärme etwa 37% des Wärmebedarfs des Quartiers decken; 63% kommen aus dem Rücklauf der Fernwärme.

→ Bei der Speisung des Quartier-Netzes aus dem Rücklauf des

Fernwärmenetz ist zu berücksichtigen, dass die Temperatur nicht garantiert werden kann und teilweise lediglich 45°C beträgt, weshalb eine Beimischung aus dem Fernwärmeverlauf erforderlich ist.

→ Es ist fraglich, ob zum Zeitpunkt der Kälteerzeugung überhaupt ausreichend Wärmebedarf besteht, um die gleichzeitig anfallende Wärme konsequent nutzen zu können. Dies wird im Teil 3 dieser Ausarbeitung mittels stündlicher dynamischer Simulationsrechnungen weiter analysiert.

Averdung beschreibt Variante 4 als Niedertemperatur Wärmenetz (50/30°C) mit zentraler Wärmepumpe (2.500 kW<sub>th</sub>/700 kW<sub>el</sub>) gekoppelt an Erdsonden. Eine Regenerierung für die dem Erdreich entzogene Wärme erfolgt über PVT-Kollektoren. 87% des Wärmebedarfs werden von der Wärmepumpe gedeckt, für den Rest (13%) wird ein 4.000 kW Erdgas-Brennwertkessel angesetzt. Die Deckung des sommerlichen Kältebedarf für die Klimatisierung der Gewerbeflächen erfolgt wie bei Variante 2 durch Wärme-Kälte-Kopplung auf der „kalten“ Seite der Wärmepumpe, in Verbindung mit einem Eisspeicher.

→ Die Dimensionierung (und damit die Kosten) für den Brennwertkessel erscheint wesentlich zu groß da der Spitzenbedarf für die Wärmeversorgung (ohne Trinkwarmwasser) insgesamt bei lediglich 3.000 kW liegt (KfW55/KfW40), bzw. bei 1.500 kW für die Variante Passivhaus (siehe Teil A).

→ Die Betriebsweise der geothermischen Wärmepumpe sieht keine Nutzung zur Gebäudekühlung vor, weshalb (a) eine Regenerierung des Erdreichs über PVT-Module erforderlich ist (mit entsprechenden Kosten, außerdem wird das Quartier-Netz in dieser Variante mit höheren Kosten angesetzt)

### Wirtschaftlicher Variantenvergleich

Averdung vergleicht die untersuchten Versorgungsvarianten hinsichtlich ökonomischer Kriterien. Die Annahmen zu den Grundparametern für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind plausibel und werden auch im Rahmen dieser weiteren Optimierung verwendet (ggf. auf Basis aktuellerer Preisinformationen). Hierbei handelt es sich in erster Linie um Energiepreise (Strom, Gas, Fernwärme). Anzumerken ist, dass in Variante 2 kein Fernwärmegrundpreis angesetzt wird. Das sollte sicher von Vattenfall Wärme Hamburg (VWH) nochmals bestätigt werden, damit Variante 2 nicht unter zu günstigen Bedingungen betrachtet wird.

Auf die Einspeisevergütung wird im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter eingegangen, da eine BHKW Variante (Variante 3) nicht weiter verfolgt wird.

Es ist anzumerken, dass Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Averdung nicht vorliegen. Zudem werden im Bericht [3] lediglich die Investitionskosten für Variante 2 und 3 textlich erläutert, jedoch nicht für Variante 4 und 5.

Bei Variante 2 setzt Averdung Investitionskosten für das Wärmenetz (1.200.000 Euro), Wärmepumpe (460.000 Euro) und Eisspeicher (584.000 Euro) an. Die Baunebenkosten betragen 480.000 Euro. Dagegen steht eine Förderung in Höhe von 550.000 Euro.

Bei Variante 4 setzt Averdung höhere Investitionskosten für die Erstellung des Wärmenetzes an (1.600.000 Euro) und begründet dies durch die Anschlussleitungen für die Erdsonden. Weiterhin werden Investitionskosten für die zentrale Wärmepumpe (1.550.000 Euro), Erdwärmesonden (1.530.000 Euro), PVT (1.870.000 Euro), Gaskessel

(400.000 Euro) und Eisspeicher (584.000 Euro) angesetzt. Die Baunebenkosten betragen 1.550.000 Euro. Dagegen steht eine Förderung in Höhe von 1.550.000 Euro. Bei den Investitionskosten für Variante 4 stellen wir in Frage, ob ein Gaskessel in dieser Auslegung erforderlich ist. Außerdem gehen wir davon aus, dass durch eine ausgeglichene Wärmebilanz im Erdsondenfeld durch Heizen und Kühlen (z.B. sommerliche Konditionierung der Wohnungen über die vorhandenen Fußbodenheizung) die Regenerierung des Erdreichs mittels PVT entfallen und gleichzeitig die Anzahl der Wärmesonden reduziert werden kann. Dadurch würde die Bewertung der Investitions- und kapitalgebundenen Kosten dieser Variante deutlich verbessert, bei gleichzeitigem Mehrwert eine sommerlichen Kühlung der Wohnungen. Dies wird im Teil C dieser Untersuchung – Ganzheitliches Energie- und Versorgungskonzept näher betrachtet.

Für die Ermittlung des kostendeckenden Wärmepreises verfolgt Averdung drei Ansätze, bei denen die „gratis“ anfallende Kälte unterschiedlich zum Ansatz gebracht wird. Aus dem Bericht nicht klar hervor welcher Ansatz für die weitere Bewertung herangezogen wird.

### Ökologischer Variantenvergleich

Averdung vergleicht die untersuchten Versorgungsvarianten hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Emissionen, Anteil erneuerbarer Energien und Primärenergiefaktoren. Variante 4 schneidet hierbei am besten ab, allerdings schafft keine der dargestellten Varianten das Ziel einer weitgehend CO<sub>2</sub>-neutralen Energieversorgung des Quartiers bezogen auf die Heizwärme, Trinkwarmwasser- und Hilfsenergiebereitstellung für die Wärmeversorgung.

## Bewertungsmatrix

Averdung erstellt eine Bewertungsmatrix, bei der Variante 2 die beste Gesamtwertung erhält. Die Bewertung Wärme-Preis basiert offenbar auf dem ersten Ansatz (siehe oben). Bei dem Ansatz mit Berücksichtigung der bei der Wärmeerzeugung anfallenden Kälte sollte Variante 4 als neutral eingestuft werden. Bei der Bewertung CO<sub>2</sub>-Emissionen sollte Variante als bestes Ergebnis bewertet werden. Bei der Bewertung Primärenergiefaktor wirkt sich bei Variante 4 die Nutzung von Erdgas für den Gas-Kessel sehr negativ aus. Bei einer Optimierung der Variante mit Verzicht auf den Gaskessel würde Variante 4 zusammen mit Variante 5 als bestes Ergebnis bewertet. Es ist weiterhin nicht klar ob, bzw. wie bei Variante 4 die Stromerzeugung berücksichtigt wurde. Bei der Abhängigkeit von Fördermitteln ist nicht klar warum variante 3 als schlechteste bewertet wird, da die angesetzten Fördermittel von rund 100.000 Euro angesetzt wurden und damit deutlich niedriger sind als bei Varianten 2, 4 und 5.

| Variante                                 | Wärme-Preis | Gesamt-Energiekosten | CO <sub>2</sub> -Emissionen | Primärenergiefaktor | Investitionen | Preisstabilität  | Abhängigkeit von Fördermitteln | regionale Wertschöpfung | Anwohnerakzeptanz                                | lokale Emissionen [NOx, Feinstaub, etc.] | Gesamtbewertung | Gewichtetes Gesamtwert Wirtschaftlichkeit* | Gewichtetes Gesamtwert Klimaschutz** |
|--|-------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|---------------|--|--------------------------------|-------------------------|--|--|-----------------|--|--------------------------------------|
| 1 FernWärme65% Natur Mix                 | ↘           | ↘                    | ↘                           | ↘                   | ↗             | ↘  | ↗                              | ↘                       | ↗  | ↗  | 3,0             | 2,3  | 1,8                                  |
| 2 RL-FW-Subnetz + WKK (60% FW Natur Mix) | ↗           | ↗                    | ↘                           | ↘                   | ↘             | ↘  | ↘                              | ↘                       | ↗  | ↗  | 10,0            | 11,5                                       | 9,1                                  |
| 3 WN Biomethan-BHKW zentral              | ↘           | ↘                    | ↘                           | ↗                   | ↘             | ↘  | ↘                              | ↘                       | ↘  | ↘  | -3,0            | -3,8                                       | -3,6                                 |
| 4 Wp zentral                             | ↘           | ↘                    | ↘                           | ↘                   | ↘             | ↗  | ↘                              | ↘                       | ↘  | ↘  | 0,0             | -2,3                                       | 0,9                                  |
| 5 Wp dezentral Solar-Eis-Speicher        | ↘           | ↘                    | ↘                           | ↘                   | ↘             | ↗  | ↘                              | ↘                       | ↘  | ↗  | 3,0             | 1,5  | 2,7                                  |
|  |             |                      |                             |                     |               | * Wirtschaftlichkeit und Investitionen doppelt gewichtet |                                |                         |  |  |                 |  |                                      |
|  |             |                      |                             |                     |               |  |                                |                         | ** CO <sub>2</sub> -Vermeidung doppelt gewichtet |  |                 |  |                                      |

Die Anwohnerakzeptanz könnte bei Variante 4 deutlich besser ausfallen, wenn auf den Gaskessel verzichtet werden kann.

Die lokalen Emissionen könnten bei Variante 4 deutlich besser ausfallen, wenn auf den Gaskessel verzichtet werden kann.

- ➔ Insgesamt scheint, dass Variante 4 in der jetzigen Bewertung 4 Punkte besser bewertet werden sollte und bei Optimierung hinsichtlich Verzicht auf Gaskessel weitere 3-4 Punkte erzielen könnte.
- ➔ Ziel der weiteren Optimierung des Energie- und Versorgungskonzepts sollte sein (1) die Gebäudeenergiebedarfe so weit wie möglich zu senken (siehe Teil A) sowie (2) das Versorgungskonzept der Variante 4 so weiter zu entwickeln, dass auf den 4.000 kW Gaskessel verzichtet werden kann (Bearbeitungsumfang Teil C).

|   |     |  |
|---|-----|--|
| ↗ | + 2 | bestes Ergebnis, erfüllt die Anforderungen sehr gut, kein Risiko                           |
| ↘ | + 1 | gutes Ergebnis, erfüllt die Anforderungen, geringes Risiko                                 |
| ↔ | 0   | durchschnittliches Ergebnis, neutral, ohne Einfluss, durchschnittliches Risiko             |
| ↘ | - 1 | unterdurchschnittliches Ergebnis, erfüllt die Anforderungen nur teilweise, erhöhtes Risiko |
| ↘ | - 2 | schlechtes Ergebnis, erfüllt die Anforderungen nicht, hohes Risiko                         |

## Energieverbrauchskennwerte

Die folgenden Tabellen zeigen eine Gegenüberstellung der angenommenen spezifischen Energieverbrauchskennwerte (in kWh/m<sup>2</sup>a) aus dem Energiekonzept Averdung und den den KfW55 Standard mittels vereinfachten Simulationsmodellen berechneten Energiebedarfswerten (in kWh/m<sup>2</sup>a) von Baumann für die verschiedenen Nutzungsarten.

| Gebäudeart                                     | Heizwärmebedarf                   |                                |                                | Warmwasser-Bedarf<br>in kWh/m <sup>2</sup> a | Kältebedarf<br>in kWh/m <sup>2</sup> a |
|--|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--|
|  | Enev 2016 in kWh/m <sup>2</sup> a | KfW 55 in kWh/m <sup>2</sup> a | KfW 40 in kWh/m <sup>2</sup> a |  |  |
| Geschosswohnung                                | 36                                | 29                             | 25                             | 15   | 0                                      |
| Gewerbe ( nicht spezifiziert, vorwiegend Büro) | 36                                | 29                             | 25                             | 8  | 70                                     |
| Handwerkshöfe                                  | 45                                | 32                             | 27                             | 21   | 0                                      |
| Hotel  | 84                                | 59                             | 50                             | 128  | 7,5                                    |

Quelle: Hårdlein ; Reith ; Kirch ; Elcorp : „ Datengrundlagen und Konzeption für den Online-Wärmekostenrechner für Wohn- und Nichtwohngebäude“, Universität Stuttgart (2016), unter: [http://www.iier.uni-stuttgart.de/online\\_tools/heizkostenvergleich/pdf/16-05-09-IER\\_Waermekostenrechner\\_-\\_Dokumentation.pdf](http://www.iier.uni-stuttgart.de/online_tools/heizkostenvergleich/pdf/16-05-09-IER_Waermekostenrechner_-_Dokumentation.pdf) (abgerufen am 22.05.2018).

| Nutzungsart         | Heizen | BWW  | Kühlen | Strom |
|---------------------|--------|------|--------|-------|
| Wohnen (alle Arten) | 30.2   | 23.1 | 0.0    | 24.1  |
| Büro                | 23.0   | 3.2  | 14.4   | 39.7  |
| Einzelhandel        | 39.7   | 2.2  | 6.2    | 22.8  |
| Handwerkerhöfe      | 39.7   | 2.2  | 6.2    | 22.8  |
| Hotel               | 27.0   | 39.8 | 15.6   | 27.5  |
| KiTa                | 41.0   | 2.9  | 12.9   | 20.1  |

In der Aufsummierung der Energieverbrauchswerte über das gesamte Quartier ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle ausgewiesenen Werte (in MWh/a). Averdung weist keine expliziten Bedarfswerte für Strom aus, erwähnt aber im Rahmen der Auswertung Solarpotenziale einen Schätzwert von 5 GWh/a.

| Datengrundlage | Heizen | BWW   | Kühlen | Strom |
|----------------|--------|-------|--------|-------|
| Averdung       | 5.759  | 3.808 | 2.589  | 5 GWh |
| Baumann        | 5.713  | 3.741 | 775    | 5.277 |

## Heizwärme- und Kältebedarfskennwerte

Weiterhin hat Baumann die folgenden überschlägigen Leistungsbedarfswerte für Heizen und Kühlen berechnet. Diese Werte sind im Energiekonzept Averdung nicht explizit ausgewiesen. Detaillierte Jahresdauerlinien für Heizen, Kühlen und Strom sind im Rahmen der detaillierten Bedarfsanalyse enthalten (siehe Teil A).

| Nutzungsart         | Heizen                | BWW | Kühlen                | Strom |
|---------------------|-----------------------|-----|-----------------------|-------|
| Wohnen (alle Arten) | 26.3 W/m <sup>2</sup> | -   | 0.0 W/m <sup>2</sup>  | n.n.  |
| Büro                | 27.8 W/m <sup>2</sup> | -   | 30.7 W/m <sup>2</sup> | n.n.  |
| Einzelhandel        | 30.8 W/m <sup>2</sup> | -   | 36.9 W/m <sup>2</sup> | n.n.  |
| Handwerkerhöfe      | 30.8 W/m <sup>2</sup> | -   | 36.9 W/m <sup>2</sup> | n.n.  |
| Hotel               | 23.0 W/m <sup>2</sup> | -   | 41.9 W/m <sup>2</sup> | n.n.  |
| KiTa                | 37.7 W/m <sup>2</sup> | -   | 48.6 W/m <sup>2</sup> | n.n.  |

# TEIL C – Ganzheitliches Energie- & Versorgungskonzept

Erstellung und Bewertung eines optimierten, ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzepts auf Basis der von Averdung empfohlenen Variante 2 als Referenzvariante, sowie einer optimierten Variante mit Geothermienutzung in Anlehnung an Variante 4 aus dem Averdung Konzept. Ziel der Optimierung ist die empfohlene Anlagentechnik schlank zu halten und gleichzeitig die Energieeffizienz im Quartier zu erhöhen und die CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter zu minimieren – unter Berücksichtigung des Gesamtenergiebedarfs aus Teil A dieser Untersuchung. Untersucht werden im Folgenden die folgenden Energieversorgungs-Szenarien:

- **Szenario 1** – „Averdung Variante 2“ | Niedertemperatur-Nahwärmenetz mit Nutzung des Fernwärme-Rücklaufs, Wärmepumpe sowie Eisspeicher zur Wärme-Kälte-Kopplung
- **Szenario 2** – „Averdung Variante 4“ | Niedertemperatur-Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe, mit Eisspeicher, PVT-Modulen und Erdsonden als Wärmequellen sowie Gasbrennwertkessel
- **Szenario 3** – „Optimiertes Versorgungskonzept“ | Niedertemperatur-Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpenanlage für Heizen und Kühlen, mit Erdsonden als Wärmequellen und Wärmesenken sowie Nutzung des Fernwärme-Rücklaufs (bzw. alternativ Gasbrennwertkessel)

Als Gebäudeeffizienzklasse wird generell KfW 5 Standard angenommen.

Alle Versorgungsvarianten werden mittels dynamischer Simulation für 8.760 Stunden pro Jahr berechnet. In den Szenarien 1 und 2 wird die Betriebsweise des Eisspeichers sehr detailliert modelliert und ausgewertet. Für die Szenarien 2 und 3 werden zudem vorab die Erdsonden mit einem separaten Berechnungsmodell über einen Zeitraum von 25 Jahren dynamisch simuliert, um langfristige Betriebssicherheit zu untersuchen.

## Handlungsempfehlung Energiekonzept

Auf Grundlage der dargestellten Untersuchungen und Bewertungen empfehlen wir die Umsetzung eines Energie- und Versorgungskonzept basierend auf Geothermie in Verbindung mit Wärmepumpen für Wärme- und Kälteerzeugung

### → Gebäudetechnik

- Effiziente Gebäudehülle mit Niedertemperaturheizung für Wohnnutzung und Flächenheiz- und -kühlsystemen für gewerbliche Nutzungen
- Elektrische Trinkwarmwassererwärmung

### → Zentrale Energieversorgung über Niedertemperatur Ringnetz

- Errichtung eines zentralen Versorgungsnetzes auf Temperaturniveau der Erdwärme
- Verlegung von ca. 870 Trassenmeter Kunststoffmantelrohre mit Stahlmediumrohr sowie zweifach verstärkter PU-Schaum-Dämmdicke und PE-Mantel
- Anbindung an den Rücklauf des Fernwärmenetzes der Vattenfall Wärme Hamburg zur Temperaturanhebung im Winter
- Hausanschlussstationen pro Gebäude (bzw. entsprechend Nutzungseinheiten oder Realteilung) → siehe Betriebsvarianten

### → Einsatz von Erdsonden mit Wärmepumpe für Wärme- und Kälteversorgung

- Insgesamt ca. 300 Erdsonden unterhalb der Gebäude
- Die Erdsonden werden zwar den Baufeldern zugeordnet (siehe Grobauslegung und Tabelle), allerdings direkt mit der zentralen Ringleitung im Quartier verbunden. Dadurch entsteht eine höhere Flexibilität sowie Versorgungssicherheit. → Sofern im Bereich Baufeld 9 und 10 aus Wasserwirtschaftlichen Gründen keine Erdsonden installiert werden können, können diese Erdsonden an beliebig anderen Stellen im Quartier untergebracht werden.
- Wärmepumpenanlage mit insgesamt ca. 2.500 kW<sub>th</sub> (aufgeteilt pro Gebäude/Baufeld, siehe Grobauslegung und Tabelle) die an die Ringleitung angeschlossen sind und die Gebäude mit Wärme und Kälte versorgen

### → Installation von PV Anlagen

- Installation von PV Paneelen auf ca. 50% der nutzbaren (42%) Dachflächen → PV-Installationen auf ca. 21% der gesamten Dachflächen, rund 6.150 m<sup>2</sup>

## Grobbauslegung

Die Grobauslegungen dienen lediglich einer Orientierung und müssen im weiteren Projektverlauf entsprechend der Gebäudeplanung und detaillierten Wärme- und Kältebedarfsberechnungen dimensioniert werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Anzahl der Erdsonden (ES) pro Baufeld, sowie die thermische Leistung der Wärmepumpen (WP).

|                       | BF 1   | BF 2   | BF 3   | BF 4   | BF 5   | BF 6   | BF 7   | BF 8   | BF 9   | BF 10  | Gesamt  |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| BGF [m <sup>2</sup> ] | 15.710 | 14.306 | 24.165 | 16.768 | 17.091 | 22.732 | 21.305 | 32.482 | 12.583 | 18.008 | 195.150 |
| ES [#]                | 25     | 23     | 39     | 27     | 29     | 37     | 34     | 44     | 19     | 28     | 305     |
| WP [kW]               | 200    | 180    | 310    | 220    | 230    | 290    | 270    | 440    | 170    | 240    | 2.550   |

## Betriebsszenarien

Das empfohlene Versorgungskonzept bietet mit drei möglichen Betriebsszenarien maximale Flexibilität:

1. Zentraler Betrieb für das gesamte Quartier; Systemgrenze an öffentliche Versorgung ist die Anbindung der Ringleitung an den Fernwärmerücklauf
2. Ringleitung ist Erweiterung der Fernwärme und wird einschließlich der Erdsondenfelder von Vattenfall Wärme Hamburg betrieben; Systemgrenze ist die Hausübergabestation, die sich vor den Wärmepumpen befindet
3. Ringleitung ist Erweiterung der Fernwärme und wird einschließlich der Erdsondenfelder und Wärmepumpen von Vattenfall Wärme Hamburg betrieben; Systemgrenze ist die Hausübergabestation für die Lieferung von Wärme und ggf. Kälte pro Baufeld oder Gebäude

Entsprechend gibt es die Möglichkeit die Investitionskosten für die Ringleitung, Erdsondenfelder sowie Wärmepumpenanlagen teilweise oder ganz vom zukünftigen Wärme- und Kälteversorger getragen werden und in den Wärme- und Kältelieferpreis eingerechnet werden. Hierzu empfehlen wir weitere Abstimmungen mit Vattenfall Wärme Hamburg sowie eventuell anderen Energiedienstleistern, die ggf. nur die Energieversorgung im Quartier betreiben möchten.

Für die PV-Installationen gibt es ebenfalls die Möglichkeit den erzeugten Strom pro Gebäude zu nutzen, bzw. die Einspeisevergütung zu erwirtschaften oder die Dachflächen einem Energiedienstleister zur Verfügung zu stellen. Auch hier können Investitionskosten zu Gunsten von späteren Betriebskosten verschoben werden.

## Vorteile gegenüber Energiekonzept Averdung

Das empfohlene Energie- und Versorgungskonzept hat gegenüber der Vorzugsvariante Averdung (Variante 6.2) die folgenden Vorteile:

- Maximale Flexibilität in Bezug auf Betriebskonzept und Auswahl des Energiedienstleisters; daraus eventuell Optimierung der Investitionskosten durch Wettbewerbssituation
- Investition in langfristige Maßnahmen wie Erdsonden
- Entfall des Eisspeichers als ineffiziente und unsichere Anlagentechnik
- Nutzung von regenerativer Umweltenergie in Form von Geothermie für Heizen und Kühlen.
- Strom aus PV Installation reicht aus um den jährlichen Strombedarf der Wärmepumpen bereitzustellen
- Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um über 50%
- Bessere Lebenszykluskosten, je nach Preissteigerungsrate nach 6-8 Jahren
- Kühlung der Wohnnutzungen möglich ohne zusätzliche Investitionskosten

## Untersuchungsumfang

Im Rahmen des ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzepts werden die drei (3) rechts beschriebenen Versorgungsszenarien mit den dargestellten Varianten untersucht und miteinander verglichen. Ziel ist es ein hinsichtlich Betriebssicherheit, Energiebedarf, Energiekosten, CO<sub>2</sub>-Bilanz und Investitionskosten optimales Konzept zu erstellen.

## Variationen

Variiert werden die folgenden Kern-Komponenten des Energiekonzepts:

- Wärmeversorgung mittels Fernwärme, Wärmepumpe mit Eisspeicher, Wärmepumpe mit Geothermie
- Nutzung der Dachflächen für PV/T (elektrische und thermische Energieerzeugung) bzw. PV (elektrische Energieerzeugung)

## Einheitliche Annahmen

Für alle drei Szenarien wird der Effizienzstandard der Gebäudehülle mit KfW 55 Standard angesetzt.

Alle drei Szenarien basieren auf einem **Niedertemperatur-Wärmenetz** wie im Konzept Averdung beschrieben (Länge von ca. 870 m, Vorlauf-/Rücklauftemperaturen 50/30°C).

Die **Trinkwarmwassererwärmung erfolgt zweistufig**: ~45°C über die Niedertemperatur-Wärme, anschließend über dezentrale elektrische Nacherhitzer (bzw. Gas-Brennwert-Kessel in Szenario 2) auf mindestens 65°C.

**42%, bzw. 12.295 m<sup>2</sup> der Dachflächen ist nutzbar** für thermische oder Photovoltaik Kollektoren, bzw. Hybrid-Kollektoren (PV/T). In den Varianten werden hiervon zwischen 0-100% angesetzt.

## Szenario 1 – “Averdung Variante 2”

### Variante 1-0

KfW 55 Gebäudehülle  
Fernwärme-Rücklauf (50°C)  
Wärmepumpe + Eisspeicher  
Netzstrom

## Szenario 2 – “Averdung Variante 4”

### Variante 2-1

KfW 55 Gebäudehülle  
Wärmepumpe + Eisspeicher + 300 Erdsonden  
Kessel (Gas)  
Netzstrom + **100% Dachfläche PV/T (12.295 m<sup>2</sup>)**

## Szenario 3 – “Geothermie + PV”

### Variante 3-0

KfW 55 Gebäudehülle  
Wärmepumpe + 300 Erdsonden  
Fernwärme-Rücklauf (50°C)  
Netzstrom + **50% Dachfläche PV (6.148 m<sup>2</sup>)**

Szenario 1 bildet die Vorzugsvariante 2 des Averdung Konzepts ab mit einem Niedertemperatur-Nahwärmenetz (50°C/30°C) mit Nutzung des Fernwärme-Rücklaufs, einer zentralen Wärmepumpe (thermische Leistung 800 kW) sowie Eisspeicher (1.300 m<sup>3</sup>) zur Wärme-Kälte-Kopplung.

Die Wärmepumpe ist darauf ausgelegt den sommerlichen Kältebedarf zu decken und durch Entzug von Wärme den Eisspeicher zu laden, der wiederum die Kälte für die Klimatisierung der Gewerbeflächen bereitstellt. Die gleichzeitig anfallende Wärme wird dazu verwendet einen Teil des Wärmebedarfs im Quartier zu decken. Der Rest des Wärmebedarfs wird dem Rücklauf der Fernwärme entzogen. In dieser Auswertung wird davon ausgegangen, dass das Trinkwarmwasser dezentral elektrisch nacherhitzt wird und ein entsprechender Strombedarf anfällt.

Das Versorgungskonzept für Szenario 1 wird für die drei Gebäudeeffizienzklassen KfW55, KfW40 und Passivhaus analysiert. Rechts ist eine zusammenfassende Tabelle sowie ein Schaubild der prinzipiellen Versorgungsstruktur dargestellt. Die Variante 1-0 entspricht der Averdung Variante 6.2.

## Szenario 1 – “Averdung Variante 2”

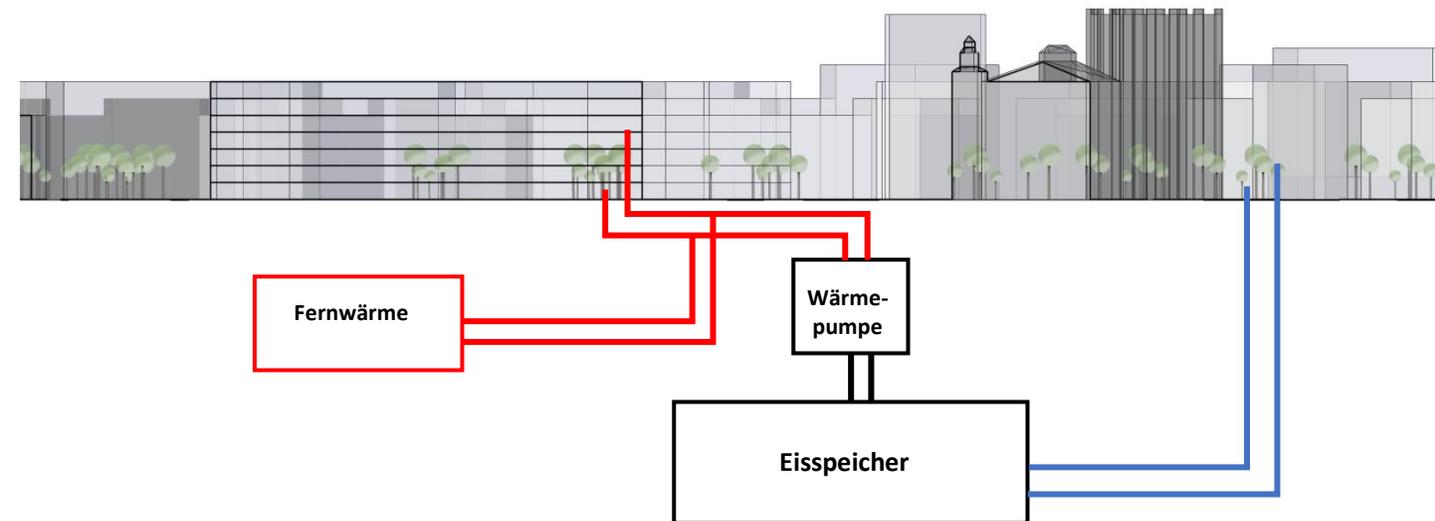
### Variante 1-0

KfW 55 Gebäudehülle

Fernwärme-Rücklauf (50°C)

Wärmepumpe + Eisspeicher

Netzstrom



Szenario 1 – Fernwärme, Wärmepumpe, Eisspeicher

## Variante 1-0

KfW 55

Fernwärme

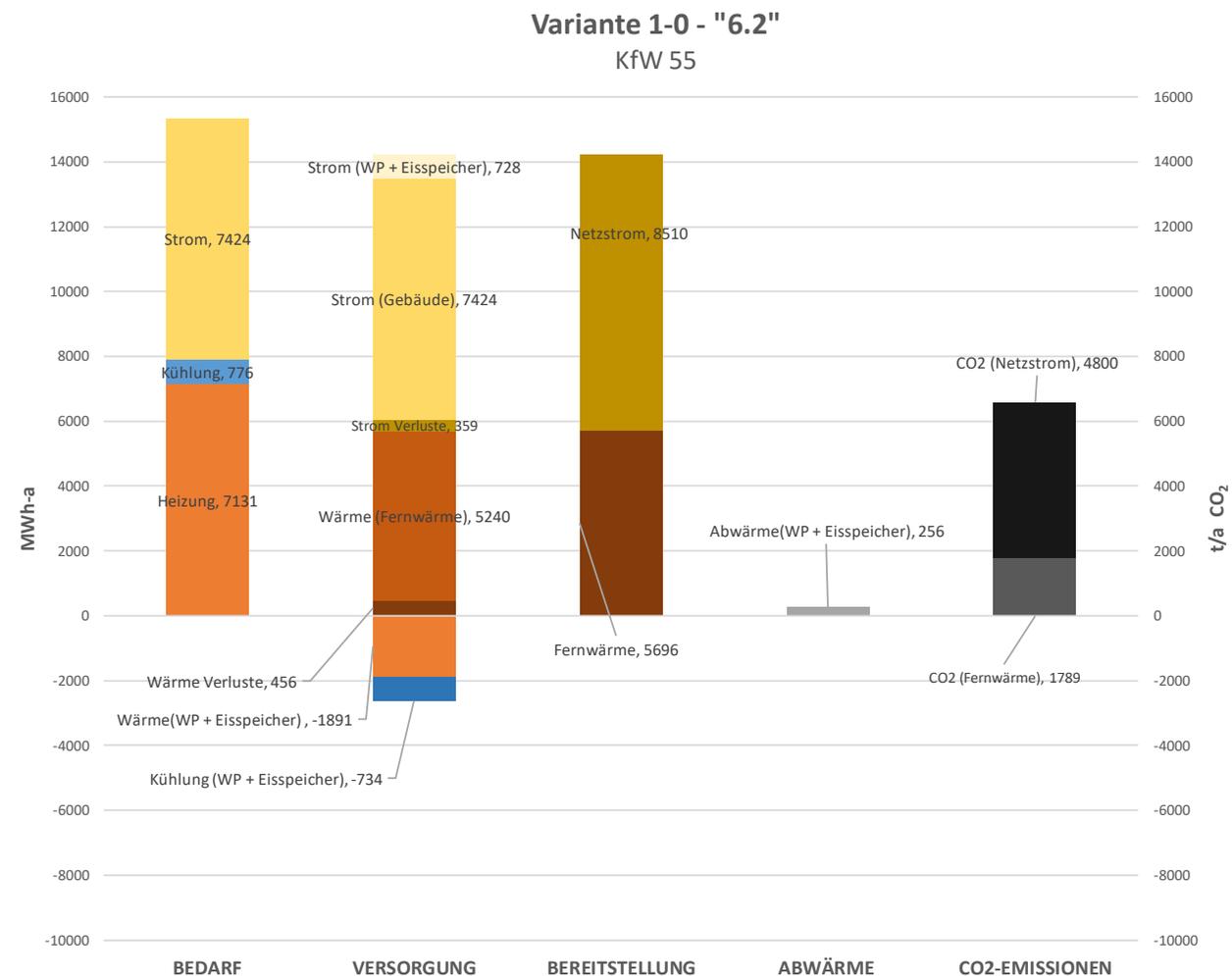
Wärmepumpe + Eisspeicher

Netzstrom

Die Grafik rechts zeigt für diese Variante auf Basis stündlicher Simulation ermittelten Jahreswerte für den Energiebedarf, die Energieversorgung (einschließlich Verluste und Gutschriften aus erneuerbaren Quellen, inkl. Eisspeicher), die Energiebereitstellung (Energieträger), die anfallende Abwärme aus dem Wärmepumpenbetrieb, sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die stündliche Simulation für das gesamte Quartier ergibt, dass der Wärmepumpenbetrieb ca. 27% des jährlichen Wärmebedarfs deckt; ca. 10% niedriger, als der Von Averdung angegebene Wert von 37%. Der Unterschied könnte aus unterschiedlichen Ansätzen für die Warmwasserbereitung resultieren. In dieser Untersuchung wurde die Trinkwarmwassererwärmung auf 65°C mittels dezentralen Frischwasserstationen angesetzt. Averdung führt in Kapitel 9.2 weitere Möglichkeiten aus, wie z.B. eine Ultra-Filtration oder ein 3-Leiter-Netz mit Nutzung des Fernwärmeverlaufs. In diesen Fällen könnte die Wärmepumpe einen größeren Teil der Wärmebereitstellung übernehmen.

Weiterhin hat die stündliche Simulation des Eisspeichers gezeigt, dass dieser über ca. 10 Wochen im Sommer flüssig bleibt. Die Abwärme der Wärmepumpe während der Eisspeicher flüssig ist beträgt ca. 13% des jährlichen Wärmebedarfs. Sofern diese Wärme nicht für die Nutzung während der Heizperiode gespeichert wird, muss eine Rückkühlung vorgesehen werden.



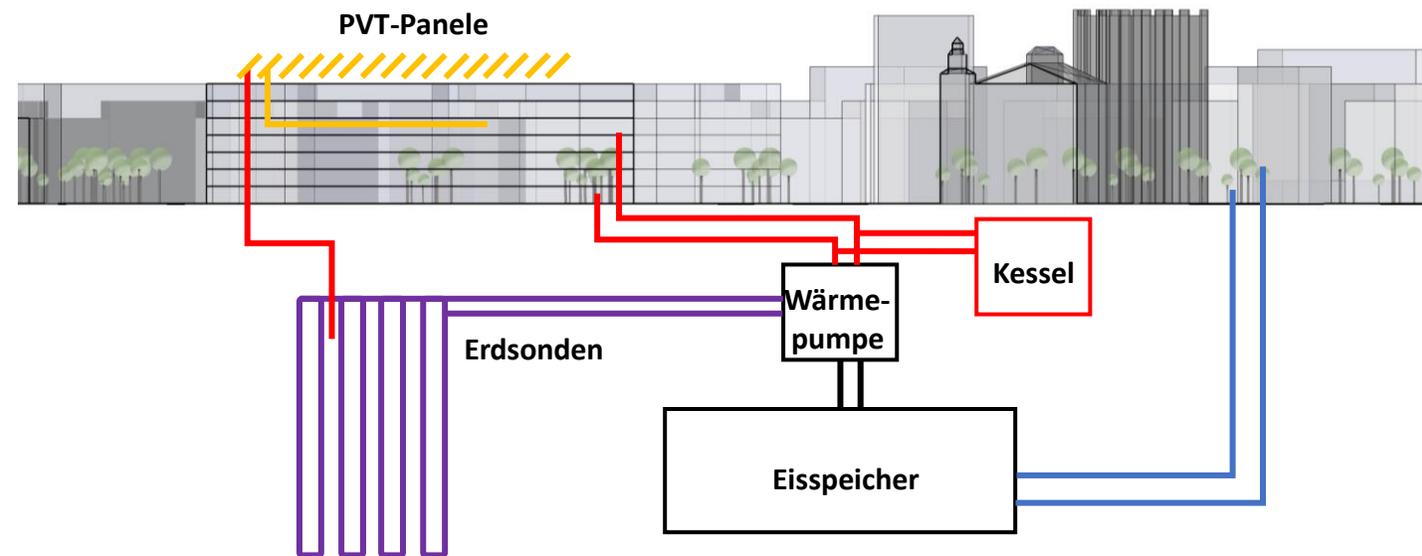
Szenario 2 analysiert das Konzept, das Averdung als „Variante 6.4“ beschreibt.

Szenario 2 beinhaltet eine zentrale 2.500 kW geothermische Wärmepumpe sowie einen 4.000 kW Brennwertkessel für die verbleibende Wärmeversorgung. Die Wärmepumpe hat Vorrang gegenüber dem Kessel. Die „kalte“ Seite der Wärmepumpe lädt einen 1.300 m<sup>3</sup> Eisspeicher zur Kälteversorgung der Büro- und Gewerbeflächen (Wärme-Kälte-Kopplung). Die Wärmepumpe speist überschüssige Abwärme in den Sommermonaten in ein Erdsondenfeld mit 300 Erdsonden ein, zur Nutzung in den Wintermonaten. Damit ist die Rückkühlung wie in Szenario 1 nicht mehr erforderlich. Eine 6.148 m<sup>2</sup> PV/T Installation auf den Gebäudedächern generiert einerseits Strom und außerdem Wärme, um die Erdsondenfelder nach der Heizperiode zu regenerieren (die entzogene Wärme wird wieder zugeführt). Der verbleibende Strombedarf wird aus dem Netz gedeckt.

Die Untersuchungen mittels stündlicher Simulation zeigen, dass mit der in Variante 2-0 dargestellten Wärme aus den PV/T Modulen die Erdsondenfelder nicht ausreichend regeneriert werden können. Aus diesem Grund wird die PV/T Installation in Variante 2-1 auf 100% der nutzbaren Dachfläche erhöht.

Rechts ist eine zusammenfassende Tabelle sowie ein Schaubild der prinzipiellen Versorgungsstruktur dargestellt. Die Variante 2-0 entspricht der Averdung Variante 6.4.

| Szenario 2 – “Averdung Variante 4”                      |  |
|---|--|
| Variante 2-0  | Variante 2-1   |
| KfW 55 Gebäudehülle                                     | KfW 55 Gebäudehülle  |
| Wärmepumpe + Eisspeicher + 300 Erdsonden                | Wärmepumpe + Eisspeicher + 300 Erdsonden                       |
| Kessel (Gas)  | Kessel (Gas)   |
| Netzstrom + 50% Dachfläche PV/T (6.148 m <sup>2</sup> ) | Netzstrom + <b>100% Dachfläche PV/T (12.295 m<sup>2</sup>)</b> |



## Variante 2-1

KfW 55

Kessel (Gas)

Wärmepumpe + Eisspeicher + 300 Erdsonden

Netzstrom + 100% Dachfläche PVT (12.295m<sup>2</sup>)

Die Grafik rechts zeigt für diese Variante auf Basis stündlicher Simulation ermittelten Jahreswerte für den Energiebedarf, die Energieversorgung (einschließlich Verluste und Gutschriften aus erneuerbaren Quellen, inkl. Eisspeicher), die Energiebereitstellung (Energieträger), die anfallende Abwärme aus dem Wärmepumpenbetrieb, sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

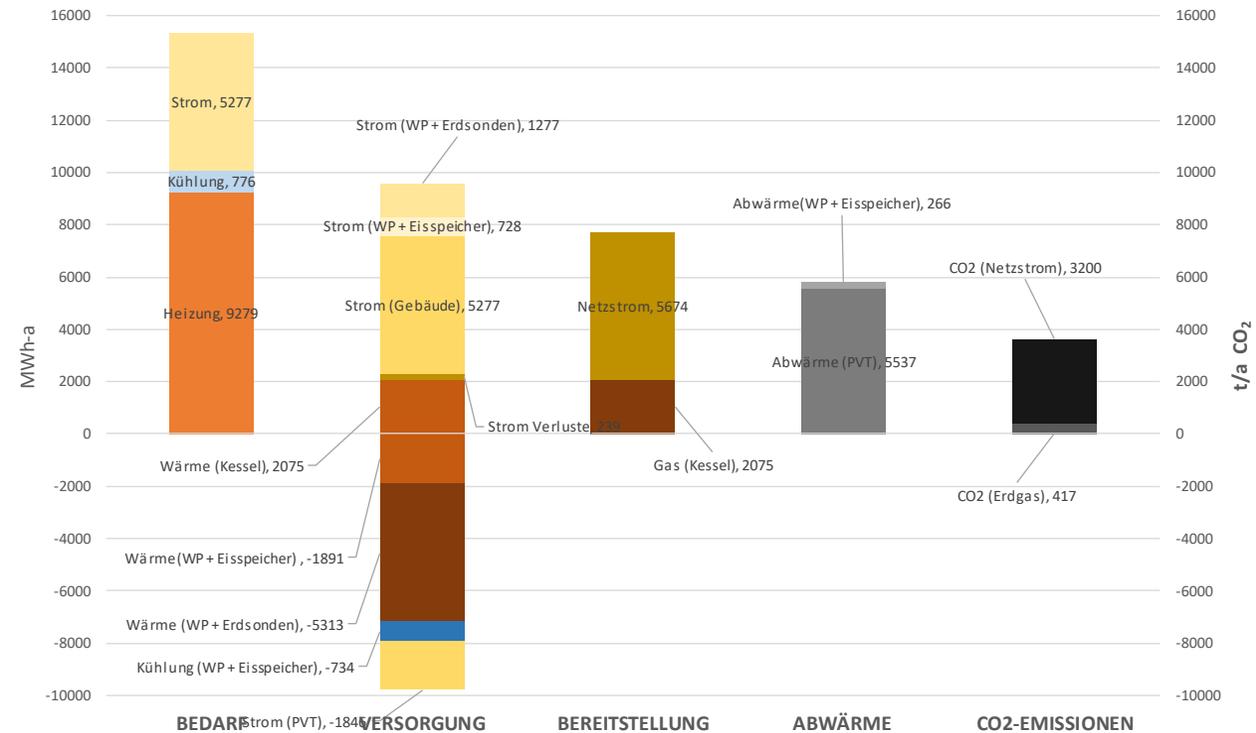
In Variante 2-0 wird die gesamte Abwärme aus dem Wärmepumpenbetrieb sowie die mittels PV/T Kollektor erzeugte Wärme zur Regenerierung der Erdsondenfelder im Untergrund gespeichert. 74% dieser Wärme kommt vom PV/T. Die Geothermie-Wärmepumpe ist damit zumindest im ersten Betriebsjahr in der Lage 93% des Wärmebedarfs für die Niedertemperatur Raumheizung zu decken. Der Gaskessel liefert den Rest und dient in erster Linie zur Trinkwarmwassererwärmung auf 65°C. Dies ist leicht höher als der von Averdung genannte Wert von 87%.

Da in dieser Variante die Geothermie wegen über die Jahre unausgeglichener Wärmebilanz im Untergrund nicht langfristig genutzt werden kann, muss davon ausgegangen werden, dass mehr Wärme über den Gaskessel bereitgestellt wird.

In einer modifizierten Variante wird deshalb eine Vergrößerung der PV/T Installation betrachtet, für eine bessere Regeneration des Untergrund für die geothermische Nutzung.

In Variante 2-1 wird die gesamte Abwärme aus dem Wärmepumpenbetrieb sowie die mittels verdoppeltem PV/T Kollektor erzeugte Wärme zur Regenerierung der Erdsondenfelder im Untergrund gespeichert. 85% dieser Wärme kommt vom PV/T. Die Geothermie-Wärmepumpe ist jetzt in der Lage 100% des Wärmebedarfs für die Niedertemperatur Raumheizung zu decken. Der Gaskessel dient lediglich zur Trinkwarmwassererwärmung auf 65°C.

## Variante 2-1 KfW 55 | 300 Erdsonden | 100% Dachfläche PVT



Auf Basis der Erkenntnisse aus Szenario 1 und 2 wird im Szenario 3 eine konsequente Nutzung der Geothermie für Heizen und Kühlen untersucht, bei gleichzeitigem Entfall des Eisspeichers. Die Deckung der erforderlichen Restwärme erfolgt über den Fernwärme-Rücklauf. Weiterhin wird auf die PV/T Installation verzichtet. Der Untergrund wird direkt mit der Abwärme aus dem Wärmepumpenbetrieb für direktes Kühlen regeneriert.

Dafür werden auf 50% der nutzbaren Dachflächen reine PV Module installiert.

## Szenario 3 – “Geothermie + PV”

### Variante 3-0

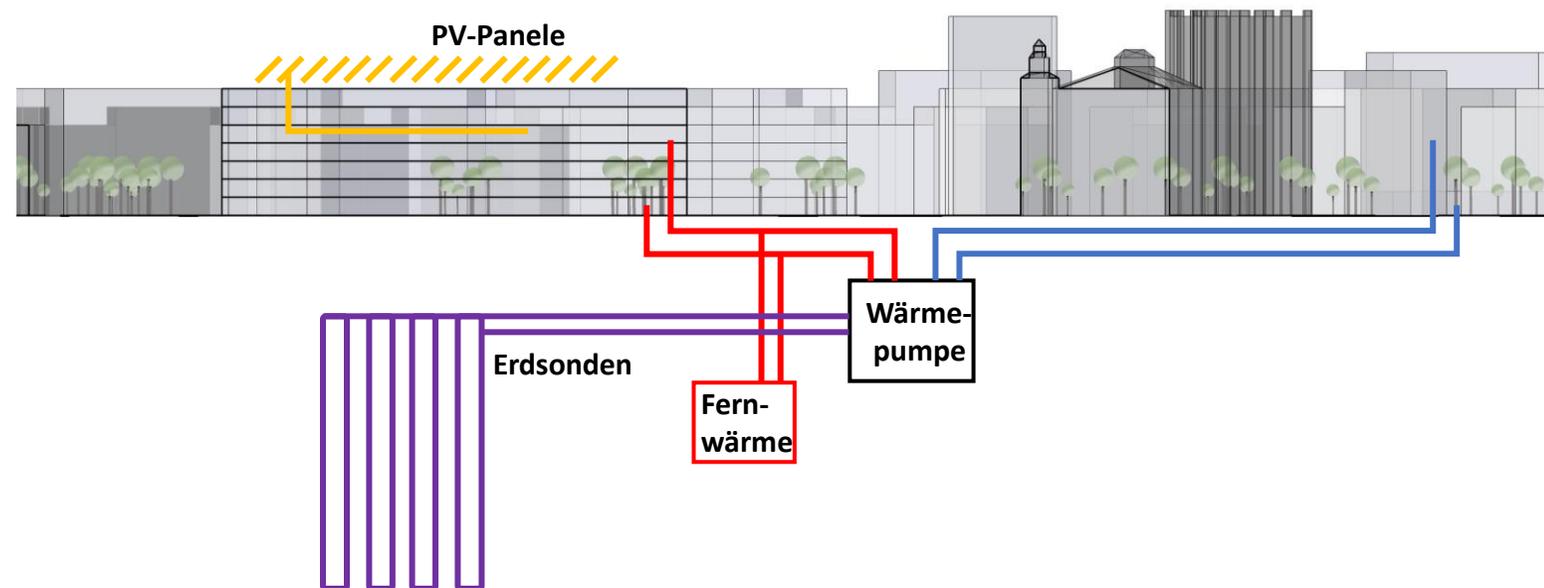
KfW 55 Gebäudehülle

ohne Kühlung für Wohngebäude

Wärmepumpe +  
300 Erdsonden

Fernwärme-Rücklauf (50°C)

Netzstrom + 50% Dachfläche PV (6.148 m<sup>2</sup>)



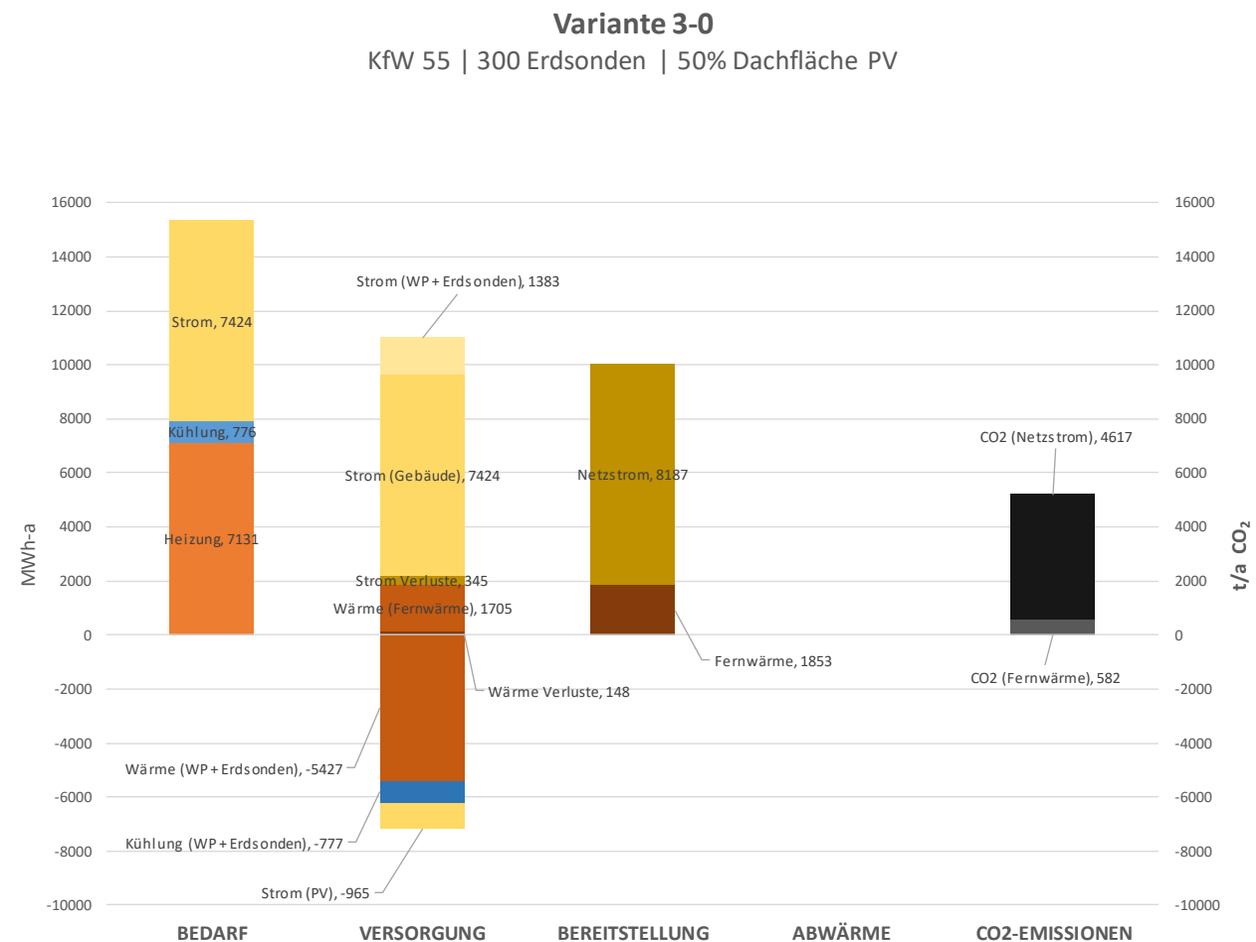
Szenario 3 – Passivhaus, Wärmepumpe, Erdsonden, PV

### Variante 3-0

|  |
|--|
| KfW 55 Gebäudehülle                                  |
| ohne Kühlung für Wohngebäude                         |
| Fernwärme (50°C)                                     |
| Wärmepumpe + 200 Erdsonden                           |
| Netzstrom + 50% Dachfläche PV (6.148m <sup>2</sup> ) |

Die Geothermie-Wärmepumpe deckt 76% des jährlichen Heizwärmebedarfs und 100% des jährlichen Kältebedarfs. Der restliche Wärmebedarf wird über die Anbindung an den Fernwärmerücklauf gedeckt.

Bei Variante 3-0 fällt keine ungenutzte Abwärme mehr an. Alle Abwärme aus dem Wärmepumpenbetrieb für direktes Kühlen wird im Erdreich gespeichert und für die Wärmeerzeugung wieder genutzt.



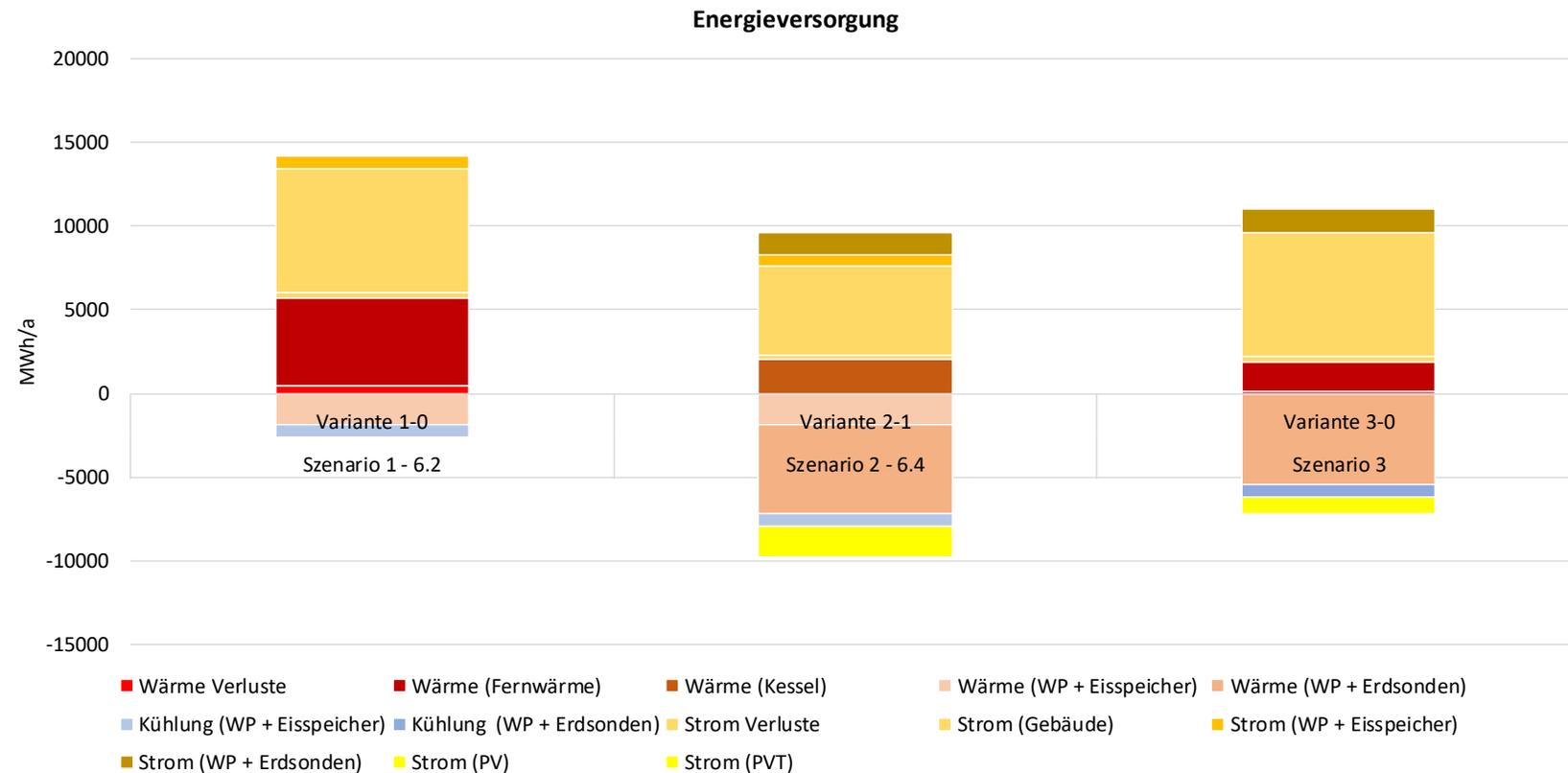
## Energiebilanz

Das Diagramm rechts zeigt die jährlichen Energiemengen aufgeteilt auf die jeweiligen Versorgungskomponenten für die ausgewählten Varianten im direkten Vergleich. Alle Varianten haben einen dominanten Stromverbrauch für die generelle Gebäudenutzung (Beleuchtung, Nutzgeräte/Arbeitshilfen, Trinkwarmwasserbereitung, Pumpen/Ventilatoren für die Wärme- und Kälteverteilung innerhalb der Gebäude, etc.).

Die Variante 1-0 zeigt einen hohen Fernwärmeverbrauch. In der Energiebilanz gutgeschrieben werden die Energiemengen, die aus dem Eisspeicher nutzbar sind.

Die Variante 2.1 zeigt die Wärmeverbräuche vom Gaskessel, der die Fernwärme aus Szenario 1 ersetzt. Neben der Raumheizung wird der Gaskessel bei Szenario 2 auch zur Trinkwarmwassererwärmung genutzt, die bei den Varianten im Szenario 1 und 3 elektrisch erfolgt (in „Strom (Gebäude)“ enthalten). Beim Stromverbrauch zeichnet sich neben dem Nutzstrom („Strom (Gebäude)“) auch die Wärmepumpen für Eisspeicher und Geothermie ab. Neben dem Eisspeicher wird in Szenario 2 auch Geothermie genutzt mit entsprechenden Stromverbräuchen für die Wärmepumpen und Gutschriften für die aus dem Eisspeicher, bzw. den Erdsonden genutzte Energie. Weiterhin wird in der Energiebilanz die Stromerzeugung aus PV/T gutgeschrieben.

Die Variante 3-0 weist Stromverbrauch für die Wärmepumpe Geothermie auf, sowie Fernwärmeverbrauch. Gutgeschrieben werden die aus den Erdsonden genutzte Energie, sowie die Stromerzeugung aus PV.



## Anteil Erneuerbare Energien

Es ist ersichtlich, dass Szenario 2 und 3 deutlich höhere Anteile erneuerbare Energienutzung haben als Szenario 1, bei gleichzeitig geringerem Gesamtenergieverbrauch.

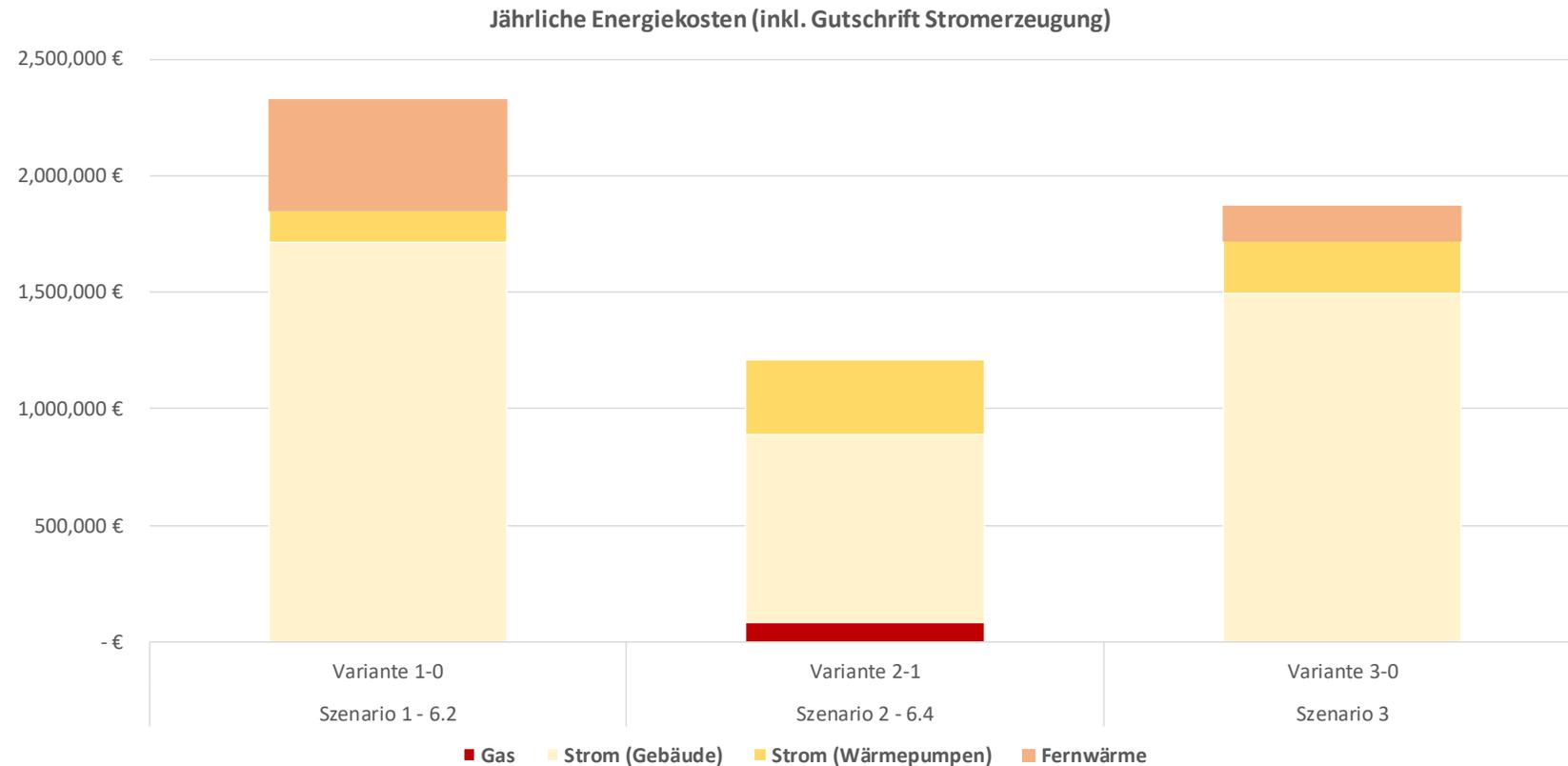
## Energiekosten

Die Energiekosten werden mit denselben spezifischen Kosten berechnet wie in der Averdung Studie.

- Erdgas 0,04 €/kWh
- Strom (Gebäude) 0,22 €/kWh
- Strom (WP Szenario 1) 0,19 €/kWh
- Strom (WP Szenario 1) 0,16 €/kWh
- Fernwärme (Mischpreis Arbeitspreis / Grundpreis) 8,37 €-Cent/kWh

Unterschied zu Averdung ist, dass in der vorliegenden Untersuchung der gesamte Stromverbrauch der Gebäude enthalten ist und die jährlichen Energiekosten deshalb insgesamt deutlich höher dargestellt sind. Allerdings lässt sich so der Effekt der Einspeisevergütung aus regenerativer Stromerzeugung mittels PV, bzw. PV/T im Quartier besser bilanzieren.

Insgesamt zeigt sich, dass die jährlichen Energiekosten bei Variante 2-1 um ca. 1,1 Mio. Euro niedriger sind als bei Variante 1-0. Bei Variante 2-1 macht sich allerdings die höhere Stromerzeugung der gegenüber der ursprünglichen Variante 2-0 verdoppelten PV/T Installation bemerkbar. Die Energiekosten bei Variante 3-0 sind gegenüber Variante 1-0 um rund 500.000 Euro pro Jahr niedriger. Werden nur die Energiekosten für die Gebäudeheizung und -kühlung betrachtet, sind diese bei Variante 3-0 ca. die Hälfte im Vergleich zu Variante 1-0.



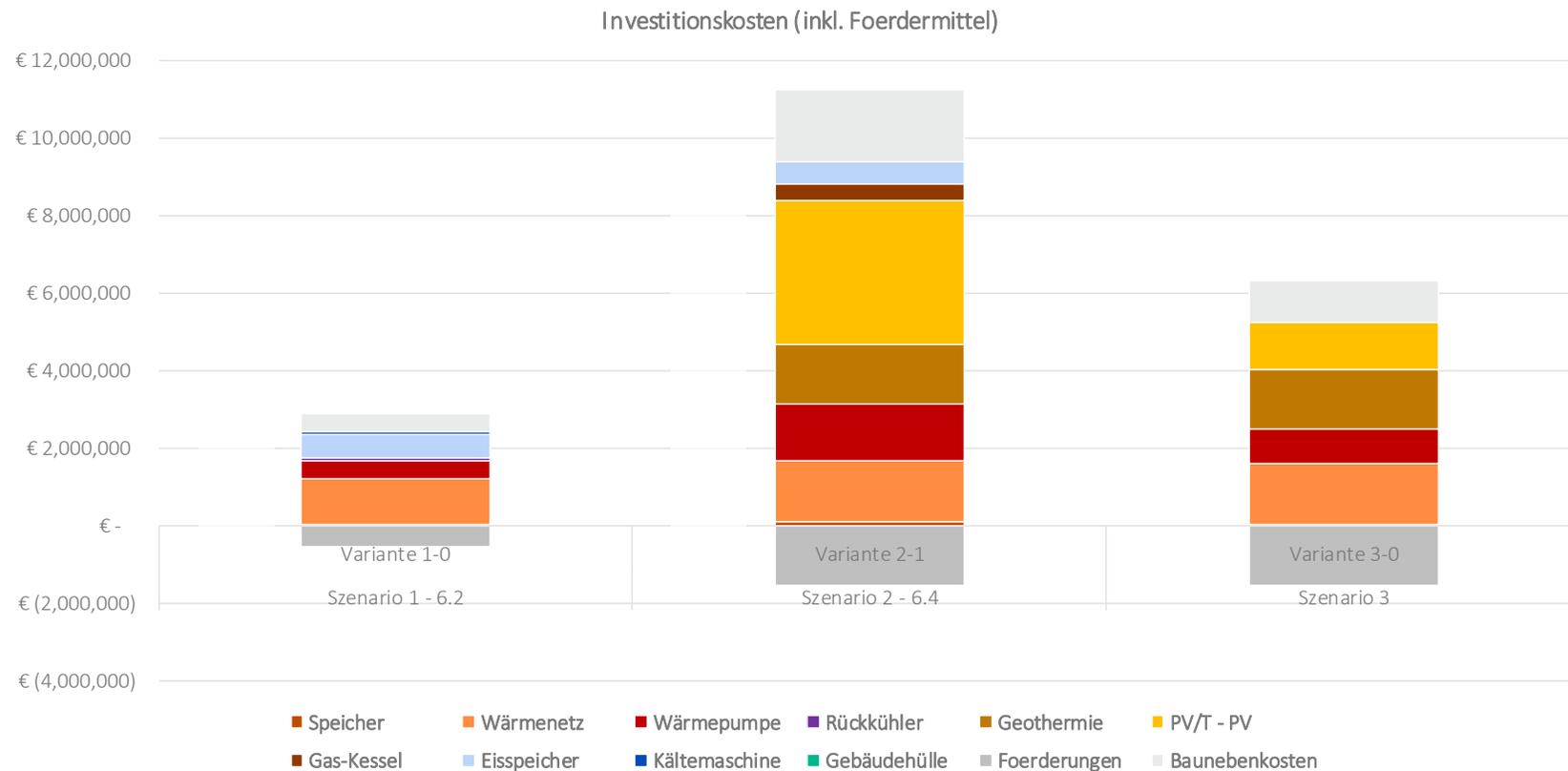
## Investitionskosten

Die Investitionskosten für Variante 1-0 und 2-0 wurden aus der Averdung Studie übernommen. Wo relevant, wurden diese entsprechend modifizierten Anlagenauslegungen im Versorgungskonzept angepasst (z.B. Verdoppelung der Kosten für PV/T von Variante 2-0 zu 2-1 und Halbierung bei Variante 2-2). Eine Tabelle mit den Investitionskosten ist im Anhang enthalten.

Baunebenkosten sind entsprechend dem Averdung Konzept pauschal mit 20% der Herstellkosten veranschlagt. Dies ist ein konservativer Ansatz, da Baunebenkosten nicht generell linear mit den Herstellkosten steigen.

Es ist anzumerken, dass entsprechend der Averdung Vorgehensweise im Szenario 1 keine Investitionen für PV enthalten sind. Im Szenario 2 sind die Investitionen für PV/T notwendig für die Funktionalität des technischen Konzeptes. In Szenario 3 ist PV ist zwar nicht relevant für die technische Funktionsweise des Konzeptes, wir sehen eine PV-Installation trotzdem als wichtige Komponente für ein zukunftsweisendes Energie- und Versorgungskonzept.

Für Szenario 1 wurden zusätzliche Kosten für einen Rückkühler sowie eine Kältemaschine aufgenommen. Die Kältemaschine wird für alle Varianten angesetzt, außer 3-0 und 3-1, da bei diesen die komplette Kälteversorgung über Geothermie abgedeckt wird.



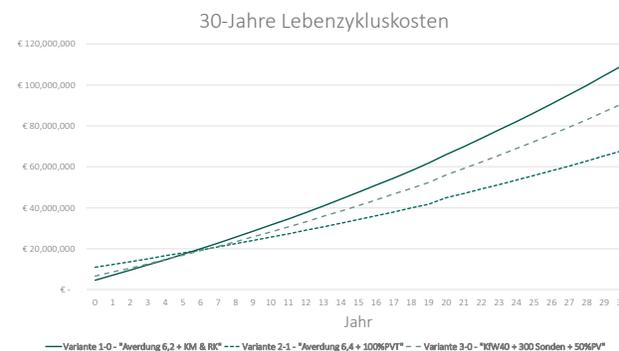
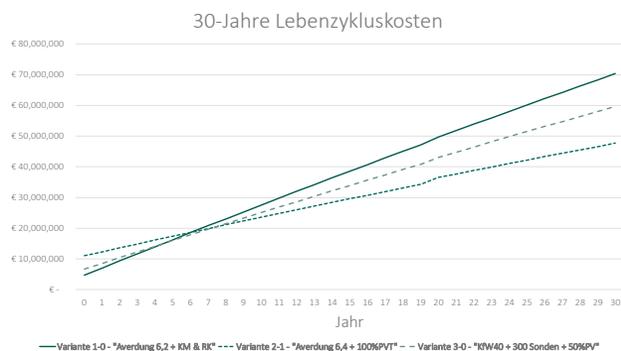
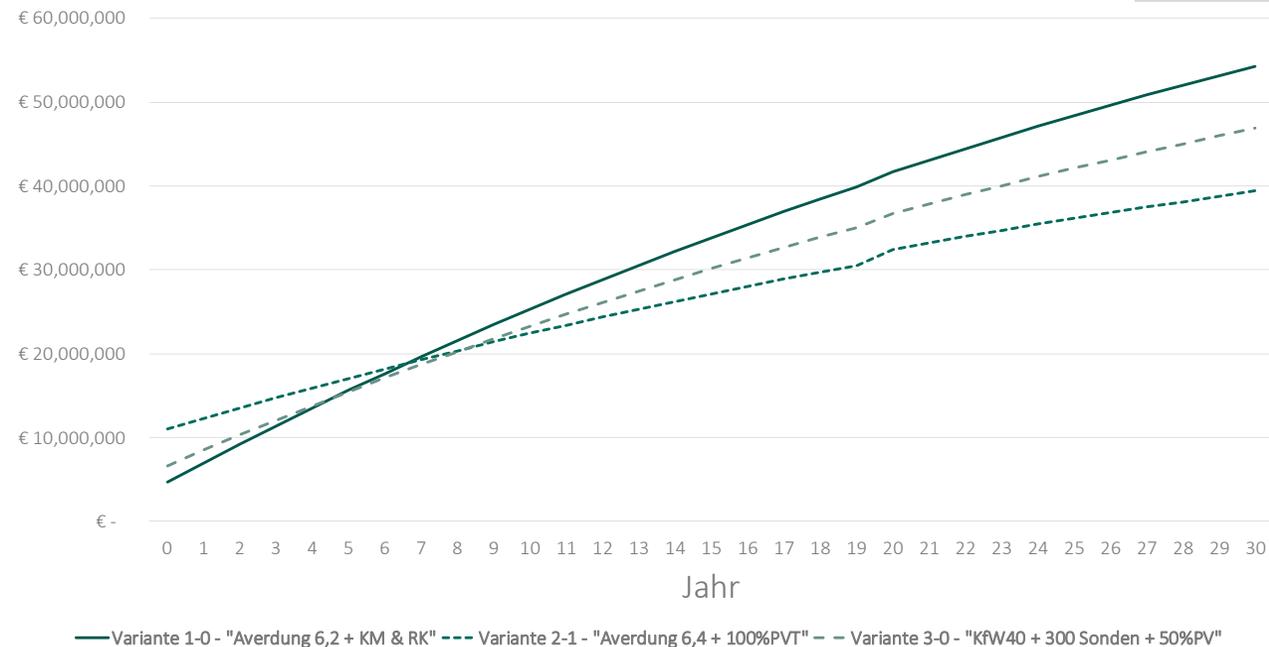
## Lebenszykluskosten

Die Diagramme rechts zeigen die Entwicklung der Lebenszykluskosten für die Varianten 1-0, 2-1 und 3-0 über einen Zeitraum von 30 Jahren. Berücksichtigt sind

- Investitionskosten
- Energiekosten (Preissteigerung 0%, 2%, 5%)
- Betriebs- und Wartungskosten (je nach Anlage zwischen 0,2 - 4,0%)
- Erneuerungskosten (technische Anlagen nach 20 Jahren)

Im Jahr „0“ sind lediglich die Investitionskosten präsent; Variante 1-0 ist am günstigsten und Variante 2-1 am ungünstigsten. Ohne Preissteigerung (Diagramm oben) wendet sich die Reihenfolge nach dem 8. Jahr und Variante 2-1 wird in der Lebenszykluskostenbetrachtung die günstigste. Bei einer Preissteigerungsrate von 2% ist der Wendepunkt in Jahr 7 (Diagramm unten links), bei einer Preissteigerungsrate von 5% bereits in Jahr 6 (Diagramm unten rechts). Bei Ansatz eines CO<sub>2</sub>-Preises (siehe folgende Seite) würde sich der Wendepunkt nochmals um ein knappes Jahr früher einstellen.

### 30-Jahre Lebenszykluskosten



## CO<sub>2</sub> Bilanz

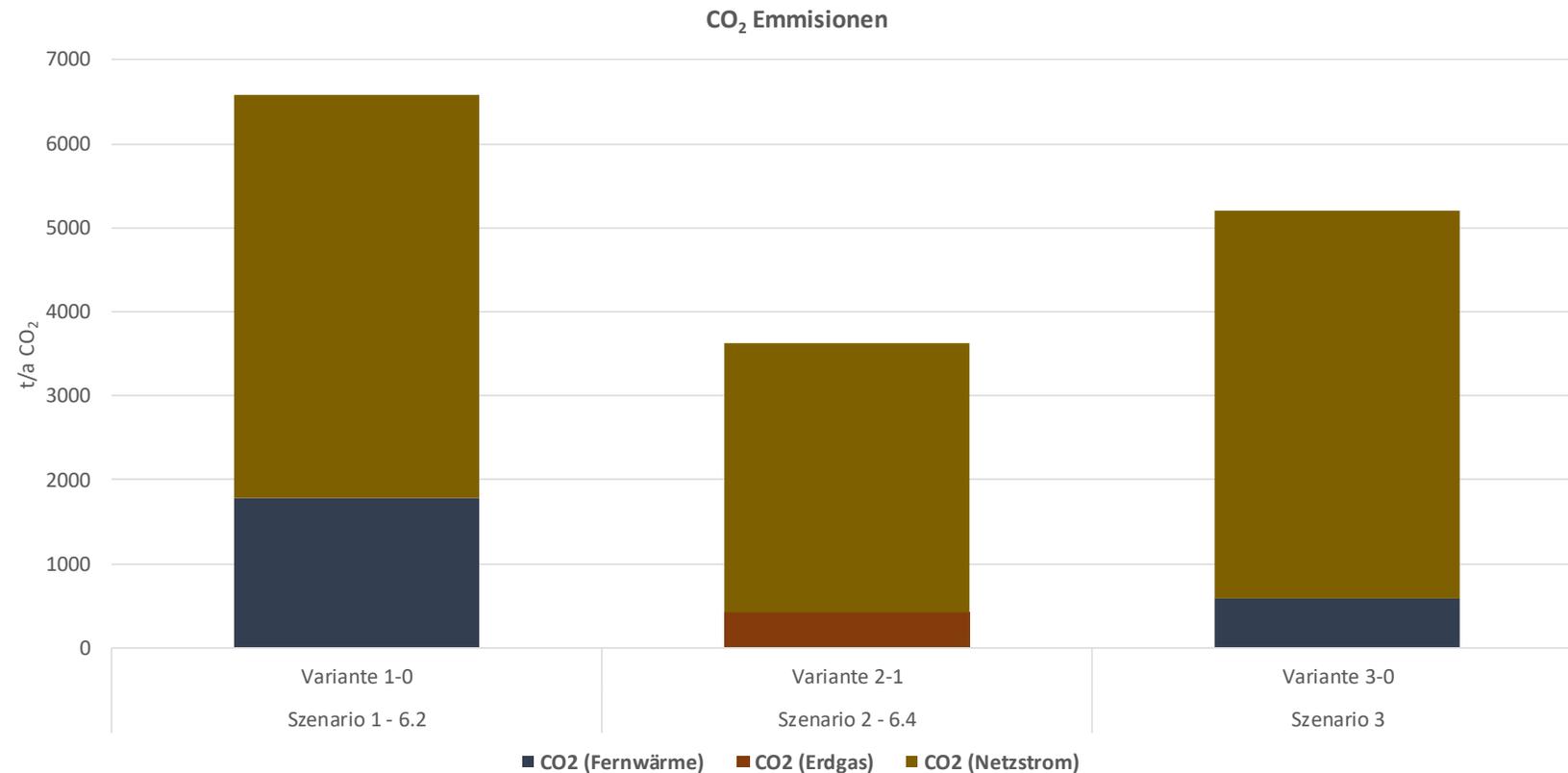
Die CO<sub>2</sub> Emissionen (Diagramm rechts) werden mit denselben CO<sub>2</sub>-Faktoren berechnet wie in der Averdung Studie. Unterschied in der vorliegenden Untersuchung ist, dass der gesamte Stromverbrauch der Gebäude ebenfalls bilanziert ist und die Emissionswerte deshalb insgesamt deutlich höher sind. Allerdings lässt sich so der Effekt der regenerativen Stromerzeugung mittels PV, bzw. PV/T im Quartier besser abbilden.

Gegenüber der Referenzvariante 1-0 (Vorzugsvariante Averdung) ergeben die Variante 2-1 eine Reduzierung der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen um rund 2.900 t. Die Varianten im Szenario 3 führen zu einer Reduzierung um rund 1.400 t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Bei einem angenommenen CO<sub>2</sub>-Preis von 25 €/t (Klimapakt Einstiegspreis 2021) wären das jährliche Einsparungen in Höhe von 74.000 Euro für Variante 2-1 und 35.000 Euro für Variante 3-0. Bei einer angenommenen CO<sub>2</sub>-Preissteigerung auf 55 €/t (Prognose 2025) wären die jährliche Einsparungen 163.000 Euro, bzw. 76.000 Euro. ANMERKUNG: CO<sub>2</sub>-Preise und Einsparungen sind in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen dieser Untersuchung nicht eingeflossen.

## Lokale Emissionen

Lokale Emissionen entstehen lediglich im Szenario 2 durch den Gas-Brennwertkessel. Alle anderen Szenarien haben keine lokalen Emissionen.



## Bewertungsmatrix

Die vorangegangenen Bewertungen werden in der folgenden Bewertungsmatrix zusammengefasst. Es zeigt sich, dass die zusammenfassende Bewertung der Szenarien und Varianten bei unterschiedlichen Prioritäten verschieden ausfallen.

Ist die höchste Priorität die anfänglichen Investitionskosten, schneidet die Variante 1-0 am besten ab. Allerdings unter klaren Einbußen bei ökologischen Kriterien und auch längerfristigen Lebenszykluskosten.

Werden Kriterien wie Betriebssicherheit, Nutzerakzeptanz (Nutzer Mehrwert) und Vermarktungsmehrwert priorisiert, unter gleichzeitiger hoher Gewichtung ökologischer Kriterien schneidet die Variante 3-0 am besten ab.

Liegt die Priorität auf ökologischen Kriterien, Preisstabilität und langfristig niedrigen Lebenszykluskosten, dann ist die Variante 2-1 zu bevorzugen. Hier schlagen allerdings deutlich höhere Anfangsinvestitionen zu Buche sowie ein aufwändiges technisches Konzept mit den entsprechenden Nachteilen in Bezug auf Betrieb und betriebssicherheit.

|                                    | Szenario<br>1   | Szenario<br>2 | Szenario<br>3 |
|------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|
|                                    | Var. 1-0        | Var. 2-1      | Var. 3-0      |
| Investitionen                      | ↑               | ↓             | →             |
| Energiekosten                      | ↘               | ↑             | →             |
| Abhängigkeit von Fördermitteln     | ↑               | →             | →             |
| Lebenszykluskosten                 | →               | ↑             | ↗             |
| Betriebssicherheit                 | → <sup>1)</sup> | →             | ↗             |
| Effiziente Energieverwertung       | →               | ↘             | ↗             |
| Anteil Erneuerbare Energiequellen  | ↘               | ↑             | ↗             |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen        | →               | ↑             | ↗             |
| Lokale Emissionen                  | ↑               | ↘             | ↑             |
| Nutzerakzeptanz                    | ↗               | →             | ↑             |
| Vermarktungsmehrwert               | →               | →             | ↗             |
| <b>Zusammenfassende Empfehlung</b> | ↓               | →             | ↗             |

<sup>1)</sup> Nur mit zusätzlichen Investitionen

# Anhang zu TEIL C – Detaillierte Analyseergebnisse

Im Folgenden werden die detaillierten Analysen und Ergebnisse dargestellt. Diese dienen zur Plausibilisierung und Nachvollziehbarkeit der Empfehlungen für das ganzheitliche Energie- und Versorgungskonzept. Im einzelnen sind die folgenden Analysen beschrieben:

- Wärmepumpe mit Eisspeicher – relevant für Szenario 1 und 2
- Geothermie / Erdsonden mit PV/T – relevant für Szenario 2 und 3

## Analyse Wärmepumpe mit Eisspeicher (Szenario 1+2 Varianten)

In den Varianten 2 und 4 im Averdung Konzept wird der sommerliche Kältebedarf für die Klimatisierung der Gewerbeflächen durch eine zentrale Wärmepumpe ( $800 \text{ kW}_{\text{th}}/222 \text{ kW}_{\text{el}}$ ), in Verbindung mit einem Eisspeicher gedeckt. Die Wärmepumpe soll durch konsequente Nutzung der gleichzeitig anfallenden Wärme etwa 37% des Wärmebedarfs des Quartiers decken; 63% kommen aus dem Rücklauf der Fernwärme.

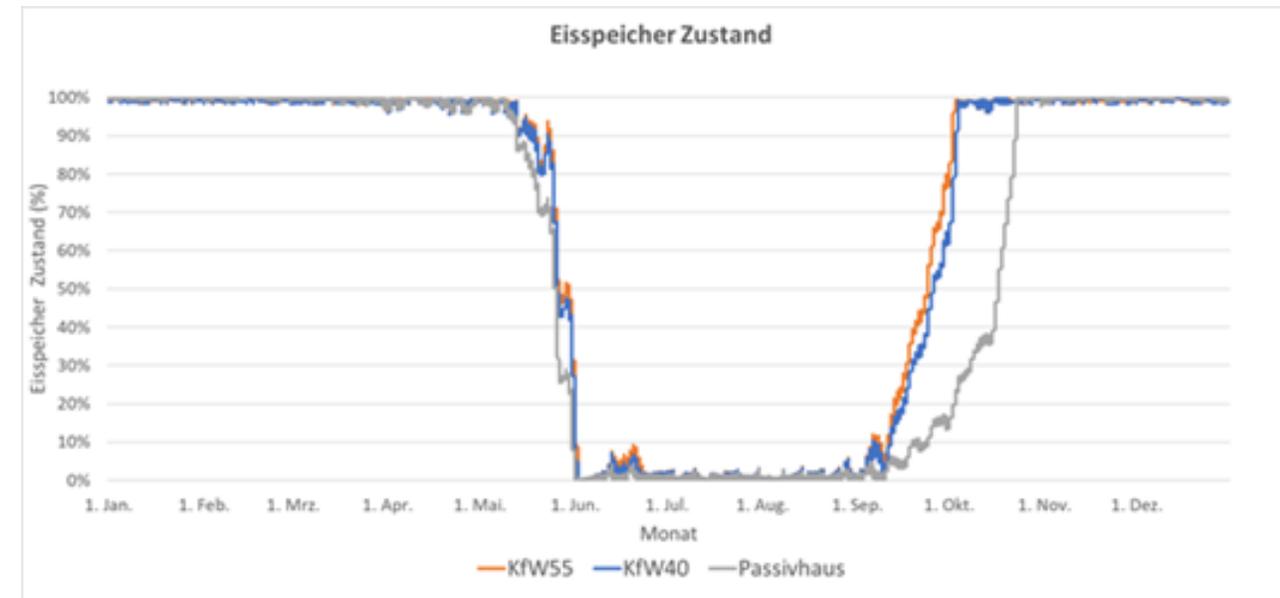
Der Wärmepumpenbetrieb und die damit einhergehende Be- und Entladung des Eisspeichers und Kälteversorgung der Gewerbeflächen wurde mittels stündlicher Simulation analysiert. Die Ergebnisse für den Ladezustand des Eisspeichers sind im Diagramm rechts dargestellt. 100% bedeutet der Eisspeicher ist komplett geladen (vereist) und kann keine weitere Kühlenergie aufnehmen; 0% bedeutet der Eisspeicher ist komplett entladen (verflüssigt) und kann keine Kälte mehr abgeben.

Die se Betrachtungen führen zu den folgenden Erkenntnissen:

- Der mit  $1.300 \text{ m}^3$  ausgelegte Eisspeicher hat von voll geladen bis komplett entladen eine Kältekapazität von  $64.000 \text{ kWh}$ . Diese ist durch zyklische Lade- und Entladevorgänge reversibel. Der Gesamt-Kältebedarf des Quartiers für Gewerbe liegt bei rund  $800.000 \text{ kWh}$  pro Jahr, also ca.  $12 \frac{1}{2}$  kompletten Lade- und Entladezyklen.
- Insgesamt ist der Betrieb des Eisspeichers relativ ineffizient:
  - Der Eisspeicher durchläuft lediglich einen kompletten Lade- und Entladezyklus.
  - Der Eisspeicher ist während ca. 4.500 Stunden pro Jahr zu mehr als 95% geladen und kann daher nur begrenzt als Wärmesenke für den Wärmepumpenbetrieb verwendet werden. Die meiste Wärmeenergie wird deshalb trotz aufwändiger Anlagentechnik von der Fernwärme bereitgestellt.
  - Der Eisspeicher ist während ca. 3.500 Stunden fast vollständig entladen (Ladezustand  $<5\%$ ) und kann während dieser Zeit nicht als Kältequelle dienen. Die Kälte wird während dieser Zeit trotzdem von der Wärmepumpe erzeugt, allerdings im Direktbetrieb und ohne dass die Abwärme genutzt werden kann.
  - Der Eisspeicher ist während ca. 1.200 Stunden im aktiven Lade-/Entladezustand und dient der aktiven Wärme-Kälte-Kopplung (WKK) wie im Konzept Averdung beschrieben.
  - Insgesamt deckt der Eisspeicher ca. 68% des jährlichen Kältebedarfs der Gewerbeflächen, der Rest wird durch Direktbetrieb der Wärmepumpe geliefert

(bzw. ist nicht gedeckt – siehe nächste Seite).

- Da durch einen besseren Wärmeschutz der Gebäudehülle der Wärmebedarf sinkt und der Kältebedarf gleichzeitig steigt, wird der Nutzungsgrad des Eisspeichers bei Steigerung der Gebäudeeffizienz schlechter.



## Analyse Wärmepumpe mit Eisspeicher (Szenario 1+2 Varianten)

...Fortsetzung...

Das Diagramm rechts zeigt für die Variante 1-0 (KfW 55) eine detaillierte Auswertung der Kälteerzeugung mittels Wärmepumpe und Eisspeicher. Neben dem Ladezustand des Eisspeichers ist dargestellt die direkte Kühlung mittels Wärmepumpe, die daraus anfallende Abwärme sowie der nicht gedeckte Kältebedarf. Im Detail lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Im Sommer besteht signifikanter Kältebedarf bei gleichzeitig sehr geringem Wärmebedarf. Wenn der Eisspeicher entladen (geschmolzen) ist erfolgt weiterhin Kälteerzeugung mittels Wärmepumpe. Die anfallende Abwärme kann allerdings nicht genutzt werden, da kein gleichzeitiger Wärmebedarf ansteht und es besteht Bedarf für eine Rückkühlung (z.B. Kühlturm oder Regenerierung der Erdsondenfelder). Diese Rückkühlung und die entsprechenden Kosten sind im Konzept Averdung Konzept 6.2 nicht berücksichtigt.
- Die stündliche Simulation zeigt weiterhin, dass mit der im Averdung Konzept ausgelegten Wärmepumpe ( $800 \text{ kW}_{\text{th}}$  /  $222 \text{ kW}_{\text{el}}$ ) der Kältebedarf für die Gewerbeflächen nicht komplett gedeckt werden kann. In Variante 1-0 (KfW 55) ergeben sich 82 Stunden pro Jahr, in denen keine ausreichende Kälteversorgung zur Verfügung steht. In den Varianten 1-1 (KfW 40) und 1-2 (Passivhaus) sind das 84, bzw. 92 Stunden pro Jahr.

→ Die Wärmepumpe in der vorliegenden Auslegung in Kombination mit dem Eisspeicher bietet keine ausreichende Betriebssicherheit für die Kälteversorgung der Gewerbeflächen.



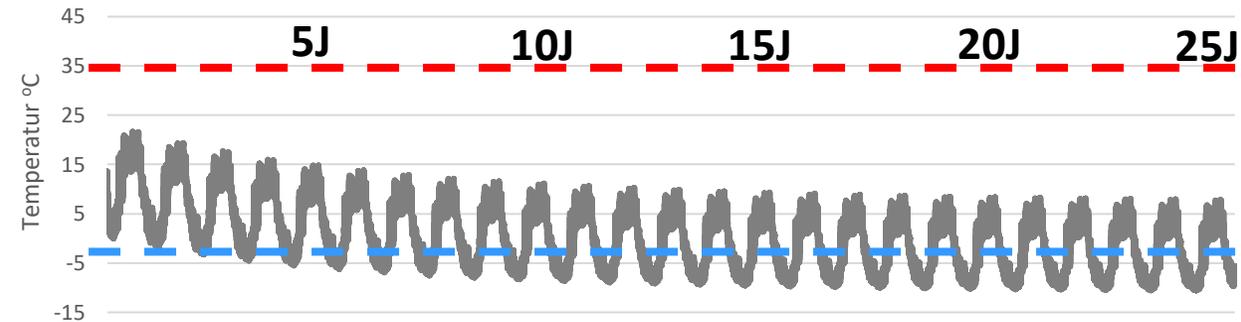
## Geothermie mit PV/T (Szenario 2 Varianten)

In Energiekonzepten wie im Szenario 2 (Averdung Variante 4) in denen geothermische Wärmepumpen zum Einsatz kommen, über die jährlich mehr Wärme als Kälte bereitgestellt wird, tendiert der Untergrund dazu über den Zeitraum von mehreren Jahren abzukühlen und unter den kritischen Punkt von  $-3^{\circ}\text{C}$  zu sinken. In diesem Fall verlieren die Erdsonden ihre Wirksamkeit; um die Erdreichtemperatur in der Balance zu halten muss entweder weniger Wärme entzogen werden (mehr Wärme kommt aus anderen Quellen wie z.B. Fernwärme), dem Untergrund muss zur Regenerierung mehr Wärme zugefügt werden (z.B. durch mehr PV/T) oder das Erdsondenfeld muss vergrößert werden (höhere Anzahl von Erdsonden).

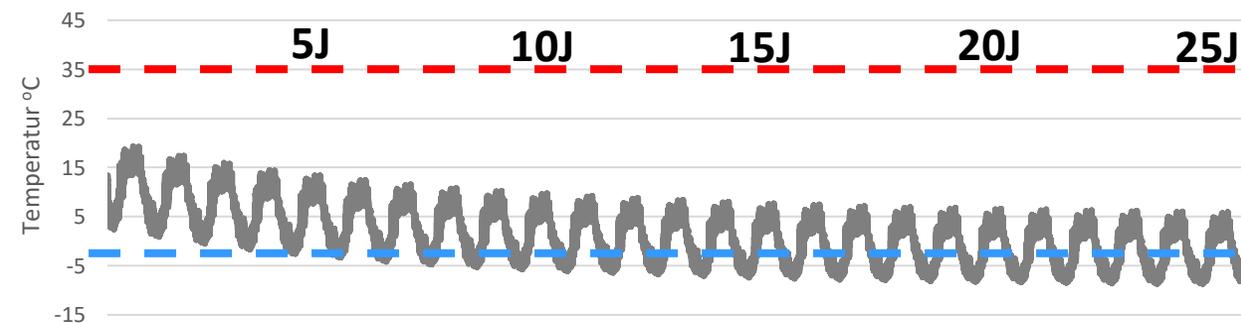
Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Wechselwirkung zwischen Wärmepumpe, Erdsondenfelder und Untergrund über ein Zeitraum von 25 Jahren dynamisch simuliert, um die langfristige Betriebssicherheit analysieren zu können. Diese Betrachtungen führen zu den folgenden Erkenntnissen:

- In der Variante mit 300 Erdsonden und PV/T auf 50% nutzbarer Dachfläche (gemäß Averdung Variante 6.4) fällt die Erdreichtemperatur bereits nach vier (4) Jahren auf unter  $-3^{\circ}\text{C}$  und ist fast ständig unter  $-3^{\circ}\text{C}$  während der Heizperiode im 15. Betriebsjahr (siehe Diagramm rechts oben).
    - Damit ist keine nachhaltige Nutzung der Erdwärme gegeben und ein Großteil der Heizenergie ( $\sim 2.700 \text{ MWh/a}$  im Jahr 25) muss dann direkt über Fernwärme oder Gaskessel bereitgestellt werden und kommt nicht mehr über Wärmepumpe.
    - Ein Großteil der Wärme für die Regenerierung des Erdreichs kommt von den PV/T Kollektoren (84%) und lediglich der Rest vom Wärmepumpenbetrieb im Sommer (16%).
  - Eine Erhöhung der Anzahl der Erdsonden von 300 auf 400 reicht nicht aus, um den Effekt der Auskühlung des Untergrund zu eliminieren (siehe Diagramm rechts unten).
- Die vorliegende Auslegung in Kombination mit dem Eisspeicher bietet keine ausreichende Betriebssicherheit für die Kälteversorgung der Gewerbeflächen.

**Erdrücklauftemperatur**  
KfW40 – 300 Erdsonden – 50% PV/T



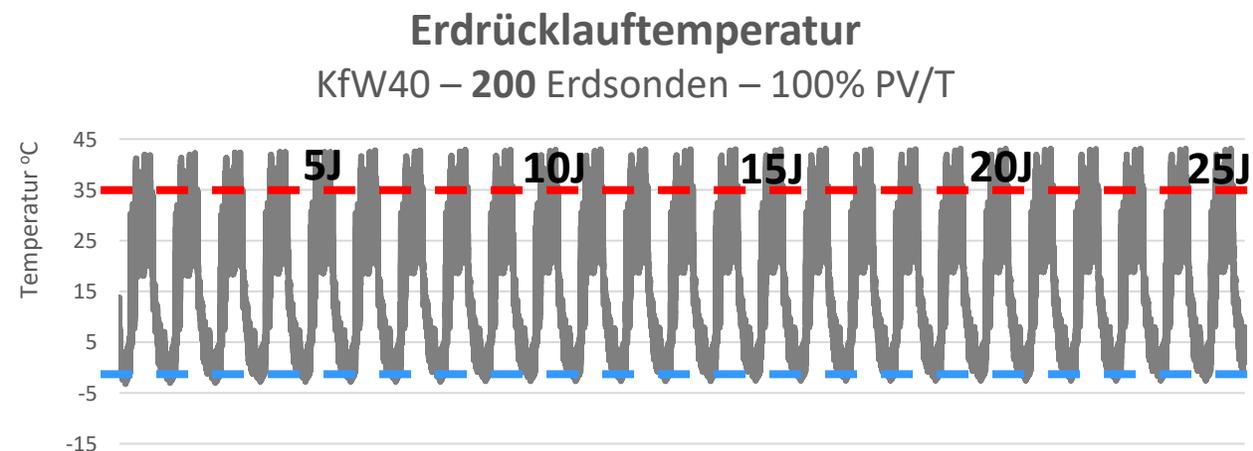
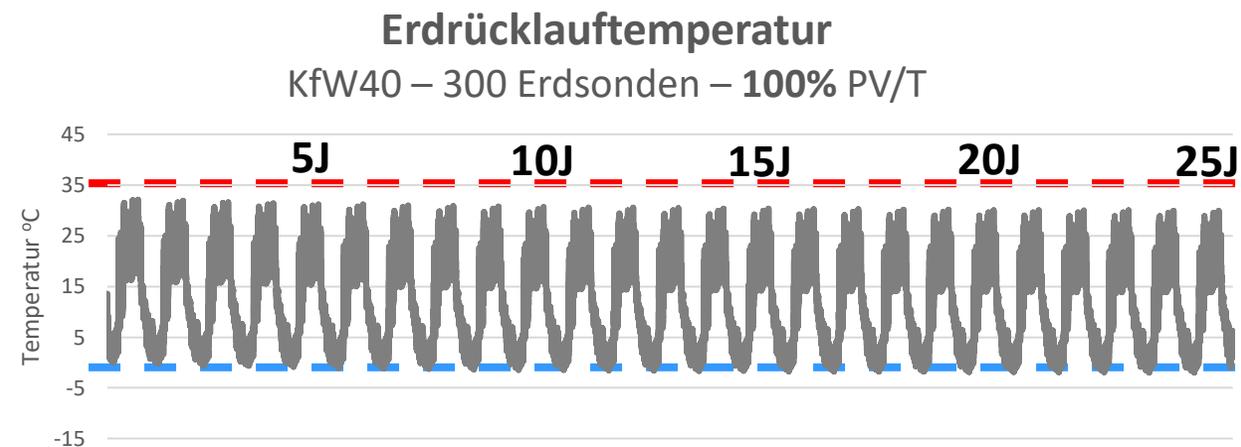
**Erdrücklauftemperatur**  
KfW40 – 400 Erdsonden – 50% PV/T



## Geothermie mit PV/T (Szenario 2 Varianten)

...Fortsetzung...

- Eine von 50% auf 100% der nutzbaren Dachfläche vergrößerte PV/T Installation würde genügend solarthermische Wärme bereitstellen, um den Untergrund im Jahresverlauf ausreichend zu regenerieren und damit eine langfristige Betriebssicherheit zu gewährleisten (siehe Diagramm rechts oben).
  - Es wurde untersucht, ob eine Reduzierung der Anzahl der Erdsonden von 300 auf 200 möglich wäre, um die Mehrkosten der erforderlichen PV/T Installation teilweise zu kompensieren. Dies führt zwar nicht zu einer Unterkühlung des Erdreichs, allerdings steigen die Erdreichtemperaturen im Kühlfall auf über +35°C
- Für eine nachhaltig betriebssichere Nutzung von Geothermie zur Beheizung des Holsten Quartier wäre es erforderlich die PV/T Installation gegenüber dem Averdung Konzept (Variante 4) zu verdoppeln.

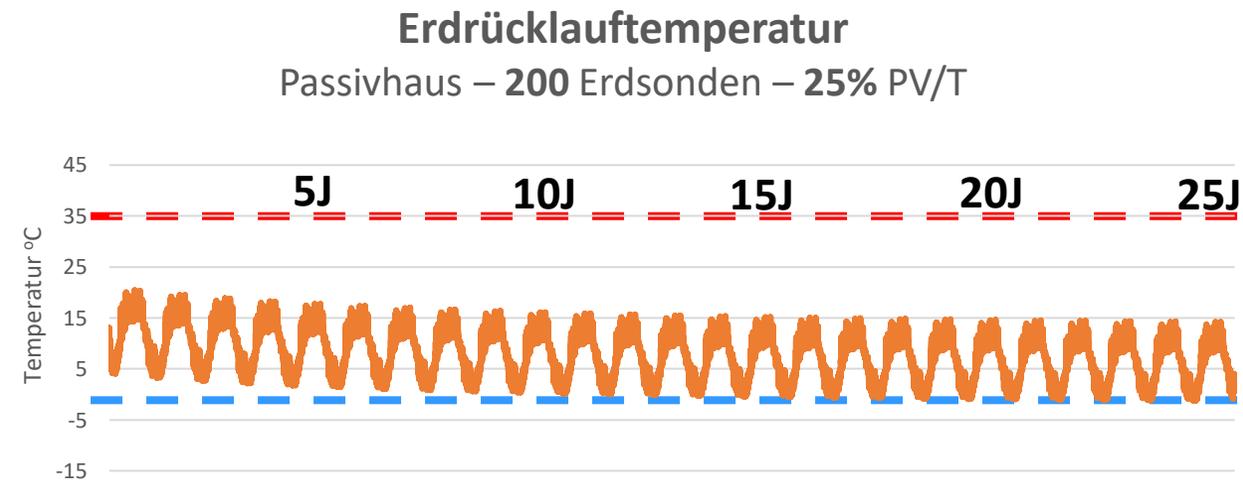
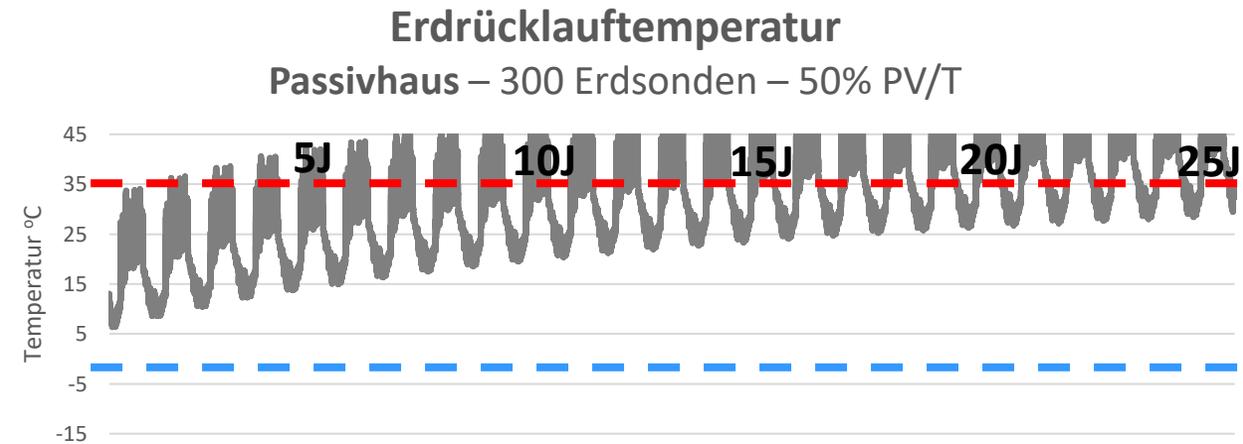


## Geothermie mit PV/T (Szenario 2 Varianten)

...Fortsetzung...

In einem weiteren Schritt wird untersucht, wie sich ein reduzierter Wärmebedarf (Gebäudeeffizienzklasse Passivhaus) auf die Auslegung und Betriebsweise der geothermischen Wärmepumpe mit Regenerierung des Erdreichs mittels PV/T auswirkt.

- In einer Variante Passivhaus mit 300 Erdsonden und PV/T auf 50% nutzbarer Dachfläche steigt die Erdreichtemperatur bereits nach wenigen Jahren auf deutlich über +35°C und ist fast ständig über +35°C während der Regenerierungsperiode im 8. Betriebsjahr (siehe Diagramm rechts oben).
    - Dies ist der Effekt, dass dem Erdreich während der Heizperiode weniger Wärme entzogen wird und die Regenerierung zu viel Wärme in den Untergrund einspeist.
  - In einer weiteren Variante wird deshalb die Anzahl der Erdsonden von 300 auf 200 reduziert und gleichzeitig die PV/T Installation von 50% nutzbarer Dachfläche auf 25% halbiert.
    - In dieser Variante ergibt sich eine ausgeglichene Temperaturbilanz im Erdreich, die einen langfristig nachhaltigen Betrieb der Geothermienutzung ermöglicht.
- Die Erhöhung der Gebäude-Energieeffizienz von KfW55 auf Passivhaus ermöglicht eine Reduzierung der Geothermieanlage von 300 auf 200 Erdsonden und Reduzierung der PV/T Installation von 50% auf 25% der nutzbaren Dachflächen.
- Anstatt die thermische Energie einer PV/T Anlage für die Regenerierung des Erdreichs zu nutzen, wird empfohlen die Abwärme der Wärmepumpe im Kühlbetrieb zu nutzen.



|                            | Szenario 1 - 6.2 |              |              | Szenario 2 - 6.4 |              |              | Szenario 3   |              |              |
|----------------------------|------------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                            | Variante 1-0     | Variante 1-1 | Variante 1-2 | Variante 2-0     | Variante 2-1 | Variante 2-2 | Variante 3-0 | Variante 3-1 | Variante 3-2 |
| <b>Energieversorgung</b>   |                  |              |              |                  |              |              |              |              |              |
| Wärme Verluste             | 456              | 421          | 164          | -                | -            | -            | 148          | 132          | 130          |
| Wärme (Fernwärme)          | 5240             | 4842         | 1883         | -                | -            | -            | 1705         | 1523         | 1490         |
| Wärme (Kessel)             | -                | -            | -            | 2716             | 2075         | 2222         | -            | -            | -            |
| Wärme(WP + Eisspeicher)    | -1891            | -1870        | -1576        | -1891            | -1891        | -1576        | -            | -            | -            |
| Wärme (WP + Erdsonden)     | -                | -            | -            | -4671            | -5313        | -1808        | -5427        | -1936        | -2129        |
| Abwärme (PVT)              | -                | -            | -            | 2769             | 5537         | 1384         | -            | -            | -            |
| Abwärme(WP + Eisspeicher)  | 256              | 266          | 320          | 266              | 266          | 320          | 266          | 320          | 320          |
| Kühlung (WP + Eisspeicher) | -734             | -763         | -1111        | -734             | -734         | -1111        | -            | -            | -            |
| Kühlung (WP + Erdsonden)   | -                | -            | -            | -                | -            | -            | -777         | -1113        | -2057        |
| Strom Verluste             | 359              | 359          | 357          | 287              | 239          | 265          | 345          | 309          | 312          |
| Strom (Gesamt)             | 8151             | 8155         | 8117         | 6527             | 5435         | 6033         | 7841         | 7017         | 7095         |
| Strom (Gebäude)            | 7424             | 7420         | 7383         | 5277             | 5277         | 5236         | 7424         | 7383         | 7394         |
| Strom (WP + Eisspeicher)   | 728              | 735          | 734          | 728              | 728          | 734          | -            | -            | -            |
| Strom (WP + Erdsonden)     | -                | -            | -            | 1446             | 1277         | 524          | 1383         | 590          | 666          |
| Strom (PV)                 | -                | -            | -            | -                | -            | -            | -965         | -956         | -965         |
| Strom (PVT)                | -                | -            | -            | -923             | -1846        | -461         | -            | -            | -            |
|                            |                  |              |              |                  |              |              |              |              |              |
| <b>Energieträger</b>       |                  |              |              |                  |              |              |              |              |              |
| Fernwärme                  | 5696             | 5263         | 2047         | -                | -            | -            | 1853         | 1655         | 1620         |
| Gas (Kessel)               | -                | -            | -            | 2716             | 2075         | 2222         | -            | -            | -            |
| Netzstrom                  | 8510             | 8514         | 8474         | 6815             | 5674         | 6298         | 8187         | 7326         | 7407         |
|                            |                  |              |              |                  |              |              |              |              |              |
| <b>CO2 Emmissionen</b>     |                  |              |              |                  |              |              |              |              |              |
| CO2 (Fernwärme)            | 1789             | 1653         | 643          | -                | -            | -            | 582          | 520          | 509          |
| CO2 (Erdgas)               | -                | -            | -            | 546              | 417          | 447          | -            | -            | -            |
| CO2 (Netzstrom)            | 4800             | 4802         | 4779         | 3843             | 3200         | 3552         | 4617         | 4132         | 4178         |

|                     | Szenario 1 - 6.2   |                    |                    | Szenario 2 - 6.4   |                    |                    | Szenario 3         |                    |                    |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                     | Variante 1-0       | Variante 1-1       | Variante 1-2       | Variante 2-0       | Variante 2-1       | Variante 2-2       | Variante 3-0       | Variante 3-1       | Variante 3-2       |
| Speicher            | € 17,477           | € 17,477           | € 17,477           | € 87,383           | € 87,383           | € 87,383           | € 17,477           | € 17,477           | € 17,477           |
| Wärmenetz           | € 1,200,000        | € 1,200,000        | € 1,200,000        | € 1,600,000        | € 1,600,000        | € 1,600,000        | € 1,600,000        | € 1,600,000        | € 1,600,000        |
| BHKW                |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Gasanschluss        |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Wärmepumpe          | € 463,047          | € 463,047          | € 463,047          | € 1,449,537        | € 1,449,537        | € 870,432          | € 870,432          | € 870,432          | € 870,432          |
| Rückkühler          | € 70,000           | € 70,000           | € 70,000           |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Geothermie          |                    |                    |                    | € 1,530,000        | € 1,530,000        | € 1,530,000        | € 1,530,000        | € 1,020,000        | € 1,530,000        |
| PV/T - PV           | € -                | € -                | € -                | € 1,870,000        | € 3,740,000        | € 935,000          | € 1,246,667        | € 1,246,667        | € 1,246,667        |
| Solarthermie        |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Gas-Kessel          |                    |                    |                    | € 400,000          | € 400,000          | € 400,000          |                    |                    |                    |
| Eisspeicher         | € 584,000          | € 584,000          | € 584,000          | € 584,000          | € 584,000          | € 350,400          |                    |                    |                    |
| Kältemaschine       | € 75,000           | € 75,000           | € 75,000           |                    |                    |                    |                    |                    | € 75,000           |
| Solar-Absorber      |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Gebäudehülle        | € -                | € 905,385.38       | € 2,497,131.78     | € -                | € -                | € 2,497,131.78     | € -                | € 2,497,131.78     | € 2,497,131.78     |
| <b>SUMME</b>        | <b>€ 2,409,524</b> | <b>€ 3,314,909</b> | <b>€ 4,906,656</b> | <b>€ 7,520,920</b> | <b>€ 9,390,920</b> | <b>€ 8,270,347</b> | <b>€ 5,264,576</b> | <b>€ 7,251,708</b> | <b>€ 7,836,708</b> |
| Foerderungen        | € (550,000)        | € (550,000)        | € (550,000)        | € (1,554,184)      | € (1,554,184)      | € (1,554,184)      | € (1,554,184)      | € (1,554,184)      | € (1,554,184)      |
| <b>SUMME</b>        | <b>€ 1,859,524</b> | <b>€ 2,764,909</b> | <b>€ 4,356,656</b> | <b>€ 5,966,736</b> | <b>€ 7,836,736</b> | <b>€ 6,716,163</b> | <b>€ 3,710,392</b> | <b>€ 5,697,524</b> | <b>€ 6,282,524</b> |
| Baunebenkosten      | € 481,905          | € 662,982          | € 981,331          | € 1,504,184        | € 1,878,184        | € 1,654,069        | € 1,052,915        | € 1,450,342        | € 1,567,342        |
|                     | 20%                | 20%                | 20%                | 20%                | 20%                | 20%                | 20%                | 20%                | 20%                |
| <b>Gesamtkosten</b> | <b>€ 2,341,429</b> | <b>€ 3,427,891</b> | <b>€ 5,337,987</b> | <b>€ 7,470,920</b> | <b>€ 9,714,920</b> | <b>€ 8,370,233</b> | <b>€ 4,763,307</b> | <b>€ 7,147,865</b> | <b>€ 7,849,865</b> |
| Bewertung           | ↑                  | ↑                  | ↗                  | ↘                  | ↓                  | ↘                  | →                  | ↘                  | ↘                  |

# TEIL D – Abstimmung Energiekonzept mit Fernwärmeeinspeisung

Auf Basis der bisherigen Ausarbeitungen zum ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzept (Teile A, B und C) sowie den Abstimmungen mit der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (BUKEA) erfolgt eine Abstimmung zum Energie- und Versorgungskonzept mit Wärme Hamburg als möglicher Fernwärmelieferant. Für diese Abstimmung dienen die folgenden Eckpunkte, sowie die auf der folgenden Seite definierten Anforderungen BUKEA.

- „Versorgungskonzept Einbindung Fernwärme“ | Zentrale Wärmepumpenanlage für Heizen und Kühlen, mit Erdsonden als Wärmequellen und Wärmesenken mit separatem Heizwärme- und Kältenetz sowie Einbindung des Fernwärme-Rücklaufs in das Heizwärmenetz
- Alle Gebäude werden mit Heizwarmwasser (50°C/30°C VL/RL) versorgt.
- Die Wärme- und Kälteerzeugung erfolgt primär über eine zentrale Wärmepumpenanlage unter Nutzung lokaler erneuerbarer Energie (Geothermie mit Unterstützung Solarabsorber bzw. PVT)

*Teil D dieser Ausarbeitungen (Texte, Skizzen und Berechnungen) bildet einen inzwischen überholten Zwischenstand dar, der jedoch zur vollständigen chronologischen Darstellung zur Entwicklung des ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzepts in dieser Unterlage belassen wurde.*

## Anforderungen der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (BUKEA)

Zur finalen Abstimmung der Energieversorgung für Wärme und Kälte mittels Contracting durch einen Energiedienstleister für die Errichtung und den Betrieb der quartiersweiten Energieversorgung einschließlich Wärmepumpenanlagen, Geothermie, Solarabsorber/PVT, zentrale Wärme- und Kälteerzeugung sowie Stromerzeugung aus PV-Anlagen wurden im Zuge der gemeinsamen Erarbeitung mit BUKEA die nachfolgenden Anforderungen definiert:

1. Es ist ein gemeinsames Wärmenetz für das gesamte Quartier zu errichten
2. Der Anteil erneuerbarer Energie soll mindestens 75 % betragen. Fernwärme Natur Mix wird als erneuerbar anerkannt.
3. ~~[entfällt] Der brennstofffreie Anteil an der Wärmeversorgung soll mindestens 75 % betragen.~~
4. Auf Verbrennungsanlagen im Quartier wird verzichtet.
5. Es ist eine Wärme-Kälte-Kopplung mithilfe von Wärmepumpen umzusetzen, eine saisonale Verschiebung, z.B. über Geothermiesonden, ist dabei zu berücksichtigen.
6. Als Wärmequellen für die Wärmepumpe sind lediglich die Abwärme aus Nichtwohngebäuden und Erneuerbare Energien/Umweltwärme zulässig. Fernwärme soll explizit nicht als Quelle für Wärmepumpen dienen.
7. Die Warmwasserbereitung erfolgt in Frischwasserstationen. Eine elektrische Nacherhitzung zur Warmwasserbereitung von Zapftemperaturen oberhalb von 43°C soll nur im Einzelfall eingesetzt werden.
8. Fernwärme soll bevorzugt aus dem Rücklauf entnommen werden.
9. Auf den Dächern sind Photovoltaikanlagen zu errichten, deren Kollektorfläche 20% der gesamten Dachflächen im Quartier entsprechen. [ergänzt] Eine Reduzierung des Anteils durch Errichtung von Komponenten zur Nutzung von Umweltwärme bspw. PVT oder Solarabsorber, ist zulässig.

## Energiekonzept – Abstimmung Fernwärmeeinspeisung

Ein mit dem städtischen Fernwärmelieferanten abgestimmtes Konzept basiert auf der im ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzept beschriebenen Variante 3-0, unter Berücksichtigung der Anforderungen der BUKEA. Anstelle der dezentralen Wärmepumpen pro Gebäude wird eine zentrale Wärmepumpe für den gesamten Campus errichtet. Neben dem Ringleiter für die Verbindung aller Erdsondenfelder ist ein zusätzliches Nahwärme- und Nahkältenetz erforderlich.

Die Nutzung von regenerativer Umweltenergie erfolgt in Form von Geothermie sowie Solarabsorbern bzw. PVT für Heizen und Kühlen. Die erneuerbaren Energieträger auf dem Areal decken 56-75% des jährlichen Heizwärmebedarfs und 100% des jährlichen Kältebedarfs. Der restliche Wärmebedarf wird über Fernwärme gedeckt; davon ca. 2/3 vom FW-Rücklauf und 1/3 vom FW-Vorlauf.

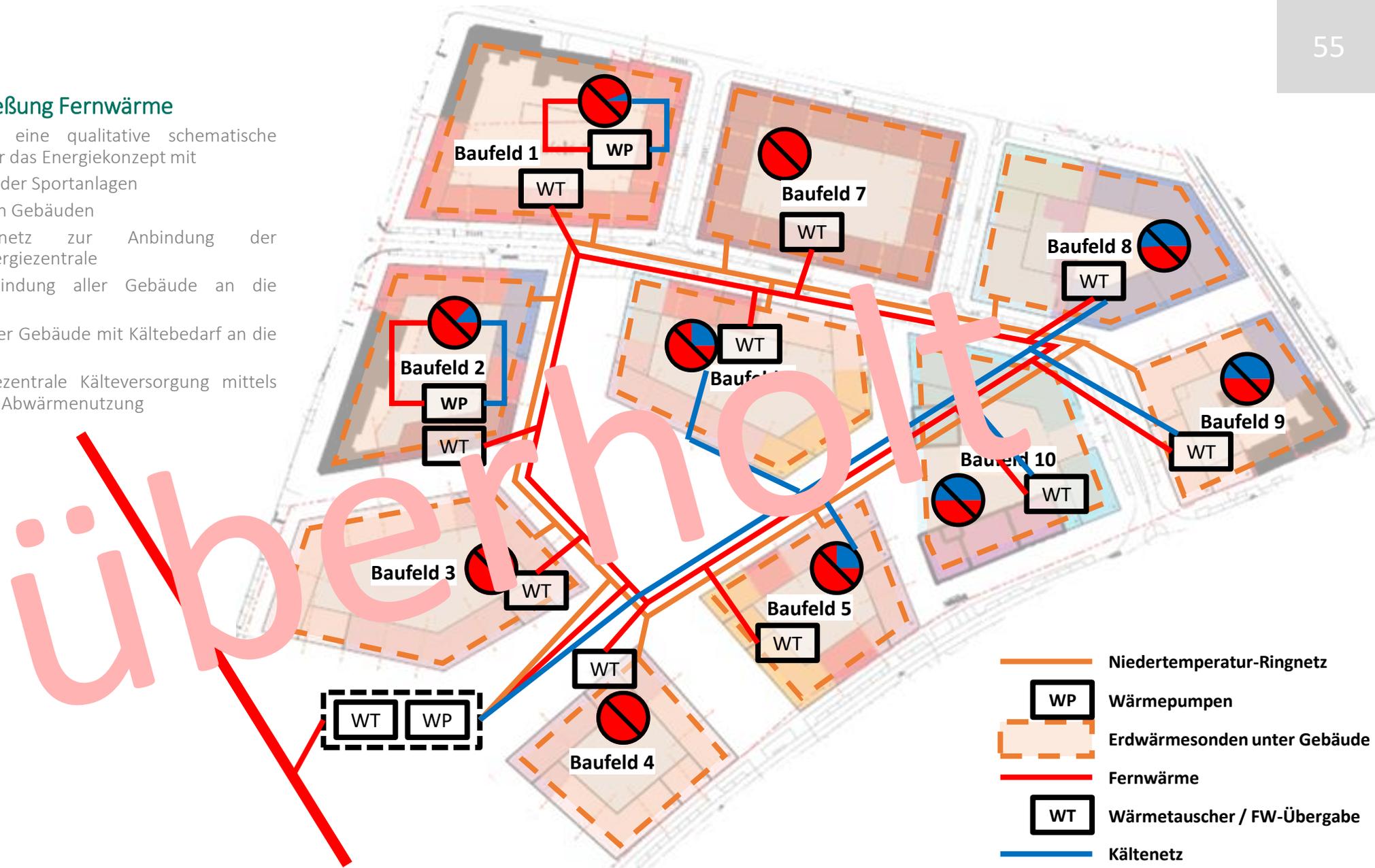
## Betriebsszenarien

- Ringleitung für Anbindung der Erdsonden
- Das Heizwarmwassernetz wird ganzjährig auf einem Temperaturniveau von 50/30 °C betrieben
- Trinkwarmwasserbereitung auf 43 °C dezentral über Wohnungsstationen; elektrische Nacherhitzung nur erforderlich wo diese Temperatur höher sein soll
- Das Kaltwassernetz wird auf einem Temperaturniveau von 8/16 °C betrieben; Spreizung auf Abnehmerseite beträgt 12/16 °C
- Baufeld 1 und 2 werden mit dezentraler WP ausgestattet zur Deckung der lokalen Kühlung mit direkter Abwärmenutzung
- Bei diesem Konzept ist nachträgliche Kühlung/Temperierung der Wohnnutzungen möglich (BT 3, 4, 7).

## Energiekonzept – Erschließung Fernwärme

Die Abbildung rechts zeigt eine qualitative schematische Darstellung der Erschließung für das Energiekonzept mit

- Energiezentrale im Bereich der Sportanlagen
- Erdwärmesonden unter den Gebäuden
- Niedertemperatur Ringnetz zur Anbindung der Erdsondenfelder an die Energiezentrale
- Fernwärmenetz zur Anbindung aller Gebäude an die Energiezentrale
- Kältenetz zur Anbindung der Gebäude mit Kältebedarf an die Energiezentrale
- Bei Baufeld 1 und 2 dezentrale Kälteversorgung mittels Wärmepumpe mit direkter Abwärmenutzung



## Energetische & ökologische Bewertung

Die Tabelle rechts zeigt die energetische und ökologische Bewertung von drei (3) Varianten:

- (1) Auslegung lokale Energieerzeugung zur Deckung von rund 55% des Wärmebedarfs
- (2) Auslegung lokale Energieerzeugung zur Deckung von rund 65% des Wärmebedarfs
- (3) Auslegung lokale Energieerzeugung zur Deckung von rund 75% des Wärmebedarfs

Bei Varianten (1) und (2) wird jeweils der Anteil Fernwärme „Naturmix“ (CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor „0“) so erhöht, dass insgesamt 75% des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien (Erdwärmesonden + Fernwärme „Naturmix“) gedeckt werden und somit die Anforderung der BUKEA erfüllt sind.

Es ist anzumerken, dass in der Darstellung der Allgemiestrom herausgenommen wurde, um eine bessere Vergleichbarkeit in Bezug auf die hier relevante Wärme- und Kältebereitstellung zu geben.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der hier dargestellten Varianten variieren je nach Auslegung Geothermie und dem entsprechenden Anteil Fernwärme „Naturmix“, liegen aber alle unter den Werten des ursprünglichen Konzepts vom Energiefachplan als auch der im ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzept empfohlene Variante 3-0.

## Wirtschaftliche Bewertung

Für die drei (3) oben beschriebenen Varianten werden mit Angaben vom städtischen Fernwärmelieferanten jeweils die folgenden Wirtschaftlichkeitsdaten ermittelt (alle Angaben netto):

- (1) „55%“ Variante
  - Wärmemischpreis: 107-123 €/MWh
  - Investitionen: ca. 9 Mio. €
  - Förderung: 2,7 Mio. €
- (2) „65%“ Variante
  - Wärmemischpreis: 115-131 €/MWh
  - Investitionen: ca. 9,5 Mio. €
  - Förderung: 3,0 Mio. €
- (3) „75%“ Variante
  - Wärmemischpreis: 123-141 €/MWh
  - Investitionen: ca. 10,5 Mio. €
  - Förderung: 3,5 Mio. €

Bei allen Varianten Kältemischpreis: 250 €/MWh

|   | KfW 55<br>50% lokale erneuerbare<br>Energie | KfW 55<br>65% lokale erneuerbare<br>Energie | KfW 55<br>75% lokale erneuerbare<br>Energie |
|---|---|---|---|
| <b>Gebäude-Energiebedarf</b>                      |   |   |   |
| Wärme (Raumheizung + TWW)                         | 9450  | 9450  | 9450  |
| Kühlung   | 776   | 776   | 776   |
| Strom (ohne Allgemiestrom aber + TWW wo relevant) | 0   | 0   | 0   |
| <b>Energieversorgung</b>                          |   |   |   |
| Wärme Verluste                                    | 822   | 822   | 822   |
| Wärme (Fernwärme)                                 | 4200  | 3248  | 2327  |
| Wärme (Kessel)                                    | -   | -   | -   |
| Wärme (WP + Eisspeicher)                          | -   | -   | -   |
| Wärme (WP + Erdsonden)                            | -5250                                       | -6202                                       | -7123                                       |
| Wärme (PVT)                                       | -   | -   | -   |
| Abwärme (WP + Eisspeicher)                        | -   | -   | -   |
| Kühlung (WP + Eisspeicher)                        | -   | -   | -   |
| Kühlung (WP + Erdsonden)                          | -776  | -776  | -776  |
| Strom Verlust                                     | 33  | 46  | 59  |
| Strom (Gesamt)                                    | 743   | 1054  | 1342  |
| Strom (Gebäude)                                   | 0   | 0   | 0   |
| Strom (Eisspeicher)                               | -   | -   | -   |
| Strom (WP + Erdsonden)                            | 1666  | 1977  | 2265  |
| Strom (PV)  | -   | -   | -   |
| Strom (PVT)                                       | -923  | -923  | -923  |
| <b>Energieträger</b>                              |   |   |   |
| Fernwärme   | 3149  | 3149  | 3149  |
| Fernwärme (Naturmix)                              | 1873  | 921   | 0   |
| Gas (Kessel)                                      | -   | -   | -   |
| Netzstrom   | 776   | 1100  | 1401  |
| <b>Anteil Erneuerbare Energie (Wärme + Kälte)</b> |   |   |   |
|   | 7899  | 7899  | 7899  |
|   | 77%   | 77%   | 77%   |
| <b>Anteil Erneuerbare Energie (nur Wärme)</b>     |   |   |   |
|   | 7123  | 7123  | 7123  |
|   | 75%   | 75%   | 75%   |
| <b>CO2 Emissionen</b>                             |   |   |   |
| CO2 (Fernwärme)                                   | 989   | 989   | 989   |
| CO2 (Fernwärme - Naturmix)                        | 0   | 0   | 0   |
| CO2 (Erdgas)                                      | -   | -   | -   |
| CO2 (Netzstrom)                                   | 413   | 587   | 747   |
| <b>CO2 Gesamt</b>                                 | <b>1402</b>                                 | <b>1575</b>                                 | <b>1736</b>                                 |

# TEIL E – Abstimmung Energiekonzept Feb. 2021

Auf Basis der bisherigen Ausarbeitungen zum ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzept (Teile A, B und C), den Abstimmungen mit der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (BUKEA), sowie der Abstimmung Fernwärmeeinspeisung (Teil D) und den daraus gewonnenen Erkenntnissen wurde das Energiekonzept im November 2020 weiter fortgeschrieben und ist in dieser Zusammenfassung dokumentiert. Maßgeblich für die Fortschreibung war die Erkenntnis, dass die für eine Quartiersweite Erschließung mit Fernwärme erforderliche Energiezentrale nicht nur erhebliche Kosten verursacht, sondern räumlich nicht realisiert werden kann, da (1) die Schule keine baulichen Optionen bietet, (2) Flächen unterhalb öffentlicher Anlagen nicht verfügbar sind und (3) der Platzbedarf für eine großflächige Energiezentrale innerhalb der Gebäude nicht zur Verfügung steht.

Bei der Fortschreibung des ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzepts für das Holsten Quartier wird eine dezentrale Variante favorisiert und das Niedertemperatur-Wärmenetz zu einem „kalten Nahwärmenetz“ weiterentwickelt. Kalte Nahwärmenetze werden im Rahmen der Energiewende als zentrales Element für die Dekarbonisierung der Wärme- und Kälteversorgung gesehen und tragen damit einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz.

Weiterhin wurde in dieser Fortschreibung die Energiebedarfsermittlung (Teil B) auf die aktuelle Flächennutzungsplanung (Stand Mai 2020) sowie die Einhaltung der Trinkwarmwasserhygiene unter direkter Nutzung des Fernwärmerücklaufs angepasst.

*Alle Angaben in dieser Unterlage sind Grobabschätzungen im Sinne der Energiekonzepterstellung und müssen im Rahmen der Fachplanungen konkretisiert werden. Speziell Kostenangaben sind Schätzgrößen nach derzeitigem Erkenntnis- und Planungsstand. Änderungen bleiben insoweit vorbehalten.*

## Anpassung Energiebedarf

Die Energiebedarfsermittlung (Teil A) wurde auf Basis der aktualisierten Flächenübersicht vom 14. Mai 2020 / Revision H angepasst. Gegenüber dem bisherigen Stand (Revision F vom 16. Okt. 2019) ergeben sich die folgenden Änderungen:

- Baufeld 1:  
ca. 3.300 m<sup>2</sup> weniger Wohnfläche;  
ca. 3.000 m<sup>2</sup> mehr Bürofläche
- Baufeld 4:  
ca. 200 m<sup>2</sup> mehr Bürofläche
- Baufeld 6:  
ca. 200 m<sup>2</sup> mehr Bürofläche
- Baufeld 7:  
ca. 10.200 m<sup>2</sup> weniger Wohnfläche;  
ca. 11.100 m<sup>2</sup> mehr Bürofläche
- Baufeld 8:  
ca. 3.000 m<sup>2</sup> weniger Bürofläche
- Baufeld 9:  
ca. 3.800 m<sup>2</sup> weniger Einzelhandelsfläche;  
ca. 3.900 m<sup>2</sup> mehr Bürofläche
- Baufeld 10:  
ca. 500 m<sup>2</sup> weniger Hotelfläche

Daraus ergeben sich die auf der folgenden Seite zusammengefassten neuen Energiebedarfswerte.

### 755-01 Holsten Areal Masterplan

Revision h

Tabelle Flächenübersicht (Flächen der BGF R)

Datum: 14.05.2020

VORABZUG

André Poitiers  
Architekt GmbH  
Großer Burstah 36-38  
20457 Hamburg  
Tel.: 040 - 4111 995-70  
Fax: 040 - 4111 995-90  
E-Mail: office@poitiers.de

| Zusammenfassung: |                       |                       |                       |                       |                       |                       |  |                         |                           |                      |                      |                      | Summe                  | GRZ                   | GFZ  |  |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|-------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------|--|
| Baufeld          | Wohnen<br>Miete       | Wohnen<br>Gefördert   | Wohnen<br>ETW         | Wohnen<br>Baugem.     | Gewerbe<br>Baugem.    | Gewerbe<br>Büro/Läden | Gewerbe<br>Hotel   | Gewerbe<br>Einzelhandel | Gewerbe<br>Handwerkerhöfe | KITa                 | Community<br>Center  |                      |                        |                       |      |  |
| BF 1:            | 12.206 m <sup>2</sup> | -                     | -                     | -                     | -                     | 3.128 m <sup>2</sup>  | -  | -                       | -                         | -                    | -                    | -                    | 15.334 m <sup>2</sup>  | 0,56                  | 3,21 |  |
| BF 2:            | 2.114 m <sup>2</sup>  | 6.006 m <sup>2</sup>  | -                     | 5.560 m <sup>2</sup>  | -                     | 628 m <sup>2</sup>    | -  | -                       | -                         | -                    | -                    | -                    | 14.308 m <sup>2</sup>  | 0,53                  | 3,41 |  |
| BF 3:            | 5.843 m <sup>2</sup>  | 8.016 m <sup>2</sup>  | 10.918 m <sup>2</sup> | -                     | -                     | -                     | -  | -                       | -                         | -                    | -                    | -                    | 24.777 m <sup>2</sup>  | 0,54                  | 3,55 |  |
| BF 4:            | -                     | 6.053 m <sup>2</sup>  | 10.511 m <sup>2</sup> | -                     | -                     | 204 m <sup>2</sup>    | -  | -                       | -                         | -                    | -                    | -                    | 16.768 m <sup>2</sup>  | 0,60                  | 3,85 |  |
| BF 5:            | 6.994 m <sup>2</sup>  | -                     | 8.234 m <sup>2</sup>  | -                     | -                     | -                     | -  | -                       | -                         | 1.862 m <sup>2</sup> | -                    | -                    | 17.090 m <sup>2</sup>  | 0,63                  | 4,02 |  |
| BF 6:            | 6.370 m <sup>2</sup>  | 7.793 m <sup>2</sup>  | 7.642 m <sup>2</sup>  | -                     | -                     | 570 m <sup>2</sup>    | -  | -                       | -                         | 852 m <sup>2</sup>   | -                    | -                    | 23.227 m <sup>2</sup>  | 0,60                  | 3,58 |  |
| BF 7:            | -                     | -                     | -                     | 11.074 m <sup>2</sup> | 11.137 m <sup>2</sup> | -                     | -  | -                       | -                         | -                    | -                    | -                    | 22.211 m <sup>2</sup>  | 0,65                  | 3,80 |  |
| BF 8:            | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | 24.902 m <sup>2</sup> | -  | 1.398 m <sup>2</sup>    | 3.200 m <sup>2</sup>      | -                    | -                    | -                    | 29.500 m <sup>2</sup>  | 1,00                  | 5,60 |  |
| BF 9:            | -                     | 8.676 m <sup>2</sup>  | -                     | -                     | -                     | 3.907 m <sup>2</sup>  | -  | -                       | -                         | -                    | -                    | -                    | 12.583 m <sup>2</sup>  | 0,74                  | 0,03 |  |
| BF 10:           | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | 2.943 m <sup>2</sup>  | 10.412 m <sup>2</sup>  | -                       | -                         | -                    | -                    | 4.128 m <sup>2</sup> | 17.483 m <sup>2</sup>  | 0,55                  | 3,10 |  |
| Summe:           | 33.527 m <sup>2</sup> | 36.544 m <sup>2</sup> | 37.305 m <sup>2</sup> | 16.634 m <sup>2</sup> | 11.137 m <sup>2</sup> | 36.282 m <sup>2</sup> | 10.412 m <sup>2</sup>  | 1.398 m <sup>2</sup>    | 3.200 m <sup>2</sup>      | 2.714 m <sup>2</sup> | 4.128 m <sup>2</sup> | -                    | 193.281 m <sup>2</sup> | Summe Gesamt          |      |  |
| Neubau:          | 33.527 m <sup>2</sup> | 36.544 m <sup>2</sup> | 37.305 m <sup>2</sup> | 16.634 m <sup>2</sup> | 11.137 m <sup>2</sup> | 36.282 m <sup>2</sup> | 8.177 m <sup>2</sup>   | 1.398 m <sup>2</sup>    | 3.200 m <sup>2</sup>      | 2.714 m <sup>2</sup> | -                    | -                    | 186.918 m <sup>2</sup> | Neubau                |      |  |
| Bestand:         | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | 2.235 m <sup>2</sup>   | -                       | -                         | -                    | -                    | 4.128 m <sup>2</sup> | 6.363 m <sup>2</sup>   | Bestand               |      |  |
|                  |                       |                       |                       |                       |                       |                       | <i>Davon:<br/>Schwankhalle 520 m<sup>2</sup><br/>Juliusurm 1.715 m<sup>2</sup></i> |                         |                           |                      |                      |                      |                        |                       |      |  |
|                  | 31,22%                | 34,03%                | 34,74%                | 13,41%                |                       |                       |  |                         |                           |                      |                      |                      | 124.010 m <sup>2</sup> | Wohnen Neubau         |      |  |
|                  |                       | Drittelmix            |                       |                       |                       |                       | 58%  | 13%                     | 2%                        | 5%                   | 4%                   |                      | 62.908 m <sup>2</sup>  | Gewerbe Neubau        |      |  |
|                  |                       |                       |                       |                       |                       |                       |  |                         |                           |                      |                      |                      | 186.918 m <sup>2</sup> | Summe<br>BGF R Neubau |      |  |

Hinweis: Die Berechnung stellt eine überschlägige Berechnung der BGF R dar. Eine BGF S kann in der Abstraktion der städtebaulichen Planung im derzeitigen Planstand nicht dargestellt werden.

Die Tabelle stellt die oberirdische BGF dar. Mögliche unterirdische Flächen wurden nicht in die Berechnung aufgenommen.

Die Fläche für den Neubau der Theodor-Haubach-Schule wurde nicht in die Gesamtbilanz aufgenommen.

Alle Angaben sind lediglich zur Information und auf skizzenhafter Vorentwurfsebene überschlägig kalkuliert. Keine Gewähr.

## Anpassung Energiebedarf

Aus den Flächenanpassungen ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Änderungen in Bezug auf den Heizwärmebedarf (inkl. Trinkwarmwasser), Kältebedarf, sowie Strombedarf für Nutzer und Gebäude. Insgesamt reduziert sich der Heizwärmebedarf um ca. 4% und der Kältebedarf steigt um rund 21%. Der Strombedarf steigt um rund 5%. Die Änderungen in den einzelnen Baufeldern sind in der Tabelle markiert: blau für Bedarfsreduzierungen, rot für Bedarfssteigerungen. Die Erhöhung der Bedarfswerte für Kälte und Strom ergeben sich aus dem auf Veranlassung der Stadt erhöhten Gewerbeanteil in den Baufeldern 1 und 7.

### JÄHRLICHER ENERGIEBEDARF (PRO BAUFELD)

Flächenübersicht Rev F - KfW 55 (Original – Okt. 2019)

Flächenübersicht Rev H - KfW 55 (Revision – Mai 2020)

| Baufeld      | Heizung<br>[kWh/a] | TWW<br>[kWh/a]   | Kühlung<br>[kWh/a] | Strom (Nutzer)<br>[kWh/a] | Strom (Gebäude)<br>[kWh/a] | Heizung<br>[kWh/a] | TWW<br>[kWh/a]   | Kühlung<br>[kWh/a] | Strom (Nutzer)<br>[kWh/a] | Strom (Gebäude)<br>[kWh/a] |
|--------------|--------------------|------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1            | 472,810            | 270,709          | 1,760              | 150,207                   | 230,703                    | 440,117            | 222,657          | 45,121             | 182,260                   | 236,285                    |
| 2            | 426,094            | 237,841          | 10,660             | 144,222                   | 212,402                    | 426,943            | 239,409          | 9,059              | 142,926                   | 212,022                    |
| 3            | 728,606            | 418,996          | -                  | 228,824                   | 354,173                    | 747,059            | 429,907          | -                  | 234,619                   | 363,142                    |
| 4            | 505,577            | 290,740          | -                  | 158,780                   | 245,759                    | 504,128            | 287,921          | 2,943              | 161,197                   | 246,512                    |
| 5            | 535,487            | 264,206          | 24,057             | 158,485                   | 246,345                    | 535,457            | 264,188          | 24,057             | 158,475                   | 246,330                    |
| 6            | 691,726            | 374,796          | 15,995             | 218,139                   | 332,692                    | 705,505            | 380,153          | 19,230             | 225,160                   | 340,630                    |
| 7            | 642,374            | 369,406          | -                  | 201,742                   | 312,255                    | 590,565            | 231,239          | 160,648            | 342,265                   | 366,633                    |
| 8            | 825,351            | 98,765           | 430,543            | 618,673                   | 592,088                    | 756,626            | 88,262           | 387,528            | 555,107                   | 537,378                    |
| 9            | 352,737            | 166,336          | 54,122             | 163,603                   | 198,268                    | 351,636            | 164,194          | 56,357             | 165,439                   | 198,840                    |
| 10           | 527,091            | 194,982          | 238,487            | 185,033                   | 326,219                    | 512,920            | 186,144          | 230,297            | 180,209                   | 316,621                    |
| <b>Summe</b> | <b>5,707,953</b>   | <b>2,686,776</b> | <b>775,622</b>     | <b>2,227,708</b>          | <b>3,050,902</b>           | <b>5,570,955</b>   | <b>2,493,774</b> | <b>935,240</b>     | <b>2,347,658</b>          | <b>3,064,393</b>           |
|              |                    |                  | <i>Delta</i>       |                           |                            | -2.4%              | -7.2%            | +20.6%             | +5.4%                     | +0.4%                      |

## Eckpunkte für Städtebaulichen Vertrag

Folgende Eckpunkte wurden als Anforderungen des ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzepts für das Holsten Quartier am 25. Mai 20221 verbindlich abgesteckt:

1. Es ist ein gemeinsames Wärmenetz im Vertragsgebiet zu errichten.
2. Der Anteil erneuerbarer Energie an der Wärmeversorgung mindestens 75 % betragen. Fernwärme Natur Mix wird als erneuerbar anerkannt.
3. Der brennstofffreie Anteil an der Wärmeversorgung soll mindestens 55 % betragen.
4. Auf Verbrennungsanlagen im Quartier wird verzichtet.
5. Es ist eine Wärme-Kälte-Kopplung mithilfe von Wärmepumpen umzusetzen, eine saisonale Verschiebung, z.B. über Geothermiesonden, ist dabei zu berücksichtigen.
6. Für die Beheizung im Wohnbereich sind vorrangig die Abwärme aus Nichtwohngebäuden und Erneuerbare Energien/Umweltwärme zulässig. Die Rücklaufauskopplung der Fernwärme kann bei Erschöpfung der erneuerbaren Energien direkt zur Beheizung und als Wärmequelle für Hochtemperatur-Wärmepumpen (anteilig) zur Trinkwarmwassererwärmung genutzt werden.
7. In Anlehnung an Ziffer 6 erfolgt die Warmwasserbereitung vorzugsweise in dezentralen Frischwasserstationen in den Wohnungen / in den Nutzungseinheiten, die das Trinkwarmwasser auf Zapftemperaturen oberhalb 43°C erhitzen. Eine elektrische Nacherhitzung zur Warmwasserbereitung von Zapftemperaturen oberhalb von 43°C soll nach Möglichkeit vermieden werden. Eine Trinkwarmerwärmung über zentrale Frischwasserstationen in Verbindung mit Ziffer 6 ist zulässig, wenn die Trinkwarmwasserhygiene z.B. aufgrund der Gebäudenutzung durch eine dezentrale Trinkwarmwassererwärmung inkl. elektrischer Nacherwärmung nicht gewährleistet werden kann oder eine zentrale Lösung eine nachgewiesene höhere, mindestens gleichwertige ökologische Qualität mit geringeren Primärenergieaufwand und niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweist.

Bei Gewerbenutzung darf aufgrund des geringen Bedarfs eine dezentrale elektrische Trinkwarmwassererwärmung erfolgen, um damit unverhältnismäßig hohe Verteilverluste zu vermeiden.

8. Fernwärme soll bevorzugt aus dem Rücklauf entnommen werden.
9. Auf den Dächern sollen Photovoltaikanlagen errichtet werden, deren Kollektorfläche 20% der gesamten Dachflächen im Quartier entsprechen.
10. Der Wärmemischpreis der Wärmeversorgung soll 106 € /MWh (netto, Bezugsjahr 2020) nicht überschreiten.

## Energiekonzept – „Kalte Nahwärme“

Kalte Nahwärme ist eine technische Variante eines Wärmeversorgungsnetzes, auch Wärmenetze der 5. Generation genannt, das mit niedrigen Übertragungstemperaturen in der Nähe der Umgebungstemperatur arbeitet und daher sowohl Wärme als auch Kälte bereitstellen kann. Üblich sind Übertragungstemperaturen im Bereich von ca. 10–25 °C, wodurch diese Systeme mit Temperaturen deutlich unterhalb herkömmlicher Fern- oder Nahwärmesysteme arbeiten. Dadurch können verschiedene Verbraucher unabhängig voneinander gleichzeitig heizen und kühlen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Wärmenetzen erfolgen Warmwassererzeugung und Gebäudeheizung nicht direkt über Wärmetauscher, sondern über Wasser-Wärmepumpen, die ihre Wärmeenergie aus dem Wärmenetz gewinnen. Die Kühlung kann entweder direkt über das Kaltwärmenetz oder ggf. indirekt über die Wärmepumpen erfolgen.

Aufgrund der Möglichkeit, komplett mittels erneuerbarer Energien betrieben zu werden und zugleich einen Beitrag zum Ausgleich der schwankenden Produktion von Windkraft- und Photovoltaikanlagen zu leisten, gelten kalte Nahwärmenetze als vielversprechende Option für eine nachhaltige, potenziell treibhausgas- und emissionsfreie Wärmeversorgung.

## Ganzheitliches Energie- und Versorgungskonzept Holsten Quartier

Das fortgeschriebene Energiekonzept mit Stand Februar 2021 basiert auf der im ganzheitlichen Energie- und Versorgungskonzept (Stand Februar 2020) beschriebenen und favorisierten Variante 3-0, unter Berücksichtigung der Anforderungen der BUKEA sowie ersten Erkenntnissen aus der Gebäudeplanung für Baufeld 8.

Für das gesamte Quartier werden zwei separate Wärmenetze errichtet.

1. Ein „kaltes Wärmenetz“ wird mit sehr niedrigen Temperaturen nahe der Umgebungswärme betrieben; jahreszeitlich gleitend im Bereich 20-35°C auf der warmen und ca. 5-20°C auf der kalten Seite. Das „kalte Wärmenetz“ oder „Kaltwärmenetz“ ist direkt mit den Erdsondenfeldern verbunden und erlaubt einen Temperatúraustausch zwischen den einzelnen Baufeldern.
2. Weiterhin wird ein separates „Niedertemperatur Wärmenetz“ (NT-Wärmenetz) mit Temperaturen im Bereich 35-45°C Vorlauf und ca. 20-25°C Rücklauf betrieben. Das NT-Wärmenetz wird aus dem Rücklauf der Fernwärmeversorgung gespeist.

Eine quartiersweite Kälteversorgung gibt es lediglich in Form von freier Kühlung aus der kalten Seite des Kaltwärmenetzes. Klimakälte (6/12°C) wird dezentral mittels Kältemaschinen oder umschaltbaren Wärmepumpen erzeugt.

Im Quartier werden auf der Abnehmerseite die folgenden Temperaturen benötigt:

- 75°C zur Trinkwarmwasserversorgung (60°C) über Frischwasserstationen (nicht für Gewerbenutzung) → Dieses Temperaturniveau wird zweistufig über das Heizsystem mit 32-35°C bzw. 45-25°C bei direkter Nutzung des Fernwärmerücklaufs und eine nachgeschaltete Hochtemperatur-Wärmepumpen (HT-WP) erzeugt.
- 32-35°C für den Heizbetrieb der BKT/FBH sowie die RLT Heizregister (Büro, Hotel, Gewerbe) → Dieses Temperaturniveau wird über Wärmepumpen aus dem Kaltwärmenetz bereit gestellt; alternativ direkt aus dem NT-Wärmenetz, falls die Erdwärmesonden saisonal erschöpft sind.

- 16°C für den Kühlbetrieb der BKT → Dieses Temperaturniveau wird direkt als freie Kühlung aus der kalten Seite des Kaltwärmenetzes, bzw. den Erdwärmesonden bereit gestellt.
- 6°C für den Betrieb der RLT Kühlregister (Büro, Hotel, Gewerbe) → Dieses Temperaturniveau wird dezentral mittels Kältemaschinen oder umschaltbaren Wärmepumpen erzeugt; die Abwärme wird in das Kaltwärmenetz eingespeist.

In den Gebäuden kommen umschaltbare Wärmepumpe zum Einsatz, um im Bedarfsfall auch Kälte zu produziert (Büro, Hotel, Gewerbe); die Abwärme wird ins Wärmenetz zurückgespeist, bzw. im Gebäude direkt zu Heizzwecken verwendet.

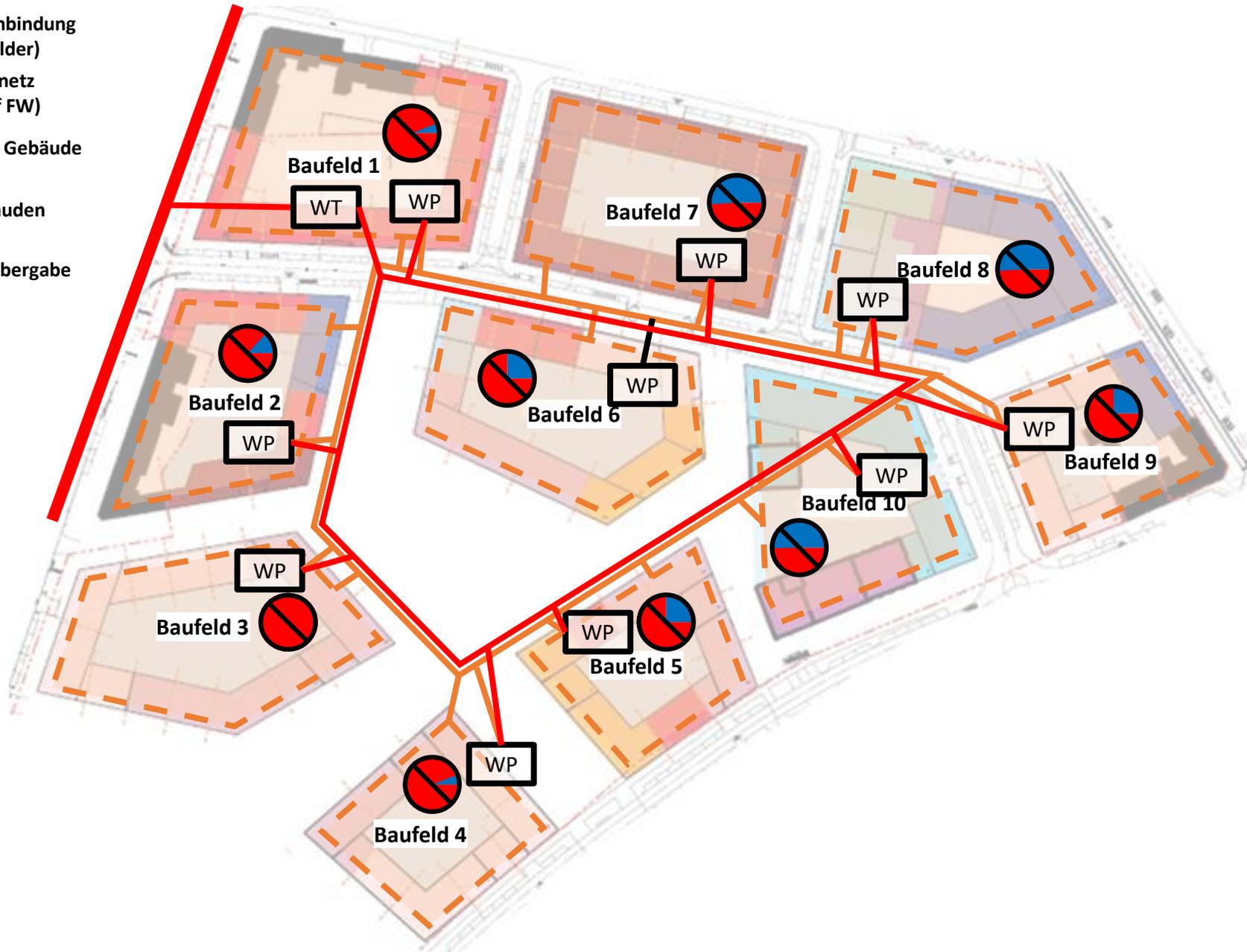
Durch die Mischnutzung im Holsten Quartier mit Wohnen und Gewerbe mit Bedarf für sowohl Wärme als auch Kälte ergibt sich die Möglichkeit eines Energieausgleichs über kurze oder lange Zeiträume. Aufgrund der Temperaturen im Wärmenetz und auf der Abnahmeseite (Gebäude) können die Wasser-Wärmepumpen mit günstigen Jahresarbeitszahlen von mindestens 4 bis 6 betrieben werden. Durch die niedrige Betriebstemperatur verringern sich die Wärmeverluste des Wärmenetzes deutlich.

Als Energiequelle für das Kaltwärmenetz dient im Holsten Quartier ausschließlich das Erdreich, das über Erdsondenfelder unter den Gebäuden nutzbar gemacht wird. Die Erdsondenfelder dienen auch der saisonalen Wärmespeicherung. Überschüssige Wärme aus der Kühlung im Sommerhalbjahr wird in das Erdreich eingespeist und steht dann im Winterhalbjahr als Wärmequelle zur Verfügung.

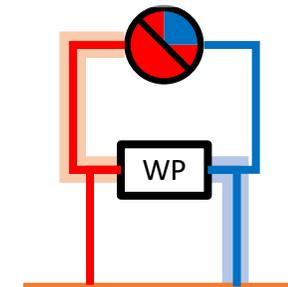
Weiterhin ermöglicht die niedrige Betriebstemperatur des kalten Wärmenetze sonst kaum nutzbare Niedertemperaturabwärme unkompliziert in das Netz einzuspeisen (z.B. Abwärme aus Supermarkt- oder IT-Kühlung oder andere in Zukunft verfügbare Wärmequellen).

In der weiteren Planung sollte untersucht werden, ob die zwei separaten Wärmenetze mit vier Leitern zu einem Dreirohrsystem kombiniert werden können, indem die warme Seite des Kaltwärmenetz und der Rücklauf des NT-Wärmenetz zusammengelegt werden.

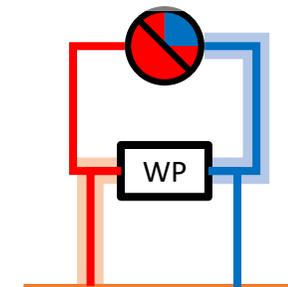
-  Kaltwärme-Ringnetz (Anbindung an Erdwärme-Sondenfelder)
-  Niedertemperatur-Ringnetz (Anbindung an Rücklauf FW)
-  Erdwärmesonden unter Gebäude
-  WP Wärmepumpen in Gebäuden
-  WT Wärmetauscher / FW-Übergabe



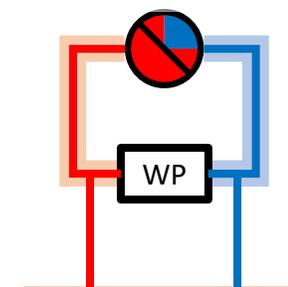
Heizen



Kühlen



Heizen &amp; Kühlen



## Investitionskosten Energieversorgung

Die folgenden Annahmen wurden getroffen für die Ermittlung der Investitionskosten in der Tabelle rechts. Alle Angaben sind netto.

- Quartiersnetz: Kaltwärme Ringnetz zur Verbindung aller Baufelder und Anbindung an Erdsondenfelder; Niedertemperatur Ringnetz zur Anbindung aller Baufelder an den Fernwärmerücklauf  
1.200.000 € Rohrleitung plus 50% Peripherie → 1.800.000 €
- Erdsondenfelder: insgesamt 300 Erdsonden mit je 85 m Tiefe, inklusive Pumpen und Anbindung an Quartiersnetz  
→ 1.550.000 €
- Wärmepumpen: 2-5 Wärmepumpen pro Baufeld in Kaskadenschaltung (siehe separate Auflistung mit Raumanforderungen)  
1.465.000 € Wärmepumpen plus 50% Peripherie → 2.200.000 €
- PV Anlage  
→ 1.250.000 €
- Regelungstechnik  
→ 500.000 €
- Anschluss an Fernwärme-Rücklauf  
→ 250.000 €
- Baunebenkosten: Annahme 20% der Investitionskosten für Planung, Probebohrungen, Konzeptstudien, usw.  
→ 1.500.000 €
- Förderung: Annahme 30% Förderquote der Gesamtkosten (ohne Baunebenkosten); Förderung kann ggf. auch niedriger oder höher sein.
- Die Gesamtkosten für die Umsetzung des Energiekonzepts betragen ca. 9,05 / 6,75 Millionen Euro (jeweils ohne / mit Förderung)

|                  | Variante Nov. 2020 |
|------------------|--------------------|
| Quartiersnetz    | 1.800.000 €        |
| Erdsondenfelder  | 1.550.000 €        |
| Wärmepumpen      | 2.200.000 €        |
| PV Anlage        | 1.250.000 €        |
| Regelungstechnik | 500.000 €          |
| Anschluss FW-RL  | 250.000 €          |
| <b>Summe</b>     | <b>7.550.000 €</b> |
| Baunebenkosten   | 1.500.000 €        |
| <b>Gesamt</b>    | <b>9.050.000 €</b> |
| Förderung        | -2.300.000 €       |
| <b>Gesamt</b>    | <b>6.750.000 €</b> |

## Wirtschaftliche Bewertung

Die Zielgröße ist ein kostendeckender Wärmepreis von 106 €/MWh.

### Erträge aus Wärme- und Kältelieferung an Quartier

- 8.065 MWh/a Wärme x 100 €/MWh → 806.500 €/a
- 935 MWh/a Kälte x 250 €/MWh → 233.750 €/a
- Gesamt → 1.040.250 €/a

### Kosten für Strombezug und Fernwärme (nur für Wärme- und Kälteerzeugung)

- Strom für Betrieb Wärmepumpen → 231.824 €/a
- Fernwärme → 251.700 €/a
- Gesamt → 483.523 €/a
- Delta/Erlös → 556.726 €/a

### Wirtschaftlichkeitsbewertung mittels Kapitalwertmethode

Nach Abzug Gewinn (Annahme 10% → 100.000 €/a) bleiben rund 450.000 €/a Überschuss. Mit einem Kalkulationszinssatz von 5% ergeben sich die folgenden Kapitalwerte:

- 5 Jahre 1,95 Millionen €
- 10 Jahre 3,47 Millionen €
- 15 Jahre 4,67 Millionen €
- 20 Jahre 5,61 Millionen €
- 25 Jahre 6,34 Millionen €
- 30 Jahre 6,92 Millionen €

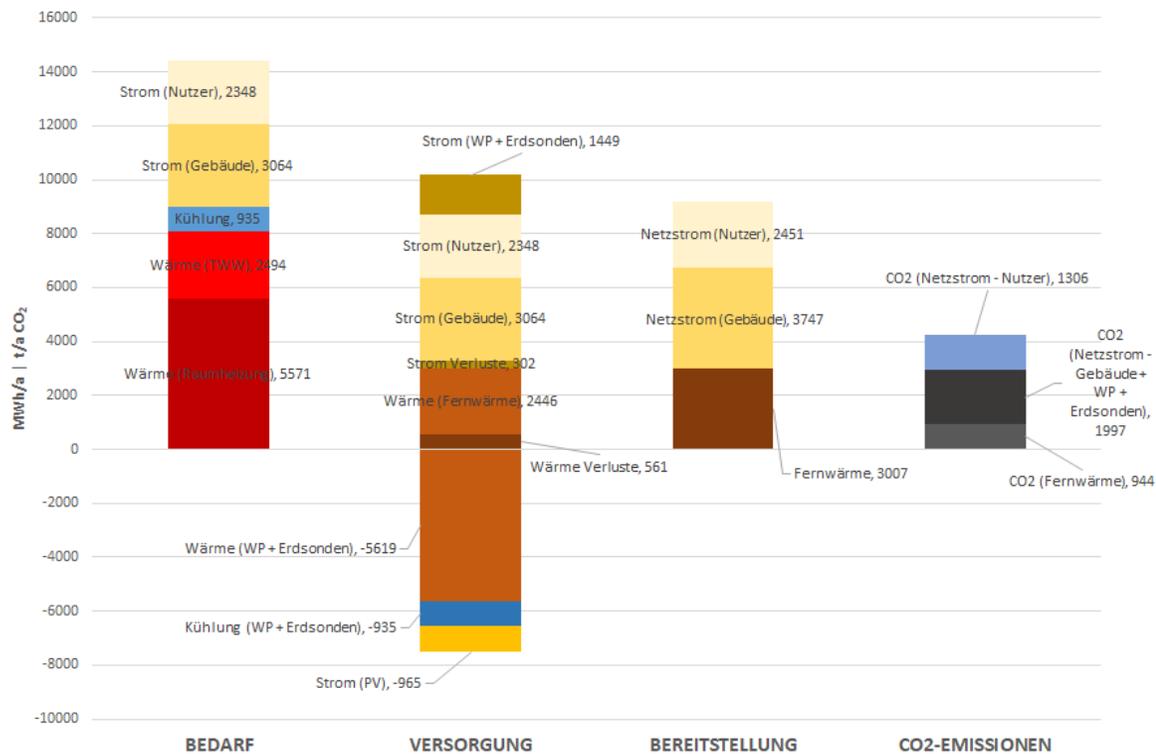
Das heißt eine Investition in Höhe von rund 6,75 Millionen € wäre unter den genannten Annahmen mit einer mittleren Abschreibung über 25-30 Jahre wirtschaftlich.

## Energie- & CO<sub>2</sub>-Bilanz Holsten Quartier

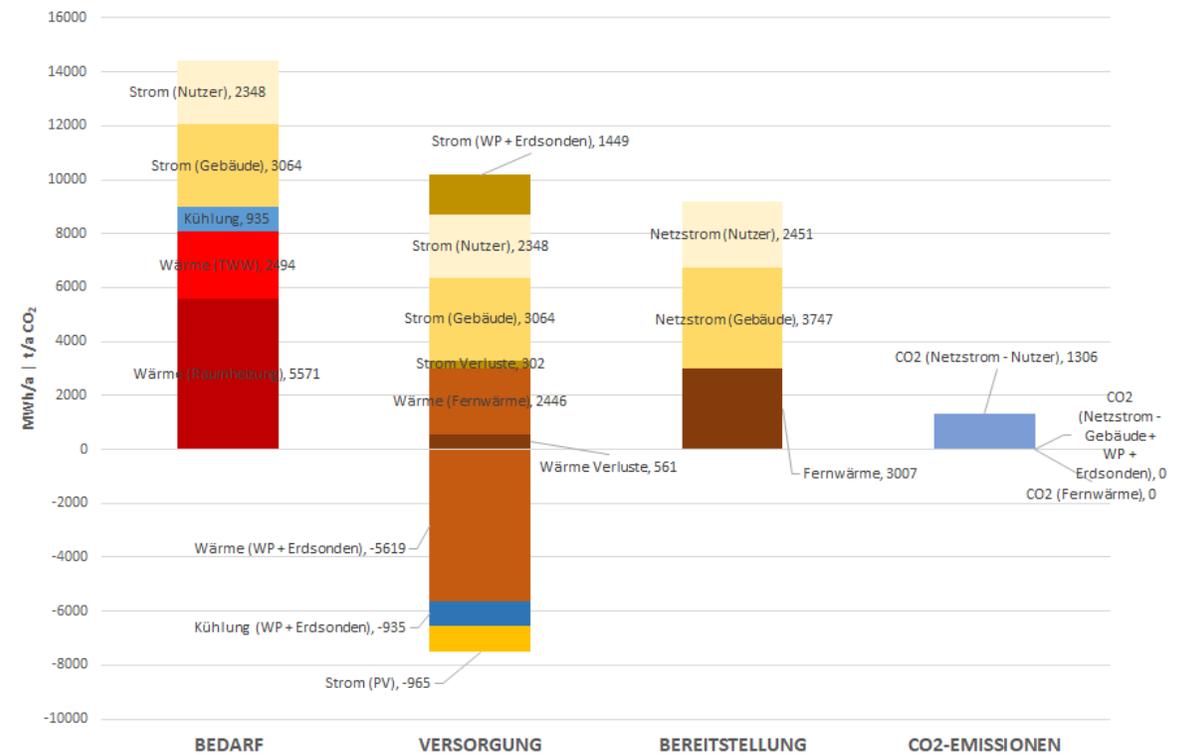
Die Graphiken unten zeigen die auf Basis stündlicher Simulation ermittelten Jahreswerte für den Energiebedarf, die Energieversorgung (einschließlich Verluste und Gutschriften aus erneuerbaren Quellen), die Energiebereitstellung (Energieträger), sowie die daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die Grafik links zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen unter Ansatz der folgenden Emissionsfaktoren:

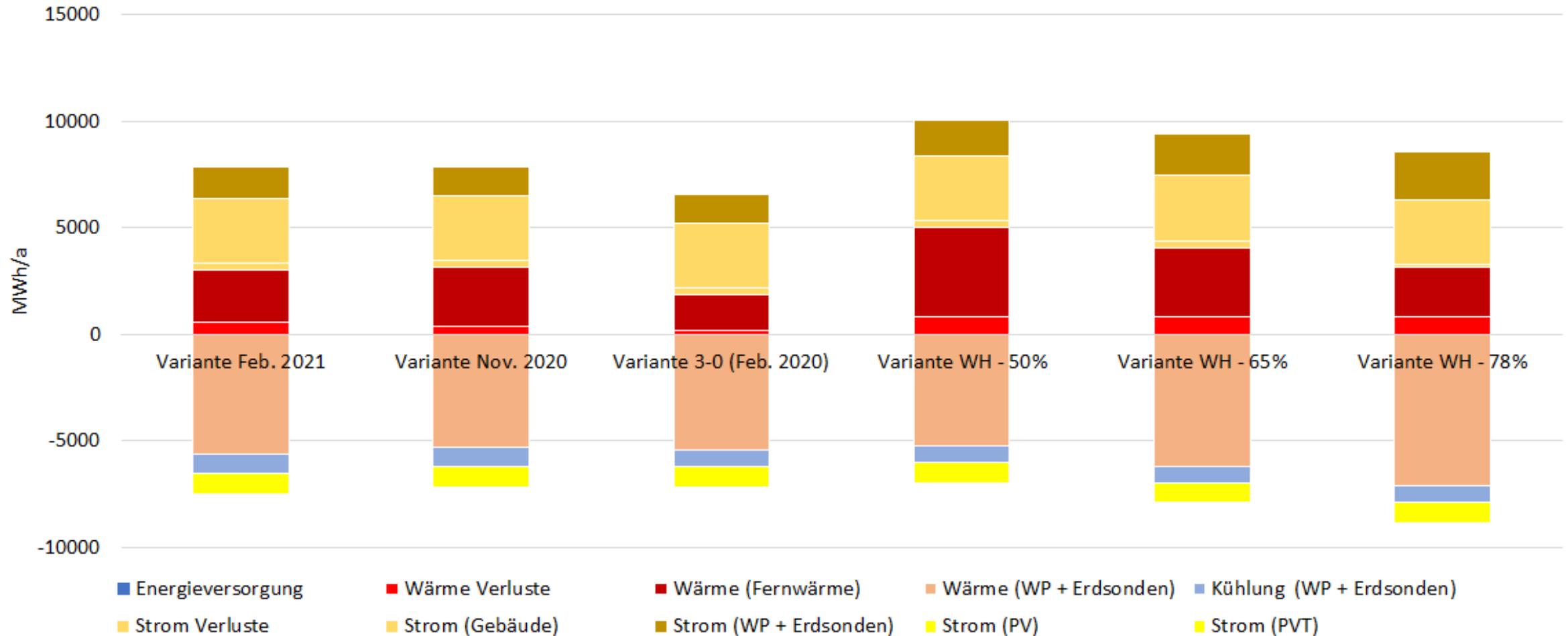
- Strom 0,533 CO<sub>2</sub>/MWh
- Fernwärme 0,314 CO<sub>2</sub>/MWh



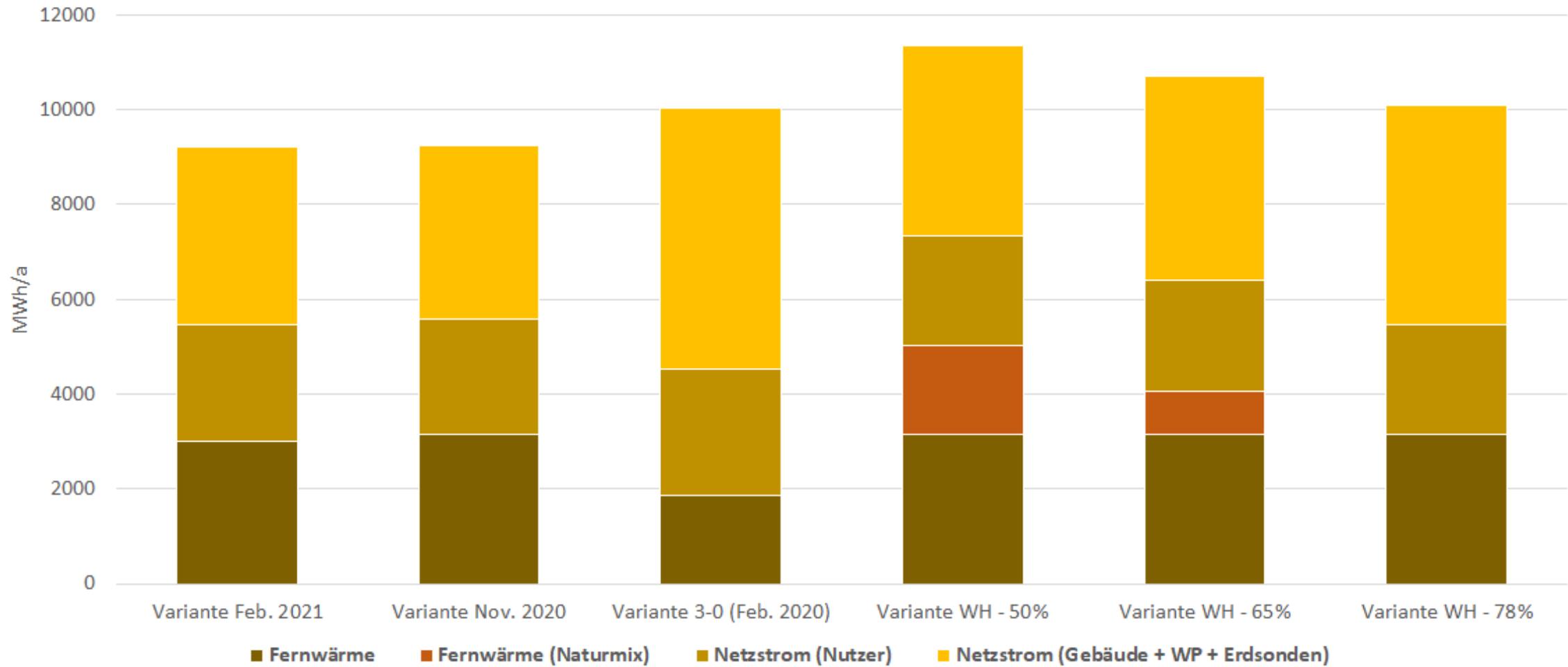
Die Grafik rechts zeigt die weitere Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wenn der Betreiber der Energieversorgung ausschließlich grünen Strom und Fernwärme Rücklauf aus dem Naturmix bezieht. Sofern sich auch die Nutzer und Bewohner im Quartier darauf verständigen ausschließlich grünen Strom zu beziehen kann das Holsten Quartier als CO<sub>2</sub>-neutraler Campus betrieben werden.



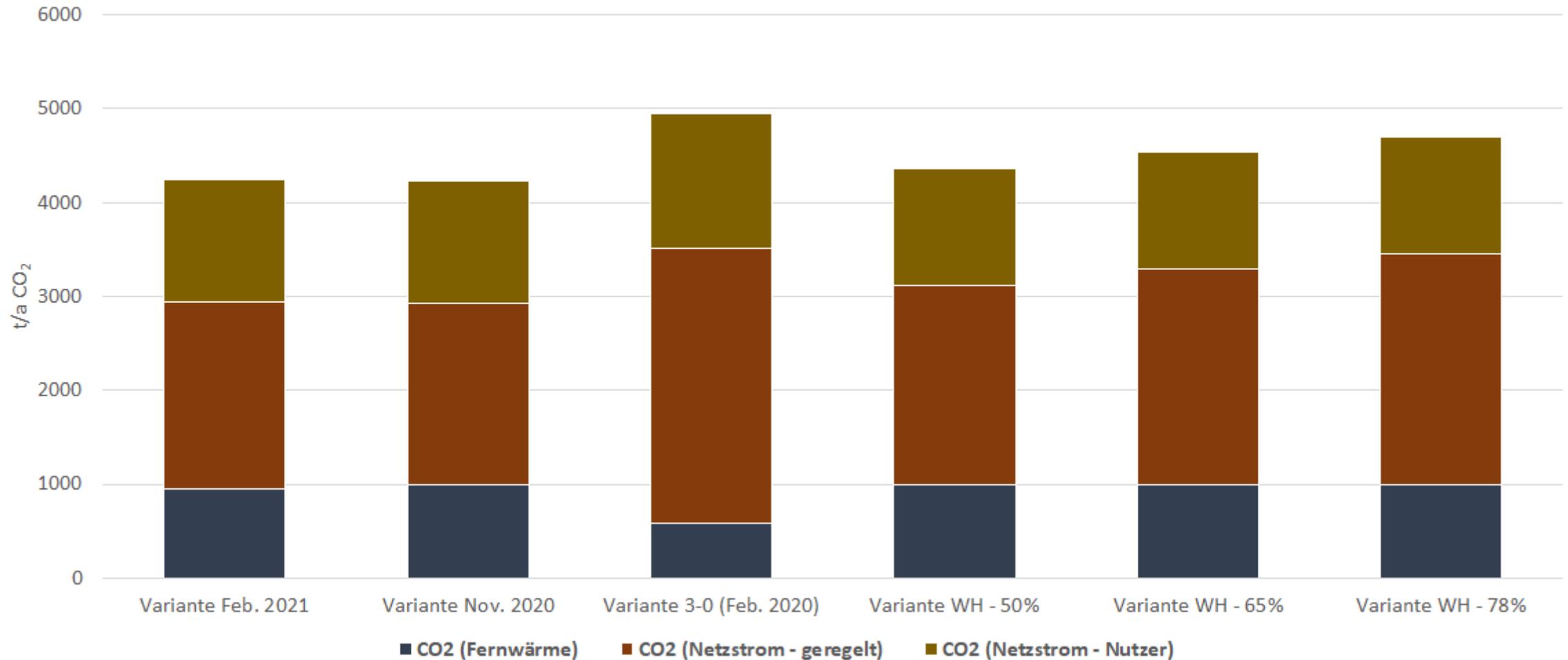
## Energieversorgung



## Jährlicher Energieverbrauch



Variantenvergleich – Jährlicher Energieverbrauch

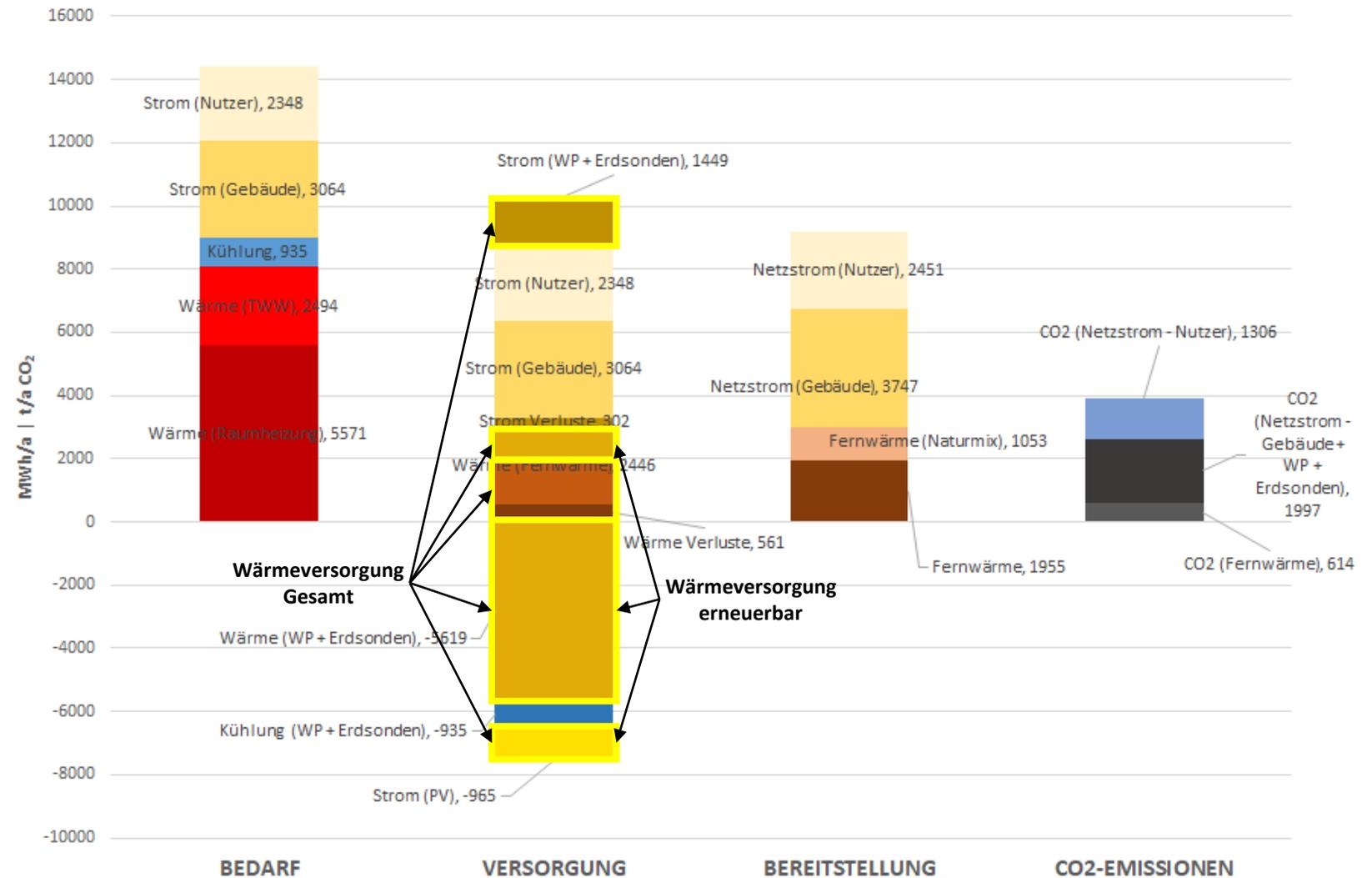
CO<sub>2</sub> Emmisionen

Variantenvergleich – Jährliche CO<sub>2</sub> Emissionen

## Zusammenfassung Energiekonzept

Das vorliegende Energiekonzept erfüllt die Anforderungen aus dem Städtebaulichen Vertrag. Insbesondere:

- gemeinsames Wärmenetz im Vertragsgebiet
- Anteil erneuerbarer Energie an der Wärmeversorgung beträgt 75 %, bei 35% Bezug Fernwärme Naturmix
- brennstofffreier Anteil der Wärmeversorgung beträgt >55%
- keine Verbrennungsanlagen im Quartier
- Wärme-Kälte-Kopplung mithilfe von Wärmepumpen; saisonale Verschiebung über Geothermiesonden
- Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung bei Wärmemischpreis von 106 €/MWh gegeben



# Baumann Consulting

1424 K Street NW  
Suite 500  
Washington, D.C. 20005  
+1 202 608 1334

180 N LaSalle  
Suite 2210  
Chicago, IL 60601  
+1 312 386 7710

Lindleystraße 11  
60314 Frankfurt  
Floor 4  
Germany

[www.baumann-us.com](http://www.baumann-us.com)

Washington, D.C. | Chicago | Frankfurt

