

München, Paketpostareal

Energieversorgung



Mit Herzog de Meuron Architekten
Für die Büschl Unternehmensgruppe

Transsolar Energietechnik GmbH



Revision D - 30.10.2024

Zusammenfassung	4
Ausblick.....	6
Randbedingungen der thermischen Simulationen	
Nutzungsverteilung.....	10
Allgemeine Randbedingungen.....	12
Wetterdatensätze.....	15
Ergebnisse der thermischen Simulationen	
Heiz-/Kühllasten.....	20
Stromlasten.....	21
Jährlicher Nutzenergiebedarf.....	22
Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten	
Übersicht.....	24
Schemata der Varianten.....	26
Deckungsanteile.....	33
Bewertung des Endenergiebedarfs, Primärenergiebedarfs und der Energiekosten.....	34
Analyse der Investitionskosten.....	36
CO2 Auswertung.....	37
Anmerkungen zu den Energieerzeuger.....	42
Zentrale vs Dezentrale Versorgung.....	44
Versorgungsstrategie Düker/Brunnen.....	47
Schlussfolgerungen.....	50

Inhaltsverzeichnis



Solar- und Windenergie

Solarenergie.....	52
PV Ertrag.....	53
PV Belegungsanteile und Flächen.....	54
Vergleich CO2-Emissionen Gebäudebetrieb und PV-Einsparpotenzial.....	54
Jahresgang.....	59
Wochenverlauf.....	61
Solarer Deckungsanteil.....	62
Windenergie.....	64

Anhang

Verfügbare Flächen für PV.....	68
Investitionskosten.....	72
Technologien.....	74
Abschätzung des Eisspeichers.....	79

Die Büschl Unternehmensgruppe plant die Errichtung eines neuen Stadtbausteins «Paketpostareal» im direkten Umgriff der denkmalgeschützten Paketposthalle im Münchener Westen. Das Areal soll mit einer blockartigen «Teppichbebauung», sowie mehreren Hochpunkten als Mischkerngebiet mit einer starken Nutzungsdurchmischung entwickelt werden. Die folgende Studie konzentriert sich auf einen neuartigen Entwicklungsplan, vorgelegt von Herzog de Meuron Architekten, im Folgenden als "B-Plan Verfahren 2147" bezeichnet.

In diesem Bericht werden energetische Untersuchungen vorgestellt, die als Entscheidungsgrundlage für zukünftige Energieversorgungsstrategien dienen sollen. Hierfür wurden die geplanten Neubauten simulationstechnisch abgebildet, um die stündlichen Heiz-, Kühl-, und Stromlasten und damit die ganzjährigen Energieverbräuche abhängig von den lokalen Wetterdaten (Statistischer Klimadatensatz TRY- DWD) zu ermitteln. Mit den ermittelten Werten wurde für verschiedene Versorgungsszenarien der jeweilige Primärenergiebedarf, der prognostizierte CO₂-Fußabdruck, und die investitions- und Energiekosten berechnet und bewertet.

Aus dieser Analyse wird eine Energieversorgung mit einer Einbindung von lokaler Umweltenergie - Geothermie (Grundwasserbrunnen) - als Grundlastabdeckung und Fernwärme für die Spitzenlasten zur Wärmeerzeugung empfohlen (Variante 4). Zur Kälteerzeugung wird ebenfalls eine Grundlastdeckung mit Geothermie (direkte Kühlung und reversiblen Kühl-Betrieb der geothermischen Wärmepumpen), sowie zusätzliche luftgekühlte Kältemaschinen für die Spitzenlasten empfohlen. Die vorhandenen Grundwasserhaltungsmassnahmen (Düker) können idealerweise in das Geothermie-System mit eingebunden werden. Diese Variante bringt die folgenden weiteren Vorteile mit sich:

- Einsatz der lokalen Ressourcen (erneuerbare Umweltenergie - Grundwasser)
- Hohe Anlageneffizienz (Jahresarbeitszahlen für Heizen 5 und Kühlen 10)
- Geringe Investitionskosten (die Wärme- und Kälteversorgung ist bei den Investitionskosten im Vergleich zu den anderen untersuchten Varianten die günstigste)
- Niedrige Betriebskosten (aufgrund des hohen Anteils an Umweltenergie ist die V4 eine der günstigeren Varianten, gegenüber der Referenzvariante sind die Betriebskosten um -13% niedriger)

Zusammenfassung



- Geringer Primärenergiebedarf (in der Bewertung des Primärenergieeinsatzes ist die V4 die vorteilhafteste mit -5,3% gegenüber der Referenzvariante)
- Geringer Platzbedarf für Technik
- Geringer CO₂-Fußabdruck

In Bezug auf eine angestrebte Klimaneutralität erweist sich die Variante V4 als vorteilhaft, da sie insbesondere in der Übergangszeit der Dekarbonisierung sehr niedrige CO₂ Emissionen verursacht, bei gleichzeitig hoher Wirtschaftlichkeit.

In den Festsetzungen des B-Planes 2147 wurde die Geothermienutzung nicht als verpflichtendes Wärm-/Kälte-Versorgungskonzept festgelegt, sowie keine Brunnenstandorte und Leitungstrassen definiert. Die Geothermie (Variante 4) dient als Empfehlung für die weiterführende Planung. Weitere Ausarbeitungen (Detaillierung der Planung + Probebrunnen mit Pumpversuchen) erfolgen erst in der weiteren Hochbauplanung.

Sollte sich eine Grundwassernutzung zur Wärme- und Kälteversorgung als nicht umsetzbar erweisen, wird alternativ die Anbindung an die Fernkälte in Kombination mit der bereits vorliegenden Fernwärme zur Versorgung empfohlen. Die Wärme- und Kälteversorgung erfolgt dann vollständig über die Stadtwerke München.

Im weiteren Verlauf der Bearbeitung sollte mit den Stadtwerken abgestimmt werden, wie die Geothermie-Systeme vor Ort in das Gesamtsystem der Fernwärme der Stadtwerke am sinnvollsten eingebunden werden können. Schon im Koalitionsvertrag für die Stadtratsperiode 2020-2026 wurde festgelegt, dass die Fernwärme bis 2035 klimaneutral sein soll und die Geothermie schnellstmöglich ausgebaut werden soll.

Zusätzlich wird zur lokalen Energieerzeugung und zur weiteren Minimierung des CO₂ Ausstoßes die Belegung der Dächer der Neubauten und der Fassaden der Türme mit Photovoltaik vorgesehen. Aufgrund des hohen Strombedarfs des Quartieres und des verhältnismäßig geringen Flächenpotentials für Photovoltaik auf den geplanten Gebäuden, wird empfohlen wenn möglich auch die Dachfläche der Paketposthalle selbst mit Photovoltaik-Paneelen zu versehen. Untersuchungen und ersten Abstimmungen mit den Denkmalschutzbehörden sind bereits erfolgt.

Ausblick

Nächste Schritte



In der weiteren Bearbeitung wird die Einbindung des Hydrogeologen vertieft, um die Umsetzbarkeit einer geothermischen Brunnenanlage sicherzustellen. Ziel ist es die notwendigen Wasserhaltungsmaßnahmen aufgrund der Tiefgarage mit der Geothermie zu kombinieren. Erste Abstimmungen hierzu haben bereits stattgefunden.

Genauso muss unter Einbindung des Geologen eine genaue Planung der Brunnen erfolgen. Dies ist natürlich mit dem gesamten Planungsteam, vor allem mit der Haustechnik- und Freiraumplanung zu koordinieren.

In der aktuellen Betrachtung wird angenommen, dass die Wohnungen ohne eine Kühlung auskommen. Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels, mit voraussichtlich steigenden Temperaturen in den Sommermonaten, könnte eine Kühlung zukünftig notwendig sein. Eine Berücksichtigung dessen in der weiteren Planung ist möglich.

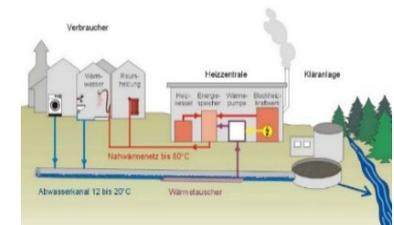
Die Abstimmungen mit den Stadtwerken München SWM werden ebenso fortgesetzt. Hier sollen insbesondere Contracting-Modelle betrachtet werden. Diese beinhalten, wie eine lokale Energieversorgung mit Verteilungsnetzen der Stadtwerke kombiniert werden und ggf. auch von diesen betrieben werden kann.

In der weiteren Bearbeitung können weitere Möglichkeiten zur Treibhausgas-Emissionsminderungen herausgearbeitet werden. Beispiele hierfür:

Energieversorgung

Abwasserwärmerückgewinnung

Sensible Wärme wird aus dem Abwassersystem der Stadt München entzogen, idealerweise wird hierfür ein größerer Hauptleiter mit einer hohen Durchflussrate genutzt. Abwasser hat über das Jahr ein Temperaturniveau von 5-20°C und stellt daher eine gute und kostenlose Wärmequelle und -senke dar. Im Abwasserkanal wird ein Wärmetauscher installiert, der die Energie mit Hilfe von Wärmepumpen auf ein nutzbares Temperaturniveau hebt. Abstimmungen mit der Stadtentwässerung und dem Tiefbauingenieur, sind notwendig, um das Potenzial und Machbarkeit zu plausibilisieren und konkretisieren.



Abwasserwärmerückgewinnung

Quelle: Grafik ©UM Baden-Württemberg

Ausblick

Nächste Schritte



Energiespeicherung

Um Lastspitzen auszugleichen und Energie zu speichern, wenn keine Erneuerbaren zur Verfügung stehen, kann über lokale Speicherlösungen (Batterien, thermische Speicher, Elektrolyseure) nachgedacht werden

Solarthermie

Der Fokus der Solarenergienutzung liegt in diesem Bericht auf Photovoltaik, da das Quartier einen hohen Strombedarf aufweist und die Überschüsse ganzjährig unkompliziert ins Stromnetz eingespeist werden können. Aufgrund des hohen Trinkwarmwasserbedarfes, kann es ebenso sinnvoll sein für die Wohngebäude partiell Solarthermie-System einzubinden. Für diese Massnahme wird jedoch nur ein geringes Potential an Emissionsreduktion erwartet.

Emissionseinsparung

Duschwasserwärmerückgewinnung

Aufgrund des hohen Anteils an Wohnungen mit einer signifikanten Anzahl an Duschen, wird ein hohes Potential an Energieeinsparung bei der Wärmerückgewinnung von Trinkwarmwasser gesehen. Wärmetauscher als Wärmerückgewinnung in den Duschen zur passiven Vorwärmung des Duschwassers sind eine Möglichkeit zur Energieeinsparung. Produkte für diese Systeme sind auf dem Markt erhältlich.

Adiabatische Kühlung

Die Zuluftkühlung kann zum Teil passiv durch eine Befeuchtung der Abluft erfolgen. Durch die Verdunstung kühlt sich die Abluft ab. Die Energie der abgekühlten Abluft wird in der Wärmerückgewinnung auf die Zuluft übertragen.

Ausblick

Nächste Schritte



Graue Emissionen

Neben den Emissionen aus dem Gebäudebetrieb spielen die Emissionen, die bei der Herstellung und bei einem späteren Austausch oder Abbruch von Bauteilen entstehen, eine immer größere Rolle. Insbesondere, wenn die Energienetze in der Zukunft dekarbonisiert werden, fallen die Grauen Emissionen stärker ins Gewicht.

Im Planungsprozess wurden hierzu bereits erste Analysen der Baukonstruktion und des Tragwerks unternommen, um die Emissionen signifikant zu reduzieren. Aufgeführt sind exemplarische Möglichkeiten zur Minderung der Grauen Emissionen:

- Verwendung von hocheffizienten Tragkonstruktionen mit minimiertem Materialaufwand.
- Tragkonstruktion soweit möglich in Holzbauweise / Holzhybridbauweise als CO₂-Speicher und zur Reduktion des Einsatzes von emissionsintensivem Beton.
- Einsatz von Recyclingbeton und emissionsarmen Betonsorten (z.B. CEM III / RCC-Beton) wo Betonkonstruktionen nicht vermeidbar (Hochhaus, Untergeschosse).
- Sicherstellung einer möglichen Wiederverwendbarkeit durch modulare, vorgefertigte Bauteile mit lösbaren Verbindungen.
- Reduktion von fossilen oder mineralischen Baustoffen in der Fassade (z.B. Zellulose, Holzdämmung anstatt EPS / Mineralwolle-Dämmung) und im Innenausbau (z.B. Lehm-, Strohpaneele anstatt Gipskarton)
- Förderung des Einsatzes von wiederverwendeten, recycelten oder kreislauffähigen Bauelementen (Prinzipien Kreislaufwirtschaft, Cradle-to-Cradle)

Für die Berechnungen der grauen Emissionen ist ein deutlich detaillierterer Hochbauentwurf erforderlich, um belastbare Zahlen zu ermitteln, daher wird diese Thematik in diesem Gutachten nur am Rande erwähnt.

Ausblick

Nächste Schritte



Transsolar empfiehlt in der weiteren Bearbeitung Zielwerte für die grauen Emissionen auf Basis des Rahmenwerkes der DGNB (Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen) - Version 2023 Neubau - zu definieren.

Die definierten Referenzwerte der DGNB basieren auf statistischen Auswertungen von gebauten Beispielen, die Zielwerte lassen eine gewisse Flexibilität zu und ermöglichen so auch eine Flexibilität in den Konstruktionsarten.

Angabe DGNB Referenzwert Erstellung Bauwerk (Phase A1-A3) - GWP:

8,4 kgCO₂e/m²_{NRF}a (Berechnet auf 50 Jahre Nutzungszeit)

Zielwert Erstellung Bauwerk (Phase A1-A3):

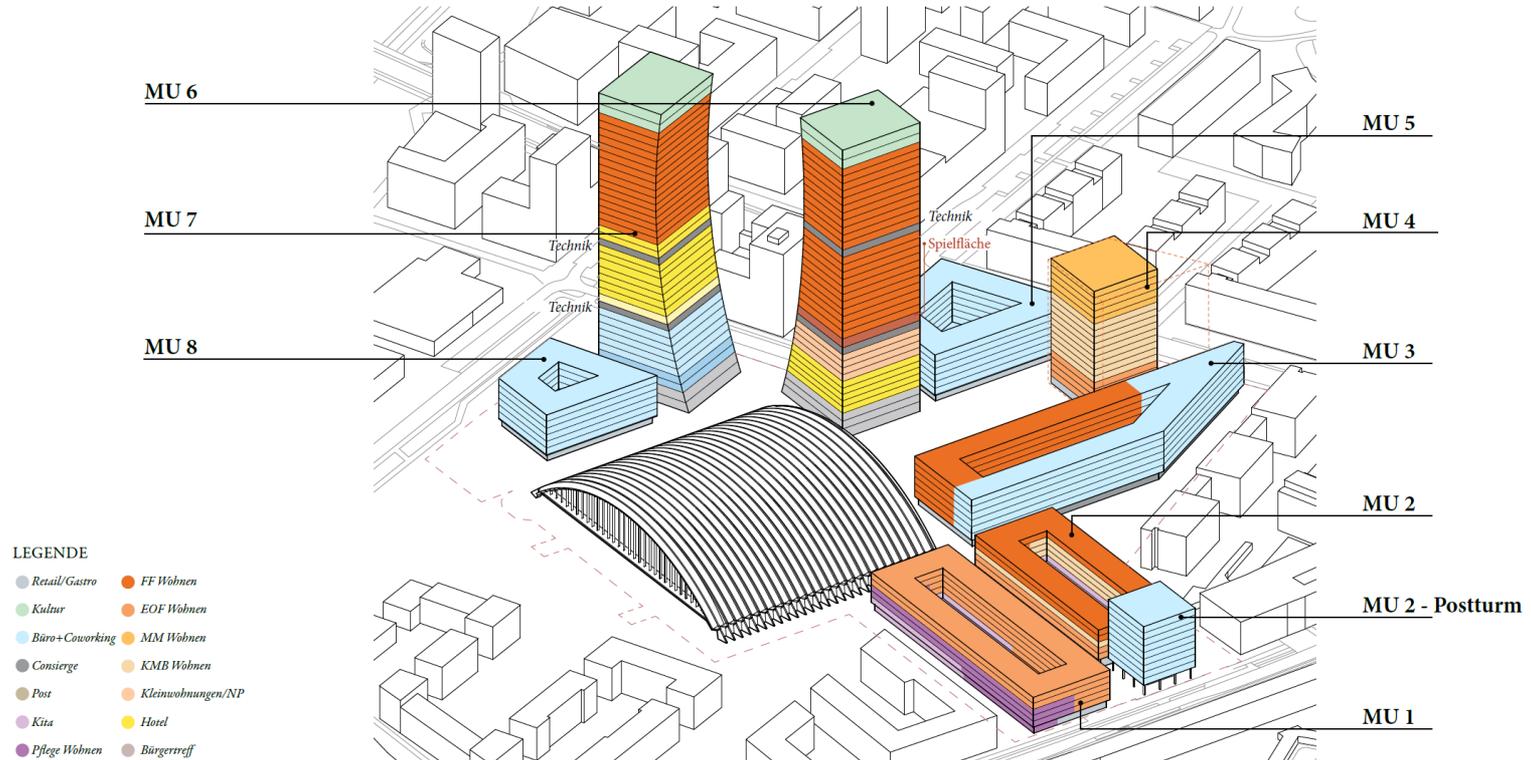
Oberer Zielwert = 0,5 * Referenzwert = 4,2 kgCO₂e/m²a

Zielwerte = 0,75 * Referenzwert = 6,3 kgCO₂e/m²a

Randbedingungen der thermischen Simulationen

Randbedingungen der thermischen Simulationen

Nutzungsverteilung

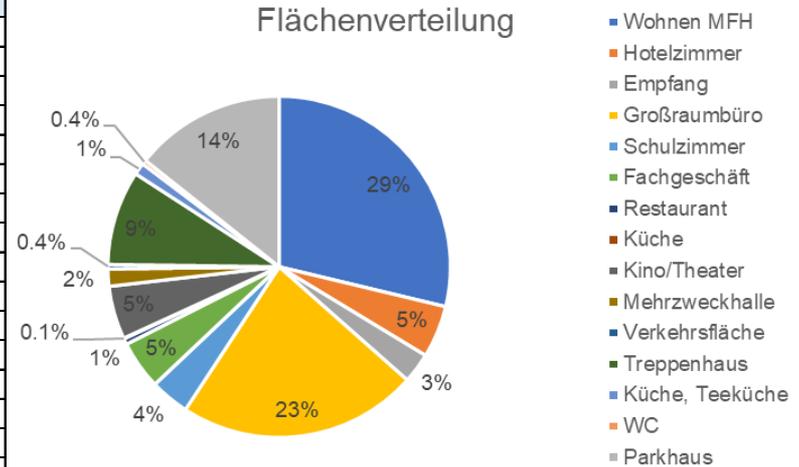


Quelle: Modell © Herzog de Meuron August 2023

Randbedingungen der thermischen Simulationen

Nutzungsverteilung

Gebäudekategorie	Raumnutzung	BGF	Anteil der BGF
		m ²	
Wohnen	Wohnen MFH	85007	29%
Hotel	Hotelzimmer	14614	5%
	Empfang	8451	3%
Büro	Großraumbüro	67030	23%
Schule	Schulzimmer	10948	4%
Verkauf	Fachgeschäft	13575	5%
Restaurant	Restaurant	1645	1%
	Küche	183	0.1%
Versammlungslokal	Kino/Theater	14910	5%
	Mehrzweckhalle	4829	2%
zugeordnete Nutzungen	Verkehrsfläche	1208	0.4%
	Treppenhaus (Wohnen)	26506	9%
	Küche, Teeküche	3368	1%
	WC	1200	0.4%
	Parkhaus	42200	14%
Gesamt		295674	



Quelle: Flächen © Herzog de Meuron 2023

Als Grundlage für die thermischen Simulationen wurden den Flächen bestimmte Nutzungen gemäß den architektonischen Plänen (Stand: Feb. 2023) zugeordnet. Es wurde hier die Schweizer Norm SIA 2024:2021 mit den entsprechenden Raumnutzungsdaten verwendet. Diese wurde verwendet, da deutsche Normen diese nutzungsspezifischen Werte und Lastenprofile nicht für eine solche Anzahl an unterschiedlichen Raumprogrammen abbilden und zudem eine zeitliche Belegungsdynamik nicht berücksichtigen. Die Flächenaufteilung der Hauptnutzungen entspricht grob der aktuellen Flächenverteilung nach BayBO (+/- 10% Abweichungen). Lediglich die Fläche für Schule bzw. Kita (aktuell 2% der Gesamtfläche, im Modell 4%) unterscheidet sich deutlicher, was jedoch bei dem geringen Anteil an der Gesamtfläche vernachlässigbar ist.

Randbedingungen der thermischen Simulationen

Allgemeine Randbedingungen



Bauteil		EG40 / EH40
Außenwand gegen Außenluft (Fassade)	W/m^2K	0.18
Boden gegen Erdreich	W/m^2K	0.25
Dach	W/m^2K	0.14
Fenster	W/m^2K	0.9
g-Wert Verglasung		0.45
Wärmebrückenzuschlag	W/m^2K	0.035
Infiltration	$1/h$	0.1
Luftungseffizienz	$W/(m^3/h)$	0.5
WRG		0.75

Für die Türme (MU6+7) wurde ein Fensterflächenanteil von 70% angesetzt, für die anderen Gebäude 50%.

Die bauphysikalischen Eigenschaften der Fassade entsprechen dem Energieeffizienzniveau Effizienzhaus/Effizienzgebäude 40.

Bei den Türmen mit hohem Fensterflächenanteil wird keine aktive Kühlung angesetzt, hier muss ggf. eine Sonnenschutzverglasung eingesetzt werden, um den sommerlichen Komfort sicherstellen zu können. Eine Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN4108-2 ist nicht Teil dieser Betrachtung.

Detaillierte Annahmen (z.B. Personendichte, Belegungsprofile, Nutzerstromlasten) wurden gemäß SIA 2024:2021 Kategorie: Standardwert angenommen und sind im Anhang dokumentiert. Die Annahmen auf Basis der Schweizer SIA-Norm erfolgen daher, da diese realistischere Energie-Kennwerte als die Deutsche Norm DIN 18599 aufweist. Zudem verfügt die SIA-Norm über dynamische zeitliche Nutzungsprofile, die ebenfalls näher an der Realität liegen als die Vorgaben der DIN 18599.

Randbedingungen der thermischen Simulationen

Raumkonditionierung, Lüftung und Trinkwarmwasserbereitung



Gebäudekategorie	Raumnutzung	Beschreibung der Zonen								
		Heizung	Kühlung	Lüftung	Trinkwarmwasser					
Wohnen	Wohnen MFH	aktive Heizung	passiv (freie Lüftung)	m.L. o. Temperierung	Wärmeerzeuger gleich					
Hotel	Hotelzimmer		aktive Kühlung	keine Kühlung	hybride Lüftung	Heizenergieerzeuger				
	Empfang									
Büro	Großraumbüro				keine Kühlung	passiv (freie Lüftung)	mech. Lüftung	Durchlauferhitzer		
Schule	Schulzimmer							hybride Lüftung	Heizenergieerzeuger	
Verkauf	Fachgeschäft						mech. Lüftung			
Restaurant	Restaurant							hybride Lüftung		
	Küche									
Versammlungslokal	Kino/Theater						keine Kühlung	freie Lüftung	mech. Lüftung	Heizenergieerzeuger
	Mehrzweckhalle									
zugeordnete Nutzungen	Verkehrsfläche	keine Kühlung					passiv (freie Lüftung)	freie Lüftung		
	Treppenhaus (Wohnen)									
	Küche, Teeküche									
	WC									
	Parkhaus		keine Heizung	nur Abluft						

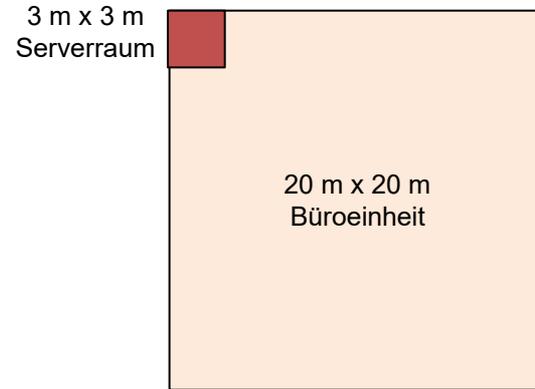
In der Übersichtstabelle werden die Ansätze zur Heizung, Kühlung, Lüftung und Trinkwassererwärmung nach Raumnutzung beschrieben. Die Solltemperatur für alle aktiv beheizten und gekühlten Zonen entspricht der Norm DIN EN 16798-1. Alle Raumnutzungen werden aktiv beheizt, außer das Parkhaus. Es wird in den Wohnungen und Treppenhäusern passiv (über freie Lüftung) gekühlt; Räume mit Nebennutzungen werden nicht gekühlt, andere Räume mit Hauptnutzungen sind mit einer aktiven Kühlung versehen. Die Lüftung, außer in den Treppenhäusern und im Parkhaus, erfolgt in der Heizperiode über eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung. In weiten Teilen wird eine hybride Lüftung angesetzt. Dies bedeutet, dass bei zulässigen Außenkonditionen außerhalb der Heizperiode eine natürliche Lüftung angesetzt wurde.

Trinkwarmwasser in Bürozononen wird aufgrund des geringen Wasserbedarfs mit Durchlauferhitzer versorgt. Ansonsten erfolgt die Erwärmung über den Heizenergieerzeuger. Erläuterung der Begrifflichkeiten:

- Passive Kühlung - Freie Lüftung bei Übertemperaturen, ohne aktive Kältenutzung
- Mechanische Lüftung ohne Temperierung der Außenluft - 70% sensible Wärmerückgewinnung, Zuluft wird nur über die Wärmerückgewinnung temperiert, keine aktive Heizung oder Kühlung der Zuluft
- Mechanische Lüftung - Raumluftechnik mit aktiv beheizter und gekühlter Zuluft und 70% sensible Wärmerückgewinnung
- Hybride mechanische Lüftung = Raumluftechnik mit aktiv beheizter und gekühlter Zuluft und 70% sensible Wärmerückgewinnung, wenn Außenbedingungen günstig sind wird zusätzlich eine freie Lüftung eingesetzt.

Randbedingungen der thermischen Simulationen

Serverlast



Der Strombedarf für IT-Technik steigt in Deutschland Jahr für Jahr an. Für das Quartier Paketpost-Areal wurde überschlägig eine Serverlast angenommen, die auf Erfahrungswerten von verschiedenen Transsolar Projekt beruht. Es wird kein Hochleistungsrechenzentrum angesetzt.

Eine Serverlast von 3.5 W/m^2 wurde für die Büroflächen berücksichtigt, in Summe entspricht dies einer Gesamtlast von $\sim 235 \text{ kW}$. Für eine typische Mietbüroeinheit von 400 m^2 (Nutzungseinheit Brandschutz) entspräche dies einer Servergröße von 1.4 kW und benötigt etwa $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ Platz. Für alle Büroflächen entspräche das insgesamt 168 solche Serverräume oder 1500 m^2 (2.3% der Gesamtbürofläche).

Randbedingungen der thermischen Simulationen

Wetterdatensätze



Variante	Beschreibung	Zweck
1	100% Interne Lasten im Winter, Wetterdaten TRY 2010	Zur Abschätzung des Stroms
2	50% Interne Lasten im Winter, Wetterdaten TRY 2010	Zur Abschätzung der Heizung
3	50% Interne Lasten im Winter mit prognostizierten Wetterdaten TRY 2045	Zur Abschätzung der Kühlung

Um den Heiz- und Kühlbedarf konservativ abzuschätzen, wurden zwei Wetterdatensätze verwendet. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt statistisch-typische jährliche Wetterdaten *Testreferenzjahre (TRY)* basierend auf historischen und prognostizierten Zukunftsdaten zur Verfügung. Die Testreferenzjahre enthalten für jede Stunde eines Jahres meteorologische Parameter, wie die Lufttemperatur, die Strahlung und die Feuchte. Sie sollen einen typischen mittleren Witterungsverlauf repräsentieren (mittlere TRY-Gegenwart). Als Basis für die Berechnung des typischen Witterungsverlaufs wurden die TRY-Basisdaten, Zeitreihen meteorologischer Parameter des Zeitraum 1995 bis 2012 gewählt.

Die Prognosedaten stellen auf Basis von Klimamodellen des IPCCs die Klimaveränderungen durch den menschengemachten Klimawandel mit wärmeren Sommerperioden dar.

Die TRY 2045 Wetterdaten (d.h. prognostiziert für das Jahr 2045) wurde zur Abschätzung der Kühlung eingesetzt, da es mehr Stunden im Bereich der Temperaturen $>30^{\circ}\text{C}$ gibt (83 h vs. 39 h im TRY 2010).

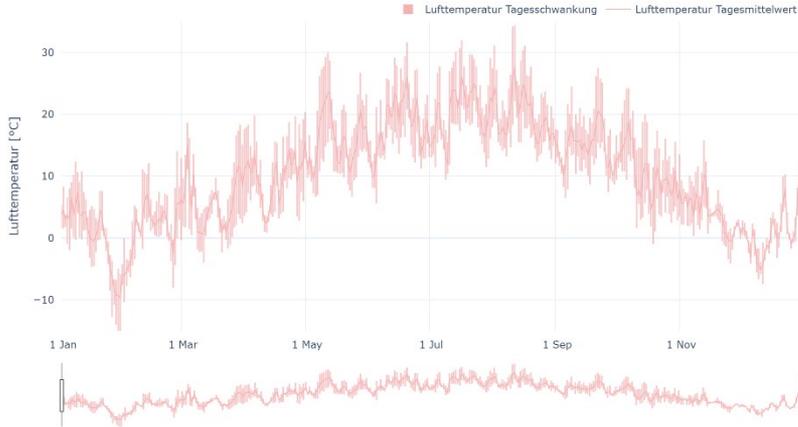
Die TRY 2010 Wetterdaten (basiert auf historischen Daten) wurde zur Abschätzung der Heizung verwendet, da es mehr Stunden im Temperaturbereich $<-10^{\circ}\text{C}$ (36 h vs. 28 h im TRY 2045) gibt. Bei dieser Variante wurden auch die internen Wärmelasten durch Personen und Geräte um 50% im Winter reduziert, um eine niedrigere Belegung abzubilden. Zur Abschätzung des Strombedarfs wurden die internen Lasten mit voller Leistung abgebildet.

Randbedingungen der thermischen Simulationen

Wetterdatensätze



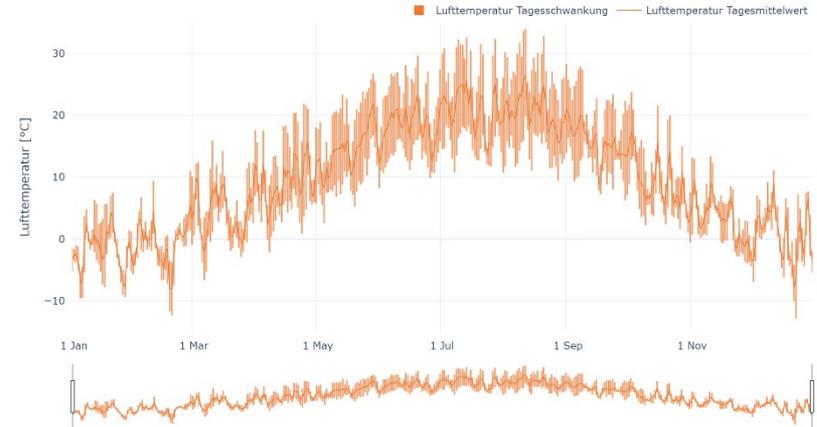
TRY 2010 Außenlufttemperatur über das Jahr



TRY2010_13Y_MUENCHEN, , TRY2010

Max. Temperatur 34.4 °C
 Min. Temperatur -18.5°C
 Stunden >30°C 39 h
 Stunden <-10°C 36 h

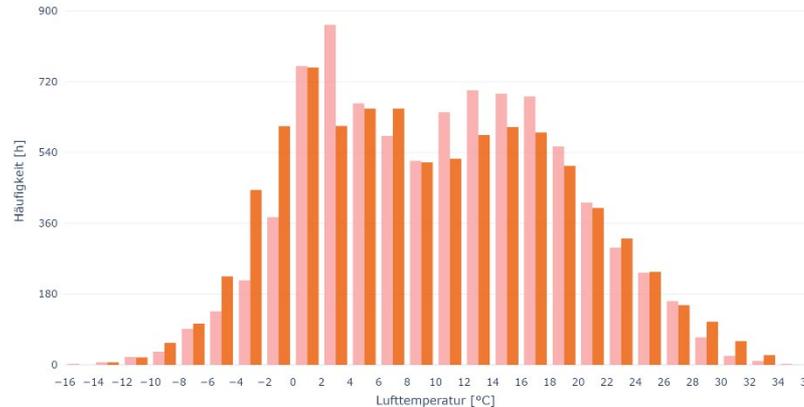
TRY 2045



TRY2045X_N48.150E11.523, XXX, TRY2045X

Max. Temperatur 34.1 °C
 Min. Temperatur -13°C
 Stunden >30°C 83 h
 Stunden <-10°C 28 h

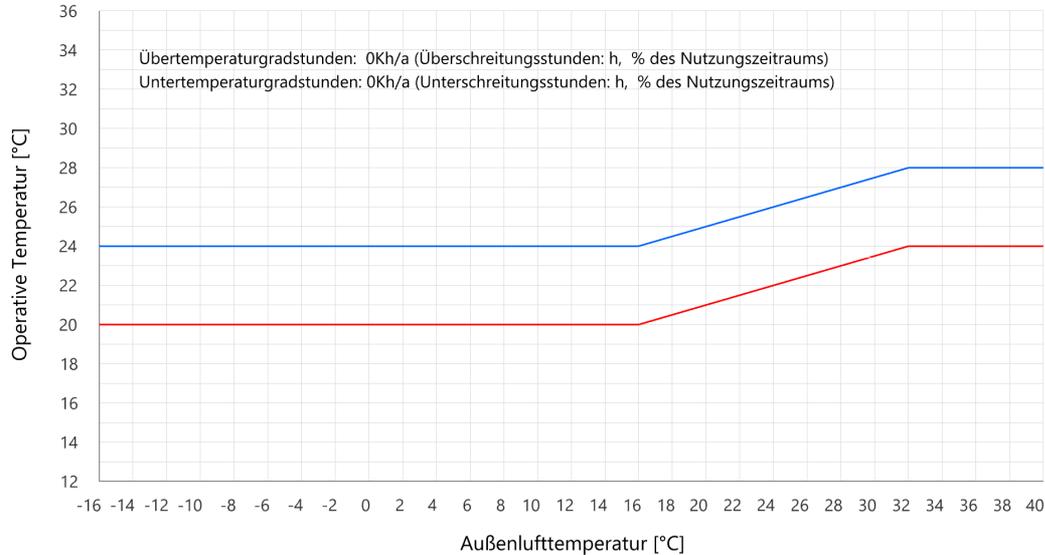
Außenlufttemperatur über das Jahr – Statistiken zur Häufigkeit



Randbedingungen der thermischen Simulationen

Bewertung des thermischen Komforts für alle repräsentativen Zonen

Empfundene Raumtemperatur über Außentemperatur während der Betriebszeit



Für alle Zonen werden die Komfortbedingungen nach DIN EN 16798-1 angewendet.

Die operative Temperatur wird in folgendem Grenzbereich gehalten:

- Winterperiode (<16°C Außenlufttemperatur): 20°C bis 24°C
- Hochsommer (>32°C Außenlufttemperatur): bis 28°C

Dazwischen wird die obere Grenze mit steigender Außenlufttemperatur linear angehoben.

Die Anhebung der operativen Innenraumtemperatur ab 16°C entspricht der Anpassung des Komforts an veränderte saisonale Bekleidung der Gebäudenutzer*Innen mit einem geringeren Bekleidungsfaktor (clo).

Ergebnisse der thermischen Simulationen

Ergebnisse der thermischen Simulationen

Einleitung der Analysen



In den Kapiteln Ergebnisse der thermischen Simulationen und Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten werden drei verschiedene Energiearten ermittelt und betrachtet:

Nutzenergie: Die für die Nutzzwecke (Raumheizung, -kühlung, Beleuchtung, Nutzerstrom, Belüftung) benötigte Energie wird über die thermische Simulation ermittelt. Mit dieser Größe kann man einen Vergleich ohne Einfluss der Anlagentechnik zwischen verschiedenen Maßnahmen ausführen.

Endenergie: Die zum Endverbraucher gelieferte, veredelte Form der Energie (von Nutzenergie ermittelt, mit Berücksichtigung der Verluste durch Verteilung und Speicherung, sowie der Wirkungsgrade des jeweiligen Energieerzeugers). Basierend auf dieser Menge werden Energiekosten ermittelt.

Primärenergie: Die Energierohstoffe im ursprünglichen Zustand ihrer Gewinnung (von Endenergie ermittelt, mit Berücksichtigung der CO₂-Faktoren der jeweiligen Energieträger). Der Primärenergiebedarf ist eine holistische Betrachtung der Energiemenge.

Ergebnisse der thermischen Simulationen

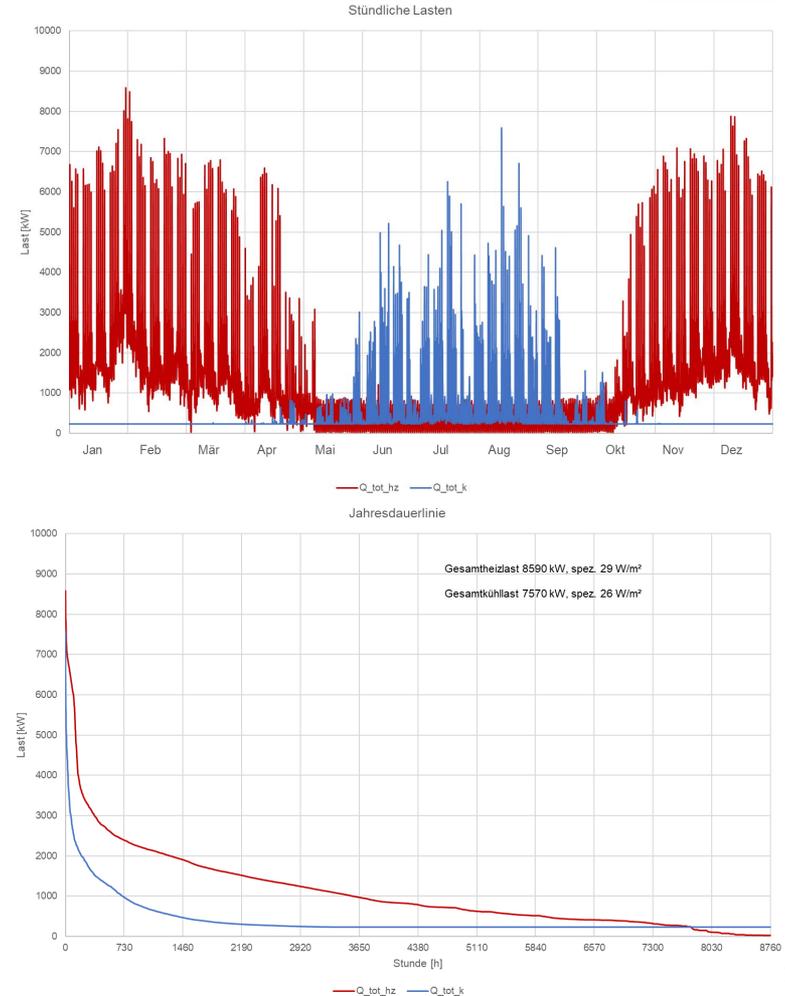
Heiz- und Kühllasten (Nutzenergie)



Die Gesamtheiz- und -kühllasten ergeben sich aus den dynamischen thermischen Simulationen mit den zuvor erläuterten Randbedingungen und Zonierungen. Gut zu erkennen sind bei den stündlich ermittelten Lasten die Maximalheizlast von 8580 kW im Winter und die Maximalkühllast von 7570 kW im Sommer. Dies entspricht flächenspezifischen Werten von 29 W/m² und 26 W/m² (Gesamtfläche 295.674 m² inklusive aller Nutzungen) und somit typischen Werten für ein Areal mit Mischnutzung.

Im ersten Diagramm sind die Lasten chronologisch während des Jahres aufgeführt. Sie weisen ein typisches Muster auf. Die Heizsaison fängt im Oktober an, und endet Anfang Mai. Außerhalb dieser Heizperiode besteht weiterhin eine Heizlast für die Trinkwarmwasserbereitung. Die Hauptkühlsaison ist vergleichsweise kurz und findet zwischen Mai und September statt, wohingegen eine Grundlast der Server über das ganze Jahr gekühlt werden muss. Abhängig von der Wahl der Energieerzeuger können parallele Heizung und Kühlung vorteilhaft sein, wenn die Abwärme der Kälteerzeugung als Wärmequelle eingesetzt wird.

Im zweiten Diagramm sind die Jahresdauerlinien dargestellt. Diese zeigen Heiz- und Kühllasten nach absteigender Größe angeordnet. Daraus ist die Anzahl der Stunden nach Größe der Last ersichtlich. Die Spitzenlasten treten lediglich für wenige Stunden im Jahr auf. Dieses Diagramm hilft bei der Wahl und Dimensionierung der Grund- und Spitzenlast-Erzeuger.



Ergebnisse der thermischen Simulationen

Stromlasten (Nutzenergie)

Auch die stündlichen Stromlasten ergeben sich aus den thermischen Simulationen, und sind ebenso als Jahresverlauf und als Jahresdauerlinie dargestellt. Leicht zu erkennen ist die Maximalstromlast von 2400 kW, eine flächenspezifische Last von 8.1 W/m² (Fläche 295.674 m² inklusive aller Nutzungen).

Im Gegensatz zu den Heiz- und Kühllasten sind die Stromlasten über das Jahr relativ konstant und nicht von den Jahreszeiten abhängig. Ausgenommen von diesem Muster ist der Strombedarf für Kunstlicht, der im Sommer naturgemäß geringer ist als im Winter.

Der Strombedarf für eine Wärmeerzeugung über Wärmepumpen und für eine Kälteerzeugung über Kältemaschinen oder reversible Wärmepumpen ist in dieser Ermittlung noch nicht mit angenommen, da dieser von der Auswahl des Wärme-/Kälteversorgungskonzeptes abhängt.

Kürzel

Q_tot_el - Gesamtstromlast

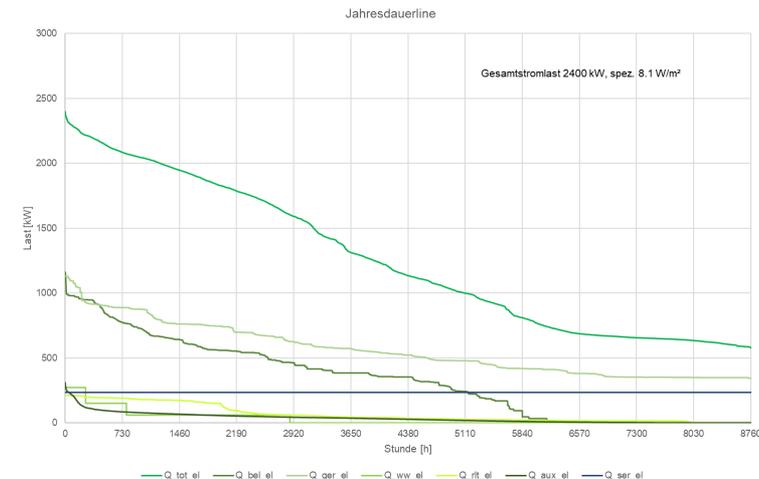
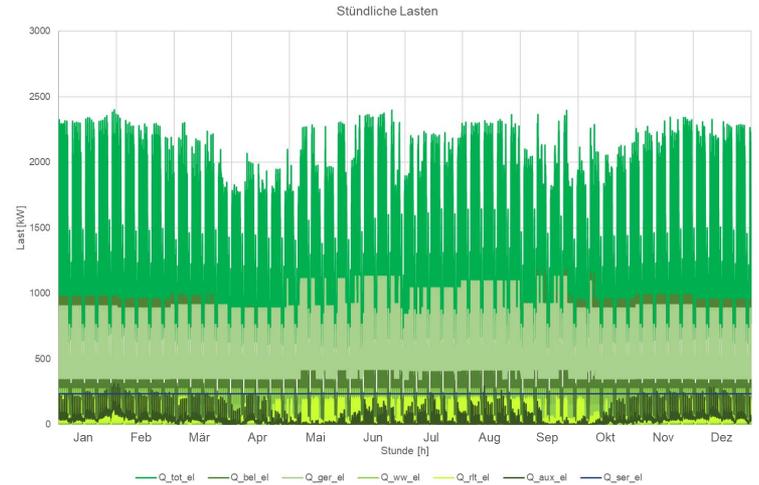
Q_aux_el – Strom für Pumpenergie

Q_rit_el – Strom für Ventilatorenergie (Raumluftechnik)

Q_ger_el – Nutzerstrom (Rechner, Fernseher, Herd, usw.)

Q_ser_el – Strom für Server

Q_ww_el - Warmwasserbereitung



Ergebnisse der thermischen Simulationen

Jährlicher Nutzenergiebedarf

Der jährliche Gesamtnutzenergiebedarf und der daraus abgeleitete flächenspezifische Nutzenergiebedarf sind anhand der stündlichen Lasten gerechnet und werden für Heizung, Kühlung und Strom aufgeteilt und gezeigt. Als Nutzenergie bezeichnet man die Energie, wie sie vom Endbenutzer direkt benötigt wird (Raumwärme, Raumkälte, Strom), also unabhängig vom Erzeugungskonzept und Energieträger. Die Nutzenergie muss durch entsprechende Anlagentechnik und Wärme-/Kälteübertrager im Raum bereitgestellt werden.

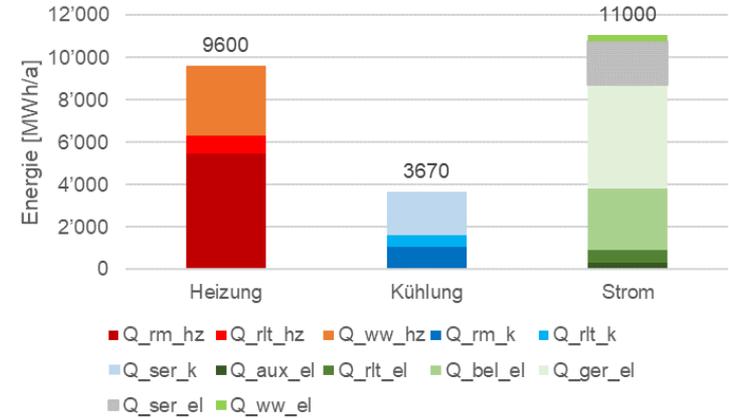
Sofort zu erkennen ist der geringe Kühlenergiebedarf, welcher typisch ist für ein gemischt genutztes Areal, in dem nur in bestimmten Bereichen aktiv gekühlt wird. Ebenso sichtbar wird der relativ hohe Strombedarf, der hauptsächlich vom Gerätestrom der Nutzer*Innen dominiert wird.

Ein spezifischer Heizenergiebedarf von 32 kWh/m²/a entspricht in etwa dem EH/EG 40 Niveau. Etwa 57% des Wärmebedarfs entfällt auf die Raumheizung, 35% auf die Warmwasserbereitung. Der Wärmebedarf für die raumluftechnischen Anlagen sind relativ gering, da eine zeitgemäße Technik mit hohen Wärmerückgewinnungsgraden angenommen wurde. Fast 50% des Gesamtstrombedarfs ist auf den Nutzerstrom zurückzuführen. Der zweitgrößte Anteil wird für die Beleuchtung benötigt. In den weiteren Betrachtungen wird der Nutzerstrom nicht berücksichtigt, da er von den Mieter*Innen frei bezogen werden kann.

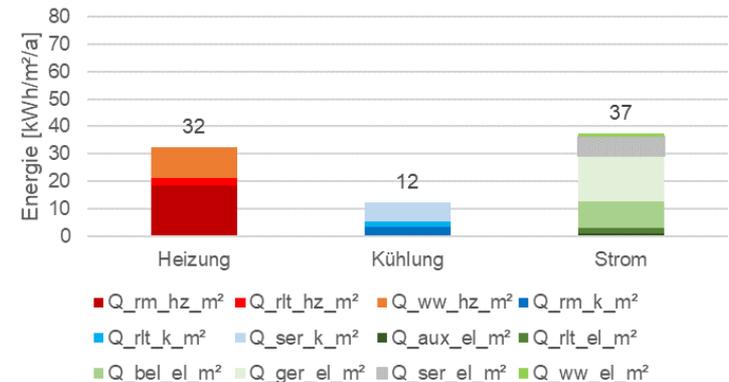
Kürzel	Beschreibung	Kürzel	Beschreibung
Q_rm_hz	Wärme für Raumheizung	Q_aux_el	Pumpenstrom
Q_rit_hz	Wärme für Lufterwärmung	Q_rit_el	Ventilatorstrom (Raumluftechnik)
Q_ww_hz	Trinkwassererwärmung mit Wärmeerzeuger	Q_bel_el	Strom für Beleuchtung
Q_rm_k	Kälte für Raumkühlung	Q_ser_el	Nutzerstrom
Q_rit_k	Kälte für Luftkühlung	Q_ser_el	Serverstrom
Q_ser_k	Kälte für Server	Q_ww_el	Strom zur Trinkwassererwärmung



Jährlicher Gesamtnutzenergiebedarf



Jährlicher spezifischer Nutzenergiebedarf



Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Übersicht

Variante	Heizung	Kälte	TWW
1-Referenz, Wärmeversorgung Stadtwerke München (SWM)	Fernwärme (FW)	Kältemaschine (KM)	Fernwärme
2-Vollversorgung SWM	Fernwärme	Fernkälte (FK)	Fernwärme
3-Referenz, Vollständige Eigenversorgung	Luftwärmepumpe (LWP)	Luftwärmepumpe (LWP)	LWP + Durchlauferhitzer
4-Geothermie + Fernwärme	Grundwasserbrunnen + Wasser-Wasser Wärmepumpe (WW-WP), Fernwärme	Grundwasserbrunnen + WW-WP, Kältemaschine	Fernwärme
5-Geothermie + LWP	Grundwasserbrunnen + WW-WP, LWP	Grundwasserbrunnen + WW-WP, LWP	LWP + Durchlauferhitzer
6-Eisspeicher + Fernwärme	Eisspeicher + WW-WP, Fernwärme	Eisspeicher + WW-WP, Kältemaschine	Fernwärme
7-Eisspeicher + LWP	Eisspeicher + WW-WP, LWP	Eisspeicher + WW-WP, LWP	LWP + Durchlauferhitzer

Es wurden sieben unterschiedliche Kombinationen der Heiz- und Kühlenergieerzeugung hinsichtlich Umweltwirkung (Primärenergie und CO₂-Emissionen) sowie Wirtschaftlichkeit (Energiekosten) untersucht. Varianten 2, 4, 5, 6 und 7 sind von Interesse für das Areal, wohingegen Varianten 1 und 3 als Referenzen dargestellt wurden.

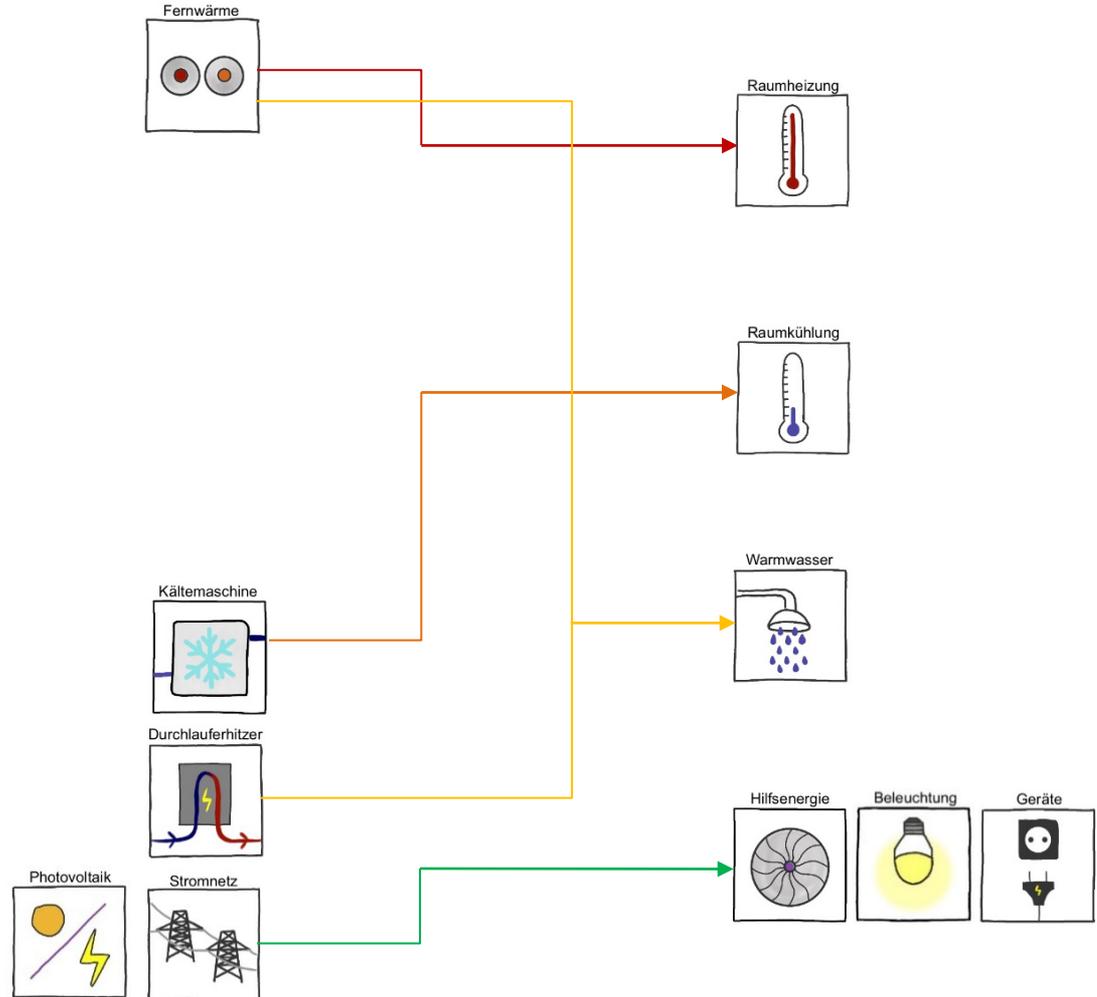
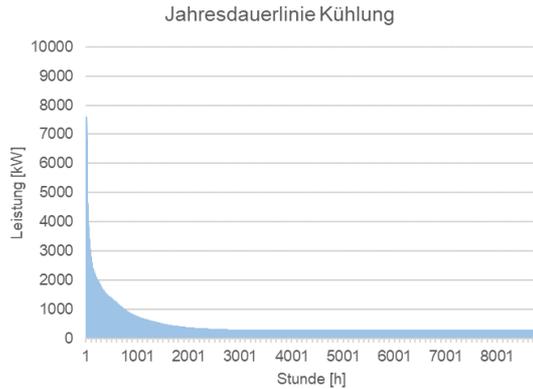
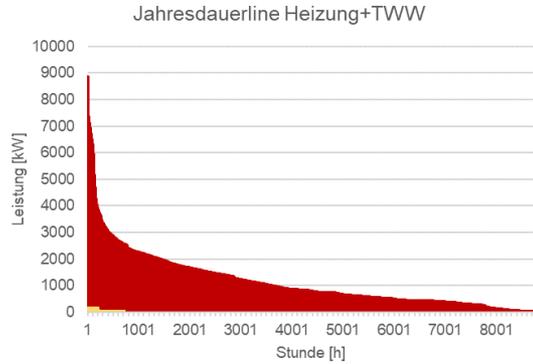
Die Trinkwassererwärmung der Bürofläche erfolgt für alle Varianten über elektrische Durchlauferhitzer.

Als Stromquelle dient für alle Varianten das öffentliche Stromnetz. Eine Photovoltaikanlage ist vorgesehen, wird aber später in diesem Gutachten betrachtet.

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Kurze Beschreibung	Referenzszenario Wärmeversorgung SWM	Vollversorgung SWM	Referenzszenario Vollständige Eigenversorgung mit LWP	Wärme: Geothermie + FW, Kälte: Geothermie + KM	Wärme und Kälte: Geothermie + LWP	Wärme: Eisspeicher + FW, Kälte: Eisspeicher + KM	Wärme und Kälte: Eisspeicher + LWP
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> •Wärmeversorgung rein über Fernwärme, keine Anbindung an die Fernkälte, dafür Standard-Kälteerzeugung über Kältemaschinen mit Rückkühlern auf dem Dach •Variante wird nur als Referenz betrachtet 	<ul style="list-style-type: none"> •Vollversorgung durch Stadtwerke München: Wärmeversorgung rein über Fernwärme, Anbindung an Fernkälte (technische Möglichkeit mit SWM abgestimmt) 	<ul style="list-style-type: none"> •Eigene Wärme- und Kälteversorgung über reversible Luft-Wasser-Wärmepumpen 	<ul style="list-style-type: none"> •Fernwärme für TWW und Spitzenlastheizung •Grundwasserbrunnen und Wasser-Wasser-Wärmepumpen für Wärme und Kälteerzeugung •Zusätzliche Kältemaschinen und Rückkühler reduziert nur für Spitzenlasten 	<ul style="list-style-type: none"> •Reversible Luftwärmepumpe zur TWW, Spitzenlastheizung und Spitzenlastkühlung •Grundwasserbrunnen und Wasser-Wasser-Wärmepumpen für Wärme und Kälteerzeugung 	<ul style="list-style-type: none"> •Fernwärme zur TWW, Spitzenlastheizung •Eisspeicher und Wasser-Wasser-Wärmepumpen für Wärme und Kälteerzeugung •Zusätzliche Kältemaschinen nur für Spitzenlasten 	<ul style="list-style-type: none"> •Reversible Luftwärmepumpe zur TWW, Spitzenlastheizung und Spitzenlastkühlung •Eisspeicher in Kombination mit Wasser-Wasser-Wärmepumpen für Wärme und Kälteerzeugung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> •Reduzierter Platzbedarf für Heiztechnik (nur Anschlussraum für Fernwärme) •Wartungsaufwand gering •Geringe CO2-Emissionen •Technik gut integrierbar 	<ul style="list-style-type: none"> •Reduzierter Platzbedarf für Heiztechnik (nur Anschlussraum für Fernwärme) •Wartungsaufwand gering •Geringe CO2-Emissionen •Technik gut integrierbar 	<ul style="list-style-type: none"> •Preiswerte Lösung 	<ul style="list-style-type: none"> •Größerer Grad Autarkie •Platzbedarf und Wartungsaufwand gering •Energieeffizienz – Grundwassertemperatur im Winter ist höher als Lufttemperatur, passive Kühlung möglich im Sommer 	<ul style="list-style-type: none"> •Eigenversorgung •Energieeffizienz – Grundwassertemperatur im Winter ist höher als Lufttemperatur, passive Kühlung möglich im Sommer 	<ul style="list-style-type: none"> •Größerer Grad Autarkie •Sinnvoller Einsatz der Umweltenergien (z.B. Serverabwärme, Solarthermie) 	<ul style="list-style-type: none"> •Eigenversorgung •Sinnvoller Einsatz der Umweltenergien (z.B. Serverabwärme, Solarthermie)
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> •Abhängigkeit von Fernwärmepreisen •Kühlung mit niedriger Jahresarbeitszahl •Aufheizung Stadtraum •Geräusentwicklung •sichtbare Technik auf dem Dach 	<ul style="list-style-type: none"> •Abhängigkeit von Fernwärmepreisen •Hohe Investitionskosten, da das Fernkältenetz mehr als 3 km vom Grundstück entfernt liegt •Hohe Betriebskosten 	<ul style="list-style-type: none"> •Wärme- und Kälteerzeugung mit niedriger Jahresarbeitszahl, •Aufheizung Stadtraum, •Geräusentwicklung •sichtbare Technik auf dem Dach 	<ul style="list-style-type: none"> •Abhängigkeit von Fernwärmepreisen •Kühlung partiell mit niedriger Jahresarbeitszahl •Partiell Aufheizung Stadtraum •Geräusentwicklung •sichtbare Technik auf dem Dach 	<ul style="list-style-type: none"> •Wärme- und Kälteerzeugung partiell mit niedriger Jahresarbeitszahl •Partiell Aufheizung Stadtraum •Geräusentwicklung •sichtbare Technik auf dem Dach 	<ul style="list-style-type: none"> •Abhängigkeit von Fernwärmepreisen •Großes Volumen (> 6.100 m³) notwendig für Eisspeicher •Eisspeichertechnologie ist weniger geläufig als andere Lösungen •Kühlung mit niedrigerer Jahresarbeitszahl •Partiell Aufheizung Stadtraum •Geräusentwicklung •sichtbare Technik auf dem Dach 	<ul style="list-style-type: none"> •Großes Volumen (> 6.100 m³) notwendig für Eisspeicher •Eisspeichertechnologie ist weniger geläufig als andere Lösungen •Wärme- und Kälteerzeugung mit niedrigerer Jahresarbeitszahl •Partiell Aufheizung Stadtraum •Geräusentwicklung •sichtbare Technik auf dem Dach

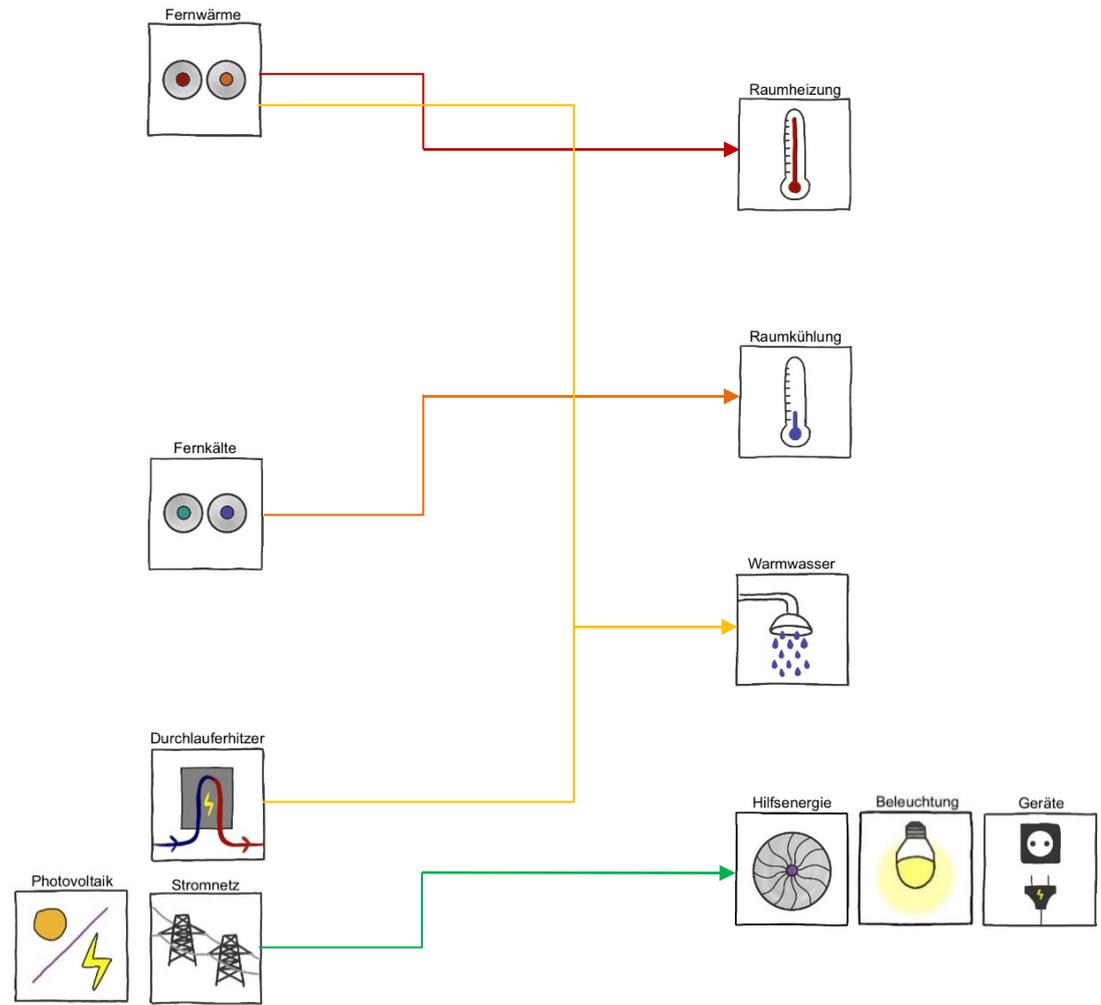
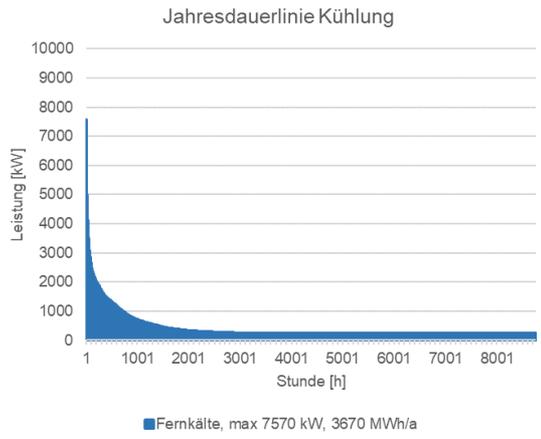
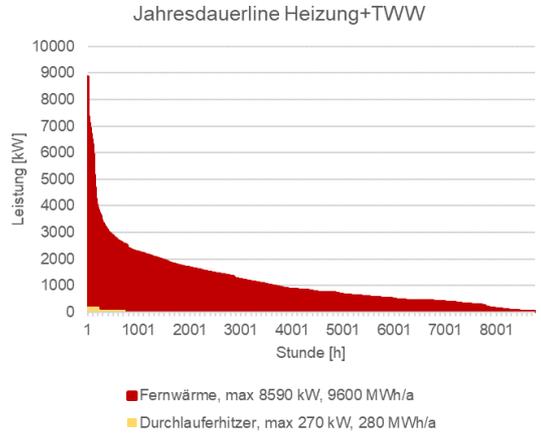
Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Schema - Variante 1 – Referenz, Wärmeversorgung SWM



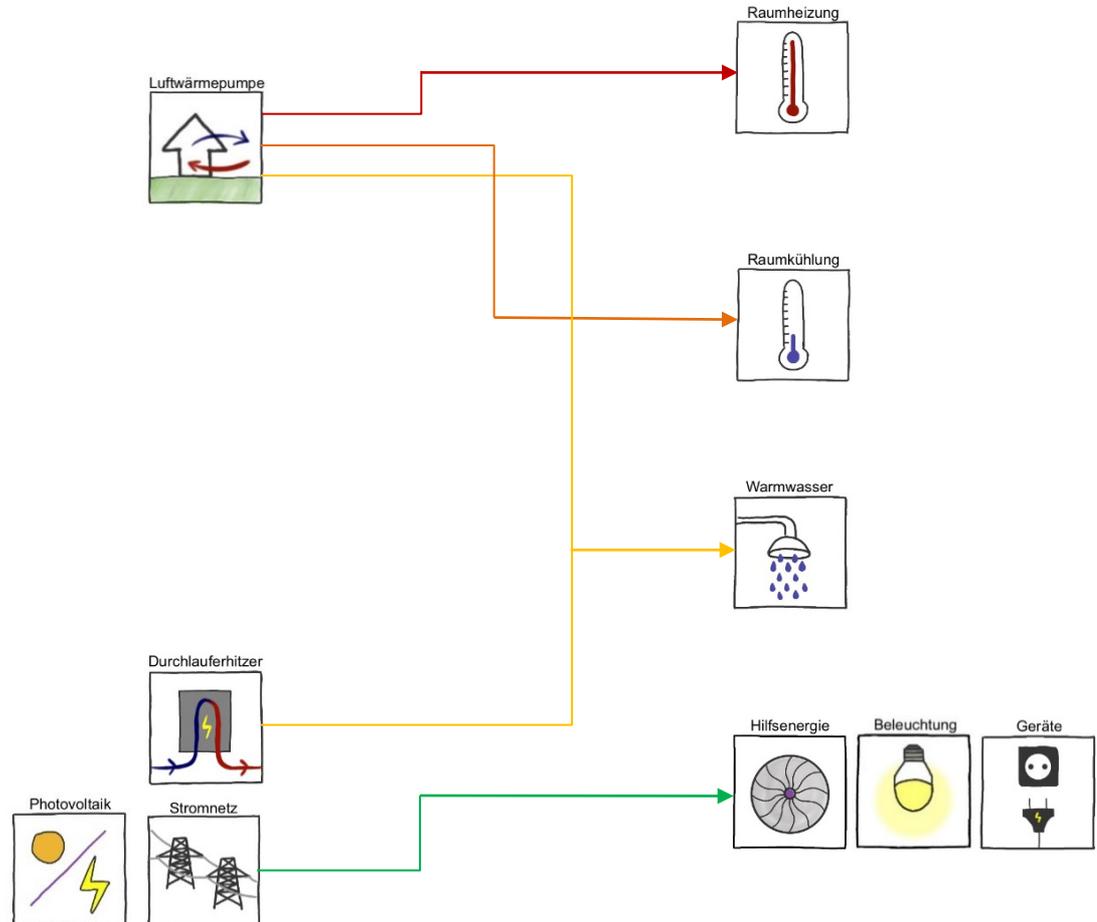
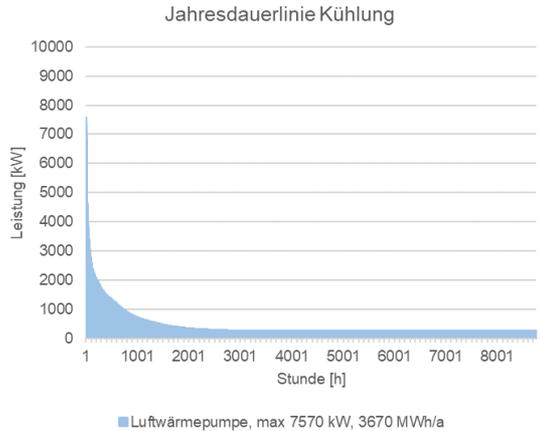
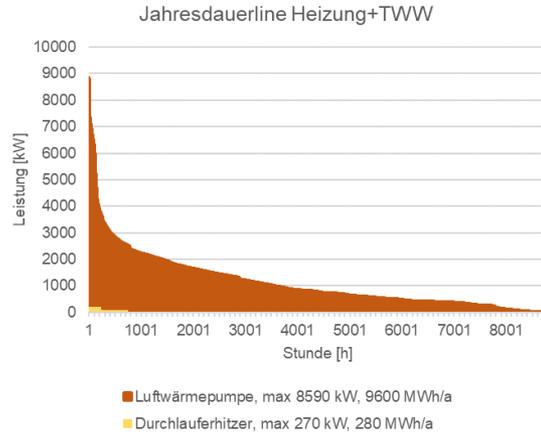
Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Schema - Variante 2 – Vollversorgung SWM



Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

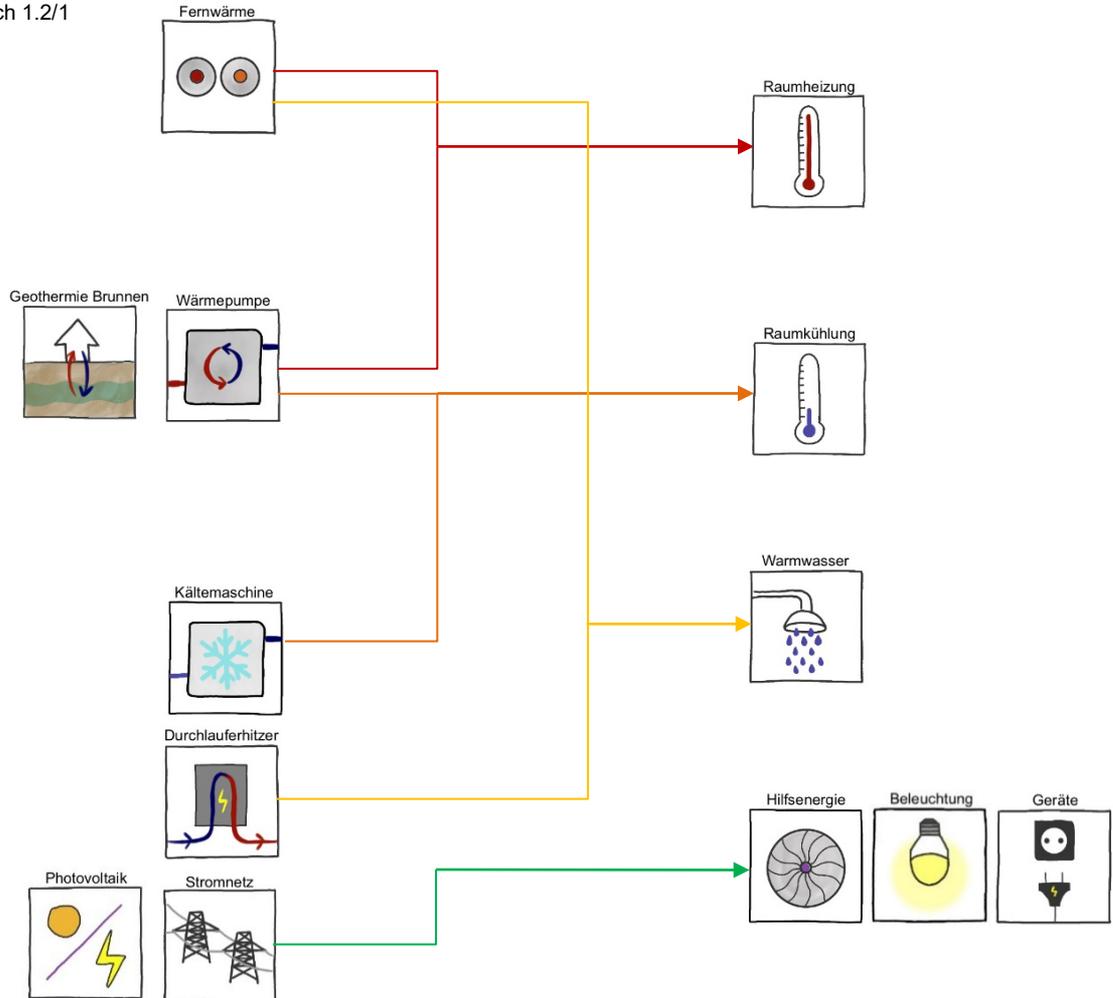
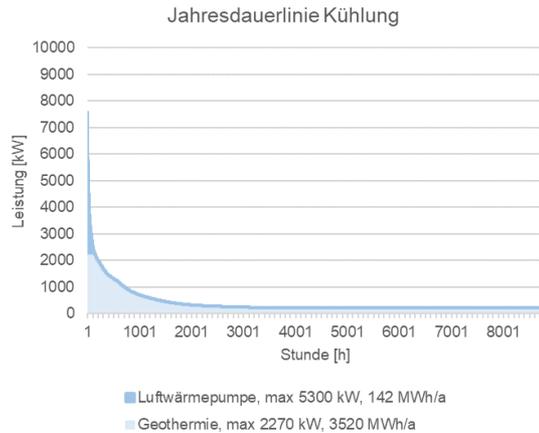
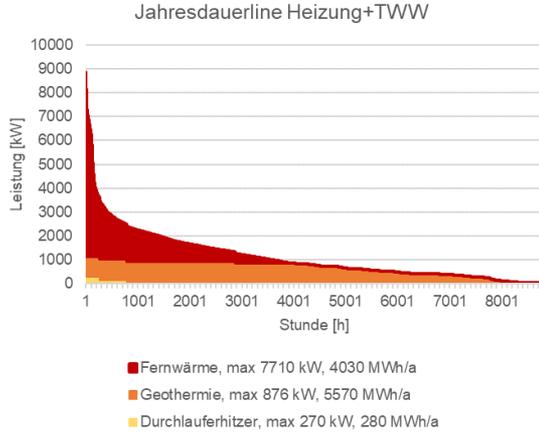
Schema - Variante 3 – Referenz, Vollständige Eigenversorgung



Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Schema - Variante 4 – Wärme: Brunnen + FW, Kälte: Brunnen + KM

*Konservativer Annahme: Wärmeentzug/Wärmezufuhr ins Erdreich 1.2/1

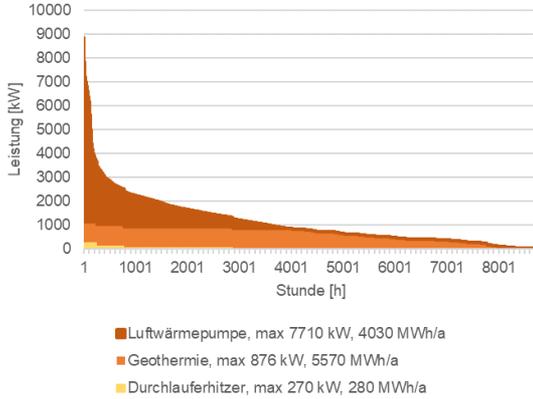


Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

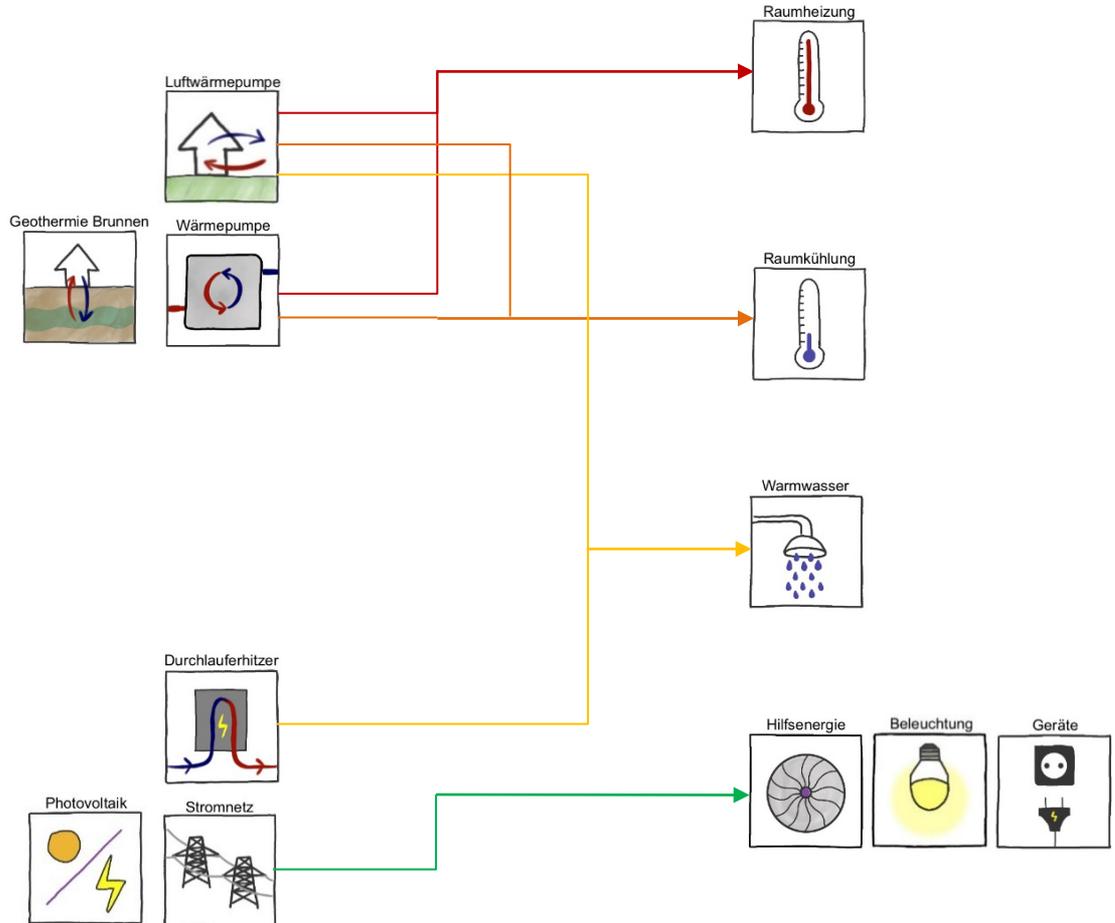
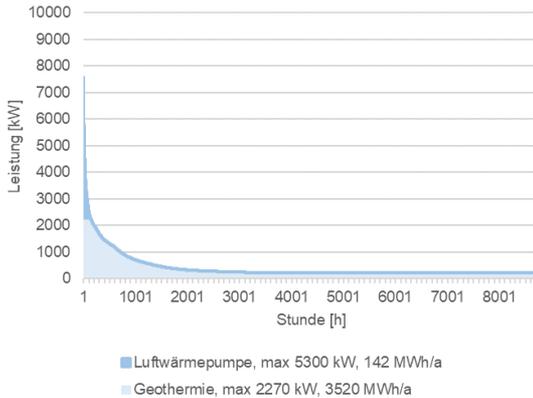
Schema - Variante 5 – Wärme und Kälte: Brunnen + LWP

*Konservativer Annahme: Wärmeentzug/Wärmezufuhr ins Erdreich 1.2/1

Jahresdauerlinie Heizung+TWW

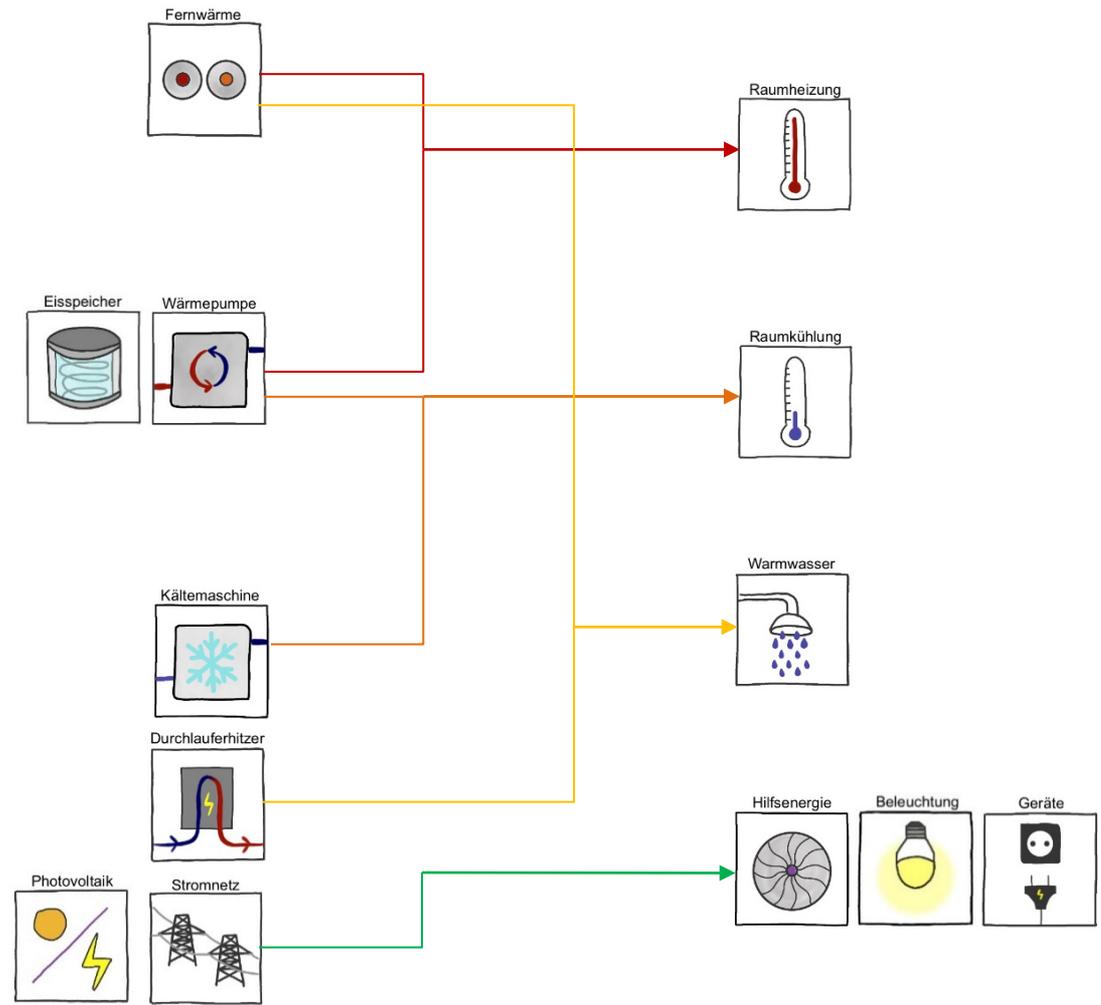
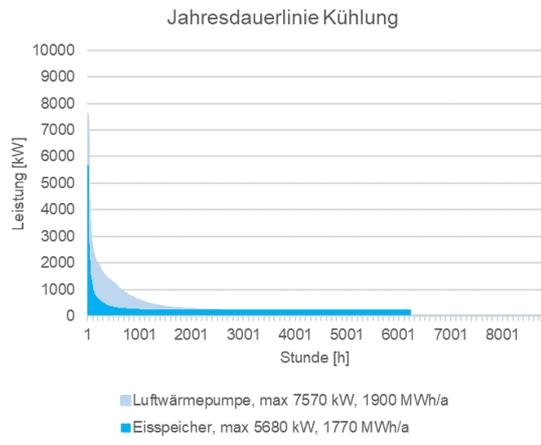
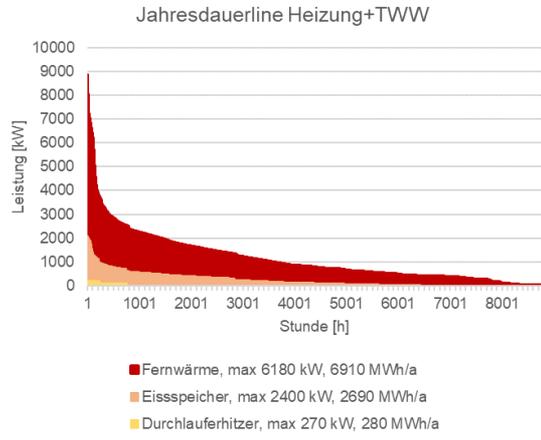


Jahresdauerlinie Kühlung



Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

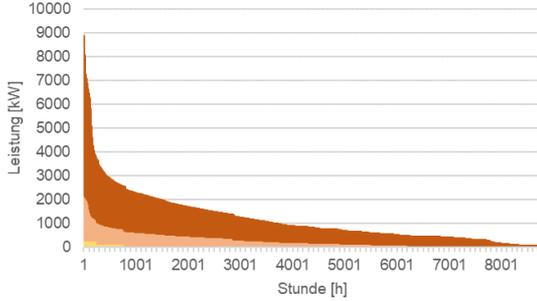
Schema - Variante 6 - Wärme: Eisspeicher + FW, Kälte, Eisspeicher + KM



Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

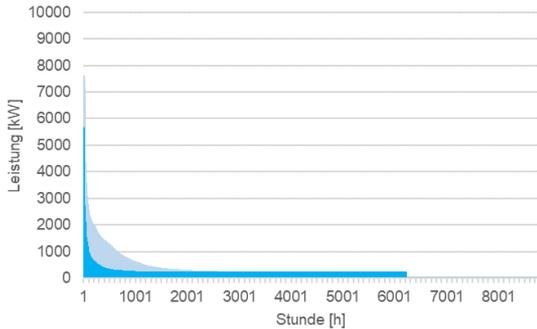
Schema - Variante 7 – Wärme und Kälte: Eisspeicher + LWP

Jahresdauerlinie Heizung+TWW

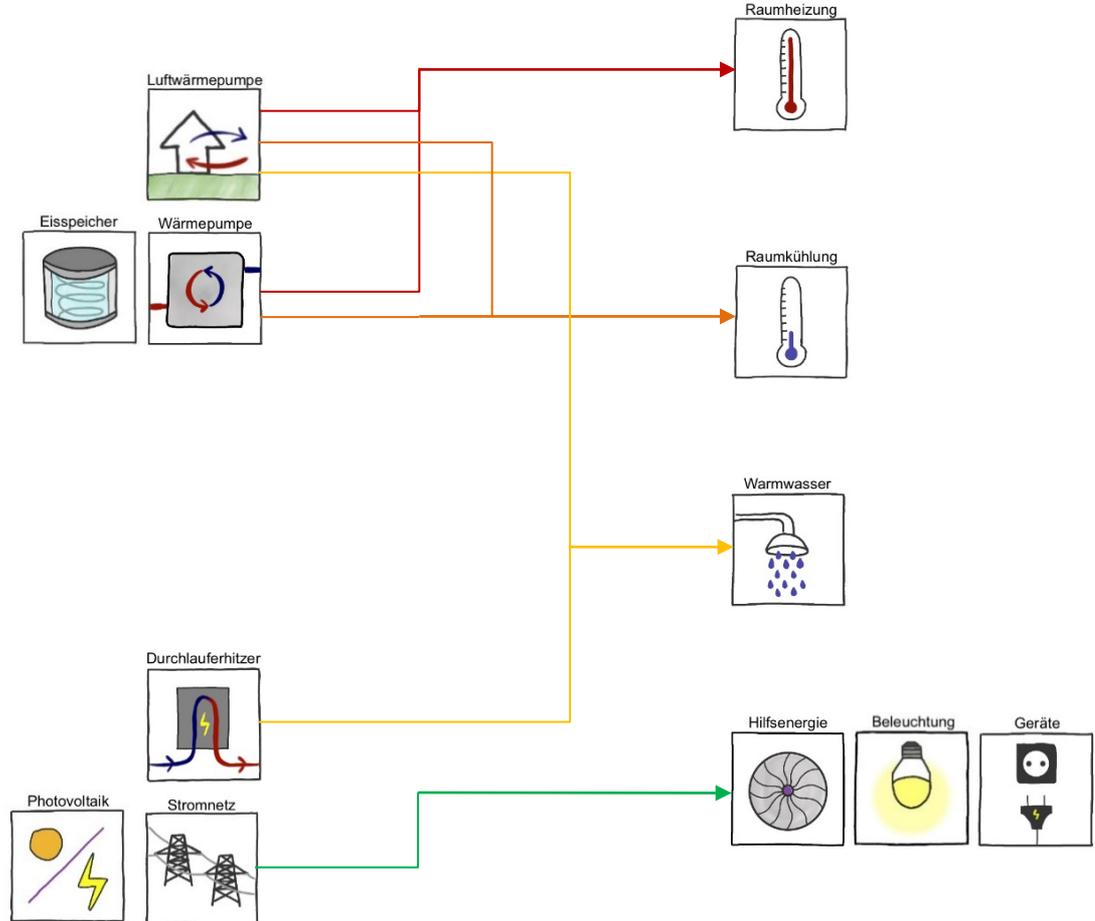


- Luftwärmepumpe, max 6180 kW, 6910 MWh/a
- Eisspeicher, max 2400 kW, 2690 MWh/a
- Durchlauferhitzer, max 270 kW, 280 MWh/a

Jahresdauerlinie Kühlung



- Luftwärmepumpe, max 7570 kW, 1900 MWh/a
- Eisspeicher, max 5680 kW, 1770 MWh/a



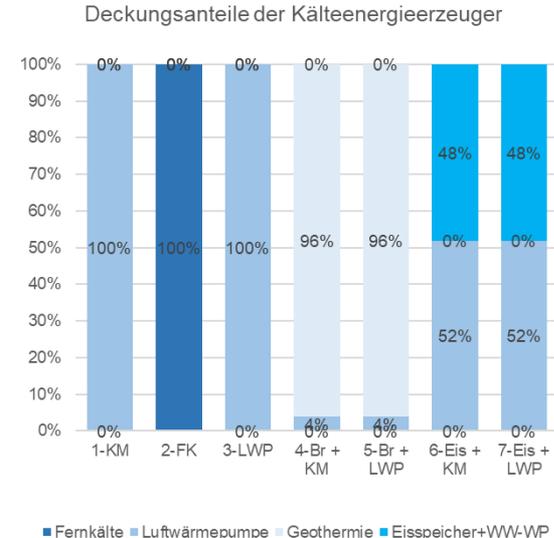
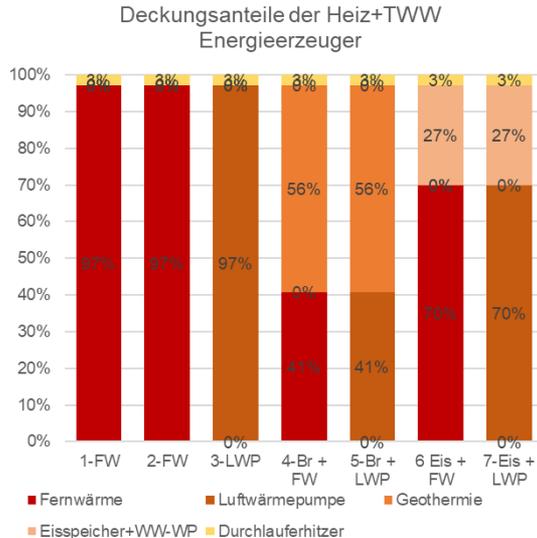
Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Deckungsanteile

Für jede Variante sind die Deckungsanteile (auf Basis der in der Simulation ermittelten Nutzenergie) der entsprechenden Energieerzeuger aufgeschlüsselt.

Wie auf den vorherigen Seiten beschrieben, sind Varianten 1 und 2 nahezu vollständig monoenergetisch (mit einem Energieerzeuger) im Heiz- und im Kühlfall, nur ein Anteil der Trinkwassererwärmung (für die Büros) wird über die elektrischen Durchlauferhitzer gedeckt. Der mögliche Energieertrag von Grundwasserbrunnen wurde auf Basis der stündlichen Lasten abgeschätzt, mit dem Ziel, den Gesamtkühlbedarf größtenteils darüber zu decken. Das bedeutet im Gegenzug, dass etwa 56% des Heizenergiebedarfs über die Geothermie gedeckt werden kann, bei ausgeglichener Wärmeentnahme und -abgabe an das Grundwasser.

Bei den Varianten mit dem Eisspeicher wurde auch eine Analyse der Stundenwerte vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen, dass 27% des Heizenergiebedarfs und 48% des Kühlenergiebedarfs durch den Speicher gedeckt werden könnten. Mehr Details zur ersten Abschätzung einer Wärme- Kälteversorgung über Eisspeicher sind im Anhang erhalten.

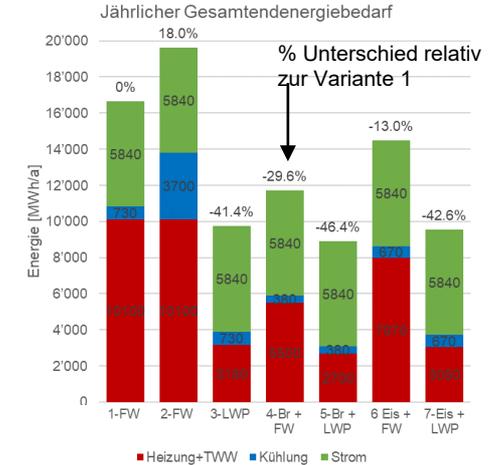


Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Bewertung des Endenergiebedarfs



Zweck	EErzeuger	Wirkungsgrad
Heizung	Fernwärme	0.98
Heizung	LWP	3.5
Heizung	Brunnen+WWWP	5
Heizung	Eisspeicher+WWWP	4.2
Kälte	Fernkälte	0.98
Kälte	Kältemaschine	5
Kälte	LWP	5
Kälte	Brunnen+WWWP	10
Kälte	Eisspeicher+WWWP	6
Trinkwasserer	Fernwärme	0.98
Trinkwasserer	LWP	3
Trinkwasserer	Durchlauferhitzer	1



Der Energieverbrauch der verschiedenen Varianten wird auf der Basis der zuvor aufgezeigten Simulationsergebnisse untersucht. Der Primärenergiebedarf und die Energiekosten können anhand von diesen Verbräuchen ermittelt werden und sind auf der nachfolgenden Seite abgebildet. Nutzerstrom wird bei dieser Analyse nicht betrachtet, da dieser von den Mieter*Innen frei gewählt werden kann und hierüber ortsunabhängig die Möglichkeit besteht die Umweltwirkung durch Bezug von Ökostrom zu reduzieren.

Um den Endenergiebedarf zu ermitteln, werden die Stundenwerten aus den Simulationen zusammengerechnet und mit dem entsprechenden Wirkungsgrad multipliziert, sowie Verteilungs- und Speicherverluste ergänzt. Die Wirkungsgrade verschiedener Anlagentechnik sind von Erfahrungswerten aus anderen Projekten abgeleitet.

In der Gegenüberstellung des Endenergiebedarfes der verschiedenen Varianten ist der Strombedarf für alle Varianten gleich, Var 2 mit Fernkälte hat einen vergleichsweise hohen Kühlenergiebedarf, weil die Anlagen selber außerhalb der Systemgrenze (d.h. Gebäudekante) liegen, und die gesamte Menge der Energie ohne lokale Einbindung von Umweltenergie zur Verfügung gestellt werden muss.

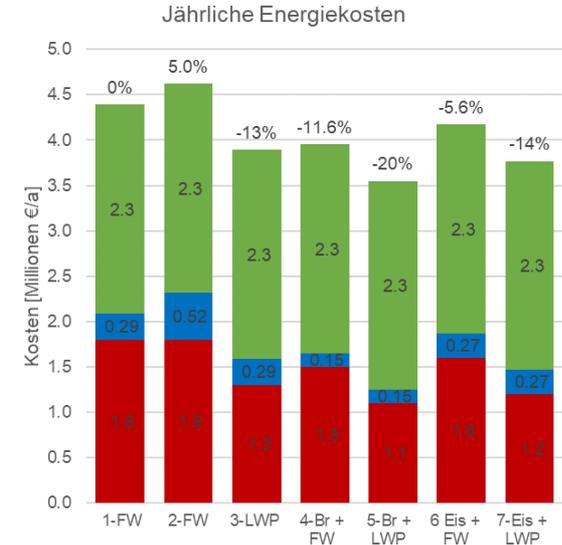
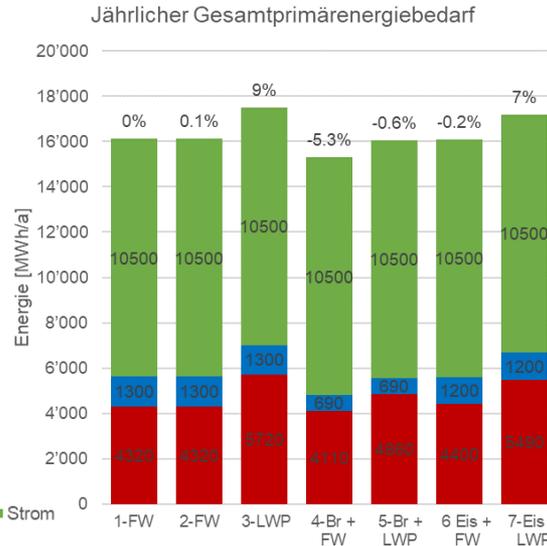
In den Varianten mit Wärmepumpen reduziert sich dementsprechend der Bezug von Wärme- und Kälteenergie abhängig vom Potential der Umweltenergiequelle und der daraus resultierenden Arbeitszahlen der Wärmepumpen.

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Bewertung des Primärenergiebedarfs und der Energiekosten



	Primärenergiefaktor	Energiekosten
		€/kWh
Strom	1.8	0.4
Fernwärme	0.39	0.1381
Fernkälte	0.36	0.4763
		€/kW
Fernwärme		43.57
Fernkälte		144.19



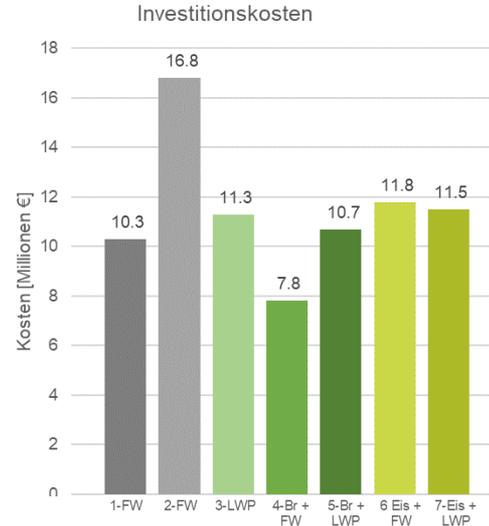
Aus dem Gesamtendenergiebedarf werden der Gesamtprimärenergiebedarf und die Energiekosten ermittelt. Die Primärenergie ist die Energie, die aus natürlichen Quellen entnommen wird. Wenn z.B. zur Stromerzeugung fossile Energieträger in Kraftwerken verbrannt werden, wird mehr fossile Energie benötigt als der Endverbraucher im Haus verwendet. Dies ist auf Wirkungsgrade und auf Speicher- und Verteilungsverluste bei der Energieerzeugung sowie dem Transport zurückzuführen.

Gleichzeitig werden bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Gas, Kohle) Treibhausgasemissionen ausgestoßen. Deshalb werden Primärenergie und CO₂-Emissionen als wichtige Größe zur Bewertung der Varianten herangezogen.

Die Energiekosten bestehen aus dem Arbeitspreis und bei der Fernwärme und Fernkälte, dem leistungsabhängigen Grundpreis. Die momentane Preisbremse für Strom wird als Arbeitspreis angesetzt. Daten für die Fernwärme und Fernkälte wurden von der SWM übernommen. Die Grafik des Primärenergiebedarfs zeigt, dass die V3 mit Luftwärmepumpen aufgrund des hohen Primärfaktors von Strom und den niedrigen Leistungszahlen ungünstig ist, während die Geothermienutzung mit deutlich höherem Anteil an Umweltenergie sehr vorteilhaft ist. Bei den Energiekosten schneidet die V2 - Vollversorgung ungünstig, die Kombination Brunnenanlage und Luftwärmepumpen (V5) dagegen besonders günstig ab.

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Analyse der Investitionskosten



Die Investitionskosten der Hauptkomponenten der verschiedenen Varianten wurden ermittelt, um einen groben Vergleich zu erstellen. Komponente, die bei jeder Variante gleichermaßen benötigt werden sind, z.B. Verteilungsnetze, Pumpe, wurden außen vor gelassen. Die Anschlusspreise für Fernwärme und Fernkälte wurden in Abstimmung mit den Stadtwerken München SWM ermittelt. Andere Investitionskosten sind Erfahrungswerte aus vergleichbaren Projekten und adäquat für eine Bewertung in diesem Planungsstadium. Die Variante 2 (Fernwärme und Fernkälte) ist die preislich teuerste Option, aufgrund der Kombination zwischen der relativ geringen Leistung und der großen Entfernung des Fernkältenetzes vom PPA. In Abstimmung mit den SWM werden in der weiteren Bearbeitung wirtschaftlich attraktivere Alternativen zur Fernkälte untersucht. Ebenso sind die Energiekosten der Variante 2 auch die höchsten. Die Variante 4 (Brunnen + FW) hat die günstigsten Investitionskosten (7.8 Millionen) und zweit-günstigen Energiekosten, deshalb wird die Variante 4 favorisiert. Detailliert Kostendaten sind im Anhang zu finden.

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

CO₂ Emissionsfaktoren



Energieträger	Kommentare	CO ₂ Ausstoß [kg eCO ₂ /kWh]						
		2023	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Strom	Quelle: FG Klimaneutral München 2035 und Daten des UBA	0.418	0.354	0.243	0.129	0.035	0.017	0
Fernwärme (1), Territorialmix	Quelle: FG Klimaneutral München 2035 und Daten des UBA	0.200	0.175	0.126	0.049	0.033	0.026	0.023
Fernwärme (2), SWM-Werte	SWM-Werte, Prognose extrapoliert von Fernwärme Daten des FG Klimaneutral München 2035 und Daten des UBA	0.066	0.058	0.042	0.016	0.011	0.0086	0.0076
Fernkälte	SWM-Werte, Prognose extrapoliert von Fernwärme Daten des FG Klimaneutral München 2035 und Daten des UBA	0.098	0.086	0.062	0.024	0.016	0.013	0.011

Um die Umweltwirkung der Wärme- und Kälteversorgung in der Zukunft prognostizieren zu können, werden spezifische CO₂-Emissionsdaten der Stadt München und des Bundes herangezogen. Die Prognose der CO₂-Emissionen erfolgt von 2023 bis 2050 in 5-jährigen Schritten.

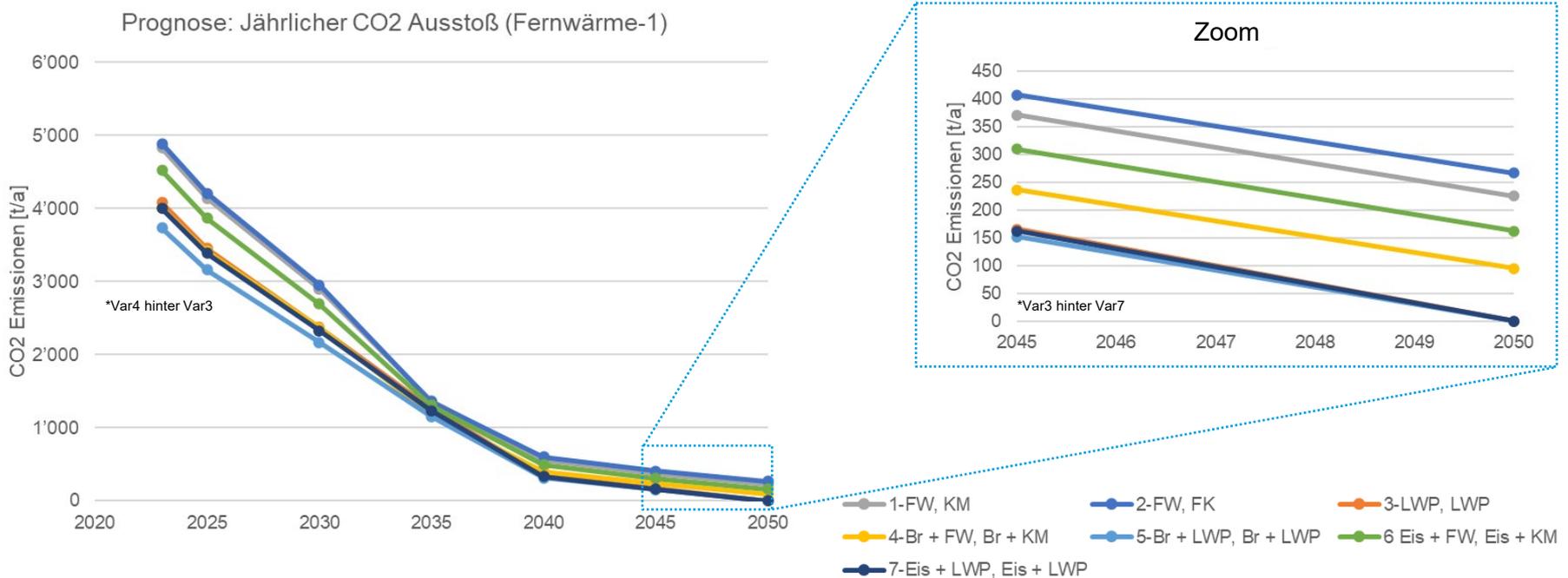
Die Berechnungen erfolgen ohne Berücksichtigung des Nutzerstromes, sowie ohne Betrachtung des selbst erzeugten Stromes über die lokalen Photovoltaikanlagen.

Es werden zwei unterschiedliche Szenarien für den zukünftigen Verlauf der CO₂-Emissionen der Fernwärme untersucht:

Für Strom und Fernwärme (1) wurden Daten vom RKU angewendet, die 2023 Werte für Fernwärme (2) und Fernkälte wurden von den Stadtwerke München verwendet. Da keine Zukunftsprognosen für die Fernkälte verfügbar waren, wurde mit dem RKU vereinbart, dass die prognostizierten Werte den gleichen Dekarbonisierungspfad wie die Fernwärme verfolgen (1).

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Berechnungsmethode 1 – Fernwärme (1) Territorialmix

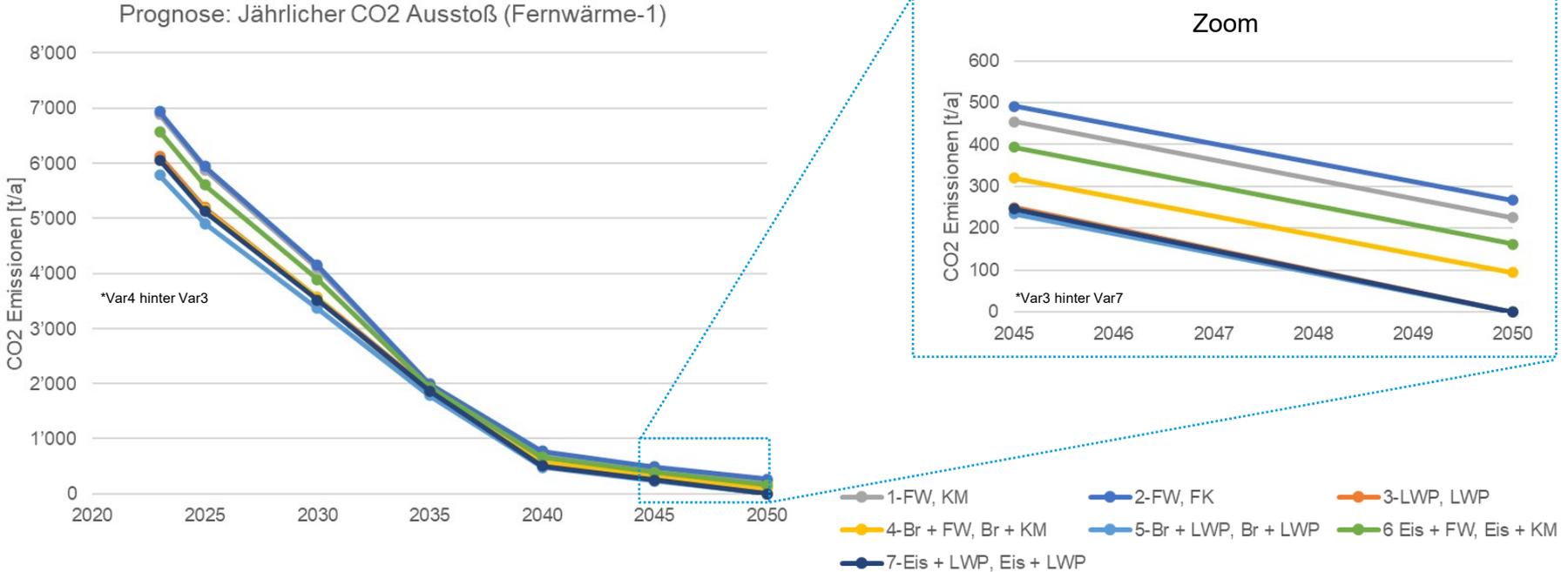


Die Grafik zeigt den Verlauf der aufgrund der Dekarbonisierung der Energieversorgung sinkenden Emissionen als Prognose bis in das Jahr 2050, entsprechend der Klimaschutzziele des Bundes und der Klimaschutzstrategie der Stadt München. Von einem Maximalwert heute mit 4900 t/a CO₂-Emissionen (V2), sinken die Emissionen jedes Jahr entsprechen der Zielwerte ab.

Nur die Varianten mit Anteilen an Fernwärme im Versorgungsmix haben zum Ende des Betrachtungszeitraumes einen CO₂-Fußabdruck von max. 270 t/a, Varianten die nur Strom als Energieträger einsetzen, weisen entsprechend der Vorgabe 0 t/a CO₂ Ausstoß auf.

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

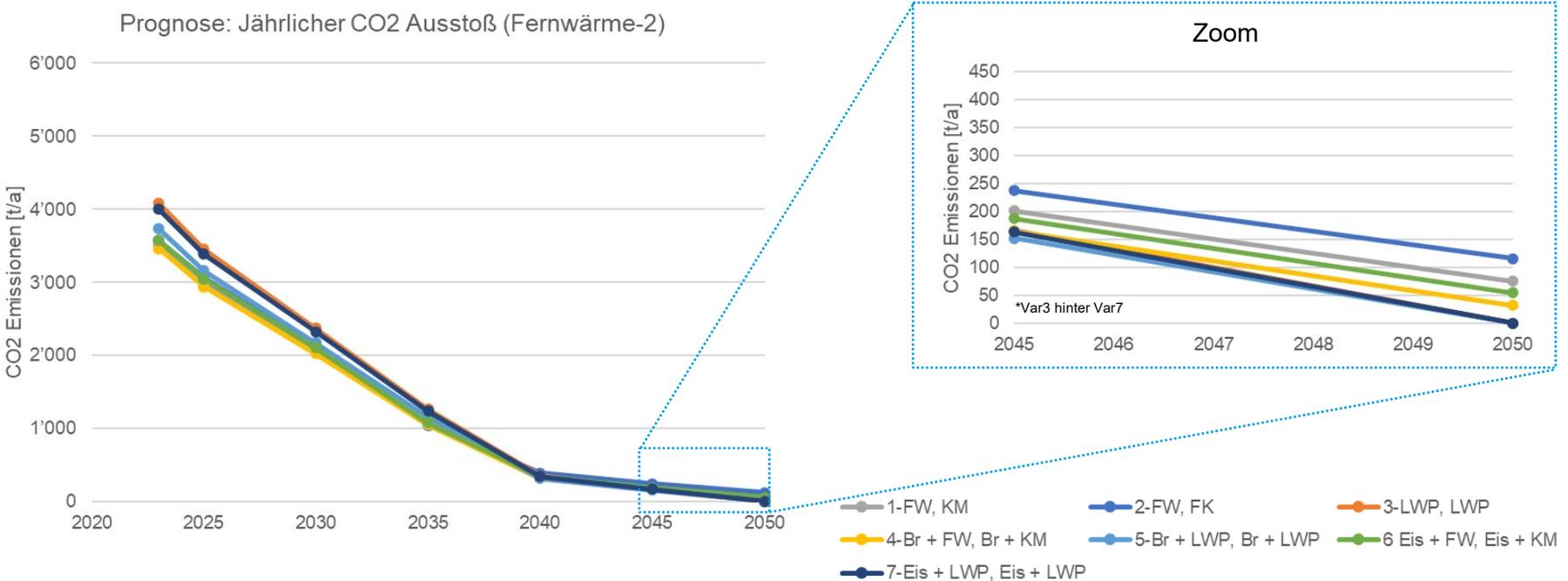
Berechnungsmethode 1 – Fernwärme (1) Territorialmix / **mit Nutzerstrom**



Mit Nutzerstrom (4923 MWh/a Nutzerenergie, 2057 t CO₂/a in 2023) sind die Verläufe ähnlich in Form, nur die Gesamtmenge der Emissionen ist größer geworden.

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Berechnungsmethode 2 – Fernwärme (2) Stadtwerke München



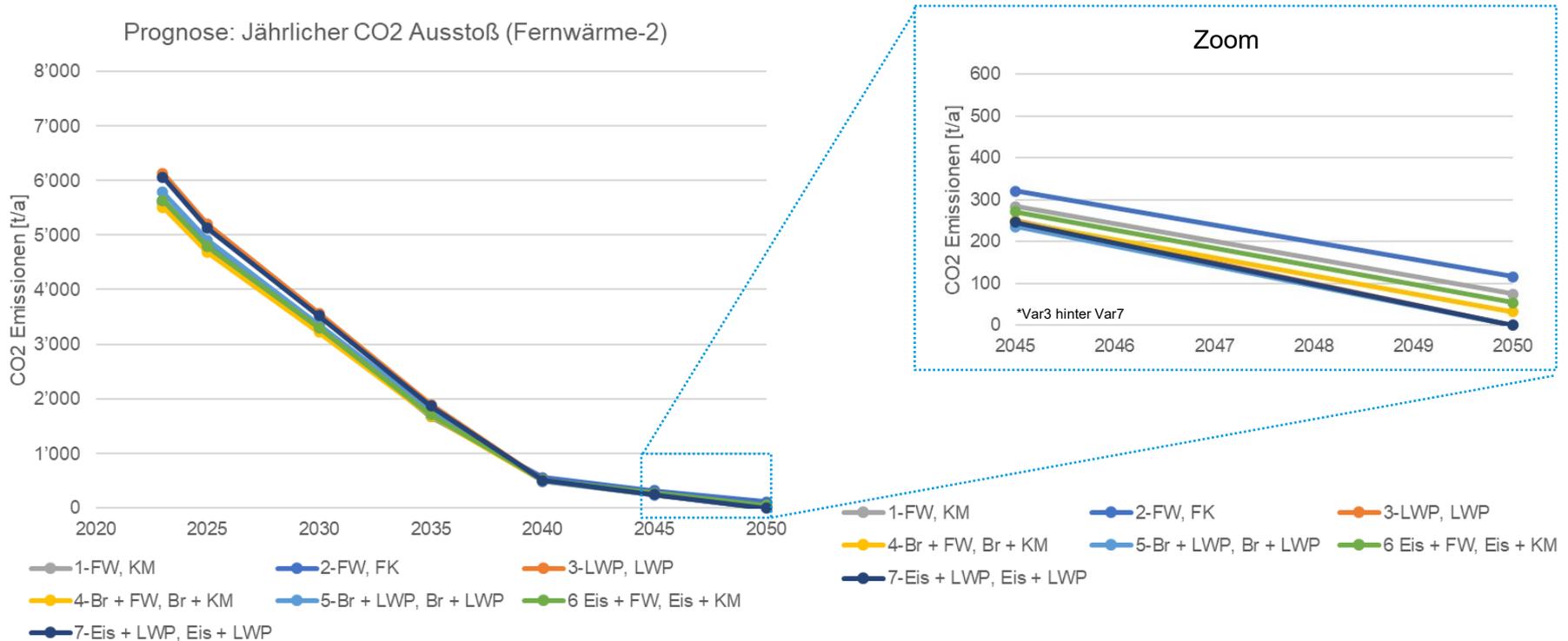
In der zweiten Betrachtung werden die CO₂-Emissionen entsprechend der Angaben der Stadtwerke München bewertet. Der CO₂ Ausstoß bei den Varianten mit Fernwärme (V1, 2, 4 und 6), ist aufgrund der niedrigeren spezifischen Emissionen im Jahr 2023 um ~1.000 t/a geringer bewertet als in der Berechnungsmethode 1.

Die Varianten 3, 5, 7 verwenden keine Fernwärme und sind deshalb gleich wie in der vorherigen Betrachtung.

Im Jahr 2050 verbleibt ebenso nur bei den Varianten mit Fernwärme im Versorgungsmix ein CO₂-Fußabdruck von max. 120 t/a, Varianten, die nur Strom als Energieträger benutzen, haben ebenso einen CO₂-Ausstoß von 0 t/a CO₂ Ausstoß.

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Berechnungsmethode 2 – Fernwärme (2) Stadtwerke München / **mit Nutzerstrom**



Mit Nutzerstrom (4923 MWh/a Nutzerenergie, 2057 t CO2/a in 2023) sind die Verläufe ähnlich in Form, nur die Gesamtmenge der Emissionen ist größer geworden.

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Anmerkungen zu den Energieerzeugern



Die nachfolgenden Informationen dienen zur Beschreibung der projekt-spezifischen Details der einzelnen Energieerzeuger:

Fernwärme

- Die Anbindung zum Fernwärmenetz der Stadtwerke München ist ohne großen Aufwand möglich, die Fernwärmeleitung liegt in direkter Nähe zum Grundstück.

Fernkälte

- Die Anbindung zu Fernkälte ist grundsätzlich möglich, allerdings beträgt die Entfernung vom vorhandenen Kältenetz ca. 3 km, daher ist dies nur sinnvoll und wirtschaftlich bei entsprechenden Lasten und Energiemengen.
- Diesbezüglich gab es in der Bearbeitungsphase bereits einen Austausch zwischen dem Planungsteam und den Stadtwerken.
- Daten zu den Investitions- und Energiekosten, sowie Umweltindikatoren (Primärenergie, CO₂-Emissionen) haben die Stadtwerke zur Verfügung gestellt.

Luftwärmepumpe/Kältemaschine

- Außeneinheiten und Rückkühlwerke müssen im Freien platziert werden.
- Eine reversible Luftwärmepumpe im Kühlfall und eine Kältemaschine sind bezüglich ihrer Funktion grundsätzlich gleich, deshalb sind die Begriffe untereinander austauschbar.

Eisspeicher

- Ein großes Speichervolumen (3140 m³) wäre für dieses Areal erforderlich.
- Diese erste Vordimensionierung berücksichtigt nur die simulierten Gebäudelasten und keine weiteren Wärmequellen/-abnehmer, welche den Nutzungsgrad erhöhen würden. Optimierungen wären möglich durch eine Regeneration über Gebäudeabwärme, Serverabwärme, Solarthermie oder hybride Photovoltaisch-thermische (PVT) Kollektoren, u.a.

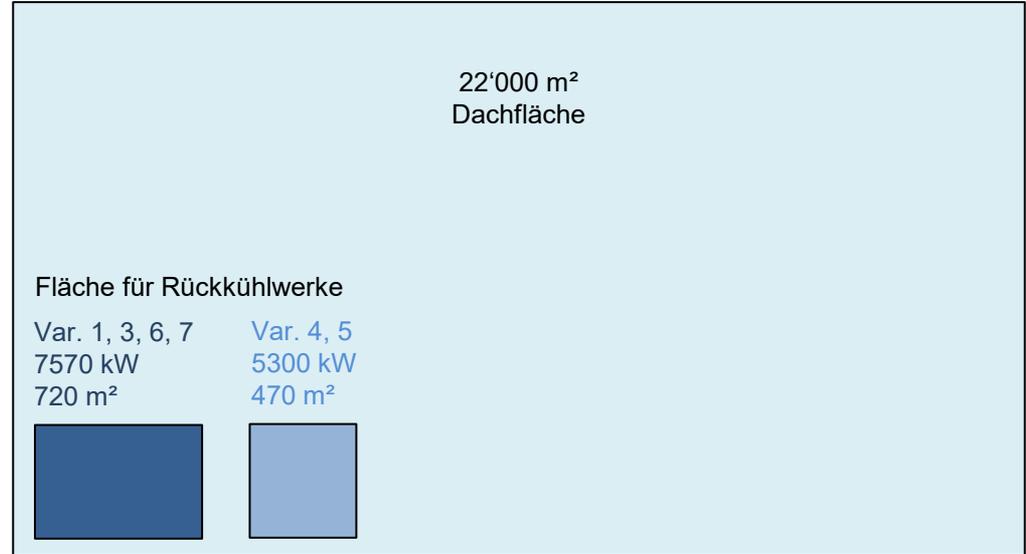
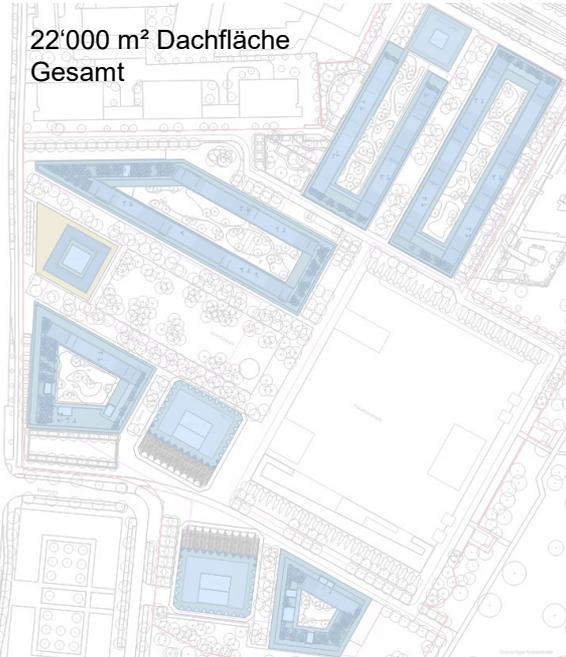
Geothermie

- Informationen in den nachfolgenden Seiten.

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Anmerkungen zu den Energieerzeugern

Größe der Rückkühlwerke / Außeneinheiten der Luftwärmepumpe



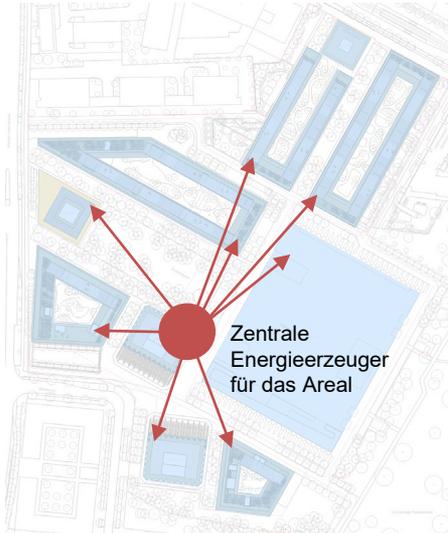
Quelle: Plan © Vogt

- Fläche für trockene Rückkühlwerke für volle Kühllast 7570 kW - Variante 1, 3, 6, 7
- Auch bei den Varianten mit einer Geothermienutzung muss die Spitzenlast der Kälteerzeugung über Luftwärmepumpen/ Kältemaschinen und deren Rückkühlwerke gedeckt werden.
- Inklusive Fläche für Wartung 720 m² und 470 m² (d.h. Aufstellfläche der Geräte liegt bei ca. ~50%, entsprechend 360 m² oder 235 m²)
- Höhe der Anlagen ~1.4 m

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

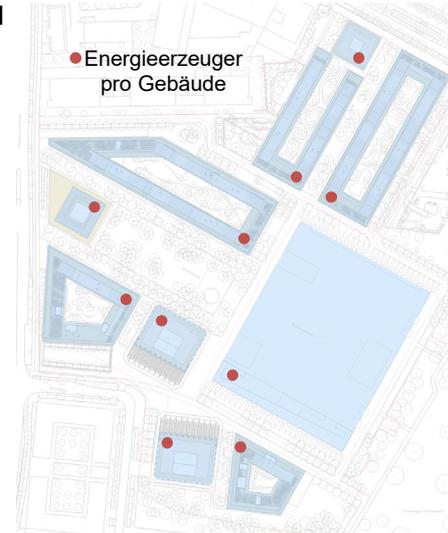
Zentrale vs. Dezentrale Versorgungsstrategie - Allgemein

Zentral

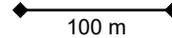


Quelle: Plan © Vogt

Dezentral



Quelle: Plan © Vogt



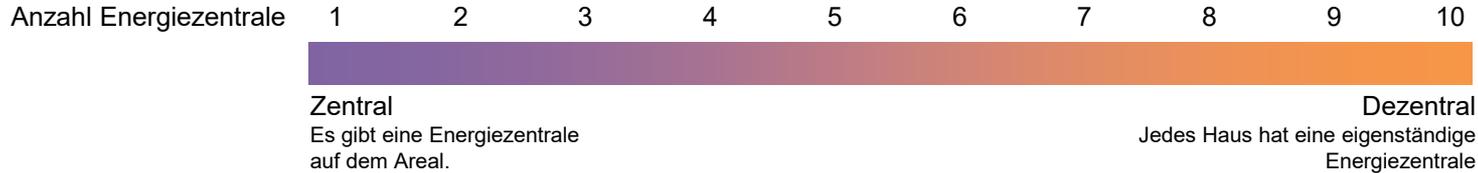
Das Paketpostareal kann sowohl mit einer zentralen als auch mit einer dezentralen Energie-Infrastruktur versorgt werden. Die Wahl der Versorgungsart hängt von verschiedenen Parametern ab, die voraussichtlich erst in der weiteren Projektentwicklung entschieden werden können.

Eine zentrale Versorgungsstrategie kann besser von einem externen Betreiber (z.B. Contracting Modell mit den Stadtwerken SWM) durchgeführt werden und weist eine hohe Geräteeffizienz sowie einfachere Wartungsmöglichkeiten auf. Durch die Verteilung über das Areal entstehen jedoch gleichzeitig höhere Verteilungsverluste. Diese Strategie ergibt insbesondere Sinn, wenn eine gleichzeitige Entwicklung der verschiedenen Baufelder vorgesehen ist und die vollständigen Heiz- und Kühlleistungen zeitnah benötigt werden.

Dezentrale Versorgungsstrategien ermöglichen eine zeitlich unabhängige Entwicklung der einzelnen Baufelder und sind vorteilhaft, wenn verschiedene Besitzer oder Betreiber vorgesehen sind. Verteilungsverluste sind geringer, jedoch müssen die Erzeuger größer dimensioniert werden, da zwischen den einzelnen Gebäuden kein Lastausgleich stattfinden kann.

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Zentrale vs. Dezentrale Versorgungsstrategie - Allgemein

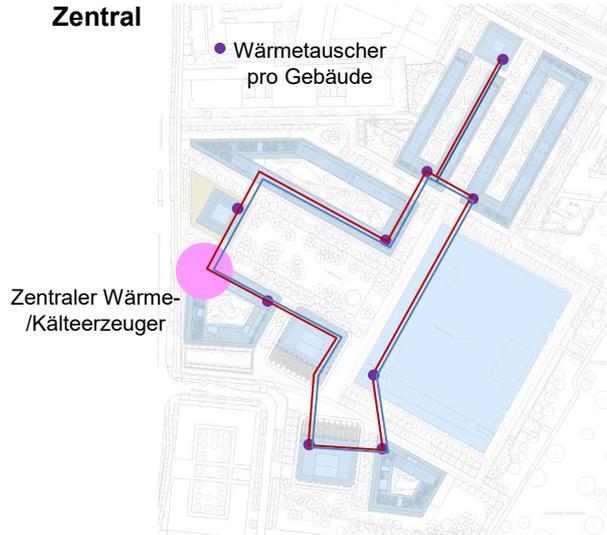


Merkmale

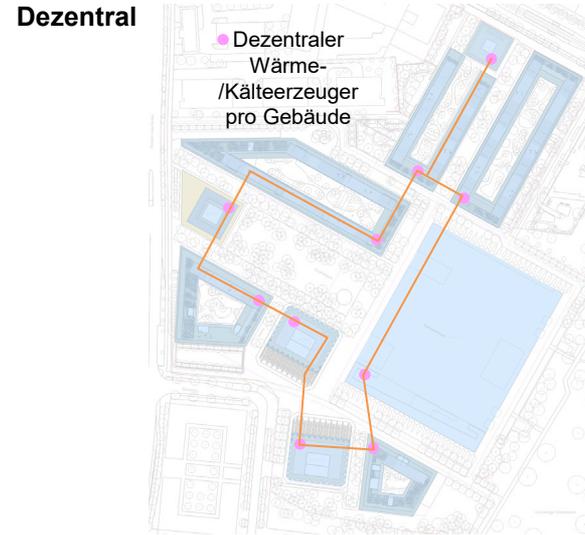
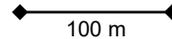
Zentral	Dezentral
<ul style="list-style-type: none"> • Zugänglichkeit für Wartung • Investition – Kosteneffizient (Gesamt kW > \sumkW pro Haus) • Betrieb – Kosteneffizient – großes Volumen + ein Preisvertrag • Mehr Gewinne von paralleler Heizung und Kühlung • Energiekonzept gilt für alle Häuser • Platzersparnis – mehr Mietfläche pro Haus • Vereinfachte Abrechnung • Vorteilhaft für Contracting Modelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Weniger Kosten für Verteil-/Rohrnetz • Ersparnis Energiekosten - Weniger Wärme-/Kälteverluste • Redundanz (\sumkW pro Haus > Gesamt kW) • Flexibilität der Investition – Additive Energiezentrale pro Bauphase (z.B. 8 Jahre zwischen Bauphasen) • Möglichkeit des Lerneffekts durch Vielfalt der Energiekonzepte (verschiedene Ansätze austesten, vergleichen)

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Zentrale vs. Dezentrale Versorgungsstrategie – Nahwärmenetz vs. Anergienetz



Quelle: Plan © Vogt



Quelle: Plan © Vogt

Nahwärme-/Nahkältenetz

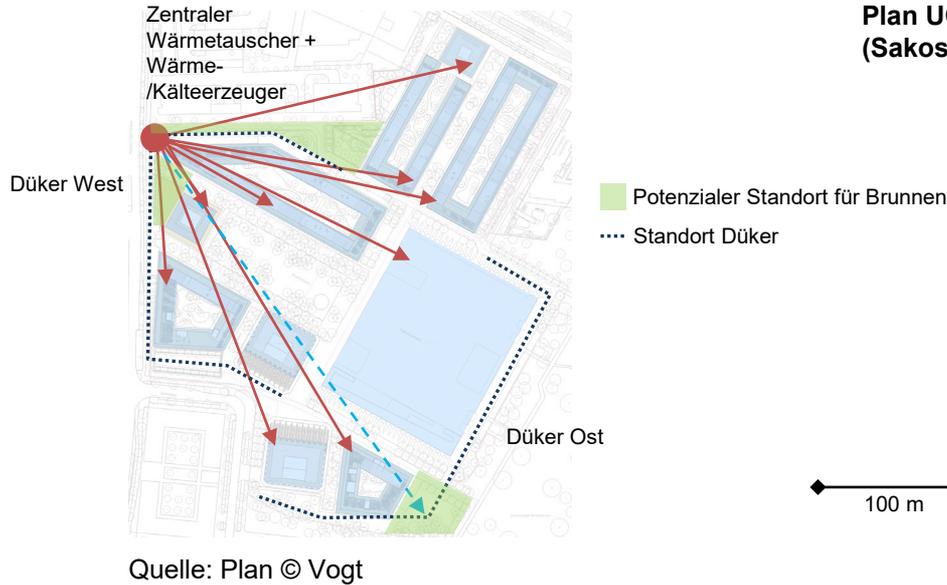
- 2-Leiter oder 4-Leitersystem – aufgrund der Vielfalt der Raumnutzungen und Gebäudeformen (z.B. Hochhaus, mittelgroße Gebäude) ist ein 4-Leiter System, welches gleichzeitiges heizen und kühlen ermöglicht vorteilhaft
- Typischer Ansatz für Campus/Areal

Anergienetz

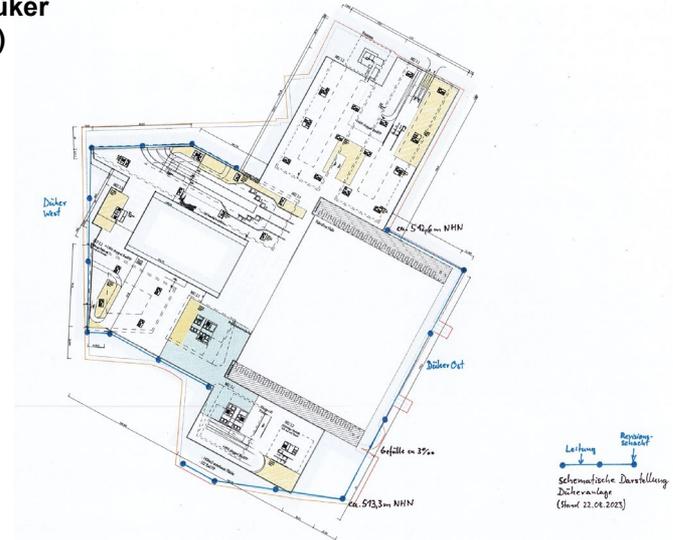
- Auch bekannt als Kaltwärmenetz, Wärmenetz der 5. Generation, kalte Fernwärme, usw.
- Kaltes Nahwärmenetz (Wassertemperatur -5°C bis 25°C) funktioniert als Wärme- und Kältequelle, die Energie stammt dabei aus Abwärme oder Umweltenergie (=Anergie), die Gebäude können dem Netz Wärme oder Kälte entziehen
- Es sind in allen Gebäuden eigene Wärmepumpen nötig, um die Anergie auf ein nutzbares Temperaturniveau zu bringen
- Weniger geläufig als andere Energieversorgungsansätze und deshalb eventuell aufwändiger bei der Planung und beim Betrieb

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Versorgungsstrategie – Düker / Brunnen



Plan UG1 der Düker (Sakosta GmbH)



Die für die Grundwasserhaltung notwendigen Düker - unterirdische Wasserkanäle/Leitungen zur Ableitung des Grundwasseraufstaus - können in das Energieversorgungskonzept einbezogen werden. Das Wärme- und Kühlpotential des Grundwassers kann genutzt werden. Dies ermöglicht eine Einsparung von Planungs- und Investitionskosten.

Neben den beiden vorgesehenen Dükern bieten sich die Bereiche ohne Unterkellerung / Tiefgarage für weitere Grundwasserbrunnen als Saug- und Schluckbrunnen für eine Geothermienutzung an, der Platz dafür ist jedoch sehr begrenzt. Eine genaue Positionierung von Brunnen z.B. auch unterhalb der Tiefgarage, oder eine Erweiterung der Düker-Anlage muss in der weiteren Bearbeitung mit den Hydrogeologen abgestimmt werden. Die endgültige Planung ist mit Haustechnik und Freiraumgestaltung zu koordinieren.

Eine zentrale Energieversorgung mit lokal gebündelten Wärmetauschern und Wärmepumpe wären möglich.

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Versorgungsstrategie – Düker / Brunnen



Abschätzung der Schüttungsmengen

		Heizung	Kühlung	Kommentare
Leistung Raumseitig Geothermie-WWWP	kW	876	2270	Thermische Ergebnisse
COP		5	10	Erfahrungswerte
Leistung Wasserseitig WWWP	kW	700	2520	Ergebnis
ΔT	K	3	3	Empfehlung nach UBA Aussage
Schüttung	l/s	54	190	Ergebnis

Nach ersten Abschätzungen und Austausch mit dem Hydrogeologen wäre die erforderliche Schüttung, um die thermischen Lasten zu decken, deutlich größer als die momentan vorgesehene Wasserführung der Düker-Anlage. In der Tabelle oben ist die notwendige Schüttungsrate dargestellt, die wasserseitige Gesamtheiz- und -kühlleistung wurde dabei aus der Variante 4 der Simulationsergebnisse berechnet werden. Bei einer Spreizung von 3 Kelvin ergibt sich Schüttungsmengen von 56 / 200 l/s für jeweils Heizung und Kühlung. Laut ersten groben Einschätzungen des geotechnischen Fachplaner Sakosta umfasst das Wasservorkommen der Dükeranlage ca. 3 – 9 l/s, was für die Wärme- und Kälteversorgung des Areals nicht ausreicht. Trotzdem könnte das Paar Düker Ost und West als Saug-/Schluckbrunnen eingesetzt werden, oder dahingehend erweitert werden, um größere Wassermengen zu führen. Ein zusätzliches Gutachten ist nötig um die Machbarkeit, die mögliche Schüttungsmenge und andere planungsrelevante Details zu konkretisieren. Die endgültige Brunnenplanung ist vor allem mit der Freiraumplanung zu koordinieren.

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Abstimmungen mit Wasserwirtschaftsamt



Grundwasserbrunnen/Geothermie

- Die Daten zur Vordimensionierung der Anlage werden aus dem Geoportal online (geoportal.muenchen.de) und Gesprächen mit dem Wasserwirtschaftsamt (WWA) entnommen. Am Standort ist bei 100 m Brunnenabstand eine Entnahmeleistung von 300 – 500 kW, und eine Wärmemenge von 500 – 1000 MWh/a möglich. Die durchschnittliche Grundwassertemperatur liegt bei ca. 11-12°C.
- Bei der Abschätzung der Geothermieanlage wäre für die Maximaleinspeiseleistung von 2500 kW voraussichtlich 5 Paare von Grundwasserbrunnen (Saug- und Schluckbrunnen) erforderlich.
- Laut einer Studie des Umweltbundesamts werden zukünftig bei Kühlanlagen max. 16°C Einleittemperatur und 3K Temperaturspreizung empfohlen. Damit ist eine hocheffiziente Hochtemperaturkühlung mit direkter Nutzung des geothermischen Potenzials möglich.
- Laut Aussage der Stadtwerke München sind Erdsonden am Standort nicht zulässig.
- Seitens des WWA wird eine ausgeglichene Wärmebilanz gewünscht oder eine reine Nutzung zur Wärmeerzeugung. Entsprechend wurde bei der Abschätzung der Geothermieanlage als worst-case ein Verhältnis 1.2:1 Wärmeentzug: Wärmezufuhr ins Erdreich angesetzt. Wenn es möglich ist, dem Erreich mehr Wärme zu entziehen als zurückzuspeichern, so werden sich Variante 4 und 5 positiver darstellen.
- Eigene Messungen (Probebrunnen) sind in der weiteren Planung erforderlich.
- Eine thermische Aktivierung der Bodenplatte ist möglich, da sie im Grundwasser steht.
- Die Wärmefahne des Grundwassers sollte in der weiteren Planung beachtet werden
- Der Wartungsaufwand einer Brunnenanlage ist abhängig von der lokalen Wasserqualität, Grundwassermessungen sind hierfür erforderlich (z.B. Verockerung)

Gegenüberstellung der Energieversorgungsvarianten

Schlussfolgerungen



Auf den ersten Blick sieht man, dass Variante 2, 4 und 6 die geringeren Primärenergiebedarfe aufweisen (PE jeweils 0.1%, -5.3%, -0.2% relativ zur Variante 1), jedoch auch höhere Energiekosten relativ zu den anderen Varianten. Variante 3, 5 und 7 weisen gegenteilige Eigenschaften aus, ihre Energiekosten sind gering (-13%, -20%, -14% relativ zu Variante 1), aber die Primärenergiebedarfe sind höher.

Die Referenzvarianten 1 und 3 werden nicht zur Weiterverfolgung empfohlen. Die hohen Energiekosten und niedrigen Leistungszahlen von luftbasierten Wärmepumpen / Kältemaschinen werden als ungünstig betrachtet. Variante 2 mit Fernkälte wird aufgrund der hohen Erschließungskosten, wegen der Entfernung des Grundstücks vom Netz und der hohen Energiekosten, kritisch gesehen.

Aufgrund des hohen Konstruktionsaufwands und Platzbedarfs werden Varianten 6 und 7 mit Eisspeicher nicht empfohlen.

Variante 4 mit Brunnen und Fernwärme bringt die folgenden Vorteile mit sich: geringe CO₂-Emissionen, geringe Investitionskosten, 13% niedrigere Energiekosten als Variante 1, geringer Konstruktions- und Wartungsaufwand und der Einsatz lokaler Umweltenergie. Mit dieser Variante ist eine hoch effiziente Hochtemperaturkälte mit direkter Nutzung des geothermischen Potenzials möglich.

Auch die SWM setzt bei ihrer Fernwärme auf Wärmeerzeugung durch Geothermie. Ein entsprechende Transformationsplan wurde von den Stadtwerken erarbeitet. Die Variante Geothermie passt daher strategisch gut zu den Ausbauplänen der SWM mit dem Vorteil, dass der lokal erzeugte Solarstrom direkt für die Wärmeerzeugung genutzt werden kann.

Falls sich eine Geothermienutzung in der weiteren Planung als nicht umsetzbar herausstellt, kann eine Vollversorgung (Variante 2) über die Fernwärme und Fernkälte der SWM als Rückfallposition weiter betrachtet werden. Diese Versorgungsvariante ist von der Umweltwirkung und von den Energiekosten nicht die vorteilhafteste, aber bietet eine hohe Versorgungssicherheit bei geringem technischem Aufwand im Quartier. Die Stadtwerke haben einen sinnvollen und realistischen Dekarbonisierungsplan erarbeitet, der eine Zukunftsfähigkeit der Fernwärme und Fernkälte in Aussicht stellt.

Solar- und Windenergie

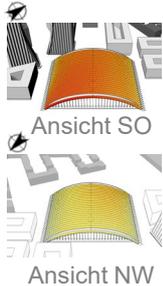
Solarenergie - Randbedingungen

Dächer neue Gebäude



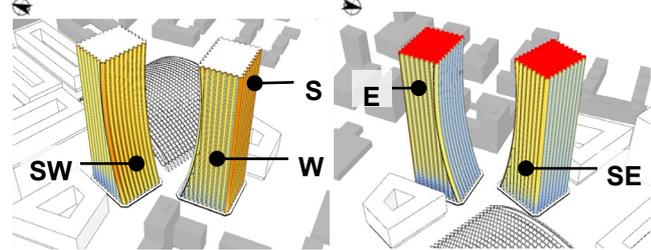
Ansicht von oben

Paketposthalle



Ansicht NW

Hochhausfassaden



Ansicht von Süd-West

Ansicht von Nord-Ost

Quelle: Modelle auf Plan-Basis © Herzog de Meuron, LHM

Paketposthalle

Variante 1

PV tiefer als OK Rippe, 14,872 m²



Variante 2

PV bis OK Rippe, 17,845 m²



Variante x.1

Standard PV

Variante x.2

Weißer PV

Variante x.3

Graue PV



Quelle: Studie © Herzog de Meuron

Links oben sind die visuellen Ergebnisse der solaren Einstrahlungsstudie zu sehen. Für die verschiedenen Gebäudehüllen wurde die solare Einstrahlung über das gesamte Jahr ermittelt. (siehe auch separates Besonnungs-Gutachten) Rechts oben sind die aktuellen Entwürfe für die PV-Anlage auf der Paketposthalle von HdM-Architekten für die Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde dargestellt (23.1.2024, 30.1.2024 – auch im Anhang). Zwei Optionen für die Anbringung werden bei dieser Studie in Betracht gezogen – entweder wird die Oberkante der Paneele tiefer gesetzt oder wird bis zur Oberkante der Rippen geführt. Daraus resultieren zwei unterschiedliche Größen der PV-Anlagen (14,872 m² oder 17,845 m²). Ebenso werden drei Photovoltaikarten – konventionelle dunkle Paneele, weiße und graue PV (mit unterschiedlichen Wirkungsgraden, 22%, 10%, 18%) – untersucht.

Auf Basis der Einstrahlungsstudie, der oben genannten Varianten und der ermittelten Flächen wurde das Potenzial der Photovoltaik berechnet und auf der nachfolgenden Seite tabellarisch aufgeführt.

Solarenergie

Stromertrag der Varianten

	Variante 1 - Ist-Zustand Planung				Variante 2 - Ist-Zustand Planung				Variante 3 - Optimiert (10.2023)		Variante 4 - Maximal		
B-Plan Verfahren 2147	Var1.1	Var1.2	Var1.3		Var2.1	Var2.2	Var2.3		Var3		Var4		
	Std PV	Weiße PV	Graue PV		Std PV bis OK Rippe	Weiße PV bis OK Rippe	Graue PV bis OK Rippe		50% Dach 18% Fassade		60% Dach 30% Fassade		
	Fläche [m²]	PV Ertrag [MWh/a]			Fläche [m²]	PV Ertrag [MWh/a]			Fläche [m²]	PV Ertrag [MWh/a]	Fläche [m²]	PV Ertrag [MWh/a]	
PPH PV Wirkungsgrad	22%	10%	18%		22%	10%	18%		18%		18%		
PPH Flächen Süd-Ost	7436	1276	580	1044	8923	1531	696	1253	8923	1253	8923	1253	
PPH Flächen Nord-West	7436	843	383	689	8923	1011	460	827	8923	827	8923	827	
Neubauten PV Wirkungsgrad	22%	22%	22%		22%	22%	22%		22%		22%		
Dächer	6416	1515	1515	1515	6416	1515	1515	1515	10981	2593	13177	3111	
Hochhausfassaden	SW	2323	300	300	300	2323	300	300	300	2323	300	3947	510
	SO	2310	266	266	266	2310	266	266	266	2310	266	3925	452
	S	2618	397	397	397	2618	397	397	397	2618	397	4448	674
	W	2310	230	230	230	2310	230	230	230	2310	230	3925	390
	O	2073	220	220	220	2073	220	220	220	2073	220	3522	374
Summe [MWh/a]	32'922	5'047	3'891	4'661	35'896	5'470	4'084	5'008	40'461	6'086	50'790	7'591	

Variante 1 stellt den aktuellen Planungsstand dar, die Module auf der Paketposthalle sind mit einem Abstand zur OK Rippe installiert. Es sind 3 Untervarianten aufgeführt mit verschiedenen PV-Wirkungsgraden für die Elemente auf dem Hallendach der Paketposthalle (Standardmodul, weißes oder graues Modul).

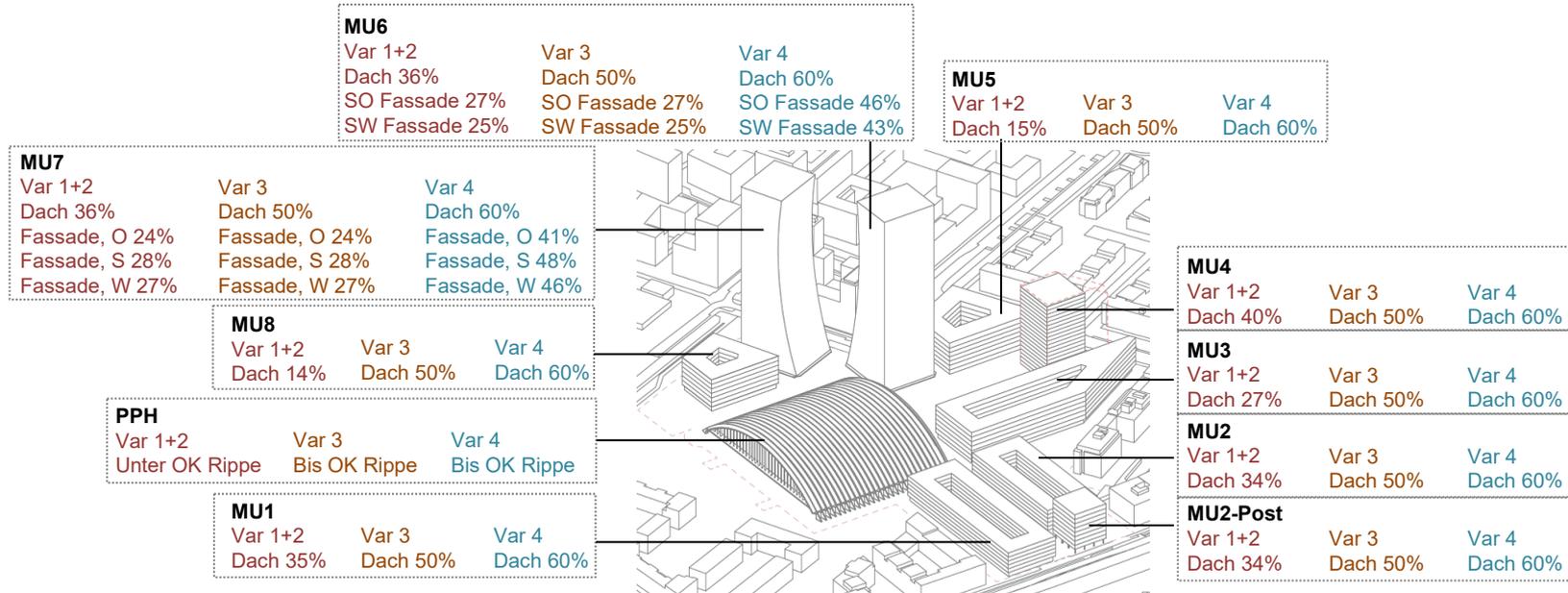
In Variante 2 sind die Module auf der Paketposthalle bis zur OK Rippe installiert, die Flächen und der Stromertrag sind entsprechend größer.

Variante 3 - Optimiert - weist eine höhere Belegungsfläche auf, als die aktuelle Planung (V1+2). Sie ist die Kombination von 17846 m² PV bis zur Oberkante Rippe auf der PPH, dem Ist-Zustand der Hochhausfassaden PV-Belegung (18%), und einem höheren Flächenansatz für die Dächer der Neubauten (50% Belegung) entsprechend dem Planungsstand vom Oktober 2023.

Variante 4 - Maximal - beschreibt das Potential einer maximalen Belegung mit PV. Diese Belegung entspricht nicht der aktuellen Planung, Flächenkonflikte mit Fensterflächen, Gründächern sind nicht berücksichtigt. Planungsänderungen wären notwendig. Die Paketposthalle bleibt bei einer Belegung von 17846 m², die Hochhausfassaden sind zu 30% die Neubau-Dächer zu 60% mit PV-Elementen versehen.

Solarenergie

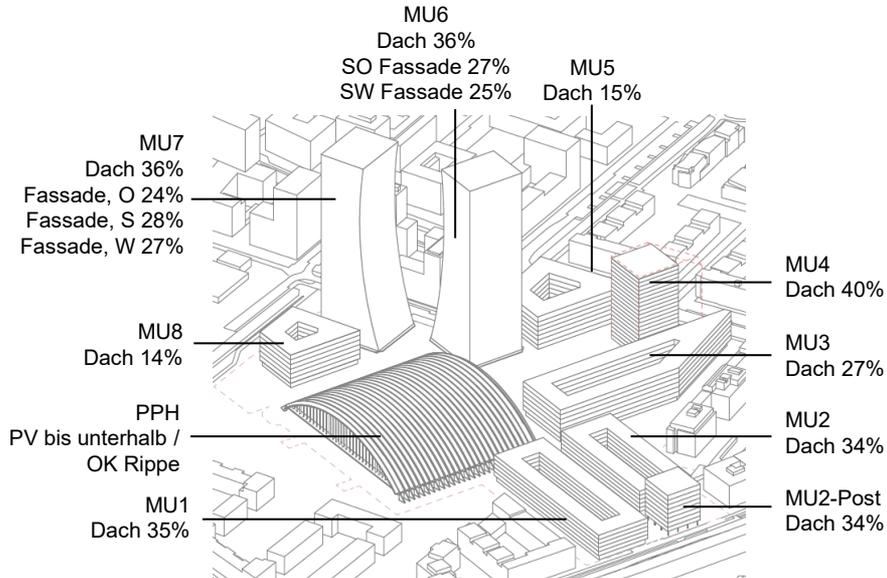
Belegungsanteil nach Flächen und Varianten



Quelle: Studie von © Herzog de Meuron

Solarenergie

Belegungsfläche, Neubauten – Var 1 + 2 Ist-Zustand



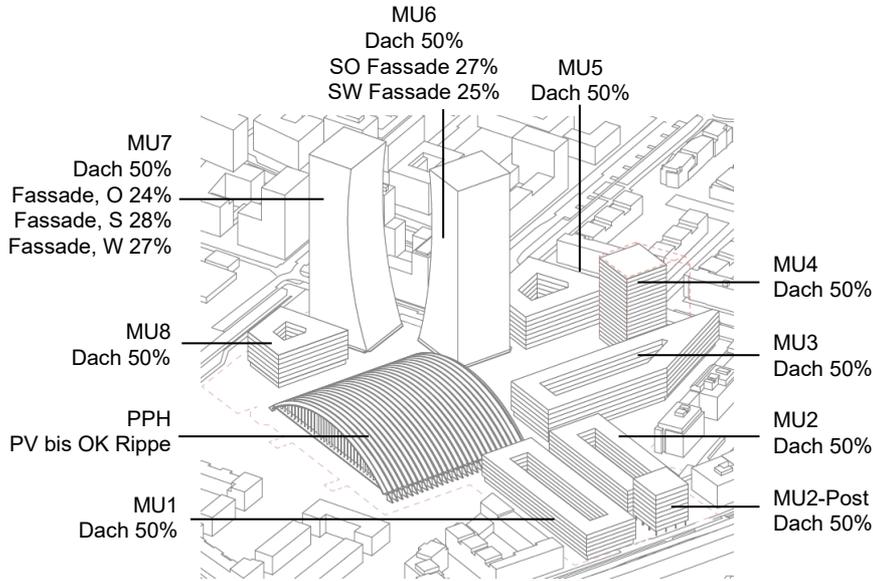
Quelle: Studie von © Herzog de Meuron

MU	Dach			Fassade		
	Gesamtfläche [m²]	Fläche PV Belegung [m²]	Prozent PV Belegung	Gesamtfläche [m²]	Fläche PV Belegung [m²]	Prozent PV Belegung
		Var 1, Var 2	Var 1, Var 2		Var 1, Var 2	Var 1, Var 2
1	4085	1419	35%			
2	2994	1028	34%			
2-Postturm Bestand	812	376	46%			
3	4878	1331	27%			
4	1125	448	40%			
5	3035	465	15%			
6-Dach	1476	528	36%			
6-N				9201		
6-O (SO)				8624	2310	27%
6-S (SW)				9253	2323	25%
6-W				8624		
7-Dach	1476	528	36%			
7-N				9253		
7-O				8624	2073	24%
7-S				9201	2618	28%
7-W				8624	2310	27%
8	2081	293	14%			
Gesamt	21962	6416		71404	11634	
Prozent des Gesamt			29%			18%

Die Zahlen beschreiben den Ist-Zustand der aktuellen Planung. Es sind die Photovoltaik-Flächen in m² und prozentual in Relation zur Gesamtfläche pro Neubau und nach Orientierung gelistet.

Solarenergie

Belegungsfläche, Neubauten – Var 3 - Optimiert



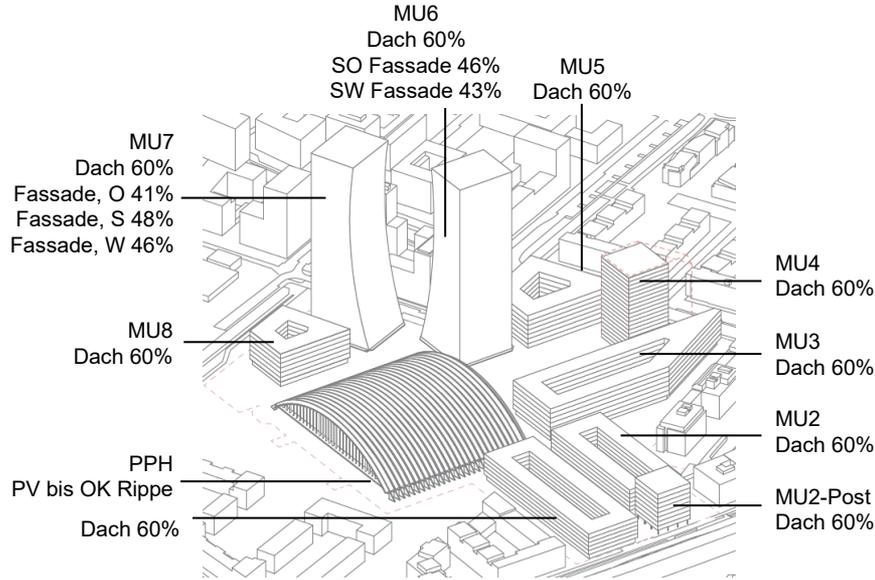
Quelle: Studie von © Herzog de Meuron

Diese Zahlen beschreiben einen optimierten Zustand der Planung, mit 50% Belegung der Dächer der Neubauten, entsprechend der Planung im Oktober 2023. Es sind die Photovoltaik-Flächen in m² und prozentual in Relation zur Gesamtfläche pro Neubau und nach Orientierung gelistet.

MU	Dach			Fassade		
	Gesamtfläche [m ²]	Fläche PV Belegung [m ²]	Prozent PV Belegung	Gesamtfläche [m ²]	Fläche PV Belegung [m ²]	Prozent PV Belegung
		Var 3	Var 3		Var 3	Var 3
1	4085	2043	50%			
2	2994	1497	50%			
2-Postturm Bestand	812	406	50%			
3	4878	2439	50%			
4	1125	563	50%			
5	3035	1518	50%			
6-Dach	1476	738	50%			
6-N				9201		
6-O (SO)				8624	2310	27%
6-S (SW)				9253	2323	25%
6-W				8624		
7-Dach	1476	738	50%			
7-N				9253		
7-O				8624	2073	24%
7-S				9201	2618	28%
7-W				8624	2310	27%
8	2081	1041	50%			
Gesamt	21962	10981		71404	11634	
% Gesamt			50%			18%

Solarenergie

Belegungsfläche, Neubauten – Var 4 - Maximal



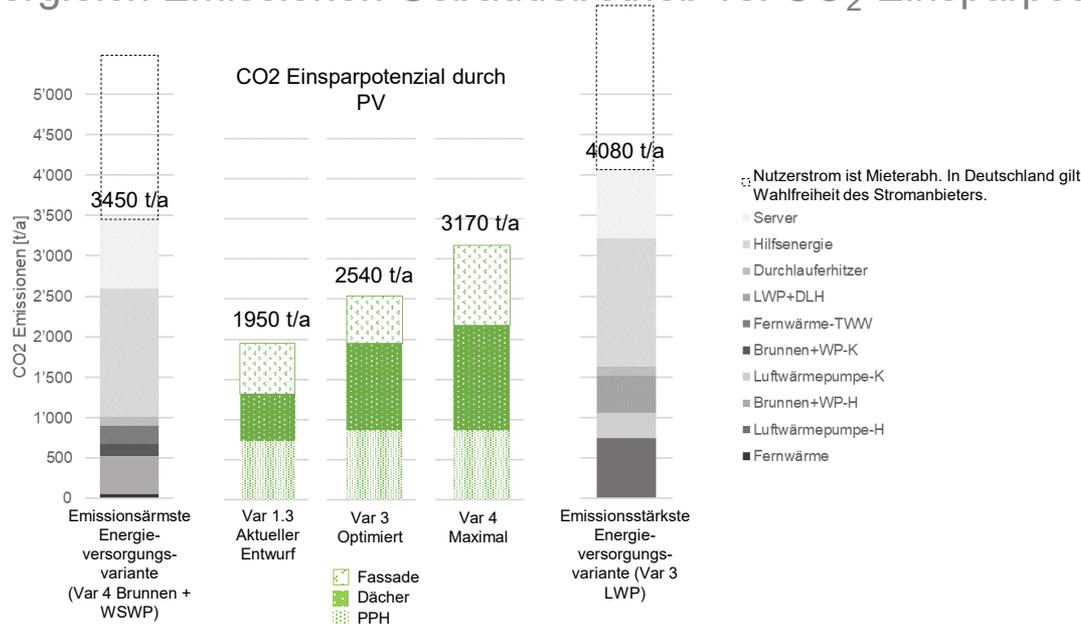
Quelle: Studie von © Herzog de Meuron

Variante 4 beschreibt das Potential einer maximalen Belegung mit PV. Diese Belegung entspricht nicht der aktuellen Planung, Flächenkonflikte mit Fensterflächen, Gründächern sind nicht berücksichtigt. Planungsänderungen wären notwendig. Die Paketposthalle bleibt bei einer Belegung von 17846 m², die Hochhausfassaden sind zu 30% die Neubau-Dächer zu 60% mit PV-Elementen versehen. Es sind die Photovoltaik-Flächen in m² und prozentual in Relation zur Gesamtfläche pro Neubau und nach Orientierung gelistet.

MU	Dach			Fassade		
	Gesamtfläche [m ²]	Fläche PV Belegung [m ²]	Prozent PV Belegung	Gesamtfläche [m ²]	Fläche PV Belegung [m ²]	Prozent PV Belegung
	Var 4	Var 4	Var 4	Var 4	Var 4	Var 4
1	4085	2451	60%			
2	2994	1796	60%			
2-Postturm Bestand	812	487	60%			
3	4878	2927	60%			
4	1125	675	60%			
5	3035	1821	60%			
6-Dach	1476	886	60%			
6-N				9201		
6-O (SO)				8624	3925	46%
6-S (SW)				9253	3947	43%
6-W				8624		
7-Dach	1476	886	60%			
7-N				9253		
7-O				8624	3522	41%
7-S				9201	4448	48%
7-W				8624	3925	46%
8	2081	1249	60%			
Gesamt	21962	13177		71404	19766	
% Gesamt			60%			30%

Solarenergie

Vergleich Emissionen Gebäudebetrieb vs. CO₂-Einsparpotential durch PV

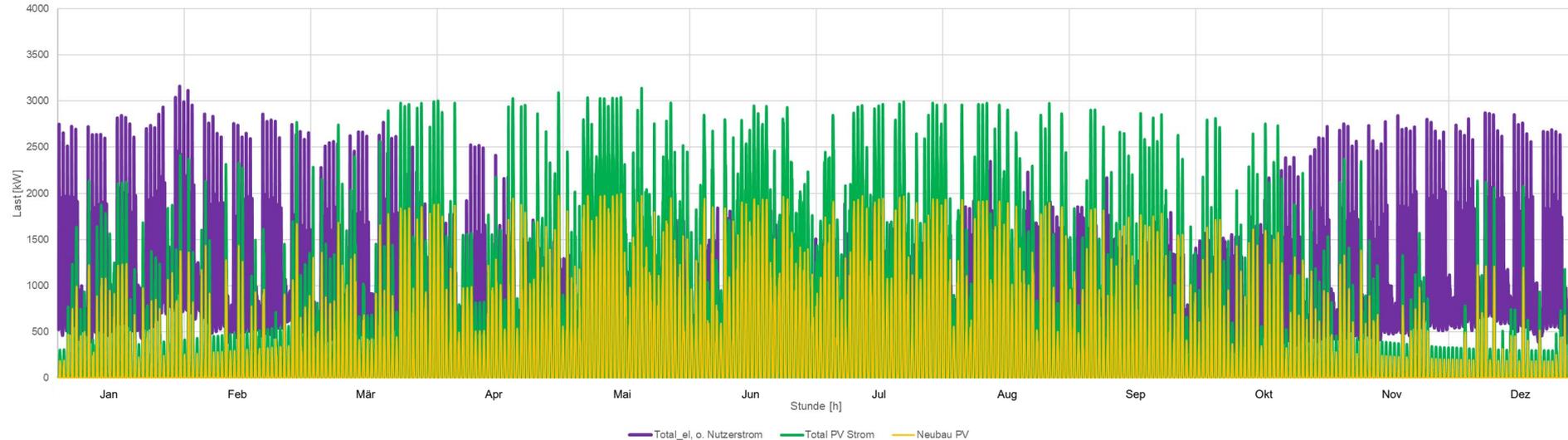


Energieträger	Kommentare	CO ₂
		kn eCO ₂ /kWh
Strom	Quelle: FG Klimaneutral München 2035 und Daten des UBA	2023 0.418
Fernwärme (2), SWM-Werte	SWM-Werte, Prognose extrapoliert von Fernwärme Daten des FG Klimaneutral München 2035 und Daten des UBA	0.066
Fernkälte	SWM-Werte, Prognose extrapoliert von Fernwärme Daten des FG Klimaneutral München 2035 und Daten des UBA	0.098

In diesem Diagramm wird der CO₂-Fußabdruck (ohne Nutzerstrom) der Versorgungsvarianten mit den niedrigsten und höchsten Emissionen dargestellt und das CO₂-Einsparungspotenzial der PV in der Jahresbilanz gegenübergestellt. Mit einem Solarstromertrag von ~4700 MWh/a (V1.3 aus der vorherigen Analyse) können ~2000 t/a CO₂-Emissionen aus dem öffentlichen Netz verdrängt werden. Bilanziell gesehen ergibt sich das Potenzial den CO₂-Fußabdruck des Areals um 40% - 56% zu minimieren, je nach Versorgungsvariante. Bei PV-Variante 3 - Optimiert - steigt die Einsparung von CO₂-Emissionen auf ~ 2500 t/a und bei der theoretischen Variante 4 - Maximal - steigt die Einsparung auf ~ 3200 t/a, dies entspricht einer Reduktion des Fußabdruck um 77%-91%, abhängig von der Versorgungsvariante.

Anmerkung: Im Vergleich zum letzten Arbeitsstand vom 25.10.2023 ergab sich eine Erhöhung der Emissionen, diese beruhen auf der zusätzlichen Betrachtung des Server-Stroms inkl. Serverkühlung.

Jahresgang – Bedarf und PV Erzeugung



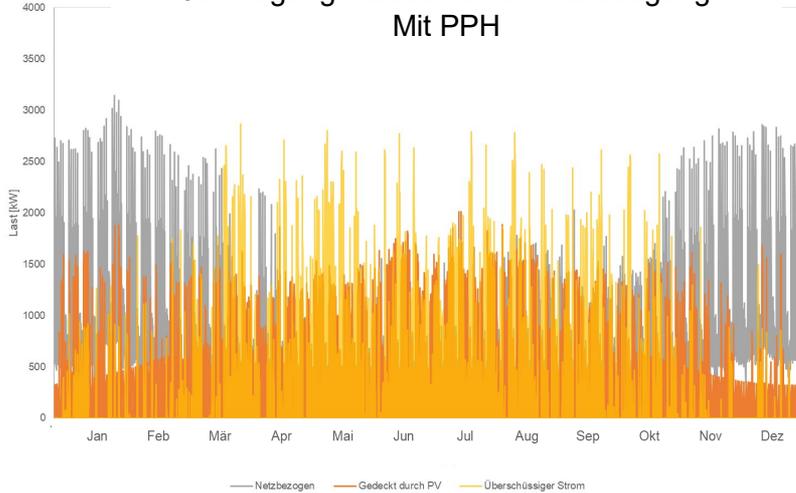
Im Diagramm ist der stundenweise aufgelöste Strombedarf (Heizung, Trinkwassererwärmung, Kühlung, Server und Hilfsenergie) der Variante 4 (lila) und der stündliche PV-Ertrag über das Jahr dargestellt. Der Gesamtstromertrag der PV-Anlage (PV-Var 1.3) inkl. der Paketposthalle und der Neubauten ist in grün, der Ertrag der Photovoltaik der Neubauten ohne Paketposthalle ist in gelb dargestellt. Der Strombedarf im Winter ist größer als im Sommer, hauptsächlich wegen des Wärmeenergiebedarfs (Wärmepumpen) und des mehr benötigten Kunstlicht Strombedarfs. Über das ganze Jahr wird die Stromlast nicht geringer als ~300 kW, insbesondere wegen des durchgehend vorliegenden Warmwasserbedarfs. Der PV-Ertrag im Winter reicht nicht aus, um den Bedarf zu decken. Im Sommer gibt es Stromüberschüsse, wenn größere Mengen an PV-Strom erzeugt werden als Bedarf besteht. In diesen Zeiten wird der erzeugte Strom entweder ins öffentliche Netz eingespeist oder könnte in Stromspeichern gelagert werden. Insbesondere aufgrund der Unterdeckung der Solarenergieerzeugung im Winter und in der Übergangsjahreszeit wird eine möglichst große PV-Anlage, auch auf der Paketposthalle, empfohlen.

Solarenergie

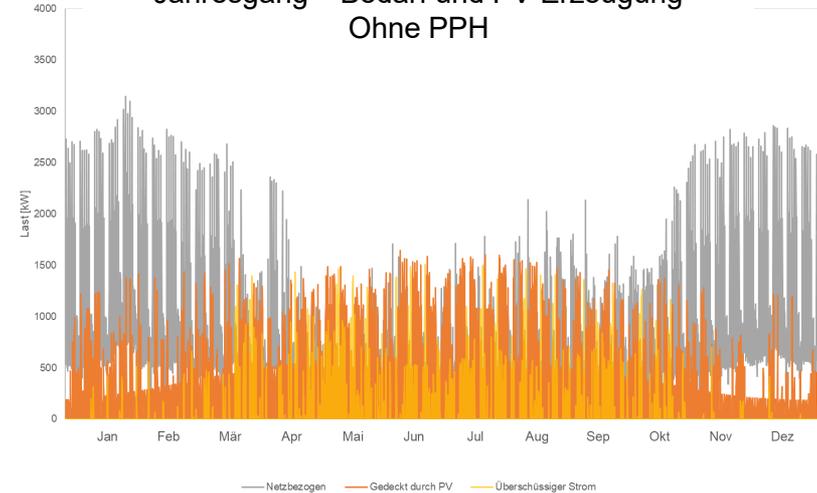
Jahresgang Ohne Nutzerstrom



Jahresgang – Bedarf und PV Erzeugung
Mit PPH



Jahresgang – Bedarf und PV Erzeugung
Ohne PPH



In den beiden Diagrammen ist der Strombezug aus dem Elektrizitätsnetz (grau), sowie die Deckung des Strombedarfes mit Solarstrom (orange) und die Stromüberschüsse der PV-Anlagen (gelb) dargestellt. Das linke Diagramm stellt die Stromflüsse mit PV-Anlage auf der Paketposthalle, das rechte Diagramm ohne Paketposthalle dar.

Wie erwartet muss im Winter mehr Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen werden, im Sommer gibt es größere Überschüsse, die bei der Variante mit Paketposthalle deutlich größer ausfallen.

Da ein hoher Strombedarf insbesondere im Winter und den Übergangsjahreszeiten auftreten, sollte die PV-Anlage auf diese Jahreszeiten hin optimiert und die Stromerzeugung maximiert werden. Die Unterdeckung sollte möglichst gering ausfallen.

Da zudem die Netzeinspeisung von überschüssigem Solarstrom die einzige Möglichkeit des Quartiers darstellt, aktiv CO₂-Emissionen aus dem Betrieb und aus der Gebäudeerrichtung zu kompensieren, ist ein Stromüberschuss bilanziell anzustreben.

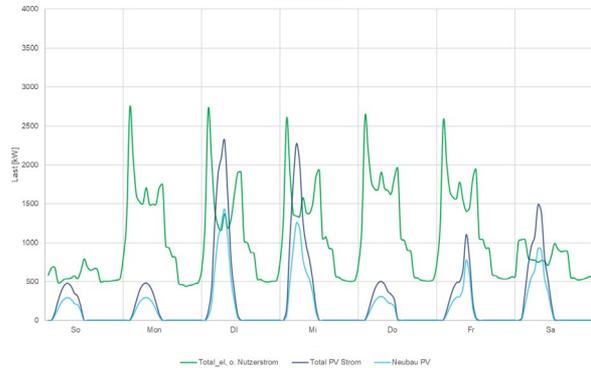
Solarenergie

Wochenverlauf - Ohne Nutzerstrom – Variante 4

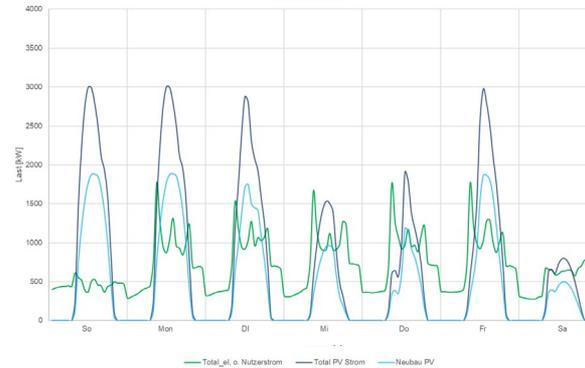


Strombedarf und PV Erzeugung

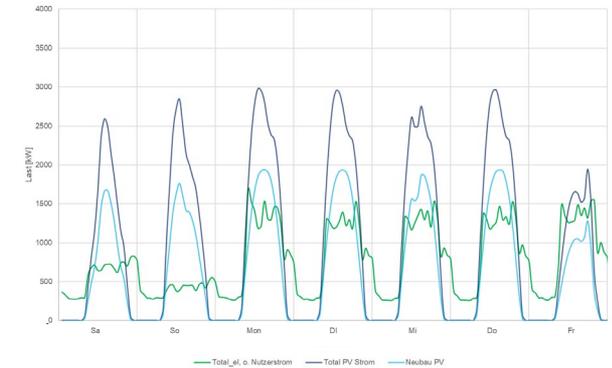
Winter Woche



Frühlingswoche



Sommer Woche



Mit Wochenverläufen im Winterfall und Sommerfall kann der Stundengang des Strombedarfs und der Stromerzeugung gut miteinander verglichen werden. Die grüne Linie stellt den Strombedarf ohne Nutzerstrom dar, die dunkelblaue Linie ist der PV-Ertrag von allen Gebäuden - der Neubauten (Dächer und Fassaden) und der Paketposthalle, die hellblaue Linie entspricht dem PV-Ertrag der Neubauten ohne Paketposthalle. Im linken Diagramm ist der Verlauf einer typischen Winterwoche. In der Winterwoche erreicht die maximale PV-Gesamtleistung nicht mehr als 2400 kW, an manchen Tagen, abhängig vom Bewölkungsgrad nicht mehr als 500 kW elektrische Leistung. An keinem der betrachteten Wintertage kann der Solarertrag den Strombedarf vollständig decken. In der Übergangsjahreszeit (Diagramm in der Mitte) ist die PV-Stromerzeugung bereits deutlich höher und mit der Photovoltaik auf der Paketposthalle kann teilweise tagsüber eine vollständige Deckung erzielt werden. Im rechten Diagramm ist der Verlauf einer typischen Sommerwoche dargestellt. Im Sommer ist die maximale Gesamtleistung tagsüber höher als 2500 kW und mit Hilfe eines Stromspeichers wäre es somit möglich den Tagesstrombedarf partiell sogar vollständig zu decken. Auch im Sommer ist der Beitrag der Photovoltaikanlage auf der Paketposthalle wesentlich und unterstreicht ihre Wichtigkeit.

Solarenergie

Solarer Deckungsanteil

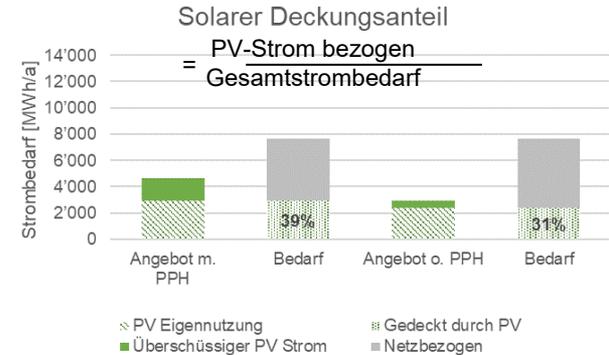


Ohne Nutzerstrom, mit PPH

	Energie	Anteil, im Bezug auf Strombedarf
	[MWh/a]	[%]
PV Strom erzeugt	4'660	
Überschüssiger PV Strom	1'720	
Gesamtstrom, H+K+S	7'610	
Gedeckt durch PV	2'940	39%
Netzbezogen	4'670	61%

Ohne Nutzerstrom, ohne PPH

	Energie	Anteil, im Bezug auf Strombedarf
	[MWh/a]	[%]
PV Strom erzeugt	2'930	
Überschüssiger PV Strom	580	
Gesamtstrom, H+K+S	7'610	
Gedeckt durch PV	2'350	31%
Netzbezogen	5'260	69%



Die Jahresverläufe der vorherigen PV-Analysen wurden aufsummiert, die Jahresenergiemengen sind tabellarisch oben dargestellt. Der Anteil des selbstgenutzten und des überschüssigen Stroms wird mit dem Strombedarf der Variante 4 (ohne Nutzerstrom) gegenübergestellt. Der Energiebedarf für Fernwärme ist hier außen vorgelassen, um einen gerechten Vergleich zu machen. Der Strombedarf wird entweder durch PV-Strom gedeckt oder vom öffentlichen Stromnetz bezogen. Bei dieser Analyse wurden die stündlichen Erträge der PV-Anlage und die stündlichen Lasten der thermischen Simulationen (inklusive Wirkungsgrad der Energieversorger) verwendet, nicht die Jahresbilanz (s. Seite 48 *Reduzierung der CO2 Emissionen*). Der Deckungsanteil des Solarstroms erreicht 39%, wenn die Paketposthalle mit PV-Paneelen belegt werden würde, und 31% ohne Photovoltaik auf der Paketposthalle.

Solarenergie

Solarer Deckungsanteil – mit Nutzerstrom

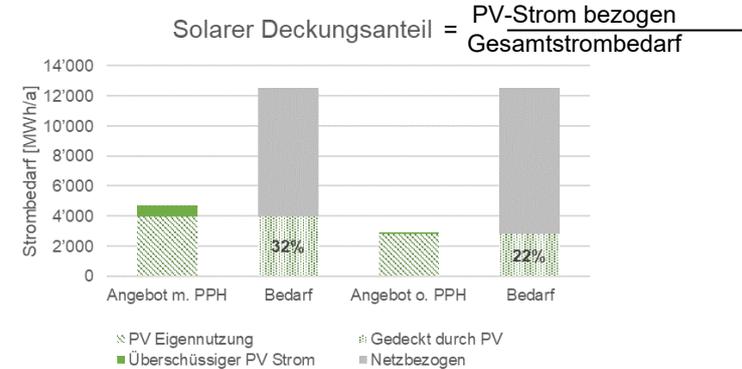


Mit Nutzerstrom, mit PPH

	Energie	Anteil, im Bezug auf Strombedarf
	[MWh/a]	[%]
PV Strom erzeugt	4'660	
Überschüssiger PV Strom	700	
Gesamtstrom, H+K+S	12'530	
Gedeckt durch PV	3'970	32%
Netzbezogen	8'570	68%

Mit Nutzerstrom, ohne PPH

	Energie	Anteil, im Bezug auf Strombedarf
	[MWh/a]	[%]
PV Strom erzeugt	2'930	
Überschüssiger PV Strom	140	
Gesamtstrom, H+K+S	12'530	
Gedeckt durch PV	2'790	22%
Netzbezogen	9'750	78%



Die Jahresverläufe der vorherigen PV-Analysen wurden aufsummiert, die Jahresenergiemengen sind tabellarisch oben dargestellt. Der Anteil des selbstgenutzten und des überschüssigen Stroms wird mit dem Strombedarf der Variante 4 (mit Nutzerstrom) gegenübergestellt. Der Deckungsanteil des Solarstroms erreicht 32%, wenn die Paketposthalle mit PV-Paneelen belegt werden würde, und 22% ohne Photovoltaik auf der Paketposthalle. Der Deckungsanteil ist geringer geworden, weil der Gesamtstromenergiebedarf größer geworden ist und die Größe der PV-anlage gleich geblieben ist.

Windenergie

Übersicht

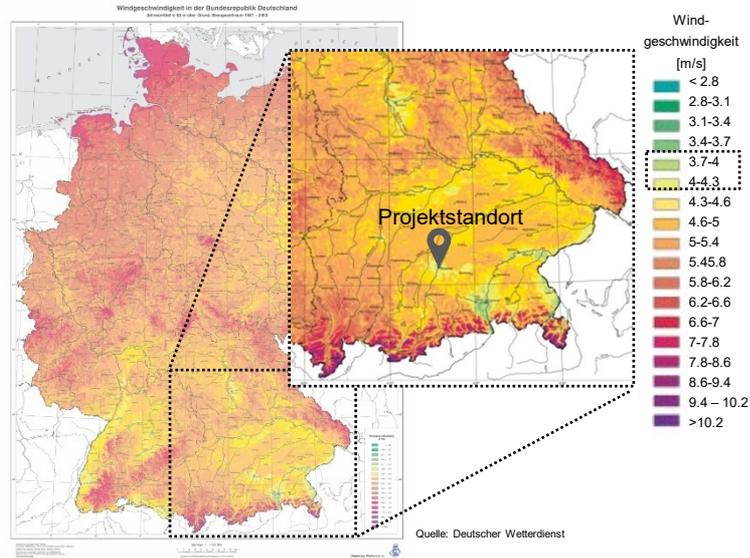
Beispiel



VAWT: Wohnhochhaus
Pforzheim
©Freivogel Mayer / Transsolar

Windgeschwindigkeit in Deutschland

Jahresmittel in 80 m über Grund, Bezugszeitraum 1981 - 2000



Zusätzlich zur Solarenergie kommt Windkraft als erneuerbare Energiequelle für das Quartier in Frage. Es gibt zwei Kategorien der Windkraftanlagen (WKA): horizontale-Rotorachsen (HAWT) und vertikale-Rotorachsen (VAWT). Die Ausführung könnte additiv auf dem Dach (z.B. Wohnhochhaus Pforzheim) oder gebäude-integriert erfolgen. Die Gebäudeintegration führt zu einer Reduktion des Stromertrages, da hier nur eingeschränkt Windrichtungen genutzt werden können und quasi das Gebäude selber als Windschatten-Hindernis wirkt. Additive, auf dem Dach aufgeständerte Windturbinen dagegen können alle Richtungen uneingeschränkt nutzen, es sei denn sie werden von anderen Hindernissen wie Gebäuden beeinträchtigt.

Nach der Kartierung des Deutschen Wetterdienstes ist die Jahresmittel-Windgeschwindigkeit am Projektstandort relativ gering (~3.7 – 4.3 m/s), sogar in 80 m Höhe. Windturbinen wären im Quartier nur auf den Dächern der Hochhäuser (~150 m Höhe) vorstellbar, wo die Windgeschwindigkeit mit etwa 4.1-4.9 m/s immer noch nicht vergleichbar mit Küstenregionen ist.

Windenergie

Potenzial



Ohne Nutzerstrom, mit PPH

	Energie	Anteil, im Bezug auf Strombedarf Jahresbilanz	Investitions-Kosten pro kWp	Investkosten	Strom-gestehungs-kosten	Mehrkosten
	[MWh/a]	[%]	[€/kWp]	[€]	[€/MWh]	[%]
Gesamtstrom, H+K+S	7'610					
5 kW WKA Strom erzeugt	9	0.1%	8'000	40'000	4'444	166%
20 kW WKA Strom erzeugt	43	0.6%	8'000	160'000	3'721	139%
PV Ertrag (alle Flächen)	4'660	61%	1'900	12'510'360	2'685	100%

Das Potenzial einer WKA auf einem Hochhausdach bei PPA wurde auf Basis der lokalen Bedingungen (Windgeschwindigkeit, Windverteilung, Höhe) abgeschätzt. Die Höhe der Anlage wäre läge bei etwa 150 m mit einer dortigen durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 4.9 m/s über das Jahr. Der Ertrag von zwei verschiedenen Turbinen mit 5 kW oder 20 kW Nennleistung, der Stromenergiebedarf der Variante 4 (Brunnen+FW - ohne Nutzerstrom) und der Ertrag der PV-Anlagen (mit Paketposthalle und Neubauten) sind in der obigen Tabelle aufgeführt.

Aufgrund der benötigten Abstände zwischen den Turbinen, wäre es möglich zwei 5 kW oder eine 20 kW WKA auf jedem Hochhaus zu installieren, trotzdem würden sie nur 0.4%-1.2% des jährlichen Strombedarfs decken. Der geringe Stromertrag und der damit verbundene hohe Aufwand (Planung und Genehmigung) wird als kritisch bewertet, daher wird die Windkraft in dem Energieversorgungskonzept nicht weiter berücksichtigt.

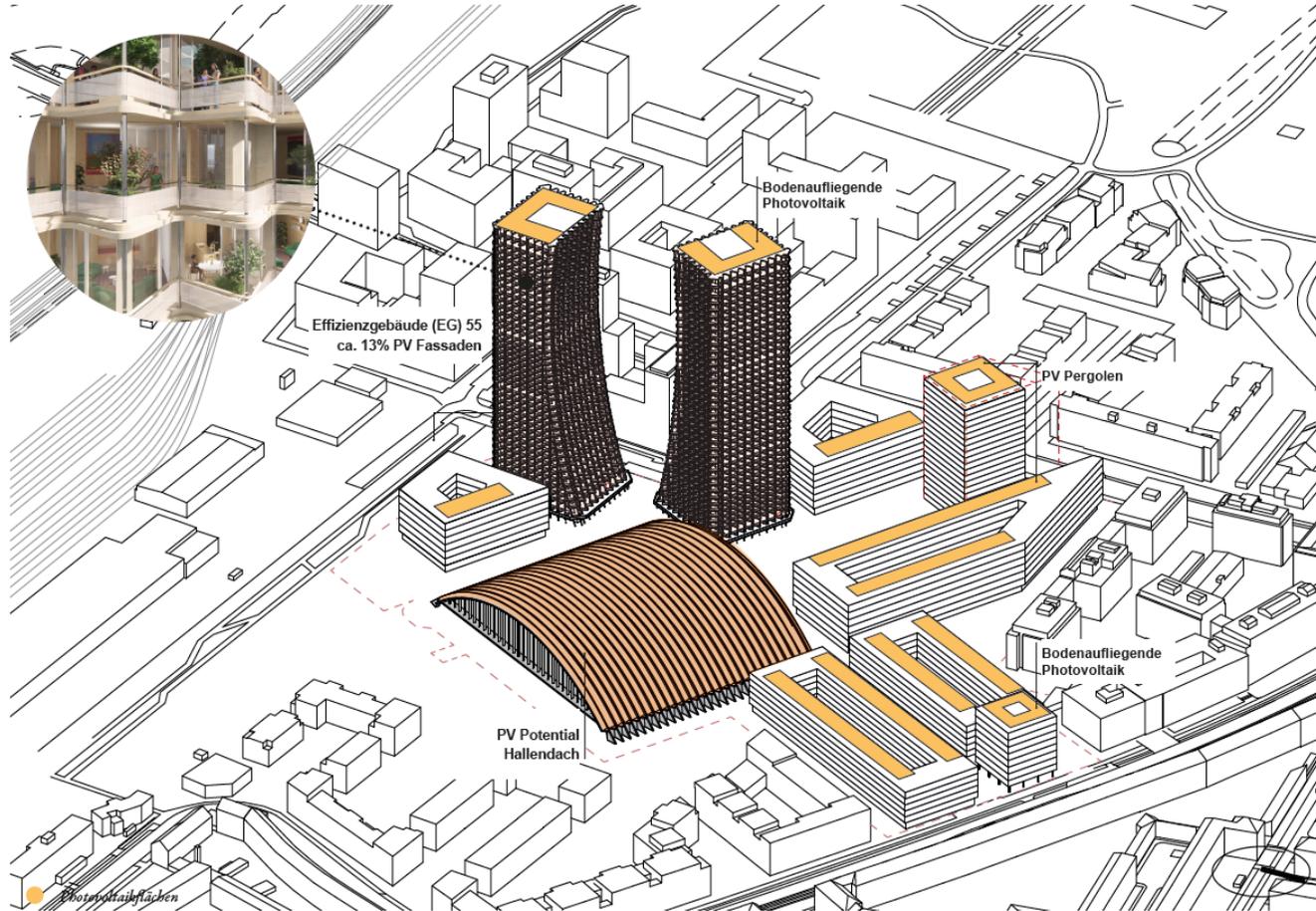
Die angegebenen Investitionskosten pro kW WKA und PV sind Erfahrungswerte und nur für die Anlagen (ohne Berücksichtigung der Auswirkung auf das Tragwerk, Integration in das Stromnetz, usw.). Die Gesamtinvestitionskosten wurden durch den jährlichen Ertrag dividiert, um die Stromgestehungskosten vergleichen zu können. Photovoltaik zeigt sich dabei als die günstigere Option, die Mehrkosten pro MWh Ertrag sind bei der Windenergie um 39%-66% größer.

Aufgrund der Kombination aus geringer Durchschnittswindgeschwindigkeit am Standort, mit dem damit verbundenem niedrigen Deckungsanteil und den höheren Investitionskosten kann keine Empfehlung für Windturbinen in diesem Projekt ausgesprochen werden.

Energieversorgung

Energieversorgung

Verfügbare Flächen für PV - HdM Studien



Energieversorgung

Verfügbare Flächen für PV: Dächer der Neubauten - HdM Studien

Für die Abschätzung des PV Ertrags wurden alle Dachflächen (6416 m²) berücksichtigt.



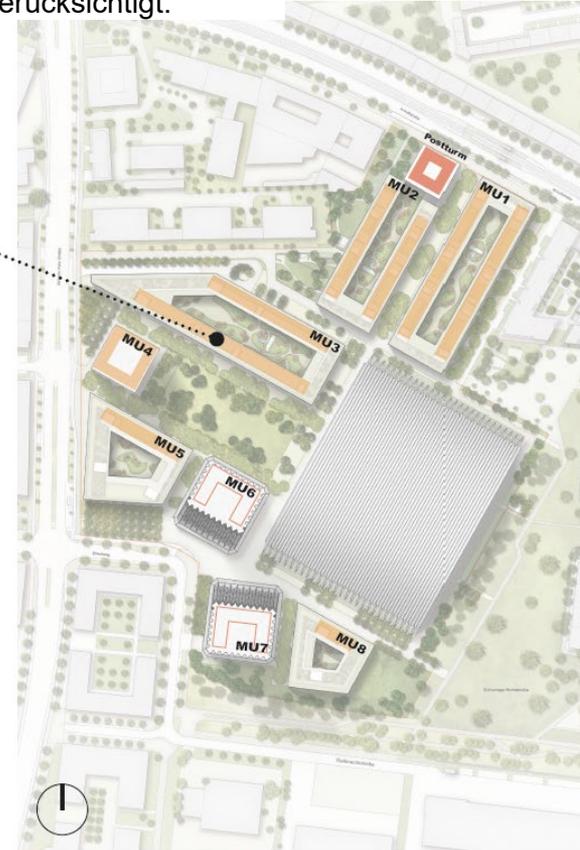
PV Belegung der Dächer

Hölzerne, berankten Pergolen mit integrierten, schattenspendenden Photovoltaikanlagen bieten nachbarschaftliche Begegnungsorte mit hoher Aufenthaltsqualität und Blick über die Dächer der Stadt und aufs Alpenpanorama. Die nicht frei begehbaren Dachflächen sind mit bodengebundener PV belegt.

	MU1	MU2	MU3	MU4	MU5	MU8
Dachfläche	4'085 m ²	2'994 m ²	4'878 m ²	1125 m ²	3035 m ²	2081 m ²
PV Flächen auf den Pergolen	1'774 m ²	1'285 m ²	1'664 m ²	560 m ²	582 m ²	366 m ²
PV Flächen -20% Abzug Kerne	1'419 m ²	1'028 m ²	1'131 m ²	448 m ²	465 m ²	293 m ²
PV Fläche/ Dachfläche	34.7%	34.3%	27.3%	39.8%	15.3%	14.1%

	Postturm	MU6	MU7
Dachfläche	812 m ²	1'476 m ²	1'476 m ²
PV Flächen Bodengebunden	470 m ²	660 m ²	660 m ²
PV Flächen -20% Abzug Kerne	376 m ²	528 m ²	528 m ²
PV Fläche/ Dachfläche	46.3%	35.8%	35.8%

Die Belegung der Turmdächer mit PV ist als Potenzial ausgewiesen.



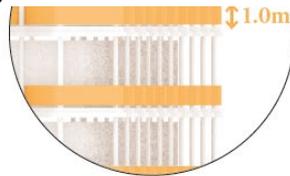
● PV Flächen auf den Pergolen ● PV Flächen Bodenaufliegend

Energieversorgung

Verfügbare Flächen für PV: Fassade der Hochhäuser - HdM Studien

Für die Abschätzung des PV Ertrags wurden nur die Fassadenflächen nach Osten, Süden und Westen berücksichtigt. Die Anbringung der PV an den Nord-, Nordost- und Nordwestfassaden ist aufgrund der geringen Einstrahlung nicht empfohlen. Deshalb wurden diese Flächen nicht berücksichtigt.

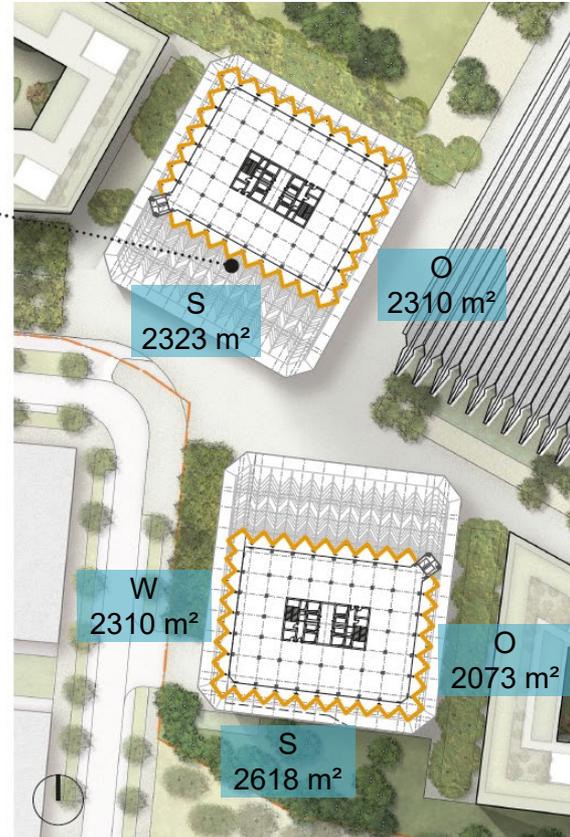
■ Berücksichtigte Flächen bei Abschätzung des PV Ertrags, PV Var 1+2 – Ist-Zustand, 3-Optimiert



PV Potenzial Turmpaar

Die Flächen sind ca. Angaben, die Phasengerecht als Richtwert verstanden werden sollten. Die Potenzielle Fläche für PV muss unter Betrachtung der Ausrichtung und der davon abh. Verschattung betrachtet werden. Hierfür werden in dieser Rechnung pauschal 50% angesetzt.

Gesamte Fassadenflächen	MU6	MU7	Potenzielle PV Flächen ohne Effizienzuntersuchung	MU6	MU7
Nord	9'201 m ²	9'253 m ²	Nord	2'618 m ²	2'777 m ²
Ost	8'624 m ²	8'624 m ²	Ost	2'310 m ²	2'073 m ²
Süd	9'253 m ²	9'201 m ²	Süd	2'323 m ²	2'618 m ²
West	8'624 m ²	8'624 m ²	West	2'073 m ²	2'310 m ²
	35'700 m ²	35'700 m ²		9'324 m ²	9'778 m ²



Quelle: Studie © Herzog de Meuron

Energieversorgung

Leistungsabschätzung Wärme und Kälte (Stand 30.1.2024)

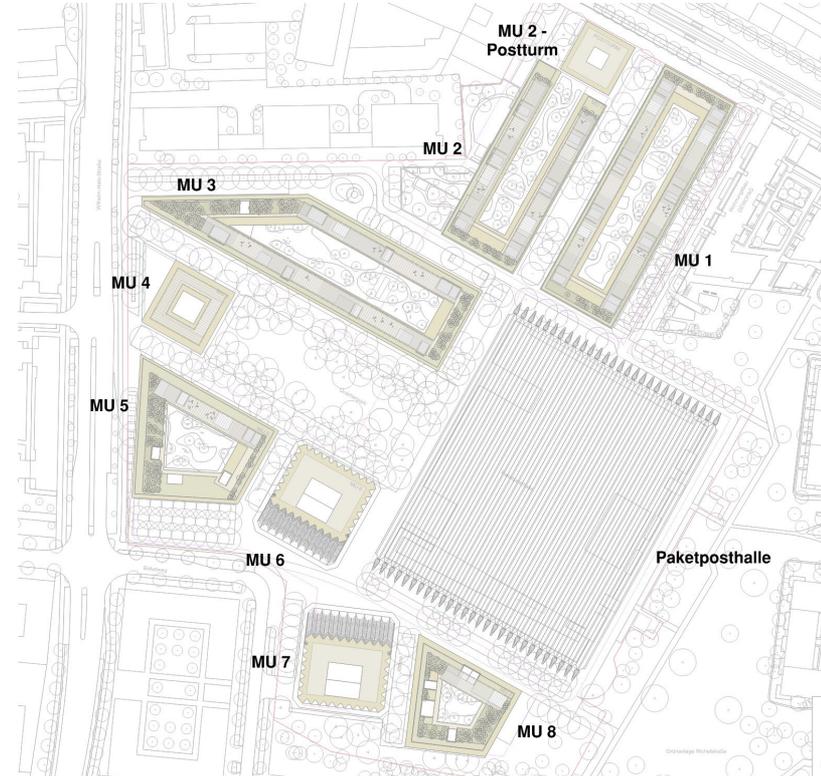


Option 1 - 100% Leistung, Wärme und Kälte

MU	Versorgungsleistung	
	Wärme kW	Kälte kW
1	764	573
2	568	426
2 (Postturm bestand)	223	279
3	1048	943
4	761	476
5	641	802
6 (Hochhaus NW)	1754	1096
7 (Hochhaus SO)	1801	1688
8	435	544
Paketposthalle	595	743
Gesamt	8590	7570

Option 2 - Reduzierte Heizleistung, ohne Kühlung

MU	Versorgungsleistung
	Wärme kW
1	685
2	510
2 (Postturm bestand)	201
3	940
4	683
5	576
6 (Hochhaus NW)	1574
7 (Hochhaus SO)	1616
8	391
Paketposthalle	534
Gesamt	7710



Quelle: Plan © Vogt

Energieversorgung

Investitionskosten – Detaillierte Daten



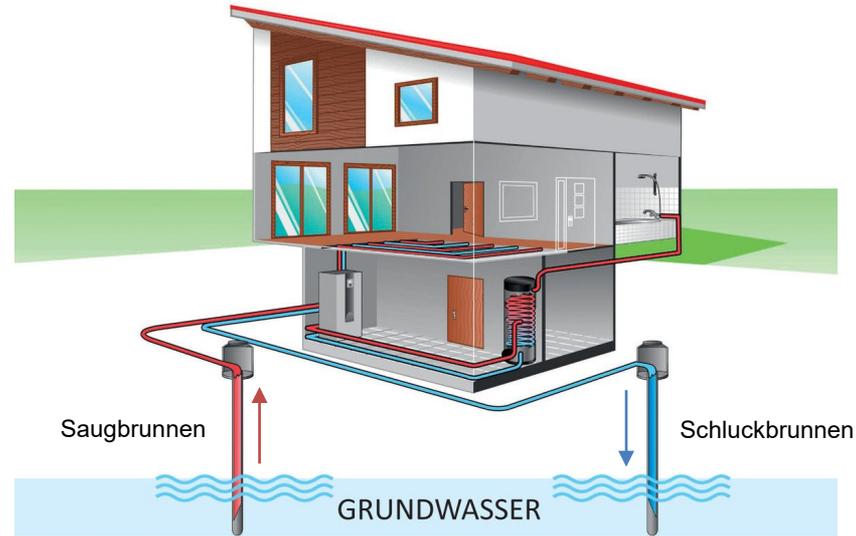
Variante	1-Fernwärme			2-Fernwärme / Fernkälte			3-Luftwärmepumpe			4-Brunnen+Fernwärme		
Energieerzeuger	Größe	Einheit	Investition	Größe	Einheit	Investition	Größe	Einheit	Investition	Größe	Einheit	Investition
			[€]			[€]			[€]			[€]
Fernwärme	1	St.	304'895	1	St.	304'895	0	St.		1	St.	292'195
Luftwärmepumpe	7570	kW	9'841'000	0	kW	-	8590	kW	11'167'000	5300	kW	6'890'000
Brunnen+WSWP	0	m	-	0	m	-	0	m	-	5	Paare	500'000
Eisspeicher+WWP	0	m³	-	0	m³	-	0	m³	-	0	m³	-
Fernkälte	0	St.	-	1	St.	16'351'200	0	St.	-	0	St.	-
Durchlauferhitzer	170	St.	127'500	170	St.	127'500	170	St.	127'500	170	St.	127'500
Gesamt			10'300'000			16'800'000			11'300'000			7'810'000

Variante	5-Brunnen+Luftwärmepumpe			6-Eisspeicher+Fernwärme			7-Eisspeicher+Luftwärmepumpe		
Energieerzeuger	Größe	Einheit	Investition	Größe	Einheit	Investition	Größe	Einheit	Investition
			[€]			[€]			[€]
Fernwärme	0	St.	-	1	St.	292'195	0	St.	-
Luftwärmepumpe	7710	kW	10'023'000	7570	kW	9'841'000	7570	kW	9'841'000
Brunnen+WSWP	5	Paare	500'000	0	m	-	0	m	-
Eisspeicher+WWP	0	m³	-	3140	m³	1'570'000	3140	m³	1'570'000
Fernkälte	0	St.	-	1	St.	-	0	St.	-
Durchlauferhitzer	170	St.	127'500	170	St.	127'500	170	St.	127'500
Gesamt			10'700'000			11'800'000			11'500'000

Technologien

Technologien

Geothermie mit Grundwasserbrunnen



© Grafik nach: http://www.erdwaermeheizten.at/fileadmin/_processed_/csm_ewh-waemepumpe-grundwasser_9f1c81a787.jpg

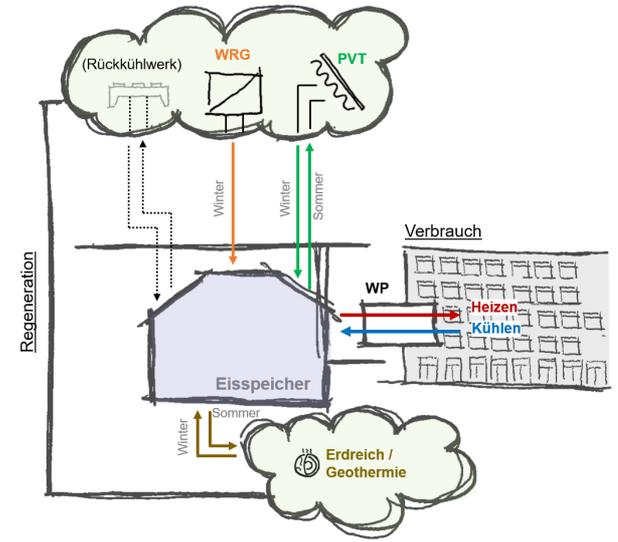
Eine Wärmepumpe entzieht dem Grundwasser über Grundwasserbrunnen Wärme oder führt Abwärme zu. Um eine wirtschaftliche Umsetzung dieser Technologie zu erzielen, wird sie zur Deckung der Grundlasten eingesetzt. Eine ausgeglichene Wärmebilanz oder etwas mehr Heizung übers Jahr wird empfohlen (sonst erfolgt die Auskühlung oder Aufwärmung des Erdreichs). Strom für die Wärmepumpe wird eingespart, falls die Brunnen zur freien Kühlung (ohne WP) verwendet werden. Da diese Technologie nicht an jedem Standort realisierbar ist, ist ein hydrogeologisches Gutachten notwendig.

Technologien

Eisspeicher



Quelle: © Transsolar

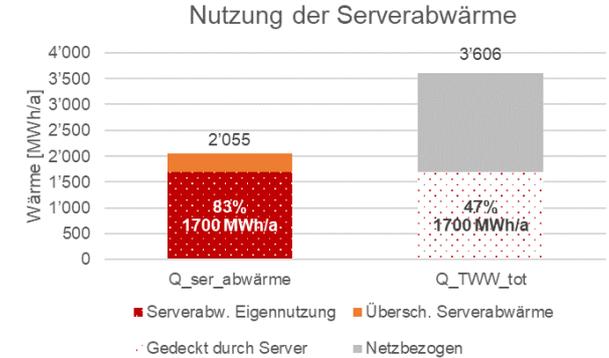
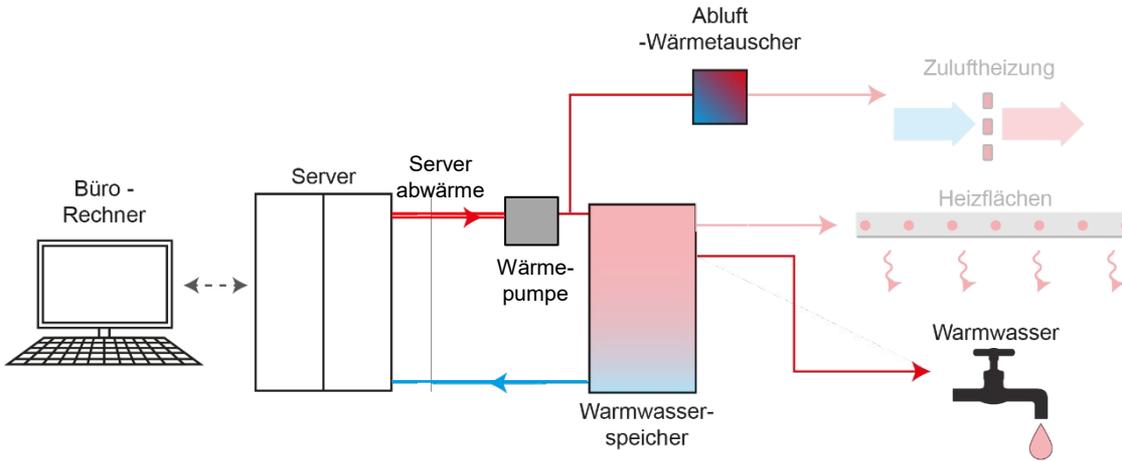


Schematische Systemdarstellung mit Wärmeströmen

Ein Eisspeicher kann als Langzeit- Wärme und Kältespeicher genutzt werden. Dabei wird ein unterirdischer Wassertank (Außenaufstellung) als Wärmequelle genutzt, bis das darin enthaltene Wasser durchgehend gefroren ist. Im Phasenübergang von flüssig zu fest kann eine hohe Wärmeenergiemenge entzogen werden. Die Nutzung des Phasenübergangs erhöht den Energieinhalt des Speichers signifikant und reduziert die Speichergröße gegenüber einem klassischen Speicher ohne Phasenübergang. Dieses System ist besonders vorteilhaft, wenn Kälte und Wärme im Gebäude gleichzeitig anfällt. Sowohl Umgebungs-, Sonnen- und Erdwärme sind nutzbar. Eine möglichst kontinuierliche Regeneration des Speichers ist erforderlich.

Technologien

Anwendung der Serverabwärme zur TWW



Server stellen ein großes Potenzial als Wärmequelle dar. Sie werden meistens 24 h am Tag, 7 Tage die Woche betrieben. Typischerweise werden Server luftgekühlt, die warme Abluft wird in die Umgebung als Abwärme/Abfallprodukt weggeblasen. Bei einer wasserbasierten Kühlung dagegen, kann die Abwärme gefangen und sinnvoll eingesetzt werden. Dennoch, um die Serverabwärme (30°C – 40°C) in das Wärmenetz (35°C +) einspeisen zu können, muss sie meistens mit Hilfe einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau angehoben werden. Da diese Wärme über das ganze Jahr verfügbar ist, ergibt es Sinn sie für die Dauerlast der Trinkwassererwärmung einzusetzen. Im Falle von PPA ist der hohe Anteil der Wohnungsnutzung förderlich. Ebenso kann die Serverabwärme im Winter zur Raumheizung verwendet werden.

Eine erste Abschätzung zum Potenzial der Serverabwärme wurde auf Basis der thermischen Simulationen erstellt. Mit einer Serverleistung der 235 kW könnten ca. ~2000 MWh/a Abwärme zur Verfügung gestellt werden. Ohne Berücksichtigung eines thermischen Speichers könnte ~1700 MWh/a (Nutzungsgrad 83% der Abwärme = 1700 / 2000 MWh/a) davon in das Trinkwarmwassernetz eingespeist werden, damit wäre ein 47% Deckungsgrad (1700 / 3600 MWh/a) der Trinkwarmwasserenergiebedarf erreicht.

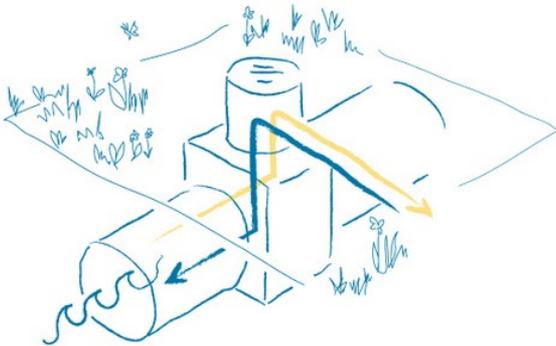
Technologien

Abwasserwärmetauscher



Dieses Verfahren nutzt die im Abwasser enthaltene Restenergie, welche ein nicht zu unterschätzendes Abwärme-Potenzial bietet. Aufgrund der in der Regel hohen Abflussraten und den, selbst im Winter, vergleichsweise hohen Temperaturen ist ein effizienter Wärmeentzug möglich. Im Sommer kann das Abwasser als Wärmesenke für den Kühlbedarf verwendet werden. Die an das System angeschlossene Wärmepumpe betreibt ein Niederenergiesystem. Die Leistung des Systems ist von der Durchflussmenge und Temperaturniveau abhängig. Großer Vorteil des Abwasserwärmetauscher ist, dass er asymmetrisch angefahren werden kann, sprich die Jahresbilanz zwischen Heiz- und Kühllast muss nicht ausgeglichen sein (wie bei manchen Geothermieanlagen).

Für die Nutzung der Abwasserwärme können so genannte Rinnenwärmetauscher (begehbare Edelstahlrinne mit Plattenwärmetauschern im Abwasserkanal) oder By-Pass-Systeme (mit Förderpumpe) verwendet werden. Für Ersteres wird ein Hauptkanal von mind. DN 1000 benötigt. Die Möglichkeit der Umsetzung solcher Vorhaben sind mit dem zuständigen Amt für Stadtentwässerung zu klären.



Quelle: © transsolar.com

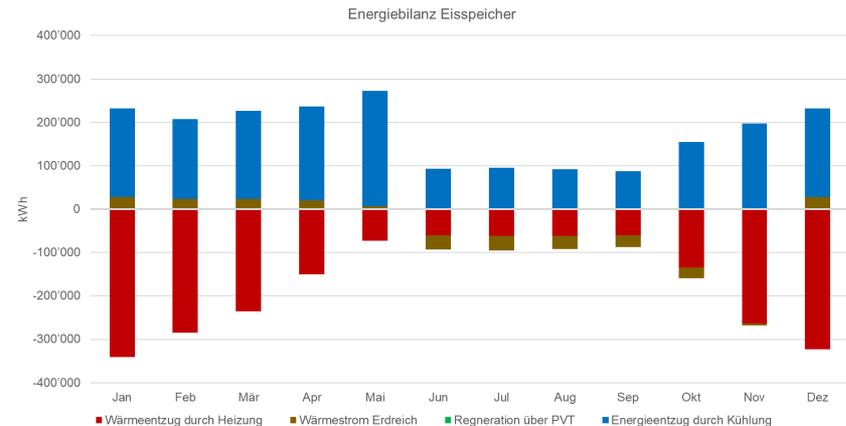
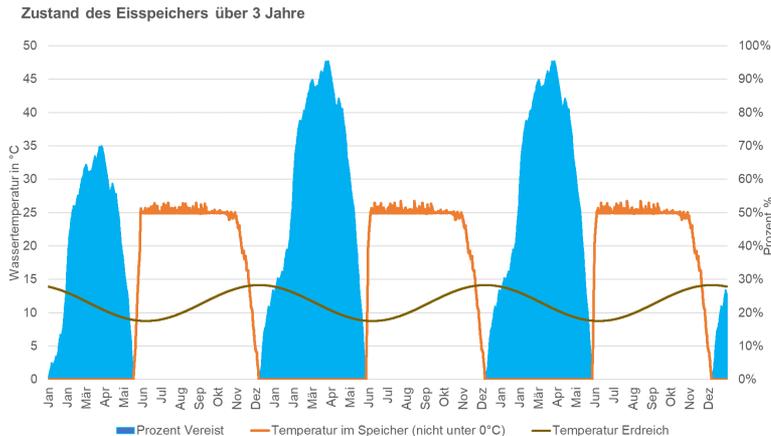
Abschätzung Eisspeicher

Abschätzung Eisspeicher

Zustandsberechnung

Basierend auf den Ergebnissen der thermischen Gebäudesimulation wurde der Zustand des Eisspeichers (Volumen 3140 m³) über 3 Jahre simuliert. Der Einfluss des Erdreiches ist dabei berücksichtigt. Nur ein Anteil der Wärmelasten und Kühllasten wurden über den Eisspeicher gedeckt, um die Temperaturanforderungen des Speichers einzuhalten. Im Diagramm sind die Speichertemperatur (orange), der Vereisungsgrad (blau) und die Erdreichtemperatur (braun) dargestellt. Es wird deutlich, wie der Eisspeicher im Winter immer mehr vereist und sich dann das Eisvolumen im Frühjahr wieder abbaut. Die Maximaltemperatur des Eisspeichers wird als 25°C angenommen. Wenn der Eisspeicher keine Kapazität mehr hat, um mehr Abwärme aufzunehmen, müssen die Kühllasten durch einen Kälteerzeuger (Fernkälte oder luftgekühlte Kältemaschine) gedeckt werden.

Im Sommer dient der Eisspeicher als Wärmesenke für die Wärmepumpe (betrieben als Kältemaschine). Die Speichertemperatur erhöht sich dann auf ca. 25 °C. Neben der Regeneration durch das Erdreich könnten diese erhöhten Temperaturen dann wieder ohne hohen Stromaufwand über hybride Photovoltaik-Thermische Kollektoren (z.B. bei Nacht) an die Umwelt abgegeben werden.



Abschätzung des Eisspeichers

Energiebilanz



Die Energiebilanz des Eisspeichers zeigt die Energie, die dem Speicher durch Heizung, das Erdreich, und Kühlung entzogen bzw. zugeführt wird. Wird dem Speicher Wärme zugeführt, ist die Energie in der Bilanz positiv dargestellt. Wird Wärme entzogen, ist diese im Diagramm negativ zu sehen. Im Winter, in dem vor allem geheizt wird, sollte dem Eisspeicher zur Regeneration Wärme (z.B. Server Abwärme, Abwärme der Kältemaschine und Solarenergie) zugeführt werden, um das Potenzial des Speichers zu maximieren. Im Sommer wird bereits im Juni die Maximaltemperatur (25°C) erreicht. In den nachfolgenden Monaten ist die Leistung sehr eingeschränkt, da bei dieser Betrachtung die Wärme nur an das Erdreich abgegeben wird. Damit Kapazität über den ganzen Sommer verfügbar ist, muss der Eisspeicher durch andere Maßnahmen regeneriert werden (Wärme entzogen), z.B. durch Wärmeabgabe über Rückkühler oder gegen den kalten Nachthimmel über PVT-Kollektoren (wenn Außenlufttemperatur < Speichertemperatur), oder andere Wärmeabnehmer.

Diese Abschätzung zeigt, dass ein Eisspeicher für das Projekt grundsätzlich möglich ist - jedoch auch, dass Optimierungsbedarf besteht. Im nächsten Schritt wird empfohlen, Optimierungsmaßnahmen genauer zu untersuchen, die die Leistung des Eisspeichers verbessern können.