



Gutachten Energiekonzeption und quantitative Analysen

Projekt: **Bebauungsplan mit Grünordnung**
Nr. 2145 – Neuperlach, München

Auftraggeber: **BSC München Grundstücks GmbH & Co. KG**
Ulmenstraße 18, 60325 Frankfurt am Main

Verfasst durch: **Transsolar Energietechnik GmbH**
Curiestraße 2, 70563 Stuttgart

Datum: 15.07.2022

Inhaltsverzeichnis

1. Darstellung der Grundlagen	4
2. Konzepte der Wärmeerschließung	7
a. Fernwärme	8
b. Geothermie	9
3. Energiebedarf der zukünftigen Gebäude	14
a. Tageslichtautonomie	14
i. Gesamttransparenz 40%	16
b. Strombedarf	17
c. Wärmedarf	19
i. IST-Fall (gesetzlicher Standard)	19
ii. Prognose-Fall (KfW Effizienzhaus 40 Wohngebäudestandard und KfW Effizienzhaus 55 Nichtwohngebäudestandard (Gewerbe))	21
iii. Prognose-Fall (Passivhaus)	23
4. Wärmeversorgung aus Nutzersicht	26
a. Annahmen	26
b. Umweltwirkungen (CO ₂ Berechnung der Treibhausgasemissionen im Betrieb)	27
i. IST-Fall (gesetzlicher Standard)	28
ii. Prognose-Fall (KfW Effizienzhaus 40)	28
iii. Prognose-Fall (Passivhaus)	29
c. Wirtschaftlichkeit	30
i. IST-Fall (gesetzlicher Standard)	30
ii. Prognose-Fall (KfW Effizienzhaus 40)	31
iii. Prognose-Fall (Passivhaus)	31
5. Weitere Empfehlungen zur Reduktion des Energiebedarfs	33
a. Dachflächen	33
Solarstromerzeugung am Gebäude (Solarenergienutzung Dach/ Fassade)	37
b. Einsatz ökologischer Baumaterialien (z.B. Holzbau) und Baustoffe	37
c. Potential von Fassadenbegrünung	38

d.	Nutzung von PV-Strom für Elektromobilität	38
e.	Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudemaßstab	40
6.	Abbildungen	42
a.	Copyright	42
b.	Abbildungsverzeichnis	42

1. Darstellung der Grundlagen

Das untersuchte Gebiet liegt an der Kreuzung zwischen dem Otto-Hahn-Ring und der Carl-Wery-Straße. Hierbei handelt es sich um ein Parkplatzgelände des südlich angrenzenden Unternehmens Siemens. Abb. 1-1 zeigt die Lage im Gebiet Neuperlach.



Abbildung 1-1: Standort, Copyrights Landeshauptstadt München



Abbildung 1-2: Nutzungskonzept Erdgeschoss, Prof. Biedermann Architekten

In Abb. 1-2 wird das Nutzungskonzept im Erdgeschoss des Stadtquartiers beschrieben. Die darüber liegenden Stockwerke sollen für Wohnquartiere zur Verfügung gestellt werden. In den Abbildungen unten sind die Aufteilungen der Geschossflächen (GF) sowie der Nettogeschossflächen (NGF) der einzelnen Höfe dargestellt. Hier wurde die GF in erster Näherung mit dem Faktor 0.8 multipliziert.

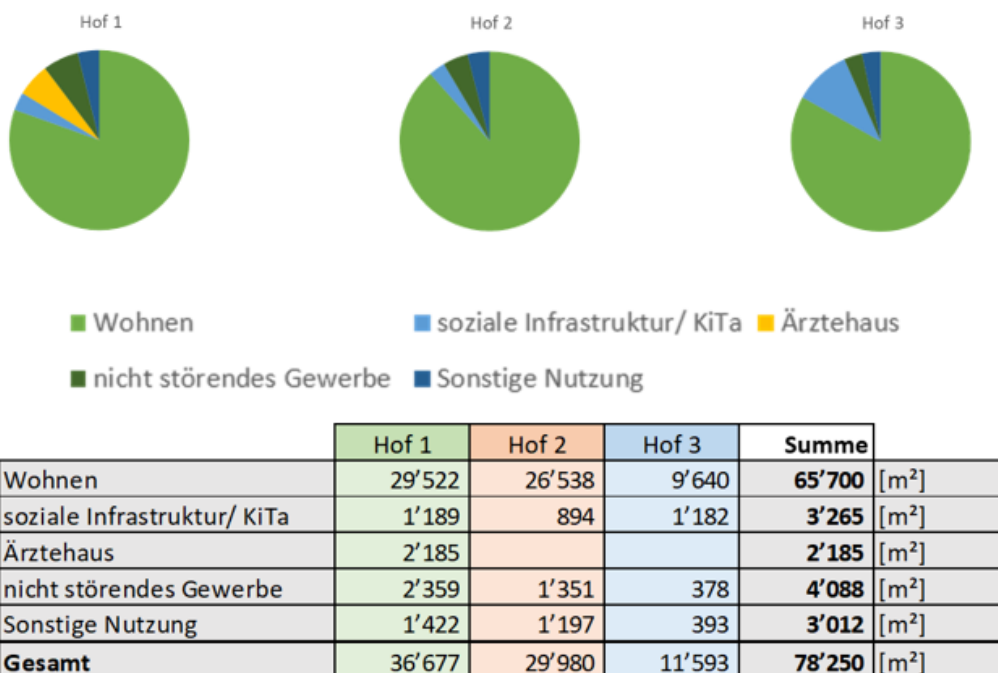
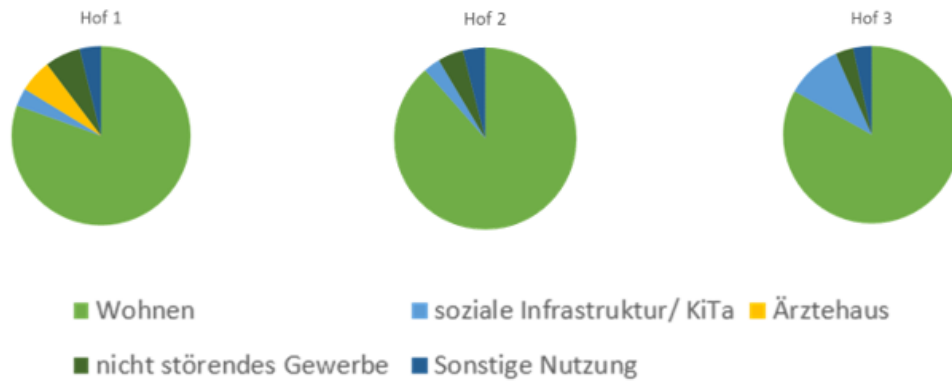


Abbildung 1-3: Flächenverteilung GF (Entwurf Prof. Biedermann Architekten)



	Hof 1	Hof 2	Hof 3	Summe	
Wohnen	23'618	21'230	7'712	52'560	[m ²]
soziale Infrastruktur/ KiTa	951	715	946	2'612	[m ²]
Arzttehaus	1'748			1'748	[m ²]
nicht störendes Gewerbe	1'887	1'081	302	3'270	[m ²]
Sonstige Nutzung	1'138	958	314	2'410	[m ²]
Gesamt	29'342	23'984	9'274	62'600	[m ²]

Abbildung 1-4: Flächenverteilung NGF (Entwurf Prof. Biedermann Architekten)

Ein 3D-Modell wurde bereitgestellt und in die Analysen mit aufgenommen. Hierdurch werden die Baukörper, deren Orientierung von Fassadenflächen, Verschattungen und die Kompaktheit in einem thermodynamischen Modell abgebildet.



Abbildung 1-5: Geometrie, Prof. Biedermann Architekten

Im städtebaulichen Wettbewerb wird auf Baukörper und Freiraumanlagen eingegangen. Bauliche Ausführungen der einzelnen zukünftigen Gebäude werden zu einem späteren Zeitpunkt in einem kleinerem Maßstab adressiert. Dennoch erfordern die Analysen des städtebaulichen Entwurfs Annahmen wie Baustandards (unterschiedliche Varianten werden

im Folgenden untersucht), aber auch Annahmen zu energierelevanten Themen wie z.B. Fensterflächenanteil.

Für alle Untersuchungen wurde hierzu ein je nach Orientierung unterschiedliches Fenster/Wand Verhältnis angesetzt. Je nach Solareintrag im Winter, wurde größere Fensteranteile angenommen, wie in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Fenster/Wand Verhältnis

Nord: 30% -Fensteranteil

Ost: 40% -Fensteranteil

West: 40% -Fensteranteil

Süd: 50% -Fensteranteil

2. Konzepte der Wärmeerschließung

Ein Großteil des gebäudebezogenen Nutzenergiebedarfs geht mit dem Heizen der Gebäude einher. Die Wärmeversorgung bringt im Vergleich z.B. zur Stromversorgung deutlich mehr wichtige städtebauliche Fragen mit sich.

Von den untersuchten Wärmeversorgungsoptionen haben sich zwei lokale, für das Gelände spezifische und interessante Wärmequellen herauskristallisiert, die Fernwärme und die (oberflächennahe) offene Geothermie über Grundwasser. Diese zwei unterschiedlichen lokalen Wärmepotentiale wurden untersucht, deren Machbarkeit adressiert und bzgl. ihrer Klimaauswirkungen bewertet.

a. Fernwärme

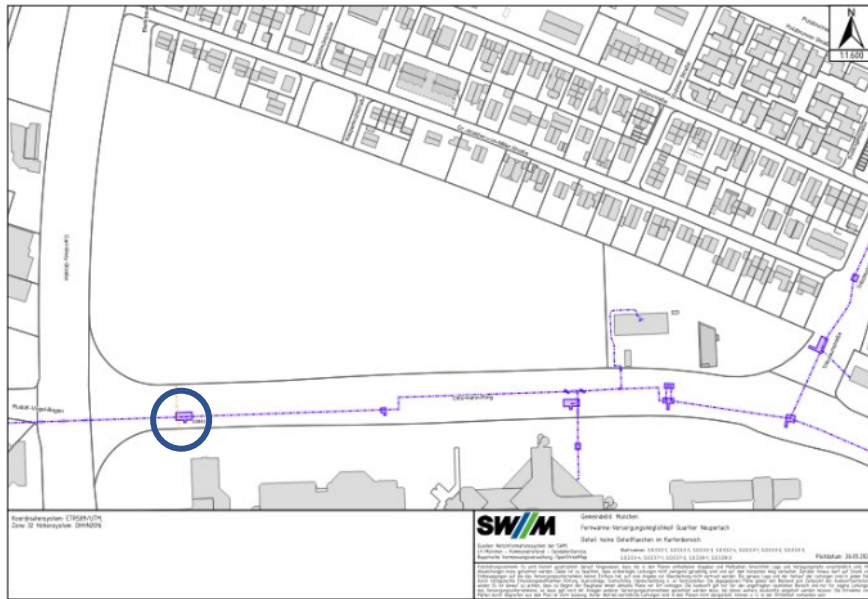


Abbildung 2-1: Fernwärmearbeitsplan, SWM

Zum Konzept der Fernwärme wurden in Zusammenarbeit mit den Stadtwerken München (SWM) die aktuellen Pläne der Fernwärmetrasse gesichtet. Im Otto-Hahn-Ring besteht schon eine Fernwärme-Infrastruktur mit einer Transportkapazität von 90 MW. Aktuell ist die Anschlussstelle (Kreismarkierung in Abb. 2-1) stillgelegt, könnte jedoch wieder erneuert werden. Das heißt, dass das Gebiet des Stadtquartiers mit ca. 2-3 MW Anschlussleistung versorgt werden kann.

Hierzu wäre ein lokales Wärmenetz zu legen, um die Wärme für die entsprechenden Baukörpern bereitzustellen.

Eine Preiszusammensetzung der Betriebskosten zeigt beispielhaft Abb. 2-2. Diese besteht aus den jeweiligen Arbeitspreis (Cent pro kWh) und dem Grundpreis/Leistungspreis (Euro/kWp und Jahr) zusammen. Der Arbeitspreis ist abhängig vom tatsächlichen Verbrauch; der Grundpreis hängt von der maximal erfordernten Leistung zu Peakzeiten des Verbrauchs ab.

Beide wurden in dynamischen Modellen für verschiedene Varianten untersucht und werden in Kapitel 3 und 4 beschrieben.

M-Fernwärme Preise	netto	brutto	
ARBEITSPREIS			
Heizwassernetz oder	49,28 4,93	58,64 5,87	Euro/MWh Cent/kWh
Dampfnetz (1,42 m ³ Kondensat entsprechen 1 MWh)	34,70	41,29	Euro/m ³
Wärme für Warmwasserbereitung in Fürstenried, Neuforstenried und Parkstadt Solln	4,54	5,40	Euro/m ³
GRUNDPREIS	40,21	47,85	Euro/kW und Jahr

Abbildung 2-2: SWM-Fernwärme Preise, SWM

Da Neubauten eine relativ geringe Heizleistung haben und typischerweise mit Strahlungsheizung (Fußbodenheizung, 35°C) geheizt wird, bietet es sich an, den Rücklauf der Fernwärme bei einem geringeren Temperaturniveau (50-60°C) zu beziehen. Dies wird vom Fernwärmeerzeuger gewünscht und reduziert Leitungsverluste. Die Temperatur wird durch das erwünschte Temperaturniveau der Warmwasserstrategie bestimmt.

b. Geothermie

Zur Bereitstellung der Daten wurden zwei Quellen hinzugezogen: Das Geoportal München und das Referat für Klima- und Umweltschutz, Sachgebiet Wasserrecht.

Erste Untersuchungen ergeben, dass Erdsonden auf dem Areal möglich, aber relativ aufwändig sind. Für den Standort werden daher Grundwasserbrunnen als besser geeignet erachtet. Die geschätzten Anschaffungskosten liegen bei Erdsonden typischerweise um den Faktor 2-3 über den Investitionskosten einer Grundwasserbrunnenanlage.

Südlich des Gebiets liegt ein Produktions- und Verwaltungsstandort des Unternehmens Siemens mit einer großen Brunnenanlage (30'000.000 m³/a), die zum Kühlen verwendet wird. Hier wurden durch die Auslagerung der Chipproduktion aus dem Betriebsgelände Kapazitäten frei, die auf ca. 1/3 der gesamten Leistung (ca. 10'000'000 m³/a) geschätzt werden. Die geschätzte Kälteleistung der kompletten Brunnenanlage beläuft sich auf ca. 15.9 MW. Daher ist die Möglichkeit der geothermischen Nutzung des Grundwassers auf dem jetzigen Parkplatzgelände grundsätzlich möglich.

Die folgenden Abbildungen geben ein genaueres Bild zu den exzellenten geothermischen Grundwassersituation vor Ort – mit thermischen Leistungen von über 500kW pro Brunnenanlage.

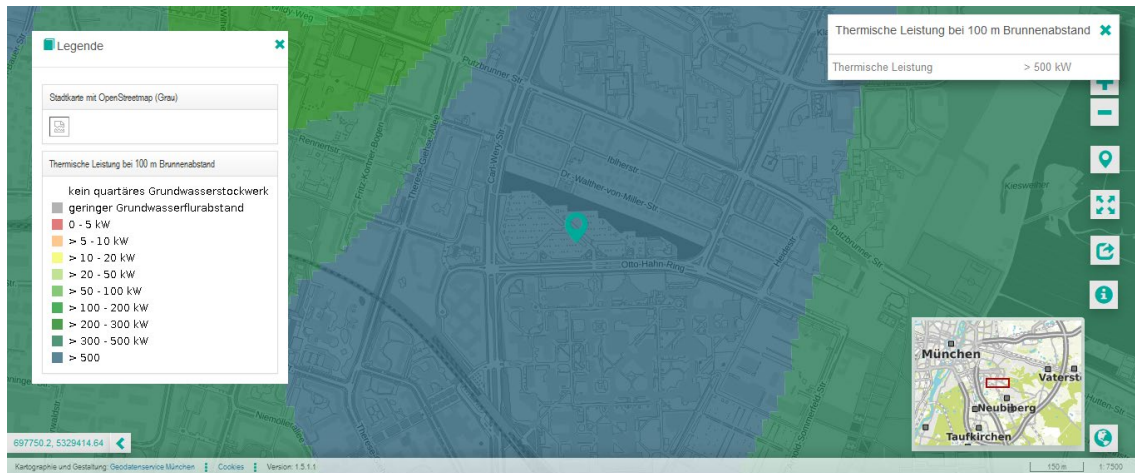


Abbildung 2-3: Thermische Leistung, Geoportal München

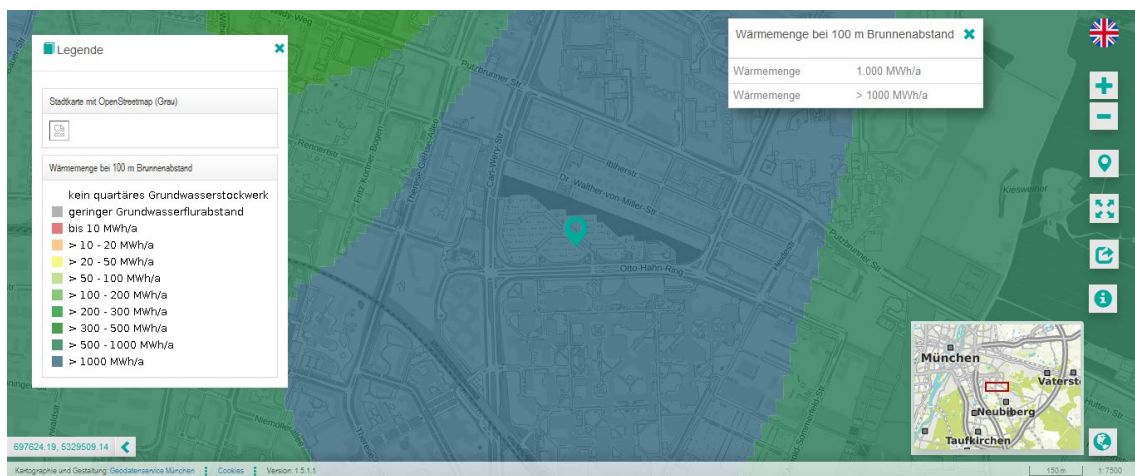


Abbildung 2-4: Wärmemenge, Geoportal München

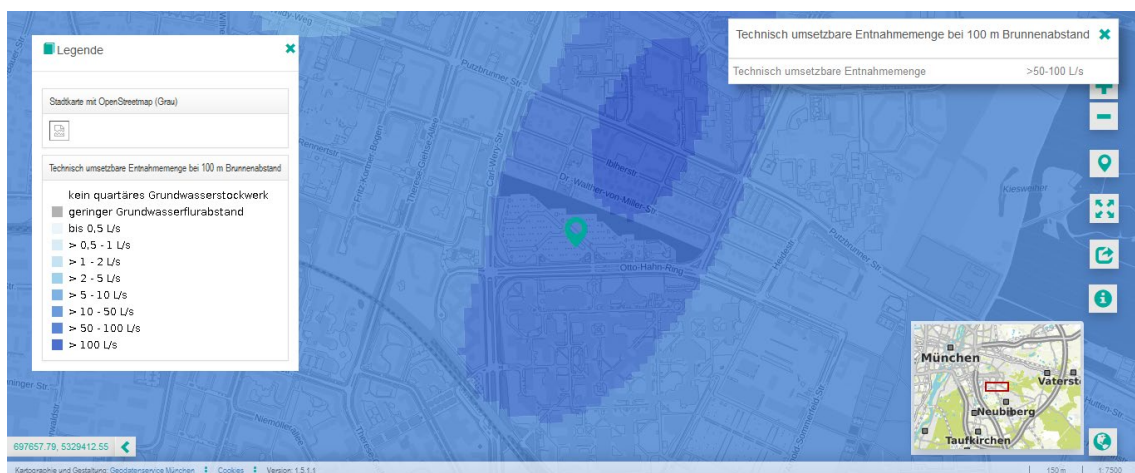


Abbildung 2-5: Technisch umsetzbare Entnahmemenge, Geoportal München

- Technisch umsetzbare Entnahmemenge:

1'576'800 m³/a – 3'153'600 m³/a

- Thermische Leistung:
>500 kW
- Wärmemenge:
>1000 MWh/a

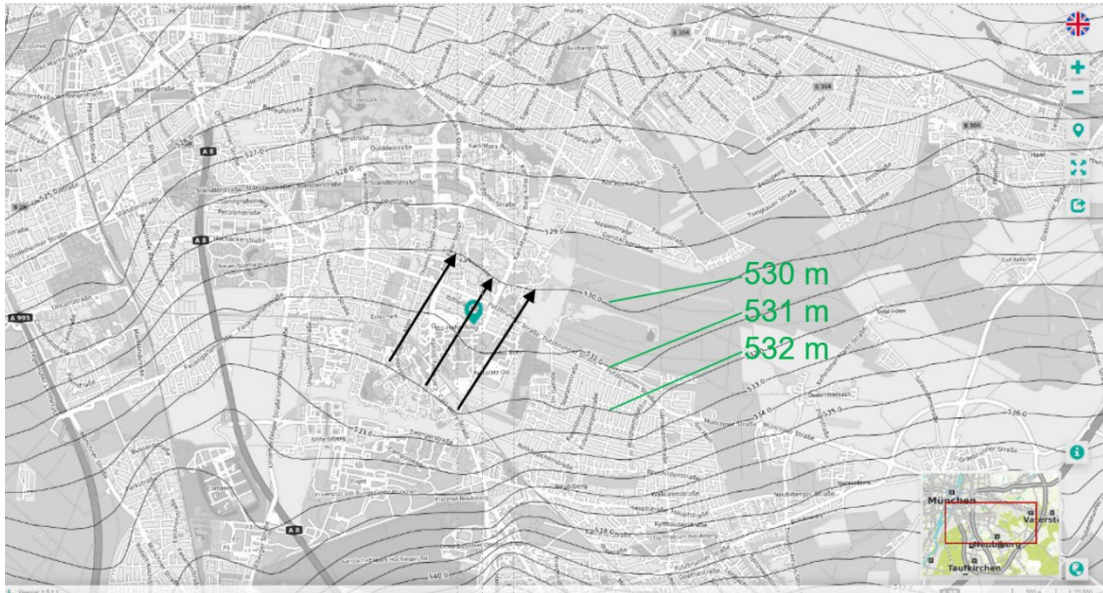


Abbildung 2-6: Fließrichtung Süd/Süd-West nach Nord/Nord-Ost, Geoportal München

Erklärung zur Auswahl von «100m Brunnenabstand»:

100 m Brunnenabstand = Abstand zwischen Schluck- und Saugbrunnen (Große Anlage)

100 m Abstand sind nötig, damit kaltes, geothermisch genutztes Rückwasser (dem die Wärme entzogen wurde) nicht wieder von der gleichen Anlage eingesogen wird und so bereits gekühltes Wasser benutzt werden würde. Bei der großen Schluckmenge des Brunnens wäre so etwas durchaus möglich. Nach erster Einschätzung wird es bei drei Millionen Liter (100 l/s) Entnahmemenge pro Jahr keinen maßgeblichen Einfluss auf das Grundwasser an diesem Standort geben. Dies betrifft sowohl die Temperatur als auch den Grundwasserstand. Für eine Anlage dieser Größe werden 2- 3 Brunnenpaare empfohlen, wobei ein Paar als Ausfallsicherung bereitstehen soll. Um die genauen Bedingungen vor Ort zu testen, werden frühzeitig geotechnische Bohrungen zur Untersuchung der Entnahmeleistungen empfohlen.

Nach ersten Berechnungen kann an diesem Standort mit drei Brunnen etwa eine Leistung von ca. 1.67 MW erreicht werden.

Prinzipiell wird die Nutzung des Grundwassers zum Heizen des Erdreichs und das Grundwasser etwas abkühlen, wovon andere Nutzer, die Kälte benötigen, profitieren. Vor dem

Hintergrund des Klimawandels kann daher das Grundwasser theoretisch auch zum Freien Kühlen des Quartiers genutzt werden, und zwar ohne Kältemaschinen.

Auch wenn die Grundwasserpotenziale nicht von der Hand zuweisen sind, sollte, um eine abschließende Bewertung vornehmen zu können, ein geothermisches Gutachten im Hinblick auf die thermische Nutzung des Grundwassers für das Baufeld in Auftrage gegeben werden. Hierbei wird u.a. die Genehmigungsfähigkeit der thermischen Nutzung der Grundwasserbrunnen abschließend untersucht und die zu schaffenden notwendigen Randbedingungen (Notwendigkeit von Schluckbrunnen, Anforderungen an die Wasserqualität vor der Verpressung) abgeklärt. Gleichzeitig sollten Untersuchungen zur Wasserqualität des gefördertem Wassers, notwendigen Filteranlagen sowie zu den zu erstellenden technischen Einbauten zur Förderung des Wassers angestellt werden.

Bei der Grundwassernutzung handelt es sich, ähnlich wie bei der Erzeugung von Strom durch PV Anlagen (siehe Kapitel 5), um eine sehr lokale Maßnahme, im Gegensatz zur Nutzung von Fernwärme (städtischer Maßstab) oder Bezug von grünem Strom (regionaler oder nationaler Maßstab).

Im Folgenden werden die Energieversorgungsvarianten im Vergleich zu konventionelle Wärmeversorgung durch Gas miteinander parallel betrachtet, mit Augenmerk auf die CO₂ Emissionen.

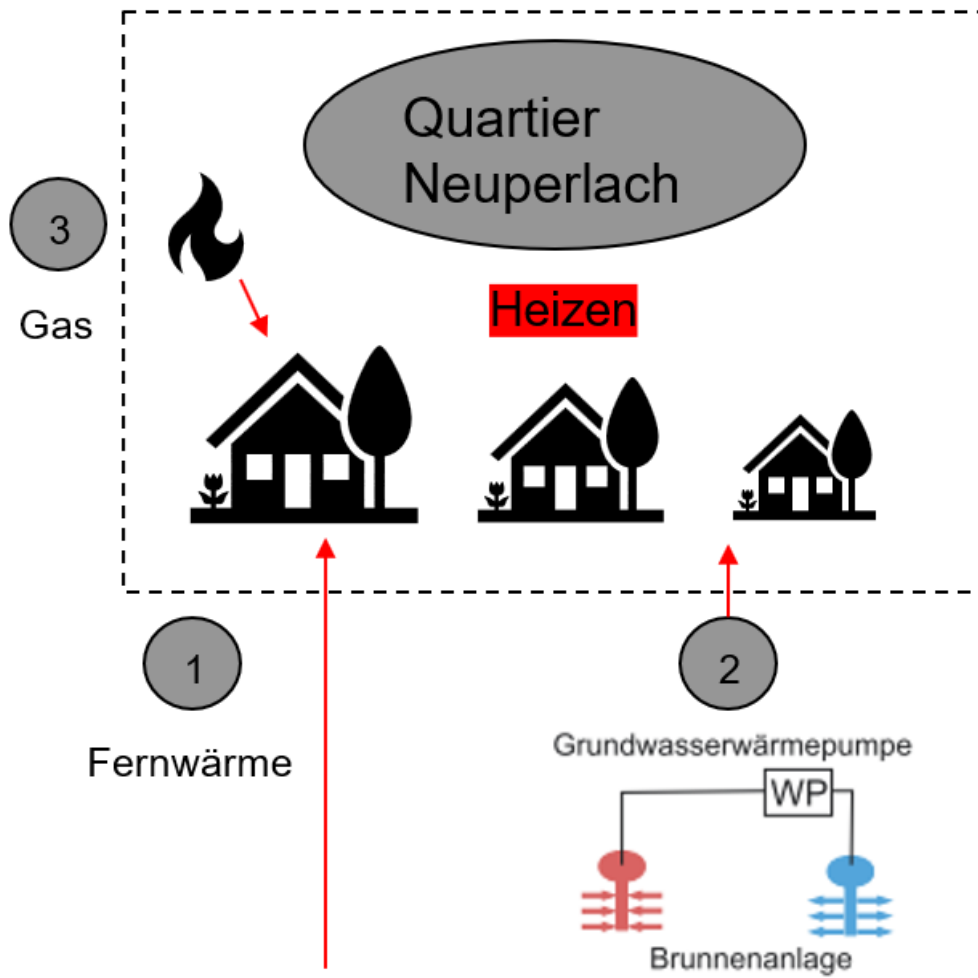


Abbildung 2-7: Deckung Wärmebedarf - Untersuchte Varianten

3. Energiebedarf der zukünftigen Gebäude

Der Entwurf wurde hinsichtlich des Energiebedarfs analysiert, um die mögliche Energieerzeugung vor Ort mit dem Energieverbrauch in Relation zu setzen.

Die wichtigsten Verbraucher sind

- Kunstlicht
- Strombedarf der Nutzer
- Heizwärmebedarf und damit einhergehender Pumpenstrom.

Die Notwendigkeit für künstliches Licht und dessen Energiebedarf ist umso niedriger, je mehr Tageslicht in den Gebäuden verfügbar ist. Daher wurden zunächst die Tageslichtpotentiale des Entwurfs analysiert.

a. Tageslichtautonomie

Definition:

Die Tageslichtautonomie (DA) ist der prozentuale Anteil der Belegungszeit im Jahr, während der die erforderliche Mindestbeleuchtungsstärke (z.B. 200 Lux) auf Nutzenebene allein durch Tageslicht erfüllt wird. Eine Tageslichtautonomie von z. B. 70 % bedeutet, dass der Einsatz von künstlicher Beleuchtung nur für 30 % der Belegungszeit notwendig ist.

sDA

Die räumliche Tageslichtautonomie beschreibt den prozentualen Anteil der Bodenfläche, die während mindestens 50 % der jährlichen Belegungszeit mindestens 200 Lux erhält, gemessen auf der horizontalen Arbeitsebene.

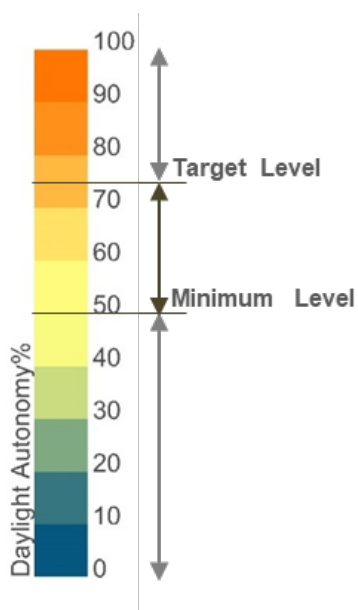


Abbildung 3-1: Tageslichtautonomie, Legende

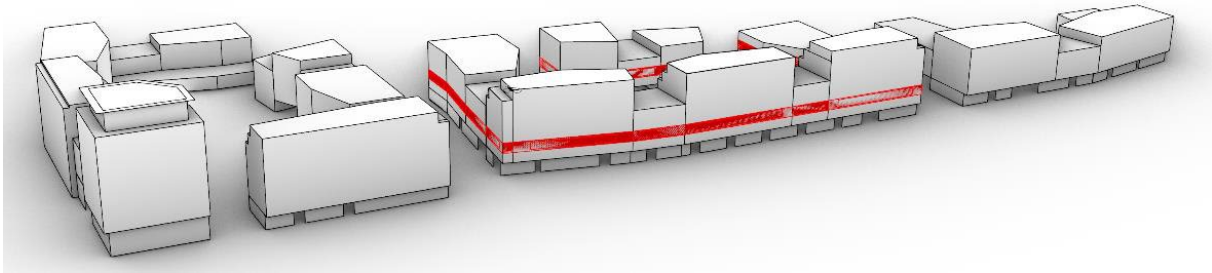


Abbildung 3-2: Potentialmodell ohne Trennwände, Beispiel Hof 2 (rot markiert das im Folgende dargestellte Geschoss)

Die Versorgung mit Tageslicht hängt auch vom Reflexionsgrad der Bebauung ab, was im Folgenden approximiert wurde.

Material Reflexionsgrad

- Grund und Kontext = 40%
- Wände = 70%
- Kontexte = 40%
- Boden = 20%
- Decke = 70%
- Fassadentransparenz = 40%, 30% (siehe Variantenvergleich ff.)

Parameter der Simulation

- Betriebszeit: 8 Uhr bis 18 Uhr
- Untersuchtes Messgitter 0.50 x 0.50 m
- Höhe der Testpunkte: 0.75 m über dem fertigen Fußboden

i. Gesamttransparenz 40%

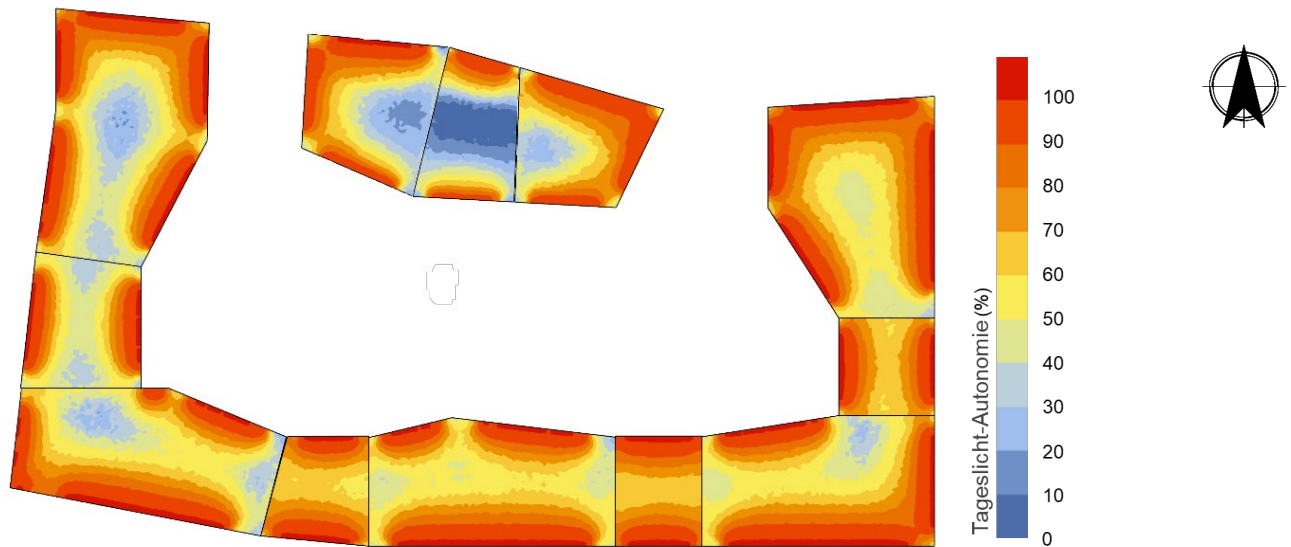
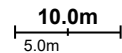


Abbildung 3-3: Modell mit Fassadentransparenz von 40%

sDA = 74.6% / Avg. Lux = 1050

Analysierte Fläche= 5203m²



Die Ergebnisse zeigen, mit Ausnahme der tieferen Zonen der Kerne der Baukörper, eine hohe Tageslichtautonomie, worauf sich die begrenzte Notwendigkeit für Kunstlicht gründet. Die tageslichttechnische Optimierung der Grundrisse erfordert weitere Analysen.

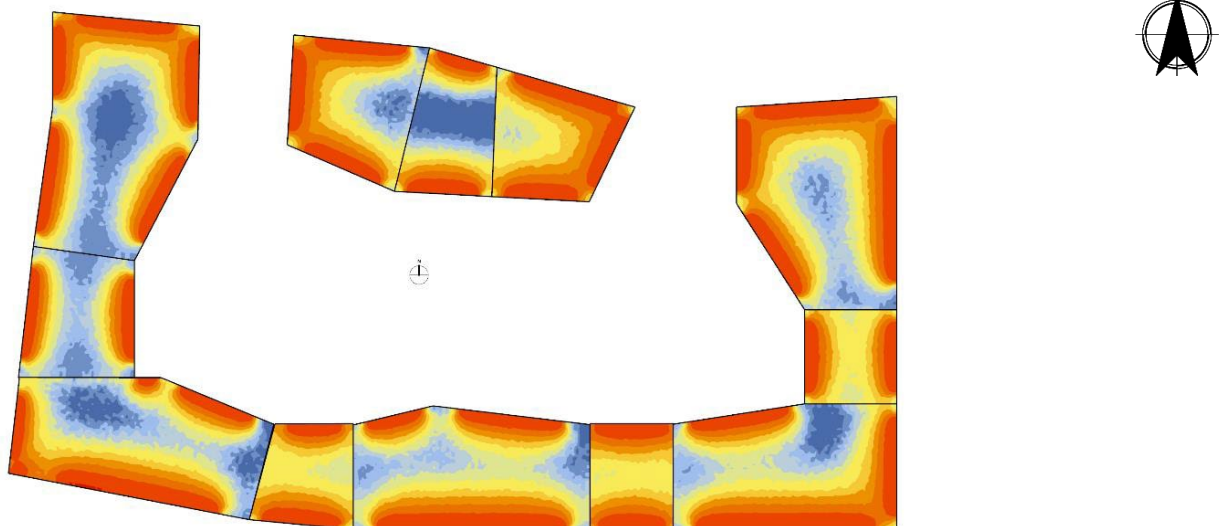
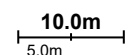


Abbildung 3-4: Modell mit Fassadentransparenz von 30%

sDA = 56.9% / Avg. Lux = 780

Analysiertes Areal = 5203m²

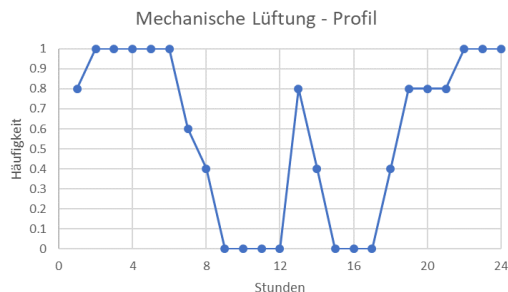
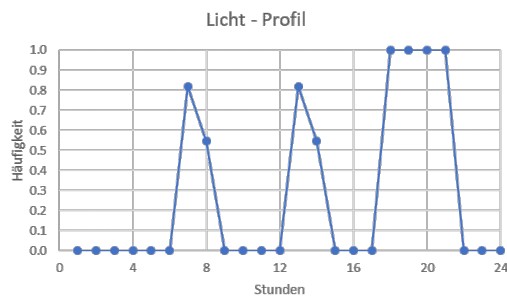
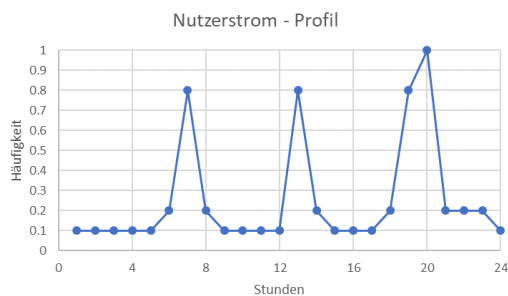


b. Strombedarf

Der prognostizierte Gesamtstrombedarf des Quartiers wird im Folgenden beschrieben. Die Betrachtung bezieht sich auf den Gesamtenergiebedarf durch Strom zum Zwecke der CO₂ Bilanzierung, nicht auf eine Auslegung der Strominfrastruktur. Strom für potenzielle Wärmeerzeugung (Szenario Geothermie) ist hierbei nicht berücksichtigt, sondern wird im nächsten Abschnitt Wärmeerzeugung behandelt.

Es wird in zwei Anteile unterschieden: Einerseits der Strom, den das Gebäude im Betrieb benötigt; andererseits der Strom, den die Nutzer unabhängig vom Gebäudebetrieb benötigen (z.B. Kühlschrank, Fernseher, etc.), bislang einschließlich des Stroms für Elektromobilität. Da der Punkt der Elektromobilität sich in Zukunft potenziell stark erhöhen wird, muss er gesondert betrachtet werden.

- Gebäudebetrieb
 - Licht
 - Mechanische Lüftung
 - Pumpenstrom
- Nutzerstrom
- (Elektromobilität)



Pumpenstrom - Profil

- Pumpenstrom Lastprofil abhängig von Lastkurve Wärmebedarfs

Abbildung 3-5: Stromprofile

Grundsätzlich kann festgehalten werden:

- Profile wurden unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeiten erstellt und entsprechen nicht der installierten Leistung, sondern der dynamischen Entzugsleistung.
- Die Häufigkeitsverteilung ergibt sich aus der Belegung durch die Bewohner*innen.
- Daten und Profile wurden der SIA 2024:2015 entnommen
- Lichtlastprofile lassen eine saisonale Sommer- und Winternutzung erkennen

Den Strombedarf (ohne Elektromobilität) stellen die folgenden Graphen für die einzelnen Höfe und das gesamte Quartier dar. Für die Zwecke der Klimaprognose wird von einer Entzugsleistung von ca. 500 kW ausgegangen

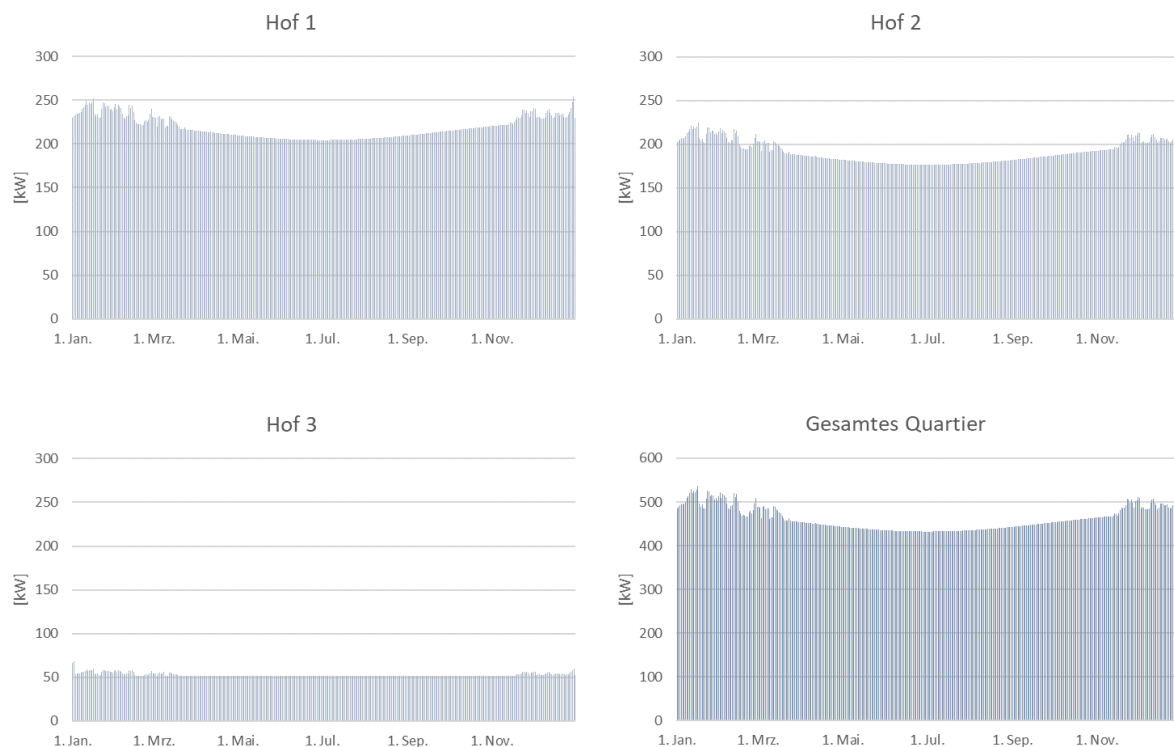


Abbildung 3-6: Strombedarf Lastkurven je Hof & Gesamt,

Die Jahresdauerlinie in Grafik 3.8 ordnet die Entzugsleistungen nach Intensität. Die Fläche unter der Kurve entspricht dem gesamt jährlich strombezogenen Energiebedarf für das gesamte Quartier.

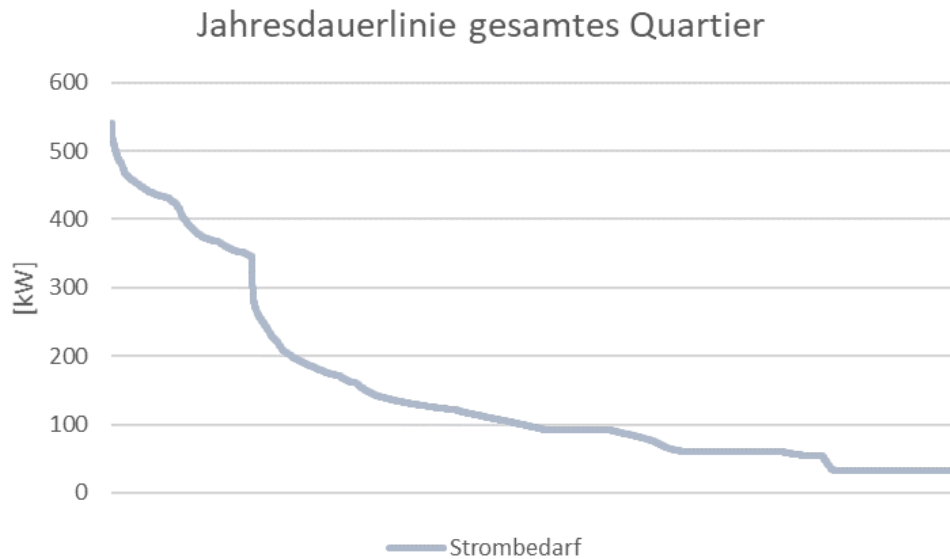


Abbildung 3-7: Strombedarf Jahresdauerlinie gesamtes Quartier

c. Wärmedarf

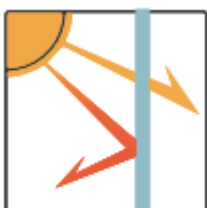
Heizwärmebedarf hängt stark von der thermischen Qualität der Gebäudehülle ab, vom sog. baulichen Standard. Um den städtebaulichen Maßstab mit dem Gebäudemaßstab zu verknüpfen, wurde in Varianten untersucht.

Der Wärmebedarf wird anhand von drei Fällen unterschieden. Für den ersten Fall wurden Daten aus dem EnEV-Standard hinzugezogen und eine Simulation für ein Referenzgebäude durchgeführt, um eine Gesamtwärmelast (in kW) zu errechnen. Diese wurden dann für jede Variante wiederholt.

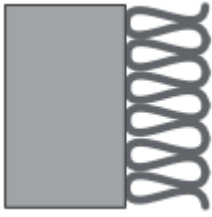
Am Anfang eines jeden Falles werden die angenommen Randbedingungen genauer dargestellt. Diese sind vereinfacht in Fenster, Dämmung und Lüftung eingeteilt. Der U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) beschreibt die Durchlässigkeit eines Bauteils für Wärme.

Anschließend ist zu jedem Fall und Hof eine Lastkurve sowie eine Jahresdauerlinie zu unserer Simulation eingefügt.

i. IST-Fall (gesetzlicher Standard)



- 3-fach Verglasung, U_w –Wert: $1.09 \text{ W/m}^2\text{K}$
- G-Wert: 0.407
- f_c - Wert Sonnenschutz außen: 0.3



- Dämmung ~17.5 cm: U –Wert: 0.24 W/m²*k
- Infiltration: 0.15 1/h

Die Ergebnisse der dynamischen Simulation für den gesetzlichen Basisfall (EnEV Mindestanforderungen) werden im Folgenden zusammengefasst.

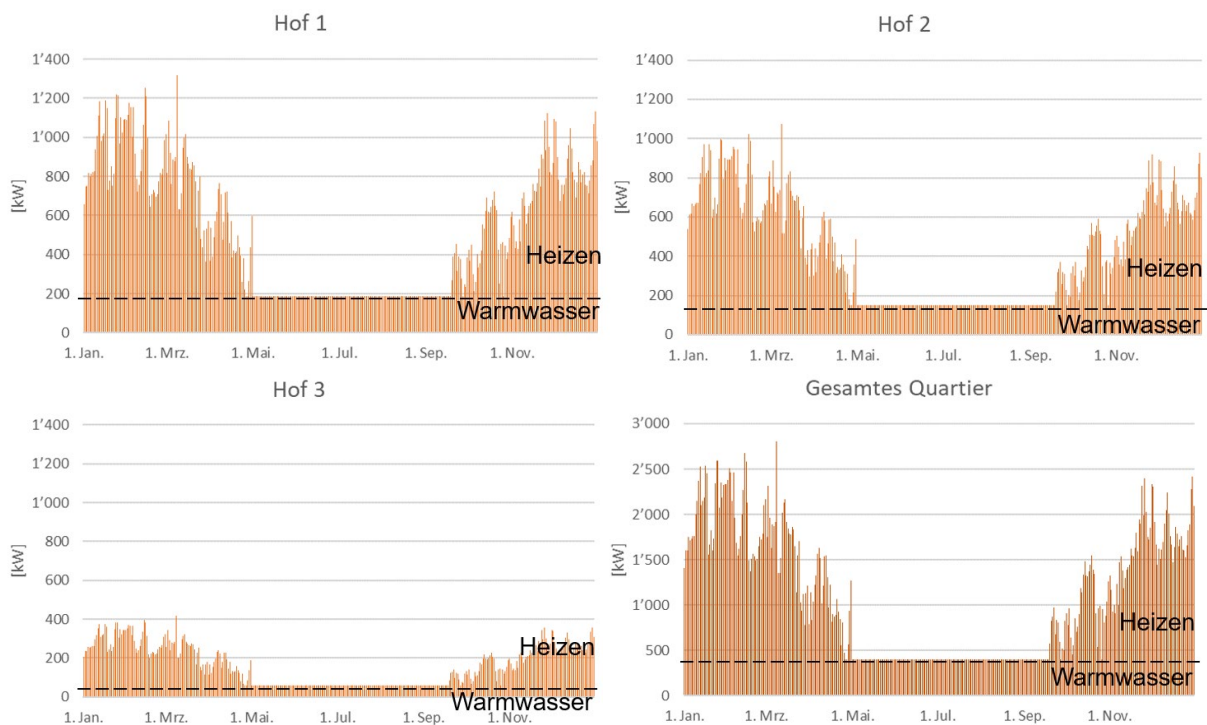


Abbildung 3-8: EnEV Wärmebedarf Lastkurven je Hof & Gesamt

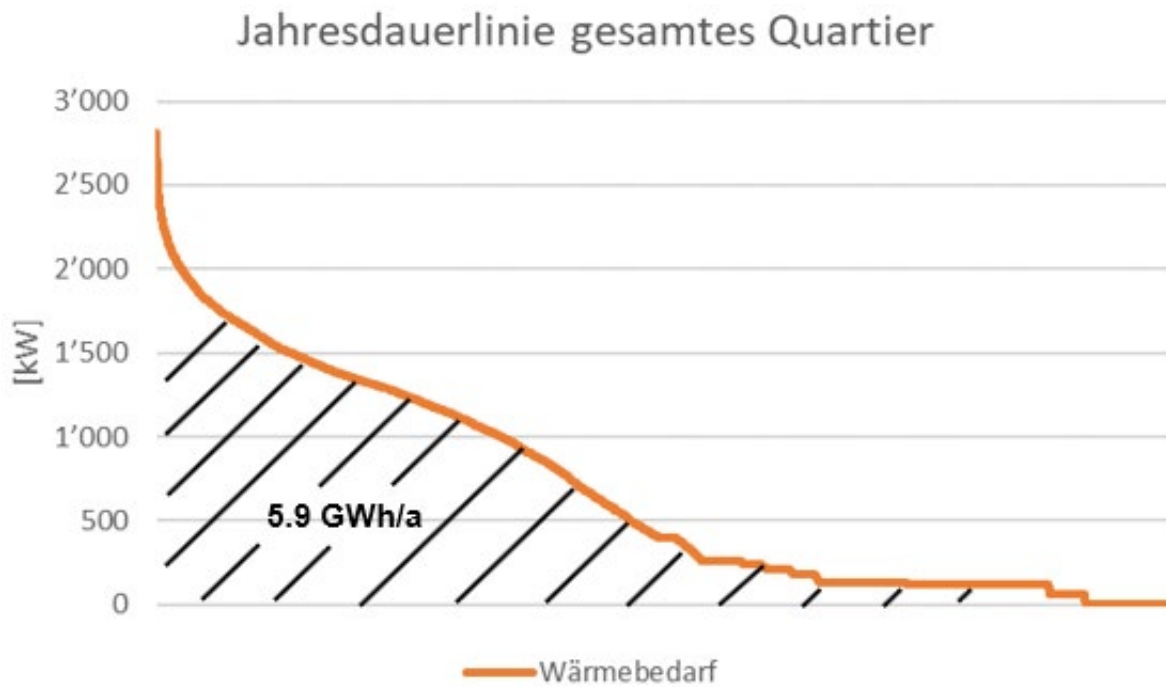
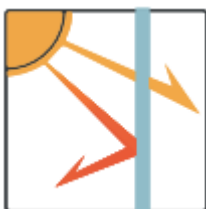


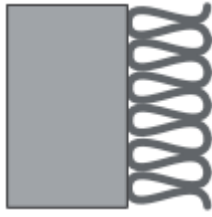
Abbildung 3-9: EnEV Wärmebedarf (Heizen und Warmwasser) Jahresdauerlinie ganzes Quartier

- ii. Prognose-Fall (KfW Effizienzhaus 40 Wohngebäudestandard und KfW Effizienzhaus 55 Nichtwohngebäudestandard (Gewerbe))

Den KfW 40 Standard einzuhalten, stellt typischerweise höhere Anforderungen an die Gebäudehülle. Allerdings kann dieser Standard nicht allein durch höhere Dämmwerte erreicht werden, sondern nur im Zusammenspiel mit einer verbesserten Energieversorgung. Die angenommenen Werte der Gebäudehülle, die nach iterativen Betrachtungen zum EH40 führen können, sind im Folgenden dargelegt:



- 3-fach Verglasung, U_w –Wert: $0.88 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$
- G-Wert: 0.408
- f_c - Wert Sonnenschutz außen: 0.3



- Dämmung ~21 cm: U –Wert: 0.20 W/m²*k
- Infiltration: 0.15 1/h



- Wärmerückgewinnung: 70 %
- Natürlich Lüftung: 0.75 1/h

Die Ergebnisse der dynamischen Simulation werden für den EH40 Standard im Folgenden zusammengefasst.

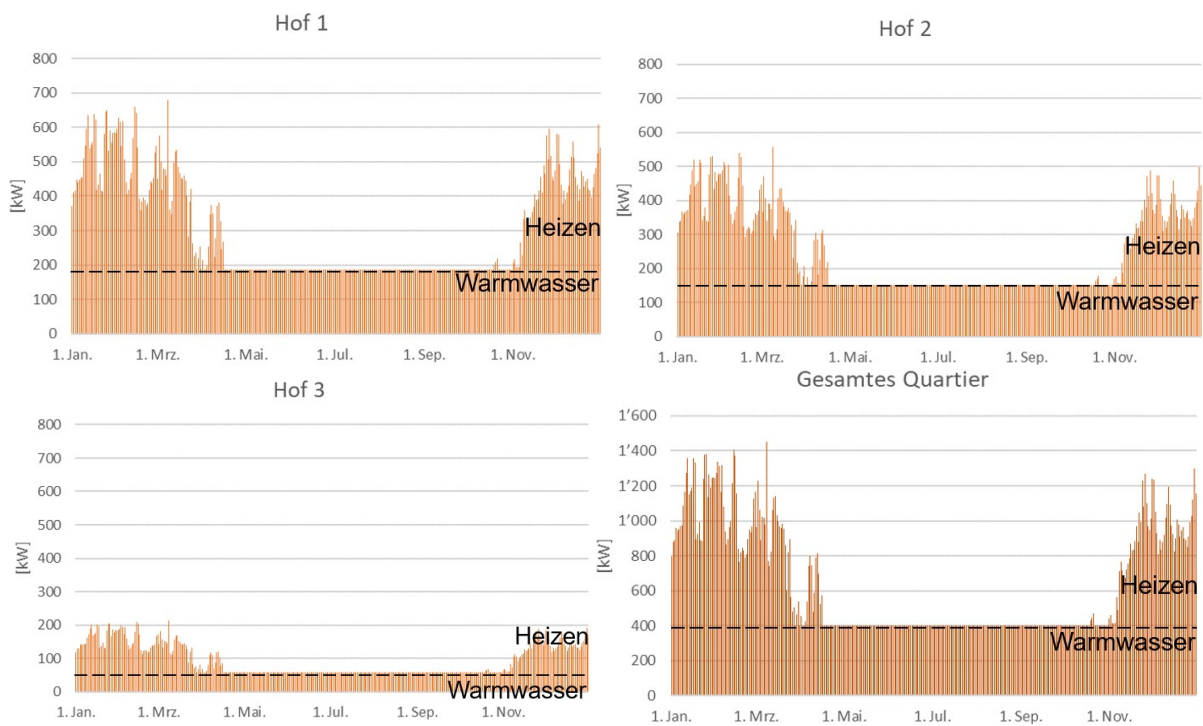


Abbildung 3-10: KfW40 Wärmebedarf Lastkurven je Hof & Gesamt

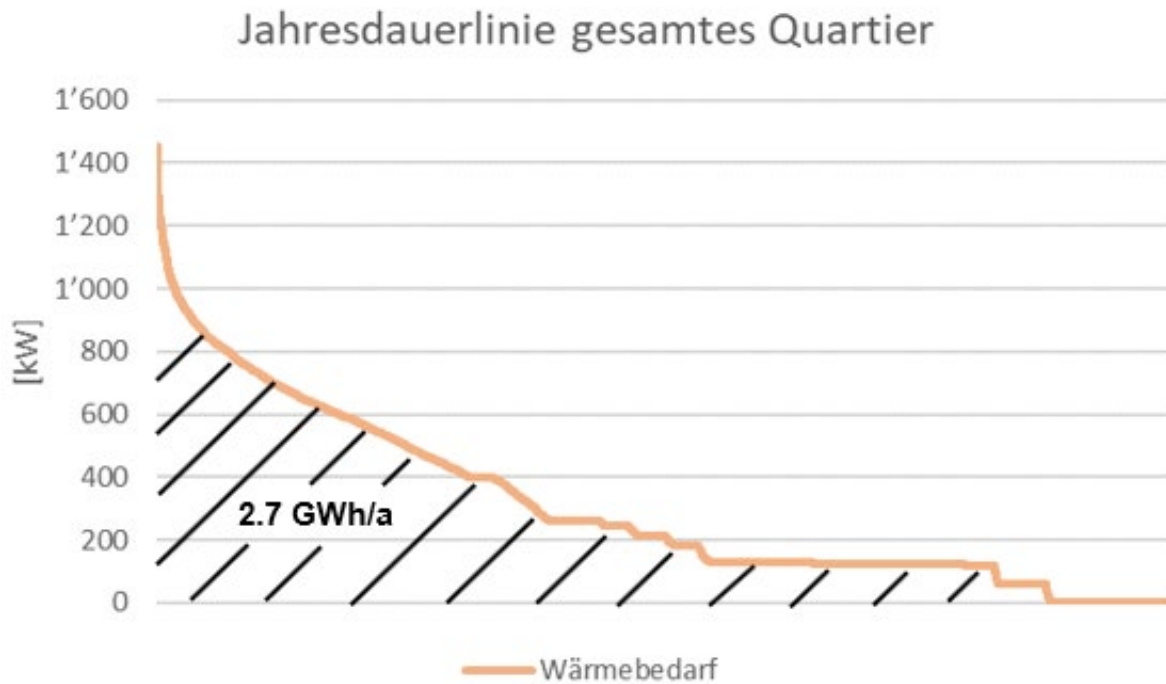
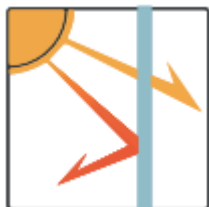


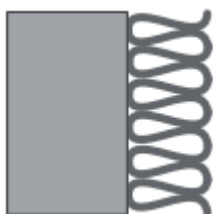
Abbildung 3-11: KfW40 Wärmebedarf (Heizen und Warmwasser) Jahresdauerlinie ganzes Quartier

iii. Prognose-Fall (Passivhaus)

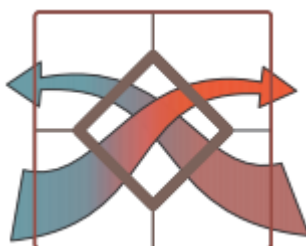
Das Potential, Passivhausstandard zu erreichen, wird über eine verbesserte Gebäudehülle adressiert. Hierbei wird ein Heizwärmebedarf von 15 kWh/m²a angestrebt, was sehr geringe Anforderungen an die Heizleistung ausmacht.



- 3-fach Verglasung, U_w –Wert: 0.8 W/m²*k
- G-Wert: 0.408
- f_c - Wert Sonnenschutz außen: 0.3



- Dämmung 29 cm: U –Wert: 0.15 W/m²*k
- Infiltration: 0.6 1/h



- Wärmerückgewinnung: 75 %
- Natürlich Lüftung: 0.75 1/h

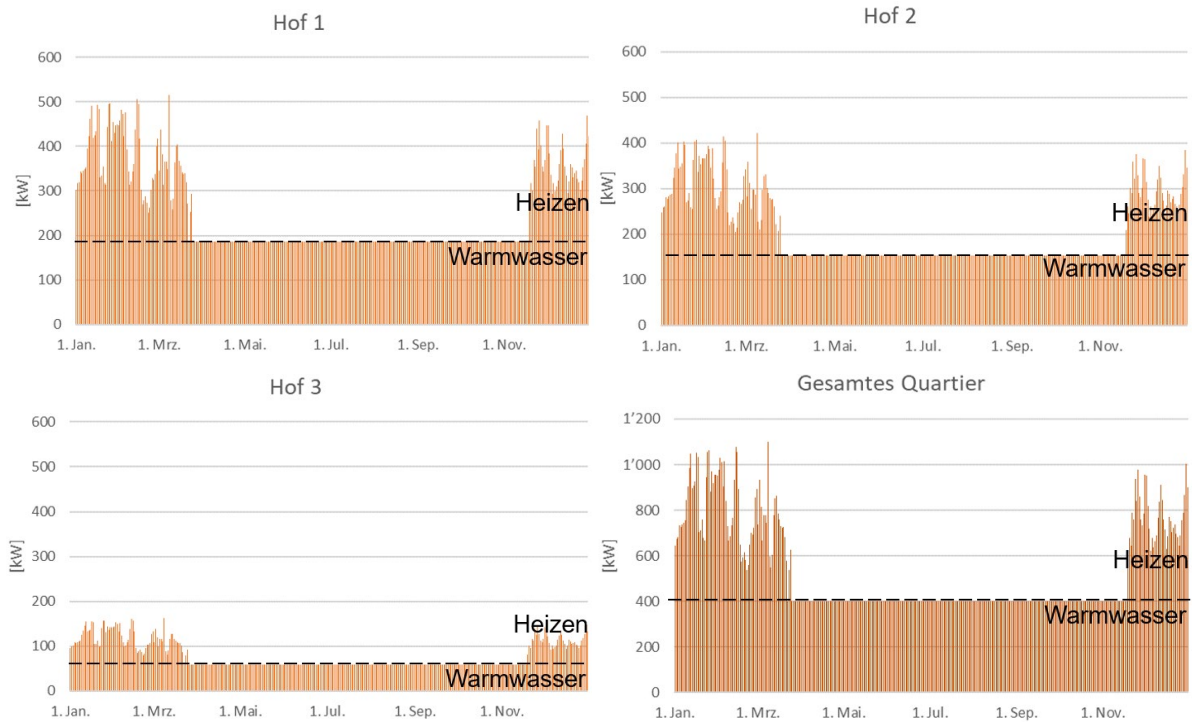


Abbildung 3-12: Passivhaus Wärmebedarf Lastkurven je Hof & Gesamt

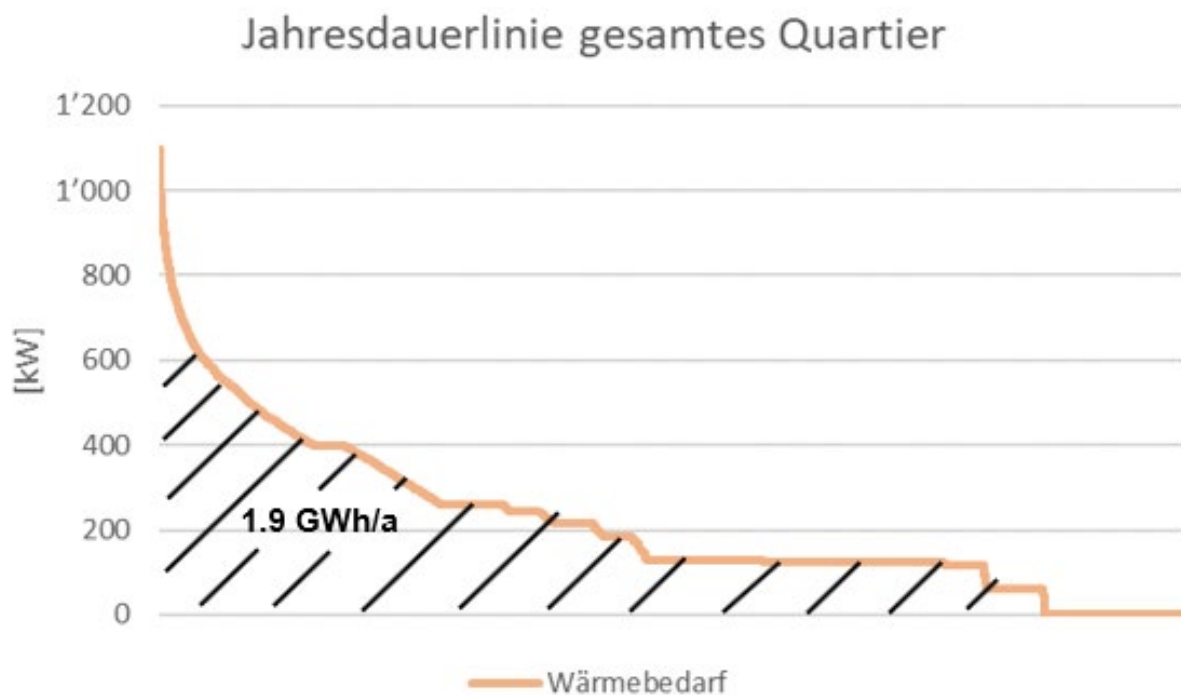


Abbildung 3-13: Passivhaus Wärmebedarf (Heizen und Warmwasser) Jahresdauerlinie ganzes Quartier

Baustandards Jahresdauerlinie

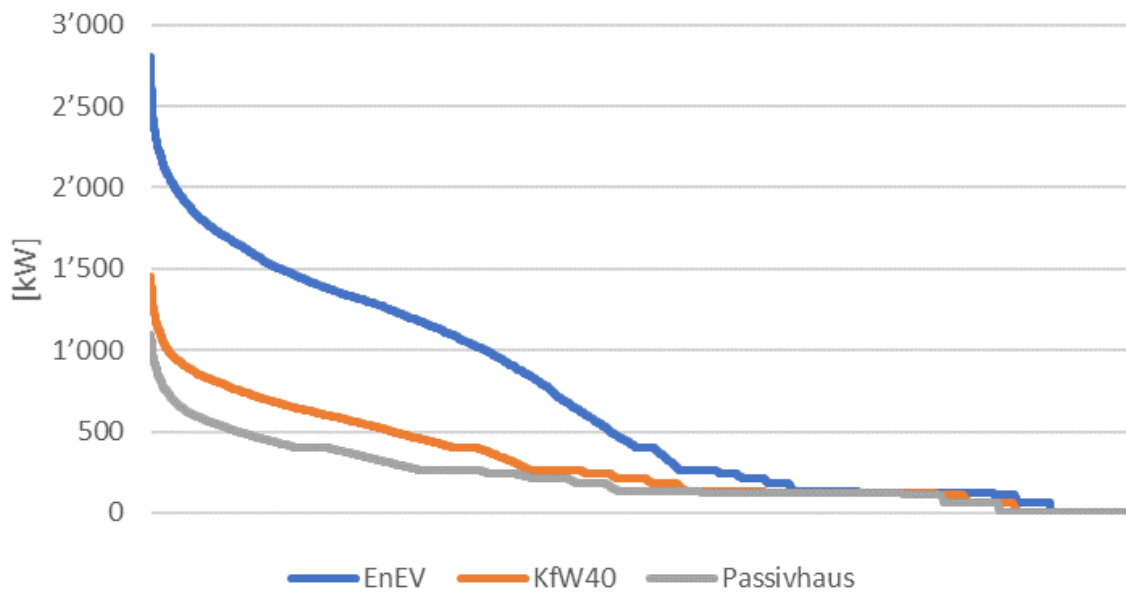


Abbildung 3-14: Jahresdauerlinien Vergleich

In Abb. 3-15 ist der Vergleich anhand der Jahresdauerlinien der unterschiedenen Fälle abgebildet. Man erkennt das «Passivhaus» und «EH40» relativ nahe, zwischen 1'100 kW Peak und 1'500 kW Peak, liegen. Der Fall «EnEV» liegt hier bei einem kW Peak von ca. 2'800. Damit geht eine Reduzierung der Heizinfrastruktur um Faktor 2-3 einher, ebenfalls eine Reduzierung der Betriebskosten, bezogen auf Heizen um Faktor 2-3.

4. Wärmeversorgung aus Nutzersicht

Im Folgenden werden für die unterschiedlichen Baustandards die relevanten Größen aus Sicht der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit untersucht. Hierzu werden folgende Annahmen getroffen.

a. Annahmen

Fernwärme: Betriebskosten: **47.85 EUR/kW Peak + 0.0587 EUR/kWh¹**

(Leistungspreis + Arbeitspreis)

Emissionen: **0.066 kg CO₂/kWh¹**

PEF: **0.39¹**

COP: **1**

Gas: Betriebskosten: **0.07 EUR/kWh**

Emissionen: **0.24 kg CO₂/kWh**

PEF: **1.1**

COP: **0.9**

Geothermie: Betriebskosten: **0.3181 EUR/kWh (Strommix)²**

Emissionen: **0.366 kg CO₂/kWh (Strommix)³**

PEF: **1.8**

COP: **4.5**

Strommix: Betriebskosten: **0.3181 EUR/kWh (Strommix)²**

Emissionen: **0.366 kg CO₂/kWh (Strommix)³**

CO₂-Preis:

2021: 25 Euro pro Tonne CO₂

2025: 55 Euro pro Tonne CO₂

¹ Angaben SWM

² Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft

³ Umweltbundesamt

Empfehlung UBA: 180 Euro pro Tonne CO₂

b. Umweltwirkungen (CO₂ Berechnung der Treibhausgasemissionen im Betrieb)

Für die drei Varianten, Basisfall, EH40 und Passivhausstandard werden jeweils die Bewertungsgrößen Nutzenergie (die im Raum benötigte Energie), Endenergie (die dem Quartier zuzuführende Energie), Primärenergie (Ursprüngliche (fossile) Energie zur Endenergieerzeugung) und CO₂ Emissionen dargestellt.

Diese wiederum sind aufgegliedert für die unterschiedlichen Energieversorgungskonzepte: Gas als Referenzfall, sowie die in Kapitel 2 beschriebenen Energieversorgungsvarianten Fernwärme und Geothermie.

Die Nutzenergie ist unabhängig von der Wärmeerzeugung. Geothermie benötigt nur einen kleinen Anteil an Endenergie (in diesem Fall Strom), im Vergleich zu Gas bzw. Fernwärme. Dies liegt daran, dass die Wärmepumpen, die dem Erdreich Wärme entziehen, nur einen Teil Strom benötigen, um ca. 4.5 Teile Wärme zu liefern.

Primärenergetisch betrachtet relativiert sich dieser Effekt, da derzeit noch ein relativ großer Teil an Primärenergie aufgewendet wird, um Strom zu erzeugen (Faktor 1.8), wohingegen die Fernwärme München z.Z. einen sehr guten Wert als Primärenergiefaktor aufweist.

Beides wird sich in Zukunft dynamisch ändern. Insbesondere beim Primärenergiefaktor des Stroms wird erwartet, dass er sich in den nächsten Jahren systemisch und kontinuierlich verbessern wird.

i. IST-Fall (gesetzlicher Standard)

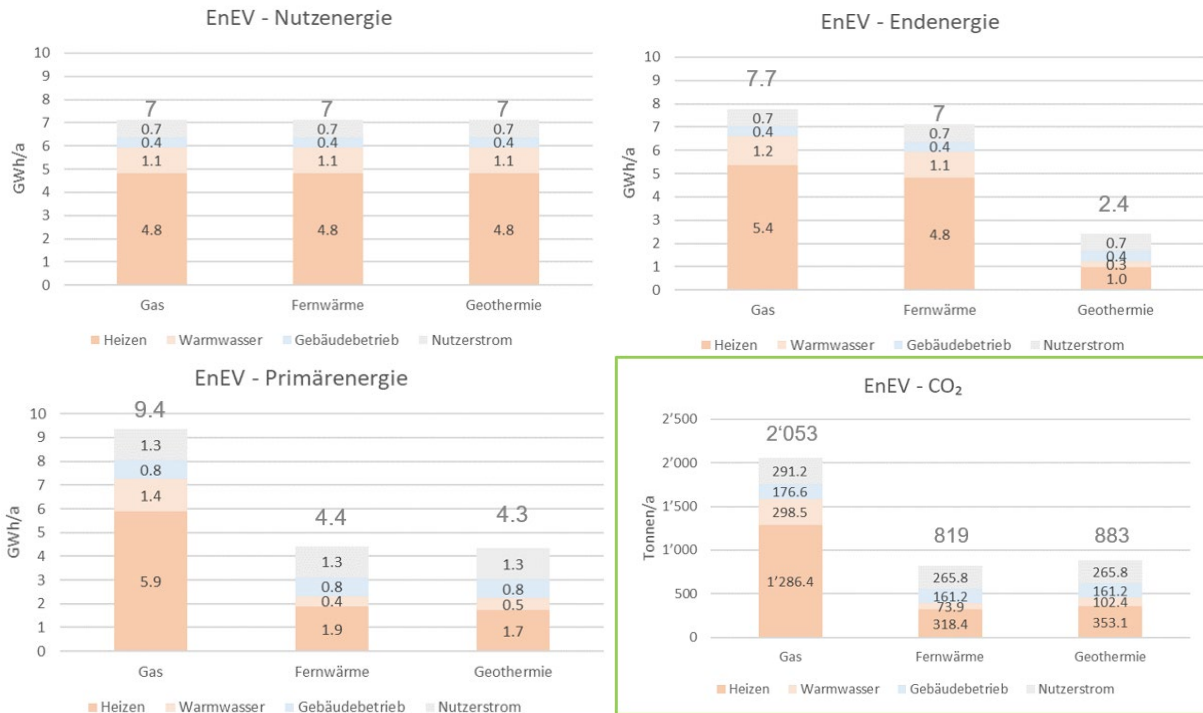


Abbildung 4-1: EnEV Energieumwandlung und Umweltauswirkung

ii. Prognose-Fall (KfW Effizienzhaus 40)

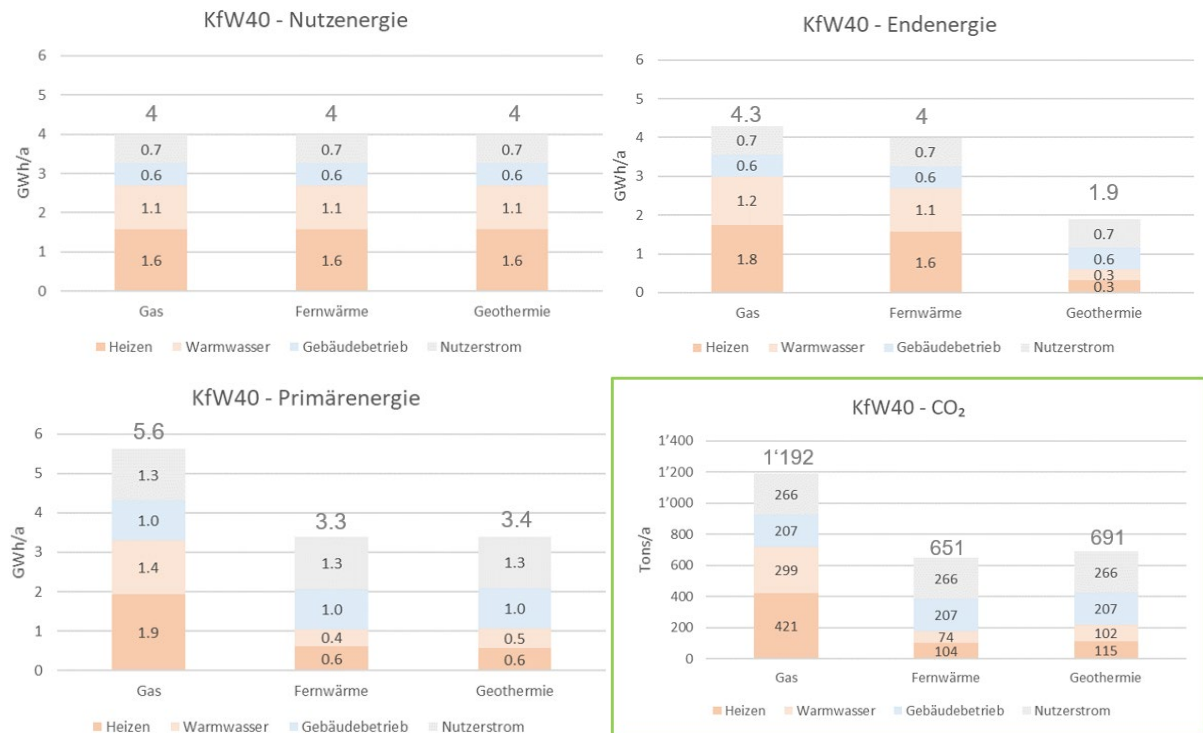


Abbildung 4-2: KfW40 Energieumwandlung und Umweltauswirkung

iii. Prognose-Fall (Passivhaus)



Abbildung 4-3: Passivhaus Energieumwandlung und Umweltauswirkung

c. Wirtschaftlichkeit

Die Betriebskosten wurden basierend auf den in Punkt 4a. getroffenen Annahmen berechnet und mit den Simulationsergebnissen korreliert.

Die jährlichen Energiekosten würden sich demnach heute in einem Rahmen von 560.000€/Jahr bis 880.000€/Jahr bewegen.

Allerdings muss in Zukunft von einer Erhöhung des CO₂-Preises ausgegangen werden.

Daher wurde im Folgenden zwischen drei weiteren Varianten der laufenden Betriebskosten unterschieden, mit unterschiedlichen CO₂ Bepreisungen. Bei der ersten Variante wird der Fall „2021“ mit einem CO₂-Preis in Höhe von 25 € pro Tonne CO₂, die im oder durch das Quartier emittiert wird, untersucht. Variante „2025“ beschreibt den Fall mit 55 € pro Tonne CO₂, die im oder durch das Quartier emittiert wird. In der Variante „Empfehlung UBA“ wird ein höherer, durch das Umweltbundesamt (UBA) empfohlener CO₂-Preis, in Höhe von 180 € pro Tonne CO₂, die im oder durch das Quartier emittiert wird, untersucht.

Hierdurch ergibt sich ein Rahmen von 0.6Mio €/a - 1Mio €/a

i. IST-Fall (gesetzlicher Standard)

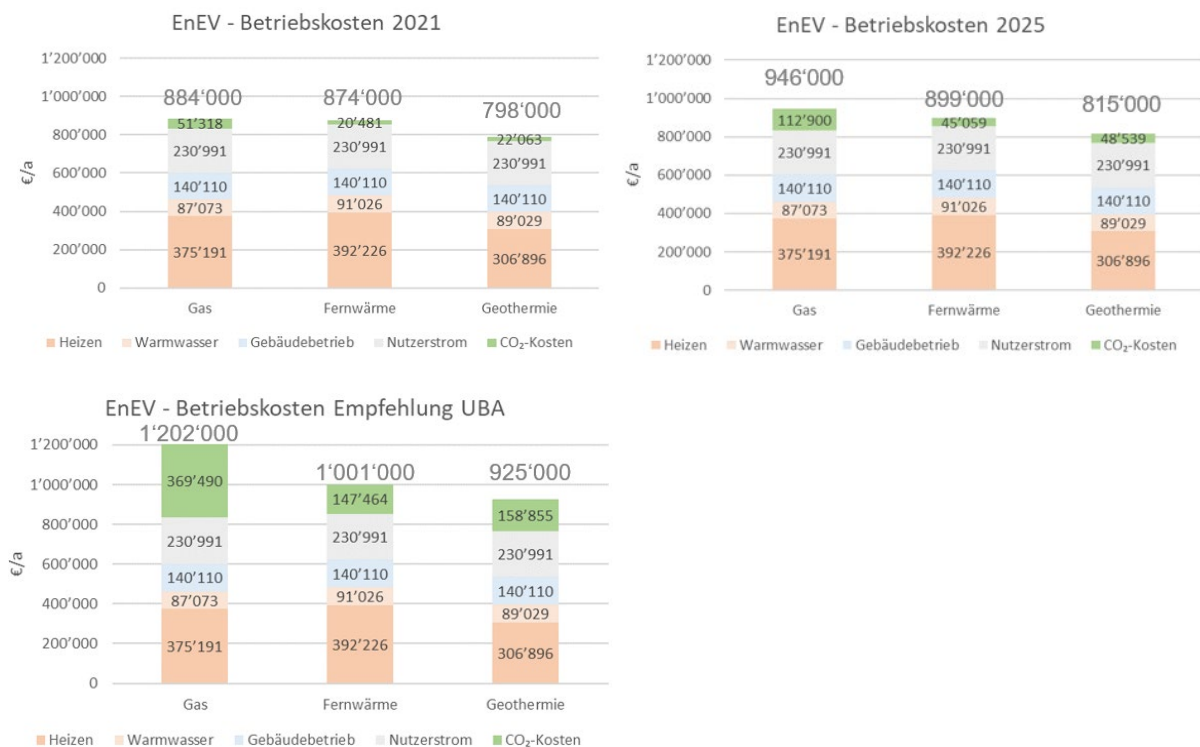


Abbildung 4-4: EnEV Varianten Betriebskosten

ii. Prognose-Fall (KfW Effizienzhaus 40)



Abbildung 4-5: KfW40 Varianten Betriebskosten

iii. Prognose-Fall (Passivhaus)

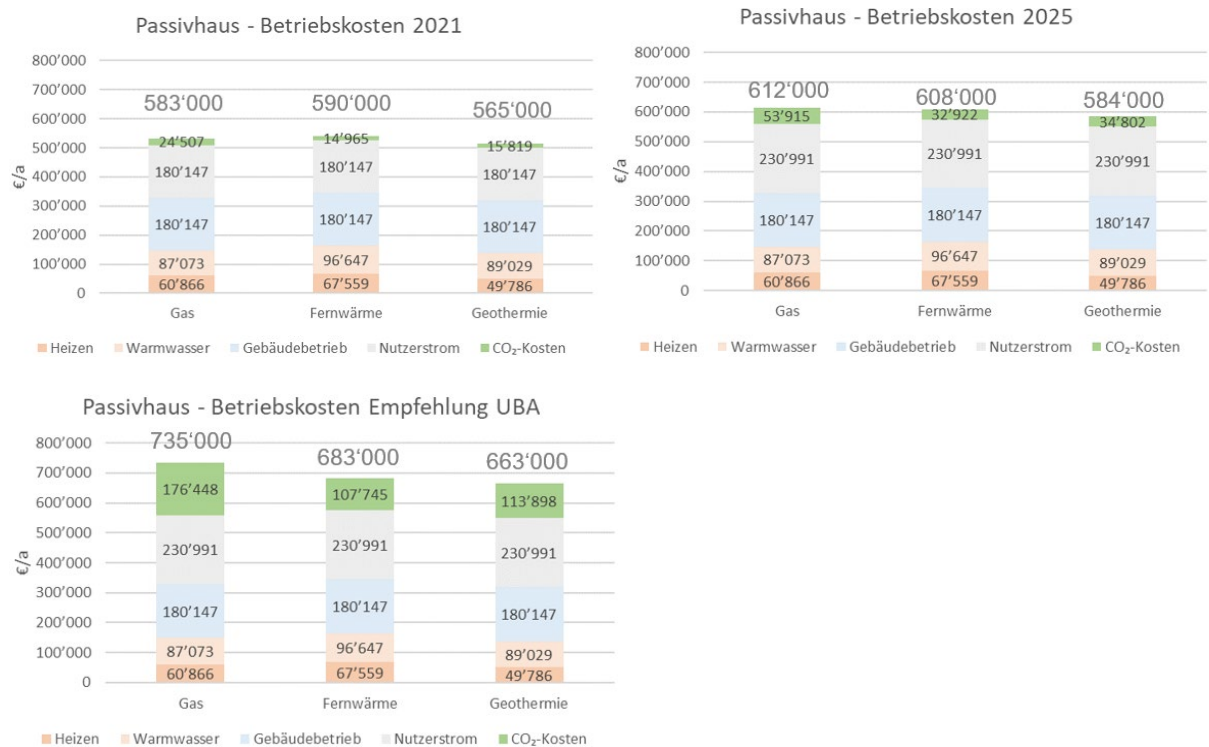


Abbildung 4-6: Varianten Betriebskosten

Ein signifikanter Anteil der städtebaulichen Investitionskosten liegen in der Wärmeverteilung. Für ein 1000 m langes Wärmenetz und Installations- und Tiefbaukosten von 400€/m mit ca. 20 Gebäudeanschlüssen zu je 5000 € liegen die Kosten der Wärmeverteilung eine Größenordnung von 0.5 Mio €.

Weitere Erschließungskosten wie Anschlüsse sind entsprechend mit dem Fernwärmebetreiber zu verhandeln und typischerweise Teil des kompletten Versorgungsangebotes.

Gesamtkosten für verschiedenen Brunnenanlagen liegen im Bereich von 0.5 Mio €. Die Kosten hängen jedoch sehr stark von den weiteren geothermischen Tests ab, die in der weiteren Planung durchzuführen sind (wie z.B. Anzahl der benötigten Schluckbrunnen, siehe Kapitel 2).

Im Vergleich hierzu würde eine typische, hier nicht näher untersuchte Geothermieanlage mit Erdsonden im Bereich von 3 Mio. € liegen, daher sind die Kosten einer Brunnenanlage hier als sehr gering zu erachten.

Die Wärmepumpe, die dem Grundwasser die Wärme entzieht, liegt pro 1MW Leistung in der Größenordnung von 0.5-1 Mio. €. In der weiteren Planung ist zu verfolgen, ob dies eine Zentrale Anlage, oder ein Verbund von dezentralen Anlagen ist.

Weitere Anlagen (Heizzentralen, Speicher, Hydraulik, Regelung), die in der weiteren Planung zu berücksichtigen und detaillieren sind, führen zu geschätzten Gesamtinvestitionskosten für die Wärmeversorgung über Geothermie von Größenordnung ca. 2 Mio € im Gegensatz zur Fernwärme mit Größenordnung 0.5 Mio €, bei jährlichen Wärmeenergiekosteneinsparungen bei einer Größenordnung von ca. 0.1 Mio € durch die Geothermieanlage. Die Einsparung durch die «Verstromung der Wärme» kann sich allerdings, durch eigen-genutzten Strom, in Zukunft erhöhen.

Die Kosten für die in Kapitel 5 erörterten PV-Anlagen belaufen sich auf ca. 1-1.5 Mio.€. Die Kosten amortisieren sich typischerweise durch gesetzl. festgelegte Rahmenbedingungen (Einspeisevergütung, EEG Umlage, Größe der Anlagen) in ca. 8-12 Jahren, bei einer Lebensdauer von 20-30 Jahren.

5. Weitere Empfehlungen zur Reduktion des Energiebedarfs

a. Dachflächen



Bild: Prof. Biedermann Architekten

Ein im Betrieb klimaneutrales Quartier sieht vor, den verbleibenden Energiebedarf z.B. durch Integration von PV im Gebäudedach bzw. in Fassaden zu adressieren, bzw. in der Bilanz zu kompensieren.

Der Passivhausstandard verursacht ca. 600.000kg CO₂ Emissionen pro Jahr, im Vergleich zum gesetzlichen Istfall von 900.000kg CO₂-Äquivalent pro Jahr. Bei einem Strommix von 0.366 kg CO₂/kWh und 80% Ausnutzung der Flächen entspricht dies einem Bedarf von 9800 m² Dachfläche (~ 1MWp) für das Passivhaus-Szenario bzw. 14.700 m² PV Dachfläche (~1.5 MWp) für den gesetzlichen Standard Fall. Der aktuelle Entwurf hat theoretisch eine ca. 13.500 m² große verfügbare Dachfläche über alle Gebäudeblöcke hinweg. Hierbei wird jedoch ein Teil der Dachflächen als nutzbare Dachgärten gestaltet werden, was die eigentliche energetisch Nutzbare Dachfläche verringert.

Zusätzlich können Fassaden ertüchtigt werden, z.B. nach Süden und Westen. Damit gelingt allerdings nur eine ca. 80%ige Ausbeute an Solarstrom, was in den Flächenberechnungen

mitberücksichtigt werden muss. 1.250 m² fassadenintegrierte PV können demnach 1.000 m² ersetzen.

Die Flächenbelegung der Dächer mit PV steht evtl. im Wettbewerb mit Dachnutzungen. Hier könnten PV z.B. in Strukturen integriert werden, die der Dachnutzung Schatten spenden.

Extensive Dachbegrünung kann mit geeigneten PV Modulen integriert werden. Dies stellt nicht nur die Retentionseigenschaften sicher und lässt sich mit dem Regenwassermanagement des Daches vereinbaren, es erlaubt auch noch einen gewissen Grad an Biodiversität.

Hierbei ist die Integration eine konstruktive Aufgabe, die in der Planung auf Gebäudemaßstab weiterverfolgt werden kann. Dies wird im folgenden beschrieben.

Mikroklimatische Betrachtungen

Zwischen den mikroklimatischen Verhältnissen im Quartier und der Belegung der Dachflächen mit PV bestehen grundsätzlich denkbare Wechselwirkungen, die es bei der Planung zu betrachten gilt. Bei vollständiger Belegung der Dachflächen mit PV, erwärmt sich die Luft **über den Dächern** um ca. 2 Kelvin (°C). Annahmen sind hierbei eine zusätzliche Absorption solarer Einstrahlung von max. 200W/m² ($A_{PV} = A_{Ziegel} + 20\%$), und einer Windgeschwindigkeit von 1m/s wird eine 10m hohe Luftsäule über 100m PV Fläche. Die erhöhte Erwärmung der Luft auf Dachebene durch PV wird jedoch lokal eine geringfügige Bedeutung auf das Quartier haben, da die warme Luft generell aufsteigt, und es keine punktuelle Hochpunkte gibt, bei denen mit erzwungenem, warmen Luftabfall zu rechnen ist.

Ohne die Thermik der erwärmten Luft im gesamtstädtischen Kontext zu modellieren, hat GeoNet auch die Sicherstellung des lokalen Komforts im bodennahen Bereich untersucht. Hier ist in der Modellierung des Mikroklimas in den genutzten Zonen die erhöhte solare Absorption der Dachflächen zweitrangig, da es keinen Einfluss von langwelliger Wärmestrahlung der Dachflächen auf die öffentlich nutzbaren Freiflächen gibt (Sichtfaktor Boden zu Dach $F_s \sim 0$).

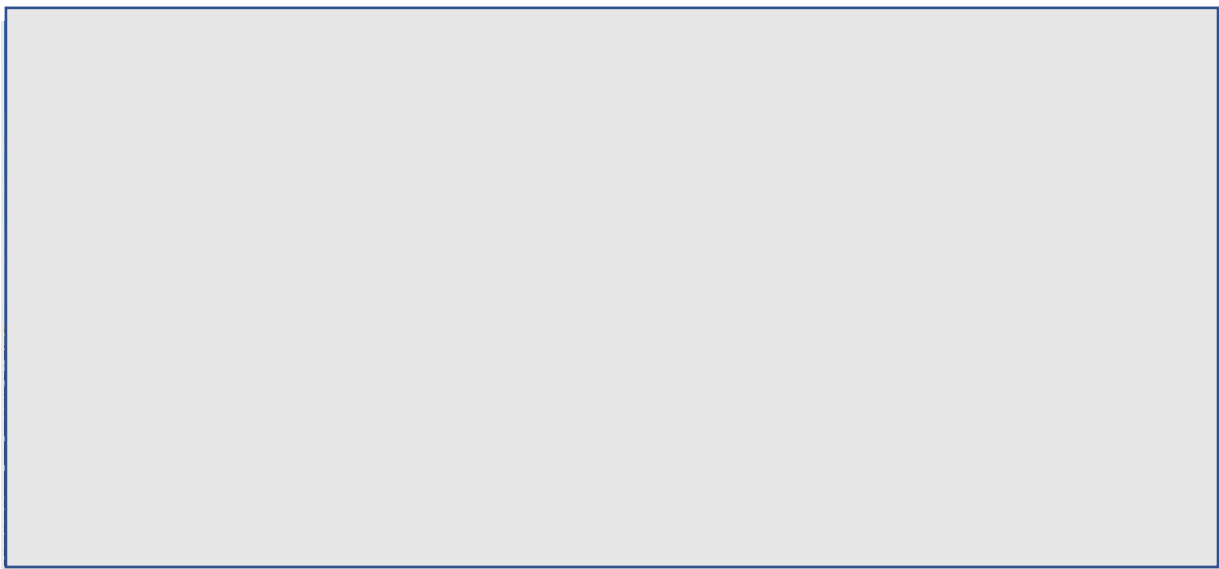
Daher sind Anforderungen an Dachbegrünung allein aus stadtklimatischer Sicht und gesamtstädtischer Betrachtung von Interesse (im Gegensatz zum Mikroklima im Quartier). Hierbei müssen die Flächen der Dächer im Verhältnis zur Dimension der Stadt gesehen werden, und vor dem Hintergrund, dass auch im städtischen Maßstab mit Absorptionsgraden von mindestens 60% zu rechnen ist (im Vergleich von PV 70-80%).

Eine 100% Belegung von PV auf der Quartiersbebauung erhöht die solare Absorption der Stadt München um ca. 1 Millionstel. Würde die gesamte Stadt München mit ähnlichen Verhältnissen ausgestattet werden, würde sich die solare Absorption der Stadt um nur ein Tausendstel erhöhen. Zum Vergleich: Das Verfehlen der Klimaziele und die Erhöhung der

Temperaturen um ca. 2°C entspricht einem Äquivalent erhöhter Solarstrahlung von 30-40%, (klimatischer Schiff von München nach Rom). Daher ist z.Z. eine 100%ige Belegung PV angemessen, um die globalen Klimaziele zu adressieren, **sofern andere Nutzungs- und Flächenbedarfe weiterhin erfüllt werden können.**-Der Kompromiss zum kaum messbaren, wenn gleich erhöhten städtischen Klima **ist** verhältnismäßig. Daher ist z.Z. eine 100%ige Belegung PV angemessen, um die globalen Klimaziele zu adressieren, und der Kompromiss zum kaum messbaren, wenn gleich erhöhten städtischen Klima verhältnismäßig.

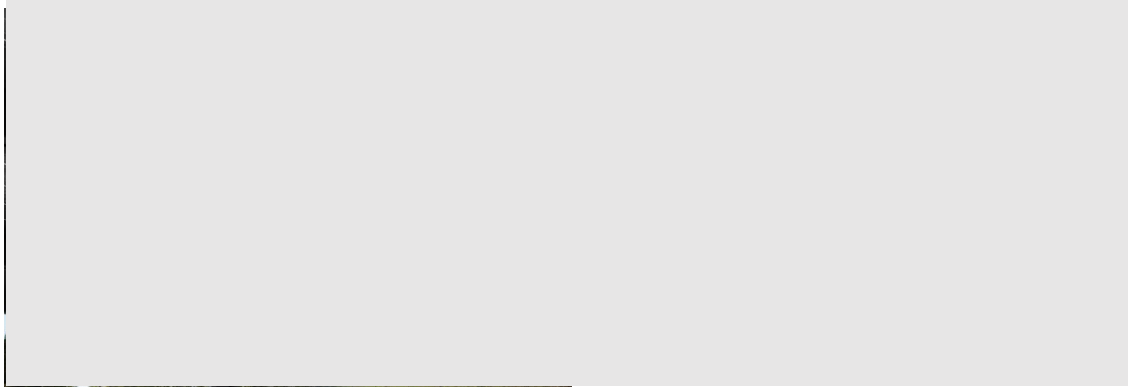
Wettbewerb PV zu Dachbegrünung

Um PV zu maximieren, und weitere Dachfunktionen zu ermöglichen, sollte die Integration von PV und extensiver Begrünung verfolgt werden, wie im folgenden Beispiel dargelegt. Hierdurch lassen sich sowohl PV als auch die Vorzüge der Dachbegrünung maximieren, ohne miteinander im Wettbewerb zu stehen, bzw. sich auszuschließen. Die Vorteile der Regenwasserretention, des evaporativen Kühlens und der Biodiversität können hierbei in den folgenden gestalterischen Planungsphasenverbunden werden. Dabei sind u.a. folgende Aspekte zu berücksichtigen: technische Umsetzbarkeit, ausreichender Substrataufbau, geeignete Pflanzenwahl für verschattete Standorte.



München Agnes Pokels Bogen, O2-Tower

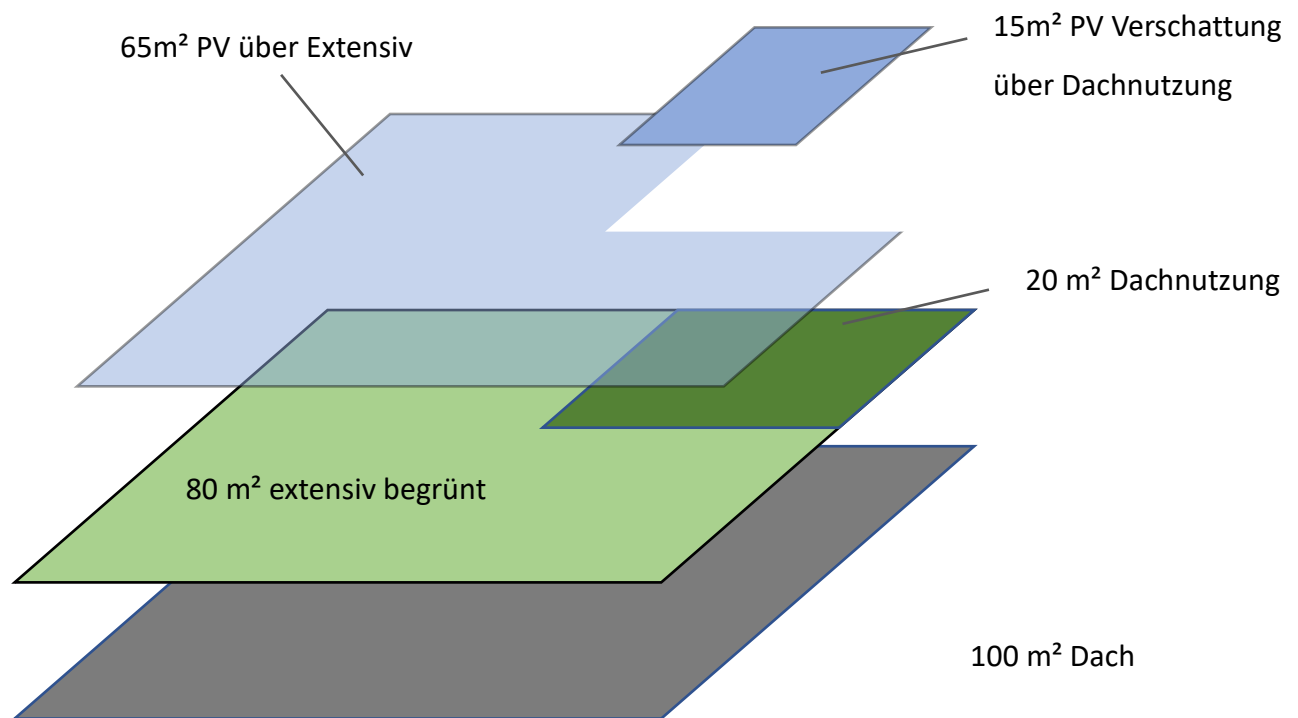
Auch die Verbindung von PV und Nutzbaren Dachflächen kann kombiniert werden, um flächenmäßige Synergien zu erschließen.



Links: Photovoltaikdach und Beschattung, Svoboda

<https://www.balkongelaender.at/produkt/ueberdachung/photovoltaik-daecher/>

So ist die Nutzung von Dachflächen, Stromproduktion, Regenwassermanagement und Biodiversität eine gestalterische Aufgabe. Die Grundlage dies zu ermöglichen, sollte schon im städtebaulichen Verfahren gelegt werden.



Auf 100m² können in diesem Beispiel im optimistischsten Fall 100%

Dachbegrünung/Nutzung und 80% PV untergebracht werden.. Die Art der Bepflanzung muss mit reduzierter Einstrahlung einhergehen.

Solarstromerzeugung am Gebäude (Solarenergienutzung Dach/ Fassade)

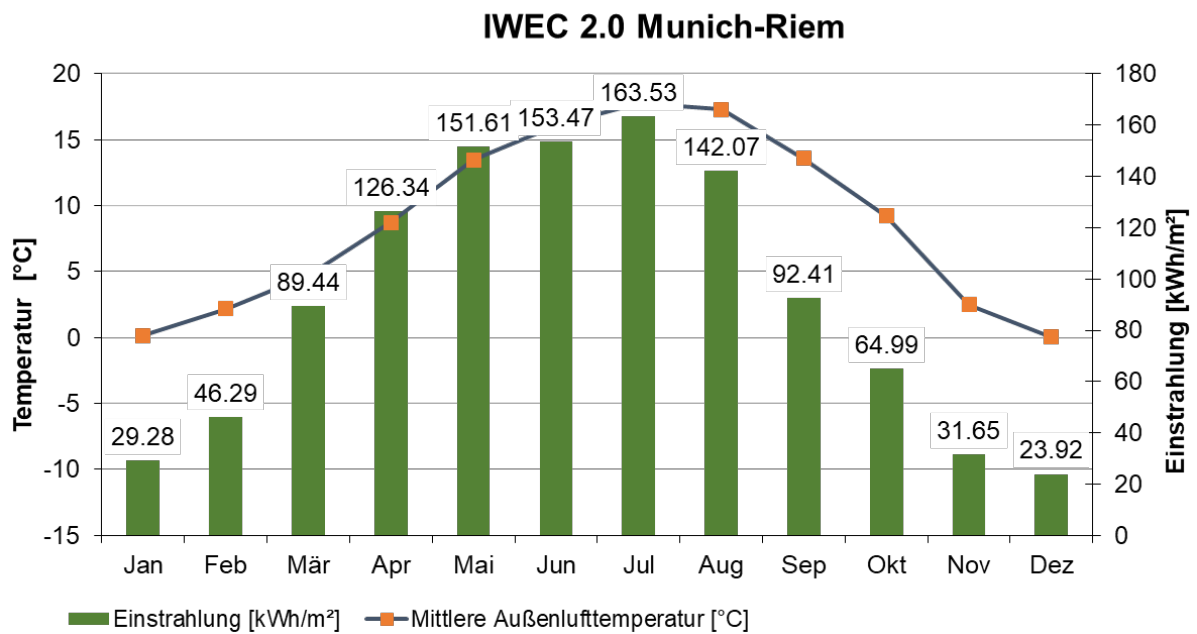


Abbildung 5-1: Solareinstrahlung



Abbildung 5-2: Untersuchung PV Fläche

b. Einsatz ökologischer Baumaterialien (z.B. Holzbau) und Baustoffe

Durch einen verbesserten Gebäudestandard werden die Gebäude einen geringeren Grad an Heizwärmebedarf erzielen. Durch eine Energieversorgung mit fortschreitend vermindertem CO₂-Ausstoß nimmt der CO₂-Ausstoß im Betrieb ab. Dies bedeutet auch, dass der CO₂-

Ausstoß, der mit dem Bau eines Gebäudes sowie den verbauten Materialien verknüpft ist, einen zunehmend größeren Anteil im Gesamtlebenszyklus des Gebäudes zukommt. Dass dieser nicht unerheblich ist, sondern beachtenswert, zeigt

eine Studie des Umweltbundesamtes (Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, 132/2019 Texte). Hier wurde für das vorliegende Quartier ein CO₂-Einsparpotential von ca. 20.000 Tonnen identifiziert beim Verzicht auf Massivbauweise zugunsten des Holzbaus. Dies entspricht in etwa den CO₂-Emissionen von ca. 20-30 Jahren.

c. Potential von Fassadenbegrünung

Begrünung der Fassaden steht typischerweise im Wettbewerb mit der Integration von Photovoltaik (PV).

Begrünungsstrategien mit einem Transpirationspotential von z.B. 1l/h haben ein Verdunstungspotential von ca. 600 W/m². Dies entspricht in etwa der Absorption der Solarstrahlung durch die Fassade. Die Begrünung hat zwar geringfügigen Einfluss auf die solaren Lasten im Gebäude, aber einen potenziell großen positiven Einfluss auf das Stadtklima. Im Sommer verbessert sich der Komfort im Freien spürbar durch die Reduzierung der Fassadentemperaturen.

d. Nutzung von PV-Strom für Elektromobilität

Elektromobilität erfordert für ca. 5000 gefahrene km pro Wohneinheit 1Mio kWh Strom. Ein bilanzieller Ausgleich, CO₂-neutral über Solarstrom, erfordert eine mit PV-Elementen belegte, zusätzliche Dachfläche von 6250 m², alternativ eine Fassadenfläche von 7800 m² im Süden oder 9000 m² im Osten oder Westen, wobei deren sinnvolle Positionierung auf die oberen Stockwerke beschränkt ist, aufgrund von Verschattung.

200 Elektrofahrzeuge bei einer Gleichzeitigkeit von 10% erfordern eine Ladeleistung von ca. 1MW. Dies könnten PV-Anlagen entsprechender Größe theoretisch mittags, also zu Spitzenzeiten, erzielen.

Allerdings liegen die typischen Leistungen, die im Quartier erzielt würden, im Bereich von 0.1MW. Daher erfordert die Elektromobilität ein Lade- und Speicher-Management mit Anschluss an das städtische Stromnetz in entsprechender Größenordnung.

Dennoch besitzt die puffernde Speicherfähigkeit von Fahrzeugbatterien einen gewissen Anreiz für vermehrte Eigenstromnutzung auf Quartiersniveau, anstatt die Energie ins Netz zu wenig günstigen Konditionen einzuspeisen.

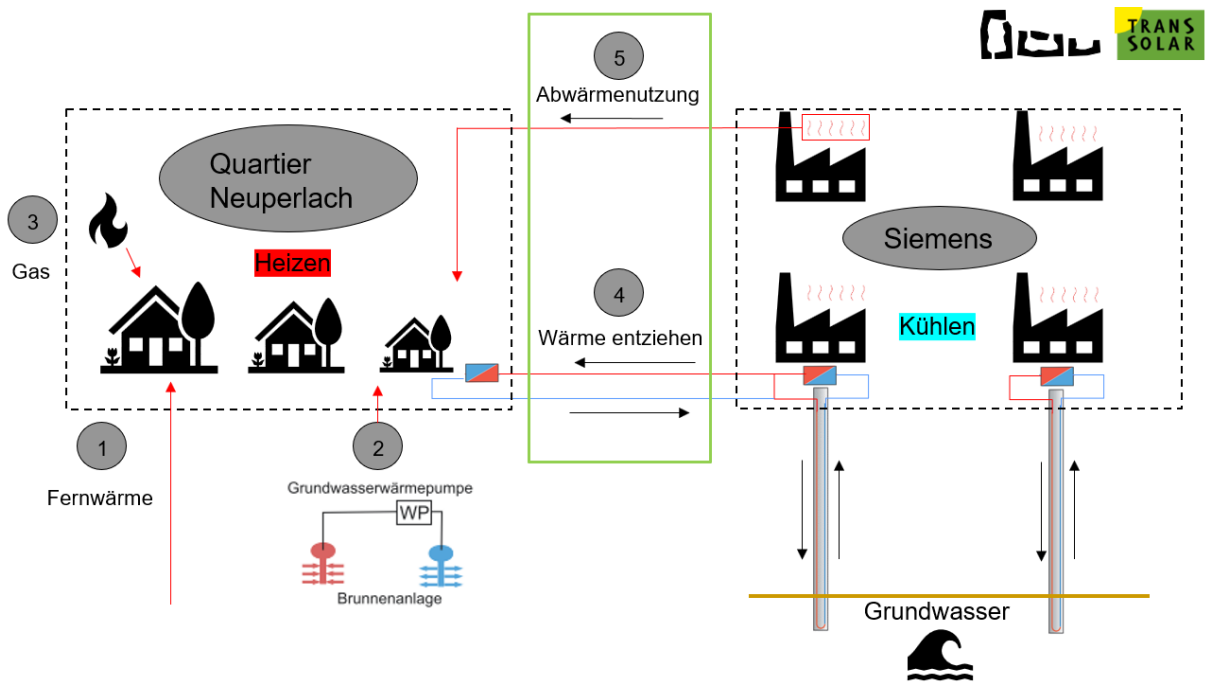


Abbildung 6-3: Potentielle Wärmebedarfsdeckung

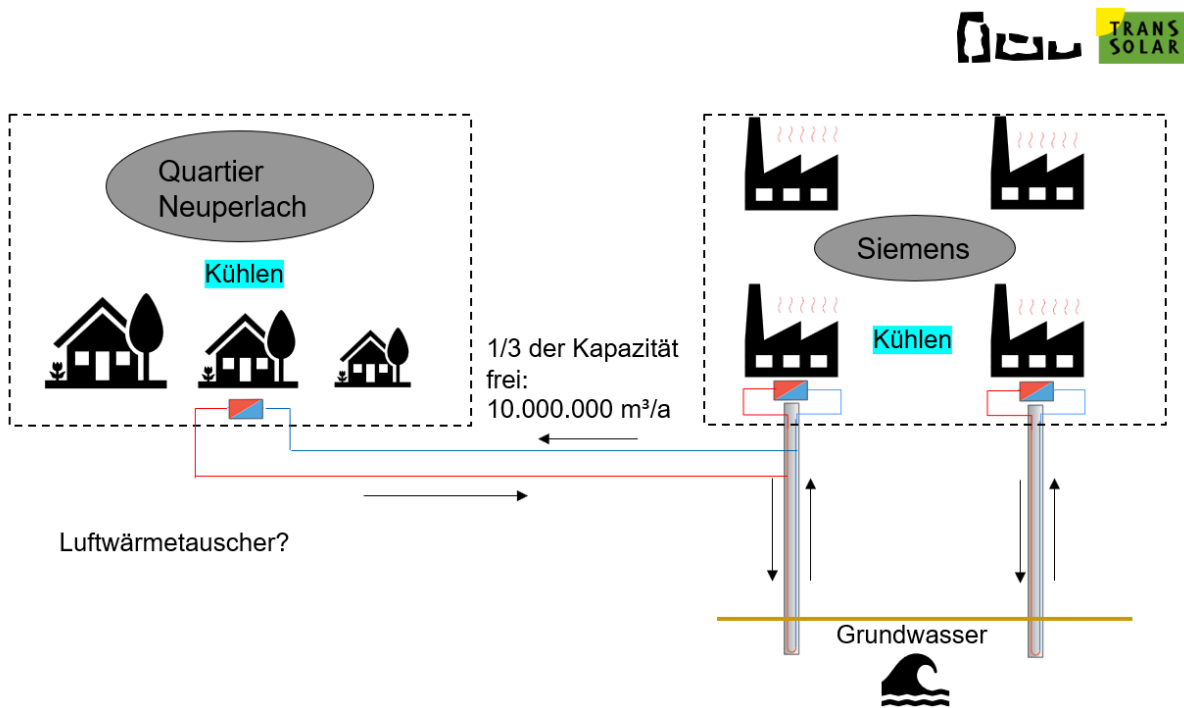
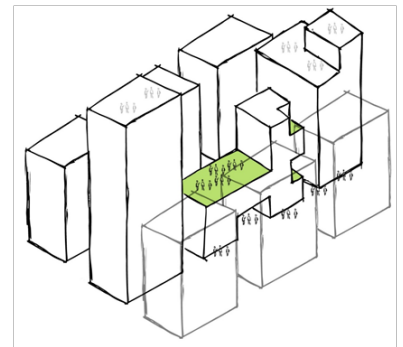
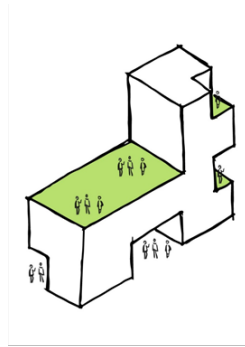


Abbildung 6-4: Potentielle Kühlbedarfsdeckung

e. Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudemaßstab

Unterschiedlichste Energieeffizienzmaßnahmen im Design der Gebäude können schon im Städtebau vorausgedacht werden.



- Konditionierungsstrategien
- Nutzerverhalten
- Regelung
- Materialien

- Gebäudeform
- Konstruktion/Fassade
- Nutzung
- Geschosstiefe
- Natürliches Tageslicht
- Durchlüftung

- Dichte
- Energieversorgung
- Energiequellen
- Infrastruktur
- Öffentlicher Raum
- Sonnenexposition
- Urbane Winde



Im speziellen gehören hierzu passive Strategien wie z.B.:

- Optimierung Tageslicht
 - o Optimierung Grundrisse
 - o Fensterflächenanteil
- Effiziente Natürliche Lüftung
- Freilegung thermischer Masse zum sommerlichen Wärmeschutz
- Außenliegende Verschattungselemente
- Innenliegende Verdunklungslösungen im Winter für solare Gewinne

Aktive Strategien:

- Strahlungswärme bei niedrigen Temperaturniveaus, zur Ausnutzung Niedertemperaturstrategien in der Wärmeversorgung.

- Wärmerückgewinnungsstrategien in Lüftung, aber auch bei Warmwasser (siehe Joulia-System)
- Wassersparende Armaturen

Strategien im Betrieb

- Nutzerinformationssysteme
- Incentivierungsstrategien
 - o Nichtlineare Energiepreise auf Quartiersebene
 - o Energiebepreisung nach Angebot an erneuerbarer Energie

6. Abbildungen

a. Copyright

Alle Illustrationen in diesem Bericht, wenn nicht anders gekennzeichnet, sind von Transsolar angefertigt, unter Nutzung von Transsolar Inhouse Tools

b. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Standort, Copyrights Landeshauptstadt München	4
Abbildung 1-2: Nutzungskonzept Erdgeschoss, Prof. Biedermann Architekten	5
Abbildung 1-3: Flächenverteilung GF (Entwurf Prof. Biedermann Architekten)	5
Abbildung 1-4: Flächenverteilung NGF (Entwurf Prof. Biedermann Architekten).....	6
Abbildung 1-5: Geometrie, Prof. Biedermann Architekten.....	6
Abbildung 2-1: Fernwärmeanschluss, SWM	8
Abbildung 2-2: SWM-Fernwärme Preise, SWM	9
Abbildung 2-3: Thermische Leistung, Geoportal München	10
Abbildung 2-4: Wärmemenge, Geoportal München	10
Abbildung 2-5: Technisch umsetzbare Entnahmemenge, Geoportal München	10
Abbildung 2-6: Fließrichtung Süd/Süd-West nach Nord/Nord-Ost, Geoportal München.....	11
Abbildung 2-7: Deckung Wärmebedarf - Untersuchte Varianten.....	13
Abbildung 3-1: Tageslichtautonomie, Legende	14
Abbildung 3-2: Potentialmodell ohne Trennwände, Beispiel Hof 2 (rot markiert das im Folgende dargestellte Geschoss)	15
Abbildung 3-4: Modell mit Fassadentransparenz von 40%	16
Abbildung 3-5: Modell mit Fassadentransparenz von 30%	16
Abbildung 3-6: Stromprofile	17
Abbildung 3-7: Strombedarf Lastkurven je Hof & Gesamt,.....	18
Abbildung 3-8: Strombedarf Jahresdauerlinie gesamtes Quartier	19
Abbildung 3-9: EnEV Wärmebedarf Lastkurven je Hof & Gesamt.....	20
Abbildung 3-10: EnEV Wärmebedarf (Heizen und Warmwasser) Jahresdauerlinie ganzes Quartier	21
Abbildung 3-11: KfW40 Wärmebedarf Lastkurven je Hof & Gesamt	22
Abbildung 3-12: KfW40 Wärmebedarf (Heizen und Warmwasser) Jahresdauerlinie ganzes Quartier	23
Abbildung 3-13: Passivhaus Wärmebedarf Lastkurven je Hof & Gesamt.....	24

Abbildung 3-14: Passivhaus Wärmebedarf (Heizen und Warmwasser) Jahresdauerlinie ganzes Quartier.....	24
Abbildung 3-15: Jahresdauerlinien Vergleich.....	25
Abbildung 4-1: EnEV Energieumwandlung und Umweltauswirkung.....	28
Abbildung 4-2: KfW40 Energieumwandlung und Umweltauswirkung.....	28
Abbildung 4-3: Passivhaus Energieumwandlung und Umweltauswirkung	29
Abbildung 4-4: EnEV Varianten Betriebskosten.....	30
Abbildung 4-5: KfW40 Varianten Betriebskosten	31
Abbildung 4-6: Varianten Betriebskosten.....	31
Abbildung 5-1: Solareinstrahlung.....	37
Abbildung 5-2: Untersuchung PV Fläche.....	37
Abbildung 6-1: Potentiale Wärmebedarfsdeckung	39
Abbildung 6-2: Potentiale Kühlbedarfsdeckung	39