

Urbaner Kältebedarf Österreich 2030/2050

E5.2 Machbarkeitsstudie Stadtquartier 2
Graz
(Block-Rand-Bebauung / 20. Jhdt.)

K. Eder; B. Beigelböck

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

05/2024

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leitung: DI (FH) Volker Schaffler, MA

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Urbaner Kältebedarf Österreich 2030/2050

E5.2 Machbarkeitsstudie Stadtquartier 2
Graz
(Block-Rand-Bebauung / 20. Jhdt.)

DI Dr. Katharina Eder
VASKO+PARTNER Ingenieure | Ziviltechniker für Bauwesen und
Verfahrenstechnik GesmbH

DI Barbara Beigelböck
VASKO+PARTNER Ingenieure | Ziviltechniker für Bauwesen und
Verfahrenstechnik GesmbH

Wien, Mai 2024

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Quartiersbeschreibung	6
1.1.	Stadtquartier 2 (Graz)	6
1.1.1.	Fact Sheet	6
1.1.2.	Übersicht.....	6
1.1.3.	Flächenwidmung.....	9
1.1.4.	Lärmkataster.....	10
1.1.5.	Bestehende Wärmeversorgung.....	11
1.2.	Ähnliche Quartiere.....	12
2	Grundlagen.....	13
2.1.	Flächenermittlung aus GIS	13
2.2.	Nutzung.....	14
2.3.	U-Werte	15
2.4.	Fenster/Beschattung.....	15
2.5.	Lüftung.....	15
2.6.	Sanierungsgrad	15
2.7.	Kühlgradtage.....	16
2.8.	Raumtemperatur-Sollwerte.....	16
3	Ermittlung Kältekennzahlen	17
3.1.	Kühllast.....	17
3.1.1.	Referenzjahr 2030	17
3.1.2.	Vergleichsjahr 2050	18
3.1.3.	Kühllast 2030 vs. 2050	19
3.2.	Kühlbedarf.....	19
3.2.1.	Referenzjahr 2030	19
3.2.2.	Vergleichsjahr 2050	20
3.2.3.	Kühlbedarf 2030 vs. 2050	21
4	Machbarkeitsanalyse für die Kältebereitstellung	22
4.1.	Ausgangslage	22
4.2.	Systemübersicht.....	22
4.3.	Mögliche Kälteerzeugungssysteme	25
4.3.1.	Allgemeines	25
4.3.2.	Varianten der Rückkühlung	25
4.4.	Mögliche Kälteabgabe	28
4.4.1.	Flächenkühlung.....	28
4.4.2.	Gebläsekonvektoren/Wärmepumpenheizkörper	29
4.5.	Mögliches Verteilnetz	29

4.6. Technische Umsetzung	29
5 Grobkostenschätzung	31
5.1. Randbedingungen Kostenermittlung.....	31
5.2. Grobkosten Kältesystem – Kostengruppe 3 Bauwerk Technik	32
5.3. Grobkosten für Betrieb	34
6 Verzeichnisse.....	35

1 Quartiersbeschreibung

1.1. Stadtquartier 2 (Graz)

1.1.1. Fact Sheet

- Lage: Graz Gürtel (KG Lend)
(Schmölzergasse/Babenbergerstraße/Ghegagasse/Bahnhofsgürtel)
- Google Maps: <https://goo.gl/maps/pp4vH3rLpmxJp6Ss9>
- Bauweise: Blockrand-Bebauung
- Baujahr: Gründerzeit + Nachkriegszeit
- Geschoßanzahl: 4 bis 7
- Untersuchungsgebiet: 1,1 Hektar
- Bebaute Grundfläche: 4.200 m²
- Nutzfläche näherungsweise: 15.700 m²
- Nutzung: 85% Wohnbau, 15% gewerblich genutzt (Annahme)

Sämtliche Informationen wurden öffentlich zugänglichen Medien entnommen. Die Quartiere wurden beispielhaft herangezogen. Eine Abstimmung mit den Gebäudeeigentümern hat nicht stattgefunden.

1.1.2. Übersicht

In Tabelle 1 sind die wesentlichen Eckdaten des 2. Beispielquartiers zusammengefasst. Es handelt sich nach dem Quartier in Wien um das am dichtesten bebaute der betrachteten Quartiere.

Tabelle 1: wesentliche Eckdaten des Stadtquartiers

Stadt-quartier	Stadt	Bau-periode	Bauweise	Anzahl Gebäude	Geschoße	Nutz-fläche	Nutzung
2	Graz; KG Lend	19. + 20. Jhdt.	Block-Rand- Bebauung	16	4-7	15.700 m ²	85% Wohnbau, 15% gewerblich genutzt

Abbildung 1

4-7 geschöfiger Wohnbau/Block-Rand-Bebauung/20.Jhdt.
Gürtel Graz



Abbildung 3 zeigt eine Luftbildaufnahme des Quartiers. Hier sind gut die Bäume im Innenhof erkennbar.

Abbildung 3: Luftbildaufnahme (Quelle: VertiGIS / Stadtplan Graz Luftbild)



Abbildung 4: Fassadenansicht Bahnhofsgürtel (links) und Ghegagasse (rechts)

zeigt das Quartier im Kontext der Stadt sowie Abbildungen der Fassaden. Hier sind Geschööhden und Fensteranteil der Fassade ersichtlich.

Abbildung 1: Lage des Stadtquartiers in Graz (Quelle: Google Maps)

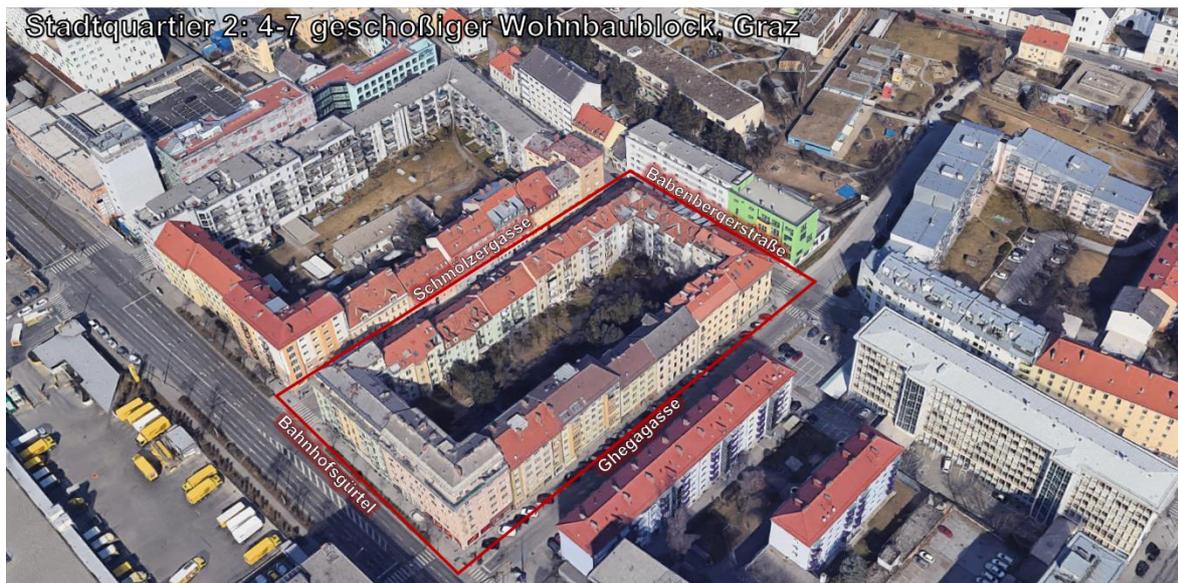


Abbildung 2 zeigt die Lage des Quartiers im Kontext der Stadt. Das Quartier liegt zwischen Bahnhof und Mur in etwa auf dem Breitengrad des Schlossbergs.

Abbildung 2: Verortung Stadtquartier 2 (Graz Bahnhofgürtel) (Quelle: Google Maps)

4-7 geschosiger Wohnbau/Block-Rand-Bebauung/20. Jhdt.
Gürtel Graz

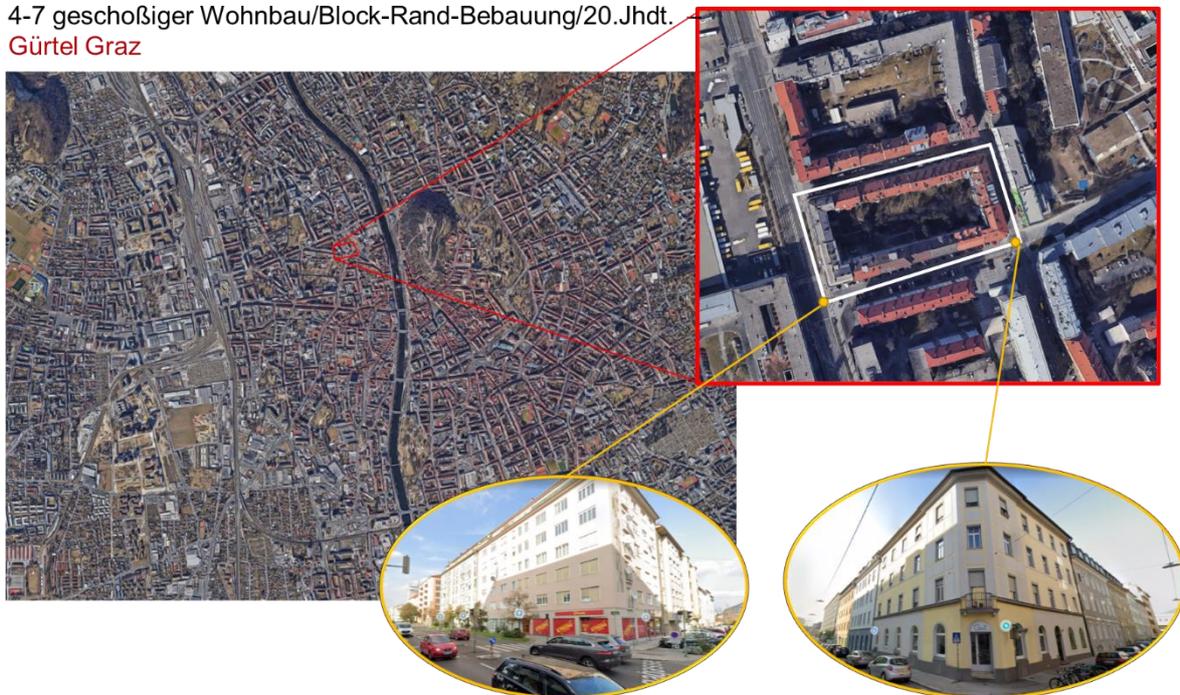


Abbildung 3 zeigt eine Luftbildaufnahme des Quartiers. Hier sind gut die Bäume im Innenhof erkennbar.

Abbildung 3: Luftbildaufnahme (Quelle: VertiGIS / Stadtplan Graz Luftbild)



Abbildung 4: Fassadenansicht Bahnhofsgürtel (links) und Ghegagasse (rechts)



1.1.3. Flächenwidmung

Abbildung 5 zeigt einen Auszug aus dem Flächenwidmungsplan. Es handelt sich um ein Kerngebiet mit Wohngebiet.

Das Gebiet befindet sich außerhalb der Grazer Altstadt Schutzzonen.

Abbildung 5: Auszug aus dem Flächenwidmungsplan der Stadt Graz (Quelle: VertiGIS)

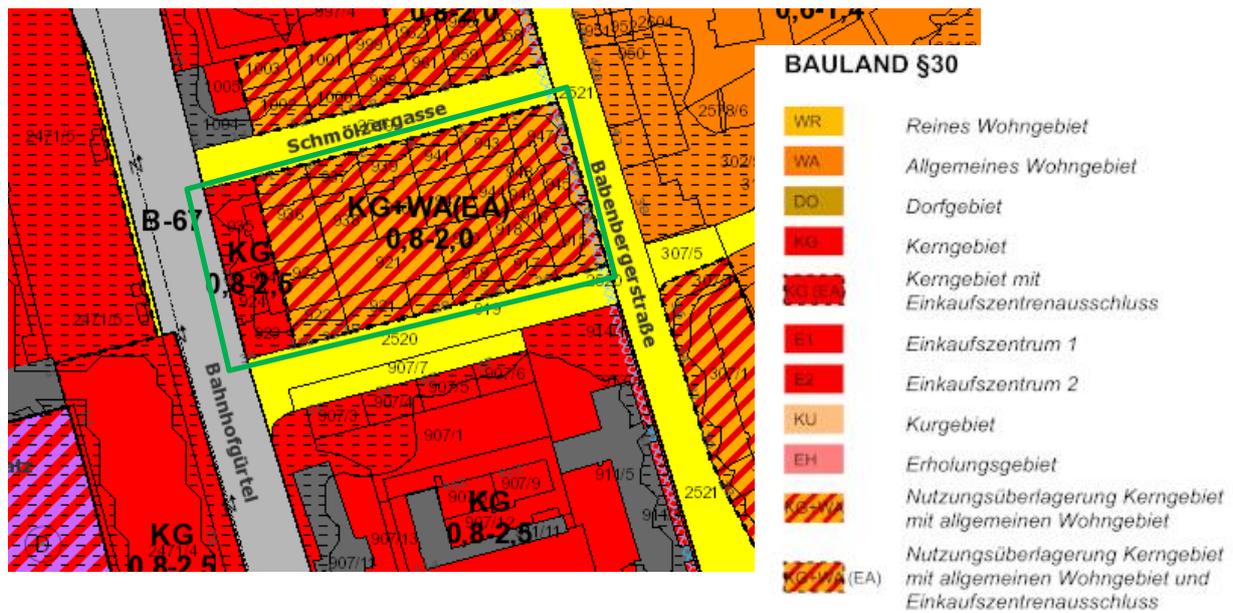
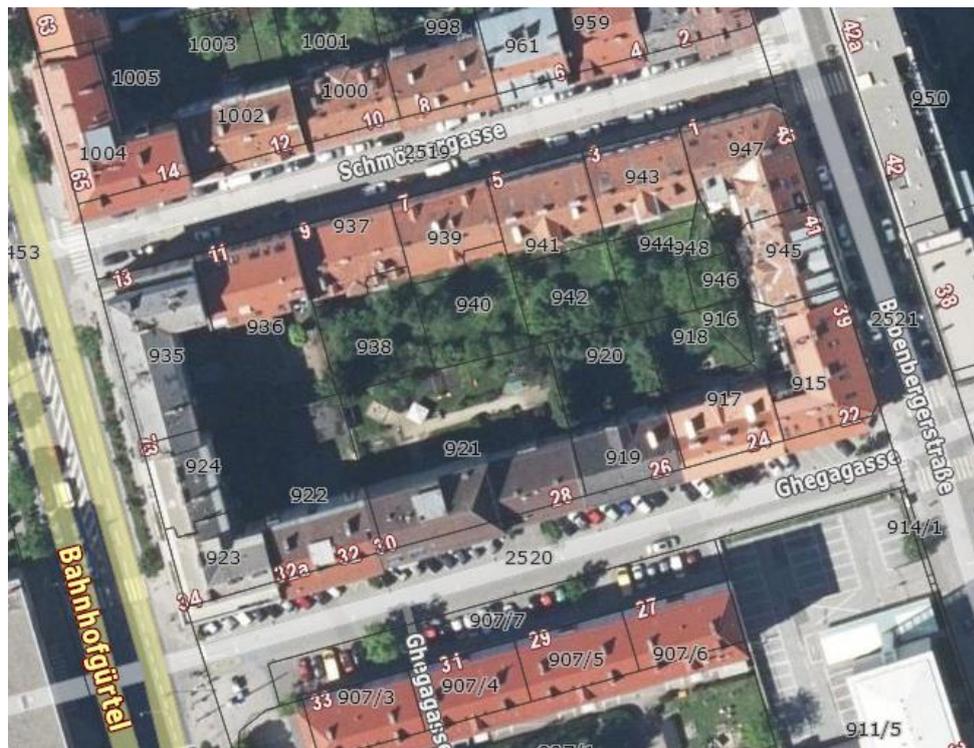


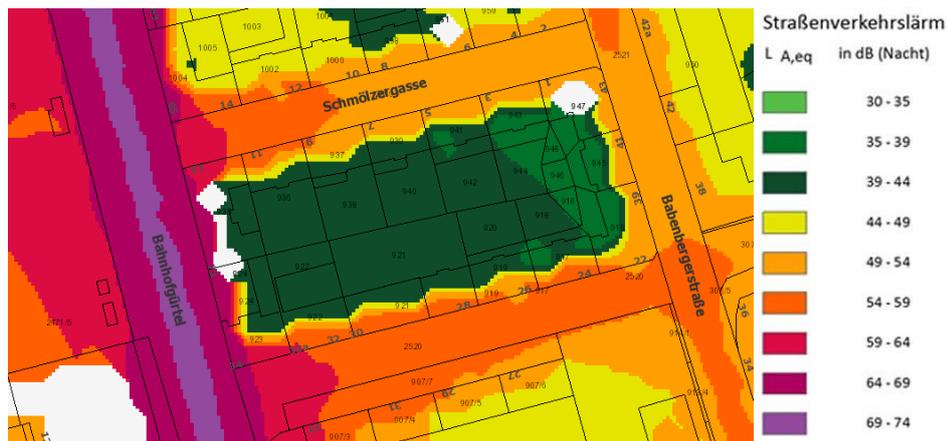
Abbildung 6: Auszug mit Grundstücksnummern (Quelle: gis.stmk.gv.at)



1.1.4. Lärmkataster

Angaben zum Umgebungsschallpegel sind relevant für die Installation von luftgekühlten Geräten, da deren Schallemission nicht höher als der Umgebungsschallpegel sein darf. Abbildung 7 zeigt einen Auszug aus der Straßenverkehrslärmkarte. In den Innenhöfen ist in der Nacht ein Schallpegel von 39-44 dB(A) einzuhalten.

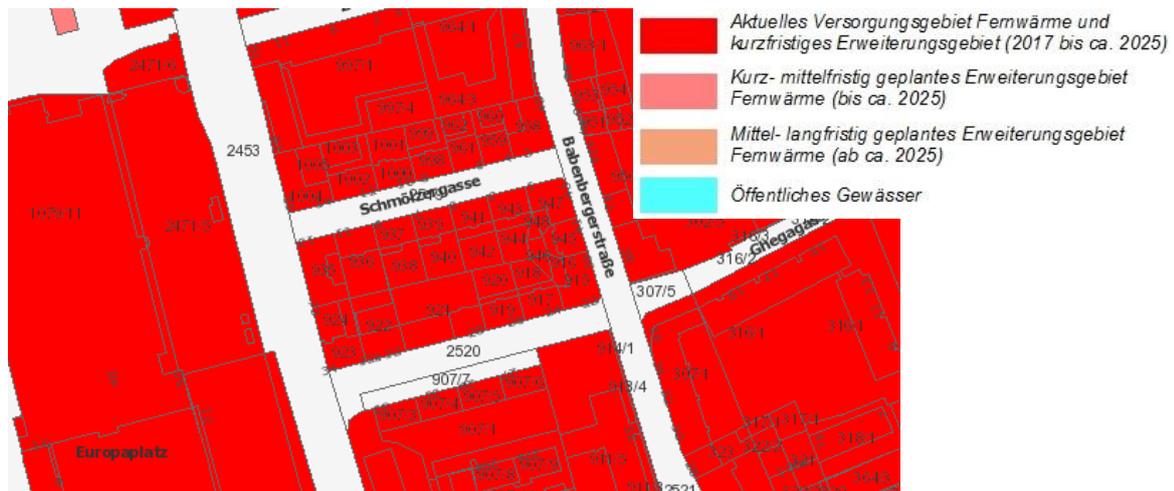
Abbildung 7: Straßenverkehrslärmkarte (Nacht) (Quelle: VertiGIS der Stadt Graz)



1.1.5. Bestehende Wärmeversorgung

Abbildung 8 zeigt, dass das Quartier im Fernwärmeversorgungsgebiet liegt. Eine Umstellung auf Wärmepumpen ist derzeit nicht geplant.

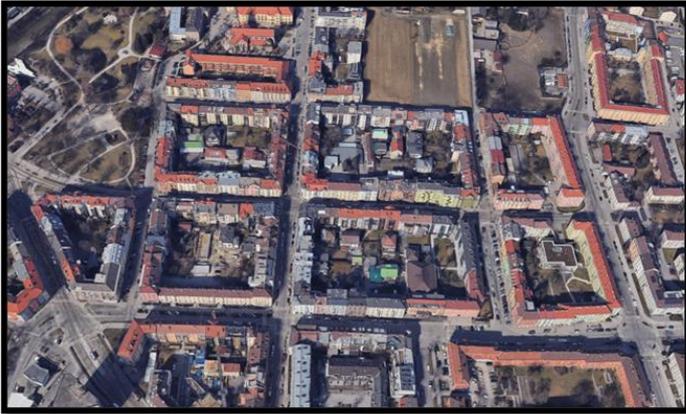
Abbildung 8: Auszug Versorgungsgebiete Fernwärme Graz in Rot (Quelle: VertiGIS Graz)



Die Wärmeabgabe in den Wohnungen erfolgt mittels Heizkörpern, die auf Vorlauftemperaturen von 65 bis 70 °C ausgelegt sind.

Das nachfolgende Kapitel zeigt, dass ähnliche Quartier in anderen Städten Österreichs häufig in ähnlicher Form zu finden sind.

1.2. Ähnliche Quartiere



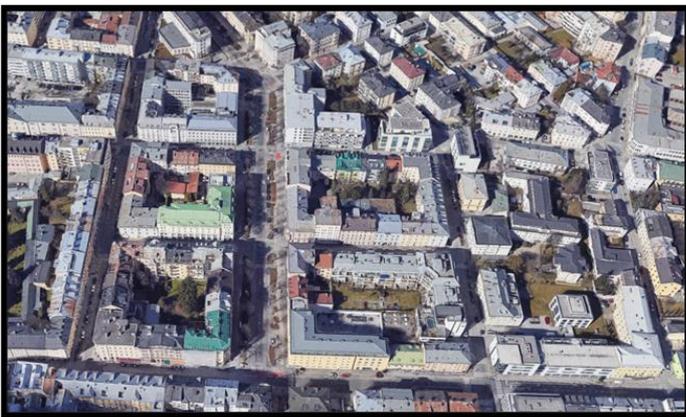
Innsbruck Pradler Straße

(Quelle: Google Maps)



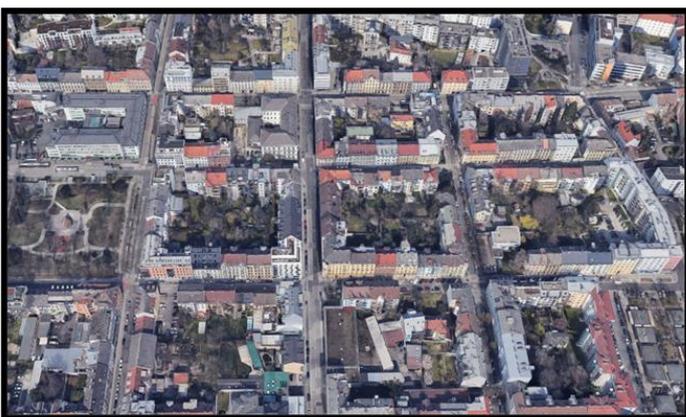
Wien Ottakring

(Quelle: Google Maps)



Salzburg Franz-Josef-Straße

(Quelle: Google Maps)



Linz Volksfeldstraße

(Quelle: Google Maps)

2.3. U-Werte

Für die Berechnung der Kältebedarfsmatrix und der darauf basierenden Kälte-Kennzahlen wurden im Zuge des Projektes für die Außenwände bei Objekten mit Baujahr zwischen 1945 und 1990 die folgenden U-Werte festgelegt:

Bestand: 1,0 W/m²K

Saniert: 0,35 W/m²K

Die Herleitung dieser U-Werte befindet sich im Bericht E2.1 Bildungsfaktoren des Kältebedarfs in Kapitel 3.1.

2.4. Fenster/Beschattung

Für die Berechnung der Kältebedarfsmatrix und der darauf basierenden Kältekennzahlen wurde im Zuge des Projekts der Kennwert Gesamtenergiedurchlass der Fassade $g_{\text{total,Fassade}}$ entwickelt. Es handelt sich dabei um eine Kombination aus g-Wert des Fensters, Verschattungsfaktor des Sonnenschutzes bzw. gebauter Strukturen und Glasflächenanteil der Fassade. Der Wert wird unterteilt in die Klassen 5 %, 10 % und 15 %. Je niedriger der Wert, desto besser ist das Gebäude vor solarer Einstrahlung geschützt. Die genaue Erläuterung dieses Kennwerts findet sich im Bericht E2.1 Bildungsfaktoren des Kältebedarfs in Kapitel 3.1.

Für **Wohngebäude**, die zwischen 1945 und 1990 errichtet wurden, wurde in den Projektberechnungen für das Referenzjahr 2030 davon ausgegangen, dass 48 % einen $g_{\text{total,Fassade}}$ von 5 % und 52 % einen $g_{\text{total,Fassade}}$ von 10 % haben. Für das Vergleichsjahr 2050 sind die Annahmen: 85 % mit $g_{\text{total,Fassade}}$ von 5 % und 15 % mit $g_{\text{total,Fassade}}$ von 10 %.

Im Zuge dieser Studie wurden die Anteile aliquot zu den Nutzflächen berücksichtigt.

2.5. Lüftung

Im Zuge des Projektes wurde als Basis für die Berechnungen festgelegt, dass Wohnungen über keine mechanische Lüftung / kontrollierte Wohnraumlüftung verfügen. Der hygienische Mindestluftwechsel wird über Fensterlüftung bereitgestellt.

2.6. Sanierungsgrad

Im Zuge des Projekts wurde als Basis für die Berechnungen für alle Bauperioden und Gebäude ein Sanierungsgrad basierend auf dem Stand von 2021 (50 %) mit entsprechender Indexierung für die Jahre 2030 und 2050 festgelegt. Für die Machbarkeitsstudie wurde als Referenzjahr das Jahr 2030 herangezogen und als Vergleichsjahr 2050.

Da es sich bei diesem Quartier um einen Gebäudemix unterschiedlicher Baujahre sowie um verschiedene Eigentümer handelt, ist davon auszugehen, dass der für das Projekt angenommene Sanierungsschlüssel auch auf dieses Quartier umgelegt werden kann.

Für Gebäude, die zwischen 1945 und 1990 errichtet wurden, wurde für das Referenzjahr 2030 unabhängig von der Nutzung festgelegt, dass 68 % der Gebäude bereits saniert sind.

Im Vergleichsjahr 2050 geht man davon aus, dass Bürogebäude, die zwischen 1945 und 1990 errichtet wurden, zu 80 % saniert sind und bei Wohngebäuden zu 85 %.

2.7. Kühlgradtage

Als Basis für die Berechnung der spezifischen Kältekennzahlen mit Hilfe der Kältematrix sind die Kühlgradtage anzusetzen.

Für das Projekt wurden die Kühlgradtage 18,3/18,3 °C vom Projekt Climamap adaptiert (entsprechend den Entwicklungen der letzten Jahre erhöht). Eine genaue Erläuterung dazu findet sich im Ergebnisbericht E3.2 Kältebedarfsmodellierung und -karten.

Für dieses Beispielquartier mit dem **Standort Graz** ergeben sich für das Referenzjahr 2030 356,2 Kühlgradtage; für das Vergleichsjahr 2050 steigt diese Zahl auf 452,7 Kühlgradtage.

2.8. Raumtemperatur-Sollwerte

Für Wohnen wird in dieser Studie ausschließlich das generelle Komfortmodell mit einer fixen Raumtemperaturgrenze von 26 °C festgelegt.

3 Ermittlung Kältekennzahlen

3.1. Kühllast

In der Berechnung der Kältekennzahlen wird der Anteil für das Gewerbe nicht berücksichtigt. Als Basis für die spezifischen Kälteleistungen dient die im Projekt entwickelte **Kältematrix UKÖ 2030-2050 Nutzerinnen (E3.1)**.

In Abhängigkeit von den Kühlgradtagen und dem Baujahr ergeben sich die in den nachstehenden Tabellen angeführten spezifischen Werte.

3.1.1. Referenzjahr 2030

Tabelle 3 zeigt die Berechnung der gewichteten spezifischen Kühllast bezogen auf die Wohnnutzflächen. Die Gewichtung erfolgte anhand des angegebenen Anteils der Wohnungen im Quartier, wobei diese Anteile in Summe 100 % ergeben, während der Wohnungsanteil im Quartier 85 % beträgt.

Tabelle 3: Berechnung der spezifischen Kälteleistung für die Wohnflächen beim generellen Komfortmodell (Raumtemperatur Sollwert von 26 °C unabhängig von Außenlufttemperatur) im Referenzjahr 2030

Nutzung		Wohnen (generell)			
Baujahr		1945-1990			
$\xi_{\text{total;Fassade}}$		5 %		10 %	
U-Wert	W/(m ² K)	1,0	0,35	1,0	0,35
Anteil an Wohnfläche im Quartier		15 %	33 %	17 %	35 %
spezifische Kälteleistung	W/m ²	27,0	25,3	34,3	32,0
gewichtete spez. Kälteleistung	W/m²	29,44			

Die Gesamtkühllast für das Referenzjahr 2030 ergibt sich aus dem Flächenanteil von 85 % für Wohnungen. Die Gewerbeflächen werden in der Gesamtkühllast nicht berücksichtigt, da diese oft andere Temperaturniveaus benötigen bzw. eigenständige Kühlsysteme installieren. Für die Berechnung der Gesamtkühllast wurde das generelle Komfortmodell angenommen.

Für das Gebäude ergibt sich damit gemäß der Berechnung in Tabelle 1Tabelle 4 für das Referenzjahr 2030 eine Gesamtkühllast von ca. 395 kW. Das entspricht einer spezifischen Kühllast von ca. 29,5 W/m² bezogen auf die Nutzfläche Wohnen (nicht auf die gekühlte Fläche).

Tabelle 4: Berechnung der Gesamtkühlleistung für das Referenzjahr 2030

Nutzung	Anteil	Nutzfläche (m ²)	spezifische Leistung (W/m ²)	Leistung (kW)
Büro	0 %	-	0,0	-
Wohnfläche	85 %	13.345	29,4	393
Gewerbe	15 %		0,0	-
SUMME	100 %	13.345	29,4	393

3.1.2. Vergleichsjahr 2050

Tabelle 5 zeigt die Berechnung der gewichteten spezifischen Kühlleistung bezogen auf die Wohnnutzflächen. Es zeigt sich eine geringfügige Reduktion im Vergleich zu 2030.

Tabelle 5: Berechnung der spezifischen Kälteleistung für die Wohnflächen beim generellen Komfortmodell (Raumtemperatur Sollwert von 26 °C unabhängig von Außenlufttemperatur) im Vergleichsjahr 2050

Nutzung		Wohnen (generell)			
Baujahr		1945-1990			
$\xi_{\text{total;Fassade}}$		5 %		10 %	
U-Wert	W/(m ² K)	1,0	0,35	1,0	0,35
Anteil an Wohnfläche im Quartier		13 %	72 %	2 %	13 %
spezifische Kälteleistung	W/m ²	29,1	27,4	36,5	34,2
gewichtete spez. Kälteleistung	W/m²	28,66			

Die Gesamtkühlleistung für das Vergleichsjahr 2050 ergibt sich aus dem Anteil von 85% für Wohnungen. Die Gewerbeflächen werden in der Gesamtkühlleistung nicht berücksichtigt, da diese oft andere Temperaturniveaus benötigen bzw. eigenständige Kühlsysteme installieren. Für die Berechnung der Gesamtkühlleistung wurde das generelle Komfortmodell angenommen.

Für das Gebäude ergibt sich damit gemäß der Berechnung in Tabelle 6 Tabelle 1 für das Referenzjahr 2050 eine Gesamtkühlleistung von ca. 385 kW. Das entspricht einer spezifischen Kühlleistung von ca. 29 W/m² bezogen auf die Nutzfläche Wohnen (nicht auf die gekühlte Fläche).

Tabelle 6: Berechnung der Gesamtkühlleistung für das Referenzjahr 2050

Nutzung	Anteil	Nutzfläche (m ²)	spezifische Leistung (W/m ²)	Leistung (kW)
Büro	0 %	-	0,0	-
Wohnfläche	85 %	13.345	28,7	383
Gewerbe	15 %		0	-
SUMME	100 %	13.345	28,7	383

3.1.3. Kühlleistung 2030 vs. 2050

Aufgrund des erhöhten Standards der Gebäude im Jahr 2050 infolge von Sanierung (höherer Sanierungsgrad von 85 % gegenüber 68 %) und damit verbundenen besseren U-Werten und einem geringeren Gesamtenergiedurchlass durch die Fassade durch Fenstertausch und Verschattung nimmt die erforderliche Gesamtkälteleistung (basierend auf den Berechnungen der Kältematrix) für 2050 gegenüber 2030 um 10 kW ab.

3.2. Kühlbedarf

3.2.1. Referenzjahr 2030

Tabelle 7 zeigt die Berechnung des gewichteten spezifischen Kühlbedarfs bezogen auf die Bruttogrundfläche.

Tabelle 7: Berechnung des spezifischen Kühlbedarfs für die Wohnflächen beim generellen Komfortmodell (Raumtemperatur Sollwert von 26 °C unabhängig von Außenlufttemperatur) im Referenzjahr 2030

Nutzung		Wohnen			
Baujahr		1945-1990			
$g_{\text{total;Fassade}}$		5 %		10 %	
U-Wert	W/(m ² K)	1,0	0,35	1,0	0,35
Anteil an Wohnfläche im Quartier		15 %	33 %	17 %	35 %

Nutzung		Wohnen			
spez. Kühlbedarf	kWh/(m ² a)	5,6	5,0	8,0	7,3
gewichteter spez. Kühlbedarf	kWh/(m²a)	6,39			

Der Gesamtkühlbedarf für das Referenzjahr 2030 ergibt sich aus dem Anteil von 85 % für Wohnungen. Die Gewerbeflächen werden im Gesamtkühlbedarf nicht berücksichtigt, da diese oft andere Temperaturniveaus benötigen bzw. eigenständige Kühlsysteme installieren.

Für das Gebäude ergibt sich damit gemäß der Berechnung in Tabelle 8 für das Referenzjahr 2030 ein Jahreskühlbedarf von ca. 125 MWh/a. Das entspricht einem spezifischen Kühlbedarf von ca. 6,5 kWh/(m²a) bezogen auf die Bruttogrundfläche (nicht auf die gekühlte Fläche) von Wohnen.

Tabelle 8: Berechnung des Gesamtkühlbedarfs für das Referenzjahr 2030

Nutzung	Anteil	BGF (m ²)	spez. Kühlbedarf (kWh/m ² /a)	Kühlbedarf (MWh/a)
Wohnfläche	85 %	19.635	6,4	125
Gewerbe	15 %		0	-
SUMME	100 %	19.635	6,4	125

3.2.2. Vergleichsjahr 2050

Tabelle 9 zeigt die Berechnung des gewichteten spezifischen Kühlbedarfs bezogen auf die Bruttogrundfläche.

Tabelle 9: Berechnung des spezifischen Kühlbedarfs für die Wohnflächen beim generellen Komfortmodell (Raumtemperatur Sollwert von 26 °C unabhängig von Außenlufttemperatur) im Vergleichsjahr 2050

Nutzung		Wohnen			
Baujahr		1945-1990			
$g_{\text{total;Fassade}}$		5 %		10 %	
U-Wert	W/m ² K	1,0	0,35	1,0	0,35
Anteil an Wohnfläche im Quartier		13 %	72 %	2 %	13 %

Nutzung		Wohnen			
spez. Kühlbedarf	kWh/(m ² a)	8,2	7,3	11,3	10,2
gewichteter spez. Kühlbedarf	kWh/(m ² a)	7,86			

Der Gesamtkühlbedarf für das Referenzjahr 2030 ergibt sich aus dem Anteil von 85 % für Wohnungen.

Für das Gebäude ergibt sich damit gemäß der Berechnung in Tabelle 10 für das Vergleichsjahr 2050 ein Jahres-Kühlbedarf von ca. 155 MWh/a. Das entspricht einem spezifischen Kühlbedarf von ca. 8 kWh/(m²a) bezogen auf die Bruttogrundfläche (nicht auf die gekühlte Fläche) von Wohnen.

Tabelle 10: Berechnung des Gesamtkühlbedarfs für das Vergleichsjahr 2050

Nutzung	Anteil	BGF (m ²)	spez. Kühlbedarf (kWh/m ² /a)	Kühlbedarf (MWh/a)
Wohnfläche	85 %	19.635	7,9	154
Gewerbe	15 %		0	-
SUMME	100 %	19.635	7,9	154

3.2.3. Kühlbedarf 2030 vs. 2050

Der Kühlbedarf zwischen 2030 und 2050 ändert sich um ca. 23%, während die Kühlgradtage im Berechnungsansatz um 27% zunehmen.

4 Machbarkeitsanalyse für die Kältebereitstellung

4.1. Ausgangslage

Die Leistungen für die Kälteerzeugungsanlagen werden so ausgelegt, dass alle Nutzflächen des Objektes angeschlossen werden können.

4.2. Systemübersicht

Die Erläuterung sämtlicher genannter technischer Systeme befindet sich im **Bericht 4.1 Technologieprofile**.

Abbildung 11 zeigt mögliche passive Systeme (gem. Bericht E4.1 Technologieprofile Kapitel 1 „Vermeidung von Wärmeeinträgen in Innenräume“).

Abbildung 11: Systemübersicht passive Maßnahmen

Passive Maßnahmen	Verschattung	Sonnenschutzverglasung	Kühlende Hüllmaterialien	Hinterlüftete Fassaden	Gebäudebegrünung
Relevanz in Österreich	hoch	mittel	niedrig	niedrig bis mittel	niedrig für Gebäude, hoch für Mikroklima
Platzbedarf	gering	keiner	keiner	dickere Außenwände	Platz für Bepflanzung
Vorteile	keine Zugluft; keine Lärmemission, keine Antriebsenergie, keine ökologisch nachteilige Wirkung am Einsatzort; keine Hitzeemission im Außenraum				
	individuell Regelbar		einfach bei Sanierung umzusetzen		wirkt positiv auf die Umgebung
Nachteile	- Nachrüstung oft teuer und vom Gebäudeeigentümer(n) zu genehmigen - bei Hochhäusern nur mit vorgesetzter Fassade möglich	- schlechtere Nutzung solarer Gewinne im Winter - keine Regelbarkeit - kann Farbwiedergabe beeinflussen	- Wirkung wird durch Verschmutzung stark reduziert	- im Bestand oft nicht nachrüstbar - Platzbedarf - bei schlechter Durchströmunggegensätzlicher Effekt	

Die Verschattung und die Sonnenschutzverglasung wurden bereits über den Kennwert $g_{\text{total, Fassade}}$ bei der Ermittlung der Kühllasten und des Kühlbedarfs zu einem bestimmten Anteil berücksichtigt.

Die Effekte von kühlenden Hüllmaterialien und hinterlüfteten Fassaden stellen optische Veränderungen an der Fassade sowie einen hohen Kostenfaktor dar und werden daher nicht als Maßnahme vorgeschlagen.

Gebäudebegrünung hat einen positiven Effekt auf das Außenklima und wäre somit ggf. in den Kühlgradtagen zu berücksichtigen, wird hier jedoch nicht in die Auswertung miteinbezogen.

Abbildung 12 gibt eine Übersicht, welche Systeme grundsätzlich für die Kälteversorgung eines Objekts zur Verfügung stehen (gem. Bericht E4.1 Technologieprofile Kapitel 3 „Physikalischer Wärmeentzug aus Innenräumen“, wobei nicht übliche Technologien wie Absorptionskältemaschinen etc. in der grundsätzlichen Systemübersicht nicht berücksichtigt wurden).

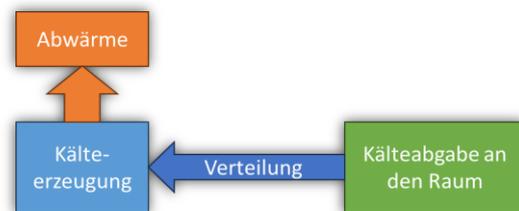
Aufgrund von Einschränkungen durch die Bestandsstruktur wurden nicht mögliche Systeme bereits im Vorfeld aufgrund der nachstehenden Erläuterungen ausgeschlossen.

Abbildung 12: Systemübersicht Wärmeentzug / Kälteerzeugung / Kälteverteilung

Kälteerzeugung	Fernkälte	Kompressionskälte quartiers- bzw. gebäudezentral						dezentrale Splitklimategeräte
		alle nachstehenden	Luft-Rückkühler	Geothermie	Brunnenwasser	Rückkühlung in Fernwärmenetz	RK in Anergie-netz ("kalte Fernwärme")	
Abwärme								
Einschränkung	Anschlussmöglichkeit nicht oft gegeben; große Anschlussleistungen für wirtschaftlichen Anschluss erforderlich	größerer Platzbedarf als Fernkälte;	Rückkühlung Aufstellung im Außenbereich erforderlich	Flächenbedarf für Erdsonden muss vorhanden sein	Grundwasserverfügbarkeit; Abstand zwischen Brunnen (Entnahme und Rückgabe) ist erforderlich	wenn Fernwärme vorhanden, Zustimmung/Abstimmung Fernwärme erforderlich		Aufstellung im Außenbereich; nicht mit Heizungssystem oder Flächenkühlung kombinierbar;
Schallemission Rückkühlung (RK)	nein	-	ja	nein	nein	nein	nein	ja
Vorteile	- keine Kälteerzeugung im Gebäude --> geringer Technikflächenbedarf - kein Rückkühler am Standort erforderlich --> kein Aufstellfläche erforderlich, keine Schallemissionen		- erprobtes System	- keine Produktion von "Umweltwärme" - Nutzung natürlicher Ressourcen	- keine Aufstellflächen für Rückkühler erforderlich - keine Produktion von "Umweltwärme"	- keine Aufstellflächen für Rückkühler erforderlich - keine Produktion von "Umweltwärme"	- Minimierung des Erdsondenfeldes möglich - keine Aufstellflächen für Rückkühler erforderlich - keine Produktion von "Umweltwärme"	- geringe Verteilverluste
Nachteile	- hohe Betriebskosten - keine Regeneration für Geothermie Wärmepumpe (GT-WP) - Verteilverluste Fernkältenetz		- Schallemissionen - Produktion von "Umweltwärme" durch Rückkühlung - Flächenbedarf Technik	- Errichtungskosten - Flächenbedarf (Technik / Erdsonden)	- Wasserverbrauch		- zusätzliches Leitungsnetz erforderlich	- Einzelslösung --> viele Geräte; kein Synergieeffekt

Kälteabgabe	Bauteilaktivierung	Kühldecke / Kühlsegel	Fußbodenheizung / Fußbodenkühlung change-over	Gebälse-konvektoren	"Fassaden-kühlung"	mechanische Lüftung mit Kühlregister
Einschränkung	im Neubau möglich	ausreichende Raumhöhe erforderlich	bei vorhandenem Fußbodenheizung	geringere Leistungen ohne Kondensatanschluss	bei Fassadensanierung	große Luftströmungen notwendig
Wärmeträger-medium	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser oder Kältemittel	Wasser	Luft
Schallemission	nein	nein	nein	ja	nein	ja

Kälteverteilung	Bestands-heizungsleitung	Neue Leitungen		
		Kamin	Stiegenhaus	Fassade
Einschränkung	im Change-over-Betrieb; nur möglich wenn Warmwasserbereitung separat erfolgt; Dimensionen müssen ausreichend sein hohe Vorlauftemperaturen zur Vermeidung von Kondensat erforderlich --> geringerer Kühleffekt	nur möglich, wenn keine Nutzung für gas- oder hotzbefeuerte Anlagen vorhanden sind.	zusätzlicher Platzbedarf/neue Stiegestränge erforderlich; Einhaltung der Fluchtwege	Erscheinungsbild, in Schutzgebieten/Denkmalerschutz nicht möglich. Sinnvoll in Verbindung mit neuer Wärmedämmung



Auf Seiten der Kälteerzeugung wurden dezentrale Splitklimategeräte als eine mögliche Variante ausgeschlossen. Diese Systeme benötigen für jede Wohn- bzw. Mieteinheit ein eigenständiges Außengerät. Die Objekte verfügen über keine Balkone, auf denen diese aufgestellt werden könnten.

In Graz ist die Fernkälte nicht stark ausgebaut, und das wird gemäß Presseaussendungen aus dem Jahr 2023 (2) auch noch länger so bleiben.

Für den Abtransport der Abwärme von Kompressionskältemaschinen stehen grundsätzlich mehrere Möglichkeiten zur Verfügung.

Eine Fassadenkühlung ist dann sinnvoll, wenn auf eine Wärmepumpe umgestellt werden soll und damit die bestehenden Heizkörper mit niedrigeren VL-Temperaturen betrieben werden können, d. h., eine Fassadenheizung errichtet wird, die im Change-Over als Fassadenkühlung verwendet wird. In diesem Fall wird das Quartier jedoch mit Fernwärme beheizt.

Wird nicht das gesamte Objekt bis auf die Grundmauern saniert – wovon nicht auszugehen ist – stellt eine Bauteilaktivierung keine Option dar.

Auch für eine Fußbodenkühlung müssten große Sanierungsmaßnahmen in den Innenräumen durchgeführt werden, weshalb diese nicht umsetzbar ist.

4.3. Mögliche Kälteerzeugungssysteme

4.3.1. Allgemeines

Denkt man für das Quartier eine gemeinsame Kälteversorgungslösung an, ist man mit einigen Hindernissen konfrontiert.

1. Einigung aller Gebäudeeigentümer (je Liegenschaft und im Quartier) auf eine gemeinsame Lösung
2. Technikfläche muss in einem der Objekte zur Verfügung gestellt werden
3. Servitutsrechte zwischen den vielen einzelnen Grundstücken für die Leitungsverlegung
4. Gemeinsame Beauftragung eines Wartungsunternehmens
5. Abrechnung muss durch ein übergeordnetes Unternehmen erfolgen

Dennoch erscheint eine Quartierslösung als die bessere Option als viele kleinteilige Anlagen.

Werden die oben stehenden Hürden nicht politisch bzw. rechtlich gelöst, besteht die Gefahr von vielen kleinteiligen Anlagen (Splitklimageräte oder mobile Klimageräte).

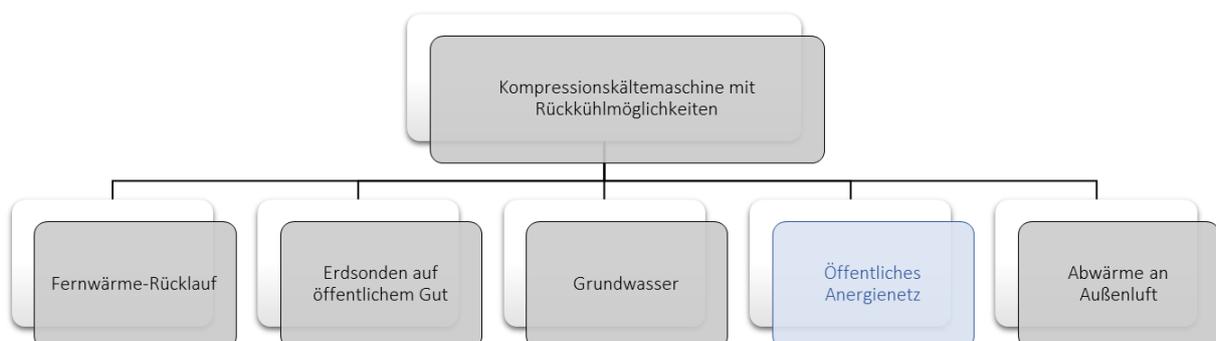
4.3.2. Varianten der Rückkühlung

Das gegenständliche Projekt wird derzeit mit Fernwärme versorgt, von einem Fernkälteanschluss in naher Zukunft kann derzeit nicht ausgegangen werden. Es ist also eine Kompressionskältemaschinenlösung vorzusehen. Die Frage der zugehörigen Rückkühlung muss detaillierter betrachtet werden.

Abbildung 13 zeigt, welche Rückkühlsysteme für dieses Quartier theoretisch in Frage kommen würden. Es gibt jedoch bei allen Varianten der Rückkühlung gewisse Hürden, die im Anschluss erläutert werden sollen.

Als Umsetzungsvariante wird die Rückkühlung an ein öffentliches Energienetz vorgeschlagen, auch wenn dieses aktuell noch nicht vorhanden ist. Alternativ steht immer die Wärmeabgabe an die Außenluft zur Verfügung.

Abbildung 13: Rückkühlmöglichkeiten



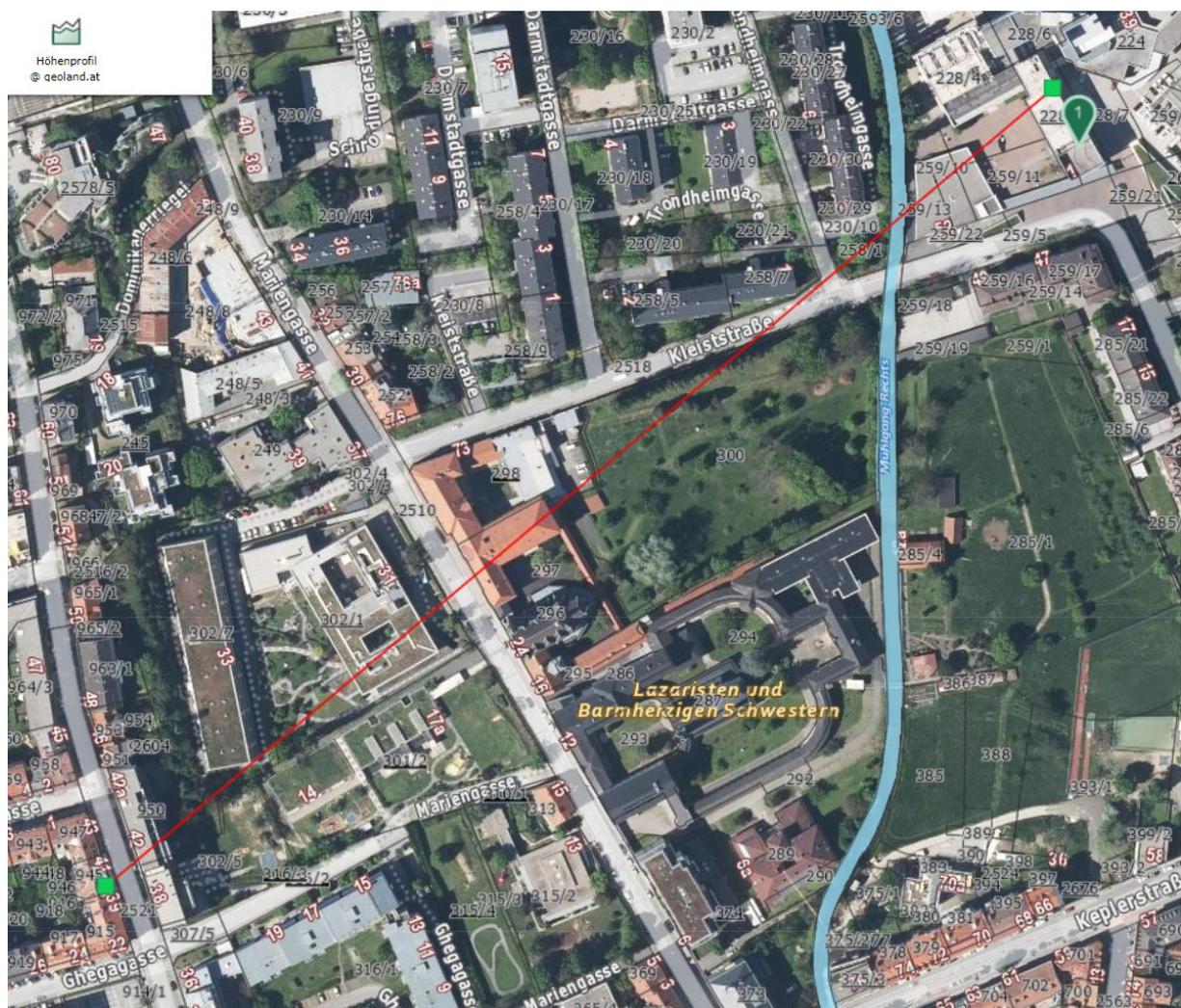
Die Variante der Rückkühlung an den **Fernwärme-Rücklauf** stellt eine einfache Möglichkeit dar, die Abwärme zu nutzen. Es muss allerdings die Abwärme auf die richtige Temperatur (üblicherweise ein hohes Temperaturniveau) gebracht werden. Dies wirkt sich zwar nachteilig auf die Effizienz der Kompressionskältemaschine aus, wenn die Abwärme genutzt werden kann, ist dies jedoch vertretbar. Grundvoraussetzung für eine Umsetzung ist die Zustimmung des Fernwärmeversorgers.

Es gibt hier keine Verpflichtung des Energieversorgers, eine Abwärmeeinspeisung in den Rücklauf zu genehmigen.

Für die **thermische Grundwassernutzung** ist eine wasserrechtliche Bewilligung erforderlich. In rund 530 m Luftlinie zum gegenständlichen Quartier befindet sich die AVL List GmbH (siehe Abbildung 14), die ein Wasserrecht als Kühlwasseranlage mit einer Spitzenleistung von 200 l/s hat. Das gegenständliche Quartier benötigt rund 25 l/s. Insgesamt gibt es in der Katastralgemeinde Lend 6 Brunnen für Kühlwasserzwecke.

Da jedoch die Grundwassertemperatur in den letzten Jahren zunimmt und bereits flussaufwärts mehrere Industriebetriebe die Mur bzw. den Grundwasserkörper zu Rückkühlzwecken verwenden, wird das Thema der Rückkühlung ins Grundwasser in Graz kontrovers diskutiert.

Abbildung 14: Abstand zur nächstgelegenen Grundwassernutzung rund 530 m Luftlinie



Die **Wärmeabgabe an die Außenluft** der im Sommer bereits ohnehin überhitzten Innenstadt sollte, wo andere Möglichkeiten verfügbar sind, vermieden werden, stellt jedoch oft die einzige Option dar. Neben der unmittelbaren Erwärmung der Außenluft stellt die Schallemission einen weiteren Nachteil dieser Lösung dar.

Häufig wird die **Nutzung des Erdreichs (Geothermie)** als Wärmesenke angestrebt. Die mögliche Sondenanzahl in innerstädtischen Gebieten ist stark beschränkt und häufig sind zusätzliche Wärmesenken erforderlich.

Um das Geothermiepotenzial am Standort abzuschätzen, wurden die öffentlichen Flächen (Gehsteig/Straßen) um das Stadtviertel genutzt (siehe Abbildung 15). Die Innenhöfe wurden aufgrund von Baumbestand, Zugänglichkeit etc. ausgeschlossen. Die Maximalbelegung im betrachteten Gebiet ergibt sich unter der Annahme eines Sondenabstands von 7 m (ausgeglichene Bilanz) mit 57 Sonden. Bei einer spezifischen Rückkühlleistung von 35 W/lfm und einer Bohrtiefe von 140 m ist mit der Maximalbelegung eine Rückkühlleistung von rund 279 kW realisierbar. Für eine vollflächige Kühlung des Quartiers wäre eine Rückkühlleistung von mehr als 400 kW erforderlich.

Derzeit ist eine private Nutzung von öffentlichen Flächen (Parkplätzen) für Erdsonden in Graz nicht vorgesehen bzw. gesetzlich geregelt.

Graz liegt in einer Grundwasserzone, „Grazer und Leibnitzer Becken“ genannt, in der bis zu einer Tiefe von 100 m nicht mit artesisch gespanntem Grundwasser zu rechnen ist. Von der Bewilligung tieferer Erdsonden kann nicht ausgegangen werden.

Abbildung 15: Visualisierung der maximal zur Verfügung stehenden öffentlichen Flächen für die Abschätzung des Geothermiepotenzials inkl. Darstellung der maximal möglichen Sondenanzahl bei einem Sondenabstand von 7 m



Anergienetze oder sogenannte Kalte Fernwärmenetze stellen eine Möglichkeit dar, die Abwärme von Kühlaggregaten zusammenzufassen und bestenfalls andernorts als Quelle zur Wärmebereitstellung zu nutzen. Dazu müssten ein Leitungsnetz und Wärmesenken (z. B. Erdsonden) an öffentlichen Orten (z. B. Parkanlagen) errichtet werden. In Gebieten mit mehr Freiflächen wie Parks in der Umgebung (siehe Abbildung 16) wäre eine solche Variante möglich und wird daher für dieses Quartier in Betracht gezogen.

Abbildung 16: Quartier im Kontext der Stadt – umliegende öffentliche Grünflächen (Quelle: geodaten.graz.at)



4.4. Mögliche Kälteabgabe

4.4.1. Flächenkühlung

Als Kälteabgabe stehen grundsätzlich entweder überwiegend strahlungsbasierte oder überwiegend konvektive Systeme zur Verfügung. Zu den strahlungsbasierten Systemen zählt die Flächenkühlung. Da Bauteilaktivierung und Fußbodenkühlung aufgrund des erheblichen Umbauaufwands oben bereits ausgeschlossen wurden, besteht die Möglichkeit, **Kühlsegel bzw. abgehängte Kühldecken** zur Wärmeabfuhr aus dem Raum zu verwenden.

Die Vorlauftemperaturen für Kühldecken dürfen nicht zu niedrig sein, da Kondensatbildung unerwünscht ist. Eine Entfeuchtung ist mit dieser Art der Kälteabgabe nicht möglich.

4.4.2. Gebläsekonvektoren/Wärmepumpenheizkörper

Da das Objekt mit Heizkörpern zur Wärmeabgabe ausgestattet ist, bietet sich ein Tausch dieser gegen Gebläsekonvektoren an. Dabei können in vielen Fällen die bestehenden Heizungsleitungen auch für die Kühlung verwendet werden, wenn die Vorlauftemperaturen nicht zu niedrig angesetzt werden.

Der übliche Nebeneffekt, mit den Gebläsekonvektoren auch entfeuchten zu können, kommt bei Verwenden der bestehenden Heizungsleitungen im Change-Over-System aufgrund der erforderlichen höheren Vorlauftemperaturen (zur Vermeidung von Kondensat an den Leitungen) nicht zu tragen. Außerdem sind auch die Anschlüsse des Kondensatablaufs der Gebläsekonvektoren – auch bei einem neuen Kälteleitungsnetz – ein Hindernis.

Die Kälteleistung der Gebläsekonvektoren sinkt bei höheren Vorlauftemperaturen, ist jedoch bei ausreichender Dimensionierung ausreichend für die erforderlichen Kühllasten.

Eine abgeschwächte Version der Gebläsekonvektoren stellen sogenannte Wärmepumpen- oder gebläseunterstützte Niedertemperaturheizkörper dar, die ebenfalls mit einem Gebläse ausgestattet sind. Während bei Gebläsekonvektoren kein Strahlungsanteil vorhanden und somit auch im Heizbetrieb der Ventilator erforderlich ist, haben die Wärmepumpenheizkörper einen ähnlichen Strahlungsanteil wie herkömmliche Heizkörper/Radiatoren. Damit sind sie für einen Einsatz in Wohnungen oft besser geeignet und werden daher im Zuge dieser Studie für die Wohnbereiche vorgeschlagen.

4.5. Mögliches Verteilnetz

Es wird davon ausgegangen, dass, ausgehend von der Technikzentrale in einem Objekt, die Versorgung der umliegenden Gebäude über eine Leitungsführung durch die Untergeschoße erfolgen kann.

Aufgrund der unterschiedlichen Gebäudestrukturen kann die Anbindung der einzelnen Mietobjekte nicht in allen Objekten gleich erfolgen. Es gibt Stieghäuser, in denen der Einzug eines vertikalen Schachts eine unerlaubte Verringerung der Fluchtwegsbreite mit sich bringen würde. In diesen Objekten kann die Verteilung über die Fassade der Innenhöfe erfolgen.

Die Anbindung von einzelnen Einheiten innerhalb der Objekte ausgehend vom Stiegenhaus erfolgt entweder in abgehängten Decken oder entlang von Poterien an den Wänden.

4.6. Technische Umsetzung

Die Variante der Rückkühlung an ein öffentliches Anergienetz stellt eine Möglichkeit dar, die Abwärme an anderen Orten zu nutzen. Es muss allerdings die Abwärme über ein öffentliches Leitungsnetz transportiert werden bzw. sind zusätzliche Wärmesenken (z. B. Geothermiefelder) an öffentlichen Orten zu errichten, wenn die Abwärme nicht vollständig genutzt werden kann.

Grundvoraussetzung für eine Umsetzung ist die Errichtung eines öffentlichen Anergienetzes.

Die ermittelte Kühllast liegt bei rund 400 kW, unter Berücksichtigung einer Gleichzeitigkeit von maximal 80 % ergibt das eine Kühlleistung von 320 kW. In dieser Größe wird eine wassergekühlte Kompressionskältemaschine vorgesehen. Die Rückkühltemperatur wird entsprechend den Vorgaben des Anergienetzes (voraussichtlich maximal 30 °C) ausgelegt.

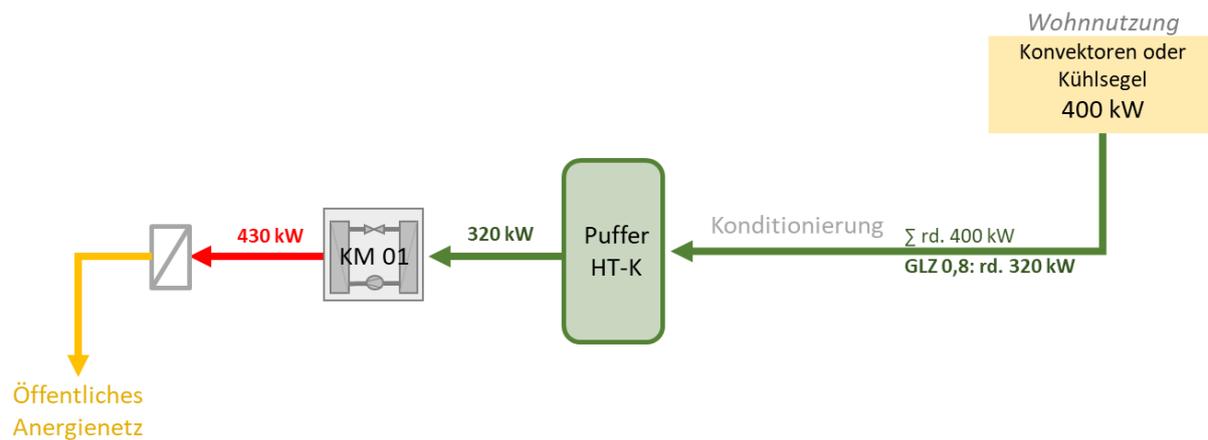
Für die notwendige Rückkühlung wird ein Wärmetauscher zum Anergienetz (Systemtrennung) vorgesehen. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich.

Die erforderliche Leistung des Wärmetauschers kann für die Kälteleistung von rund 320 kW mit einer Rückkühlleistung von rund 430 kW abgeschätzt werden.

Die erforderliche Aufstellfläche kann mit rund 70 m² abgeschätzt werden, die genauen Abmessungen benötigen eine weiterführende Planung.

Abbildung 17 zeigt das Prinzipschema für die Kälteerzeugung.

Abbildung 17: Prinzipschema Kältemaschine mit Rückkühlung an das öffentliche Anergienetz



Zusammenfassend können die folgenden wesentlichen Vorteile für das System genannt werden:

- Keine Abwärme an die Umgebung
- Geringere Verteilverluste im Vergleich zu Fernkälte
- Investitionskosten der Rückkühlung geringer als bei Erdsonden
- Geringe Schallemissionen

Die wesentlichen Nachteile sind nachfolgend zusammengefasst:

- Errichtung eines öffentlichen Netzes inklusive Wärmesenken

5 Grobkostenschätzung

5.1. Randbedingungen Kostenermittlung

Die folgenden Randbedingungen gelten für die Ermittlung der Baukosten:

- Leistungsumfang: Kälteerzeugung für betrachtetes Stadtquartier | TGA-Kosten – KG3 Bauwerk Technik
- Fläche: rd. 13.345 m² NRF (rd. 19.635 m² BGF)
- Schwankungsbreite: ±25 %
- Preise in EURO netto (exkl. USt)
- Preisbasis: 04/2024

Allgemeine Baustellengemeinkosten, Logistik (Lage, Bauphasen) sowie Planungsleistungen sind in den Kosten derzeit nicht berücksichtigt:

Für die Berechnung der Energiekosten wurden die Preise entsprechend der Preisbasis 2024 angesetzt, die Kosten für Kälte und elektrische Energie sind nachfolgend dargestellt. Für die Preise des öffentlichen Anergienetzes wurden 1/4 der Kosten der Fernkälte Wien (www.waermepreise.at (3)) als Berechnungsgrundlage angesetzt, für die Preise elektrische Energie wurde der Tarifkalkulator der E-Control (4) verwendet.

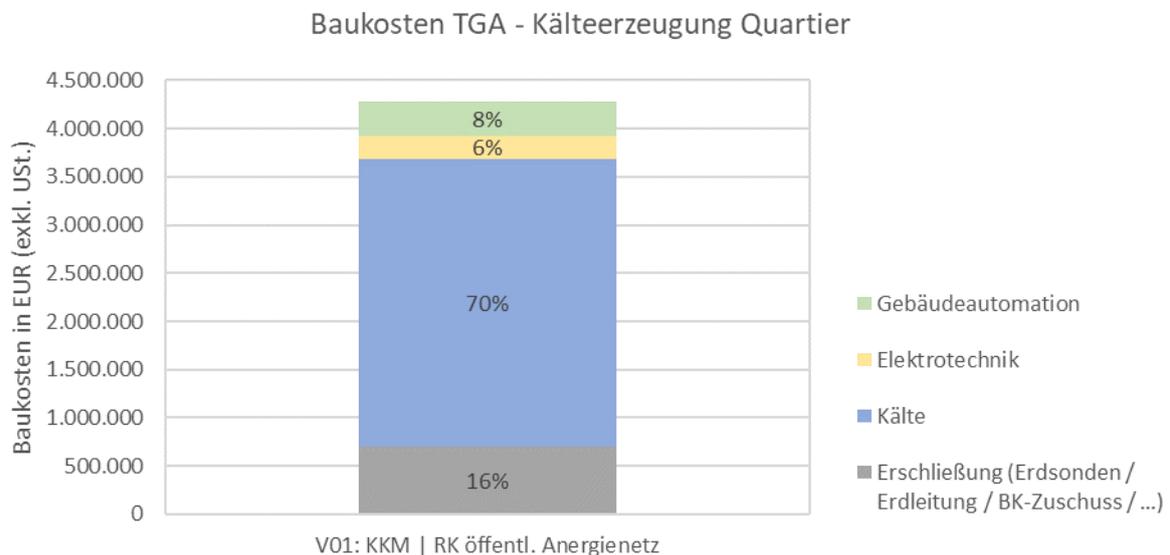
- 1/4 d. Kosten Fernkälte (Wien): 46 €/MWh | 14 €/(kW*a)
- Kosten el. Energie (Wien): 8,54 Cent/kWh | 59,90 €/a

5.2. Grobkosten Kältesystem – Kostengruppe 3 Bauwerk Technik

Die Zusammenstellung der Grobkosten für das Kältesystem (Gewerke Kälte, zugehörige Elektrotechnik und Gebäudeautomation) ist, aufgeteilt auf die einzelnen Gewerke, in Abbildung 18 zusammenfassend dargestellt, die Details dazu finden sich in Abbildung 19.

Zu erkennen ist, dass die Baukosten bei rund 220 €/m²_{BGF} liegen, wobei der größte Anteil mit rund 70 % auf die Kälteerzeugung entfällt, auf die Erschließung (Anschluss an das öffentliche Anergienetz inkl. Nebenarbeiten) entfallen rund 16 %, und die anteilige Elektrotechnik und Gebäudeautomation machen rund 14 % der Baukosten aus.

Abbildung 18: Baukosten TGA – Übersicht Kompressionskälte mit Rückkühlung an öffentl. Anergienetz



	V01: KKM RK öffentl. Anergienetz	
	€	€/m ² (BGF)
Erschließung (Erdsonden / Erdleitung / BK-Zuschuss / ...)	706.000	36
Kälte	2.981.700	152
Elektrotechnik	239.000	12
Gebäudeautomation	358.000	18
Summe	4.284.700	218

Abbildung 19: Details Grobkosten Kompressionskälte mit Rückkühlung an öffentl. Anergienetz

V01 Kompressionskälte m. Rückkühlung an öffentl. Anergienetz

Fläche	13.345 m ² NRF	19.635 m ² BGF
Büro	m ² NRF	m ² BGF
Wohnen	13.345 m ² NRF	19.635 m ² BGF

Kühllast	320 kW	Last	400 kW
		GLZ	0,8 -

	€	€/m ² (BGF)	
Erschließung (Erdsonden / Erdleitung / BK-Zuschuss / ...)	706.000	36	16%
Kälte	2.981.700	152	70%
Elektrotechnik	239.000	12	6%
Gebäudeautomation	358.000	18	8%
Summe	4.284.700	218	100%

Geothermie / Erdleitungen / FW Anschluss BK-Zuschuss

	EH	Menge	Kosten
Anschlusskosten öffentl. Anergienetz	50.000 €	1 Pa	50.000 €
Anschlussleitung (inkl. Wiederherstellung der Oberflächen)	1.200 €/lfm	50 ^{*1} lfm	60.000 €
Wärmetauscher	8.000 €/Pa	1 Pa	8.000 €
Verteilung Quartier	400 €/lfm	420 lfm	168.000 €
Wiederherstellen Oberflächen (Verteilung im Quartier)	100 €/m ²	4.200 m ²	420.000 €

706.000 €

36 €/m²

Kälte

160 kW

Fernkälte

	EH	Menge	Kosten
Kälteerzeugung KKM nördl. (300 kW)	900 €/kW	2 Stk.	288.000 €
Kälteverrohrung zw. Rückkühler und Kältemaschine	240 €/kW	430 kW	103.200 €
Kälteverrohrung zw. Kältemaschine und Kältenetz	220 €/kW	320 kW	70.400 €
Pufferspeicher	15.000 €/Stk.	2 Stk.	30.000 €
Verteiler	2.500 €/Stk.	16 Stk.	40.000 €
Pumpengruppen Energieerzeugung	3.000 €/Stk.	16 Stk.	48.000 €
Kälteverteilung + Abgabe	180 €/m ²	13.345 m ²	2.402.100 €

Summe Kälteerzeugung

2.981.700 €

152 €/m²

Gebäudeautomation

	EH	Menge	Kosten
Kälte	12%		358.000 €

Summe Gebäudeautomation

358.000 €

18 €/m²

Elektrotechnik

	EH	Menge	Kosten
E-Technik Haustechnik	8%		239.000 €

Summe Eletechnik

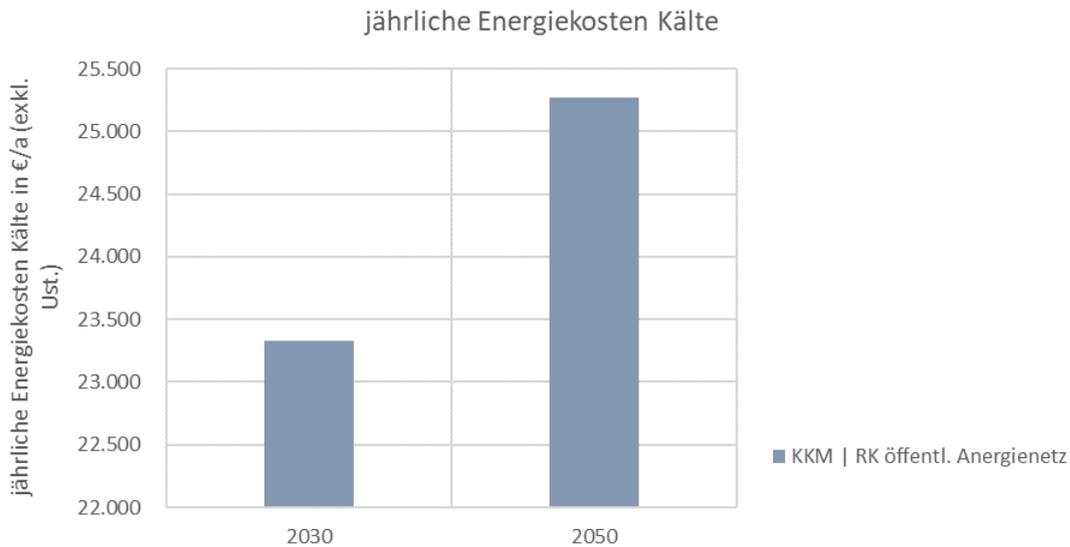
239.000 €

12 €/m²

5.3. Grobkosten für Betrieb

Die Zusammenstellung der Energiekosten, berechnet nach Preisbasis 2024, ist, aufgeteilt auf die Jahre 2030 und 2050, in Abbildung 20 dargestellt. Zu erkennen ist, dass die jährlichen Energiekosten Kälte aufgrund des steigenden Verbrauchs um rund 10% steigen werden (Annahme gleicher Energiepreise).

Abbildung 20: Vergleich der jährlichen Energiekosten Kälte in €/a (exkl. USt)



6 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Stadtquartiers in Graz (Quelle: Google Maps)	8
Abbildung 2: Verortung Stadtquartier 2 (Graz Bahnhofsgürtel) (Quelle: Google Maps)	8
Abbildung 3: Luftbildaufnahme (Quelle: VertiGIS / Stadtplan Graz Luftbild)	9
Abbildung 4: Fassadenansicht Bahnhofsgürtel (links) und Ghegagasse (rechts)	9
Abbildung 5: Auszug aus dem Flächenwidmungsplan der Stadt Graz (Quelle: VertiGIS)	10
Abbildung 6: Auszug mit Grundstücksnummern (Quelle: gis.stmk.gv.at)	10
Abbildung 7: Straßenverkehrslärmkarte (Nacht) (Quelle: VertiGIS der Stadt Graz)	11
Abbildung 8: Auszug Versorgungsgebiete Fernwärme Graz in Rot (Quelle: VertiGIS Graz)	11
Abbildung 9: Daten zu den einzelnen Gebäuden (Quelle: WebGIS + eigene Berechnung)	13
Abbildung 10: Übersicht der einzelnen Gebäude (Quelle: WebGIS).....	14
Abbildung 11: Systemübersicht passive Maßnahmen	22
Abbildung 12: Systemübersicht Wärmeentzug / Kälteerzeugung / Kälteverteilung	23
Abbildung 13: Rückkühlmöglichkeiten	25
Abbildung 14: Abstand zur nächstgelegenen Grundwassernutzung rund 530 m Luftlinie.....	26
Abbildung 15: Visualisierung der maximal zur Verfügung stehenden öffentlichen Flächen für die Abschätzung des Geothermiepotenzials inkl. Darstellung der maximal möglichen Sondenanzahl bei einem Sondenabstand von 7 m.....	27
Abbildung 16: Quartier im Kontext der Stadt – umliegende öffentliche Grünflächen (Quelle: geodaten.graz.at)	28
Abbildung 17: Prinzipschema Kältemaschine mit Rückkühlung an das öffentliche Anergienetz	30
Abbildung 18: Baukosten TGA – Übersicht Kompressionskälte mit Rückkühlung an öffentl. Anergienetz	32
Abbildung 19: Details Grobkosten Kompressionskälte mit Rückkühlung an öffentl. Anergienetz	33
Abbildung 20: Vergleich der jährlichen Energiekosten Kälte in €/a (exkl. USt)	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: wesentliche Eckdaten des Stadtquartiers	6
Tabelle 2: Flächen je Nutzung	14
Tabelle 3: Berechnung der spezifischen Kälteleistung für die Wohnflächen beim generellen Komfortmodell (Raumtemperatur Sollwert von 26 °C unabhängig von Außenlufttemperatur) im Referenzjahr 2030	17
Tabelle 4: Berechnung der Gesamtkühlleistung für das Referenzjahr 2030.....	18
Tabelle 5: Berechnung der spezifischen Kälteleistung für die Wohnflächen beim generellen Komfortmodell (Raumtemperatur Sollwert von 26 °C unabhängig von Außenlufttemperatur) im Vergleichsjahr 2050.....	18

Tabelle 6: Berechnung der Gesamtkühlleistung für das Referenzjahr 2050.....	19
Tabelle 7: Berechnung des spezifischen Kühlbedarfs für die Wohnflächen beim generellen Komfortmodell (Raumtemperatur Sollwert von 26 °C unabhängig von Außenlufttemperatur) im Referenzjahr 2030	19
Tabelle 8: Berechnung des Gesamtkühlbedarfs für das Referenzjahr 2030	20
Tabelle 9: Berechnung des spezifischen Kühlbedarfs für die Wohnflächen beim generellen Komfortmodell (Raumtemperatur Sollwert von 26 °C unabhängig von Außenlufttemperatur) im Vergleichsjahr 2050.....	20
Tabelle 10: Berechnung des Gesamtkühlbedarfs für das Vergleichsjahr 2050.....	21

Literaturverzeichnis

- (1) Vujicic Dragan: Das Verhältnis der Nutzungsfläche zu Bruttogrundfläche und die Ableitung von durchschnittlichen Bandbreiten bei Büro-, Verwaltungs- und bei Wohngebäuden, Master Thesis Technische Universität Wien, 2020
repositUM: <https://doi.org/10.34726/hss.2020.81102> (abgerufen am 08.04.2024, 17:50)
- (2) Fernkälte: Ausbau scheitert an Kosten; Artikel in ORF Steiermark vom 11. Juli 2023, 8.01 Uhr
<https://steiermark.orf.at/stories/3215318/> (abgerufen am 10.04.2024, 19:30)
- (3) <https://waermepreise.at/tarifuebersicht/#/?kunde=1&art=2,4> (abgerufen am 13.05.2024, 14:00)
- (4) <https://www.e-control.at/tarifkalkulator#/> (abgerufen am 13.05.2024, 14:05)