

Entwicklung einer „Merit-Order“ bei Regenerationswärme für Erdsondenfelder in urbanen Wohngebieten

ecoRegeneration

G. Hofer, W. Hüttler,
P. Lampersberger,
J. Rammerstorfer,
P. Holzer, N. Bartlmä,
A. Schmid, M. Cervený,
P. Schöfmann, M. Hollaus

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

25/2020

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
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise 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/>

Entwicklung einer „Merit-Order“ bei Regenerationswärme für Erdsondenfelder in urbanen Wohngebieten

ecoRegeneration

DI (FH) Gerhard Hofer, DI Walter Hüttler,
DI (FH) Paul Lampersberger, DI (FH) Johannes Rammerstorfer
e7 Energie Markt Analyse GmbH

DI Dr. Peter Holzer, Mag. Nadja Bartlmä BSc, Antonia Schmid BSc
Institute of Building Research & Innovation ZT-GmbH

Mag. Michael Cerveny, DI (FH) Petra Schöfmann
Urban Innovation Vienna GmbH

DI Martin Hollaus
VASKO+PARTNER INGENIEURE Ziviltechniker
für Bauwesen und Verfahrenstechnik GesmbH

Wien, Mai 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	8
Abstract	10
1. Ausgangslage	12
2. Projektinhalt	14
2.1. Projektziele	14
2.2. Annahmen zu Gebäuden und Siedlungen	14
2.2.1. Wohngebäude	14
2.2.2. Datenzentrum.....	15
2.3. Annahmen zur Wärmenachfrage	16
2.4. Annahmen zur Wärmeversorgung	17
2.5. Methode der Wirtschaftlichkeitsberechnung	21
2.6. Überblick Technologien und Lösungen	23
2.7. Technologien und Lösungen im Einzelnen	25
2.7.1. Abwärme aus Wohnflächen	25
2.7.2. Supermarkt.....	27
2.7.3. Datenzentrum.....	27
2.7.4. Abwasserwärmenutzung Kanal	28
2.7.5. Abwasserwärmenutzung im Gebäude	29
2.7.6. Solarthermische Anlagen.....	30
2.7.7. Luftwärmetauscher	31
3. Ergebnisse.....	33
3.1. Erläuterung der Ergebnisdarstellung.....	33
3.2. Ergebnisdiagramm für das Gebäudemodell „Große Gebäude“	36
3.3. Ergebnisdiagramm für das Gebäudemodell „Mittelgroße Gebäude“	37
3.4. Diskussion der Ergebnisse	38
3.5. Zusammenfassende Ergebnistabellen.....	38
4. Schlussfolgerungen.....	41
5. Ausblick und Empfehlungen.....	43
6. Verzeichnisse.....	44
6.1. Abbildungsverzeichnis.....	44
6.2. Tabellenverzeichnis	44

6.3. Literaturverzeichnis..... 45

Kurzfassung

AUSGANGSSITUATION UND PROBLEMSTELLUNG

Aufgrund des hohen Bevölkerungswachstums in urbanen Räumen stehen größere Städte vor der Herausforderung, neue Stadtteile zu entwickeln, um die erforderlichen Wohn-, Arbeits- und andere Flächen schaffen zu können. Die Ziele hinsichtlich der Reduktion der Treibhausgasemissionen erfordern einen verstärkten Einsatz lokaler, erneuerbarer Energieressourcen. Eine vielversprechende Lösung zur Wärmeversorgung sind Wärmepumpen kombiniert mit Erdsondenfeldern zur saisonalen Speicherung von Wärme. Erdsondenfelder müssen thermisch ausgeglichen bilanzieren. Bei überwiegender Wärmeversorgung ist eine thermische Regeneration erforderlich, damit die Temperatur des Erdreichs nicht stetig abnimmt und sich die Effizienz des Systems nicht verschlechtert. Abwärme aus der Wohnraumkühlung bietet sich als naheliegende Regenerationswärme an. Sie reicht typischerweise aber nicht aus. Zusätzliche Lösungen sind erforderlich.

ZIELE UND INNOVATIONSGEHALT

Ziel des Projektes war die Entwicklung von technisch-ökonomischen Grundlagen für die Erzeugung von Regenerationswärme in urbanen Wohngebieten. Das beinhaltete Informationen zu technischen Eckdaten, Kostendaten, Geschäftsmodellen sowie die Berechnung einer Art „Merit-Order“ für folgende Lösungen zu Regenerationswärme:

- Nutzung der Abwärme von Gewerbebetrieben in den Erdgeschoßzonen (z.B. Supermarkt)
- Nutzung der Abwärme von Datacentern
- Technische Prüfung und ökonomische Bewertung von zusätzlichen Wärmebereitstellungssystemen wie beispielsweise Hybridkollektoren und Solarabsorbern
- Know-how Transfer und Stakeholderprozess zur Einbindung von Asphaltkollektoren

METHODISCHE VORGANGSWEISE

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung von möglichen Lösungen zur thermischen Regeneration von Erdsondenfeldern basierte auf unterschiedlichen Szenarien für Gebäudegrößen und den genannten Optionen zur Regeneration. Auf Basis von ausgearbeiteten technischen Konzepten zur thermischen Regeneration wurden Kostendaten für die Anfangsinvestition sowie für den Betrieb ermittelt. Mit diesen Daten und der Annahme von Berechnungsparametern wurde eine Wirtschaftlichkeitsrechnung nach ÖNORM M 7140 realisiert. Die technischen Konzepte wurden mit Stakeholdern diskutiert oder bei realen Machbarkeitsstudien eingesetzt und im Rahmen des Planungsprozesses evaluiert.

ERGEBNISSE UND ERKENNTNISSE

Ergebnisse des Projekts sind Anwendungsrichtlinien und eine „Merit-Order“ für kostengünstige Regenerationswärme in urbanen Wohngebieten als Hilfestellung für Stadtverwaltungen, Bauträger und Planer. Mit diesen Informationen soll eine einfachere Realisierung von erneuerbaren Wärmeversorgungskonzepten in urbanen Wohngebieten forciert werden.

AUSBLICK

Neben den wirtschaftlichen Gesichtspunkten werden sich künftig vermehrt organisatorische Fragen stellen. Derzeit ist es schwierig, Erdsondenfelder für mehrere Gebäude mit unterschiedlichen Bauherren im Rahmen eines gebäudeübergreifenden Wärmenetzes zu realisieren. Neben den höheren Investitionskosten zu Beginn sind auch die Installationsarbeiten zu einem sehr frühen Zeitpunkt durchzuführen, noch bevor die Bauarbeiten für die Gebäude beginnen. Das stellt Errichter und Betreiber von Wärmenetzen vor eine Herausforderung, diese Systeme verstärkt einzusetzen. Hier sollte die Unterstützung von Gebietskörperschaften helfen, Anforderungen an Bauträger zu setzen, um diese Konzepte leichter realisieren zu können und um eine koordinierte, unabhängig Instanz zu bestellen, die für den größeren Abstimmungsaufwand schon ganz zu Beginn der Planung des Stadtentwicklungsgebietes steuernd tätig ist.

Abstract

STARTING POINT

Larger Austrian cities are confronted with the necessity to develop new districts. This process includes the development of new energy supply systems. The objectives in terms of reducing greenhouse gas emissions require an extended use of local, renewable energy resources. Promising heat supply concepts contain the components of heat pumps and borehole heat exchangers for seasonal storage. In urban settlements for apartments heat demand is significantly higher than cooling demand. In this case, a field of borehole heat exchangers must be thermally regenerated, so that the temperature of the soil does not constantly decrease and deteriorate the efficiency of the system. Urban residential areas have too little cooling demand to regenerate the borehole heat exchangers, therefore additional solutions are required. Waste heat is an option which can be used to regenerate borehole heat exchangers.

CONTENTS AND OBJECTIVES

The aim of the project was the development of a technical and economical basis for regeneration heat in urban residential areas. This included a detailed technical examination, determination of cost data, development of business models and the calculation of the “Merit-Order” for the following solutions of regeneration heat:

- Use of waste heat of industrial enterprises in the ground floor areas of residential buildings (e.g. supermarket)
- Use of waste heat resources from data centers right next to urban settlements
- Technical assessment and economic evaluation of additional heat supply systems, such as hybrid collectors and solar absorbers.
- Know-how transfer and stakeholder process for the integration of asphalt collectors

METHODS

The economic viability of possible solutions for the thermal regeneration of borehole heat exchangers was based on different scenarios regarding the size of the buildings and the regeneration possibilities. Based on elaborated technical concepts for thermal regeneration, cost data for the initial investment as well as for operation were determined. With these data and the assumptions of calculation parameters a calculation of economic efficiency according to OeNORM M 7140 was realized. The technical concepts were discussed with stakeholders or used in real feasibility studies and evaluated during the planning process.

RESULTS AND CONCLUSIONS

Results of the project are application guidelines for the optimal early involvement of cost-effective regeneration heat in the planning and building of urban residential areas. The guideline is directed at

municipalities as well as project developers and planners. This information is intended to promote easier implementation of renewable heat supply concepts in urban residential areas.

PROSPECTS

In addition to the economic aspects, organizational questions will increasingly arise in the future. At present, it is difficult to implement geothermal heat exchanger fields for several buildings with different owners within the framework of a cross-building heating network. In addition to the higher investment costs at the beginning, the installation work must also be carried out at a very early stage, even before the construction work for the buildings begins. This poses a challenge for installers and operators of heating networks to make greater use of these systems. Here, the support of local authorities should help to set requirements for property developers in order to be able to implement these concepts more easily and to appoint a coordinated, independent authority which is able to control the greater coordination effort right from the very beginning of the planning of the urban development area.

1. Ausgangslage

Ohne Wärmewende keine Energiewende. Der weitgehende Ausstieg aus fossilen Brennstoffen bis zur Mitte des Jahrhunderts stellt eine der Grundlagen für die Erreichung der Pariser Klimaziele dar. Dabei ist die Wärmeversorgung von Haushalten für etwa ein Drittel des österreichischen Energieeinsatzes verantwortlich. Dazu kommt, dass Wärme für Raumheizung und Warmwasser noch zu knapp 60 % mit Erdöl und Erdgas generiert wird (Faktencheck Energiewende 2018, S. 6). Die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ist im dichten urbanen Bereich durch begrenzte Solarenergieernteflächen und eine hohe Neigung zur Überwärmung geprägt. Erdwärmesonden in Kombination mit Wärmepumpen können hier einen großen Beitrag zur Entlastung leisten. Sie dienen einerseits als saisonale Wärmequellen im Winter und sind andererseits im Sommer in urbanen Gebieten meist willkommene Wärmesenken.

Erfordernisse der thermischen Regeneration

Eine Regeneration der Erdsonden ist dann erforderlich, wenn die Erdsonden den Ausgleich der im Winter entnommenen Wärme nicht durch die Umgebung im Erdreich oder durch einen gegenläufigen Kühlbetrieb im Sommer bewältigen können.

- Kleinere Wohngebäude mit einer oder nur wenigen Erdsonden: In diesem Fall besteht keine oder nur geringe gegenseitige thermische Abschirmung der Erdsonden untereinander. Auf eine Regeneration kann meistens verzichtet werden. (erdsondenoptimierung.ch, 2016).
- Gebäude oder Siedlungen mit Mischnutzung (Wohn- und gewerbliche Nutzung): hier kann dieses Konzept gut eingesetzt werden, da sowohl Heiz- als auch Kühlbedarf vorliegt, der durch die Wärmepumpe mit Erdsonden abgedeckt werden kann (Hässig et al. 1998). Es besteht die Herausforderung, dass der Wärmeentzug aus der Erde sowie der Wärmeeintrag in die Erdsonden annähernd ausgeglichen sein sollte, um langfristig kein zusätzliches System für Heizen oder Kühlen einsetzen zu müssen.
- Großvolumige Wohngebäude sowie urbane Wohngebiete: hier ist die Ausgangsposition schwieriger. Aufgrund des großen Wärmebedarfs ist die Anordnung einer Vielzahl von Erdsonden in einem Erdsondenfeld erforderlich. Aufgrund der hohen Wärmeentzugsdichte erfolgt eine übermäßige Abkühlung des Erdreichs. Diese Abkühlung bewirkt zum einen eine geringere Effizienz des Energiekonzepts und kann zum anderen zur Frostbildung in den Sonden und somit zu einem „Totalschaden“ der Erdsonden führen. In diesem Konzept kann die Nutzung oberflächennaher Geothermie nur bei gleichzeitiger Regeneration des Erdreiches erfolgen (RegenOpt 2015).

Erdsondenfeld

Als Erdsondenfelder werden rasterartige Anordnungen von Tiefenbohrungen verstanden, welche mit Wärmetauscherrohren bestückt sind. Durch diese wird eine Wärmeträgerflüssigkeit im geschlossenen Kreislauf geführt und damit dem umgebenden Erdreich je nach Anforderung Wärme entzogen oder an dieses abgegeben. Typische Tiefenentwicklungen betragen 100 bis 250 Meter. Erdsonden bieten sich als sehr effektive und temperaturstabile Wärmequellen für Wärmepumpensysteme an und zeichnen sich für die Anwendung im urbanen Kontext durch ihren geringen Oberflächenbedarf aus.

In der Fachliteratur dokumentiert und von eigenen Simulationsberechnungen der Antragsteller bestätigt ist die thermische Ermüdung, also die kontinuierliche Temperaturabsenkung des umgebenden Erdreichs, sofern Erdsondenfelder ausschließlich zur Wärmebereitstellung genutzt werden. Das gegenständliche Projekt zielt daher auf die thermisch ausgeglichene Bewirtschaftung der Erdsondenfelder mit thermischer Entladung im Winter und thermischer Regeneration im Sommer.

Ohne sommerliche Regeneration sinkt die Temperatur im Erdreich und damit im Sondenkreislauf deutlich ab, wogegen mit Regeneration keine langfristige Abkühlung eintritt. Bei ausgeglichener Energiebilanz der Sonden verhält sich ein Sondenfeld ähnlich wie eine Einzelsonde. Es ist über die Regeneration theoretisch auch eine höhere „Aufladung“ des Erdreichs möglich, sodass die mittlere Erdreichtemperatur ansteigt. Dadurch kann in Einzelfällen die Effizienz des Energiekonzeptes erhöht und die Anzahl der Erdsonden verringert werden (Huber 2014).

2. Projektinhalt

2.1. Projektziele

Das übergeordnete Ziel des Projekts war die Unterstützung des verstärkten Einsatzes von Wärmeversorgungssystemen mit hohen Anteilen an lokalen, erneuerbaren Energieressourcen in urbanen Neubau-Wohngebieten. Dadurch soll der Anteil an erneuerbaren Energiequellen erhöht und der Ausstoß zusätzlicher (weil Neubau zumeist eine Ausweitung der Gebäudeflächen bedeutet) CO₂-Emissionen reduziert werden.

Inhalt des Projektes war die Entwicklung einer „**Merit-Order**“ für die Erzeugung von Regenerationswärme mit unterschiedlichen Technologien. Die „**Merit-Order**“ ist im Bereich der Strompreisgeneration die Einsatzreihenfolge der Kraftwerke, die durch die variablen Kosten der Stromerzeugung bestimmt wird. Dabei werden zuerst die günstigsten Kraftwerke zur Deckung der Nachfrage aufgeschaltet, das letzte Kraftwerk mit den höchsten Grenzkosten, das zur Deckung der Nachfrage benötigt wird, bestimmt den Preis.¹ Für die Regenerationswärme soll eine „**Merit-Order**“ **auf Basis des zu erwartenden Wärmepreises** entwickelt werden. Dabei werden Abhängigkeiten von der Größe des Stadtentwicklungsgebietes sowie der Gebäude geprüft. Diese „**Merit-Order**“ soll als Empfehlung für Bauträger und Planer dienen, welche Reihenfolge der Regenerationswärme-Technologien in Projekten geprüft werden soll.

2.2. Annahmen zu Gebäuden und Siedlungen

2.2.1. Wohngebäude

Für die Berechnungen werden zwei Siedlungsgebiete festgelegt: ein städtisches, großes Siedlungsgebiet mit 1.200 Wohnungen, typisch für Wien, berechnet auch im Klima von Wien, sowie ein kleineres Siedlungsgebiet mit 120 Wohnungen, typisch für eine Bezirkshauptstadt in Österreich, berechnet im Klima von Waidhofen a.d. Ybbs.

Tabelle 1: Annahmen für die Siedlungsgebiete, Quelle: eigene Annahmen

Werte	Einheit	Siedlung groß	Siedlung klein
Grundstücksfläche gesamt	m ²	72.000	8.000
Geschoßflächenzahl GFZ		2,0	1,5
Anzahl Gebäude	-	8	4
Bruttogrundfläche Gebäude	m ²	18.000	3.000
Grundstücksfläche Gebäude	m ²	9.000	2.000
Bruttogrundfläche BGF gesamt	m ²	144.000	12.000
Bruttogrundfläche BGF Wohnen	m ²	129.600	10.800
Anzahl der Wohnungen	-	1.200	100
Anzahl der Wohnenden (2,2 Personen/Wohnung)	-	2.640	220
Standort	-	Wien	Waidhofen/Ybbs
Standort-Klima: Anzahl Stunden T _{außen} > 18°C	h/a	2.398	1.669

¹ www.gabler.de

Im großen Siedlungsgebiet werden Gebäude in einer Dimension von 18.000 m² BGF errichtet und im kleinen Siedlungsgebiet mittelgroße Gebäude mit einer Bruttofläche von 3.000 m².

Tabelle 2: Annahmen für die Gebäude, Quelle: eigene Annahmen

Werte	Einheit	Gebäude groß	Gebäude mittel
Bruttogrundfläche	m ²	18.000	3.000
Wohnfläche	m ²	13.500	2.250
BGF Wohnen	m ²	16.200	2.700
Geschoße	-	6	3
Geschoßfläche	m ²	3.000	1.000
Durchschn. Größe der Wohnungen	m ²	90	90
Anzahl der Wohnungen	-	150	25
Charakteristische Länge	1/m	2,8	1,9

2.2.2. Datenzentrum

Eine Option zur Regeneration von Erdsonden ist die Nutzung der Erträge von Datenzentren. Hier spielt es eine große Rolle, wie weit das Datenzentrum von dem Quartier entfernt ist. Dafür wurden für die Siedlung in einer großen Stadt sowie einer mittelgroßen Stadt unterschiedliche Annahmen getroffen (siehe Abbildung 1):

- Große Stadt: Entfernung 100 oder 400 m
- Mittelgroße Stadt: Entfernung 50 oder 200 m

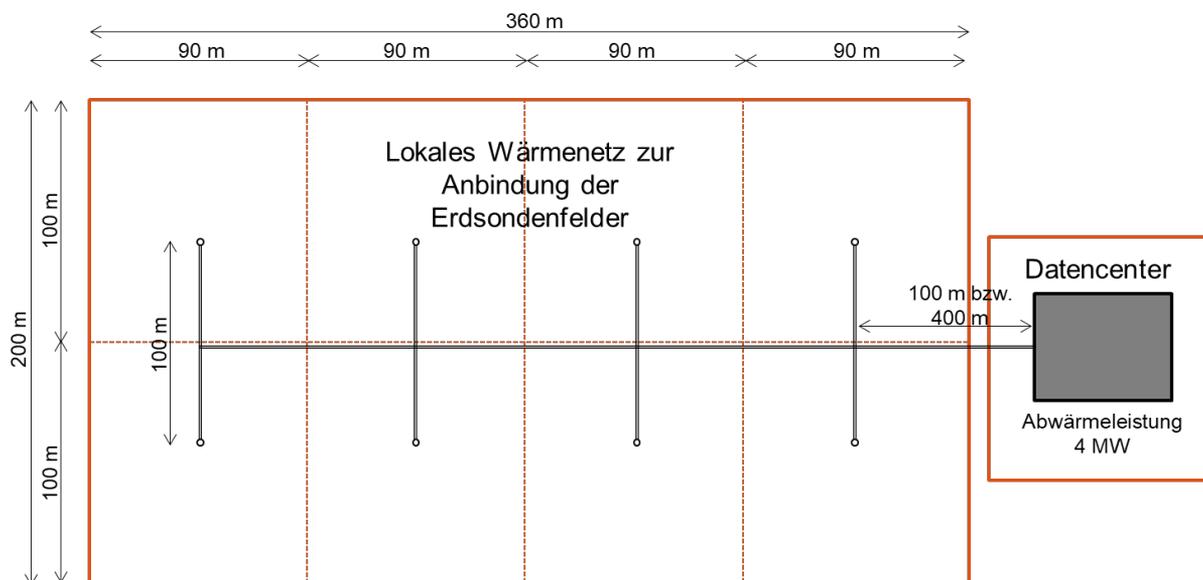


Abbildung 1: Lokales Wärmenetz und Anordnung Datencenter im Siedlungsgebiet groß, Quelle: eigene Darstellung

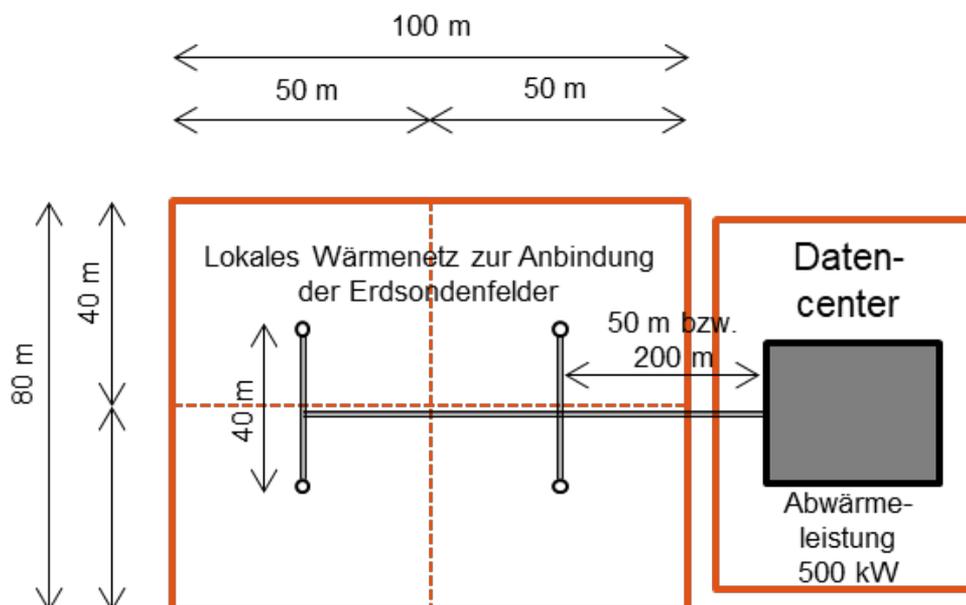


Abbildung 2: Lokales Wärmenetz und Anordnung Datencenter im Siedlungsgebiet klein, Quelle: eigene Darstellung

2.3. Annahmen zur Wärmenachfrage

Die angenommene Wärmenachfrage orientiert sich an folgenden Effizienzkriterien: Szenario 1 bildet eine relativ hohe Wärmenachfrage ab, die nur geringfügig niedriger ist als die Mindestanforderungen aus der derzeitigen Bauordnung. Szenario 2 bildet eine niedrige Wärmenachfrage ab, die geringfügig über jener des Passivhausstandard liegt (ohne Wärmerückgewinnung).

Als Wärmenachfrage wird stets der Wärmebedarf des Gebäudes, also der Nutzwärmebedarf zuzüglich thermischer Verteil- und Speicherverluste herangezogen. Darüber hinaus werden auf Basis von einschlägiger Fachliteratur und von Projekterfahrungen der AutorInnen auch die Einflüsse häufiger Nutzungsparameter wie höhere Innenraumtemperaturen oder höhere Entnahme beim Warmwasser berücksichtigt. Analog werden auch Werte für die Heizleistungsnachfrage festgelegt.

Unter diesen Randbedingungen werden die Wärmenachfragen in den Szenarien wie in Tabelle 3 und Tabelle 3 dargestellt festgelegt.

Tabelle 3: Spezifischer Wärmebedarf der Gebäude (je m^2 BGF), Quelle: eigene Annahmen

Werte	Einheit	Gebäude groß		Gebäude mittel	
		Szenario g1	Szenario g2	Szenario m1	Szenario m2
Annahme HWB	kWh/m^2_{BGFa}	20	10	30	13
Raumheizung	kWh/m^2_{BGFa}	35	20	45	25
Warmwasser	kWh/m^2_{BGFa}	28	22	28	22
Summe	kWh/m^2_{BGFa}	63	42	73	47

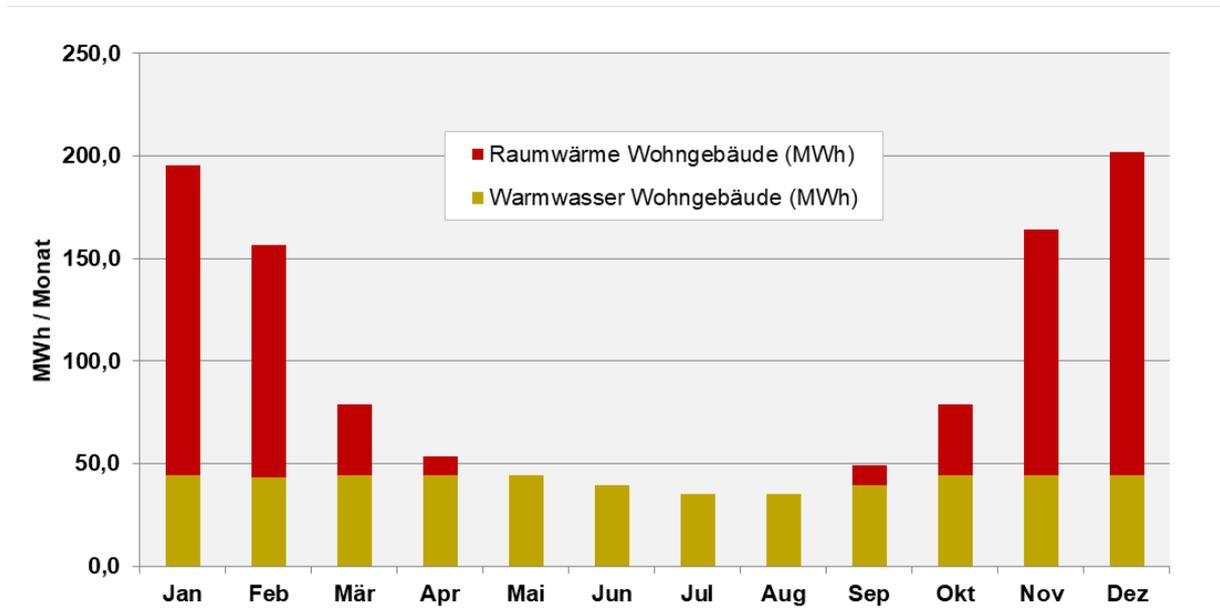


Abbildung 3: monatlicher Wärmebedarf für Szenario g1, Quelle: eigene Darstellung

Für die spezifische Heizlast gelten die Annahmen von Tabelle 4.

Tabelle 4: Spezifische Heizlast der Gebäude (je m² BGF), Quelle: eigene Annahmen

Werte	Einheit	Gebäude groß		Gebäude mittel	
		Szenario g1	Szenario g2	Szenario m1	Szenario m2
Raumheizung	W/m ² _{BGF}	29	23	37	30
Warmwasser	W/m ² _{BGF}	13	11	13	11
Summe	W/m²_{BGF}	42	34	50	41

Die Heizlast je Gebäude ist in Tabelle 5 dargestellt:

Tabelle 5: Heizlast je Gebäude und Szenario, Quelle: eigene Annahmen

Werte	Einheit	Gebäude groß		Gebäude mittel	
		Szenario g1	Szenario g2	Szenario m1	Szenario m2
Raumheizung	kW	522	414	111	90
Warmwasser	kW	234	198	39	33
Summe	kW	756	612	150	123

2.4. Annahmen zur Wärmeversorgung

Als System der Wärmeversorgung wird in allen betrachteten Gebäuden und Szenarien eine bivalente Kombination aus Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsondennutzung und einem ergänzenden, parallel zur WP eingesetzten Spitzenlastkessel angenommen. Es wird angenommen, dass der Kessel außerdem die Warmwasserbereitung vollständig übernimmt. Der Spitzenlastkessel wird für einen bivalent-parallelen Betrieb mit 2/3 der gesamten erforderlichen Heizlast installiert, der im Verlauf der Heizperiode 1/3 der Wärmeenergie für die Raumheizung und Warmwasserbereitung bereitstellt (Tabelle 6). Gebäudetechnisch wurde angenommen, dass die Wohnungen mit Fußbodenheizungen ausgestattet sind. Die Erdsonden haben eine Länge von 150 m und sind zu einem Sondenfeld zusammengeschlossen.

Tabelle 6: Leistungen der Wärmeerzeuger, Quelle: eigene Berechnungen

Werte	Einheit	Gebäude groß		Gebäude mittel	
		Szenario g1	Szenario g2	Szenario m1	Szenario m2
Wärmepumpe	kW	250	140	50	30
Kessel	kW	506	472	100	93
Summe	kW	756	612	150	123

Tabelle 7: Jährliche Wärmelieferungen der Wärmeerzeuger, Quelle: eigene Berechnungen

Werte	Einheit	Gebäude groß		Gebäude mittel	
		Szenario g1	Szenario g2	Szenario m1	Szenario m2
Klimadatensatz		Wien	Wien	Waidhofen an der Ybbs	Waidhofen an der Ybbs
Wärmepumpe	MWh/a	778,3	472,1	154,1	91,1
Kessel	MWh/a	359,6	283,0	66,4	49,8
Summe	MWh/a	1.137,9	755,1	220,5	140,9

Aus den obigen Berechnungen der jährlichen Wärmelieferungen der beiden Wärmeerzeuger wurde für jedes der vier Szenarien die erforderliche, fehlende Regenerationswärme ermittelt.

Unter der fehlenden Regenerationswärme wird dabei jene Wärmemenge verstanden, die den Erdsonden für einen dauerhaft stabilen Betrieb jährlich zugeführt werden muss. Sie errechnet sich aus dem Wärmebedarf des Gebäudes, abzüglich des Wärmebeitrags aus dem Spitzenlastkessel, weiters abzüglich der Stromaufnahme des WP-Kompressors, schließlich auch abzüglich der „Eigenregeneration“ der Erdsonden. Das ist jene Wärmemenge, von der angenommen werden kann, dass sie den Erdsonden aus dem umgebenden Erdreich zufließt (Tabelle 8) und (Abbildung 4).

Tabelle 8: Fehlende Regenerationsmenge je Szenario, Quelle: eigene Berechnungen

Werte	Einheit	Gebäude groß		Gebäude mittel	
		Szenario g1	Szenario g2	Szenario m1	Szenario m2
Eigenregeneration	%	10	15	30	40
Eigenregeneration	MWh/a	61,9	56,4	36,5	28,5
Fehlende Regenerationswärme je Gebäude	MWh/a	557,3	319,3	85,1	42,8

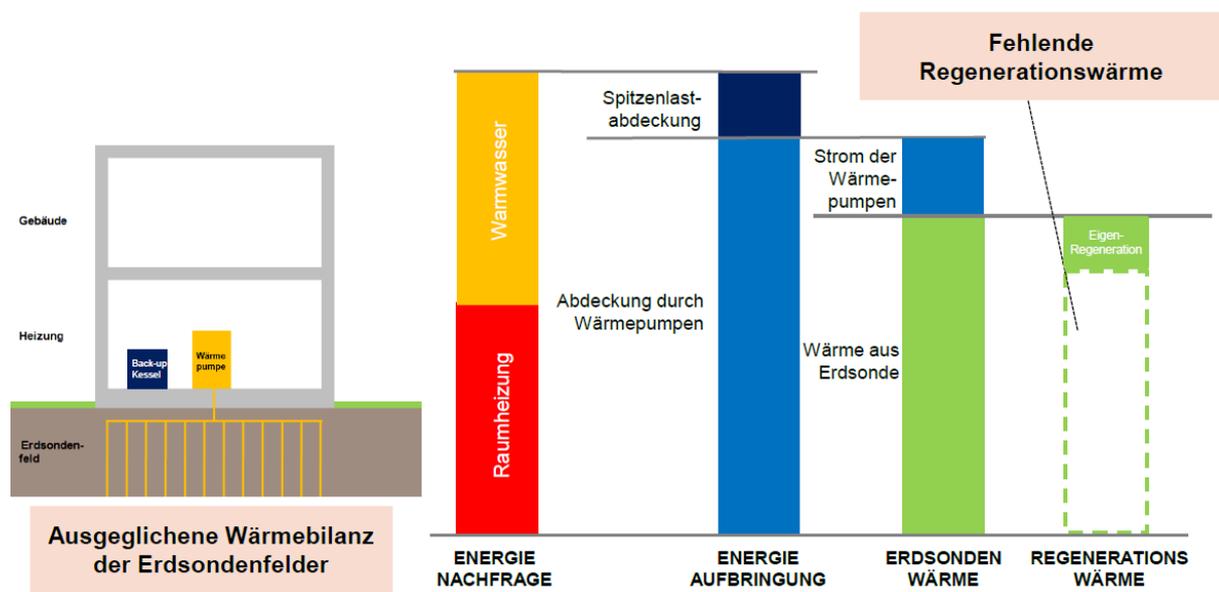


Abbildung 4: Fehlende Regenerationswärme der Erdsondenfelder, Quelle: eigene Berechnungen

Auf Basis der fehlenden Regenerationswärme sowie der Leistung der Wärmepumpe wurden mittels dynamischer Erdsonden-Simulation mit der Software Earth Energy Designer die Anzahl der Erdsonden für das jeweilige Szenario ermittelt (

Tabelle 9).

Der Simulation wurden die folgenden Randbedingungen der Erdreichbeschaffenheit und der Sondenbauart zugrunde gelegt:

- Duplex-Sonden
- 150 m Bohrtiefe
- 7 m Raster Abstand der Sonden zueinander
- Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs 2,0 W/mK

Als Dimensionierungskriterium wurde die Einhaltung einer Austrittstemperatur aus den Sonden von minimal 5°C im Heizbetrieb und eine maximale Eintrittstemperatur von 30°C im aktiven Kühlbetrieb bzw. 20°C im Freecooling-Betrieb angewandt. Darüber hinaus wurde eine Obergrenze der spezifischen jährlichen Wärmeentzugsmenge von 60 kWh pro Laufmeter Sonde und Jahr sowie eine maximale Wärmeeintrags-Dauerleistung von 40 W pro Laufmeter Sonde angesetzt.

Alle Sonden-Dimensionierungen wurden auf eine Temperaturstabilität über eine Betriebszeit von 100 Jahren ausgelegt.

Tabelle 9: Dimensionierung der Erdsondenfelder, Quelle: eigene Berechnungen

Werte	Einheit	Gebäude groß		Gebäude mittel	
		Szenario g1	Szenario g2	Szenario m1	Szenario m2
Heizleistung Wärmepumpe	kW	250,0	140,0	50,0	30,0
Wärmeentzugsleistung	kW	190,5	106,7	38,1	22,9
Auslegungswert Erdsonden-Entzugsenergiemenge	MWh/a	583	367	118	69
Spez. Jährliche Wärmeentzugsmenge	kWh/(lfm*a)	60	60	60	60
Länge 1 Erdsonden	lfm	150	150	150	150
Länge Erdsonden errechnet	lfm	9.710	6.112	1.966	1.143
Stück Erdsonden errechnet	Stk	64,7	40,7	13,1	7,6
Stück Erdsonden gewählt	Stk	64	40	13	8
Länge Erdsonden gewählt	lfm	9.600	6.000	1.950	1.200

2.5. Methode der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind Wärmegestehungskosten „Leverage Cost of Heat“ für jede Technologie oder Lösung zur Regeneration von Erdsondenfeldern. Es werden nur jene (Zusatz-)Kosten berücksichtigt, die für die Erzeugung der „fehlenden Wärmemenge“ zur thermischen Regeneration der Erdsonden erforderlich sind:

$$\text{Leverage Cost of Heat} = \frac{\text{Barwert der Kapitalkosten für Regenerationswärme}}{\text{Jahressumme der Regenerationswärme}}$$

Die Wirtschaftlichkeit der Technologien und Lösungen wird anhand der Parameter in Tabelle 10 berechnet. Die Ergebnisse der Berechnung werden einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Das heißt, das Ergebnis der Berechnung ist nicht ein singulärer Wert, sondern eine Bandbreite.

Tabelle 10: Parameter der Wirtschaftlichkeitsberechnung, Quelle: eigene Annahmen

Parameter NOMINALWERTE	Basiswert	Sensitivität	Einheit
Kalkulationszinssatz	3,0	7,0	%/a
Betrachtungszeitraum	30		Jahre
Inflation/Preissteigerung allgemein	1,0		%/a
Preissteigerung Bau	2,5		%/a
Preissteigerung Haustechnik	2,5		%/a
Preissteigerung Wartung/Instandsetzung	2,5		%/a
Preissteigerung Energie – Strom	2,0		%/a
Preissteigerung Energie – Fernwärme Wien	2,0		%/a
Preissteigerung Energie – Gas	2,0		%/a
Restwertbetrachtung – wenn Teile der Lösung bzw. Technologie eine geringere Lebensdauer als der Betrachtungszeitraum haben	ja		-
Energiepreis Strom (Mischtarif Netto, typischer Wert für Wohnbauträger in Österreich)	0,125		€/kWh

Die ermittelten Wärmegestehungskosten/Leverage Costs of Heat und Wärmemenge je Technologie oder Lösung werden in den Ergebnisdarstellungen als Regenerations-Wärmegestehungskosten und Regenerations-Wärmemengen bezeichnet.

Die ermittelten Regenerations-Wärmegestehungskosten enthalten die anfallenden Kosten für die Herstellung (Erstinvestition) und den Betrieb (Folgekosten) der jeweiligen Regenerations-Technologie und -Lösung. Kosten für die Berücksichtigung eines Geschäftsmodells und Risiken sind nicht enthalten.

Die ermittelten Kosten enthalten weiters nur die zusätzlichen Kosten einer Regenerationstechnologie. Demzufolge sind auch die Kosten für das Erdsondenfeld, die Wärmepumpe und die Fußbodenheizung nicht in den Regenerations-Wärmegestehungskosten berücksichtigt, da diese Elemente das Standardsystem bilden, das die Voraussetzung für die Fragestellung der Erdsondenregeneration ist.

Für die Kostenermittlung wurde weiters jede Regenerationstechnologie isoliert betrachtet: Wenn technologisch möglich, wurde die Regenerationstechnologie auf die Deckung der gesamten Regenerations-Wärmemenge dimensioniert. Bei jenen Regenerationstechnologien, deren Wärmelieferung funktionell bedingt begrenzt ist (etwa Raumkühlung, Kanal oder Supermarkt), wurden diese vollständig ausgeschöpft und die nicht gedeckte Regenerations-Wärmemenge ausgewiesen.

Regenerations-Wärmegestehungskosten werden in €/MWh angegeben. Aufgrund der Sensitivitätsanalysen ergeben sich für die Regenerations-Wärmegestehungskosten keine singulären Werte, sondern Bandbreiten.

2.6. Überblick Technologien und Lösungen

Die thermische Regeneration kann durch die Nutzung von Abwärme oder durch die zusätzliche Bereitstellung von Wärme erfolgen. Die Wärme sollte aus Kostengründen und aus organisatorisch-rechtlichen Gründen im Untersuchungsgebiet anfallen. Gegebenenfalls können jedoch auch angrenzende Gebäude mitberücksichtigt werden, siehe Abbildung 5.



Abbildung 5: Strukturierung der Regenerationswärme, Quelle: eigene Darstellung

Nutzung der Abwärme

Die Nutzung von vorhandener Abwärme fokussiert zum einen auf die interne Wärme in Wohngebäuden (WG) sowie auf Nicht-Wohngebäude (NWG) innerhalb von Wohngebieten. Zusätzlich wird berücksichtigt, dass künftig Datenzentren gezielt in Wohngebieten vorgesehen werden können, um somit die Abwärme direkt nutzen zu können, siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

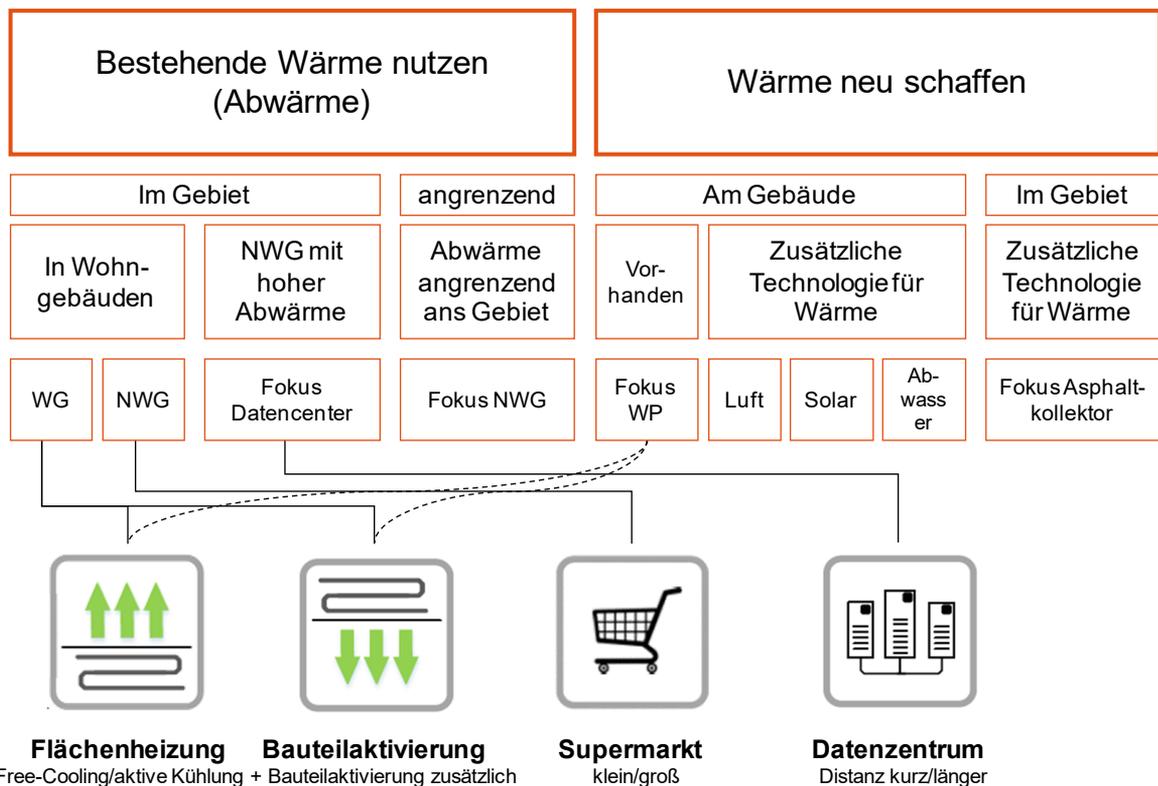


Abbildung 6: Nutzung der Abwärme im Untersuchungsgebiet, Quelle: eigene Darstellung

Folgende Abwärmenutzungen wurden geprüft:

- Supermärkte
- Datenzentren
- Abwärme aus der Wohnnutzung (passiv oder aktiv gekühlt)

Zusätzliche Wärmebereitstellung

Je nach Lage und Ausführung des Projekts kann es notwendig sein, das Erdsondenfeld über zusätzliche Erzeugung von Wärme zu regenerieren. Dafür stehen in erster Linie Technologien zur Verfügung, die Sonnenenergie nutzen. Zusätzlich kommen auch Technologien in Frage, die Wärme aus Luft oder Wasser entziehen (Abbildung 7).

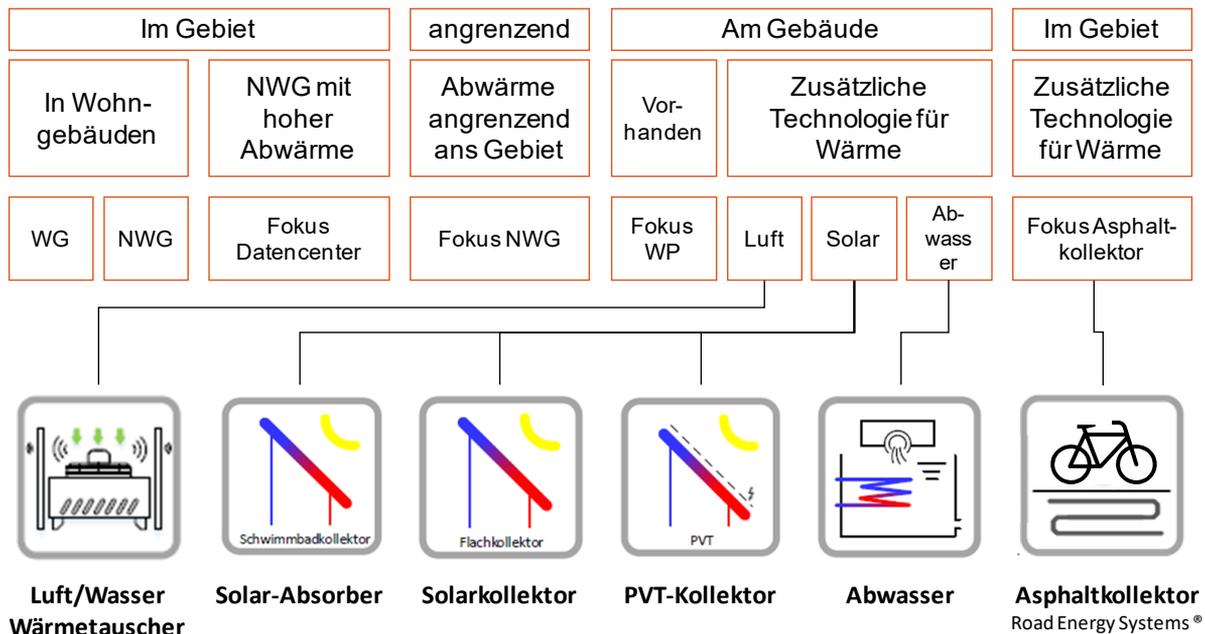


Abbildung 7: Möglichkeiten zur zusätzlichen Wärmebereitstellung, Quelle: eigene Darstellung

Folgende zusätzliche Technologien zur Wärmebereitstellung wurden untersucht:

- Solarthermische Anlagen (Absorber, Flachkollektoren, PVT-Systeme)
- Asphaltkollektoren
- Abwasserwärme (In-House, Kanal)
- Luftwärmetauscher

Aus der Betrachtung ausgeschlossen wurden alle Technologien, die dem Erdreich Wärme entziehen, wie zum Beispiel Energietunnel, da diese die Abkühlung des Erdreiches angesichts der wirtschaftlich erforderlichen Nähe der Anlagen lediglich verlagern.

2.7. Technologien und Lösungen im Einzelnen

2.7.1. Abwärme aus Wohnflächen

Technische Prozesse: Bei der Gebäudekühlung mit Flächen-Abgabesystemen entsteht Abwärme, die zur Regeneration von Erdsondenfeldern herangezogen werden kann. Es stehen zwei Möglichkeiten zur technischen Umsetzung zur Verfügung:

- Nutzung der Fußbodenheizung auch für Kühlzwecke
- Thermische Bauteilaktivierung: Wassergeführte Register werden im Zuge der Errichtung des Gebäudes in Bauteile (z.B. Decken) einbetoniert. Dieses Abgabesystem kann auch für Heizzwecke verwendet werden.

In beiden Systemen wird im Kühlbetrieb mit Hilfe einer Umwälzpumpe das Rohrregister mit einem Fluid durchströmt und die in der Decke beziehungsweise im Fußbodenaufbau gespeicherte Wärme abtransportiert. Die abtransportierte Wärmemenge hängt von der Temperatur des Fluids und der Temperatur der Decke oder des Fußbodens ab. Die Abkühlung der Flüssigkeit kann passiv oder aktiv erfolgen. Bei passiver Abkühlung (auch „Free Cooling“) erfolgt ein bloßer Wärmehaushalt des Fluides

gegen ein kühleres Medium (z.B. der Solekreislauf eines Erdsondenfeldes). Bei aktiver Kühlung erfolgt der Wärmeentzug durch eine Kältemaschine bzw. eine reversible Wärmepumpe.

Aufbringung: Bei der **passiven Kühlung „Free Cooling“** wird die niedrige Temperatur einer geeigneten Wärmesenke direkt zum Kühlen der Bauteile genutzt. Es kommt kein Verdichter zum Einsatz, aber eine Umwälzpumpe ist empfohlen. Für diesen Zweck kommen Erdsondenfelder besonders in Frage.

Die Kühlregister im Gebäude werden mit Wasser als Kühlmedium betrieben. Die hydraulische Trennung zum Glykol-Wasser-Gemisch-Kreislauf des Erdsondenfeldes erfolgt mittels Wärmetauscher.

Bei der **aktiven Kühlung** wird dem Kühlmedium mittels einer Kältemaschine bzw. einer reversiblen Wärmepumpe Wärme entzogen. Die Abwärme aus der aktiven Kühlung wird in das Erdsondenfeld eingebracht. Der Vorteil gegenüber dem Free Cooling besteht darin, dass die Kühlfunktion bis in einen höheren Bereich der Erdsondentemperatur aufrecht erhalten werden kann, allerdings um den Preis des Strombedarfs der technischen Kälteerzeugung.

Betriebliche Verfügbarkeit: Die Abwärme aus Gebäudekühlung bei Wohnbauten ist im Sommerhalbjahr (April bis September) verfügbar, wobei die Haupt-Abwärmemengen in den Monaten Juni bis August anfallen. Im Winterhalbjahr werden die Fußbodenheizung oder seltener auch die thermische Bauteilaktivierung für Heizzwecke verwendet.

Betriebssicherheit: Von Kühlanlagen in Kombination mit Fußbodenheizungen beziehungsweise thermischer Bauteilaktivierung geht kein nennenswertes Gefährdungspotential aus. Bei korrekter Dimensionierung und Ausführung ist der Wartungsbedarf gering. Bei aktiver Kühlung in Kombination mit Wärmepumpe sollten Wärmepumpen-Geräte mit der Fähigkeit des reversiblen Betriebs für den Kühlbetrieb gewählt werden.

Eingangsparameter für die Berechnungen:

Die nutzbare Abwärme aus der Kühlung der Aufenthaltsräume wurde auf der Basis von thermischen Simulationsberechnungen mit einem Wert von $18 \text{ kWh/m}^2_{\text{NF.a}}$ angenommen.

Im Fall der Fußbodenkühlung wurde die Fußbodenheizung als Basisausstattung angesetzt. Ihre Errichtung ist daher nicht in den Wärmegestehungskosten enthalten. Zusätzlicher Aufwand für haustechnische Armaturen und Regelungskomponenten zur zusätzlichen Kühlung wird mit 18.000 – 21.000 EUR für alle Gebäude und Szenarien angesetzt. Die Nutzungsdauer der FBH und der zugeordneten Komponenten wurde mit 10 – 40 Jahren angesetzt. Zusätzliche Wartungskosten gegenüber der reinen FBH wurden mit rund 1.100 – 1.200 EUR angesetzt.

Im Fall der Deckenaktivierung wurde die Herstellung der Deckenaktivierung als Zusatzkosten mit rund $55 \text{ EUR/m}^2_{\text{NF}}$ angesetzt. Die Nutzungsdauer der Deckenaktivierung wurde mit 40 Jahren angesetzt. Zusätzliche Wartungskosten wurden mit rund $0,90 \text{ EUR}/(\text{m}^2_{\text{NF.a}})$ angesetzt.

Im Fall der alleinigen Deckenaktivierung und des Entfalls der Fußbodenheizung wurden Mehrkosten von rund $18 \text{ EUR/m}^2_{\text{NF}}$ angenommen. Die jährlichen Wartungskosten betragen in diesem Fall nur rund $0,30 \text{ EUR}/(\text{m}^2_{\text{NF.a}})$.

2.7.2. Supermarkt

Technische Prozesse: Bei der Kühlung bestimmter Lebensmittel in Supermärkten entsteht ganzjährig Abwärme. Im Winter wird diese üblicherweise vollständig für die Beheizung der Supermarktflächen genutzt. Im Sommerhalbjahr tritt sie als Überschuss auf und wird üblicherweise über Rückkühler am Dach an die Umgebung abgegeben. Diese Abwärme aus den Kühlprozessen kann im Sommer zur Regeneration von Erdsondenfeldern herangezogen werden.

In der Regel sind die haustechnischen Anlagen von Supermärkten und von angrenzenden Gebäuden komplett getrennt. Für die Abwärmenutzung aus Supermärkten ist es daher erforderlich, die haustechnischen Anlagen beider Nutzungen zu koppeln. Es braucht einen Anschluss samt Wärmetauscher und Regelung vom Supermarkt an die Haustechnikzentralen von angrenzenden Gebäuden. So kann die Wärmeabnahme in den Sommermonaten geregelt werden.

Betriebliche Verfügbarkeit: Das Abwärmepotenzial eines kleinen Supermarktes bei einer konstanten Kondensationstemperatur von 20 °C beträgt rund 107 MWh/a. Diese Wärme kann in Erdsonden gespeichert werden. Die Abwärmemenge steht sehr gleichmäßig zur Verfügung. Für den Zeitraum April bis September wird eine Volllaststundenzahl von 3.000 Stunden angenommen. Das ergibt eine Wärmeeintragsleistung in die Tiefensonden von rund 36 kW.

Betriebssicherheit: Es besteht keinerlei Gefährdungspotenzial für Menschen. Die Abwärme, die im Sommer durch die Abfuhr über Rückkühler über Dächer zur Aufheizung der Umgebung beitragen würde, wird in die Erdsonden abgeführt und somit wird dieser Effekt verhindert.

Eingangsparameter für die Berechnungen:

Für die Berechnungen wurde von erstens einem kleinen Supermarkt mit 780 m² Verkaufsfläche und zweitens einem großen Supermarkt mit 1.500 m² Verkaufsfläche ausgegangen. Die nutzbare Abwärme wurde mit 107 MWh/a bzw. 242 MWh/a angenommen, bei einer konstanten Leistung von 36 kW bzw. 81 kW. Als Zusatzaufwand für die Abwärmenutzung wurde die Herstellung von haustechnischen Komponenten im Umfang von 30.500 EUR berücksichtigt (gilt für beide untersuchten Größen der Supermärkte). Deren Nutzungsdauer wurde mit 10 – 40 Jahren angesetzt. Zusätzliche Wartungskosten wurden mit rund 1.400 EUR/a angesetzt.

2.7.3. Datenzentrum

Technische Prozesse: Bei der Kühlung in Datenzentren fällt dauerhaft über das gesamte Jahr Abwärme an. Üblicherweise wird diese Abwärme aus den Kühlprozessen über Rückkühler am Dach an die Umgebung abgegeben. Dabei unterscheiden sich die Lösungen für Datenzentren in zentrale Kühlanlagen und dezentrale Kühlanlagen. Bei dezentralen Anlagen ist eine ökonomisch sinnvolle Nutzung der Abwärme auszuschließen. Bei zentralen Anlagen kann die Abwärme für die Nutzung in Erdsonden eingebunden werden.

In der Regel bieten Datenzentren eine sehr hohe, potenziell nutzbare Wärmemenge. Für die im Winterhalbjahr anfallende Abwärme ist im Einzelfall zu prüfen, ob diese Wärme zur thermischen Regeneration von Erdsonden eingesetzt werden soll, oder ob der gesamte Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser direkt abgedeckt werden kann. Gegebenenfalls ist in diesem Fall eine Anhebung der Temperatur über Wärmepumpen erforderlich.

Betriebliche Verfügbarkeit: Die Abwärme aus den Kühlprozessen in Datenzentren steht ganzjährig und mit weitgehend konstanten Leistungen zur Verfügung, da die Kühlprozesse dauerhaft in Betrieb sind.

Betriebssicherheit: Es besteht keinerlei Gefährdungspotenzial für Menschen.

Eingangsparameter für die Berechnungen:

Für die Berechnungen wurde von einem Datacenter ausgegangen, dessen Abwärmemenge jedenfalls den Regenerationsbedarf decken kann. Als Zusatzaufwand für die Abwärmenutzung wurde die Herstellung der haustechnischer Komponenten im Umfang von rund 1.800.000 EUR (für das Quartier mit acht großen Gebäuden, 400 m Distanz) und rund 1.000.000 EUR (gleiches Quartier, bei 100 m Distanz) sowie 1.800.000 EUR (für das Quartier mit vier mittleren Gebäude, 200 m Distanz) und rund 1.000.000 EUR (gleiches Quartier, bei 50 m Distanz) berücksichtigt. Deren Nutzungsdauer wurde mit 10 - 40 Jahren angesetzt. Zusätzliche Wartungskosten wurden mit rund 25.000 bzw. 19.000 EUR/a für acht große Gebäude sowie rund 12.000 bzw. 9.000 EUR/a für vier mittlere Gebäude angesetzt.

2.7.4. Abwasserwärmenutzung Kanal

Nutzungsumfang: Bislang wurde die Nutzung von Abwasserwärme in Österreich lediglich in einigen Pilotprojekten umgesetzt, obwohl diese Technologie Stand der Technik ist. In der Schweiz, Skandinavien und Deutschland gibt es mehrere Anlagen, die zum Teil schon seit 30 Jahren in Betrieb sind. Das Nutzungspotenzial ist hoch, bei gleichzeitig hoher Konstanz des Aufkommens.

Technische Prozesse: Technisch unterschiedlich ausgeführte Abwasserwärmetauscher in Kombination mit Wärmepumpen entziehen entweder im Ablauf einer Kläranlage oder aus der Kanalisation vor der Kläranlage Wärme aus dem Abwasser. Abwässer erreichen auch im Winter relativ hohe Temperaturen zwischen 10 °C und 15 °C, daher erreichen die Wärmepumpen je nach angeschlossenem Heizsystem Jahresarbeitszahlen von bis zu 5.

Aufbringung: Es gibt grundsätzlich zwei unterschiedliche Arten der Wärmeerzeugung über das Kanalsystem – einerseits direkt eingebaute Systeme, meist als aktivierte Segmente des Kanals ausgeführt, andererseits externe Wärmetauscher außerhalb des Kanals. Im Ablauf von Kläranlagen kann das gereinigte Abwasser zur Energiegewinnung herangezogen werden. Meist sind diese Anlagen jedoch nicht in unmittelbarer Nähe größerer Siedlungsanlagen situiert und ein Transport der Wärme über längere Strecken ist wirtschaftlich nicht darstellbar.

Betriebliche Verfügbarkeit: Abwärme aus Abwasser kann ganzjährig genutzt werden, da die Temperaturen auch im Winter zwischen 10 °C bis 15 °C liegen.

Betriebssicherheit: Von Anlagen zur Gewinnung von Wärme aus dem Kanalnetz geht keinerlei nennenswertes Gefährdungspotential aus. Einzig nachgerüstete Wärmetauscher im Kanalnetz können zu einer erhöhten Rutschgefahr für das Wartungspersonal führen. Der Wartungsbedarf variiert je nach Ausführung des Wärmetauschers, wird jedoch im Normalfall vollautomatisch durchgeführt.

Eingangsparameter für die Berechnungen:

Für die Berechnungen wurde angenommen, dass der folgende Kanal zur Verfügung steht und dass aus diesem maximal 224 MWh/a für große und 22 MWh/a für mittlere Gebäude genutzt werden können, bei einer Dauerleistung über den gesamten Betrachtungszeitraum. Als Zusatzaufwand für die Abwärmenutzung wurde die Herstellung von haustechnischen Komponenten im Umfang von rund 36.000 – 130.000 EUR berücksichtigt. Deren Nutzungsdauer wurde mit 10 – 40 Jahren angesetzt. Zusätzliche Wartungskosten wurden mit rund 1.500 – 4.100 EUR/a angesetzt.

2.7.5. Abwasserwärmenutzung im Gebäude

Nutzungsumfang: Bislang ist die Nutzung von Abwasserwärme in Österreich lediglich in einigen Pilotprojekten umgesetzt, obwohl diese Technologie Stand der Technik ist. In der Schweiz, Skandinavien und Deutschland gibt es mehr Anlagen, die zum Teil schon seit 30 Jahren in Betrieb sind (FEKA Folder 2012, S. 2²). Das Nutzungspotenzial ist hoch, bei gleichzeitig hoher Konstanz des Aufkommens.

Technische Prozesse: Technisch unterschiedlich ausgeführte Abwasserwärmetauscher in Kombination mit Wärmepumpen entziehen dem Abwasser Wärme bevor es in den Kanal geleitet wird. Der Vorteil dieser Variante gegenüber jener des Wärmeentzuges im Kanal ist vorrangig das höhere Temperaturniveau. Allerdings ist durch die fehlende Beimischung von Regenwasser und anderen Abwässern der kontinuierliche Anfall von Abwasser nicht gewährleistet. Daher wird dem Abwasser meist nicht im Durchlaufprinzip Wärme entzogen, sondern über unterschiedliche Speicherlösungen.

Aufbringung: Die gängigste Anwendung von Wärmetauschern im Gebäude ist die Vorwärmung von Brauchwasser (z.B. Duschwasser). Dafür geeignet sind Duschtassenwärmetauscher oder auch Wärmetauscher mit Riffelblech im Kreuz-Gegenstrom-Betrieb für größere Anwendungen (Heinz et al. 2013). Abwasserwärmerückgewinnung über Systeme im Speicherbetrieb ist in Kombination mit Wärmepumpen für größere Gebäude in Verwendung. Sammelschacht-Wärmetauscher sind zum Beispiel ab rund 25 Wohneinheiten beziehungsweise 8.000 bis 10.000 Liter Abwasser pro Tag wirtschaftlich (Schinnerl et al 2007, S. 13)

Betriebliche Verfügbarkeit: Abwärme aus Abwasser beziehungsweise Grauwasser im Gebäude kann ganzjährig genutzt werden, da das Temperaturniveau durchgehend über 15 °C liegt. Vor allem die Nutzung von Badezimmerabwasser ist für die Wärmerückgewinnung interessant, da die durchschnittliche Abwassertemperatur von rund 30 % des Abwassers in den Rohren zwischen 34 °C und 36 °C liegt (Schinnerl et al 2007, S. 26).

Betriebssicherheit: Von Anlagen im Gebäude zur Gewinnung von Wärme aus dem Abwasser geht keinerlei Gefährdungspotential aus.

Eingangsparameter für die Berechnungen:

Für die Berechnungen wurde angenommen, dass maximal 557 MWh/a für große und 85 MWh/a für mittlere Gebäude genutzt werden können, bei einer Dauerleistung über den Betrachtungszeitraum.

² Folder zum Forschungsprojekt Energie aus Abwasser, erstellt im Rahmen des Programms „Neue Energien 2020“, gefördert aus den Mitteln des Klima- und Energiefonds, 2012. Projektpartner: Ochsner Wärmepumpen, Boku Wien, Wien Energie, Energie Schweiz und Austrian Energy Agency.

Als Zusatzaufwand für die Abwärmenutzung wurde die Herstellung von haustechnischen Komponenten im Umfang von rund 36.000 – 130.000 EUR berücksichtigt. Deren Nutzungsdauer wurde mit 10 – 40 Jahren angesetzt. Zusätzliche Wartungskosten wurden mit rund 1.500 – 4.100 EUR/a angesetzt.

2.7.6. Solarthermische Anlagen

Nutzungsumfang: Die in Österreich Ende 2014 gesamte installierte Leistung an Sonnenkollektoren betrug 3,6 GW_{th}, beziehungsweise betrug deren Fläche 5,2 Millionen Quadratmeter. Allerdings geht die Anzahl der neu installierten Systeme seit 2009 vor allem durch den Preisverfall in der Photovoltaik und die Direktförderungen und Einspeisevergütungen für Solarstrom kontinuierlich zurück.

Technische Prozesse: Die Solarwärmeerzeugung erfolgt in Österreich vorrangig mittels verglaster Flachkollektoren und seltener über Vakuumröhren- oder Schwimmbadkollektoren. Die Technologie ist erprobt, es gibt zahlreiche Simulationsprogramme und Auslegungshilfen für Anlagen.

Aufbringung: In Österreich überwiegen Kleinanlagen zur Brauchwassererwärmung und zur Heizungsunterstützung.

Betriebliche Verfügbarkeit: Die Energie der Sonne ist hoch volatil und vorrangig im Sommer verfügbar. Eine übliche Anwendung ist die Brauchwassererwärmung im Sommer über Flachkollektoren. Diese werden mit Sole betrieben und können auch im Winter eingesetzt werden. Schwimmbadkollektoren werden im Normalfall mit Wasser betrieben. Sie werden im Winter ausgelassen, um Frostschäden zu vermeiden.

Betriebsicherheit: Von solarthermischen Anlagen geht kein nennenswertes Gefährdungspotential aus, wenn diese außer Reichweite von Menschen positioniert werden. Bei korrekter Dimensionierung und Ausführung ist der Wartungsbedarf gering. Im Betrieb mit Wasser muss die Anlage im Herbst entleert und im Frühling wieder befüllt werden.

Eingangsparameter für die Berechnungen:

Solarthermie kann die gesamte Regenerationswärme für die Erdsonden abdecken. Daher wurden die unterschiedlichen Technologien der Solaranlagen so dimensioniert, dass diese alleinig den erforderlichen Wärmebedarf in die Erdsonden einbringen. Die Kosten beinhalten die Kollektoren sowie die haustechnischen Komponenten Wärmetauscher, Pumpengruppe, MSR, Hydraulik und Elektro.

Tabelle 11: Eingangsparameter für Solarkollektoren, Quelle: Kostenermittlung des Projektpartners Vasko+Partner, bestehend aus Erfahrungswerten aus einer Vielzahl von Planungsprojekten

Kollektortypen	Szenarien	g1	g2	m1	m2
Flachkollektor	Fläche, m ²	680	390	170	80
	Errichtungskosten, EUR/m ² Kollektor	380	440	620	960
	Wartungskosten, EUR/m ² Kollektor	18	10	17	30
Solarabsorber	Fläche, m ²	870	690	210	100

	Errichtungskosten, EUR/m ² Kollektor	180	190	370	680
	Wartungskosten, EUR/m ² Kollektor	90	100	120	160
PVT-Kollektor	Fläche, m ²	600	480	150	70
	Errichtungskosten, EUR/m ² Kollektor	1.000	1.050	1.300	1.700
	Wartungskosten, EUR/m ² Kollektor	90	100	130	160
	PV Leistung, kW _{peak}	83	68	21	10

2.7.7. Luftwärmetauscher

Nutzungsumfang: Luftwärmetauscher finden flächendeckend Einsatz zum Abtransport von Wärme aus vorwiegend industriell oder geschäftlich genutzten Räumlichkeiten. Diese Nutzung ist Stand der Technik und wird zum Beispiel für die Abfuhr von Abwärmern aus Kühlprozessen in Supermärkten oder Datenzentren sowie bei vielen unterschiedlichen Produktionsprozessen angewendet. Die angedachte Nutzung für die Regeneration von Erdsondenfeldern ist noch nicht so weit verbreitet, jedoch mittlerweile schon erprobt. Luftwärmetauscher werden als Unterstützung der Regeneration eingesetzt und können bei Bedarf auch jederzeit nachgerüstet werden.

Technische Prozesse: In der Standardanwendung wird durch einen Ventilator Luft über den Wärmetauscher geführt, welche die Sole aus dem Kühlkreis abkühlt. Dreht man die Nutzung um, damit Wärme zur Regeneration gewonnen werden kann, wird über die Zufuhr von warmer Luft die Sole im Wärmetauscher aufgewärmt und den Erdsonden zugeführt. Diese Anwendung funktioniert, solange die Sole deutlich kühler ist als die Außenluft. Eine wirtschaftliche Nutzung ist daher auf den Früh- und Hochsommer beschränkt. Im Herbst, wenn das Erdsondenfeld nahezu vollständig regeneriert sein sollte und die Temperaturen der Außenluft sinken, lässt die Effizienz dieser Technologie deutlich nach.

Aufbringung: Die gängigste Anwendung von Luftwärmetauschern sind so genannte Rückkühler mit einer Sole/Luft Wärmeübertragung zur Kühlung von Gebäuden und industriellen Prozessen. Diese Anwendung kann ohne großen Aufwand umgekehrt und zur Regeneration von Erdsondenfeldern benutzt werden.

Betriebliche Verfügbarkeit: Wärme aus der Luft ist im Frühling und Sommer auf dem gewünschten Temperaturniveau von über 15 °C vorhanden. Die Leistung von Luftwärmetauschern wird im Auslegungsfall mit einem Temperaturniveau von Luftseitig 15/6 °C und Soleseitig 4/9 °C angegeben. Im Fall der Regeneration von Erdsondenfeldern weicht diese Leistung jedoch durch die teilweise eklatante Verschiebung der Temperaturunterschiede deutlich ab. Als Beispiel kann ein warmer Frühlingstag oder auch ein kalter Herbsttag herangezogen werden, mit einer maximalen Lufttemperatur in den Mittagsstunden von 22 °C beziehungsweise 12 °C. Die Soletemperatur aus den Erdsonden kann dabei nach der Wintersaison bei 2 °C und im Herbst nach der Regeneration über den ganzen Sommer bei über 20 °C liegen.

Betriebsicherheit: Luftwärmetauscher (Rückkühler) werden im Normalfall auf Dächern montiert, da sie durch die Ventilatoren Lärm entwickeln und in der Standardanwendung Wärme an die Luft abgeben, was in den Sommermonaten zu einer unerwünschten Aufwärmung der Umgebung führt. Verwendet man die Wärme aus der Luft zur Regeneration von Erdsondenfeldern, fällt die unerwünschte Aufwärmung weg, aber die Lärmbelastung ist weiterhin problematisch, vor allem in Wohnbereichen.

Eingangsparameter für die Berechnungen:

Luftwärmetauscher können den gesamten Wärmebedarf für die Regeneration bereitstellen. Daher wurden die Dimensionierungen so gewählt, dass der gesamte Regenerationswärmebedarf abgedeckt werden kann. Für die Berechnungen wurde angenommen, dass für große Gebäude Anlagenkosten von 2,00 EUR/m²_{NF} (40 kW Leistung) und für mittlere Gebäude 14 bzw. 12 EUR/m²_{NF} (bei 60 bzw. 30 kW Leistung) anfallen. Die Wartungskosten liegen bei rund 1.200 EUR/a. Die Mehrkosten für den Schallschutz sind gering und liegen bei rund 0,10 – 0,90 EUR/m²_{NF}.

3. Ergebnisse

In den Untersuchungen wurden zwei unterschiedlich große Siedlungsgebiete betrachtet – ein größeres mit 1.200 Wohnungen in Wien und ein kleineres mit 120 Wohnungen in Waidhofen an der Ybbs. Für beide Gebiete wurden zwei Szenarien des Wärmeschutzstandards berücksichtigt: Szenario 1 bildet eine relativ hohe Wärmenachfrage ab, die nur geringfügig niedriger ist als die Mindestanforderungen aus der derzeitigen Bauordnung (Standardszenario). Szenario 2 bildet eine niedrige Wärmenachfrage ab, die geringfügig über jener des Passivhausstandard liegt (Effizienzzenario). Die beiden Szenarien beschreiben somit die Art des Gebäudes und die Qualität der Gebäudehülle. Diese bestimmen neben dem Nutzerverhalten den Energiebedarf.

Bei beiden Szenarien kann eine Niedertemperaturheizung eingesetzt werden, was eine Voraussetzung für den wirtschaftlichen und vor allem ökologisch sinnvollen Einsatz einer Wärmeversorgung über Erdsondenfeld und Erdwärmepumpe ist.

Für solartechnische Regenerationstechnologien wurden die Sonnenstunden bzw. die Monatssummen der Globalstrahlung an den beiden Standorten dem Klimadatensatz von Meteonorm (Software Polysun) entnommen.

- Wien: Globalstrahlungssumme horizontal: 1.125 kWh/m²a
- Waidhofen an der Ybbs: Globalstrahlungssumme horizontal: 1.078 kWh/m²a

Für außenluftabhängige Regenerationstechnologien wurden die monatlichen Mittelwerte der Außentemperatur an den beiden Standorten ebenfalls dem Klimadatensatz entnommen. Das Jahresmittel der monatlichen Mittelwerte für die beiden Standorte ist:

- Wien: 11,7 °C
- Waidhofen an der Ybbs: 9,5 °C

3.1. Erläuterung der Ergebnisdarstellung

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in je einem Diagramm für „Große Gebäude“ (am Standort Wien) und „Mittelgroße Gebäude“ (am Standort Waidhofen a.d. Ybbs).

In jedem Diagramm sind die Ergebnisse folgender Technologien dargestellt und nach aufsteigenden Regenerations-Wärmegestehungskosten gereiht:

- Luft-Wasser-Wärmetauscher
(mit / ohne Schallschutzvorrichtungen)
- Abwärme kleiner Supermarkt
- Abwärme aus den Wohnungen
(Free Cooling / aktive Kühlung)
- Abwärme Datenzentren (bei kurzer Entfernung)
- Solarthermie-Absorber

Innerhalb jedes Diagramms sind die Werte für die Regenerations-Wärmegestehungskosten an der linken Ordinatenachse (y-Achse) abzulesen. Die erzielbaren Regenerations-Wärmemengen sind an der rechten Ordinatenachse abzulesen.

Zur Unterscheidung der beiden Effizienz-Szenarien wurden die Ergebnisse für das „Normal-Szenario“ in roten Farbtönen und jene für das „Energieeffizienz-Szenario“ in blauen Farbtönen eingetragen.

Im Sinne einer Merit-Order erfolgt die Reihung der Technologien und Lösungen nach den Regenerations-Wärmegestehungskosten aufsteigend, ausgehend von den geringsten Kosten.

Die Skalierungen der Ordinatenachsen unterscheiden sich zwischen den beiden Gebäudemodellen „Große Gebäude“ und „Mittelgroße Gebäude“. Aufgrund der unterschiedlichen Größen und Effizienz-Szenarien werden unterschiedliche Regenerations-Wärmemengen (rechte Ordinatenachse) benötigt. Dies hat wiederum eine direkte Auswirkung auf die spezifischen Regenerations-Wärmegestehungskosten (linke Ordinatenachse). Die Werte der Regenerations-Wärmegestehungskosten sind demnach bei mittelgroßen Gebäuden (m) und kleinerem Energiebedarf (2) höher als bei großen Gebäuden (g) und größerem Energiebedarf (1).

Kommt es bei der Anwendung einzelner Technologien und Lösungen zu einem Zusatznutzen in Form einer Verbesserung des Innenraumkomforts, so wird dieser im Ergebnisdiagramm durch grüne Hinterlegung bei der Beschriftung der Abszissenachse dargestellt. Die Bewertung der Auswirkungen auf den Innenraumkomfort erfolgt nach folgenden drei Kategorien:

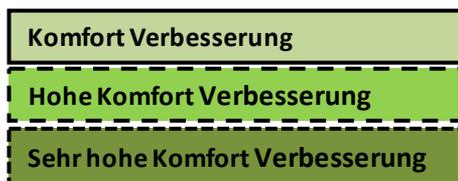


Abbildung 8: Bewertungsskala für den Nutzungskomfort, Quelle: eigene Darstellung

Nachfolgende Abbildung 9 zeigt eine exemplarische Darstellung der Regenerations-Wärmegestehungskosten und Wärmemengen.

- Effizienz-Szenario: Normal-Szenario
- Effizienz-Szenario: Energieeffizienz-Szenario
- Bandbreite der Regenerations-Wärmegestehungskosten (inkl. Sensitivitätsanalyse)
- Regenerationswärme-Bedarf je Effizienz-Szenario
- Menge an Regenerationswärme, die von der Technologie bzw. Lösung bereitgestellt werden kann

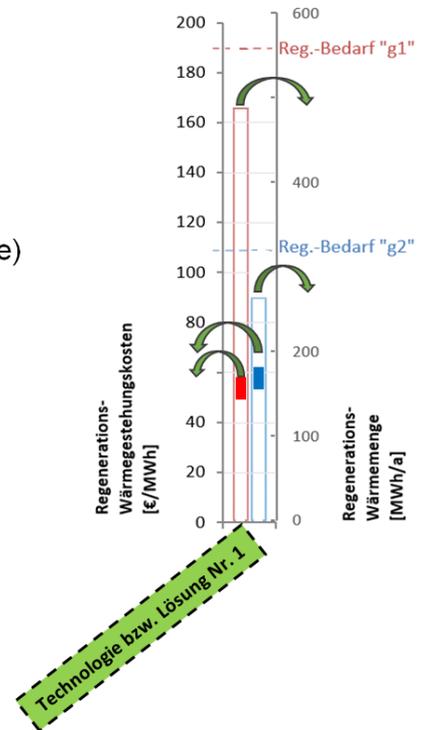


Abbildung 9: Erläuterung der Diagrammdarstellung für Regenerations-Wärmegestehungskosten und -Wärmemengen, Quelle: eigene Darstellung

3.2. Ergebnisdiagramm für das Gebäudemodell „Große Gebäude“

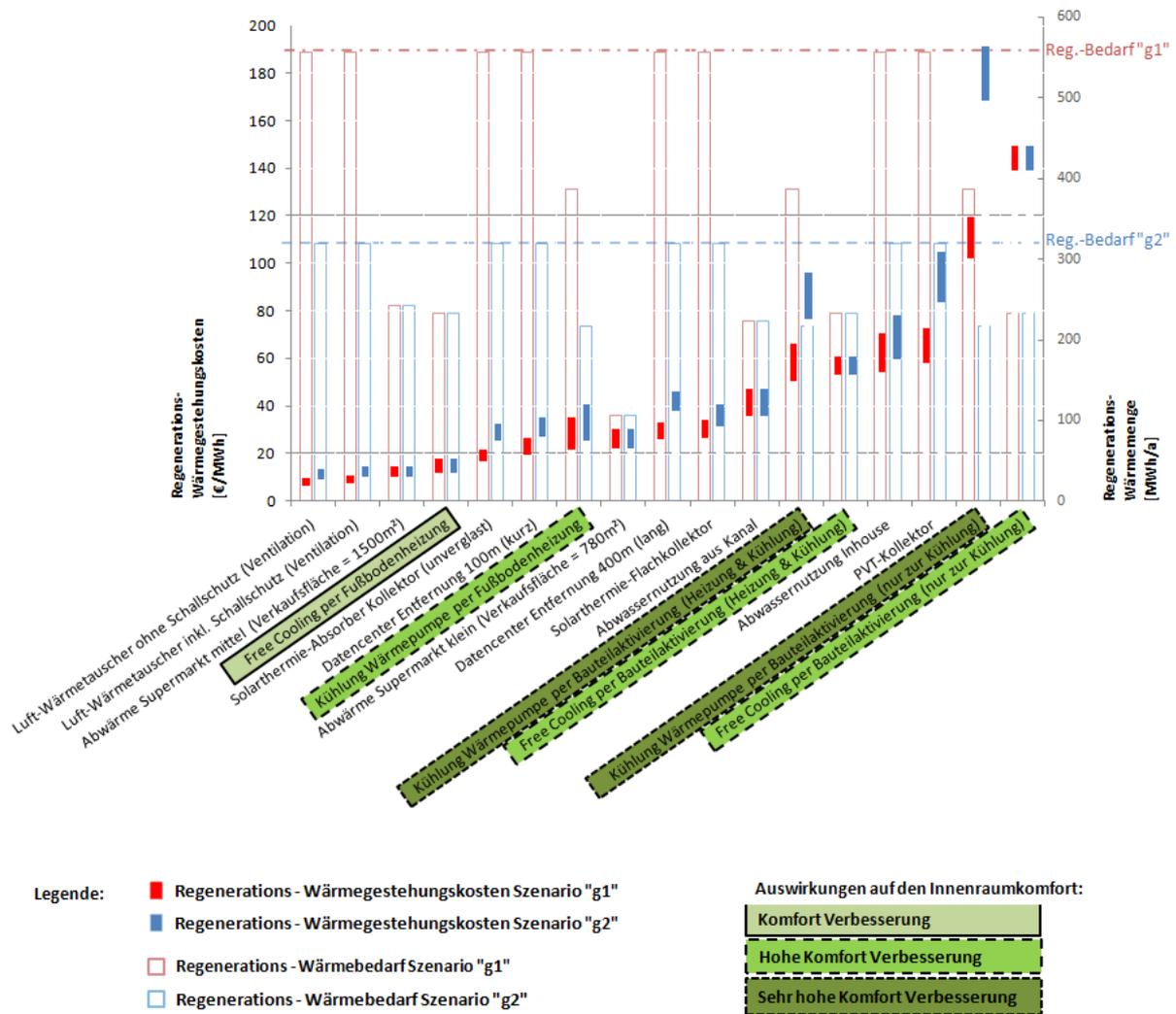
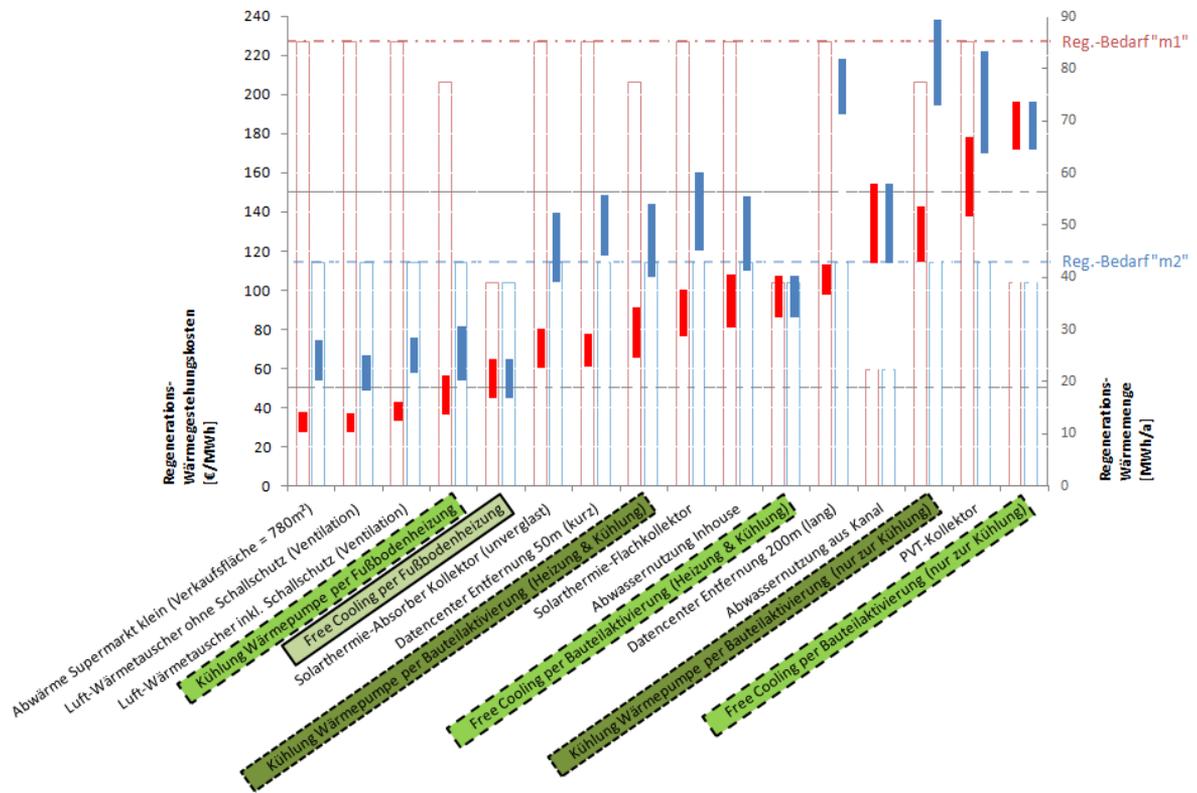


Abbildung 10: Ergebnisse für das Gebäudemodell "Große Gebäude", Quelle: eigene Darstellung

3.3. Ergebnisdiagramm für das Gebäudemodell „Mittelgroße Gebäude“



- Legende:
- Regenerations - Wärmegestehungskosten Szenario "m1"
 - Regenerations - Wärmegestehungskosten Szenario "m2"
 - Regenerations - Wärmebedarf Szenario "m1"
 - Regenerations - Wärmebedarf Szenario "m2"
- Auswirkungen auf den Innenraumkomfort:
- Komfort Verbesserung
 - Hohe Komfort Verbesserung
 - Sehr hohe Komfort Verbesserung

Abbildung 11: Ergebnisse für das Gebäudemodell "Mittelgroße Gebäude", Quelle: eigene Darstellung

3.4. Diskussion der Ergebnisse

Wie aus den Diagramm-Darstellungen hervorgeht, gibt es Regenerations-Technologien und Lösungen deren Regenerations-Wärmegestehungskosten niedrig sind, jedoch nur einen Teil des Regenerations-Wärmebedarfs abdecken können. Mit anderen wiederum ist es möglich, den gesamten Regenerations-Wärmebedarf zu decken.

Wird bei einem konkreten Anwendungsfall eine Regenerations-Technologie und Lösung in Betracht gezogen, welche den Regenerations-Wärmebedarf nicht vollständig decken kann, bedarf es einer Kombination mit zumindest einer weiteren Technologie und Lösung. Beispielsweise könnte eine Abwärmenutzung von einem Supermarkt mit einer Solar-Technologie kombiniert werden. Da bereits ein Teil des Regenerations-Wärmebedarfs durch Abwärmenutzung gedeckt wird, kann in diesem Fall die Solartechnologie kleiner ausgelegt werden. Dabei ist aber besonders darauf zu achten, dass mit der Änderung von Anlagendimensionen gegenüber den für die angestellten Untersuchungen herangezogenen Größenordnungen auch eine Änderung der Wärmegestehungskosten einhergeht. Das heißt, bei Kombinationen von Regenerations-Technologien und Lösungen müssen erneut Wirtschaftlichkeitsanalysen angestellt und dabei die Anlagendimensionierungen angepasst werden.

Bei der Kombination von Regenerations-Technologien und Lösungen ist besonderes Augenmerk auf die erforderlichen Temperaturniveaus zu legen, die das jeweilige System für den ordnungsgemäßen Betrieb benötigt. Im Konkreten ist dies bei Abwärmenutzungs- oder Free Cooling-Lösungen zu beachten, damit die vorgegebenen Temperaturen während des gesamten Betriebszeitraums eingehalten werden. Dazu müssen die Verschaltungsreihenfolgen und Fluid-Volumenströme von Wärmetauschern sinnvoll aufeinander abgestimmt werden.

3.5. Zusammenfassende Ergebnistabellen

Nachfolgende Tabellen zeigen die Regenerations-Wärmegestehungskosten, die erzielbaren Regenerations-Wärmemengen, den End- und Primärenergiebedarf³ sowie die CO₂-Emissionen⁴ der jeweiligen Technologie und Lösung für die beiden Gebäudemodelle und die unterschiedlichen Energieeffizienz-Szenarien.

Die gelb markierten Zellen weisen darauf hin, dass mit dieser Regenerations-Technologie oder Lösung der Regenerations-Wärmebedarf beim jeweiligen Gebäudemodell nicht vollständig gedeckt werden kann.

Die negativen Werte für End-, Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen bei der Technologie „PVT-Kollektor“ begründen sich mit der Stromerzeugung dieser Technologie. Es wird wesentlich mehr Strom erzeugt, als für die Bereitstellung von Regenerations-Wärmeenergie benötigt wird.

³ Die Konversionsfaktoren wurden der OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“, Entwurf Juni 2018 entnommen.

⁴ Ebd.

Tabelle 12: Ergebnistabelle zu Regenerations-Technologien und Lösungen für Gebäudemodell „große Gebäude“, Quelle: eigene Berechnungen

Technologie/Lösung	Reg. – Wärmegestehungs- kosten		Reg.- Wärme- energie [MWh/a]	End- energie- bedarf [MWh/a]	Primär- energie- bedarf [MWh/a]	CO ₂ - Emission [kg/a]
	Basis [€/MWh]	Sensitivität t [€/MWh]				
Große Gebäude, Normal-Szenario						
Abwärme Supermarkt klein (Verkaufsfläche = 780m ²)	30,51	22,07	107,0	1,3	2,3	330
Abwärme Supermarkt mittel (Verkaufsfläche = 1500m ²)	14,38	10,31	242,0	3,0	5,3	740
Free Cooling per Fußbodenheizung	17,55	11,68	233,0	15,2	27,0	3.780
Free Cooling per Bauteilaktivierung (nur zur Kühlung)	149,45	139,15	233,0	15,2	27,0	3.780
Free Cooling per Bauteilaktivierung (Heizung & Kühlung)	60,59	53,28	233,0	15,2	27,0	3.780
Kühlung Wärmepumpe per Fußbodenheizung	35,14	21,67	387,5	107,3	189,8	26.600
Kühlung Wärmepumpe per Bauteilaktivierung (nur zur Kühlung)	119,58	101,76	387,5	107,3	189,8	26.600
Kühlung Wärmepumpe per Bauteilaktivierung (Heizung & Kühlung)	66,15	50,13	387,5	107,3	189,8	26.600
Datencenter Entfernung 100m (kurz)	26,31	19,16	557,3	70,9	125,5	17.590
Datencenter Entfernung 400m (lang)	32,87	25,67	557,3	75,5	133,7	18.730
Solarthermie-Flachkollektor	33,82	26,51	557,3	2,2	3,8	530
Solarthermie-Absorber Kollektor (unverglast)	21,33	16,45	557,3	2,2	3,8	530
PVT-Kollektor	72,92	58,09	557,3	-101,6	-179,8	-25.190
Luft-Wärmetauscher ohne Lärmschutz (Ventilation)	9,82	6,55	557,3	27,5	48,6	6.810
Luft-Wärmetauscher inkl. Lärmschutz (Ventilation)	10,8	7,34	557,3	30,1	53,2	7.450
Abwassernutzung Inhouse	70,3	53,91	557,3	3,1	5,5	770
Abwassernutzung aus Kanal	47,08	35,77	224	1,3	2,2	310
Große Gebäude, Energieeffizienz-Szenario						
Abwärme Supermarkt klein (Verkaufsfläche = 780m ²)	30,51	22,07	107,0	1,3	2,3	330
Abwärme Supermarkt mittel (Verkaufsfläche = 1500m ²)	14,38	10,31	242,0	3,0	5,3	740
Free Cooling per Fußbodenheizung	17,55	11,68	233,0	15,2	27,0	3.780
Free Cooling per Bauteilaktivierung (nur zur Kühlung)	149,45	139,15	233,0	15,2	27,0	3.780
Free Cooling per Bauteilaktivierung (Heizung & Kühlung)	60,59	53,28	233,0	15,2	27,0	3.780
Kühlung Wärmepumpe per Fußbodenheizung	40,59	25,38	217,0	62,6	110,9	15.540
Kühlung Wärmepumpe per Bauteilaktivierung (nur zur Kühlung)	191,36	168,4	217,0	62,6	110,9	15.540
Kühlung Wärmepumpe per Bauteilaktivierung (Heizung & Kühlung)	95,95	76,2	217,0	62,6	110,9	15.540
Datencenter Entfernung 100m (kurz)	35,05	26,81	319,3	40,9	72,4	10.140
Datencenter Entfernung 400m (lang)	45,76	37,72	319,3	43,3	76,6	10.730
Solarthermie-Flachkollektor	40,66	31,54	319,3	1,2	2,2	310
Solarthermie-Absorber Kollektor (unverglast)	32,66	25,1	319,3	1,2	2,2	310
PVT-Kollektor	104,98	83,65	319,3	-86,0	-152,3	-21.340
Luft-Wärmetauscher ohne Lärmschutz (Ventilation)	13,29	9,12	319,3	16,1	28,4	3.980
Luft-Wärmetauscher inkl. Lärmschutz (Ventilation)	14,62	10,28	319,3	17,5	31,1	4.350
Abwassernutzung Inhouse	78,3	59,87	319,3	1,8	3,2	440
Abwassernutzung aus Kanal	47,08	35,77	224	1,3	2,2	310
Legende			Wärmebedarf kann mit Regenerationstechnologie oder -lösung nicht vollständig gedeckt werden			

Tabelle 13: Ergebnistabelle zu Regenerations-Technologien und Lösungen für Gebäudemodell „Mittelgroße Gebäude“,
Quelle: eigene Berechnungen

Technologie/Lösung	Reg. – Wärmegestehungs- kosten		Reg.- Wärme- energie [MWh/a]	End- energie- bedarf [MWh/a]	Primär- energie- bedarf [MWh/a]	CO ₂ - Emission [kg/a]
	Basis [€/MWh]	Sensitivität t [€/MWh]				
Mittlere Gebäude, Normal-Szenario						
Abwärme Supermarkt klein (Verkaufsfläche = 780m ²)	38,02	27,54	85,1	1,1	1,9	260
Free Cooling per Fußbodenheizung	64,63	44,64	38,9	2,6	4,5	630
Free Cooling per Bauteilaktivierung (nur zur Kühlung)	196,27	171,88	38,9	2,6	4,5	630
Free Cooling per Bauteilaktivierung (Heizung & Kühlung)	107,58	86,16	38,9	2,6	4,5	630
Kühlung Wärmepumpe per Fußbodenheizung	56,42	36,69	77,5	21,5	38,1	5.340
Kühlung Wärmepumpe per Bauteilaktivierung (nur zur Kühlung)	142,92	114,16	77,5	21,5	38,1	5.340
Kühlung Wärmepumpe per Bauteilaktivierung (Heizung & Kühlung)	90,93	65,75	77,5	21,5	38,1	5.340
Datencenter Entfernung 100m (kurz)	77,84	61,01	85,1	5,0	8,8	1.230
Datencenter Entfernung 400m (lang)	113,31	97,86	85,1	5,8	10,2	1.430
Solarthermie-Flachkollektor	100,23	76,47	85,1	0,3	0,6	80
Solarthermie-Absorber Kollektor (unverglast)	80,22	60,36	85,1	0,3	0,6	80
PVT-Kollektor	178,37	137,5	85,1	-16,5	-29,1	-4.080
Luft-Wärmetauscher ohne Lärmschutz (Ventilation)	37,42	27,59	85,1	2,9	5,1	710
Luft-Wärmetauscher inkl. Lärmschutz (Ventilation)	43,17	33,43	85,1	3,1	5,6	780
Abwassernutzung Inhouse	107,79	81,19	85,1	0,8	1,4	190
Abwassernutzung aus Kanal	154,20	113,95	22,4	0,2	0,4	50
Mittlere Gebäude, Energieeffizienz-Szenario						
Abwärme Supermarkt klein (Verkaufsfläche = 780m ²)	74,27	53,96	42,8	0,5	0,9	130
Free Cooling per Fußbodenheizung	64,63	44,64	38,9	2,6	4,5	630
Free Cooling per Bauteilaktivierung (nur zur Kühlung)	196,27	171,88	38,9	2,6	4,5	630
Free Cooling per Bauteilaktivierung (Heizung & Kühlung)	107,58	86,16	38,9	2,6	4,5	630
Kühlung Wärmepumpe per Fußbodenheizung	81,49	54,01	42,8	13,3	23,6	3.300
Kühlung Wärmepumpe per Bauteilaktivierung (nur zur Kühlung)	238,11	194,29	42,8	13,3	23,6	3.300
Kühlung Wärmepumpe per Bauteilaktivierung (Heizung & Kühlung)	143,97	106,64	42,8	13,3	23,6	3.300
Datencenter Entfernung 100m (kurz)	148,7	117,66	42,8	2,6	4,5	630
Datencenter Entfernung 400m (lang)	217,87	190,12	42,8	2,8	5,0	700
Solarthermie-Flachkollektor	159,92	120,44	42,8	0,2	0,3	40
Solarthermie-Absorber Kollektor (unverglast)	139,29	103,83	42,8	0,2	0,3	40
PVT-Kollektor	221,92	169,9	42,8	-10,5	-18,6	-2.610
Luft-Wärmetauscher ohne Lärmschutz (Ventilation)	66,8	48,77	42,8	2,8	5,0	700
Luft-Wärmetauscher inkl. Lärmschutz (Ventilation)	75,46	57,5	42,8	3,1	5,5	760
Abwassernutzung Inhouse	147,74	110,15	42,8	0,4	0,7	100
Abwassernutzung aus Kanal	154,20	113,95	22,4	0,2	0,4	50
Legende	Wärmebedarf kann mit Regenerationstechnologie oder -lösung nicht vollständig gedeckt werden					

4. Schlussfolgerungen

Wärmeversorgungslösungen unter Einbeziehung von Wärmepumpen und Erdsonden werden verstärkt umgesetzt. Ein wesentlicher Treiber dabei ist die Möglichkeit im Sommer Wärme aus den Wohnungen zu entziehen und somit für eine kühlere Innenraumtemperatur zu sorgen. Gleichzeitig werden die Anforderungen an die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung deutlich strenger. Eine Beschränkung beziehungsweise ein Verbot des Einsatzes von Gas zur Beheizung von neuen Wohngebäuden ist international bereits in einigen Ländern umgesetzt (z.B. Dänemark und Niederlande), in Österreich ist noch kein explizites Verbot im Neubau gesetzlich verankert, möglicherweise aber nur eine Frage der Zeit, zumindest in bestimmten Gebäudesegmenten und/oder in bestimmten Gebieten. So wird dem Thema „Energieraumplanung“ derzeit in einigen Bundesländern hoher Stellenwert eingeräumt. Insbesondere in Wien und Salzburg sind bereits gesetzliche Rahmenbedingungen zur räumlichen Energieplanung in Kraft. In Wien werden Verordnungen vorbereitet, durch die Gebiete ausgewiesen werden sollen, in denen Neubauten dann nicht mehr mit Gasheizungen ausgestattet werden dürfen. Um Gasversorgungen in Neubauten auch außerhalb dieser Gebiete, in denen stets ein Fernwärmeanschluss möglich ist, zu vermeiden, gibt es in Wien eine Wohnbauförderung, wenn ein Neubau mit einem erneuerbaren Heizsystem ausgestattet wird.

Diese Entwicklungen führen dazu, dass es in urbanen Wohngebieten (außerhalb des mit Fernwärme versorgten Gebiets) zu einer Steigerung der Anwendung von Wärmepumpensystemen zur Wärme- und Kälteversorgung kommen wird. In vielen Fällen wird als Quelle für die Wärmepumpen das Erdreich herangezogen. Aufgrund der dichten Bauweise und der hohen Anzahl an Erdsonden werden Erdsondenfelder realisiert, die – unter Einbeziehung der Eigenregeneration – eine ausgeglichene Wärmebilanz aufweisen müssen.

Im Sinne des leistbaren Wohnens und zum sinnvollen Einsatz von Energieressourcen ist es ratsam, die erforderliche Wärme zur Regeneration aus Vor-Ort-Energiequellen zu generieren. Dazu gilt es, Siedlungen beziehungsweise Stadtentwicklungsgebiete hinsichtlich möglicher Abwärme-Potenziale zu prüfen. Die Wärmeentnahme in der Wohnung ist jedenfalls zu empfehlen, erfordert aber ein geeignetes Abgabesystem, das bei der Planung zu berücksichtigen ist. Das bringt neben der erforderlichen Wärme zur Regeneration der Erdsonden auch eine deutliche Verbesserung hinsichtlich des sommerlichen Komforts der Wohnungen. Darüber hinaus sind andere Nutzungen zu prüfen, die eine Kälteversorgung benötigen. Im Projekt wurde der Schwerpunkt auf Supermärkte gelegt, die in Siedlungsgebieten in vielen Fällen verfügbar sind. Aber auch andere Nutzungen ohne Kälteprozesse zur Lagerung von Produkten, zum Beispiel die klassische Raumkühlung, können zur Regeneration herangezogen werden.

Wichtig dabei ist die Entwicklung eines integralen Energiekonzepts für Siedlungen und Gebäude. Die unterschiedlichen Nutzungen und deren Bedarf an Wärme und Kälte müssen durch den Energieaustausch untereinander zu einem (kosten-) optimierten Konzept zusammengeführt werden. Aufgrund unterschiedlicher Interessenslagen sind hier Vorgaben oder Förderungen der öffentlichen Hand hilfreich, um rasch nutzungsübergreifende Konzepte realisieren zu können.

Die Ergebnisse können von Bauträgern und Planern genutzt werden, die vor der Fragestellung stehen, wie eine ökonomisch optimierte thermische Regeneration von Erdsondenfeldern erfolgen kann. Damit können möglichst rasch technische Konzepte erstellt und deren ökonomische

Auswirkungen erfasst werden, sodass der verstärkte Einsatz von erneuerbaren Energieressourcen in urbanen Siedlungsgebieten ermöglicht wird.

5. Ausblick und Empfehlungen

Die Dekarbonisierung des Energiesystems erfordert den Ausstieg aus fossilen Energieträgern und die Nutzung alternativer Wärmeversorgungskonzepte auf Basis erneuerbarer Energieressourcen. Die Nutzung lokal verfügbarer erneuerbarer Energieressourcen (inkl. Abwärme) ist dabei ein weiterer Schritt in der Wärmewende.

In größeren Gebäuden und Stadtentwicklungsgebieten ist die Fläche zur Nutzung solarer Energiequellen zu gering, um den gesamten Energiebedarf abdecken zu können. Aus diesem Grund macht die Nutzung der Umweltenergie aus dem Erdreich Sinn.

Wie es bereits jetzt schon abzusehen ist, werden künftig verstärkt Wärmepumpensysteme zur Konditionierung von Wohngebäude eingesetzt werden - zum einen aufgrund der Nutzung erneuerbarer Energieressourcen, zum anderen aufgrund der Möglichkeit, Wohnungen auch zu kühlen. Erdsonden und Erdsondenfelder spielen dabei eine wichtige Rolle.

Derzeit ist es schwierig, Erdsondenfelder für mehrere Gebäude im Rahmen eines gebäudeübergreifenden Wärmenetzes zu realisieren. Neben den höheren Investitionskosten zu Beginn sind auch die Installations-Arbeiten zu einem sehr frühen Zeitpunkt durchzuführen, noch bevor die Bauarbeiten für die Gebäude beginnen. Das stellt Errichter und Betreiber von Wärmenetzen vor eine Herausforderung, diese Systeme verstärkt einzusetzen. Darüber hinaus gibt es Vorgaben an das Heizungskonzept der Gebäude, sodass ein Niedertemperatur-Wärmenetz realisierbar sein muss. Der Abstimmungsprozess unter den Beteiligten wird höher. Hier könnte die Unterstützung von Gebietskörperschaften dabei helfen, Anforderungen an Bauträger zu setzen, um diese Konzepte leichter realisieren zu können und um eine koordinierte, unabhängige Instanz zu bestellen, die für den größeren Abstimmungsaufwand schon ganz zu Beginn der Planung des Stadtentwicklungsgebietes steuernd tätig ist.

6. Verzeichnisse

6.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lokales Wärmenetz und Anordnung Datencenter im Siedlungsgebiet groß, Quelle: eigene Darstellung.....	15
Abbildung 2: Lokales Wärmenetz und Anordnung Datencenter im Siedlungsgebiet klein, Quelle: eigene Darstellung.....	16
Abbildung 3: monatlicher Wärmebedarf für Szenario g1, Quelle: eigene Darstellung.....	17
Abbildung 4: Fehlende Regenerationswärme der Erdsondenfelder, Quelle: eigene Berechnungen ...	19
Abbildung 5: Strukturierung der Regenerationswärme, Quelle: eigene Darstellung	23
Abbildung 6: Nutzung der Abwärme im Untersuchungsgebiet, Quelle: eigene Darstellung.....	24
Abbildung 7: Möglichkeiten zur zusätzlichen Wärmebereitstellung, Quelle: eigene Darstellung.....	25
Abbildung 8: Bewertungsskala für den Nutzungskomfort, Quelle: eigene Darstellung	34
Abbildung 9: Erläuterung der Diagrammdarstellung für Regenerations-Wärmegestehungskosten und -Wärmemengen, Quelle: eigene Darstellung.....	35
Abbildung 11: Ergebnisse für das Gebäudemodell "Große Gebäude", Quelle: eigene Darstellung.....	36
Abbildung 12: Ergebnisse für das Gebäudemodell "Mittelgroße Gebäude", Quelle: eigene Darstellung	37

6.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Annahmen für die Siedlungsgebiete, Quelle: eigene Annahmen.....	14
Tabelle 2: Annahmen für die Gebäude, Quelle: eigene Annahmen	15
Tabelle 3: Spezifischer Wärmebedarf der Gebäude (je m ² BGF), Quelle: eigene Annahmen	16
Tabelle 4: Spezifische Heizlast der Gebäude (je m ² BGF), Quelle: eigene Annahmen.....	17
Tabelle 5: Heizlast je Gebäude und Szenario, Quelle: eigene Annahmen	17
Tabelle 6: Leistungen der Wärmeerzeuger, Quelle: eigene Berechnungen	18
Tabelle 7: Jährliche Wärmelieferungen der Wärmeerzeuger, Quelle: eigene Berechnungen	18
Tabelle 8: Fehlende Regenerationsmenge je Szenario, Quelle: eigene Berechnungen.....	18
Tabelle 9: Dimensionierung der Erdsondenfelder, Quelle: eigene Berechnungen.....	21
Tabelle 10: Parameter der Wirtschaftlichkeitsberechnung, Quelle: eigene Annahmen	22
Tabelle 11: Eingangsparameter für Solarkollektoren, Quelle: Kostenermittlung des Projektpartners Vasko+Partner, bestehend aus Erfahrungswerten aus einer Vielzahl von Planungsprojekten	30
Tabelle 12: Ergebnistabelle zu Regenerations-Technologien und Lösungen für Gebäudemodell „große Gebäude“, Quelle: eigene Berechnungen.....	39
Tabelle 13: Ergebnistabelle zu Regenerations-Technologien und Lösungen für Gebäudemodell „Mittelgroße Gebäude“, Quelle: eigene Berechnungen.....	40

6.3. Literaturverzeichnis

Buri, R., Kobel, B., 2005, Energie aus Kanalabwasser. Leitfaden für Ingenieure und Planer. Arbeitsgemeinschaft Ryser Ingenieure AG, Bern, Zürich, Berlin.

Extremwetterereignisse, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/europa/extremereignisse>, 06.02.2019

erdsondenoptimierung.ch, 2016, <http://www.erdsondenoptimierung.ch/index.php?id=269187>, Erdsonden regenerieren, 23.01.2016

Faktencheck Energiewende, 2018, S. 6, 2018

FEKA Folder 2012, S. 2, Folder zum Forschungsprojekt Energie aus Abwasser, Programm „Neue Energien 2020“, Klima- und Energiefonds, Projektpartner: Ochsner Wärmepumpen, Boku Wien, Wien Energie, Energie Schweiz und Austrian Energy Agency, 2012

Hässig, W., Suter, D., Bigler, R., Huber, A., 1998, Regeneration von Erdwärmesonden, Phase 1: Potenzialabschätzung. Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme. Zürich

Heinz, A., Lerch, W., Bredler, J., Fink, C., Wagner, W., 2013, Wärmerückgewinnung aus Abwasser im Niedrigenergie- und Passivhaus: Potenzial und Konzepte in Kombination mit Solarthermie und Wärmepumpe. WRG pot. Berichte aus Energie und Umweltforschung 3/2013. BMVIT, Wien

Huber, A., Speicherung von Wärme in Erdwärmesonden. Huber Energietechnik AG. Zürich, 2014

Infoblatt, Energie aus Abwasser, <https://e5-salzburg.at/downloads/downloads-wissen-service/hf6/infoblatt-abwaerme-abwasser.pdf>, 17.01.2019

Klima Waidhofen an der Ybbs, <https://de.climate-data.org/europa/oesterreich/nieder-oesterreich/waidhofen-an-der-ybbs-13204/>, 07.02.2019

Lufttemperatur in Österreich, <https://www.waldwissen.net/>, 07.02.2019

Lufttemperatur in Wien, <https://www.wien.gv.at/statistik/lebensraum/tabellen/temperatur-zr.html>, 17.01.2019

OIB Richtlinie 6, Stand 2015, <https://www.oib.or.at/de/guidelines/oib-richtlinie-6-0>, 07.02.2019

OIB Richtlinie 6, Stand 2019, <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6>, 07.02.2019

RegenOpt, Optionen zur Vermeidung nachbarschaftlicher Beeinflussung von Erdwärmesonden: energetische und ökonomische Analysen. Schlussbericht. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten. Zürich, 2015.

Schinnerl, D., Bucar, G., Großbauer, R., 2007, Thermische Energie aus Abwasser

Solaris-Map, <https://solargis.info/imaps/>, Datum: 07.02.2019

SONNENKLAR-Rechner, <https://www.pvaustria.at/pv-tools/>, Datum: 07.02.2019

Sonnenstunden-Atlas, https://www.meinbezirk.at/niederoesterreich/c-freizeit/sonnenstunden-atlas-wie-viele-stunden-im-jahr-scheint-die-sonne-in-deiner-gemeinde_a2615885, Datum: 07.02.2019

Wärmster Sommer, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/viertwaermster-sommer-der-messgeschichte>, 19.12.2018

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)