

# Energieforschungsprogramm



Publizierbarer Endbericht

**Programmsteuerung:** Klima- und Energiefonds

**Programmabwicklung:** Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

29/06/2017

## **DEAGENT-NET**

Dezentrale geothermale  
Niedertemperatur-Wärmenetze in urbanen  
Gebieten

Projektnummer: 853649

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

Ausschreibung	2. Ausschreibung Energieforschungsprogramm
Projektstart	01/03/2016
Projektende	28/02/2017
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	12 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	Geologische Bundesanstalt
Ansprechpartner	Mag. Gregor Götzl
Postadresse	Neulinggasse 38, 1030 Wien
Telefon	+43 1 712 56 74 – 336
Fax	+43 1 712 56 74 – 56
E-mail	gregor.goetzl@geologie.ac.at
Website	www.geologie.ac.at

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

# DEGENT-NET

**Dezentrale geothermale Niedertemperatur-Wärmenetze  
in urbanen Gebieten**



## DEGENT-NET

### Dezentrale geothermale Niedertemperatur-Wärmenetze in urbanen Gebieten

#### **AutorInnen:**

M. FUCHSLUGER, G. GÖTZL, C. STEINER, J. WEILBOLD, D. RUPPRECHT (Geologische  
Bundesanstalt)

G. HÖFER-ÖLLINGER, T. KESSLER, K. HEIMLICH (Geoconsult ZT GmbH)

K. PONWEISER, J. NAGLER, D. BOTHE (Institut für Energietechnik und Thermodynamik, TU  
Wien)

P. BIERMAYR (Zentrum für Energiewirtschaft und Umwelt)

E. HASLINGER, O. PLANK, A. STRAUß (AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Center for  
Energy)

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

## INHALT

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung, Motivation und Ziele</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen, Methodik und Auswahl der Untersuchungsgebiete</b> .....	<b>7</b>
3.1	Definitionen und Stand der Technik.....	7
3.1.1	Definitionen .....	7
3.1.2	Literatur und Expertenworkshop.....	9
3.1.3	Bekannte internationale Projekte der Studienreise .....	11
3.2	Rechtliche Rahmenbedingungen in Österreich.....	13
3.2.1	Thermische Grundwassernutzung .....	14
3.2.2	Tiefsonde / Erdsondenfeld .....	16
3.2.3	Grundstücksübergreifende Nutzung .....	17
3.3	Methodik .....	18
3.3.1	Auswahl der Untersuchungsgebiete .....	18
3.3.2	Technische Auslegung .....	18
3.3.3	Dimensionierung geothermischer Anlagen .....	19
3.3.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	21
3.3.5	Chemische und ökologische Umweltauswirkung im Grundwasser .....	35
3.3.6	Systemabgrenzung und Beurteilungsschema der Erfolgskriterien .....	38
3.4	Auswahl der Untersuchungsgebiete Wien & Salzburg.....	39
3.5	Datenquellen zur Erstellung der hydrogeologischen Modelle .....	41
3.6	Schematisches Konzept Wien-Salzburg im Vergleich .....	43

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

<b>4 Standort Wien – Oase 22 + .....</b>	<b>46</b>
4.1 Strukturelle und technische Standortinformationen .....	46
4.1.1 Lage- und Bebauungsplan .....	46
4.1.2 Abwärmequellen .....	47
4.2 Hydrogeologische und geothermische Standortinformationen .....	49
4.2.1 Hydrogeologisches 3D-Modell.....	52
4.2.2 Wärmeleitfähigkeit aus Bohrprofil und Thermal Response Test .....	52
4.2.3 Temperaturdaten des Untergrundes des Standortes Wien .....	52
4.2.4 Vergleich der Temperaturdaten und Abschätzung der anthropogenen thermischen Beeinflussung .....	53
4.2.5 Standortbewertung Geothermie .....	54
4.2.6 Erhebung Grundwasserparameter Wien .....	55
4.3 Netzauslegung, Systemdesign .....	56
4.3.1 Konzeptvarianten Wien .....	56
4.3.2 Oase22+ Netzgröße .....	58
4.3.3 Versorgungsgebiet .....	60
4.3.4 Lastgänge Gebäude.....	60
4.3.5 Lastgänge der Wärmequellen (Einspeiser).....	62
4.4 Technische Komponenten.....	63
4.4.1 Rohrnetzwerk.....	63
4.4.2 Technikzentralen.....	65
4.4.3 Umwälzpumpen .....	66
4.4.4 Wärmepumpen.....	66
4.4.5 Heizsystem der Gebäude.....	67

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

4.4.6	Warmwasserbereitung der Gebäude.....	69
4.4.7	Gebäudekühlung.....	70
4.4.8	Abwärme-Einspeisung .....	70
4.4.9	Grundwasserdublette .....	71
4.4.10	Erdsondenfeld.....	72
4.4.11	Backup-Anschluss.....	73
4.4.12	Zentraler Energiemanager .....	74
4.5	Dynamische Netzsimulation – Modelltechnische Abbildung .....	74
4.5.1	Simulationsumgebung.....	74
4.5.2	Erdsondenmodul.....	75
4.5.3	Validierungssimulationen des Erdsondenmoduls .....	78
4.5.4	Kalibrierung des hydrogeologischen Untergrundmodells.....	80
4.5.5	Langzeitsimulation zur Bestimmung der thermischen und hydraulischen Umweltauswirkungen.....	81
4.6	Simulationsergebnisse .....	84
4.6.1	Energiemengen, Sankey Diagramm.....	84
4.6.2	Thermischer Wirkungsgrad .....	87
4.6.3	Exergetischer Wirkungsgrad .....	87
4.6.4	Erdspeicher – Bilanz und Statistik .....	89
4.6.5	Reaktionszeit Backup.....	91
4.6.6	Thermische Umweltauswirkungen.....	92
4.6.7	Hydraulische Umweltauswirkungen.....	93
4.6.8	CO <sub>2</sub> Einsparungspotenzial .....	94
4.7	Wirtschaftlichkeitsbewertung.....	96

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

4.7.1	Basisszenario.....	96
4.7.2	Strompreisszenario .....	99
4.7.3	Klimaszenario .....	101
4.7.4	Schlussfolgerungen zum Pilotgebiet in Wien.....	101
<b>5</b>	<b>Standort Salzburg – Geothermische Grundwassernutzung .....</b>	<b>103</b>
5.1	Hydrogeologische Standortinformationen.....	103
5.1.1	Geologisches Setting .....	104
5.1.2	Grundwasserfließgeschehen.....	105
5.1.3	Erhebung Grundwasserparameter .....	108
5.2	Geothermische und technische Standortinformationen .....	110
5.2.1	Thermische Nutzungen .....	112
5.2.2	Betriebsweise der thermischen Nutzungen .....	113
5.2.3	Anlagenkomponenten .....	114
5.3	Numerisches Strömungs- und Wärmetransportmodell .....	114
5.3.1	Hydraulische Randbedingungen .....	115
5.3.2	Aquifereigenschaften.....	118
5.3.3	GW-Modellkalibrierung.....	119
5.4	Modellszenarien .....	122
5.4.1	Istzustand (Modellszenario 0).....	123
5.4.2	Modellszenario 1a .....	123
5.4.3	Modellszenario 1b .....	123
5.4.4	Modellszenario 2 .....	124
5.4.5	Modellszenario 3 .....	125
5.5	Simulationsergebnisse .....	125

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

5.5.1	Thermische Auswirkungen .....	126
5.5.2	Mehrstufige thermische GW-Nutzung.....	130
5.5.3	Wärme-/Kälteleistung .....	131
5.5.4	Zusammenfassung Simulationsergebnisse .....	132
5.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	133
5.6.1	Basisszenario.....	134
5.6.2	Szenario Temperaturerhöhung der Wärmequelle.....	136
5.7	Schlussfolgerungen zum Pilotgebiet in Salzburg.....	138
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse und Erfolgskriterien .....</b>	<b>140</b>
6.1	Zusammenfassung Pilotgebiet Wien .....	140
6.2	Zusammenfassung Pilotgebiet Salzburg .....	143
6.3	Erfolgskriterien .....	144
<b>7</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>148</b>
<b>8</b>	<b>Tabellen- und Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>149</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>156</b>
<b>10</b>	<b>Kontaktdaten.....</b>	<b>160</b>
<b>A1</b>	<b>ANHANG 1: Temperaturdaten am Standort Wien und Kalibrierung des Modells</b>	
<b>A2</b>	<b>ANHANG 2: Hydrochemische Datenerhebung Wien und Salzburg</b>	
<b>A3</b>	<b>ANHANG 3: „Factsheets“ zu relevanten bestehenden Anlagen der Studienreise 07/2016</b>	
<b>A4</b>	<b>ANHANG 4: Hydraulischer Einfluss auf bestehende Wasserrechte</b>	
<b>A5</b>	<b>ANHANG 5: Modellszenarien am Pilotgebiet Salzburg mit Darstellung der thermischen Potentialkarten</b>	

## 1 Kurzfassung

**Konsortium:** Geologische Bundesanstalt (Projektleitung)  
Geoconsult ZT GmbH  
AIT Austrian Institute of Technology GmbH  
TU Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik  
Zentrum für Energiewirtschaft und Umwelt (e-think)



Die in den letzten Jahren deutlich zunehmende Anzahl individueller geothermischer Nutzungen, insbesondere die thermische Nutzung des Grundwassers in urbanen Gebieten, führt zu einer vermehrten thermischen Belastung des Untergrundes und zu einer Blockade zukünftiger Anwendungspotenziale. Nachhaltige Planungsansätze verschieben sich daher von individuellen Anlagen in Richtung Verbundnutzungen.

Das Projekt DEGENT-NET behandelt geothermisch versorgte Wärme- und Kälteverbundnutzungen in urbanen Gebieten auf Anergie-Niveau, wobei vorhandene Synergien zwischen Heizen und Kühlen nutzbar gemacht werden sollen. Die Vernetzung kann dabei direkt über einen geeigneten Grundwasserkörper oder mittels Rohrleitungen erfolgen. Das Temperaturniveau der Verteilung auf Umwelttemperaturniveau (4 - 30 °C) stellt ein wesentliches Merkmal dar, wobei die thermische Energie mit dezentralen Wärmepumpen exergetisch aufgewertet und auf das gewünschte Temperaturniveau (35 – 60 °C) gehoben wird. Ein Verbraucher kann dabei sowohl als Wärmebezieher als auch Wärmelieferant (Prosumer) fungieren indem er entweder Wärme vom Netz bezieht oder aber auch Abwärme, beispielsweise aus Gebäudekühlung, Solarenergie oder Gewerbeprozessen, direkt ins DEGENT-NET einspeist. Diese thermische Energie kann entweder über den Grundwasserkörper selbst oder über große Erdsondenfelder gespeichert werden und somit einen saisonalen Energie-Ausgleich schaffen. Die Herausforderungen eines bidirektionalen Wärmenetzes mit „Niedrigst-Temperatur-Verteilung“ sollen im Projekt an Hand von Erfolgsfaktoren aufgezeigt und besser planbar gemacht werden.

Die dem Projekt DEGENT-NET zu Grunde liegende Forschungsmotivation liegt in der Nutzung vorhandener Synergien von Wärme und Abwärme, der Verstärkung der Sichtbarkeit nachhaltiger Wärme- und Kälteversorgungssysteme, der Nutzung des geothermischen Potenzials, der Erhöhung der Ressourceneffizienz durch eine bidirektionale Netzschaltung, der Nutzung von vor Ort verfügbaren emissionschonenden Wärmequellen - auch auf niedrigem Temperaturniveau - und auf der Erhöhung der Systemflexibilität.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

In DEGENT-NET liegt der Fokus vorrangig auf Planungsgrundlagen der geothermischen Verbundnutzung bis hin zur Wärmepumpe. Wärmequellen, -senken, und -speicher werden dabei mittels hydraulischen und thermischen Simulationen abgebildet. Auf die detaillierte Gebäudetechnik wird hier nicht dezidiert eingegangen.

Gegenwärtig stellen die noch geringe öffentliche Wahrnehmung dieses Wärme- und Kälteversorgungsnetzes - erste Pilotanlagen sind in der Schweiz als Anergienetze bekannt und bereits in Betrieb - sowie wirtschaftliche und rechtliche Aspekte die größten Realisierungshemmnisse für Akteure dar. Um dem entgegenzuwirken, wurden im Rahmen von DEGENT-NET zwei konkrete Untersuchungsstandorte in Wien und Salzburg ausgewählt und jeweils Umsetzungskonzepte geothermisch versorgter Arealvernetzungen erstellt. Die Evaluierung der zuvor erstellten Konzepte erfolgt durch die Beurteilung der Systemeffizienz der geothermischen Nutzungen (Quellen und Wärmespeicher) und den damit verbundenen Umweltauswirkungen sowie nach planerischen Aspekten, insbesondere dem Netzdesign. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit stellt ein weiteres wesentliches Element der Konzeptevaluierung dar. Die Zusammenfassung und interdisziplinäre Bewertung führt zu verallgemeinerbaren Erfolgskriterien, die aus den Detailkonzepten abgeleitet werden.

Das interdisziplinäre Projektkonsortium, bestehend aus Geowissenschaftlern, Technikern und Energiewirtschaftlern, verfolgt mit DEGENT-NET die längerfristige Strategie eine Demonstrationsanlage in Österreich im Rahmen eines Leitprojekts zu errichten.

## 2 Einleitung, Motivation und Ziele

Das **unmittelbare Projektziel** der Sondierung DEAGENT-NET besteht in der grundsätzlichen Betrachtung dezentraler, geothermisch versorgter Anergienetze auf Stadtquartiersebene anhand von zwei konkreten Untersuchungsstandorten in Wien und Salzburg. An beiden Standorten sind Neubaumaßnahmen im Rahmen von Stadterweiterungs- und Stadtverdichtungsgebieten geplant. Anhand der beiden Fallbeispiele sollen zuvor angeführte forschungsleitende Fragestellungen beantwortet werden und hieraus Konzepte für eine konkrete Umsetzung des DEAGENT-NET Ansatzes an zumindest einem der beiden Standorte erarbeitet werden.

Die **langfristige Strategie** des Projekts DEAGENT-NET liegt in der Erhöhung der Sichtbarkeit geothermisch versorgter dezentraler Niedertemperatur- Wärme- und Kältenetze in urbanen Gebieten. Zu diesem Zweck liegt die **mittelfristige Zielsetzung** in der Realisierung eines Demonstrationsnetzes in zumindest einem der beiden Untersuchungsstandorte im Rahmen eines konsekutiven Vorhabens (Leitprojekt). Dies soll durch die Einbindung von Entscheidungsträgern für eine spätere Umsetzung des Konzepts (städtische Energieplaner und Genehmigungsbehörden sowie Energieversorgungsunternehmen) in Form eines Projektbeirats forciert werden.

Die **Planungsziele** des dezentralen Niedertemperatur-Wärmenetzes auf Grundlage des DEAGENT-NET Ansatzes umfassen:

- Möglichst autarke Versorgung der Netzanergie durch lokale Wärmequellen mit einem Anteil geothermischer Quellen inkl. Speicher von mindestens 50 %.
- Minimierung der Umweltauswirkung der geothermischen Quellen auf den Untergrund durch eine möglichst ausgeglichene energetische Jahresbilanz der verschiedenen Anwendungen (Heizen, Kühlen und Speicherung).

Im Rahmen der Sondierung DEAGENT-NET werden folgende **Projektergebnisse** avisiert:

- Verallgemeinerbare Erfolgskriterien für geothermisch versorgte dezentrale bidirektionale Niedertemperatur-Wärmenetze mit abnehmerseitigen, dezentralen Wärmepumpen.
- Darstellung der technischen Machbarkeit unter Berücksichtigung der Versorgungssicherheit der Wärme- und Kälteabnehmer.
- Wirtschaftlich bewertete, detaillierte Planungskonzepte für eine spätere Umsetzung in mindestens einem der beiden Untersuchungsstandorte Wien und Salzburg.
- Veröffentlichung des DEAGENT-NET Ansatzes im Rahmen von Publikationen und Präsentationen in einschlägigen Fachveranstaltungen.

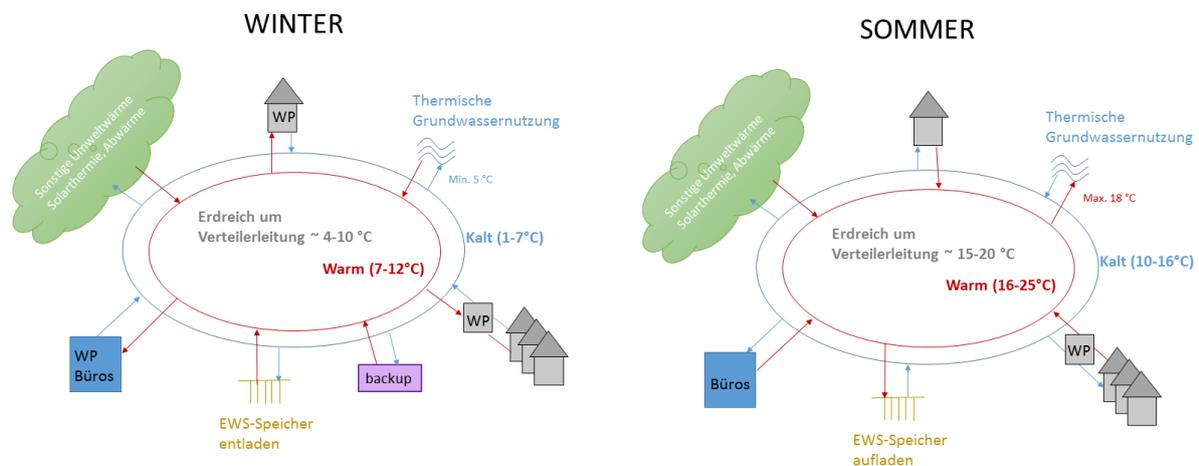
Aus thematischer Sicht ist die erzeugerseitige Schaltung von Großwärmepumpen zur Aufbereitung der lokal verfügbaren Wärmequellen für eine Einspeisung in bestehende

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Wärmenetze nicht Gegenstand der Sondierung. Aufgrund der zeitlichen und budgetären Limitierung des als Sondierung geplanten Projekts DEAGENT-NET werden Aspekte der lokalen Gewinnung elektrischer Energie zur Deckung des benötigten elektrischen Anteils des Wärmenetzes (Antriebsstrom Wärmepumpen, Zirkulationssystem Netz und elektronische Netzsteuerung) nicht dezidiert berücksichtigt.

Abbildung 2.1 zeigt das konzeptionelle Schema des bidirektionalen Niedertemperatur-Wärme- und Kältenetzes (NTWK-Netz bzw. Anergienetz). Im Winter wird das vernetzte Areal vorwiegend zur Gebäudeheizung und Entladung des saisonalen Speichers verwendet. Die vom Netz bereitgestellte thermische Energie auf Niedertemperaturniveau (ca. 7 - 25 °C) wird mit dezentralen Wärmepumpen auf ein brauchbares Niveau (Gebäudeheizung und Warmwasser) mittels dezentralen Großwärmepumpen gehoben. Dadurch sinken die Netztemperaturen und die Erdreichtemperatur um das Verteilnetz. Im Sommer wird der saisonale Speicher durch Nutzung von überschüssiger Umgebungswärme, Abwärme oder Gebäudekühlung wieder beladen. Jeder Netzteilnehmer kann also sowohl Wärme beziehen als auch abgeben.



**Abbildung 2.1: Konzeptionelles Schema eines bidirektionalen NT- Wärme- und Kältenetzes mit dezentralen Wärmepumpen gemäß dem DEAGENT-NET Ansatz**

Die Hauptkomponenten des bidirektionalen Niedertemperatur-Wärme- und Kältenetzes (kurz NTWK-Netz) setzen sich zusammen aus:

- i. Bidirektionales Ringleitungsnetz zur Verteilung der Anergie für die Wärmepumpen zum Heizen bzw. zur Wärmeeinspeisung durch Gebäudekühlung oder Prozessabwärme.
- ii. Thermischer Auskoppelung mittels lokal platzierter Wärmeübertragungssysteme an den Quellen, Speichern und Abnehmern.
- iii. Wärmeübergabestationen bestehend aus abnehmerseitigen Wärmepumpen (Heizen und Kühlen) und Kurzzeitspeichern.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

- iv. Nutzung des lokalen oberflächennahen geothermischen Potenzials in Form einer thermischen Grundwassernutzung (wenn möglich) und Erdsonden, vorwiegend zur Speicherung der zeitlichen Diskrepanz zwischen Heiz- und Kühlbedarf der Gebäude
- v. Optionale Zusatzversorgung über lokal verfügbare Wärmequellen (z.B. Solarthermie und gewerblicher Abwärme).
- vi. Optionale Spitzenlastabdeckung und Backup Systeme, wobei ein Planungsziel die autarke Versorgung des Anergieanteils des Netzes vorsieht.

Dem Projekt DEGENT-NET liegen folgende forschungsleitende Fragestellungen zu Grunde:

- Kann mit Hilfe des DEGENT-NET Ansatzes eine weitgehend autarke und ressourceneffiziente Versorgung des Anergieanteils eines dezentralen, bidirektionalen Wärme- und Kältenetzes auf Stadtquartiersebene erzielt werden?
- Welche Erfolgskriterien sind für die Umsetzung von Anergienetzen gemäß dem gewählten Ansatz entscheidend?
- Ist das Konzept dezentraler, abnehmerseitiger Wärmepumpen als wirtschaftlich erfolgreiches Geschäftsmodell abbildbar?
- Ist der DEGENT-NET Ansatz in der Lage einen signifikanten Beitrag für eine nachhaltige und energieoptimierte Grundwasserbewirtschaftung in städtischen Gebieten zu liefern?

Die Anwendungspraxis von Methoden der Oberflächennahen Geothermie in urbanen Gebieten ist derzeit noch auf individuelle, nicht untereinander abgestimmte Nutzungen konzentriert. Die wasserrechtliche Genehmigungspraxis sieht hierbei das Prinzip „*first come, first served*“ vor, was wiederum in vielen Stadtarealen zu einer nicht optimalen thermischen Nutzung des natürlichen Untergrundes führt. Die Konsequenzen dieses Handelns manifestieren sich in der Blockade zukünftiger Anwendungspotenziale und oftmals auch in einer thermischen Belastung des Untergrundes. Eine jüngst von der Magistratsabteilung MA 20 der Stadt Wien in Auftrag gegebene Studie zu Anwendungspotenzialen der oberflächennahen Geothermie (Götzl, 2014) hat ergeben, dass die Nutzungsdichte oberflächennaher geothermischer Anwendungen in manchen Arealen der Stadt Wien bereits kritische Schwellenwerte erreicht hat. Für eine nachhaltige thermische Bewirtschaftung des städtischen Untergrundes ist daher ein Paradigmenwechsel von der individuellen Nutzung hin zu einer lokal bis regional abgestimmten Verbundnutzung unumgänglich, insbesondere für die Nutzung vorhandener Grundwasserkörper.

Im Zuge des Projekts DEGENT-NET soll auch die Mehrfachnutzung des Grundwassers entlang seiner Fließpfade untersucht werden, wodurch aus energiewirtschaftlicher Sicht eine Vervielfachung des geothermischen Potentials erreicht werden kann. Außerdem können anthropogen entstandene Wärmeinseln in urbanen Grundwasserleitern durch aktive Grundwasserbewirtschaftung genutzt und gleichzeitig die thermische Belastung des Grundwassers verringert werden.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Somit lässt sich festhalten, dass in städtischen Gebieten die Notwendigkeit des Paradigmenwechsels von zentral organisierten, unidirektionalen Wärmeversorgungskonzepten hin zu dezentralen, bidirektionalen Lokalnetzen auf Quartiersebene besteht. Durch den Wechsel von Exergie-betonten Wärmenetzen hin zu Anergie-betonten Wärme- und Kältenetzen erfolgt eine Diversifizierung der in Betracht kommenden Wärme- und Kältequellen, sodass verstärkt auf lokal verfügbare Quellen innerhalb des Versorgungsnetzes zurückgegriffen werden soll. Auf der Quellenseite, im konkreten Fall der Anwendungen der oberflächennahen Geothermie, besteht zudem die Notwendigkeit eines Konzeptwechsels: Weg von den individuellen Anwendungen und hin zu lokal bis regional abgestimmten Verbundnutzungen. Die hieraus resultierende Synergie zwischen Netz- und Quellenanforderung führt zum Konzept der dezentralen, bidirektionalen Niedertemperatur Wärme- und Kältenetze mit Schwerpunktlegung auf vor Ort verfügbaren geothermischen Wärme- bzw. Kältequellen und saisonalen Speichern.

Das Forschungsprojekt wurde in 7 Arbeitspakete unterteilt, die in Tabelle 2.1 angeführt sind.

**Tabelle 2.1 Aufteilung des Projektes in Arbeitspakete**

AP Nr.	Arbeitspaket-Bezeichnung	Dauer (Monate)	Geplantes Ergebnis
1	Projektmanagement	12	Konsortialvertrag mit Arbeitsplan und Pflichtenheft Interne Kommunikation Zusammenfassender Endbericht
2	Daten- und Grundlagenerhebung	7	Erhebung Projektgrundlagen und Komponentenkosten Berichtsmodul als Beitrag zum Endbericht
3	Geowissenschaftliche Standortbeurteilung	12	Plandarstellung der optimierten geothermischen Nutzung Berichtsmodul als Beitrag zum Endbericht
4	Technische Variantenbeurteilung und Systemdesign	12	Abbildung Wärmenetz dynamische Simulationen, technische Bewertung Berichtsmodul als Beitrag zum Endbericht
5	Wirtschaftlichkeitsbewertung	12	Bewertung der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit der definierten Modellsysteme sowie Darstellung von Variantenrechnungen Berichtsmodul als Beitrag zum Endbericht
6	Interdisziplinäre Ergebnisbeurteilung und Konzepterstellung	2	Diskussion und Zusammenfassung DEAGENT-NET Erfolgskriterien Durchführung CO <sub>2</sub> -Emissionsbilanz Berichtsmodul als Beitrag zum Endbericht
7	Dissemination und Kommunikation	12	Mind. eine Präsentation auf Fachveranstaltungen Mind. ein wissenschaftlicher Artikel Protokoll der Netzwerkaktivitäten Expertenworkshops zu den Themen "Behördenverfahren" und „Betriebserfahrung“

### 3 Grundlagen, Methodik und Auswahl der Untersuchungsgebiete

#### 3.1 Definitionen und Stand der Technik

Der Stand der Technik für bidirektionale Niedertemperatur- Wärme- und Kältenetze (NTWK-Netze) wurde aus Literaturrecherchen, einer Studienreise und der Veranstaltung eines Expertenworkshops abgeleitet.

##### 3.1.1 Definitionen

###### *DEGENT-NET Ansatz, NTWK-Netz, Anergienetz, Kalte Fernwärme*

Der DEGENT-NET Ansatz beschreibt ein bidirektionales Wärme- und Kälteverteilnetz (NTWK-Netz) auf Niedrigst-Temperaturbasis zur primärseitigen Versorgung von dezentralen Wärmepumpen über ein Zwei-Leitungsnetz. Die dezentralen Wärmepumpen versorgen dicht besiedeltes Neubaugebiet, wodurch effiziente Großwärmepumpen zum Einsatz kommen können. Die Gebäude sind mit Niedertemperatur-Flächenheizungen und optional mit Kühldecken ausgestattet. Der saisonale Ausgleich zwischen Sommer und Winter wird über oberflächennahe geothermische Anlagen (Erdsondenfeld, thermische Grundwassernutzung) ermöglicht. Die geothermischen Anlagen dienen als saisonaler Speicher und werden auf eine möglichst ausgeglichene Jahresenergiebilanz ausgelegt, d.h. der Wärmeenergiebedarf für Raumheizung und Warmwasser ist abzüglich der Antriebsenergie der Wärmepumpen übers Jahr gesehen gleich groß wie der Kühlbedarf für das gesamte Versorgungsgebiet. Es wird auf eine nachhaltige und gemeinschaftliche Grundwasserbewirtschaftung geachtet, dessen Potenzial durch Mehrfachnutzung erhöht werden kann.

Der Begriff „Anergienetz“ wurde in der Schweiz geprägt, und wird auch in diesem Projekt synonym für das Wiener Projektgebiet verwendet, auch wenn der Begriff thermodynamisch gesehen nicht ganz korrekt ist. In einem Anergienetz wird die Umweltenergie für den Primärkreislauf von dezentralen Wärmepumpen im Verbund genutzt und mit Hilfe von Strom auf ein brauchbares Temperaturniveau gehoben.

Der Begriff „kalte Fernwärme“ wird teilweise in Deutschland ebenfalls als Synonym verwendet.

###### *Anergie / Exergie*

In der Thermodynamik kann die Erhaltungsgröße Energie in den Anteil Anergie und Exergie aufgeteilt werden, wobei als Anergie im Allgemeinen der nicht in Arbeit umwandelbare Teil in einem abgeschlossenen System bezeichnet wird. Die Grenze Anergie und Exergie ist von Umgebungstemperatur und -druck abhängig. Befindet sich Energie auf Umgebungstemperatur- und -druckniveau, wird sie als Anergie

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

bezeichnet. Bei der Wärmepumpe wird der Begriff Anergie vereinfacht jener, der Umwelt entzogenen Energieanteil bezeichnet, dessen Quelltemperatur in der Regel unterhalb der benötigten Temperatur (z.B. für Raumheizung) liegt. Als Exergie-Anteil kann vereinfacht der Strom für den Temperaturhub der Wärmepumpe (Kompressionsarbeit) gesehen werden.

### *Low-Ex*

Systeme, die Energie mit geringem Exergie-Aufwand bereitstellen, werden als LowEx-Systeme bezeichnet. Darunter fallen beispielsweise Wärmerückgewinnung, die Nutzung von Abwärme, die Nutzung von Umgebungstemperatur, Niedertemperatur-Heizsysteme und Hochtemperatur-Kühlsysteme (Kranzl, Müller, Matzenberger, & Bayr, 2012).

### *Niedertemperatur Fernwärme, LTDH – Low Temperature District Heating*

Temperaturniveaus von Fernwärmeversorgungen werden nach (Dalla Rosa, et al., 2014) folgendermaßen charakterisiert:

- 1. Generation (1880-1930): Dampf-basierend
- 2. Generation (1930-1980): Hoch-Temperatur Wasser Systeme ( $T > 100\text{ °C}$ )
- 3. Generation (1980-2020): Mittel-Temperatur Wasser Systeme ( $T = 80 - 100\text{ °C}$ )
- 4. Generation (2020-2050): Niedertemperatur-Wärmenetz (Low Temperature District Heating) ( $T < 60\text{ °C}$ )

Die Steigerung der Generationen geht mit dem technischen Fortschritt einher, wobei die Verteiltemperatur sukzessive sinkt. Die 4. Generation setzt demnach Niedrigenergie-Gebäudestandards mit niedrigen Verteilungsverlusten und smarter Technologie voraus. Für den DEAGENT-NET Ansatz könnte demnach von einer 5. Generation gesprochen werden, da die Verteiltemperaturen des Wärmenetzes unterhalb  $30\text{ °C}$  liegen und somit als Quelle für die Wärmepumpe dienen. Die Exergie für den Antrieb der Wärmepumpe muss jedoch über ein weiteres Netz transportiert werden (Strom, Gas).

### *Unidirektionale- und Bidirektionale Wärmenetze, Prosumer*

In unidirektionalen Netzen fließt die Energie immer nur in eine Richtung, vom zentralen Erzeuger zum Verbraucher. Das klassische Fernwärmenetz ist somit ein unidirektionales Netz. Bei bidirektionalen Netzen kann die Energie in beide Richtungen fließen. Dies macht Sinn, da die NetzteilnehmerInnen als „prosumer“ agieren können, also sowohl als Erzeuger („producer“) als auch Verbraucher („consumer“).

### *Mikronetze*

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Kleinräumiger Zusammenschluss von Netzteilnehmern zu einem Energieversorgungsnetz.

### *Grundwasserkörper, Grundwasserleiter, Aquifer*

Ein Grundwasserkörper ist ein abgegrenztes Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter (Aquifer). Grundwasserleiter sind unter der Erdoberfläche liegende Boden- oder Gesteinskörper oder andere geologische Formationen mit hinreichender Porosität und Permeabilität, sodass entweder ein nennenswerter Grundwasserstrom oder die Entnahme erheblicher Grundwassermengen möglich ist (Definition aus § 30c (WRG, 1959)).

### **3.1.2 Literatur und Expertenworkshop**

Im Rahmen des Projekts GEOSOL (Biermayr, et al., 2013) wurden Konzepte für eine solare Vollversorgung von Mikro-Wärmenetzen mit Hilfe von Hochtemperatur-Erdspeichern (50 - 80 °C) anhand von Modellsystemen untersucht, die in verschiedenen real existierenden Standorten entwickelt worden sind. Die erzielten Projektergebnisse ermöglichten die Ableitung von Erfolgsfaktoren für eine erfolgreiche technische und wirtschaftliche Umsetzung solar versorgter Wärmenetze. Das GEOSOL-System eignet sich demnach für räumlich dichte Aggregate von wärmetechnisch sanierten Bestandsgebäuden, welche mit Niedertemperatur-Wärmeverteilsystemen ausgestattet sind. Als saisonaler Wärmespeicher kommen vor allem Erdsondenfelder, bestehend aus mindestens 4 Erdwärmesonden mit geringen Sondenabständen (maximal 5 Meter) in Frage.

In einem Papier zur Schweizer Energiestrategie 2050 (Menti & Sulzer, 2014) wird ein notwendiger Perspektivenwechsel zu einer ganzheitlichen Betrachtung als Grundlage für systemische Effizienz folgendermaßen formuliert: *„Weg von der Einzelkomponente hin zum Gesamtsystem“* .... *„Die heute vorwiegend zentrale, unidirektionale Energieversorgung muss zu einem vermehrt dezentral organisierten, bidirektionalen Energiesystem umgebaut werden. Damit kommt Konzepten für die dezentrale Energieversorgung von Quartieren und Arealen eine entscheidende Bedeutung zu“* ... *„Mit einer gesamtheitlichen Betrachtung statt der Fokussierung auf einzelne Prozesse oder Gebäude können Synergien zwischen den Teilsystemen erkannt und genutzt werden. In einem Quartier kann das einzelne Gebäude zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedliche Rollen spielen: Einmal ist es Energieproduzent und gibt überschüssige Energie ab, einmal ist es Energiespeicher, und einmal konsumiert es Energie, die beispielsweise vom Nachbargebäude stammt. Damit das funktioniert, müssen die Gebäude eine sowohl elektrische als auch thermische Energievernetzung eingehen. Solche Quartier- und Arealnetze werden oft um Erdsonden ergänzt, die Überschusswärme vom Tag in die Nacht und insbesondere vom Sommer in den Winter «retten». Versorgungssicherheit, Netzstabilität und Umweltverträglichkeit können damit auf lokaler Ebene weitestgehend gelöst werden.“*

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

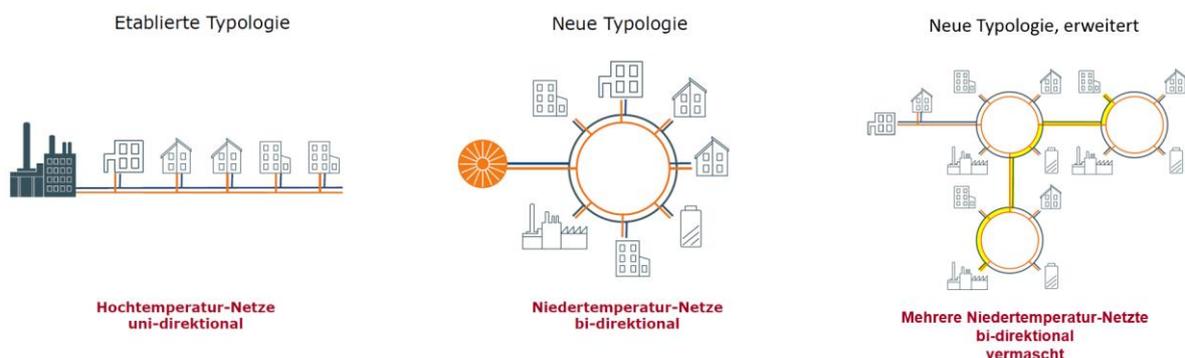
Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Das Projekt „Multilevel District Heating“ der TU Dresden (Felsmann, et al., 2011) untersuchte unter anderem multifunktionale Fernwärmesysteme sowie den Einfluss sinkender Vorlauftemperaturen auf die Gebäudetechnik. Es wurden hierbei der Einsatz von Wärmepumpen in der Trinkwassererwärmung in konventionellen Fernwärmesystemen (Heizkraftwerke mit BHKW sowie Gegendruck-Dampfturbinen) detailliert betrachtet und Simulationsrechnungen für das Gesamtsystem Wärmeerzeuger-Wärmeverteilung-Wärmeverbraucher durchgeführt. Auch der Einsatz von Wärmepumpen zur dezentralen Nachheizung bei zu niedrigen Vorlauftemperaturen wurde in den Simulationen berücksichtigt. Es wurde unter anderem der Einfluss des Fernwärmenetz-Temperaturniveaus auf die Performance des Gesamtsystems untersucht.

Die FFG Studie MOSOL-NET (Fink, Riva, Heimrath, Halmdienst, & Kaufmann, 2007) schreibt den bisher kaum umgesetzten Mikronetzen ein hohes Potenzial zu. Es werden spezielle, modular erweiterbare Hydraulikkonzepte definiert, die für den modularen Aufbau für DEAGENT-NET richtungsweisend sind.

Im Projekt BiNe (Reiterer, Wöss, Halmdienst, & Lichtenegger, 2015) wurde die Möglichkeit, Wärme an beliebigen Punkten dezentral in ein Nahwärmenetz einzuspeisen, technisch und wirtschaftlich untersucht. Hier konnten die Grenzen der klassischen Fernwärmenetze deutlich aufgezeigt werden, da die Rückspeisung von Wärme aufgrund der hohen Vorlauftemperatur des Netzes oft ineffizient oder technisch nicht möglich ist.

In der Schweiz werden Anergienetze zurzeit intensiv an der ETH Zürich und der Hochschule Luzern erforscht und von dem Consulting und Engineering Unternehmen Amstein+Walthert oder anex Ingenieure AG umgesetzt und betreut. Als beispielhaften Input für DEAGENT-NET können das Grundlagen-/Thesenpapier über Kalte Fernwärme (Anergienetze) (Sulzer & Hangartner, 2014), das Interview der Anergienetzbetreiber in (Egger, 2015), der Vortrag von Thomas Gautschi bei der Veranstaltung „Städtische Wärmewende“ (Gautschi, 2016) oder das Papier zur Arealvernetzung am Beispiel V-ZUG AG (Sulzer, Lüthi, & Menti, 2012) genannt werden.



**Abbildung 3.1: Netztypologien nach (Sulzer M., 2016).** Etablierte Typologie als klassisches Fernwärmenetz (Links), Neue Typologie als Niedertemperatur Wärme- und Kältenetz (Mitte) und Erweiterbarkeit des NTWK-Netzes mittels Vermaschung (Rechts)

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Im Zuge des Projektes DEAGENT-NET wurde am 5.12.2016 ein Expertenworkshop an der Geologischen Bundesanstalt mit nationalen und internationalen Fachexperten und Interessenten zum Thema „Rechtliche Rahmenbedingungen und Betriebserfahrungen von geothermisch vernetzten urbanen Gebieten“ veranstaltet. Die Veranstaltung lieferte einen wertvollen Beitrag für die Vernetzung und Sichtbarkeit von NTWK-Netzen in Österreich und brachte für DEAGENT-NET interessanten Input. Abbildung 3.1 zeigt eine Abbildung aus einem Impulsvortrag zur Darstellung der etablierten Wärmenetz-Typologie im Vergleich mit bi-direktionalen NTWK Netze als neue Typologie und die Möglichkeit der Erweiterbarkeit. Demnach ist das NTWK-Netz durch „Vermaschung“ beliebig erweiterbar, wenn benachbarte Netze Wärmeüberschüsse oder -defizite gegenseitig ausgleichen können.

Aus dem Diskussionsforum des DEAGENT-NET Expertenworkshops konnten folgende Aspekte als Anstoß mitgenommen werden:

- Konzept des Erdsondenfeldes als hydraulische Weiche sollte überdacht werden. Mit separaten Pumpen für die Erdsonden können die Druckverluste der dezentralen Pumpen besser kontrolliert werden.
- Die Auslegung der Wärmepumpen und Erdwärmesonden auf 4 K Temperaturdifferenz zwischen warmen und kalten Netzleiter stellt ein Optimum dar.
- Grundsätzlich sollte das Bestreben bestehen eine möglichst hohe Jahresarbeitszahl zu erreichen um einen möglichst hohen Anteil an Umweltwärme nutzen, wodurch der Exergiebedarf gesenkt werden kann (LowEx).
- Das Problem der konstanten Abwärmeeinspeisung übers Jahr (z.B. durch ein Rechenzentrum) bei gleichzeitiger Einspeisung von Gebäudeabwärme durch Raumkühlung wurde im Workshop anhand eines Beispiels folgendermaßen beantwortet: Demnach müsse man sich entscheiden. Bei den bestehenden Verträgen der Kälteabnehmer bzw. Abwärmelieferanten eines Schweizer Anergienetzes wird ohnehin keine Abnahmegarantie der Wärme versprochen. Dies wäre aus der Erfahrung der Experten schwer realisierbar. Es ist besser, die Wärme nur bei Bedarf ins Netz einzuspeisen und die restliche Abwärme über die bestehenden Kühlanlagen zu leiten.

### 3.1.3 Bekannte internationale Projekte der Studienreise

Als Ergänzung und Vertiefung zu den Literaturstudien zum gegenwärtigen Stand der Technik wurde eine Studienreise in die Schweiz organisiert, da dort bereits bestehende geothermische Verbundnutzungen im Sinne von DEAGENT-NET als Pilotanlagen seit einigen Jahren in Betrieb sind. Durch die Studienreise konnten einerseits die bestehenden Anlagen besichtigt und andererseits mit den Planern und Betreibern über deren Erfahrungen, aufgetretene Probleme sowie ökonomische Effizienz diskutiert werden. Die wichtigsten Informationen über die

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

besichtigten Anlagen (ETH Hönggerberg, Richti Areal, Familienheim Genossenschaft (FGZ) und Suurstoffi) sind als Factsheets im Anhang A3 zu finden.

Die vier besuchten Fallbeispiele in Zürich und Rotkreuz ließen zwei grundlegende Motivationsursachen zur Errichtung von Arealvernetzungen ableiten:

- Gegebene Wirtschaftlichkeit der Arealvernetzung: Diese kann nur erreicht werden, wenn eine kostenfreie Abwärmequelle vorhanden ist (z.B. Richtiareal Wallisellen und Familienheim Genossenschaft Zürich) oder eine lokale Kälteversorgung benötigt wird (ETH Hönggerberg). In allen, zuvor angeführten Fällen sind lediglich das Verteilernetz und die benötigte Netztopologie errichtet. Gemäß Auskunft des Betreibers wurde die zusätzliche Nutzung vor Ort generierbarer Wärmequellen (z.B. Solarthermie) aus wirtschaftlichen Überlegungen vernachlässigt.
- Möglichst CO<sub>2</sub> – freie und autarke Energieversorgung: Wie am Beispiel Suurstoffi zu erkennen gewesen ist, können auch nicht nur wirtschaftliche Überlegungen zur Errichtung einer Arealvernetzung führen. Obgleich der Betreiber sich zu dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit nicht dezidiert geäußert hat, geht das Projektteam davon aus, dass zwar die Energiegewinnungskosten nicht mit konventionellen Nahwärmeversorgungskonzepten konkurrieren können, jedoch eine weitgehend emissionschonende und energieautarke Versorgung ermöglicht wird.

Zum Abschluss der Studienreise konnte an der Hochschule Luzern der Forschungsprüfstand „NodesLab“ besichtigt werden. Die Motivation des Prüfstands liegt in der Erschließung von „new opportunities for decentralized energy systems“. Mit den Experimenten soll anhand eines Niedertemperaturnetzwerks in Laborgröße die Netztopologie der zukünftig vermaschten und bidirektionalen - statt linear und unidirektional - aufgebauten thermischen Netzen untersucht und die Hydraulik verbessert werden. An dem Versuchsstand werden außerdem Tests für reale Projekte – zum Beispiel das Areal Suurstoffi – durchgeführt.

Ein Vergleich zwischen dem Wärmetransport in einem Ringnetz und in einer Stichelung, sowie zwischen dezentralen und zentralen Förderpumpen, lieferte erste Erkenntnisse zur Typologie und Pumpenwahl. Ein Ringnetz könnte die Förderenergie um 54 % bei einer zentralen Pumpe senken, bei Verwendung von dezentralen Pumpen ließe sich eine Senkung um 57% erzielen. Dieses Einsparpotenzial kann jedoch durch eine Pumpenauslegung mit schlechtem Wirkungsgrad zunichte gemacht werden.

Bezüglich der Hydraulik konnte festgestellt werden, dass sich das Ausgleichsgefäß auf der Saugseite der Pumpe befinden muss, da es ansonsten zu Kavitationserscheinungen kommen kann.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

### 3.2 Rechtliche Rahmenbedingungen in Österreich

Den rechtlichen Rahmen für die Nutzung von Geothermie in Österreich bildet das Wasserrechtsgesetz (WRG, 1959). Danach können thermische Anlagen in einem Bewilligungs- (§ 103) oder in einem Anzeigeverfahren nach § 114 genehmigt werden.

Die Basis für Grundwasserwärmepumpen bilden die § 10 (Entnahme) und § 32 (Versickerung) nach (WRG, 1959). Bei geothermischen Anlagen, die weder Grundwasser entnehmen noch versickern, kommt § 31c zum Tragen. Demnach müssen derartige Anlagen nur in Schutz- oder Schongebieten und in geschlossenen Siedlungsgebieten ohne zentrale Trinkwasserversorgung genehmigt werden. Ebenso Anlagen die in Form von Vertikalkollektoren (bis zu einer Tiefe von 300 m) in Gebieten mit gespannten oder artesisch gespannten Grundwasservorkommen liegen und Anlagen zur Wärmenutzung der Gewässer. Für die Bewilligung gilt das Anzeigeverfahren nach § 114.

Bei einem Anzeigeverfahren handelt es sich um ein vereinfachtes Bewilligungsverfahren. Bei Beeinträchtigung von fremden Rechten durch die geplante Anlage werden Anzeigeverfahren in Bewilligungsverfahren umgewandelt. Für Anlagen, die nicht bewilligt werden müssen, sind keine anderwärtigen Maßnahmen durchzuführen.

Die zuständige Behörde für die Einreichung von geothermischen Vorhaben ist in Wien die MA 58 – Wasserrechtsbehörde. In Salzburg sind dies die Wasserrechtsbehörden der jeweiligen Bezirkshauptmannschaften. Bei Anlagen, die gewerberechtlich eingereicht werden müssen, übernimmt in Wien die MA 63 - Gewerbebehörde auch die Funktion der MA 58 - Wasserrechtsbehörde.

Als **Stand der Technik** wird in beiden Bundesländern auf das ÖWAV-Regelblatt 207 „Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen“ (ÖWAV-RB207, 2009) und die darin angeführten ÖNORMEN verwiesen.

In Wien gibt es keine ausgewiesenen Verbotszonen für geothermische Anlagen, nur Gebiete mit möglichen Gasvorkommen werden als Ablehnungsgrund angegeben. Artesisch gespannte Grundwasser (auch jene mit Drücken > 3 bar) und gespannte Grundwasservorkommen bilden ebenfalls keinen Ablehnungsgrund in Wien. Bei der Durchörterung von gespannten oder artesisch gespannten Grundwässern ist in jedem Fall die Behörde (MA 29) zu informieren. Ebenso kann eine wasserrechtliche Bohraufsicht angeordnet werden (MA 29). Geringe Grundwasserüberdeckungen liegen in Wien nicht vor und deshalb gibt es auch keine Regeln oder Empfehlungen im Umgang.

Salzburg weist je nach Anlagentyp Ablehnungsgründe und sensible Gebiete aus. Diese sind im Bericht weiter unten angeführt.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ein Bauherr kann selbst über die **Auswahl des Energielieferanten** entscheiden, d.h. es gibt keine Anschlusspflicht an ein bestimmtes Netz. Abhängig ist es lediglich von der generellen Verfügbarkeit und dem Energiepotenzial des gewünschten Netzes zur Versorgung der Objekte.

### 3.2.1 Thermische Grundwassernutzung

Im Folgenden werden die rechtlichen Rahmenbedingungen einer thermischen Grundwassernutzung in Österreich, speziell in Wien und Salzburg, kurz erläutert.

#### 3.2.1.1 Wasserrechtliche Einreichung

In Wien und Salzburg sind Wasser-Wasser-Wärmepumpen über ein Bewilligungsverfahren bei der Wasserrechtsbehörde einzureichen.

In Wien gibt es für Wasser-Wasser-Wärmepumpen keine definierten Ausschlussgründe. In Ausnahmefällen erlaubt die Behörde aber nur eine Nutzungsart (zum Beispiel kann bei extrem warmen Grundwässern die Nutzung zum Zweck der Kühlung verboten werden). In Bereichen des 10. und 14. Bezirk in Wien wurde bei den bisherigen Bohrungen gehäuft Gas angetroffen. Das Risiko kann jedoch auch in den anderen Bezirken nicht ausgeschlossen werden (Abschätzung des Bohrrisikos). Die MA 29 entscheidet im jeweiligen Fall ob die Anlage errichtet werden darf oder nicht.

In Salzburg dürfen thermische Grundwassernutzungen nicht errichtet werden, wenn sich die Anlage in den Schutzzonen I oder II von Schutzgebieten befindet oder wenn gespannte oder artesisch gespannte Grundwasservorkommen genutzt werden sollen.

Für die Genehmigung von Wasser-Wasser-Wärmepumpen wird kein Pumpversuch von der Wasserrechtsbehörde vorgeschrieben. Pumpversuche liegen im Interesse des Betreibers und sind in Gebieten mit wenigen Informationen über den Grundwasserkörper zu empfehlen. Für die Durchführung eines Pumpversuchs ist dann eine wasserrechtliche Bewilligung nötig (Rechtliche Grundlage: § 56 (WRG, 1959)), wenn es zu einer Beeinträchtigung öffentlicher Interessen oder zu einer Verletzung von bestehenden Nutzungen kommen kann. In Wien kann eine Anfrage für einen Pumpversuch telefonisch bei der Behörde eingebracht werden.

Die Untersuchung des Grundwassers, ob es qualitativ geeignet ist wird von der Wasserrechtsbehörde nicht vorgeschrieben und ist für die Bewilligung nicht relevant. In beiden Bundesländern wird dennoch darauf hingewiesen, dass die Kenntnis der Grundwasserbeschaffenheit wesentlich zur Lebensdauer der Anlage beitragen kann. So ist, bei Überschreitung der Grenzwerte von Eisen und Mangan, der Einbau eines Eisen- oder Manganabscheiders entscheidend für die Lebensdauer der Wärmepumpe und der Leitungen (Verhinderung von Ausfällungen und Zuwachsen der Leitungen).

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 3.2.1.2 Fremde Rechte und mögliche thermische Beeinflussungen

Wird eine neue Anlage bewilligt, ist darauf zu achten, dass das Maß und die Art der zu bewilligenden Wasserbenutzung das öffentliche Interesse und bestehende Rechte nicht verletzen (§ 12 (WRG, 1959)). Vor der Genehmigung von neuen Anlagen müssen bestehende Rechte im Nahbereich bei der Beurteilung berücksichtigt und im Antrag angeführt werden. Dabei sind auch Anlagen die nicht im Wasserbuch angeführt sind zu berücksichtigen. In Wien zählen Erdwärmesonden nicht als fremde Rechte.

Von der Stadt Wien wird als Umkreis zur Berücksichtigung für fremde Rechte kein metrischer Wert angegeben. Als Grenzen für eine Beeinträchtigung gelten Temperaturänderungen von 1 °C und 10 cm Absenkung beim Grundwasserspiegel als Richtlinie. Alle fremden Rechte die innerhalb des Bereichs liegen, in denen diese Grenzen überschritten werden, sind dann bei der Einreichung zu berücksichtigen. Die Grenzen sind interne Richtwerte. Deren Größenordnung wird mit den natürlichen Schwankungen des Grundwassers argumentiert.

Die Beurteilung von Beeinflussungen erfolgt überdies individuell. Dies bedeutet, dass die oben angeführten Überschreitungen der Richtwerte toleriert werden können, wenn die benachbarte Nutzung dadurch nicht negativ beeinträchtigt wird (Beispiele: Temperaturänderung beeinträchtigt benachbarten Nutzwasserbrunnen nicht; Absenkung des Wasserspiegels beeinträchtigt Entnahmemenge des benachbarten Nutzers nicht).

In Salzburg müssen alle bewilligten und bewilligungsfreien Nutzungen in einem Umkreis von 250 m für die Projektierung berücksichtigt werden.

Für die Abschätzung des Einflusses von thermischen Nutzungen wird in beiden Fällen das ÖWAV Regelblatt (ÖWAV-RB207, 2009) als Stand der Technik angeführt. Es reicht die rechnerische Abschätzung der Wärme- bzw. Kältefahne. Hydraulisch-thermische Simulationen werden nicht vorgeschrieben, können aber von der Behörde gefordert werden.

### 3.2.1.3 Temperaturgrenzwerte des eingeleiteten Wassers

Das ÖWAV Regelblatt (ÖWAV-RB207, 2009) gibt als Richtwert für die Temperaturspreizung 6 K an. Als unterste Temperaturgrenze des reinjizierten Wassers werden +5 °C und als Höchsttemperatur +20 °C empfohlen. Aus technischen Gründen sollte die Temperatur des eingeleiteten Wassers +5 °C nicht unterschreiten, um Eisbildung an der Wärmepumpe ausschließen zu können.

Abweichend davon wird in Salzburg die empfohlene Temperaturspreizung mit 5 K angegeben. Die Stadt Wien schreibt als oberste Temperaturgrenze des reinjizierten Wassers +18 °C vor. Dieser Grenzwert dient dazu den Grundwasserkörper nicht übermäßig zu erwärmen und einer unerwünschten Bakterienbildung vorzubeugen. Darum darf in Wien in Sonderfällen die

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Temperaturspreizung die Grenze von 6 K überschreiten um kälter einzuleiten. Dies ist der Fall bei bereits anthropogen besonders erwärmten Grundwasserkörpern.

### 3.2.1.4 Grundwasserökologie

Die Rechtsgrundlage für die Gewässerökologie im Bereich Grundwasser ist in § 30c (WRG, 1959) als „Umweltziele für Grundwasser“ und in § 33f als „Programm zur Verbesserung der Qualität von Grundwasser“ definiert.

*„Grundwasser ist derart zu schützen, zu verbessern und zu sanieren, dass eine Verschlechterung des jeweiligen Zustandes verhindert und bis spätestens 22. Dezember 2015 der gute Zustand erreicht wird. Der gute Zustand im Grundwasser ist dann erreicht, wenn sich der Grundwasserkörper zumindest in einem guten mengenmäßigen und einem guten chemischen Zustand befindet.“ (Zitat § 30c, Abs. 1, (WRG, 1959))*

### 3.2.2 Tiefsonde / Erdsondenfeld

#### 3.2.2.1 Wasserrechtliche Einreichung

Der § 31c (WRG, 1959) regelt die gesetzliche Grundlage für die Errichtung von Tiefsonden.

Für die Auslegung von Tiefsonden und die Einhaltung des Stands der Technik wird in beiden Bundesländern (Salzburg und Wien) auf das ÖWAV-Regelblatt 207 (ÖWAV-RB207, 2009) verwiesen.

Für die Errichtung von Erdwärmesonden ist die Auswahl des Bohrverfahrens und der Verpressvorgang, sowie Kenntnis über die geologischen und hydrogeologischen Bedingungen im Untergrund von großer Bedeutung. Vor allem auf das Vorhandensein von verschiedenen Grundwasserstockwerken und ihren jeweiligen Druckhöhen muss Augenmerk gelegt werden.

In Salzburg ist grundsätzlich das Anzeigeverfahren für die Einreichung von Tiefsonden anzuwenden. Je nach Lage der Anlage können auch Bewilligungsverfahren angeordnet werden. Diesbezüglich werden sensible Gebiete ausgewiesen. Dazu zählen:

- Gebiete mit mehreren Grundwasserstockwerken,
- Wasserschongebiete
- Gebiete im Umkreis von 100 m zu einem wasserrechtlich bewilligten Brunnen
- Gebiete im Umkreis von 100 m zu einem Hausbrunnen (Trinkwasser)

Als Ablehnungsgründe werden in Salzburg folgende angeführt:

- Lage in Wasserschutzgebieten
- Besonderer Schutzbedarf der Grundwasserüberdeckung
- Anbohren und Durchhörtern von gespannten Grundwasserhorizonten mit wesentlichen Druckunterschieden
- Lage der Anlage innerhalb eines rutschgefährdeten Gebietes

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Fremde Rechte müssen in Salzburg in einem Umkreis von 100 m bei der Einreichung von Tiefsonden berücksichtigt werden. Es wird auch empfohlen, eine Beweissicherung an umliegenden Brunnen und Quellen durchzuführen. Diese sollte die Messung von Wasserspiegeln bzw. Schüttungsmengen sowie eine chemisch-bakteriologische Wasseruntersuchung vor Beginn und nach Beendigung der Bohr- und Verpressarbeiten beinhalten.

In Wien erfolgt die Regelung der Einreichung von Tiefsonden über den Erdwärmepotenzialkataster. Dieser weist eine Bewilligungsgrenze für Erdwärmesonden aus. Westlich dieser Grenze sind Erdwärmesonden bewilligungsfrei. Östlich der Grenze muss eine Bewilligung im Anzeigeverfahren durchgeführt werden. Bewilligungen für Tiefsonden werden in Wien automatisch an die Magistratsabteilung MA 29 – Grundbau weitergeleitet. Ablehnungsgründe stellen Gasvorkommen am Anlagenstandort und in dessen Nähe dar.

### **3.2.2.2 Erdsondenfelder Wien und Salzburg**

Für Erdsondenfelder gibt es in Wien keine Definition. Je nach Ausführung kann die Anlage schon ab 5 - 10 Sonden als Erdsondenfeld klassifiziert werden. Bei der Beurteilung spielt vor allem die Anordnung der Sonden und deren Abstand eine Rolle. Erdsondenfelder, die in Bereichen ohne potente Grundwasserleiter zu liegen kommen, können in Wien im Anzeigeverfahren bewilligt werden. Bei einem geplanten Erdsondenfeld in Gebieten mit potenten Grundwasserleitern muss wegen der thermischen Beeinflussung des Aquifers ein Bewilligungsverfahren (nach §§ 10 und 32 (WRG, 1959)) eingeleitet werden. Liegt das geplante Erdsondenfeld westlich der Bewilligungsgrenze gilt keine Bewilligungspflicht.

Jedenfalls muss bei der wasserrechtlichen Einreichung eines Erdsondenfeldes eine hydraulisch-thermische Simulation durchgeführt werden.

In Salzburg wird angeführt, dass ab einer Lauflänge der Sonden von 1000 lfm oder einer Heizleistung > 30 kW eine Detailprüfung mit Wärmebilanz durchzuführen ist.

### **3.2.3 Grundstücksübergreifende Nutzung**

Die Genehmigung für einen Entnahmebrunnen und einen Schluckbrunnen ist immer an die Liegenschaft gebunden. Das heißt, man ist entweder der Grundeigentümer oder man hat die Erlaubnis des Grundeigentümers für die Errichtung eines Brunnens oder Nutzung des Grundwassers (wichtig ist ein privatrechtlicher Vertrag für alle Parteien). Wenn mehrere Parteien den Entnahmebrunnen nutzen wollen, braucht jede Partei eine wasserrechtliche Bewilligung und eine eigene Förderpumpe im Entnahmebrunnen (lt. Auskunft der MA58 Wasserrecht).

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Im Vortrag des Juristen Florian Berl beim DEGENT-NET Expertenworkshop wurden drei rechtliche Möglichkeiten zur grundstücksübergreifenden gemeinschaftlichen Nutzung genannt:

- *Zum Ersten können Zwangsrechte eingeräumt werden, sodass die Wasserrechtsbehörde bspw. die Benutzung eines Privatgewässers einem anderen einräumen oder eine Verlegung oder Beseitigung gestatten (§ 64 Abs 1 lit a (WRG, 1959)) oder bestehende Wasserrechte und Wassernutzungen ganz oder teilweise enteignen kann. Dazu muss jedenfalls bedeutendes öffentliches Interesse vorliegen.*
- *Zum Zweiten können zivilrechtliche Vereinbarungen zwischen den Grundstückseigentümern geschlossen werden, welches die rechtlich einfachste Variante darstellt.*
- *Zum dritten können vom Landeshauptmann wasserwirtschaftliche Rahmenverfügungen erlassen werden. Diese Regionalprogramme können die Widmung für die thermische Grundwassernutzung, Einschränkungen bei der Verleihung von Wasserrechten sowie Gesichtspunkte bei der Handhabung der Bewilligungskriterien zum Gegenstand haben. Die Regionalprogramme eignen sich jedenfalls, um grundstücksübergreifende Bewirtschaftungs-konzepte für dezentrale, nicht verbundene Nutzungen aufzustellen.*

### 3.3 Methodik

#### 3.3.1 Auswahl der Untersuchungsgebiete

Die Erhebung der potenziellen Untersuchungsgebiete in Wien und Salzburg erfolgte in Zusammenarbeit aller Projektpartner und den LOI-Partnern. Dabei wurde die Methodik des Experteninterviews mit Vertretern der Stadt Wien, der Stadt Salzburg und stadtnahen Instituten in Kombination mit Literaturrecherchen angewendet. Für jedes potenzielle Gebiet wurde ein Erhebungsbogen erstellt, der die bekannten Informationen über das jeweilige Gebiet zusammenfasst. Mit Hilfe der Erhebungsbögen wurden die Gebiete nach technischen, wirtschaftlichen und geothermischen Aspekten im Hinblick auf die Projektziele zusammengefasst, bewertet und ausgewählt. Die Erhebungsbögen sind nicht Teil dieses Berichts.

#### 3.3.2 Technische Auslegung

Für die technische Auslegung ist das Zusammenspiel aller Netzkomponenten und die damit verbundene Dynamik ein wesentliches Kriterium. Das bidirektionale Wärme- und Kälteverteilnetz (NTWK-Netz) mit seinen Komponenten (Erdsondenspeicher, Wärmepumpen, Wärmeüberträger und Rohrnetzwerk) wurde mit Hilfe der Software Matlab®/Simulink® programmiert und abgebildet. Zur Ermittlung der Betriebsmittel (v.a. Stromverbrauch der Wärmepumpen) wurde das NTWK-Netz für ein Kalenderjahr simuliert. Als wesentlicher Input für die Simulation dienen die zuvor erstellten Lastgänge der Wärmequellen und -senken. Der geothermische Erdsondenspeicher stellt ein zentrales Element in der voll-dynamischen

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Simulation dar, er wurde als Erdsondenmodul von Grund auf neu programmiert. Mit Hilfe der Software FEFLOW™ wurde das mathematische Modell des Erdsondenmoduls in mehreren Simulationszyklen validiert. Somit konnte das Erdsondenfeld volldynamisch in die Netz- und Gebäudesimulation mit eingebunden werden, mit Interaktion aller Komponenten zu jedem Simulationszeitschritt.

### 3.3.3 Dimensionierung geothermischer Anlagen

Das Grundprinzip des Betriebs von Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen obliegt dem Wärmetauscherprinzip. Das Wärmeträgermedium (Wasser, Wasser mit Frostschutzzusatz, ...) wird über eine Rohrleitung (Vorlauf) in die Erdwärmesonde oder den Grundwasserleiter gepumpt, nimmt dort Wärmeenergie auf (für Heizzwecke im Winter), oder gibt Wärme ab (für Kühlzwecke) und fließt anschließend über den Rücklauf wieder in den Wärmetauscher/Wärmepumpe, wo die thermische Leistung benötigt wird, bzw. abgegeben werden soll. Die thermische Leistung  $P$ , die dabei dem Untergrund entnommen wird, kann mathematisch mit Formel (3.1) beschrieben werden.

$$P = C_V V \Delta T \quad (3.1)$$

$P$  ... Leistung der Anlage in W

$C_V$  ... Volumetrische Wärmekapazität des Wärmeträgermediums (z.B. Wasser) in  $\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3 \text{ K}}$

$V$  ... Volumenstrom in  $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$\Delta T$  ... Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf in K

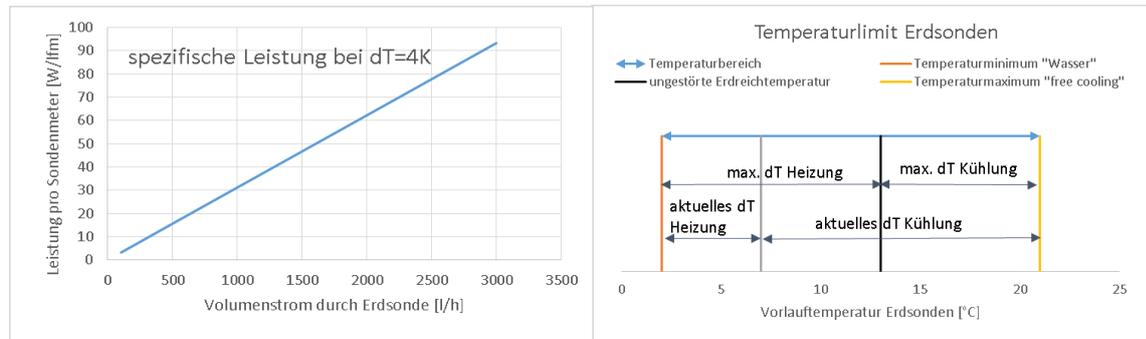
Diese hängt also, bis auf den weitgehend konstanten Faktor  $C_V$ , hauptsächlich vom Volumenstrom  $V$  und der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  zwischen Eintritts- und Austrittstemperatur der Erdwärmesonde bzw. der Grundwasseranlage ab. Die geforderte Leistung kann also durch Vorgabe einer konstanten Temperaturdifferenz über den Volumenstrom geregelt werden oder durch Vorgabe eines konstanten Volumenstroms und der Regelung der Temperaturdifferenz  $\Delta T$ . Das Temperaturniveau des Vor- und Rücklaufs wird jedoch vom Erdreich bzw. Grundwasser bestimmt, wo bestimmte Limits eingehalten werden müssen. Die maximale Leistung ist deswegen abhängig von der aktuellen Untergrundtemperatur, des technischen oder rechtlichen Temperaturlimits und der maximalen Förderrate. Bei einer Grundwasserwärmepumpe ist beispielsweise der Vorlauf der Anlage laut Wasserrechtsgesetz (siehe Kapitel 3.2) mit den Temperaturlimits 5 - 20 °C und der Förderrate mit dem bewilligten Konsens der wasserrechtlichen Bewilligung beschränkt.

Bei einer Erdwärmesonde ist das Temperaturlimit nach unten durch die Wahl des Wärmeträgermediums und nach oben durch die Anforderungen der Kühlanlage bestimmt. Im ÖWAV-Regelblatt 207 wird ein maximaler Temperaturbereich zwischen -3 °C und 30 °C vorgeschlagen (ÖWAV-RB207, 2009). Die maximale Förderrate ist technisch durch die Pumpe und den Pumpaufwand beschränkt. Beim Betrieb mit dem Wärmeträgermedium Wasser ist das unterste Temperaturlimit 2 °C, um Frost jedenfalls zu vermeiden.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Für das bidirektionale NT-Wärme- und Kältenetz (NTWK-Netz) am Wiener Standort (siehe Kapitel 4) wird die Erdsondenanlage auf  $\Delta T = 4 \text{ K}$  ausgelegt. Das untere Temperaturlimit ist  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  (Wasser) und das obere Temperaturlimit ergibt sich durch die Voraussetzung der Gebäudekühlung mit „free cooling“ mit  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Abbildung 3.2 Spezifische Leistung einer Erdwärmesonde bei konstantem  $\Delta T$  von 4 K in Abhängigkeit vom Volumenstrom (links). Temperaturbereich einer Erdwärmesonde (rechts)**

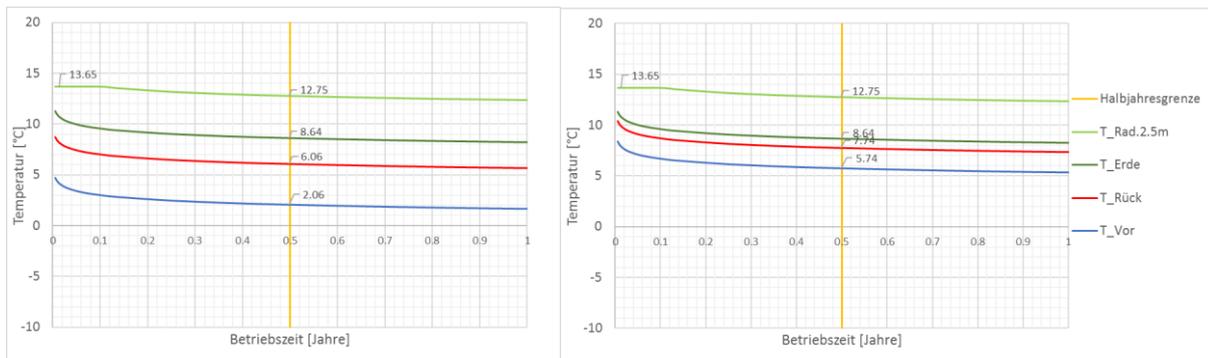
Abbildung 3.2 zeigt in der linken Grafik den linearen Zusammenhang der Sondenleistung mit dem Volumenstrom nach Formel (3.1) bei einer konstanten Temperaturdifferenz von 4 K. Die angeforderte Leistung kann jedoch, abhängig von dessen Höhe, nur für eine gewisse Zeit zur Verfügung gestellt werden. Je höher der Wärmeübergang zwischen Sondenfluid und Erdreich, desto höher der „Temperaturniveauperlust“ zwischen Erdreich und Sondenfluid. Die Temperatur des Erdreichs sinkt im Heizfall mit Anstieg der entnommenen Wärmeenergie in Richtung Temperaturminimum (siehe Abbildung 3.2 rechts). Die Geschwindigkeit des Temperaturabfalls ist dabei von der Temperatur- bzw. Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs abhängig. Je besser die Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs, desto schneller fließt Wärmeenergie nach bzw. ab.

Das Temperaturniveau wird am Beispiel einer 150 m tiefen Duplexsonde am Wiener Standort in Abbildung 3.3 gezeigt. Wird die Erdwärmesonde auf eine konstantes  $\Delta T$  von 4 K ausgelegt, kann diese im Dauerbetrieb mit maximal 450 l/h betrieben werden ( $P_{\text{spez}} = 14 \text{ W/lfm}$ ), um nach einem halben Jahr nicht unterhalb der festgelegten  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  zu kommen. Der Rücklauf der Erdwärmesonde beträgt dabei  $6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Durch den Übergangswiderstand dieser Sonde zum Erdreich beträgt der „Temperaturniveauperlust“ 2,6 K. Das Erdreich an der Bohrlochwand weist demnach eine Temperatur von  $8,6 \text{ }^\circ\text{C}$  auf. Die niedrige Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs lässt die Wärme nur langsam von der Umgebung nachfließen – das Erdreich in 2,5 m radialem Abstand verliert von der ungestörten mittleren Bodentemperatur von  $13,65 \text{ }^\circ\text{C}$  nur 0,9 K. Wird die Erdwärmesonde auf eine konstantes  $\Delta T$  von 2 K ausgelegt und im Dauerbetrieb mit 900 l/h gefahren, ist die entnommene Energiemenge gleich groß ( $14 \text{ W/lfm}$  und  $61 \text{ kWh/lfm}$  und Halbjahr), das Temperaturlimit von  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  allerdings noch nicht erreicht ( $5,74 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Grund dafür ist die kleinere Temperaturdifferenz und der Betrieb mit höherem Volumenstroms und die dadurch turbulenterer Strömung, die einem besseren Übergangswiderstand mit einem

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

„Temperaturniveauverlust“ von nur 0,9 K bewirkt. Mit Auslegung der 150 m tiefen Sonde auf ein  $\Delta T$  von 2 K würde die Sonde nach einem halben Jahr Dauerbetrieb mit 1500 l/h eine spezifische Leistung von 23,3 W/lfm und 102 kWh/lfm bringen um die 2 °C nicht zu unterschreiten. Der Nachteil einer höheren Pumpleistung wirkt sich speziell bei einem großen Sondenfeld aus.



**Abbildung 3.3: Temperaturniveaus einer Erdwärmesonde im Dauerbetrieb von einem Jahr mit konstanter Leistungsvorgabe von 14 W/lfm und 61 kWh/lfm/0.5a am Beispiel einer Erdwärmesonde am Wiener Standort; Auslegung auf  $\Delta T = 4$  K / Volumenstrom = 450 l/h (links) und  $\Delta T = 2$  K / Volumenstrom = 900 l/h (rechts); Dargestellt ist der Temperaturverlauf des Sondenvorlaufs, des Sondenrücklaufs, der Temperatur an der Bohrlochwand (Erdreich) und der Erdreichtemperatur in 2.5 m radialer Entfernung**

Für die Dimensionierung von Erdsonden sind primär die gewünschte Jahresenergiemenge für Heizen und Kühlen zu ermitteln.

Für die Auslegung auf eine einseitige Wärmenutzung und für einzelne Sonden kann das Regelblatt (ÖWAV-RB207, 2009) herangezogen werden. Demnach darf das Temperaturniveau nach 10 Jahren Betrieb und Nutzung von 1800 bzw. 2400 Jahresbetriebsstunden nicht unterhalb -3 °C liegen. Die maximale Leistung beträgt nach dessen Auslegung für den Standort Wien ca. 34 W/lfm für 1850 Jahresbetriebsstunden und 10 °C mittlerer Bodentemperatur). Für die Dimensionierung von Erdsondenfeldern werden numerische Simulationen empfohlen.

Für die Dimensionierung des Erdsondenfeldes am Standort Wien - für den Betrieb als saisonaler Speicher - ist die Auslegung auf eine ausgeglichene Jahresenergiebilanz wichtig. Die technische Auslegung der Wärmepumpen wurde auf eine Temperaturdifferenz von 4 K gelegt, um den Pumpaufwand möglichst gering zu halten und eine guten COP der Wärmepumpe zu erreichen.

### 3.3.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Niedertemperatur- und Anergienetze sind innovative Ansätze zur Deckung des Wärmebedarfs und stellen in Österreich, aber auch international, wenig bis gar nicht verbreitete Systeme dar.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die im vorliegenden Bericht zitierten Fallbeispiele aus der Schweiz führen die technische Machbarkeit solcher Systeme vor Augen, sind geografisch jedoch so weit von den potenziellen Anwendungsgebieten in Österreich entfernt, dass sie im Sinne der Innovations-Diffusionsmechanismen hierzulande eine geringe Wirkung haben. Die Analyse und Darstellung der Schweizer Anlagen innerhalb des Projektes DEAGENT-NET trägt in diesem Sinne zu einer Reduktion der Transaktionskosten bei potenziellen EntscheidungsträgerInnen bei.

Nachdem die untersuchten Pilot- und Demonstrationsanlagen aus der Schweiz im Vergleich zur erwarteten technischen Systemlebensdauer noch nicht lange in Betrieb sind, kann das langfristige technische Systemverhalten und die langfristige Wirtschaftlichkeit dieser Systeme als noch nicht ausreichend demonstriert bezeichnet werden. Was den wirtschaftlichen Systemvergleich betrifft, stellt vor allem die Entwicklung der Preise fossiler Energieträger eine große Unsicherheit dar, wie in den folgenden Ausführungen gezeigt wird.

### 3.3.4.1 Diffusionstheoretische Aspekte

Das im Projekt DEAGENT-NET untersuchte Wärmeversorgungssystem steht am Beginn seiner Marktdiffusion. Die Innovations-Diffusionstheorie nach (Rogers, 2003) liefert ein methodisches Gerüst für eine strukturierte Analyse von Hemmnissen und fördernden Faktoren, welche in weiterer Folge zum Markterfolg oder auch zum Misserfolg einer Technologie führen. Im Fall des DEAGENT-NET Wärmeversorgungssystems besteht die nächste Stufe der Marktdiffusion aus der Errichtung weiterer geografisch gestreuter Pilot- und Demonstrationsanlagen, welche durch Begleitforschung zu technisch und wirtschaftlich optimierten Systemen führen. Diese stellen wiederum die Basis für eine nachfolgende breitere Marktdiffusion dar. Wie bereits oben angemerkt, können die verfügbaren Pilot- und Demonstrationsanlagen in der Schweiz eine entsprechende Funktion in Österreich nur bedingt erfüllen. Die Umsetzung von einer oder mehreren Pilot- und Demonstrationsanlagen in Österreich würde die Testbarkeit der Technologie unter den regionalen technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ermöglichen und auch eine Basis für die nationale Forschung und Entwicklung in diesem Bereich schaffen.

Für die Umsetzung österreichischer Pilot- und Demonstrationsanlagen sind Akteursgruppen mit den Merkmalen von Innovatoren erforderlich. Innovatoren gelten als risikofreudig, können das Risiko eines Fehlschlags aus wirtschaftlicher Sicht tragen und besitzen meist ein überdurchschnittliches technisches Verständnis oder/und Interesse. Innovatoren müssen dabei nicht unbedingt von den Mitgliedern des lokalen sozialen und wirtschaftlichen Systems akzeptiert sein, aber sie erfüllen die Aufgabe, eine Innovation von außerhalb der Systemgrenzen des lokalen Systems in dieses System zu importieren. Im Falle des DEAGENT-NET Konzeptes gibt es zahlreiche Akteursgruppen, welche für das Zustandekommen eines entsprechenden Projektes erforderlich sind. Diese Gruppen sind in Tabelle 3.1 angeführt und haben im Umsetzungsprozess zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedlich starkes Gewicht.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

Es gibt eine Reihe von Einflussgrößen, welche die Umsetzbarkeit des DEAGENT-NET Ansatzes in der Praxis beeinflussen. Wesentlich sind dabei unter anderem die folgenden, von den unterschiedlichen Akteursgruppen wahrgenommenen Charakteristiken des innovativen Wärmeversorgungssystems:

Relativer Vorteil: Um von konventionellen, etablierten urbanen Wärmeversorgungssystemen wie Fernwärme oder erdgasbasierten Systemen auch nur versuchsweise abzugehen, ist ein relativer Vorteil des innovativen Systems erforderlich oder ein solcher muss zumindest in Zukunft absehbar sein. Mögliche Vorteile wären hier vergleichsweise niedrigere Wärmepreise und/oder -kosten z.B. durch günstige Wärmequellen, Beiträge zu den nationalen aber auch regionalen Energie- und Klimazielen und/oder zusätzliche Verkaufsargumente für Immobilien wie z.B. die Möglichkeit zur integrierten Raumkühlung im Sommer mit „free cooling“.

Kompatibilität: Je kompatibler das innovative Wärmeversorgungssystem mit den technischen, organisatorischen und nutzungsspezifischen Eigenschaften von etablierten Systemen ist, desto höher ist dessen Umsetzungswahrscheinlichkeit. Die technische Kompatibilität des DEAGENT-NET Systems ist im vollen Umfang gegeben, wenn Niedertemperatur-Wärmeverteilsysteme sowieso vorgesehen oder vorhanden sind. Dies ist im Neubau oftmals gegeben oder zumindest wirtschaftlich und organisatorisch machbar. Im Bereich des unsanierten Altbaus bzw. bei Sanierungsprojekten kann der Aspekt einer mangelnden Kompatibilität zu einem zentralen Hemmnis werden.

Komplexität: Diese ist dann ein Hemmnis, wenn die betreffende Akteursgruppe das Funktionieren des technischen Systems verstehen muss oder glaubt, dieses verstehen zu müssen. Da die Regelung und Optimierung des innovativen Systems im Vergleich zur konventionellen Praxis durchaus eine Herausforderung darstellt, stellt die höhere Komplexität zumindest für Investoren, Bauträger und die ausführenden Gewerke ein Hemmnis dar.

Testbarkeit: Die Testbarkeit des DEAGENT-NET Systems ist, wie bereits oben ausgeführt, im geografischen Nahbereich der Fallstudien nicht gegeben. Zwar existieren einige Pilot- und Demonstrationsanlagen wie z.B. die bereits zitierten Anlagen in der Schweiz. Diese sind jedoch nur indirekt über Publikationen oder bestenfalls mittels einer aufwändigen Besichtigung von außen erfahrbar. Die mangelnde Testbarkeit stellt für alle Akteursgruppen ein Hemmnis dar. Hierbei wirkt jedoch mildernd, dass einzelne Systemkomponenten wie Wärmepumpen oder Erdsonden für sich etablierte und ausreichend getestete Technologien sind.

Sichtbarkeit: diese kann bei technischen Innovationen hemmend oder fördernd wirken. Generell ist das DEAGENT-NET System nach außen hin nicht sichtbar. Dieses Charakteristikum kann deshalb als neutral eingestuft werden. Um eine Sichtbarkeit im fördernden Sinne zu erreichen, könnten jedoch z.B. ein Green Label, eine besondere Anerkennung im Gebäude-Energieausweis oder ähnliche informatorische Instrumente eingesetzt werden.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

**Tabelle 3.1: Diffusionswirkung der Charakteristika von dezentralen geothermalen Niedertemperatur-Wärmenetzen in urbanen Gebieten aus der Sicht unterschiedlicher Akteursgruppen;** fördernder Faktor (+), hemmender Faktor (-), neutral (o).

Charakteristikum	Akteursgruppen					
	Stadt-politik	Investor	Bau-träger	Gewerke	Energie-versorger	Nutzer-Innen
<b>Relativer Vorteil</b>	+	o	+	o	-	+
<b>Kompatibilität</b>	+	+	+	o	o	+
<b>Komplexität</b>	o	-	-	-	o	o
<b>Testbarkeit</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Sichtbarkeit</b>	o	o	o	o	o	o

Tabelle 3.1 fasst die Wirkungseinschätzung der unterschiedlichen Charakteristika für die beteiligten Akteursgruppen auf einer qualitativen Ebene zusammen. Die subjektiv wahrgenommenen Charakteristika (und nicht die objektiven Merkmale) bilden die Basis der Meinungsbildung. Insgesamt zeigt sich dabei ein wenig euphorisches Bild. Diffusionsfördernde Aspekte sind im Wesentlichen das Energie-, Effizienz- und Umweltpotenzial als Beitrag zu entsprechenden politischen Zielen, sowie die Möglichkeit des „free cooling“ als Attraktion für die NutzerInnen und als Marketingargument für die Bau-träger. Wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen, muss das Argument der billigen Wärme als relativer Vorteil sehr differenziert und projektspezifisch betrachtet und geprüft werden und ist zumindest bei den aktuellen Preisen fossiler Energie kein zentrales Argument.

Die Innovationsentscheidung selbst wird im Falle einer Umsetzung des DEAGENT-NET Systems autoritär oder zumindest nur von wenigen Akteuren gemeinsam getroffen. Die späteren NutzerInnen haben keinen direkten Einfluss auf die Innovationsentscheidung. Dieser Umstand kann einerseits zu einer sehr raschen Verbreitung des Systems führen; andererseits können technische oder wirtschaftliche Probleme bei der Umsetzung von Pilot- und Demonstrationsanlagen die weitere Verbreitung der Innovation auch stark behindern oder gänzlich verhindern. Eine Minderung des Effizienzpotenzials durch die nicht in den autoritären Entscheidungsprozess eingebundenen NutzerInnen ist wegen des hohen Maßes an Kompatibilität nicht zu erwarten.

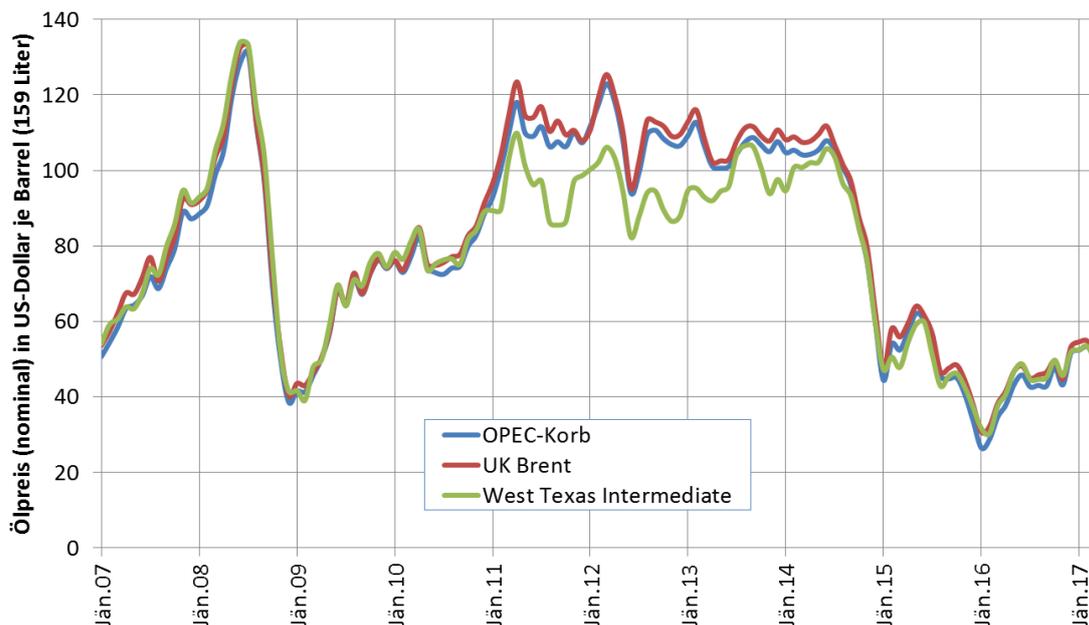
### 3.3.4.2 Analyse der Wirtschaftlichkeit

Das DEAGENT-NET Wärmeversorgungssystem ist durch hohe Investitions- und Kapitalkosten und je nach erschließbaren Wärmequellen durch mehr oder weniger geringe Brennstoffkosten (i.A. elektrischer Strom für den Antrieb der Wärmepumpen) gekennzeichnet. Es unterscheidet sich damit deutlich von den konventionellen urbanen Optionen der Wärmebereitstellung wie Fernwärme oder die Wärmebereitstellung mittels Erdgaskessel. Die Struktur der Wärmegestehungskosten ist bei diesen im Weiteren gegenübergestellten Optionen (DEAGENT-NET System, Fernwärme, Erdgas) stark unterschiedlich. Hat der spezifische Preis der Antriebsenergie im Fall des DEAGENT-NET Systems nur einen geringfügigen Einfluss auf die Wärmegestehungskosten, so ist selbiger bei den Optionen Fernwärme und noch stärker

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

bei Erdgas kostenbestimmend. Folglich steigt die Wettbewerbsfähigkeit des DEGENT-NET Systems mit steigenden Preisen für fossile Energieträger. Abbildung 3.4 veranschaulicht die Entwicklung des Rohölpreises als Indikator für den Preis fossiler Energieträger. Die Entwicklung der Rohölpreise ist über den Betrachtungszeitraum von 2007 bis 2017 von einer großen Volatilität geprägt, wobei der im Herbst 2014 einsetzende Verfall der Rohölpreise bisher zu anhaltend niedrigen Ölpreisen im Bereich von 46 US\$/Barrel (Mittelwert der Jahre 2015 und 2016) führte. Dies sind denkbar schlechte ökonomische Randbedingungen für die Marktdiffusion von kapitalintensiven Wärmeversorgungsanlagen.



**Abbildung 3.4: Entwicklung der Preise unterschiedlicher Rohölsorten von Jänner 2007 bis Jänner 2017.** Quelle: (Mineralölwirtschaftsverband, März 2017)

Die niedrigen Öl- und Gaspreise wirken sich zurzeit in vielen Bereichen innovativer Energietechnologien stark diffusionsdämpfend aus, wie dies beispielsweise in (Biermayr, Erneuerbare Energien in Zahlen 2016, Dezember 2016) oder (Biermayr, et al., Juni 2017) detailliert dargestellt wird.

Das DEGENT-NET System ist in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeitsbewertung von folgenden Merkmalen gekennzeichnet:

- Die Investition ist langfristig (Betrachtungszeitraum > 20 Jahre).
- Es besteht eine hohe Kapitalintensität.
- Das Produkt Wärme ist leitungs- und systemgebunden.
- Das Produkt ist niederexergetisch im Sondenfeld saisonal speicherbar.
- Das Produkt ist hochexergetisch kurzfristig in technischen Speichern speicherbar.
- Der Restwert der Anlagen ist unabhängig vom Betrachtungszeitpunkt marginal, da die wesentlichen Anlagenkomponenten wie Erdsonden oder Niedertemperaturnetz nach

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

der Errichtung nicht transferierbar sind und nur für das konkrete Projekt einen wirtschaftlichen Wert darstellen.

Die zu berücksichtigenden aktuellen Rahmenbedingungen sind:

- Volatile und zurzeit bereits längerfristig sehr niedrige Preise fossiler Energieträger.
- Längerfristig (2015, 2016) niedrige Inflationsraten von 0,9 %/a vgl. Statistik Austria (2017).
- Längerfristiger globaler Leitzins von 0,0 %; daraus resultierend geringe zinsbasierte Kapitalkosten, jedoch bei gleichzeitig restriktiver Kapitalvergabe vgl. (EZB, 2017)
- Damit in Zusammenhang stehender geringer Kalkulationszinssatz, welcher jedoch in unterschiedlichen Akteursgruppen und in Abhängigkeit von den konkreten Projekten schwankt (gemeinnütziger, ggf. öffentlicher Bauträger vs. privater Bauträger und geförderter sozialer Wohnbau vs. frei finanziertes Wohn- oder Servicegebäudebau); der Kalkulationszinsfuß schwankt je nach Konstellation von 0,0 % bis > 6,0 %.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung sind insbesondere von folgenden, meist exogenen Faktoren abhängig, welche gleichzeitig auch das Investitions- und Projektrisiko beschreiben:

- Die tatsächliche Entwicklung der Energiepreise über den Betrachtungszeitraum ist unbekannt und kann (siehe Vergangenheit) auch nicht prognostiziert werden.
- Die tatsächliche Zinsentwicklung über den Betrachtungszeitraum ist unbekannt.
- Erforderliche Re-Investitionen während der technischen Systemlebensdauer sind unsicherheitsbehaftet.
- Die Verlässlichkeit einspeisender Wärmequellen im Sinne der Abwärmenutzung wie z.B. Rechenzentren ist unbekannt; es besteht ein vertragsloses Abhängigkeitsverhältnis.
- Die Kosten von Backup-Systemen, falls solche vom Investor gefordert werden, sind unsicherheitsbehaftet. Selbige können bei konkreten Projekten jedoch vertraglich geregelt werden.
- Die tatsächliche Entwicklung der Wärme- und Kältenachfrage über den Betrachtungszeitraum (Klimawandel-Folgen) ist unbekannt und nur mit hoher Schwankungsbandbreite prognostizierbar.
- Das Umlegen der hohen Kapitalerfordernisse in ein entsprechendes Endkunden-Tarifmodell mit einem hohen Leistungspreis und geringem Arbeitspreis ist zumindest in energieeffizienten Gebäuden für den Endkunden wenig attraktiv und könnte einen Marktnachteil mit sich bringen.
- Marginaler Restwert (siehe oben).

Zur Wirtschaftlichkeitsbewertung können angesichts des aktuellen Leitzinsniveaus und der geringen Inflation, speziell im Fall von gemeinnützig oder öffentlich finanzierten Projekten,

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

auch statische Kalkulationsverfahren wie z.B. die Kostenvergleichsrechnung oder die Amortisationsrechnung herangezogen werden. Da jedoch auch der Einfluss des Zinsniveaus auf die Wirtschaftlichkeit der Projekte untersucht werden soll, wird in weiterer Folge das Verfahren der realen Kapitalwerte herangezogen. Dieses gebräuchliche Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung bezieht alle einem Projekt zuordenbaren Ein- und Auszahlungen auf einen Betrachtungszeitpunkt, wobei zeitlich davorliegende Zahlungen aufgezinnt und zeitlich nachfolgende Zahlungen abgezinst werden. In weiterer Folge werden die auf diesem Wege ermittelten Kosten auf die kalkulierte beim Endkunden abgesetzte Wärmemenge bezogen. Diese spezifischen Wärmegestehungskosten stellen die Vergleichsbasis mit konventionellen Systemen der Wärmeversorgung dar.

### 3.3.4.3 Kennzahlen für den wirtschaftlichen Systemvergleich

Im vorliegenden Bericht wird stets zwischen Kosten und Preisen unterschieden. Kosten sind jene (spezifischen) Aufwendungen, welche ein Produzent von Wirtschaftsgütern oder Dienstleistungen hat, um ein Produkt am Markt zu einem bestimmten Preis anbieten zu können. Die Differenz zwischen Preis und Kosten ist der Gewinn des Produzenten.

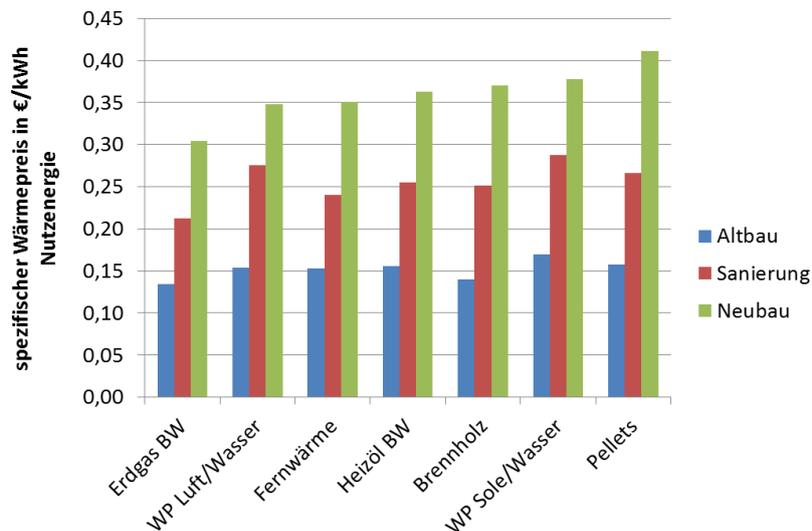
Wie bereits oben angemerkt, wird im Folgenden ein Vergleich mit den im urbanen Bereich etablierten Wärmeversorgungssystemen Fernwärme und Erdgas angestellt. Weitere Optionen der Wärmebereitstellung werden kurz erwähnt. Als Berechnungsgrundlagen wurden Investitionskosten inklusive Wartung und Instandhaltung und Energiekosten auf einer jährlichen Vollkostenbasis herangezogen, welche von (Austrian Energy Agency, 2017) für unterschiedliche Kombinationen von Gebäuden und Heizsystemen publiziert werden.

Die Ergebnisse für die Kennzahlen der spezifischen Wärmepreise sind in Abbildung 3.5 dargestellt. Die Zahlenwerte für die Optionen Erdgas-Brennwerttechnik und Fernwärme sind zusätzlich in Tabelle 3.2 dokumentiert. Es ist hierbei jeweils anzumerken, dass es sich um mittlere Preise handelt. Diese sind im Einzelfall von den individuellen Verhältnissen, baulichen Erfordernissen, weiter nutzbaren Komponenten und nicht zuletzt vom Verhandlungsgeschick bei Preisverhandlungen abhängig.

Der resultierende spezifische Wärmepreis ist stark von der thermischen Gebäudequalität und damit von der pro Jahr bezogenen Wärmemenge abhängig. So beträgt der spezifische Wärmepreis in einem nicht sanierten Altbau mit einem HWB von  $175 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  mit einer Wärmeversorgung auf Basis von Erdgas-Brennwerttechnik  $0,13 \text{ €/kWh}$ . Dieser Wert steigt im Fall eines Neubaus mit einem HWB von  $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  auf  $0,30 \text{ €/kWh}$ . Bei Fernwärmeversorgung betragen die beiden äquivalenten Zahlenwerte  $0,15 \text{ €/kWh}$  und  $0,35 \text{ €/kWh}$ . Zwischen den Optionen erdgasbasierte Wärmeversorgung und Fernwärme kommt die Luft/Wasser Wärmepumpe zu liegen, welche jedoch nicht weiter untersucht wird, da die Wärmepumpentechnologie integraler Bestandteil des DEGENT-NET Systems ist.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 3.5: Spezifische Wärmepreise auf Vollkostenbasis (Investitionskosten inklusive Wartung und Instandhaltung plus Brennstoffkosten) für unterschiedliche Kombinationen von Heizsystemen und Gebäudequalitäten.** Kostendatenbasis November 2016, Energy Agency (2017)

**Tabelle 3.2: Spezifische Wärmepreise für Erdgas-Brennwertsysteme und Fernwärme**

	Erdgas Brennwerttechnik	Fernwärme
<b>Altbau (HWB 175 kWh/m<sup>2</sup>a)</b>	0,13 €/kWh	0,15 €/kWh
<b>Sanierung (HWB 75 kWh/m<sup>2</sup>a)</b>	0,21 €/kWh	0,24 €/kWh
<b>Neubau (HWB 50 kWh/m<sup>2</sup>a)</b>	0,30 €/kWh	0,35 €/kWh

In den Berechnungen sind jeweils typische Nutzungsgrade der Heizsysteme berücksichtigt, nicht jedoch das Benutzerverhalten. Der Servicefaktor wurde mit 1 festgelegt; Reboundeffekte, welche im Zuge von thermischen Sanierungen auftreten können, wurden ebenfalls vernachlässigt. Verglichen mit den Endkunden-Grenzkosten des elektrischen Stromes (Arbeitspreis) von < 20 Eurocent/kWh treten in der Praxis vor allem im Bereich des Neubaus sehr hohe spezifische Wärmepreise auf. Aufgrund der genannten Zahlen ist nachvollziehbar, dass im hoch energieeffizienten Neubau (HWB < 30 kWh/m<sup>2</sup>a) selbst die Wärmebereitstellung mit Widerstandsheizungen eine wirtschaftliche Alternative zu anderen Heizsystemen sein kann. Relativierend muss jedoch angemerkt werden, dass im Sinne einer Vollkosten-Vergleichsrechnung auch sämtliche Nebenkosten des Strombezuges wie Netznutzungsentgelte, Zählergebühren etc. eingepreist werden müssen.

Weitere klassische Wirtschaftlichkeits-Kennzahlen für netzgebundene Wärmeversorgungssysteme sind der Leistungsbelag und der Arbeitsbelag des Wärmenetzes. Da die Wirtschaftlichkeit von auch Niedertemperatur- oder Anergienetzen ebenso von der Kompaktheit des Systems abhängt, wie dies bei konventionellen Wärmenetzen der Fall ist, können auch die entsprechenden Kennzahlen verwendet werden. Ob die aus der Literatur für konventionelle Wärmenetze bekannten und großteils empirisch ermittelten Grenzwerte in

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

unveränderter Weise auch für Niedertemperaturnetze gelten kann in Ermangelung empirischer Daten für diese innovativen Netze nicht gesagt werden. Es erfolgt die Interpretation dieser Zahlen also mit der gebotenen Vorsicht.

Ein typisches Erfolgskriterium für die Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen ist ein Leistungsbelag  $> 1 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{m}$  Netzlänge eines 2-Leiter Netzes. In Abhängigkeit von der spezifischen Kostensituation (Errichtung auf der „grünen Wiese“ vs. Errichtung im dicht verbauten urbanen Bestand) und den verfügbaren Förderungen für die Projekte (z.B. durch Investitionszuschüsse) kann in günstigen Konstellationen auch ein Leistungsbelag von  $0,5 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{m}$  Netzlänge eines 2-Leiter Netzes für einen wirtschaftlichen Betrieb des Systems ausreichend sein.

Der Arbeitsbelag des Netzes sollte typischer Weise  $1,5 \text{ MWh}$  thermischer Energie pro Meter Netzlänge und Jahr übersteigen. Es ist dies eine Kennzahl, welche je nach Tarifsystem einen direkten Einfluss auf die kalkulatorischen Einzahlungen (jährlich verkaufte Energie pro Netzlänge) hat, siehe hierzu z.B. (Leuchtweis, 2010)

Beide Kennzahlen müssen auf die technische Systemlebensdauer bzw. Vertragsdauer auf ihren zu erwartenden zeitlichen Verlauf hin geprüft werden. Thermische Sanierungen, welche während der technischen Systemlebensdauer durchgeführt werden, können die Wirtschaftlichkeit des Wärmeversorgungssystems durch einen reduzierten Leistungs- und Arbeitsbelag stark beeinflussen. Dieser Aspekt kommt beim DEGENT-NET System jedoch kaum zum Tragen, da die Errichtung des Systems zurzeit ausschließlich im Zusammenhang mit dem Neubau von Gebäuden diskutiert wird.

Zu differenzieren ist weiters der Leistungs- und Arbeitsbedarf für die Raumwärmebereitstellung und für die Brauchwassererwärmung. Im Bereich des Altbaus und der mittelmäßig ambitionierten Sanierung hat die Brauchwassererwärmung im Wohngebäudebereich im Allgemeinen eine untergeordnete Bedeutung. Im Bereich des Neubaus und der ambitionierten thermischen Sanierung stellt die Brauchwasserbereitung in Hinblick auf den kurzfristigen Leistungsbedarf, aber auch in Hinblick auf den Arbeitsbedarf ein wichtiges Thema dar. Die Wirtschaftlichkeit betreffende Kennzahlen sind hierzu jedoch nicht verfügbar. Die Projekte müssen diesbezüglich bottom-up geprüft werden.

Das bei konventionellen Wärmenetzen wesentliche Thema der Netzverluste kann bei Niedertemperatur- und Anergienetzen aus wirtschaftlicher Sicht vernachlässigt werden. Bei konventionellen Nahwärmenetzen empirisch ermittelte Netzverluste bewegen sich laut Leichtweis (2010) zumeist zwischen  $10 \%$  und  $40 \%$  (!) der ins Netz abgegebenen Wärmemenge, wobei der Zielwert aus wirtschaftlicher Sicht jedenfalls unter  $10 \%$  liegen sollte. In Abhängigkeit vom Temperaturniveau des Niedertemperaturnetzes kann diese Vorgabe jedenfalls erfüllt werden. Bei Anergienetzen, welche auf Umgebungstemperatur oder darunter

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

betrieben werden, ist sogar ein (geringer) positiver Wärmeeintrag der Umgebung auf das Wärmeträgermedium möglich.

### 3.3.4.4 Skaleneffekte und Lernkurven

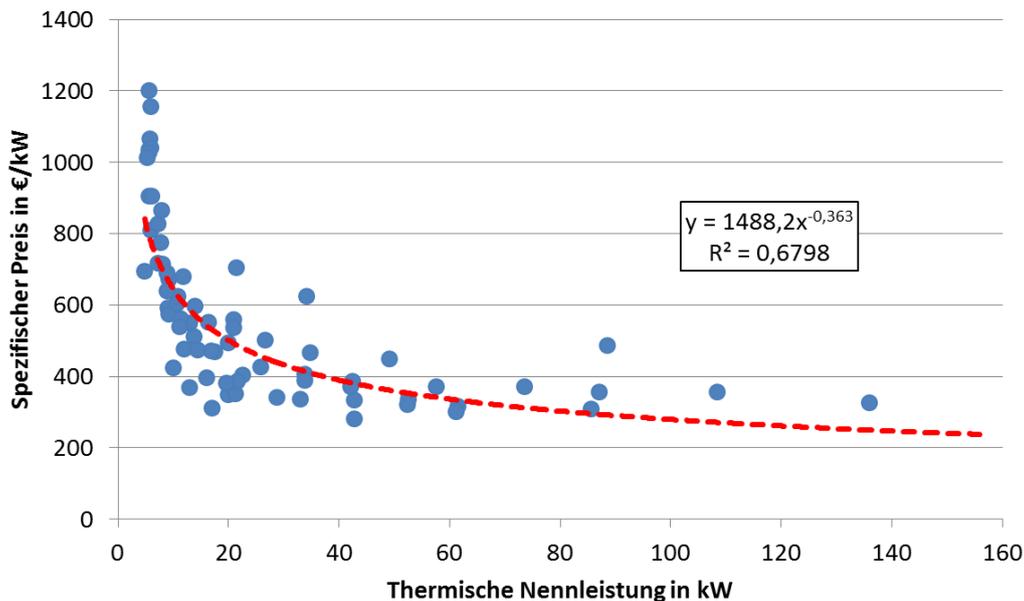
Bei bestimmten Systemkomponenten des DEGENT-NET Systems können positive Skaleneffekte in Hinblick auf sinkende leistungsspezifische Komponentenkosten bei steigender Leistungsgröße beobachtet werden. Dies bedeutet, dass z.B. größere Wärmepumpenaggregate pro kW installierte Leistung geringere Kosten aufweisen als kleinere, siehe Abbildung 3.6. In den für das DEGENT-NET System relevanten Leistungsbereichen können diese Effekte in mehr oder weniger stark ausgeprägter Form beobachtet werden. Im Hinblick auf eine wirtschaftliche Optimierung des Gesamtsystems haben solche positiven Skaleneffekte einen Einfluss auf das technische Systemdesign und auf die wirtschaftlich optimale „Stückelung“ z.B. der insgesamt erforderlichen Wärmepumpenleistung auf die in den einzelnen Heizzentralen installierten Leistungen.

Positive Skaleneffekte lassen sich nicht auf beliebige Leistungsgrößen extrapolieren. Verlässt man den Bereich üblicher Leistungsgrößen (Stand der Technik), so steigen auch die leistungsspezifischen Preise mit weiter steigender Stückgröße wieder an und es kommt zu einer sogenannten „Badewannenkurve“.

Aus diesem Grund bieten z.B. im Fall der Wärmepumpen zahlreiche Produzenten Clusterlösungen für sehr großen Leistungsbedarf an. Hierbei werden baugleiche Maschinen bedarfsgerecht parallelgeschaltet und gemeinsam optimiert geregelt. Aus wirtschaftlicher Sicht verflachen damit die Skaleneffekte und an die Stelle selbiger treten normale Mengenrabatte, welche durch die Abnahme mehrerer baugleicher Aggregate lukriert werden können.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 3.6: Leistungsspezifische Netto-Verkaufspreise von Sole-Wasser Wärmepumpen über der thermischen Nennleistung der Aggregate.** Preise ohne Zubehör und ohne Planungs- und Installationsdienstleistungen. Stichprobe n=73, Datenstand Jänner 2017.

Bei den Lerneffekten kann technisches und ökonomisches Lernen unterschieden werden. Unter technischem Lernen wird eine Verbesserung technischer Eigenschaften - zumeist Wirkungsgraden - über die Marktdiffusion (und damit implizit auch über die Zeit) verstanden. Unter ökonomischem Lernen wird die Entwicklung des Preises einer Technologie über die Marktdiffusion verstanden, wobei der Parameter „% Preisreduktion je Marktverdopplung“ eine gängige Kennzahl ist. Technisches Lernen resultiert dabei zumeist aus fortwährender Forschung und Entwicklung, während ökonomisches Lernen aus positiven Skaleneffekten aus der Produktion entsteht. Hierbei können bei steigenden Stückzahlen in der Produktion zumeist effizientere Produktionsmethoden eingesetzt werden und das Maß der Automatisierung und Mechanisierung kann gesteigert werden.

Lerneffekte sind für eine starke und schnelle Verbreitung von technischen Innovationen von zentraler Bedeutung. Ein bekanntes Beispiel hierfür sind die technischen und ökonomischen Lernkurven der Photovoltaik, welche beispielsweise über lange Abschnitte der Marktdiffusion ökonomisches Lernen in der Größenordnung von 20 % pro Marktverdopplung aufweist. Nicht zuletzt dieses Merkmal hat zur rasanten globalen Verbreitung der Technologie in den letzten 10 Jahren beigetragen. Fehlt einer Technologie dieses Lernen, so kann es über kurz oder lang zu Diffusionsproblemen kommen, wie dies beispielsweise bei solarthermischen Anlagen zu beobachten ist.

Das technische Lernen bei Wärmepumpen wurde als ein Teilaspekt der Arbeit im Forschungsprojekt „Heizen 2050“ von (Müller, et al., 2010) untersucht. Eine zusammenfassende Darstellung der erwarteten Entwicklung des COP unterschiedlicher

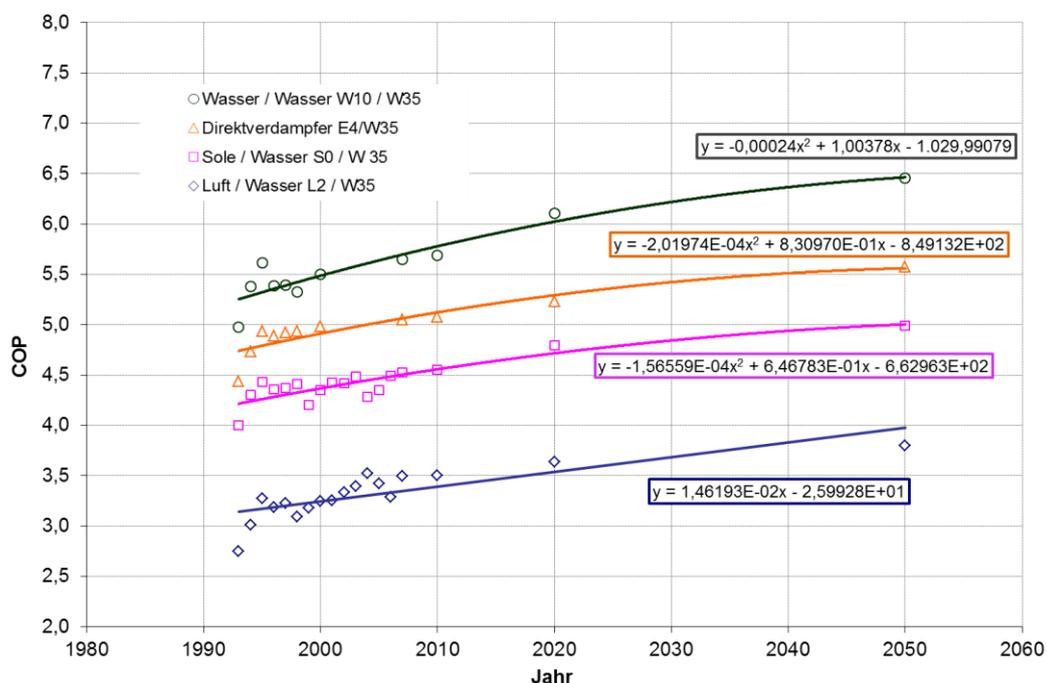
## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Wärmepumpensysteme bis zum Jahr 2050 ist in Abbildung 3.7 dargestellt. Ein weiterer moderater Anstieg der technischen Effizienz ist somit zu erwarten, wobei aufgrund der fortgeschrittenen Annäherung des Wirkungsgrades an die thermodynamisch gegebenen Grenzen auch eine Abflachung des weiteren Verlaufes zu erwarten ist.

Als Beispiel für das ökonomische Lernen ist in Abbildung 3.8 die Reduktion der realen Preise von Wasser-Wasser Wärmepumpensystemen bis 2050 dokumentiert. Aufgrund der historischen Entwicklung wird die dargestellte Preisreduktion erwartet, wobei die Reduktion im Zeitraum von 2020 bis 2050 pro Jahr nur noch marginale Werte annimmt.

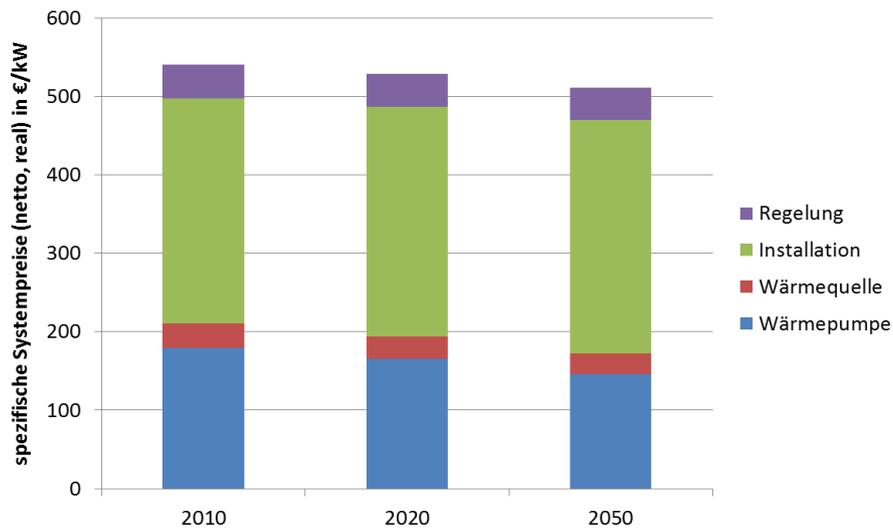
Zusammenfassend weist die DEAGENT-NET Systemkomponente Wärmepumpe damit Eigenschaften auf, die eine Marktdiffusion des Systems in Zukunft begünstigen. Es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass die zu erwartenden Lerneffekte einen großen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit des Systems haben werden. Die minimale Leistungsgröße (Stückelung) ist wegen der starken positiven Skaleneffekte der spezifischen Investitionskosten mit ca. 60 kW thermischer Nennleistung anzunehmen. Bei größeren Leistungen pro Aggregat ist nur noch mit geringen Skaleneffekten zu rechnen, wobei durch die Möglichkeit des Parallelbetriebes keine Begrenzung der Leistung gegeben ist.



**Abbildung 3.7: Erwartete Entwicklung des COP unterschiedlicher Wärmepumpensysteme bis 2050.** Quelle: Müller et al. (2011).

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 3.8: Erwartete Reduktion der realen Preise von Wasser-Wasser Wärmepumpensystemen bis 2050.** Quelle: Müller et al. (2011).

### 3.3.4.5 Systemkomponenten

Das DEGENT-NET System besteht aus zahlreichen Systemkomponenten, deren optimales Zusammenwirken auch eine regelungstechnische und steuerungstechnische Herausforderung darstellt. Die im Zuge der Wirtschaftlichkeitsbewertung berücksichtigten Hardware-Systemkomponenten sind:

- Niedertemperaturnetz
  - Verrohrung
  - Druckausgleichsbehälter
  - Klappen, Ventile, Stelleinrichtungen
  - Netzregelung
- Erdsondenspeicher
  - Verrohrung der Netzanbindung
  - Erdsonden
  - Klappen, Ventile, Stelleinrichtungen
  - Regelung des Erdsondenfeldes
- Heizzentralen
  - Wärmepumpenaggregate
  - Verrohrung der Netzanbindung
  - Pufferspeicher der Heizkreise
  - Pufferspeicher der Brauchwassererwärmung
- Anbindung Rechenzentrum
  - Verrohrung der Netzanbindung

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Niedertemperaturwärmetauscher zur hydraulischen Entkopplung
- Umwälzpumpe
- Regelung der Einspeisung
- Grundwassereinbindung
  - Brunnenherstellung
  - Wärmepumpe
  - Pumpe
- Energieversorger
  - Netzanbindung elektrisches Netz
  - Netzanbindung Fernwärmenetz für Backup

Die zur Kostenkalkulation herangezogenen Zahlenwerte wurden aus Literatur- und Marktrecherchen entnommen bzw. wurden aus den Angaben der Energieversorger übernommen. In Tabelle 3.3 sind beispielhaft einige Kostendaten zusammengefasst dargestellt. Die Aspekte des technischen und ökonomischen Lernens wurden systematisch miterfasst, wobei jedoch keine Bereiche aufgetreten sind, welche einen besonderen zukünftigen fördernden Faktor für die Verbreitung des untersuchten Systems darstellen würden.

Generell muss zu den verwendeten Kostendaten angemerkt werden, dass größtenteils aus öffentlich zugänglichen Quellen zitierbare Werte übernommen wurden. Es wurde dabei Wert gelegt, keine Listenpreise, sondern Verkaufspreise zu übernehmen. Trotz allen Bemühungen, praxisrelevante Kostendaten zu verwenden, zeigte sich im Kostenspektrum für viele Systemkomponenten vielerorts eine große Schwankungsbreite. Darüber hinaus sind die tatsächlichen Kosten bei vergleichbaren großen und innovativen Projekten auch vom Verhandlungsgeschick der Bauträger etc. abhängig. Bei den Anschlusskosten sowie Leistungs- und Arbeitspreisen der Energieversorger wurde auf die Angaben selbiger auf ihren Internetplattformen zurückgegriffen.

**Tabelle 3.3: Beispiele für wirtschaftliche Kennwerte von DEGENT-NET Systemkomponenten zur Berechnung der Wärmegestehungskosten.**

Komponente	spezifische Netto-Kosten (min, max, kalk.)	Technisches Lernen 2017 bis 2030	Ökonom. Lernen 2017 bis 2030
<b>Sondenfeld, geothermischer Speicher; Herstellung inkl. Inventar (Doppel-U-Rohr)</b>	min.: 40 €/m max.: 60 €/m kalk.: 45 €/m	0 % bzw. n.r.	10 %
<b>Technischer Speicher 2000 bis 4000 Liter (Pufferspeicher isoliert)</b>	min.: 0,53 €/Liter max.: 1,34 €/Liter kalk.: 0,80 €/Liter	0 %	0 %
<b>Technischer Speicher ≥ 4000 bis 10.000 Liter (Pufferspeicher isoliert)</b>	min.: 0,60 €/Liter max.: 1,26 €/Liter kalk.: 0,70 €/Liter	0 %	0 %
<b>Technischer Speicher ≥ 10.000 Liter (Pufferspeicher isoliert)</b>	min.: 0,60 €/Liter max.: 1,26 €/Liter kalk.: 1,00 €/Liter	0 %	0 %

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

<b>Wärmepumpen, Wasser/Wasser <math>\geq 60 \text{ kW}_{\text{th}}</math> (Aggregat inkl. Regelung u. Installation ohne Quelle)</b>	kalk.: 499 €/kW	4 %	3 %
<b>Anergienetz, Verrohrung DN <math>\geq 300</math>, unisoliert, inkl. Herstellung</b>	min.: 1000 €/m max.: 3000 €/m kalk.: 1500 €/m	0 %	0 %
<b>Anergienetz, Verrohrung DN 180, unisoliert, inkl. Herstellung</b>	kalk.: 1250 €/m	0 %	0 %
<b>Herstellung Stromanschluss Netzebene 5</b>	kalk.: 90,26 €/kW	0 %	0 % bis minus 3 %/a
<b>Netznutzungsentgelt Netzebene 5 (Wiener Netze, 2017)</b>	kalk.: 43,56 €/(kW a)	0 %	0 % bis minus 3 %/a
<b>Arbeitspreis Netzebene 5</b>	kalk.: 75 €/MWh	0 %	0 % bis minus 3 %/a
<b>Herstellung Fernwärmeanschluss</b>	kalk.: 380 €/kW	0 %	0 % bis minus 3 %/a
<b>Fernwärme Grund- u. Leistungspreis</b>	kalk.: 57 €/(kW a)	0 %	0 % bis minus 3 %/a
<b>Abkürzungen: n.r. ... nicht relevant; min. ... minimal; max. ... maximal; kalk. ... zur Kalkulation herangezogen;</b>			

### 3.3.5 Chemische und ökologische Umweltauswirkung im Grundwasser

Die Nutzung oberflächennaher Geothermie für Heiz- und Kühlzwecke verursacht Temperaturveränderungen in oberflächennahen Grundwasserkörpern. Diese Temperaturveränderungen sind umso kritischer im urbanen Raum, wo Grundwasserkörper durch Abwärmequellen und die Bebauung ohnehin schon künstlich um mehrere Grad Celsius erwärmt werden. Die saisonale Speicherung von Überschusswärme kann zu signifikanten Temperaturänderungen des Grundwassers führen. Die Beschaffenheit des Grundwassers ist bei der Planung und den Betrieb von geothermischen Verbundnutzungen von Bedeutung. Für den Betrieb von oberflächennahen Anwendungen gibt es in Österreich, bezüglich der Grundwasserökologie, keine Rechtsvorschriften, nur Empfehlungen des österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes. Der Schutz des Grundwassers ist im Wasserrechtsgesetz (WRG, 1959) derart geregelt, als dass der Grundwasserkörper mengenmäßig und chemisch in einem guten Zustand gehalten werden muss, siehe 3.2.1.4.

Die Temperaturerhöhungen im urbanen Raum verbunden mit einer thermischen Belastung durch geothermische Nutzung können Einfluss auf die hydrochemische Zusammensetzung, die Mobilisierung chemischer Elemente sowie die Mikrofauna und –flora haben. Eine Veränderung der Temperatur beeinflusst den Stoffwechsel von Organismen und somit auch wichtige biogeochemische Prozesse (Griebler, et al., 2014). Temperaturveränderungen im Grundwasser bzw. im Aquifer wirken sich auf die Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften, ihre Aktivitäten und somit auf Ökosystemprozesse aus. Entscheidend sind in jedem Fall das Ausmaß der Temperaturveränderung und die Ausgangssituation bezüglich der standortspezifischen Grundwasserqualität. Eine Erwärmung bzw. Abkühlung des Grundwassers um wenige Grad Celsius wirkt sich nur unwesentlich auf die

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Wasserbeschaffenheit und Ökosystemfunktionen aus, sofern das Grundwasser ‚sauber‘ bzw. das Ökosystem ‚energiearm‘ ist. Im umgekehrten Fall einer vorliegenden Hintergrundbelastung (erhöhte Konzentrationen an organischen Verbindungen, Nährstoffen bzw. Schwermetallen) kann bereits eine geringe Temperaturerhöhung ( $\geq 5$  K) die Wasserqualität negativ beeinflussen (Griebler, et al., 2014).

Diese Aspekte wurden bisher in Österreich noch nicht bei geothermischen Projekten verfolgt, da es auch keine bindenden Rechtsvorschriften dazu gibt. Im Projekt DEAGENT-NET wurde dieser Ansatz deswegen bewusst mit eingebunden, um den chemischen und mikrobiologischen Ist-Zustand der Grundwasserkörper in Wien und Salzburg an den potenziellen Standorten zu erfassen und diese in die Planungen der Anergienetze einzubeziehen. Einerseits sollen weitere Temperaturerhöhungen vermieden werden und andererseits soll an Standorten mit erwärmtem Grundwasser eine Abkühlung des Grundwassers durch Wärmenutzung angestrebt werden, um eventuell sogar eine Verbesserung des ökologischen Zustands des Grundwassers zu erreichen.

Im Rahmen des Arbeitspakets (AP) 2 wurden zum Themengebiet „Auswirkungen von thermischen Nutzungen auf die Grundwasserchemie und –ökologie“ Literaturrecherchen durchgeführt. Durch das Studium der Literatur wurde der Schluss gezogen, dass sich die Umweltauswirkungen auf die Grundwässer der beiden Standorte nur unzureichend anhand von vorhandenen und teilweise lückenhaften Daten bezüglich der Wasserbeschaffenheit und -temperaturen beurteilen lässt, sondern dass rund um die untersuchten Standorte ein dichteres Temperaturmessnetz und neue chemische und mikrobiologische Analytik vonnöten ist. Aus diesem Grund wurden im Rahmen des AP 3 „Geowissenschaftliche Standortbeurteilung“ umfassende Mess- und Beprobungskampagnen an den beiden untersuchten Standorten Wien und Salzburg durchgeführt, siehe Kapitel 4.2.6 und 5.1.3.

### 3.3.5.1 Chemische Analytik

Die in 4 Messkampagnen mittels 12V-Unterwasserpumpe gezogenen Wasserproben wurden vor Ort filtriert, auf mehrere Probengebinde aufgeteilt und zur chemischen Analyse an die Seibersdorf Labor GmbH (Staatlich Akkreditierte Prüfstelle Nr. 312 für chemische Analytik) weitergeleitet. Es wurden jeweils eine angesäuerte Probe (Kunststoffflasche mit  $\text{HNO}_3$  zur Konservierung) zur Bestimmung der Metalle und eine 1-Liter-Kunststoffflasche (Probe nicht konserviert) zur Analyse übergeben.

Methodik:

- Elementanalytik: Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma nach (ÖNORM EN ISO 11885, 2009)
- Anionen: Ionenchromatographie nach (ÖNORM EN ISO 10 304-T1, 2007) (IC)
- Ammonium: Photometrie nach (ÖNORM ISO 7150-1, 1987)

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- DOC: gelöster organischer Kohlenstoff (nach Membranfiltration  $<0,45 \mu\text{m}$ ) nach (DIN EN 1484, 1997)

Die Ergebnisse der Analysen sind in Anhang A2 in Tabellenform vollständig dargestellt.

### 3.3.5.2 Mikrobiologische Untersuchungen

Für die mikrobiologischen Untersuchungen wurden im Zuge der Messkampagnen 13.10.16, 17.10.16 und 24.11.16 pro Entnahmestelle jeweils zwei sterile 0,5-Liter-Kunststoffflaschen und im Zuge der Messkampagne 06./07.03.17 pro Entnahmestelle jeweils fünfzehn sterile 0,5-Liter-Kunststoffflaschen befüllt. Die Proben wurden gekühlt gelagert und so schnell wie möglich an das Geschäftsfeld HBR der AIT Austrian Institute of Technology GmbH in Tulln zur Analyse übergeben.

Der Grund für die große Probenmenge im Rahmen der vierten Messkampagne lag darin, dass mit diesen Wässern weiterführende Untersuchungen geplant waren und auch gestartet wurden. Diese Untersuchungen (Analysen bei verschiedenen Bebrütungstemperaturen sowie ein DNA-Sequenzierung) können jedoch erst nach Projektende und im Rahmen des Eigenforschungsbudgets realisiert werden.

Für die Bestimmung der bakteriellen Gemeinschaften in den Wasserproben über Hochdurchsatzsequenzierung wurde bislang aus jeweils einem Liter Wasser die DNA gemäß (Gensberger, et al., 2014) isoliert. Zur Vorbereitung für die Hochdurchsatzsequenzierung wurde aus der DNA die variable V3/V4 Region gemäß dem Protokoll für die Illumina MiSeq-Sequenzierung (Illumina, 2017) amplifiziert und mit NeXtera-Primern indiziert. Nach der Aufreinigung werden die Amplikonbibliotheken am VBCF sequenziert und über Standard-Bionformatik analysiert.

Die Bestimmung der Gesamtkeimzahlen, Coliformen Bakterien, E. Coli, Enterokokken und Pseudomonas aeruginosa erfolgte nach der Arbeitsanweisung HBR-AA-02, Version 1.1 vom 17.08.2012.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

**Tabelle 3.4: Methodik der mikrobiologischen Untersuchungen**

Parameter	Verfahren	Medium	Bebrütung	Verdünnung	Auswertung
1. Gesamtkeimzahl	Spatel	Trypton-Soja Agar (III)	22°C, 3 Tage	100µl 10 <sup>0</sup>	alle Kolonien
			37°C, 2 Tage		
2. Coliforme & E. coli	Membranfiltration	Chromocult Coliformen Agar (CCA - III)	37°C, 1 Tag	100 ml 10 <sup>0</sup>	E. coli: blaue Kolonien Coliforme: rosa-rote Kolonien
3. Enterokokken	Membranfiltration	Chromocult Enterokokken Agar (CEA - III)	37°C, 1 Tag, wenn neg. 2 Tage	100 ml 10 <sup>0</sup>	rosa-dunkelbraunen Kolonien
4. Pseudomonas aeruginosa	Membranfiltration	CN-Agar (IIII)	37°C, 2 Tage	100 ml 10 <sup>0</sup>	grüne bzw. gelbe fluoreszierende Kolonien

Die Ergebnisse der Analysen sind in Anhang A2 in Tabellenform vollständig dargestellt.

### 3.3.6 Systemabgrenzung und Beurteilungsschema der Erfolgskriterien

Gemäß dem im Antrag definierten Nutzungskonzept sollte ein geothermisch- unterstütztes Niedertemperatur Wärme- und Kältenetz (NTWK-Netz) folgende zentrale Merkmale aufweisen:

- Temperatur des Verteilnetzes zwischen den Wärmepumpen unterhalb 30 °C
- Einsatz dezentraler Wärmepumpen auf Abnehmerseite
- Einsatz geothermischer Methoden (Erdwärmesonden und thermische Grundwassernutzung) als saisonale Speicher oder als Wärme- bzw. Kältequellen.

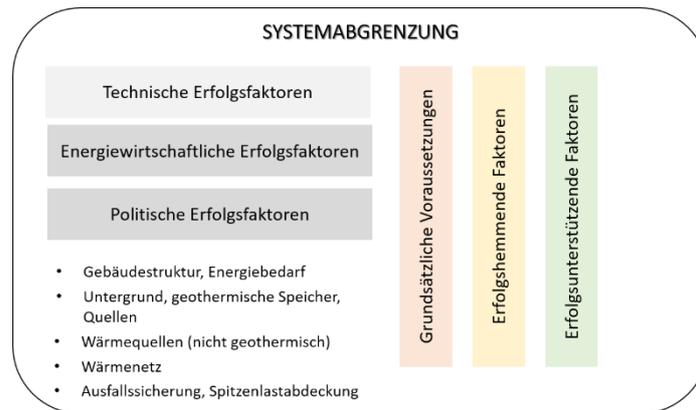
Für Niedertemperaturnetze, die diese drei Merkmale nicht vollständig aufweisen, sind die Erfolgskriterien nicht uneingeschränkt anwendbar.

Abbildung 3.9 zeigt das Beurteilungsschema das für die aus DEGENT-NET abgeleiteten Erfolgsfaktoren angewendet wurde. Ein Erfolgsfaktor wird einem Thema (technisch, energiewirtschaftlich oder politisch) und in Bereiche (Grundsätzliche Voraussetzungen, Erfolgshemmende Faktoren und Erfolgsunterstützende Faktoren) unterteilt.

Die, aus den Erfahrungen und Ergebnissen dieser Arbeit, abgeleiteten Erfolgsfaktoren sind zum Abschluss dieses Berichts in Kapitel 6.3 in Tabelle 6.1 angeführt.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 3.9: Beurteilungsschema zur Erarbeitung eines Erfolgskriterienkatalogs für die Implementierung eines NTWK-Netzes**

## 3.4 Auswahl der Untersuchungsgebiete Wien & Salzburg

Die ersten Ideen für die potenziellen **Untersuchungsgebiete in Wien** konnten bereits bei der DEAGENT-NET Kickoff Veranstaltung mit den Vertretern der Stadt Wien (MA 20 und MA 45) und Wien Energie gesammelt werden. Im Zuge des Experteninterviews mit Stefan Geier (MA 20) konnten fünf potenzielle Untersuchungsgebiete identifiziert werden. Die fünf Untersuchungsgebiete waren zwar in der ersten Beurteilung für DEAGENT-NET geeignet, jedoch sprachen entweder planerische Unklarheiten, unausgewogene Wärmebilanzen, starke Konkurrenz zur Fernwärme oder sehr später Baubeginn gegen ein hohes Umsetzungspotenzial.

Anfang Sommer 2016 konnte durch Einbindung der TINA VIENNA ein sechstes potenzielles Untersuchungsgebiet für Wien, die Oase22+, ausgemacht werden. Die klare Eigentümerstruktur, das Vorhandensein einer nahen Abwärmequelle, der zeitige Baubeginn und das Interesse der stadtnahen Institute zeigten ein hohes Umsetzungspotenzial für ein späteres Demonstrationsnetz. Folglich wurde die Oase22+ als Untersuchungsgebiet des Standortes Wien festgelegt.

Abbildung 3.10 zeigt die Lage aller sechs zur Auswahl stehenden potenziellen Untersuchungsgebiete in Wien auf vereinfachter hydrogeologischer Karte mit Lokation der geothermalen Anlagen (Datenstand 4.5.2016). Die Bewertung der Untersuchungsgebiete erfolgte nach 10 Kriterien für jeden potenziellen Standort, siehe Tabelle 3.5. Die **Oase 22+** hatte demnach mit 18 von 20 Punkten das größte Umsetzungspotenzial.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

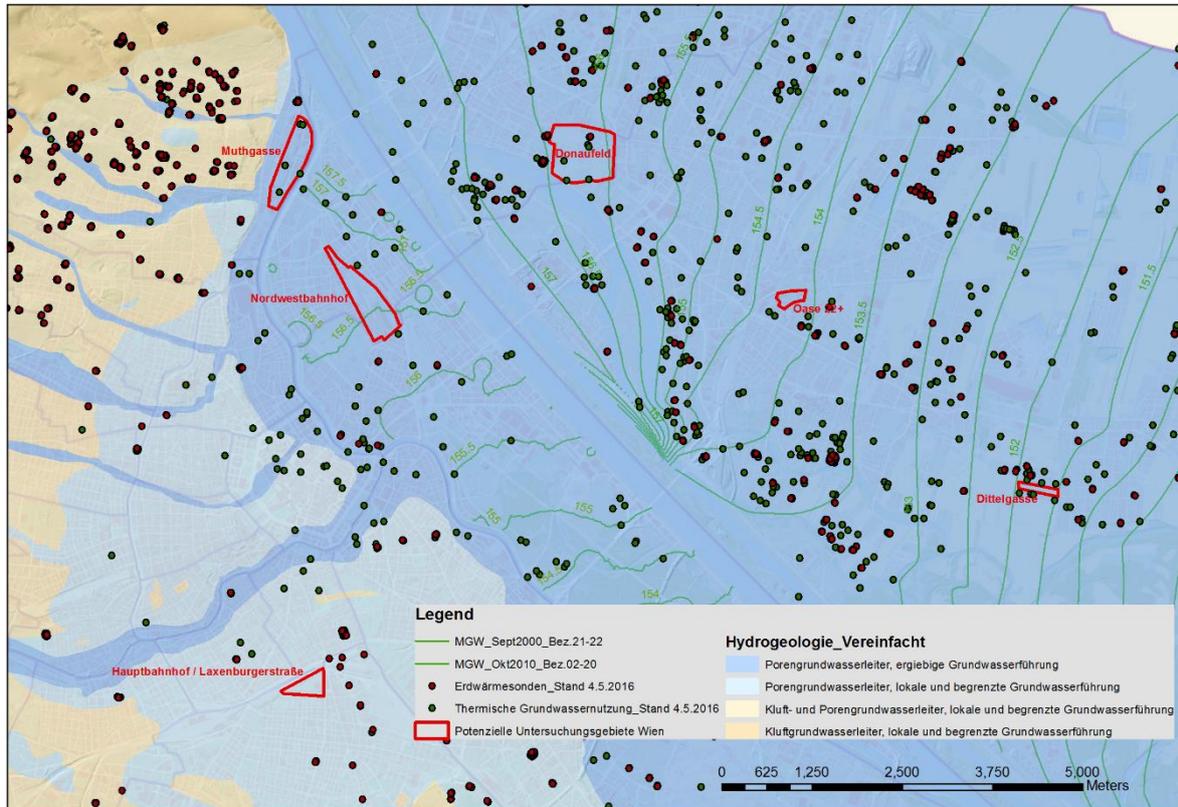


Abbildung 3.10 Lage der sechs potenziellen Untersuchungsgebiete auf vereinfachter Hydrogeologischer Karte (GBA), und aktueller Stand der Erdwärmesonden und Grundwassernutzungen (MA45)

Tabelle 3.5 Zusammenfassende Tabelle zur Bewertung der potenziellen Untersuchungsgebiete

	Oase22+	Dittlgasse	NWBHF	Donaufeld	HBF/Laxenburgerstraße	Muthgasse
Abwärme in der Nähe	Ja	Nein	Entfernt	Nein	Wenig	Wenig
Verhältnis Wärmebedarf:Angebot (geschätzt)	60:40	90:10	80:20	85:15	80:20	70:30
Konkurrenz Fernwärme/Gas	Ja	Nein	Teilweise	teilweise	Ja	Ja
Baubeginn	2018	2020+	2022	2021+	> 2020	Schrittweise bis 2040
Größe	Mittel	Klein	Groß	Sehr Groß	Mittel	Sehr Groß
Anzahl Eigentümer	2	2	1	heterogen	1	heterogen
Ökologische Ambition	Ja	Ja	Ja	Offen	Ja	Offen
Kühlung der Wohngebäude	Gewünscht	Gewünscht	Möglich	Möglich	Offen	Offen
Grundwassernutzung	Gut	Gut	OK	Gut	Schlecht	Gut
Erdsondenfeld möglich	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Bewertung (max. 20 Punkte)	18	15	12	10	10	9

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Für die Stadt **Salzburg** erfolgte die Vorauswahl potenzieller Untersuchungsgebiete anhand von Bereichen, wo in den nächsten Jahren einerseits eine höhere Dichte von Bauvorhaben zu erwarten ist und andererseits noch keine Anbindung an die Fernwärme der Salzburg AG vorliegt. Aus dem letztgenannten Grund wurden Gebiete wie Lehen und die Riedenburg, wo sich größere Bauvorhaben in Umsetzung befinden, nicht in Betrachtung gezogen. Auf Basis dieser Überlegungen wurden für eine nähere Betrachtung zwei Gebiete herausgegriffen, in denen eine verstärkte Bauaktivität zu erwarten ist: Raum Flughafen-Walserfeld und Lieferung.

Der Standort Flughafen-Walserfeld beinhaltet den Stadtteil Himmelreich und Teile des Walserfelds. Der Bereich zeichnet sich durch eine intensive Nutzung für Gewerbezwecke in den letzten zwei Jahrzehnten aus, hat aber immer noch Wachstumspotenzial. Die Art der Nutzung ist gemischt mit Kaserne, Wohnbebauung und Gewerbe westlich sowie Gewerbe, Wohnbau, Landwirtschaft und Flughafen östlich der Autobahn. Die Anbindung des Standorts ist mit zwei Autobahnanschlüssen, dem Flughafen und mehreren Linien des öffentlichen Verkehrs sehr gut. Auch wenn der Standort ein hohes Potenzial hinsichtlich der zukünftigen Nutzung aufweist, sind konkrete Maßnahmen derzeit nicht bekannt. Der Neubau des Terminals 2 des Flughafens, für den 2011 ein niedertemperiertes Wärmenetz für Heiz- und Kühlzwecke angedacht war, wurde auf unbestimmte Zeit verschoben.

Der zweite Standort liegt zwischen Lehen und Lieferung im Norden der Stadt Salzburg. Die gegenständliche Nutzung ist Wohnbau, Gewerbe und Landwirtschaft. Auch hier gibt es zwei Autobahnanschlüsse und eine gute öffentliche Nahverkehrsanbindung. Vier Bauvorhaben für unterschiedliche Zwecke (Sportanlage, Hotel, Wohnungseigentum und Busterminal) sind hinsichtlich ihrer Energieversorgung dezentral zu betrachten. Für die Sportanlage Lieferung wurde beim Klima-Aktiv-Fonds des Bundes um eine Förderung als Smart City Demoprojekt angesucht. Aufgrund der Tatsache, dass hier konkrete Projekte vorliegen und sich teilweise bereits in Umsetzung befinden, fiel die Wahl des Untersuchungsgebietes in Salzburg auf **Liefering**.

### 3.5 Datenquellen zur Erstellung der hydrogeologischen Modelle

In Tabelle 3.6 sind die verwendeten Datenquellen als Übersicht für die Erstellung der hydrogeologischen Modelle angegeben. Sie dienen als Basis für die Standortsimulationen in Wien und Salzburg.

**Tabelle 3.6: Übersicht der verwendeten Datenquellen zur Erstellung der hydrogeologischen Modelle in Wien [W] und Salzburg [S]**

Datensatz Nr.	Datensatz	Datenquelle	Aktualität	Anmerkung
WIEN - Allgemein				
[W1]	Vereinfachte Hydrogeologische Karte Wien	GBA	2004	Nach (Brix, 1972), Geologische Karte der Stadt Wien 1:50.000, modifiziert durch (Pfleiderer & Hofmann, 2004)

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

[W2]	Digitaler Erdwärmepotenzialkataster Wien	Stadt Wien	2016	<a href="https://www.wien.gv.at/umweltgut/public/">https://www.wien.gv.at/umweltgut/public/</a>
[W3]	Flächenwidmungs- und Bebauungsplan	Stadt Wien	2016	<a href="https://open.wien.gv.at/site/erweiterung-wmts/">https://open.wien.gv.at/site/erweiterung-wmts/</a>
[W4]	Flächen-Mehrzweckkarte	Stadt Wien	2016	<a href="https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/fmzk/">https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/fmzk/</a>
[W5]	Digitales Geländemodell			<a href="https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/dgm/">https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/dgm/</a>
[W6]	Hydrogeologische Schnitte Wien	MA45	2001	Aus Studie „Schutz von Tiefengrundwässern“ (Nowy & Gruppe Wasser, 2001)
[W7]	Struktur der Tertiäroberkante	GBA, MA29	2004	Aus Projekt WC-21 „Digitaler angewandter Geo-Atlas der Stadt Wien – HYDRO-Modul (Pilotphase)“ (Pfleiderer & Hofmann, 2004)
[W8]	Grundwasserschichtenpläne linkes Donauufer Wien	GBA, MA29	2004	Aus Projekt WC-21 „Digitaler angewandter Geo-Atlas der Stadt Wien – HYDRO-Modul (Pilotphase)“ (Pfleiderer & Hofmann, 2004)
[W9]	Metadaten geothermischer Nutzungen in Wien	MA45	2016	
[W10]	Metadaten der Grundwassermessstellen Wien	MA45	2016	
[W11]	Metadaten Baugrunderkaster Stadt Wien	MA29	2016	
<b>WIEN – Standort Oase22+</b>				
[W12]	Grundwassertemperaturen als Zeitreihe ausgewählter Pegel	MA45	2014	Pegel 22-118, 22-212
[W13]	Grundwasserspiegelhöhe als Zeitreihe ausgewählter Pegel	MA45	2016	60 Pegel im 22. Bezirk
[W14]	Ausgewählte Stammbblätter des Wasserbuches	MA45	2016	23 Stammbblätter
[W15]	Ausgewählte Bohrprofile aus dem Baugrunderkaster	MA29	2016	48 Bohrprofile
[W16]	Temperaturprofilmessungen umliegender Pegel und der Erdwärmesonde „Oase22+“	DEGENT-NET (AIT)	2017	Messkampagne im Zuge von DEGENT-NET
[W17]	Bericht des Thermal Response Test Oase22+	Kallco	2017	Siehe (Angerer, 2017)
[W18]	Bebauungsplan „Tardi“	Werkstatt Grinzing WGA ZT GmbH	2016	„Masterplan Oase22+“
[W19]	Bebauungsplan „WSE“	MG immo GmbH	2016	„Oase 22+ _Überarbeitung städtebauliches Konzept Lageplan / Nutzflächenaufstellung“
<b>SALZBURG</b>				
[S1]	Bohrkataster Salzburg	Landesgeologischen Dienst Salzburg & Magistrat Stadt Salzburg	2016	Erhebung von Bohrungen im engeren und weiteren Untersuchungsgebiet aus Bohrkatastern (2006-2016)
[S2]	Grundwassermodell	GEOCONSULT ZT GmbH	2007	Numerisches Grundwassermodell der Stadt Salzburg und Umgebung. Visual ModFlow Version 4.2.
[S3]	Grundwassermodell - Detailuntersuchung	GEOCONSULT ZT GmbH	2010	Regionales GW-Modell der Stadt Salzburg und Umgebung, Detailuntersuchung niedriger und hoher GW-Stand („HGW30“)
[S4]	Geologische Karte der Stadt Salzburg und Umgebung	GBA	1969	
[S5]	Grundwassergleichenpläne	Hitsch	1991	Grundwassergleichenpläne der Stadt Salzburg und Umgebung

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

[S6]	Daten Fließgewässer - Niederschlag und Verdunstung	Hydrographischer Dienst Salzburg	2016	Niederschlag, Verdunstung auf Tages- und Monatsbasis für den Zeitraum 1985 bis 2010
[S7]	Daten Fließgewässer – Wasserstand, Durchfluss	Hydrographischer Dienst Salzburg	2010	Wasserstand und Durchfluss der Fließgewässer Salzach, Saalach, Glan, Alterbach auf Stunden-, Tages- und Monatsbasis für den Zeitraum 1985 bis 2010
[S8]	Pegeldaten	Hydrographischer Dienst Salzburg	2016	Grundwasserstands- und Temperaturmessungen an allen verfügbaren Messstellen im Stadtgebiet Salzburg und Umgebung, Stichtagsmessungen und Datenloggeraufzeichnungen, teils ungeprüfte Daten
[S9]	Daten Fließgewässer - Temperatur	Hydrographischer Dienst Salzburg	2016	Wassertemperatur der Salzach auf Stundenbasis
[S10]	Abflussbeiwerte	Kanal und Gewässeramt	2010 2011	Abflussbeiwerte im Stadtgebiet Salzburg
[S11]	Digitales Geländemodell 10m	SAGIS	2005	<a href="https://www.salzburg.gv.at/sagis">https://www.salzburg.gv.at/sagis</a>
[S12]	DGM Digitales Geländemodell 1m (Laser)	SAGIS	2007	<a href="https://www.salzburg.gv.at/sagis">https://www.salzburg.gv.at/sagis</a>
[S13]	Österreichische Basiskarte 1:50000	SAGIS	2005	<a href="https://www.salzburg.gv.at/sagis">https://www.salzburg.gv.at/sagis</a>

### 3.6 Schematisches Konzept Wien-Salzburg im Vergleich

Abbildung 3.11 zeigt die schematischen Blockschaltbilder der geothermalen Wärmeversorgungs-konzepte für die beiden ausgewählten Standorte im Vergleich. Die Grafik beinhaltet bereits Ergebnisse, die in den nachfolgenden Kapiteln erläutert werden.

In **Wien** liegt der Fokus auf der Realisierung der Vollversorgung der Gebäude mit Anergie für die Wärmepumpen. Dafür wird vorwiegend die Abwärme des nächstgelegenen Rechenzentrums ins Netz eingespeist und mit Hilfe des Erdsondenfeldes, vor allem über den Sommer, zwischengespeichert. Eine zusätzliche Grundwasserwärmepumpe nutzt zudem das lokal anthropogen erwärmte Grundwasser und speist zusätzlich Wärme ins Netz ein. Die Grundwassernutzung wurde bewusst überdimensioniert, um die Grundwasseranlage gleichzeitig als kurzfristige Ausfallsicherheit des Rechenzentrums nutzen zu können. Im Sommer kann auch aus den Gebäuden Abwärme durch moderate Kühlung gewonnen und ins Netz eingespeist werden. Dabei wird „free cooling“ angewendet, wobei nur Pumpstrom und keine Kältemaschine für die Kühlung erforderlich ist. Die bestehende Kältemaschine des Rechenzentrums wird nur eingesetzt, wenn der Erdsondenspeicher voll aufgeladen ist, damit das Erdsondenfeld auf eine möglichst ausgeglichene Jahresenergiebilanz zwischen Heizen und Kühlen ausgelegt werden kann. Für den ausgewählten Standort in Wien wird im nachfolgenden Kapitel eine detaillierte Netzplanung vorgenommen, inklusive CO<sub>2</sub>-Bilanzierung und detaillierter Wirtschaftlichkeitsanalyse.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

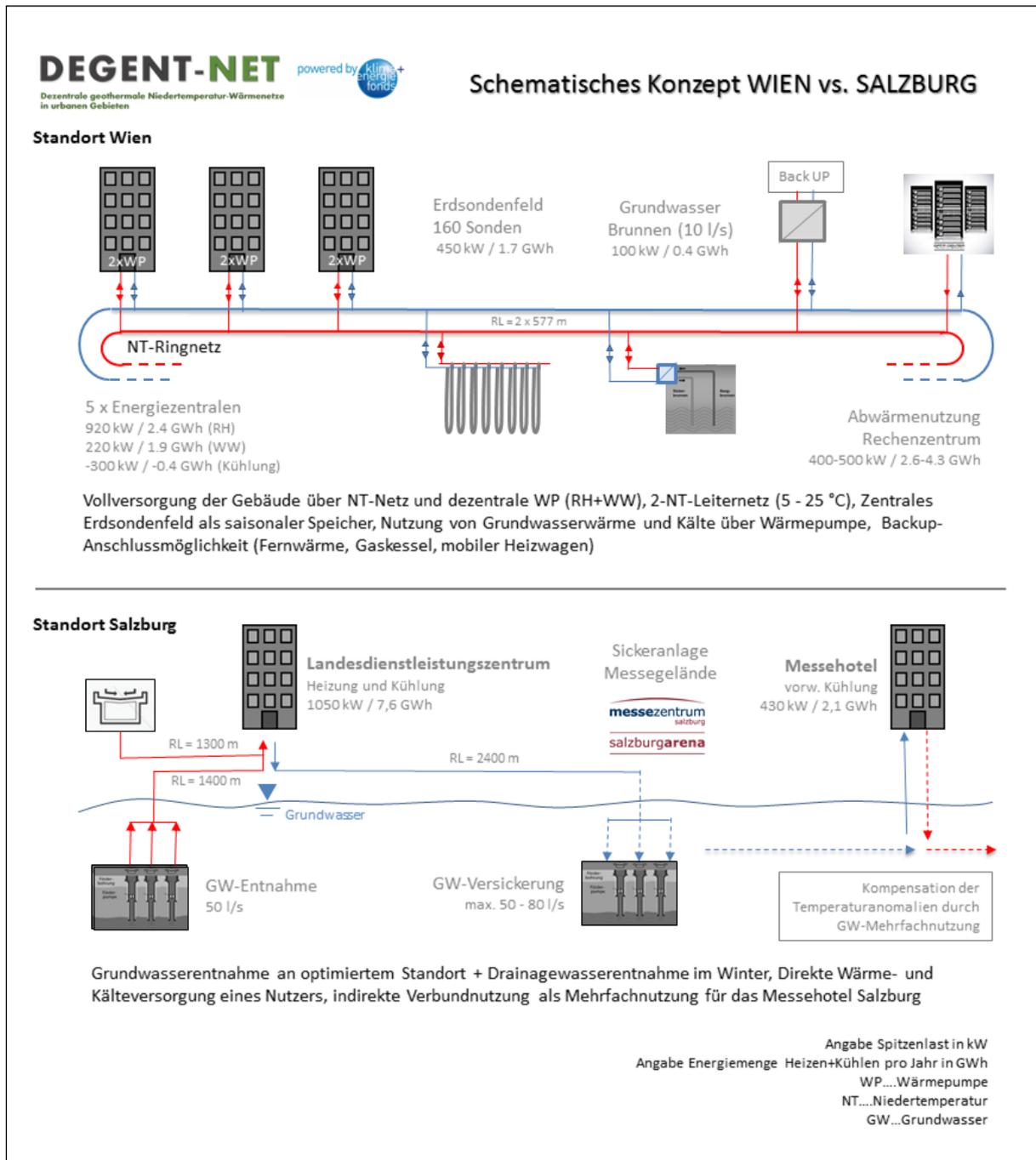


Abbildung 3.11 Schematische Konzepte Wien und Salzburg im Vergleich

In **Salzburg** liegt der Fokus auf einer optimierten thermischen Grundwassernutzung. Dabei werden die Brunnenstandorte auf Lokationen mit verbessertem Energiepotenzial gelegt, eine vorhandene Grundwasserdrainage als Abwärme genutzt und der Potenzialgewinn durch Grundwasser-Mehrfachnutzung untersucht. Die Ergebnisse werden ebenfalls einer groben Wirtschaftlichkeitsbewertung unterzogen. Die Arbeiten für den Standort Salzburg sind im Kapitel 5 im Detail angeführt.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

Ein Vergleich der wichtigsten Komponenten ist in Tabelle 3.7 anzustellen.

**Tabelle 3.7: Vergleich der Komponenten am Standort Wien und Salzburg**

WIEN	SALZBURG	KOMPONENTEN
+	-	Zweileiter-NT-Netz (Anergienetz)
-	+	Grundwasserverbund- und Mehrfachnutzung
-	+	Einzelnutzer
+	-	Heizzentralen
+	-	Erdsondenspeicher
+	+	dezentrale Wärmepumpen
+	+	Grundwassernutzung
+	+	Zentrale Netzsteuerung
+	-	Backup Anschluss
+	+	Anbindung Abwärmequelle
+	-	Auslegung der geothermischen Anlage auf nullbilanzierte Jahresenergiemenge

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

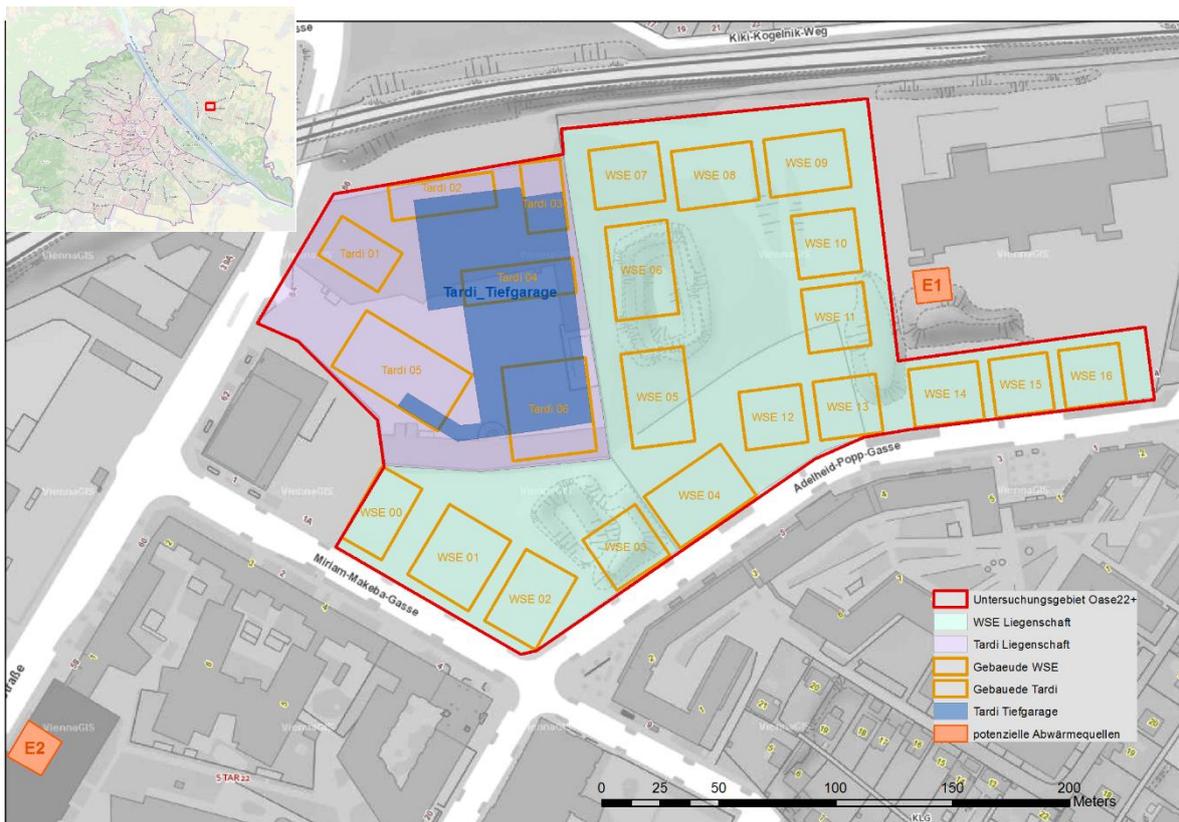
## 4 Standort Wien – Oase 22 +

Dieses Kapitel beschreibt den ausgewählten Standort in Wien. Es beinhaltet die wichtigsten strukturellen, technischen und hydrogeologischen Standortinformationen, die Konzeptvarianten und Systemauslegung, eine technische Beschreibung der Komponenten sowie die Modelle und Simulationen. Am Ende werden die Ergebnisse aus der voll-dynamischen Netzsimulation, eine wirtschaftliche Bewertung und die CO<sub>2</sub>-Bilanz dargestellt.

### 4.1 Strukturelle und technische Standortinformationen

Nachfolgend sind generelle Informationen zum ausgewählten Standort in Wien und eine Beschreibung der identifizierten umliegenden Abwärmequellen aufgeführt.

#### 4.1.1 Lage- und Bebauungsplan



**Abbildung 4.1: Übersicht des Untersuchungsgebietes in Wien Oase 22+ mit den beiden Grundstücks-Liegenschaftseigentümern WSE und Tardi, den aktuellen oberirdischen Umrissen der geplanten Wohngebäude, die Tiefgarage auf Tardi und die beiden potenziellen Abwärmequellen (E1, E2) in unmittelbarer Umgebung. (Hintergrundkarte = Mehrzweckkarte der Stadt Wien [W4])**

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Abbildung 4.1 zeigt eine Übersicht des ausgewählten Standorts in Wien. Das Gebiet kann auf zwei Liegenschaftseigentümer aufgeteilt werden (WSE und Tardi). Die Lage der geplanten oberirdisch sichtbaren Gebäudeteile (Stand Jänner 2017), die Lage der Tiefgarage auf Tardi und die beiden Rechenzentren als potenzielle Wärmeeinspeiser E1 und E2 sind eingezeichnet.

**Tabelle 4.1: Größeneinteilung und aktueller Bebauungsplan der Oase22+, aufgeteilt auf die beiden Liegenschaften WSE und Tardi**

Liegen- schaft	Gebäude- bezeichnung	BGF Wohnen m <sup>2</sup>	BGF Gewerbe m <sup>2</sup>	BGF Gesamt m <sup>2</sup>	Anzahl Wohnungen <b>75m<sup>2</sup>/Whg</b>	Anteil Gewerbe %	NFL Wohnen m <sup>2</sup>												
Tardi	Gebäude Nr. 1-6	27821	6778	34599	278	24	20866												
WSE	Baufeld A - Gebäude 00-02	7320	1725	9045	73	19	5490												
WSE	Baufeld B - Gebäude 03-07	21123	934	22057	211	4	15842												
WSE	Baufeld C - Gebäude 08-13	21570	758	22328	216	3	16178												
WSE	Baufeld D - Gebäude 14-16	7855	0	7855	79	0	5891												
<b>Gesamt</b>	<b>Gesamt</b>	<b>85689</b>	<b>10195</b>	<b>95884</b>	<b>857</b>		<b>64267</b>												
Tardi	<b>alle Gebäude</b>	<b>27821</b>	<b>6778</b>	<b>34599</b>	<b>278</b>	<b>24</b>	<b>20866</b>												
WSE	<b>alle Gebäude</b>	<b>57868</b>	<b>3417</b>	<b>61285</b>	<b>579</b>	<b>6</b>	<b>43401</b>												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"><b>Unterteilung BGF Gewerbe</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>WSE</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>soziokulturelle Einrichtung</td> <td>658</td> </tr> <tr> <td>Handel / Gewerbe</td> <td>1304</td> </tr> <tr> <td>Kindergarten</td> <td>1455</td> </tr> <tr> <td><b>Gesamt</b></td> <td><b>3417</b></td> </tr> </tbody> </table>								<b>Unterteilung BGF Gewerbe</b>		<b>WSE</b>		soziokulturelle Einrichtung	658	Handel / Gewerbe	1304	Kindergarten	1455	<b>Gesamt</b>	<b>3417</b>
<b>Unterteilung BGF Gewerbe</b>																			
<b>WSE</b>																			
soziokulturelle Einrichtung	658																		
Handel / Gewerbe	1304																		
Kindergarten	1455																		
<b>Gesamt</b>	<b>3417</b>																		

### 4.1.2 Abwärmequellen

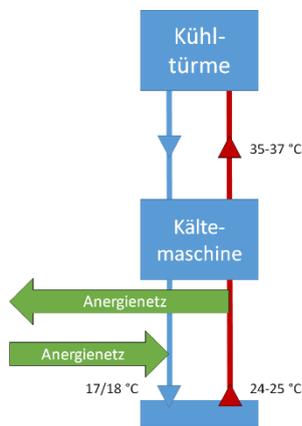
Als Abwärmequelle in unmittelbarer Umgebung konnten zwei Rechenzentren (E1 und E2 in Abbildung 4.1) identifiziert werden. Diese haben ganzjährig Kühlbedarf bzw. produzieren Abwärme auf niederem Temperaturniveau, welche zurzeit in die Umgebungsluft abgegeben wird. Zusätzlich kann und sollte die Temperierung der Wohnungen oder die Kühlung für Gewerbebezwecke (z.B. Supermarkt, Kindergarten) als saisonale Abwärme für die Regenerierung des Erdsondenfeldes genutzt werden.

Durch Koppelung des Rechenzentrums mit dem NTWK-Netz wird es möglich die anfallende Abwärme des Rechenzentrums für die Gebäudeheizung und die Warmwasserbereitung zu nutzen. Dem Wärme-Einspeiser wird folglich eine günstige Kühlleistung zur Verfügung gestellt, wodurch sich dessen Leistungsbedarf der Kältemaschinen direkt reduziert.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 4.1.2.1 Rechenzentrum Raiffeisen, Einspeiser E1



**Abbildung 4.2**  
**Schematische**  
**Darstellung des**  
**Kühlkreislaufes des**  
**Rechenzentrums**

Der Kontakt zu den Betreibern des Rechenzentrums der Raiffeisen erfolgt über die Wien Energie. Dort gibt es bereits Konzepte zur Nutzung der Abwärme zur direkten Einspeisung in das Fernwärmenetz, z.B. über eine Großwärmepumpe.

Nach deren Angaben benötigt das Rechenzentrum 17 - 18 °C für die Serverkühlung und liefert 24 - 25 °C. Eine Kältemaschine gibt die Abwärme zurzeit über Dachkühler an die Luft ab. Die Kältemaschine läuft ganzjährig mit einer Leistung von ca. 500 kW. Das Rechenzentrum verfügt über Kältemaschinen, welche die notwendige Kühlleistung zur Verfügung stellen. Der Kaltwassersatz, mit dem die Serverräume gekühlt werden beträgt hier 18/25 °C.

Zur Anbindung der Abwärme an das NTWK-Netz wird die Wärme am besten direkt von den Servern über einen Wärmetauscher abgenommen, siehe Abbildung 4.2. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass die Wärme nur abgenommen werden kann, wenn der Kaltleiter des NTWK-Netzes unterhalb 17 °C liegt. Liegt sie darüber muss konventionell mit der vorhandenen Kältemaschine gekühlt werden.

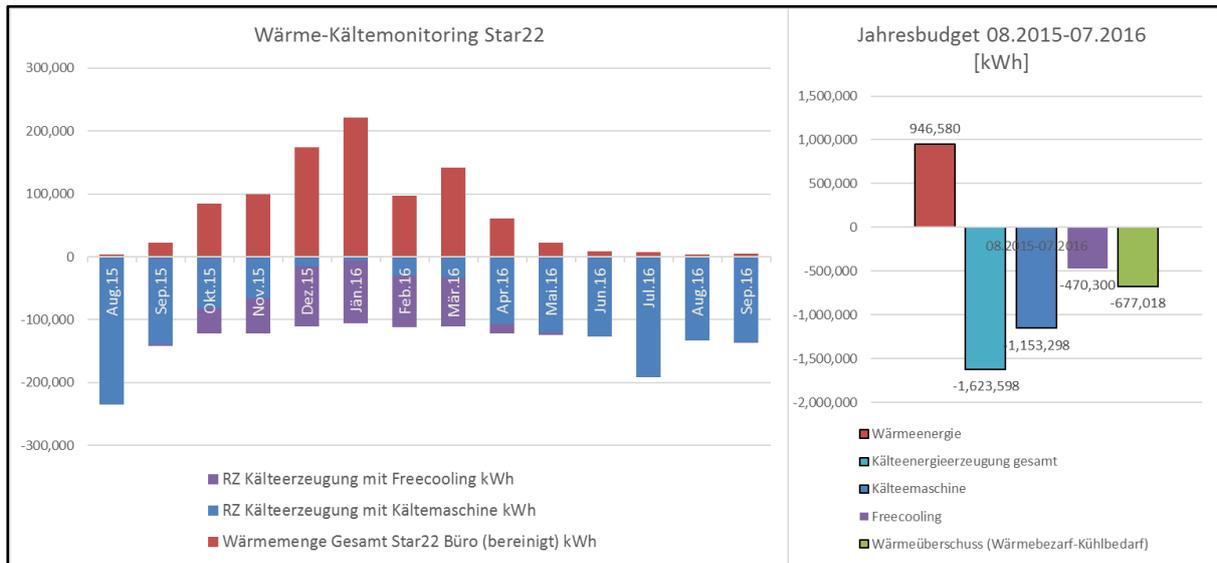
### 4.1.2.2 Rechenzentrum MA14, Einspeiser E2

Von der Stadt Wien (MA14) wurden freundlicherweise technische Informationen und Daten des Wärme- und Kältemonitorings zur Verfügung gestellt. Das Rechenzentrum benötigt ca. 70 - 90 MWh/Monat (100 - 120 kW), relativ konstante Kühlleistung. Die Kühlanlagen bestehen aus 2 Anlagen mit 800 kW, die in Teillast gefahren werden. Im Winter wird „free cooling“ mit der kalten Umgebungsluft betrieben. Die Temperatur der Kühlanlage ist auf 13,5/19 °C eingestellt. Zusätzlich zum Rechenzentrum wird das Bürohaus über Betonkernaktivierung vorwiegend im Sommer gekühlt. Der Bedarf korreliert mit der Außentemperatur. Die Bürokühlung läuft auf dem Temperaturniveau 21/26 °C für die Raumkühlung und 10/14 °C für kleinere Serverräume.

Die Monitoringdaten der Wärmebereitstellung für die Bürogebäude und die Kälteerzeugung sind in Abbildung 4.3 grafisch dargestellt. 946 MWh/a wurden im letzten Jahr von der Fernwärme bezogen und 1624 MWh/a für die Kühlung benötigt. Das Gebäude könnte sich, mit geeignetem Wärmespeicher vorausgesetzt, selbst mit einem Wärmeüberschuss von 677 MWh beheizen. Die Kühlanlage läuft mit 470 MWh/a über „free cooling“ und 1153 MWh/a über die Kältemaschine.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4.3: Wärme- und Kältemonitoring des Star22 Bürogebäude und der Kälteerzeugung für das Rechenzentrum und Gebäudekühlung**

Mit dem Grundwasser kann lt. Angaben der Betreiber nicht direkt gekühlt werden, da das Grundwasser bei der Entnahme zwischen 15 und 23 °C hat. Das Rechenzentrum besitzt ein Kühlsystem mit Luftkühlung am Dach des Gebäudes mit zusätzlicher Verwendung des Grundwassers durch Aufsprühen und Nutzung der Verdampfungsenthalpie.

### 4.2 Hydrogeologische und geothermische Standortinformationen

Die Hydrogeologie am Standort Oase22+ kann in erster Näherung durch ein Zweischichtmodell beschrieben werden. Die Sedimentablagerungen der Donau der letzten 1,8 Mio. Jahre des Quartärs reichen bis in eine Tiefe von ca. 15 m unter Gelände, bestehend aus Kiesen und Schotter, mit lokalen dazwischenliegenden sandigen Einlagen. Dieser grundwasserführende Aquifer eignet sich gut zur geothermischen Grundwassernutzung. Die nutzbare Grundwassermächtigkeit beträgt zwischen 5 und 8 m, der Durchlässigkeitsbeiwert liegt im Bereich  $10^{-3}$  m/s und das Grundwassergefälle bei 0,05 %. Daraus resultiert eine Fließgeschwindigkeit (Abstandsgeschwindigkeit) zwischen 500 und 1000 m pro Jahr. Darunter befinden sich bis zu 4 Mio. Jahre alte sedimentäre Ablagerungen der Paratethys des Neogen, die meist aus einer Abfolge aus Schluffen und Sanden besteht. Die neogenen Sande können in Kontakt mit dem quartären Kiesaquifer stehen (Nowy & Gruppe Wasser, 2001) jedoch mit einer sehr geringen Durchlässigkeit und Fließbewegung (Größenordnung 1 - 20 m/a).

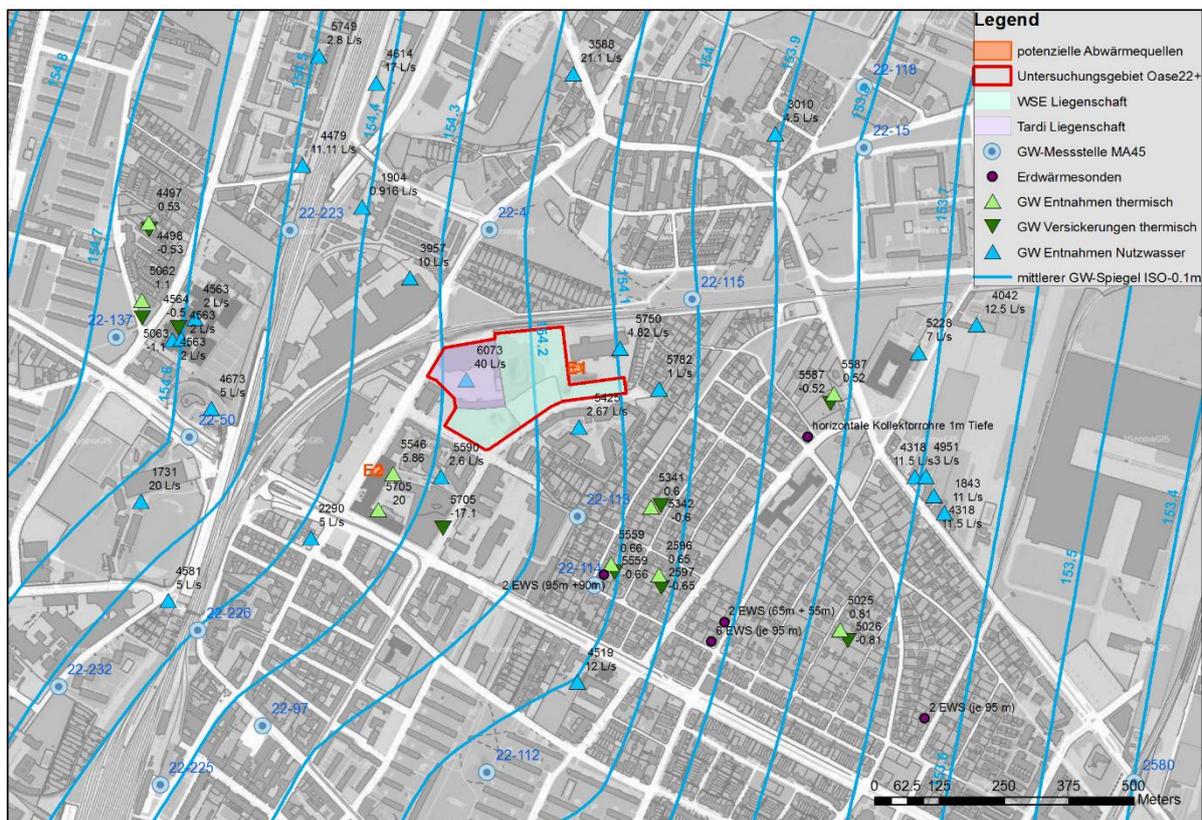
Aus hydrogeologischer Sicht und zur thermischen Nutzung des Grundwassers sind die Parameter Grundwasserspiegel, Aquiferunterkante (entspricht meist Neogenoberkante), hydraulische Durchlässigkeit und Porosität von Interesse. Das erstellte hydrogeologische 3D-Modell bildet die Grundlage für die späteren Simulationen und ist für das Gebiet um die Oase22+ in Abbildung 4.5 in Kartenform dargestellt. Die Datengrundlage zur Erstellung der

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Karten bilden die Daten [W1], [W4], [W6], [W7], [W8], [W10], [W11], [W13], [W15], siehe Tabelle 3.6.

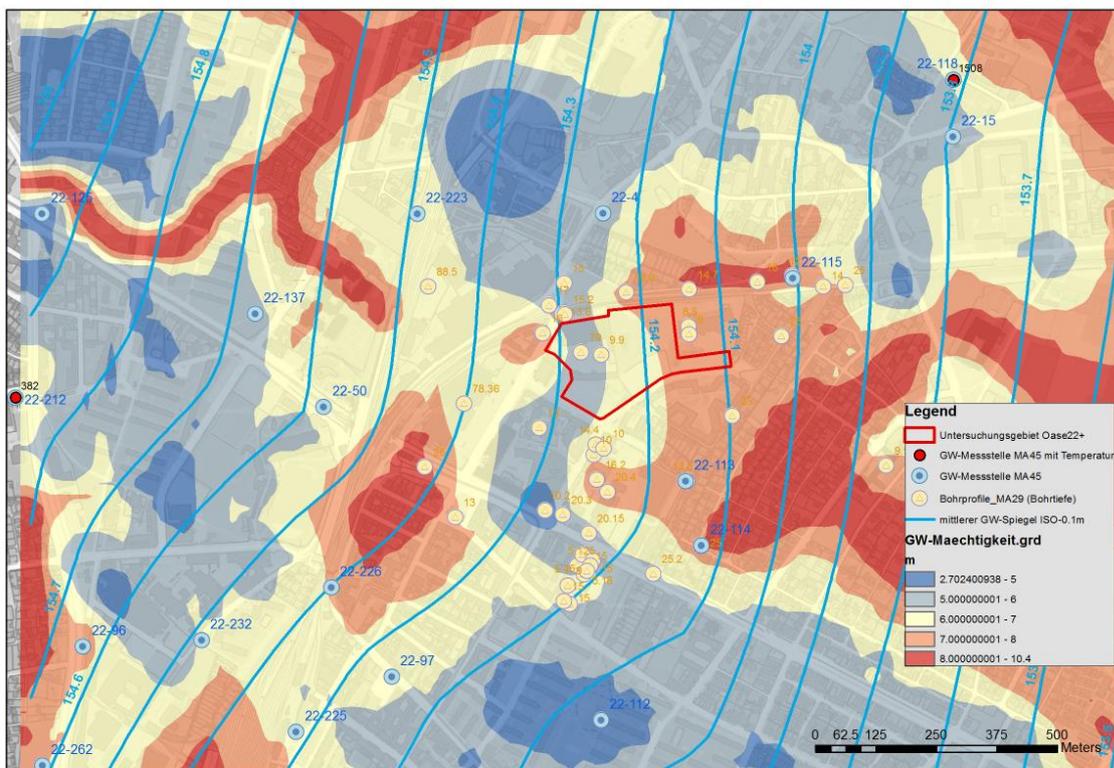
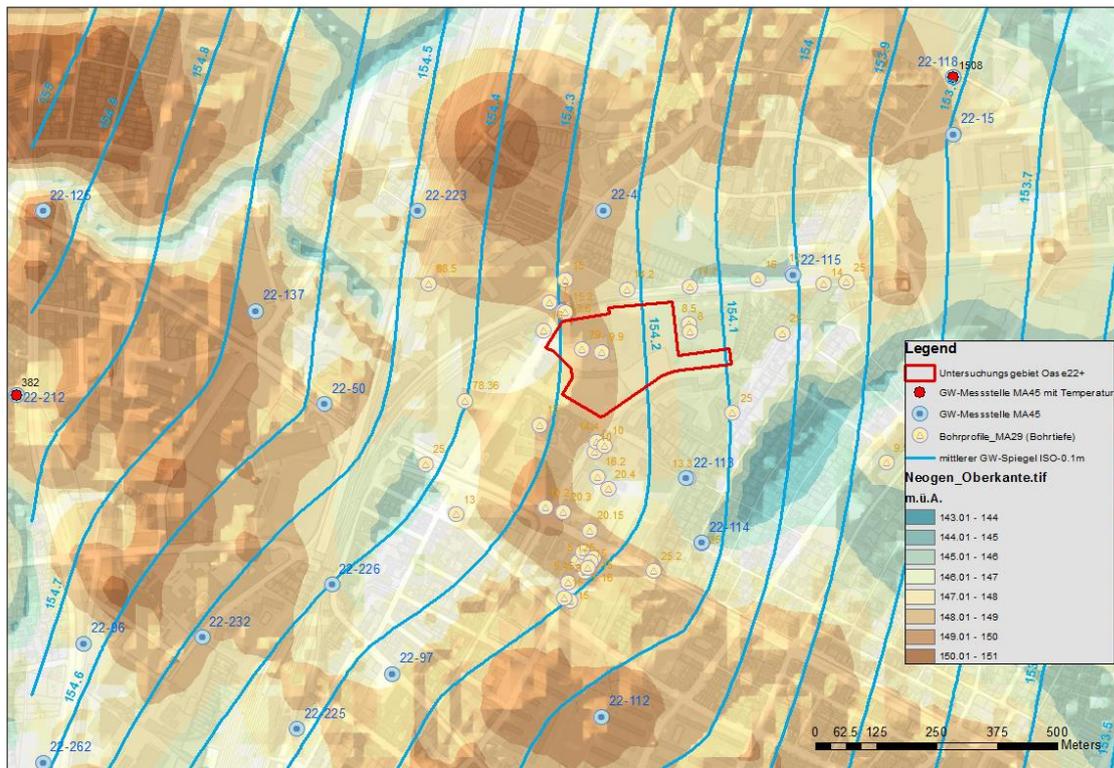
Abbildung 4.4 gibt einen Überblick über die benachbarten Wasserrechte nach Datenquelle [W4], [W8], [W9], [W10], [W13], [W14], siehe Tabelle 3.6. Am südwestlich angrenzenden Gelände befindet sich eine Anlage für die Gebäudekühlung mit relativ großer Leistung, wodurch die Grundwassertemperatur am Gebiet Oase22+ beeinflusst sein könnte. Im Abstrom des Wiener Untersuchungsgebietes befinden sich mehrere bestehende geothermische Nutzer (5341-5342, 5559, 2596, 5587, 5025-5026 und zwei Erdsondenanlagen). Diese dürfen durch eine neue geothermische Anlage am Untersuchungsgebiet hydraulisch und thermisch in ihrer Funktion nicht beeinflusst werden (siehe Kapitel 3.2). Die Nutzwasser-Rechte, als blaue Dreiecke dargestellt, dürfen hydraulisch in ihrer Funktion nicht beeinträchtigt werden.



**Abbildung 4.4: Bestehende geothermische Nutzungen aus dem Wasserbuch des hydrografischen Dienstes Wien mit Angabe der Postzahl und des genehmigten Konsens in l/s.**

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4.5: Hydrogeologisches Modell Oase22+ in Kartenform:** Neogenoberkante als Aquiferunterkante (oben) und Grundwassermächtigkeit (unten). Zusätzlich sind die Lage der umliegenden Bohraufschlüsse, jene der Grundwassermessstellen und der mittlere Grundwasserspiegel angegeben.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

## 4.2.1 Hydrogeologisches 3D-Modell

Für die numerischen Simulationen wurde ein hydrogeologisches 3D-Modell mit vier Schichten erstellt. Tabelle 4.2 gibt einen Überblick über die mittleren Tiefen und Mächtigkeit am Gelände und den gewählten thermischen und hydraulischen Eigenschaften. Die mittlere konduktive Wärmeleitfähigkeit von Geländeoberkante bis 150 m Tiefe wurde auf **1,9 W/m/K** gesetzt.

**Tabelle 4.2: Geologisches Vier-Schicht-Modell mit Abschätzung der thermischen und hydraulischen Parameter für die Modellerstellung mit Angaben zur Wärmeleitfähigkeit (WLF), spez. Wärmekapazität (WKAP), Temperaturleitfähigkeit (TLFK) und des Durchlässigkeitsbeiwertes (kf-Wert).**

Geologisches Modell (vereinfacht)	Tiefe ab m.ü.A.	Tiefe bis m.ü.A.	Tiefe ab m.u.GOK	Mächtigkeit m	WLF W/m/K	WKAP MJ/m <sup>3</sup> /K	TLFK 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	Kf-Wert m/s	Porosität %
Quartär – Deckschicht (teilgesättigt)	159,2	155	0	4,2	1,3	1,5	0,87	1E-04	20
Quartär – Kiesaquifer (wassergesättigt)	155	148	-4,2	7	1,81	2,18	0,83	3E-03	25
Grundwasserspiegel	154,2		-5						
Neogen Schicht1	148,0	127,5	-11,2	20,5	2,05	2,04	1,00	1E-04	20
Neogen Schicht2	127,5	-12,5	-31,6	140	1,9	2,36	0,81	1E-06	20

## 4.2.2 Wärmeleitfähigkeit aus Bohrprofil und Thermal Response Test

Am 8.2.2017 wurde direkt am Gelände der Oase22+ eine Erdwärmesonde komplettiert und von 15.02.2017 - 17.02.2017 ein 48-stündiger Thermal Response Test (TRT) durchgeführt, siehe (Angerer, 2017). Als Ergebnisse des Thermal Response Test wurden eine mittlere ungestörte Untergrundtemperatur von 13,1°C, eine **effektive mittlere Wärmeleitfähigkeit von 1,93 W/(m K)** ermittelt.

## 4.2.3 Temperaturdaten des Untergrundes des Standortes Wien

In Abbildung 4.5 sind die Grundwassermessstellen des hydrografischen Dienstes verzeichnet. Bei dem Pegel 22-212 und 22-218 werden in wöchentlichem bzw. monatlichem Abstand die Grundwassertemperaturen in verschiedenen Tiefen genommen. Für die Kalibrierung des Modells wurde die Station 22-212 in ca. 1000 m Entfernung der Oase22+ ausgewählt. Die Daten liegen für den Zeitraum 2004-2014 vor und sind im Anhang A1 grafisch dargestellt. Die Grundwassertemperaturen des oberflächennahen Aquifers zeigen typisches Verhalten eines vom Klima beeinflussten Aquifers mit der Abnahme der Temperaturschwankung und Erhöhung der Phasenverschiebung mit der Tiefe. An dem Pegel ist keine Tendenz der Zu- oder Abnahme des Mittelwertes zu beobachten. Eine Kosinus-Anpassung der mittleren

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

Grundwassertemperatur ergibt einen Mittelwert von 13,5 °C, eine Amplitude von 0,8 °C und einer Phasenverschiebung im Bezug zur Lufttemperatur von 85 Tagen bzw. 2,8 Monate.

Bei den im Projekt durchgeführten Grundwasserbeprobungen wurden auch Temperaturprofile einiger umliegender Grundwassermessstellen am Stichtag 3.3.2017 gefahren. Die Daten sind im Anhang A1 vergleichend dargestellt und liegen im Bereich zwischen 11 °C und 15 °C. Pegel 22-4 ist offensichtlich massiv thermisch beeinflusst, möglicherweise von der nahegelegenen Fernwärmeleitung.

Zur Berücksichtigung des klimatischen Einflusses auf den Untergrund wurden die Bodentemperaturmessdaten der Station Donaufeld ausgewählt. Dabei wurde ein Referenzjahr der letzten 20 Jahre (1993-2013) aus den Messwerten der Bodentemperatur gebildet und eine Kosinus-Anpassung vorgenommen, siehe Anhang A1. Der Mittelwert der Oberflächentemperatur liegt demnach bei 12,15 °C mit einer Schwankung 11,2 °C und einer Phasenverschiebung im Bezug zum Jahresbeginn mit 20 Tagen.

### **4.2.4 Vergleich der Temperaturdaten und Abschätzung der anthropogenen thermischen Beeinflussung**

Die oberflächennahen Erdschichten und somit auch die Grundwassertemperatur werden von der periodisch schwankenden Oberflächentemperatur (Lufttemperatur) beeinflusst. Da die Aquiferbasis am Standort Wien in einer Tiefe von ca. 11 m unter Gelände liegt, befindet sich das Grundwasser voll im Einflussbereich der Oberflächentemperatur, die exponentiell abklingend bis in eine Tiefe von ca. 10 m reicht. Es kann daher für den Wiener Standort angenommen werden, dass die ungestörte Grundwassertemperatur mit der Oberflächentemperatur mitschwankt. Eine Simulation zur Kalibrierung des Modells bestätigt diese Aussage, da die Amplitude und die Phasenverschiebung mit einer nahegelegenen Grundwassermessstelle der MA 45 sehr gut übereinstimmen. Lediglich der Jahresmittelwert der gemessenen Grundwassertemperaturen liegt etwa um etwa 1,1 °C über dem Vergleich mit dem Modell, wo nur die Oberflächentemperatur einen Einfluss auf das Grundwasser hat.

Da die Grundwassermessstation nicht direkt am Projektgelände liegt, sondern 1 km davon entfernt, kann die modellierte Grundwassertemperaturschwankung des Oberflächeneffekts mit zwei weiteren Messwerten verglichen werden. Einerseits durch Monitoring der Brunnentemperatur des Entnahmebrunnens 5546 am Nachbargrundstück (16 - 22 °C, siehe Anhang A1) und der Temperaturprofilmessung der Erdwärmesonde direkt am Gelände (Grundwassertemperatur ca. 14,5 °C am Stichtag 14.3.2017, siehe Anhang A1). Die hohen Temperaturen im Brunnen 5546 könnten von der bestehenden geothermischen Kühlanlage 5705, die sich unmittelbar daneben befindet, herrühren. Das Temperaturprofil der Erdwärmesonde ist im Grundwasserbereich zum Stichtag um weitere 1 °C erwärmt, also im Vergleich zur ungestörten Grundwassertemperatur des Modells um ca. 2,1 °C.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Durch Interpretation der Messdaten des leicht erwärmten Grundwassers am Gelände können zwei temperaturbeeinflussende Faktoren identifiziert werden:

- 1) Wärmeeintrag durch Bauwerke (Oberflächenversiegelung, Bauwerksgrundierungen, Kanaleinbauten, usw.)
- 2) Wärmeeintrag von nahegelegenen thermischen Grundwassernutzungen für Kühlzwecke.

**Zusammenfassend kann für die Grundwassertemperatur folgendes festgehalten werden:**

- Die ungestörte Grundwassertemperatur schwankt im Jahresrhythmus mit der Oberflächentemperatur mit und liegt im Mittel bei etwa 12,2 °C.
- Die gemessenen Grundwassertemperaturen der nächst gelegenen Grundwasser-Messstation (Entfernung ca. 1km) sind im Mittel um 1,1 °C erhöht. Dieser Effekt kann als Wärmeeintrag durch Bauwerke interpretiert werden.
- Die gemessenen Stichtagstemperaturen direkt am Grundstück zeigt eine weitere Erwärmung um mindestens 1 °C, die der benachbarten thermischen Grundwassernutzung zugeordnet wird.
- Die beobachtete erhöhte Grundwassertemperatur am Gelände von etwa 2 °C legt aus ökologischer Sicht eine neue thermische Grundwassernutzung hauptsächlich für Heizzwecke nahe, womit das Grundwasser wieder abgekühlt werden würde. Der Wärmehalt der in den Poren des Aquifers befindliche Wassermenge unterhalb des betrachteten Grundstücks (Liegenschaft WSE) beträgt ca. 270 MWh. Dieser Richtwert kann als Bilanzüberschuss pro Jahr für eine neue geothermische Brunnenanlage empfohlen werden. Eine neue Anlage mit mehrheitlicher Kühlnutzung kann am Standort dezidiert nicht empfohlen werden.

### 4.2.5 Standortbewertung Geothermie

Am Standort Wien „Oase 22+“ kann ein potenter ungespannter oberflächennaher Grundwasserkörper zur geothermischen Nutzung mittels Wasser-Wasser-Wärmepumpe genutzt werden. Bei der Bemessung der Anlage muss um eine wasserrechtliche Bewilligung angesucht werden, wobei speziell auf die umliegenden Wasserrechte Rücksicht genommen werden muss, wie in Kapitel 3.2 beschrieben. Als Richtwert für eine Beeinträchtigung gelten demnach 1 °C thermisch und 10 cm hydraulisch. Aufgrund der beobachteten erhöhten Grundwassertemperatur von ca. 2 °C wird die Dimensionierung einer neuen thermischen Grundwassernutzung am Gelände der Oase22+ für überwiegende Heizzwecke empfohlen (Jahresbilanzüberschuss Wärme 0 – 270 MWh/a).

Der Errichtung einer geothermischen Anlage mittels Erdsonden oder Energiepfählen am Standort ist keine Einschränkungen bekannt. Bei der Testbohrung am Standort in Wien sind

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

bis in eine Tiefe von 150 m keine Gasvorkommen, Anhydrite oder gespannte Grundwasservorkommen angetroffen worden

### 4.2.6 Erhebung Grundwasserparameter Wien

Tabelle 4.3 gibt einen Überblick über die am Standort Wien durchgeführten Beprobungen des Grundwassers. Die Messpunkte sind auf der Karte in Abbildung 4.1 zu sehen. Die detaillierten Messergebnisse sind in ANHANG A2 angeführt.

**Tabelle 4.3 Übersicht der im Projekt durchgeführten Grundwasser-Beprobungen in Wien**

Datum	Ort	Messpunkt	Temperaturmessung	Messung mit Multiparameter-sonde	Probenahme für Chemie, Isotopen und Mikrobiologie
24.11.2016	Wien	Rechenzentrum E2	x	-	X
24.11.2016	Wien	22-113	-	x	X
24.11.2016	Wien	22-114	-	x	X
24.11.2016	Wien	22-137	-	x	X
24.11.2016	Wien	22-50	x	-	X
02.03.2017	Wien	EWS Oase22+	x	-	-
02.03.2017	Wien	22-118	x	-	-
02.03.2017	Wien	22-4	x	-	-
02.03.2017	Wien	22-223	x	-	-
02.03.2017	Wien	22-137	x	-	-
02.03.2017	Wien	22-50	x	-	-
02.03.2017	Wien	22-114	x	-	-
02.03.2017	Wien	22-113	x	-	-
02.03.2017	Wien	22-112	x	-	-

Die beprobten Aquiferbereiche werden derzeit zwar nicht zur Trinkwasserversorgung genutzt, dennoch werden die Vorgaben der Trinkwasserverordnung in der gültigen Fassung als Orientierungs-/Bewertungshilfe herangezogen.

#### 4.2.6.1 Chemische Analytik

Bis auf die folgenden zwei Messpunkten sind aus chemischer Sicht alle beprobten Pegel in Wien unauffällig.

- Beim Pegel 22-113 (Wien) liegt die Ammoniumkonzentration von 0,69 mg/l über dem derzeit geltenden Indikatorparameterwert von 0,5 mg/l.
- Beim Pegel 22-50 (Wien) wurde eine Chloridkonzentration von 390 mg/l bestimmt und liegt damit über dem geltenden Indikatorparameterwert von 250 mg/l. Die Analyse auf Natrium lieferte eine Konzentration von 190 mg/l. Dieser Wert liegt zwar unter dem derzeit geltenden Indikatorparameterwert von 200 mg/l, das Ergebnis sticht jedoch aus den Gesamtanalysen heraus, worauf die erhöhten Werte an Natrium und Chlorid zurückzuführen sind, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden. Da der Pegel jedoch auf

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

befestigtem Grund direkt neben der Straßenbahnlinie 25 liegt, kann von einem oberirdischen Eintrag ausgegangen werden.

### 4.2.6.2 Mikrobiologische Untersuchungen

Aus mikrobiologischer Sicht entspricht keiner der beprobten Pegel in Wien den Kriterien der Trinkwasserverordnung der gültigen Fassung. Demzufolge müssten die Gewässer nach den Vorgaben der Trinkwasserversorgung als nicht oder nur bedingt genusstauglich bezeichnet werden.

Bei den Gesamtkeimzahlen KBE (koloniebildende Einheit) sind die Werte bei einer Bebrütungstemperatur von 22°C bei 3 Pegeln in Wien (22-50, 22-114 und 22-137) stark erhöht.

E. coli (in 1 von 5 Proben nachgewiesen), Coliforme (in 3 von 5 Proben nachgewiesen), Enterokokken (in 3 von 5 Proben nachgewiesen) und Pseudomonas aeruginosa (in 3 von 5 Proben nachgewiesen) deuten auf eine fäkale Verunreinigung bzw. auf das Vorhandensein von Krankheitserregern hin und dürfen nach den Vorgaben der Trinkwasserverordnung nicht vorhanden sein.

## 4.3 Netzauslegung, Systemdesign

### 4.3.1 Konzeptvarianten Wien

Drei Netzvarianten wurden in DEGENT-NET zur Einbindung der Abwärme in Erwägung gezogen, siehe Abbildung 4.6.

Variante 1 entspricht dem im Projektantrag beschriebenen System und sieht eine Vollversorgung der Gebäudewärmepumpen mit Anergie vor. Voraussetzung für diese Variante ist, dass genügend Abwärme übers Jahr vorhanden ist, um das Erdsondenfeld übers Jahr wieder vollständig aufladen zu können.

Variante 2 sieht ein Vierleitersystem zu den Technikzentralen vor, wobei die Fernwärme beispielsweise zur Warmwasserbereitung und als Ausfallsicherheit verwendet werden kann. Hierbei handelt es sich um eine doppelte Versorgung, da ein Fernwärmeanschluss und die Wärmepumpe benötigt werden.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Variante 3 ist aus den Kallco Arbeitstreffen<sup>1</sup> entstanden, wobei das Konzept des KlimaLoop® genutzt wird: Jedes Gebäude hat ein eigenes Erdsondenfeld, das vorwiegend zur Temperierung im Sommer mit „free cooling“ genutzt wird. Im Winter wird das Sondenfeld durch Verwendung zu Raumheizzwecken zumindest zu 75 % regeneriert. Ein 4-Leiternetz zu den Energiezentralen ist hier ebenfalls notwendig.

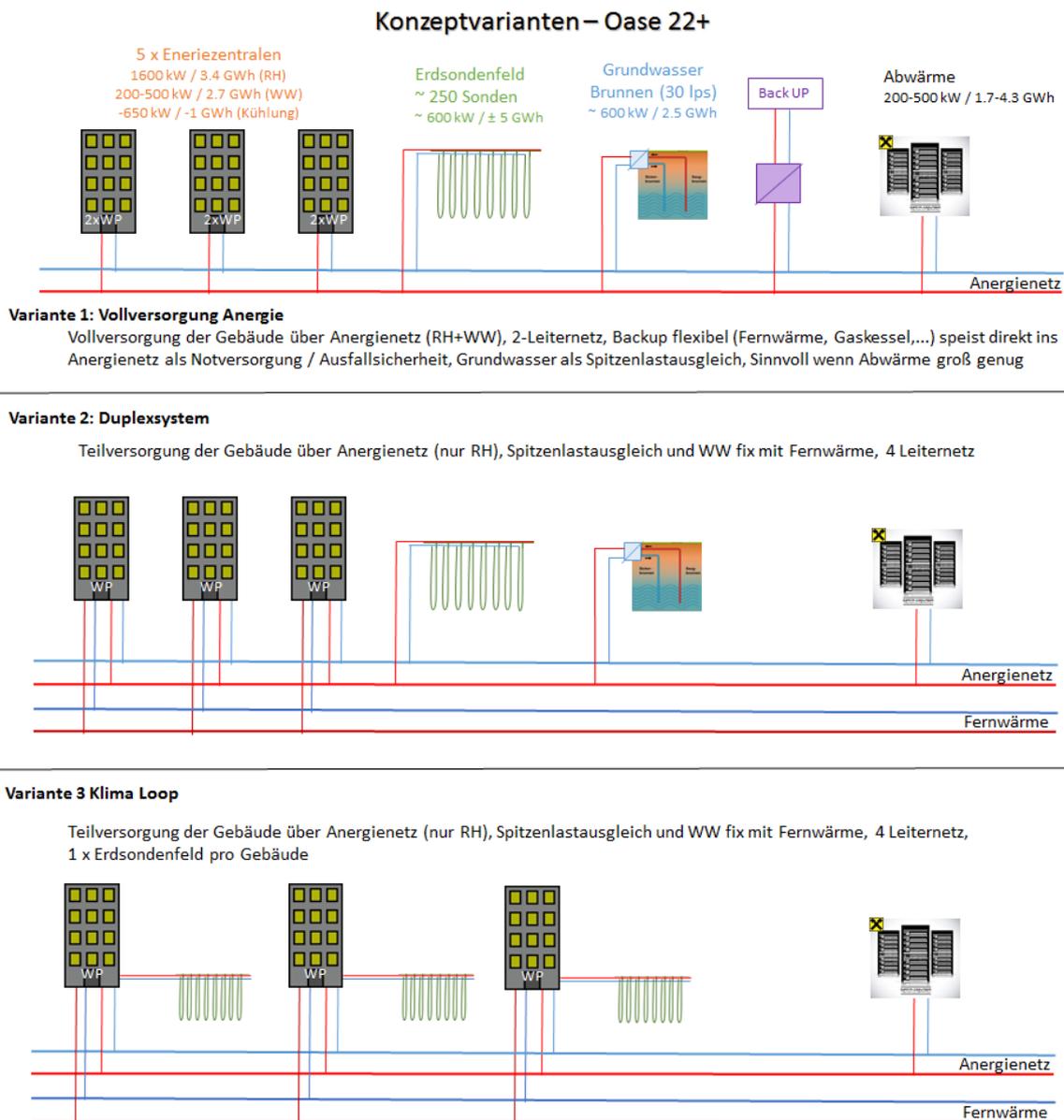


Abbildung 4.6: Drei Varianten die für DEGENT-NET in Betracht gezogen wurden

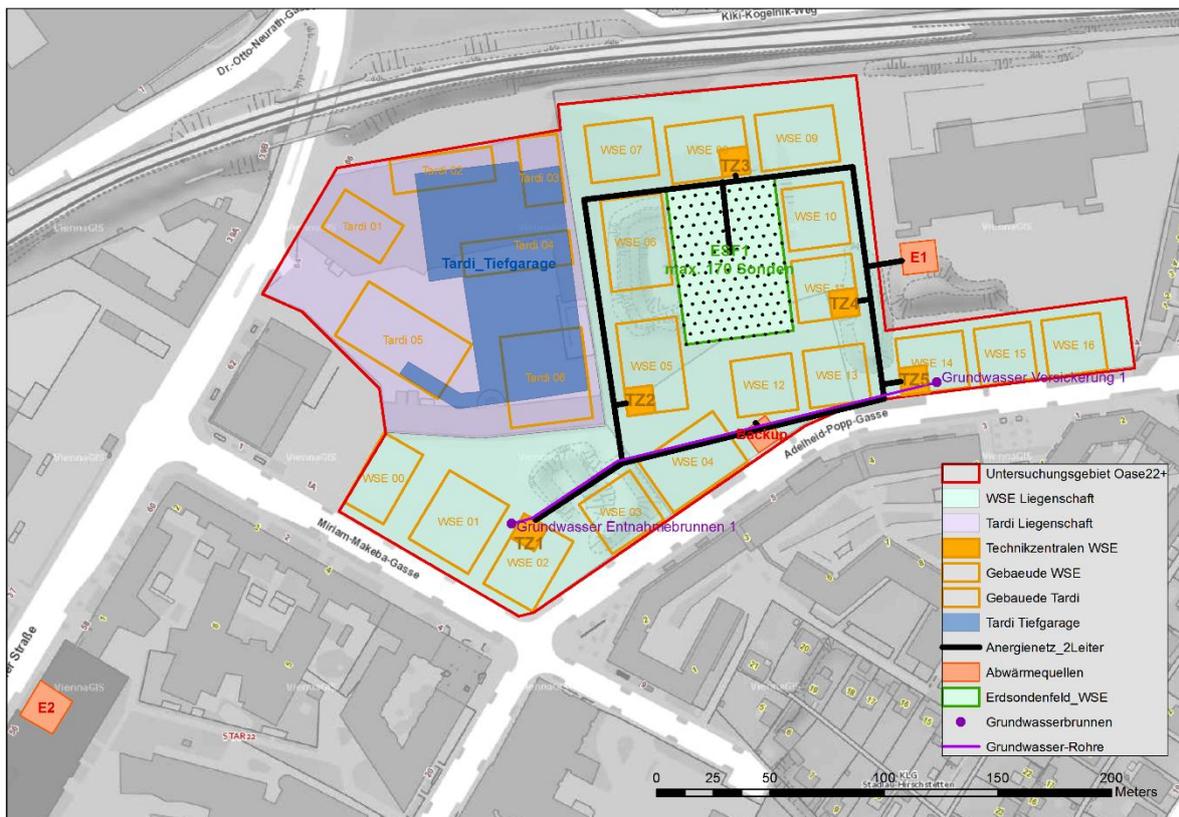
<sup>1</sup> Arbeitstreffen bezüglich Anergienetz, organisiert von Fa. Kallco Development GmbH, mit Wien Energie, Tina Vienna und DEGENT-NET

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 4.3.2 Oase22+ Netzgröße

Die Wahl der optimalen Netzgröße wurde an der Wärmemenge des Einspeisers E1 gemessen, sodass mit zusätzlicher geothermischer Nutzung des Grundwassers eine Vollversorgung (Variante 1) unter konservativen Annahmen sichergestellt werden kann. Das Vier-Leitersystem aus Variante 2 und 3 und somit eine doppelte Systemauslegung sollte aus ökonomischen Gründen vermieden werden. Variante 1 kann unter den obigen Annahmen den gesamten Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser der WSE-Liegenschaft decken. **Die Netzgröße für die technische und wirtschaftliche Detailplanung wurde deshalb auf das WSE Gelände mit Variante 1 dimensioniert, wie in Abbildung 4.7 dargestellt.** Das NTWK-Netz besteht im Folgenden aus fünf Technikzentralen TZ1 - TZ5, einem Wärmeeinspeisung E1, einem Erdsondenfeld ESF auf der Freifläche des WSE Geländes, einer thermischen Grundwassernutzung (Entnahmebrunnen 1 und Versickerung 1), sowie einem Backup-Anschluss, um die Ausfallsicherheit zu erhöhen. Alle Anlagenteile werden mit einem Zweileiternetz verbunden, um die Wärme und Kälte für die Gebäude zu verteilen oder für die Regeneration des Erdsondenfeldes.



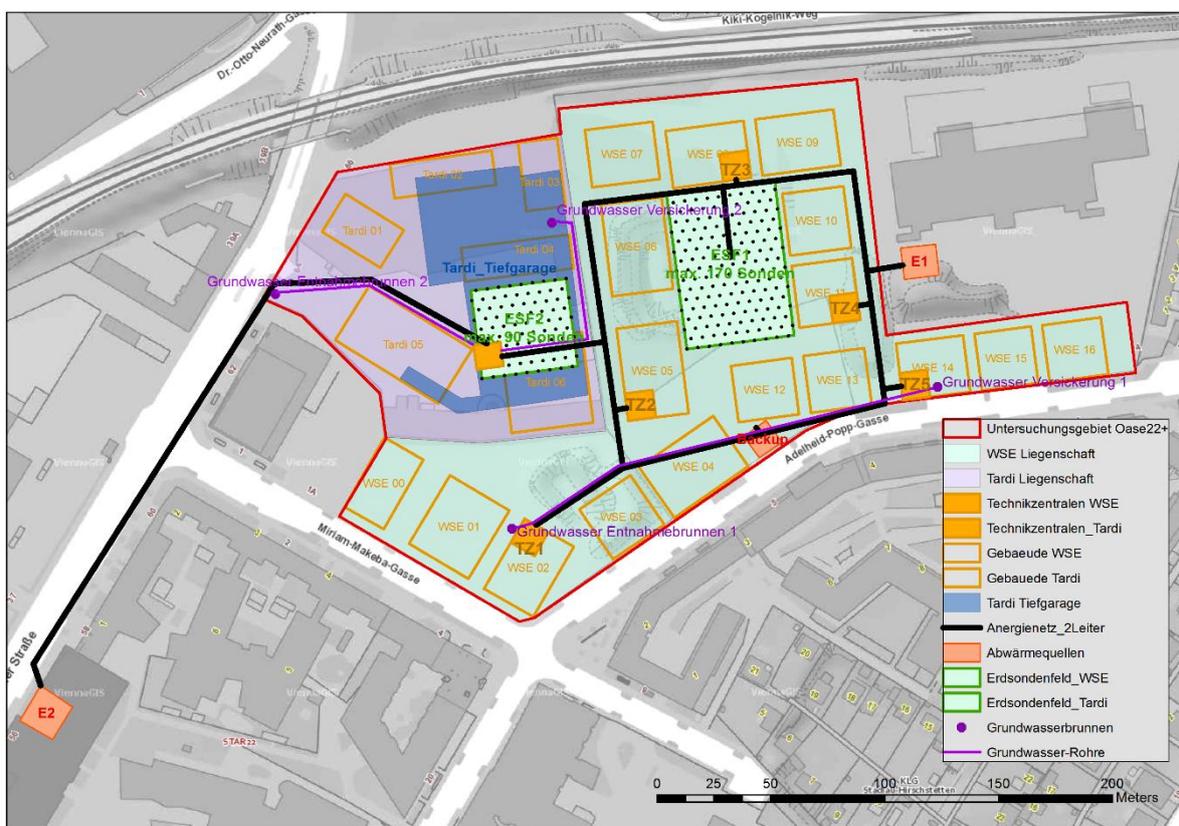
**Abbildung 4.7: Gewählte Netzgröße für die technische und wirtschaftliche Detailplanung**

Eine Erweiterung des Systems auf die Tardi Liegenschaft ist, wie in Abbildung 4.8 gezeigt, möglich. Dieser Vorschlag für eine Erweiterungsoption des NTWK-Netzes auf die Tardi-

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Liegenschaft sieht ein eigenes Erdsondenfeld, eine eigene Grundwassernutzung und einen eigenen Abwärmelieferanten vor. Die Erweiterung ist erstens kompatibel zum grundstücksbezogenen Wasserrechtsgesetz (WRG, 1959), zweitens können beide Netze zu unterschiedlichen Zeitpunkten gebaut werden und drittens funktionieren beide Netze grundsätzlich unabhängig voneinander. Eine Verbindung der beiden Netze im Sinne einer „Vermaschung“ (siehe Abbildung 3.1) zur Erhöhung der Versorgungssicherheit auf beiden Seiten wird empfohlen. Dadurch kann ein kontrollierter Austausch überschüssiger Wärmeenergie zwischen den Netzen erfolgen. Die Erweiterungsoption wird in der folgenden technischen und wirtschaftlichen Detailbetrachtung jedoch nicht behandelt.



**Abbildung 4.8: Erweitertes NTWK-Netz mit zusätzlicher Versorgung der Tardi-Liegenschaft, als Vorschlag einer Netzerweiterung ohne technische und wirtschaftliche Detailplanung.**

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 4.3.3 Versorgungsgebiet

Aufgrund des Bebauungsplans und ersten architektonischen Entwürfen erfolgt eine Abschätzung des Heizungs-, Warmwasser- und Kühlbedarfs des Untersuchungsgebietes für die Liegenschaft WSE nach aktueller Datenlage. Die Dimensionierung erfolgte grundsätzlich nach Wohnfläche. Der berechnete Energiebedarf kann in folgender Tabelle 4.4 entnommen werden.

**Tabelle 4.4: Flächen und Wärmebedarf (Heizung und Warmwasser inkl. Zirkulationsverluste)**

Baufeld	BGF Wohnen	BGF Gewerbe	BGF gesamt	Nr Whg	NGF Wohnen	Heiz- bedarf	Warmwasser- bedarf	Kühl- bedarf
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	-	m <sup>2</sup>	MWh	MWh	MWh
A	7320	1725	9045	73	5490	358,2	278,6	54,3
B	21123	934	22057	211	15842	873,5	679,4	132,3
C	21570	758	22328	216	16178	884,2	687,7	134,0
D	7855	0	7855	79	5891	311,1	241,9	47,1
Gesamt	57868	3417	61285	579	43401	2426,9	1887,6	367,7

Die Versorgung der 17 Gebäude erfolgt über fünf Technikzentralen, welche über ein Ringnetzwerk miteinander verbunden sind. Auch das Erdsondenfeld sowie der Einspeiser E1 sind am Ringnetzwerk angeschlossen, siehe Abbildung 4.7.

### 4.3.4 Lastgänge Gebäude

Die Lastgänge der Wärmekunden setzen sich aus den Einzellastgängen für Gebäudeheizung, Warmwasser und Gebäudekühlung zusammen.

Der Lastgang für die benötigte Heizwärme erfolgte durch eine Expertenbefragung eines Haustechnikplaners, welcher im Rahmen einer Konzepterstellung für das Pilotgebiet in Wien tätig war. Der qualitative Lastgang wurde dabei durch eine Gebäudesimulation ermittelt, mit dem Ergebnis eines Lastganges pro m<sup>2</sup> Bruttogeschossfläche (m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>). Mithilfe des Bebauungsplans des Untersuchungsgebietes erfolgten dann die Skalierung und damit die Quantifizierung des qualitativen Lastganges. Der Energiebedarf für die Gebäudeheizung wurde hier mit 30 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>) angesetzt. Mit thermischen Bereitstellungsverlusten von 9,6 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>) ergibt das 39,6 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>) bereitzustellende thermische Energie am Wärmeerzeuger (Wärmepumpe). Der aggregierte Lastgang der Heizenergie ist in Abbildung 4.9 (oben links) dargestellt.

Die Ermittlung der Lastprofile Warmwasser erfolgte auf Grundlage des APCS (Power Clearing & Settlement). Mithilfe der Datengrundlage aus (AGCS, 2017) wurden qualitative Lastprofile für die Gebäudetypologien Mehrfamilienhaus und Gewerbe erstellt. Mithilfe eines Gleichzeitigkeitsfaktors wurde der Lastgang des Warmwasserbedarfes in Abhängigkeit der angeschlossenen Wohnungen geglättet. Der spezifische Warmwasserbedarf wurde durch Expertenbefragung ermittelt und hier mit 16 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>) festgesetzt. Mit Bereitstellungs-

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

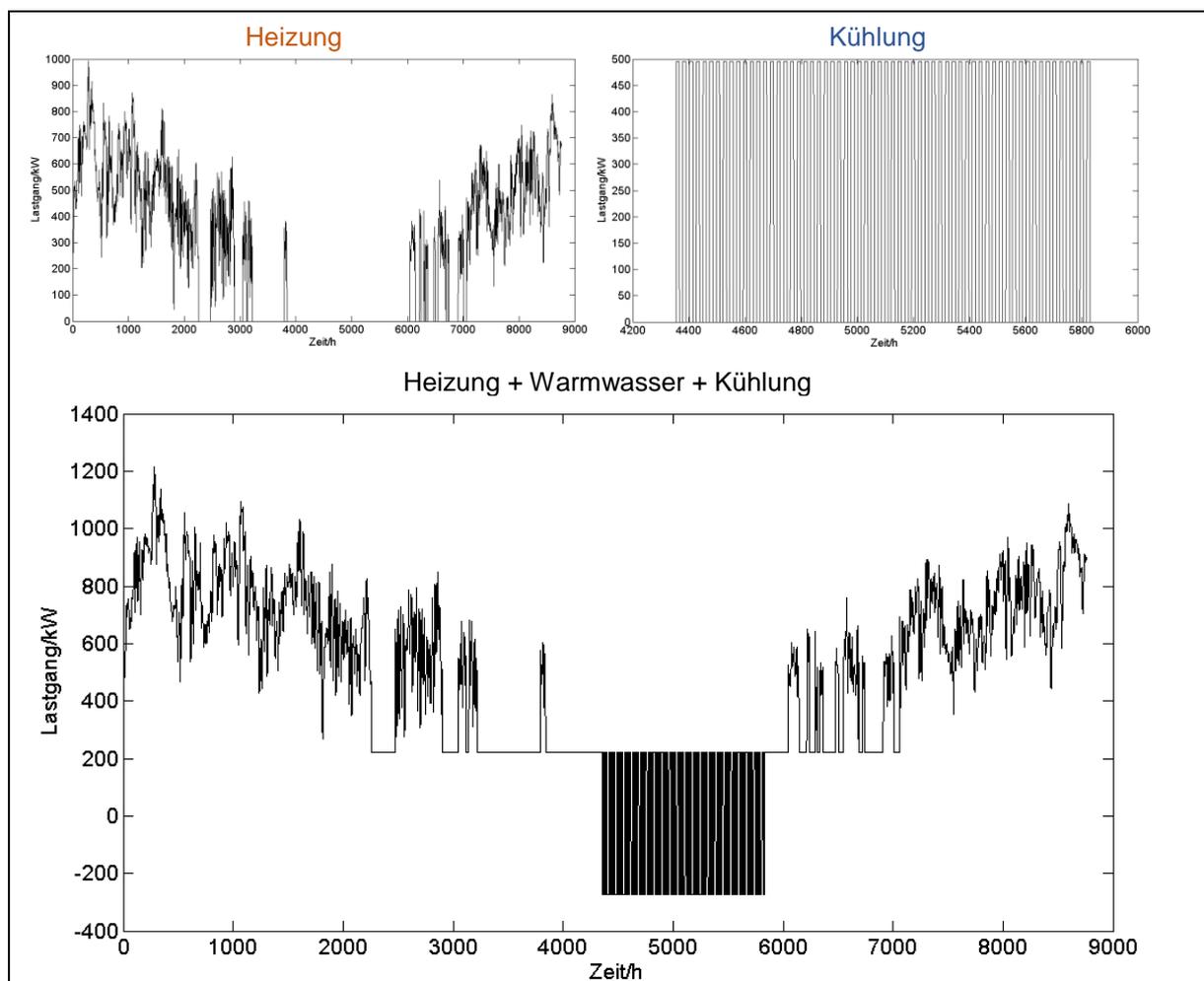
Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

(Zirkulations-) Verlusten von  $14,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  ergibt dies in Summe  $30,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  bereitzustellende Wärmeenergie von der Wärmepumpe.

Bei den Lastgängen für die Kühlung der Gebäude (Temperierung) in den wärmsten Sommermonaten Juli und August wurde auf Expertenbefragungen, bzw. eigens dafür durchgeführte Gebäudesimulationen zurückgegriffen. Der durchschnittliche Energiebedarf für die Gebäudekühlung im Juli und August wurde hier mit  $6 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$  festgesetzt. Die Summe des Kühlbedarfs der Gebäude ist in Abbildung 4.9 (oben rechts) dargestellt.

Der aktuelle Planungsstand der Bebauung lässt noch keine Abschätzung der aus den Gewerbebetrieben anfallenden Abwärme (Kühlbedarf) zu. Es ist jedoch mit einem geringen Kühlbedarf des geplanten Kindergartens und eines Supermarktes zu rechnen, welcher jedoch im Kältebedarf derzeit nicht berücksichtigt ist.

Der Gesamtlastgang ist in Abbildung 4.9 (unten) dargestellt.



**Abbildung 4.9: Aggregierter Lastgang der Gebäudebeheizung inkl. Verteilverluste (oben links), aggregierter Lastgang Gebäudekühlung (oben rechts) und aggregierter Gesamtlastgang bestehend aus Heizung, Warmwasser und Gebäudekühlung (unten)**

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

### 4.3.5 Lastgänge der Wärmequellen (Einspeiser)

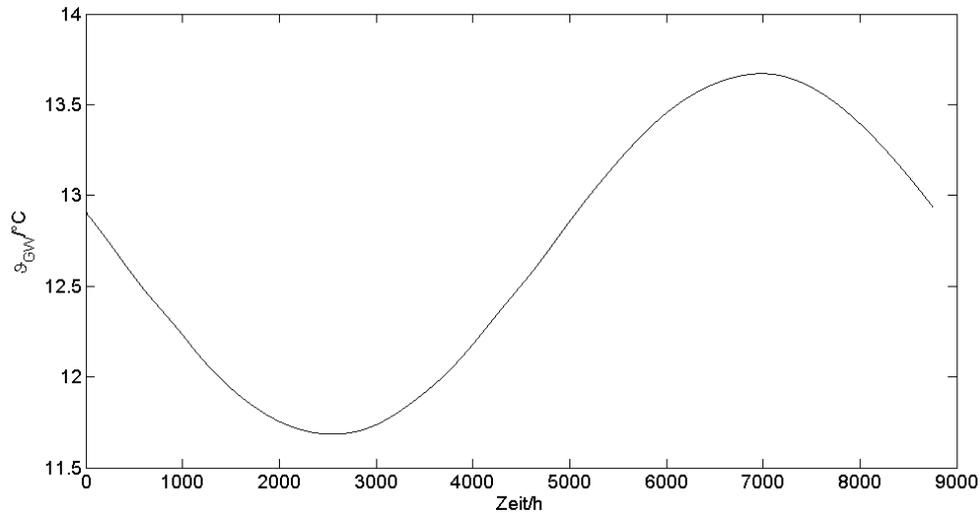
Als potente Wärmequellen wurden zwei naheliegende Rechenzentren (E1 und E2, siehe Abbildung 4.7) identifiziert. Aufgrund der Entfernung ist es naheliegend E1 der WSE Liegenschaft zuzuteilen, mit einer vergleichsweise einfachen und kostengünstigen Netzanbindung. Das Rechenzentrum E2 ist zwar grundsätzlich für die Anbindung an das NTWK-Netz geeignet, mit dem Vorteil eines dezidierten Interesses des Betreibers an einer kostengünstigen Kühlmöglichkeit, hat jedoch den Nachteil einer kostenintensiven Leitungsführung. Diese müsste über die vielbefahrene Stadlauer Straße mit einer Leitungslänge von ca. 250 m erfolgen. Eine Anbindung ist für die Erweiterungsoption in Betracht zu ziehen, siehe Abbildung 4.8.

Als Haupteinspeiser dient in diesem Projekt das Rechenzentrum E1, wobei im Bezug zu den Angaben des Kühlbedarfs von konstanten 500 kW, für die Berechnungen konservative 400 kW angenommen wurden, siehe Kapitel 4.1.2. Die Kühlung erfolgt über Kältemaschinen mit einem Kaltwassersatz von 18/25 °C. Mit der Kopplung des Rechenzentrums E1 mit dem NTWK-Netz wird es möglich, die anfallende Abwärme von E1 für die Gebäudeheizung und die Warmwasserbereitung zu nutzen. Dem Einspeiser wird folglich eine Kühlleistung zur Verfügung gestellt, wodurch sich dessen Leistungsbedarf der Kältemaschinen direkt reduziert. Die Ankopplung von E1 an das NTWK-Netz erfolgt am besten vor der Kältemaschine über einen Wärmetauscher. Durch Berücksichtigung dessen Grädigkeit mit 1,5 °C ist die Kühlung von E1 über das NTWK-Netz nur möglich, wenn die Kaltleitertemperatur des NTWK-Netzes unterhalb 16,5 °C liegt. Liegt sie darüber, muss konventionell über die Kältemaschinen gekühlt werden. Die Einspeisung der Abwärme aus E1 erfolgt hier ausgehend von der aktuellen Kaltleitertemperatur mit einer konstanten Temperaturdifferenz von 4 K, d.h. die Abwärme wird mit maximal 20,5 °C ins NTWK-Netz eingespeist.

Nachdem eine erste Energie-Dimensionierung ergab, dass die vom Rechenzentrum bereitgestellte Leistung nicht ganz ausreicht, um das NTWK-Netz ganzjährig mit thermischer Energie zu versorgen (mit der Randbedingung einer ausgeglichenen Speicherbilanz des Erdspeichers), wird die zusätzliche Wärmeenergie über eine thermische Grundwassernutzung eingespeist. Wie in Kapitel 4.2.4 dargestellt, liegt die Grundwassertemperatur am Gelände der Oase22+ um ca. 2 °C über der natürlichen, ungestörten Wassertemperatur, weshalb die Nutzung vorerst nur auf Heizzwecke dimensioniert wurde. Die Ankopplung an das NTWK-Netz geschieht über eine Wärmepumpe und nicht nur über einen Wärmetauscher, da die Wärmenutzung sodann unabhängig von der aktuellen Temperatur der NTWK-Netzleiter ist. Die Anlage ist, wie alle Netzteilnehmer, auf eine Temperaturdifferenz von 4 K am Kondensator ausgelegt. Für die Simulation wurde der Jahresverlauf der Grundwassermischtemperatur der nächstgelegenen Grundwassertemperatur-Messstelle 22-212 als konservativer (kühler) Ansatz verwendet, wie in Abbildung 4.10 angegeben. Die Temperaturkurve dient als Basis für die Berechnung des COPs der Grundwasserwärmepumpe.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4.10: Mittlere Grundwassertemperaturen der Messstation 22-212 als Randbedingung der Netzsimulation**

## 4.4 Technische Komponenten

Das NTWK-Netz wird in dieser Arbeit als Ringnetz aus PE-Rohren modelliert. Es besteht aus zwei Netzleitungen, einem Warm- und einem Kaltleiter, die mit Wasser als Wärmeträgermedium befüllt sind. Die Wärmepumpen aller fünf Technikzentralen, die Wärmepumpe der Grundwassernutzung, der Einspeiser E1 und das Erdsondenfeld sind über das Ringnetz miteinander verbunden. Im Vergleich zu konventionellen Fernwärmenetzen ist hier eine zentrale Pumpe, die eine Druckdifferenz zwischen Vor- und Rücklaufleitung aufprägt, nicht notwendig. Die Technikzentralen sowie der Einspeiser verfügen über dezentrale Pumpen, welche den benötigten Volumenstrom an Wasser je nach Bedarf aus dem NTWK-Netz beziehen.

Wird von den Wärmekunden Heizenergie benötigt, beziehen diese Wasser aus dem Warmleiter und speisen es mit niedrigerer Temperatur in den Kaltleiter zurück. Umgekehrt entnimmt der Einspeiser kühles Wasser aus dem Kaltleiter und speist es aufgewärmt in den Warmleiter. Die Abkühl- bzw. Aufwärmrate des Wassers sei hier auf 4 K dimensioniert. Die absolute Netztemperatur darf im Jahresrhythmus zwischen minimal 2 °C am Kaltleiter und maximal 25 °C am Warmleiter schwanken.

### 4.4.1 Rohrnetzwerk

Das NTWK-Netz wird hier als Ringnetz ausgeführt. Durch diese Netzstruktur wird im Vergleich zum Strangnetz die Versorgungssicherheit der Verbraucher erhöht. Die Rohre werden als unisolierte PE-Rohre mit den in Tab. 4.1 angegebenen Dimensionen ausgeführt.

**Tab. 4.1: Rohrreihe des NTWK-Netzes, PE-Rohre**

Außen Ø	Wandstärke						
---------	------------	---------	------------	---------	------------	---------	------------

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

mm	mm	mm	Mm	mm	mm	mm	mm
90	3	200	3,2	400	6,3	710	11,1
110	3	225	3,5	450	7,0	800	12,5
125	3	250	3,9	500	7,8	900	12,9
140	3	280	4,4	560	8,8	1000	13,3
160	3	315	4,9	630	9,8		
180	3	355	5,6	670	10,5		

Alle Wärmeabnehmer, im Folgenden als Technikzentralen bezeichnet, werden über Stichleitungen an das Ringnetz angeschlossen. Auch der Einspeiser E1 und die Grundwasser-Wärmepumpe werden an das Ringnetzwerk angeschlossen.

Das NTWK-Netz verfügt hier nicht, wie bei konventionellen Fernwärmenetzen üblich, über eine zentrale Umwälzpumpe. Jede Technikzentrale ist mit einer Umwälzpumpe versehen, welche je nach Bedarf Wasser aus dem NTWK-Netz bezieht, oder in dieses einspeist. Die Wärmepumpen und Wärmetauscher der Technikzentralen sind so geregelt, dass die Temperaturdifferenz zwischen Warm- und Kaltleiter des NTWK-Netzes am Einspeisepunkt stets 4 K beträgt. Der notwendige Förderstrom der Pumpen wird bei bekannter Leistung mithilfe dieser festgelegten Temperaturdifferenz ermittelt.

Die Auslegung der Rohrdimensionen wurde nach gängigen Fernwärmekriterien vorgenommen. Die Randbedingung hier ist das Strömungsgeschwindigkeitskriterium im Rohr, welches zu einem spezifischen Druckverlust von 60-80 Pa/lfm führt (Isoplus, 2016). Die ausgelegten Rohrdurchmesser und Rohrlängen sind Tabelle 4.5 zu entnehmen.

**Tabelle 4.5: Auslegungsergebnisse des Rohrnetzwerk für die Technikzentralen (TZ), den Einspeiser (E1), das Erdsondenfeld (ESF) und die Ringleitung**

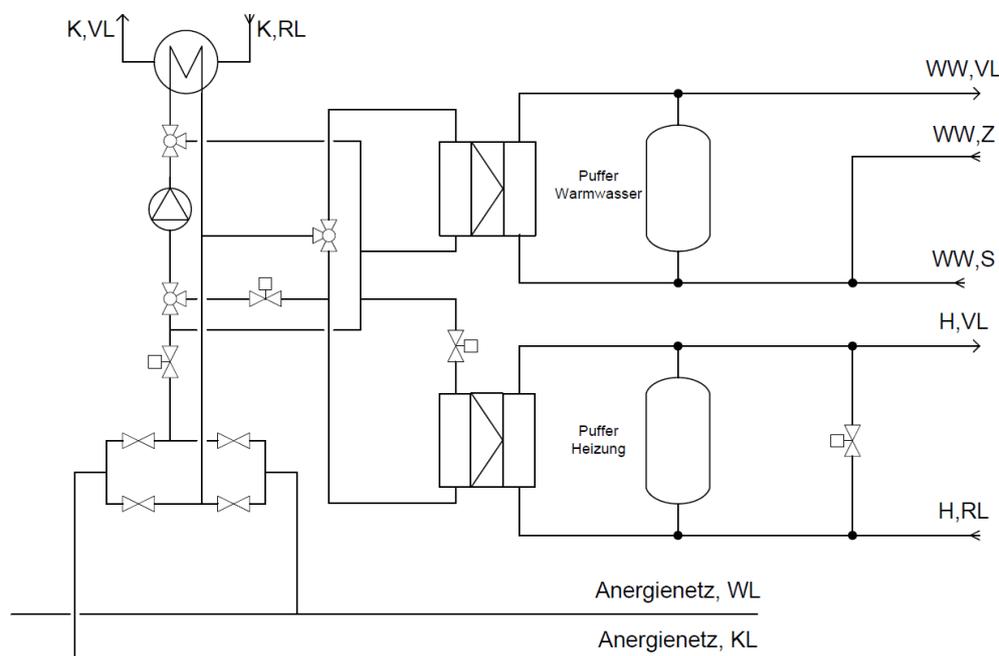
Netz- element	Rohr- länge	DN
	m	mm
TZ1	48,3	140
TZ2	6,1	125
TZ3	3,8	110
TZ4	5,3	110
TZ5	9,2	90
E1	16,5	180
ESF	32,5	180
Ringnetz	455,3	180
Gesamt	577,0	

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 4.4.2 Technikzentralen

Die Technikzentralen beinhalten die notwendigen Anlagen und Armaturen zur Bereitstellung von thermischer Energie für Heiz- und Kühlzwecke. Im Folgenden wird auf die hier angenommenen Systeme für Heizung, Warmwasserversorgung und Gebäudekühlung eingegangen. Die Technikzentralen sind bidirektional an das NTKW-Netz angebunden. Folglich kann je nach zeitlicher Gestaltung der Lastgänge thermische Energie vom/ins Ringnetzwerk bezogen/eingespeist werden (Isoplus, 2016). Die hydraulische Verschaltung der wärmetechnischen Anlagen ist in Abbildung 4.11 angeführt.



**Abbildung 4.11: Hydraulischer Schaltplan der Technikzentralen.** Kühlung: Plattenwärmetauscher, WW: WP-Verdampfer Warmwasser, Heizung: WP-Verdampfer Heizung, WL/KL: NTKW-Netz Warm- und Kaltleiter.

Die maximalen Druckverluste über die Wärmepumpen-Verdampfer sowie die Wärmetauscher für die Gebäudekühlung und die Einspeiser wurden folgendermaßen angenommen:

- Verdampfer Heizungs-Wärmepumpe: 100 kPa
- Verdampfer Warmwasser-Wärmepumpe: 80 kPa
- Wärmetauscher: 70 kPa

Für die Teillastzustände ( $\dot{m} < \dot{m}_{max}$ ) erfolgt die Druckverlustberechnung über die Berechnung eines äquivalenten Druckverlustbeiwertes.

Die Berechnung des Druckverlustes über das Rohrnetzwerk und über den Erdsondenspeicher passiert über die Rohrreibungszahl  $\lambda$  und das Colebrook-Diagramm.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 4.4.3 Umwälzpumpen

Jede der Technikzentralen verfügt über eine Umwälzpumpe, welche das für die Wärmepumpen, bzw. für die Gebäudekühlung notwendige Wasser aus dem NTWK-Netz bezieht. Für den Heizfall wird Wasser aus dem Warmleiter bezogen und mit einer Temperaturdifferenz von 4 K in den Kaltleiter zurückgespeist, beim Kühlfall (Gebäudekühlung und Einspeisung vom Rechenzentrum bzw. Grundwasserwärmepumpe) wird vom Kaltleiter bezogen und in den Warmleiter rückgespeist. Die Pumpen sind so geregelt, dass in jedem Zeitpunkt eine Temperaturdifferenz von 4 K realisiert wird.

Der notwendige Strombedarf der Umwälzpumpen wird anhand eines Regressionsmodells ermittelt. Datenbasis dafür bilden diskrete Betriebszustände unterschiedlicher Pumpen vom Typ Grundfoss NBE (Geregelte einstufige Blockpumpen nach EN 733). Im Laufe der Simulation wird so für jeden Zeitpunkt der elektrische Leistungsbedarf und NPSH-Wert (Net Positive Suction Head) der Pumpe ermittelt. Das Maximum aus allen so ermittelten NPSH-Werten determiniert den Ruhedruck des Systems und damit den Druck im Ausdehnungsbehälter (Druck-Festpunkt).

### 4.4.4 Wärmepumpen

Die Nennleistungen der Wärmepumpen, die notwendigen Pufferspeichervolumina für Heizungswasser und Brauchwarmwasser sowie der Typ der Umwälzpumpen der einzelnen Technikzentralen sind in Tabelle 4.6 angeführt.

**Tabelle 4.6: Nennleistungen der Wärmepumpen und Speichervolumina, Auslegung**

Technik-Zentrale	Heizung		Warmwasser		Umwälzpumpe	
	$\dot{Q}_{th,N}$ kW	$V_{Puffer}$ m <sup>3</sup>	$\dot{Q}_{th,N}$ kW	$V_{Puffer}$ m <sup>3</sup>	Typ	Anzahl
TZ1	260	73,6	65	17,3	NBE 65-160/157	1
TZ2	190	73,6	45	11,0	NBE 65-160/157	1
TZ3	180	73,6	43	11,0	NBE 65-160/157	1
TZ4	170	73,6	40	9,4	NBE 65-160/157	1
TZ5	120	73,6	28	6,3	NBE 50-200/188	1
E1	-	-	-	-	NBE 65-160/157	2
GW	100	-	-	-	NBE 65-160/157	1

Die Pumpensimulation ergab einen maximalen NPSH-Wert von 1,45 m. Mit einem Sicherheitsabstand von 1,5 bar wird daher am Ausdehnungsbehälter ein Überdruck von 1,65 bar eingestellt.

In der Simulation werden drei unterschiedliche Wärmepumpen verwendet:

- Heizungswärmepumpe: Liefertemperatur: 40 °C,  $P_{th}$ : 120-260 kW

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Warmwasserwärmepumpe: Liefertemperatur 60 °C,  $P_{th}$ : 28-65 kW
- Grundwasserwärmepumpe: Liefertemperatur 6-20 °C,  $P_{th}$ : 100 kW

Die durch die Wärmepumpe bereitgestellte thermische Nutzleistung wird bei der Simulation vorgegeben. Durch die anliegenden Temperaturen am Verdampfer (NTWK-Netz-Kaltleitertemperatur) erfolgt die Berechnung des COP der einzelnen Wärmepumpen. Mithilfe des COP und der abgegebenen Leistung am Kondensator erfolgt schließlich die Ermittlung der notwendigen zuzuführenden Leistung am WP-Verdampfer:

$$\dot{Q}_{zu} = \dot{Q}_{ab} \left( 1 - \frac{1}{COP} \right) \quad (3.4)$$

Die Ermittlung des COP erfolgt hier mithilfe des Gütegradmodells, wobei gilt  $COP/COP_c = 0,55$ . Der  $COP_c$  ist hier der COP des idealen Vergleichsprozesses (Carnot-Prozess) und wird folgendermaßen berechnet:

$$\frac{1}{COP_c} = 1 - \frac{T_U}{T_O} = 1 - \frac{T_{Q, \text{ein}} - \Delta T_Q - \Delta T_{WT}}{\frac{T_{S, \text{ein}} - T_{S, \text{aus}}}{2}} \quad (3.5)$$

Hier sind  $T_U$  und  $T_O$  das Temperaturniveau der Wärmeaufnahme bzw. -abgabe,  $T_{Q, \text{ein}}$  die Quelleneintrittstemperatur (Kaltleiter- bzw. Grundwassertemperatur),  $\Delta T_Q$  die Abkühlrate über den Verdampfer,  $\Delta T_{WT}$  die Grädigkeit des Verdampfer-Wärmetauschers und  $T_{S, \text{ein}}$  bzw.  $T_{S, \text{aus}}$  die Senkenein- und -austrittstemperatur. Die Grädigkeit des Verdampfer-Wärmetauschers wurde hier mit 2 K angenommen.

Die Wärmepumpen speisen Puffertanks, welche dann ihrerseits die Verbraucher mit Heizungs- und Brauchwarmwasser versorgen. Der hydraulische Schaltplan der Wärmepumpen inklusive Puffertanks ist im folgenden Kapitel in Abbildung 4.12 und Abbildung 4.14 dargestellt.

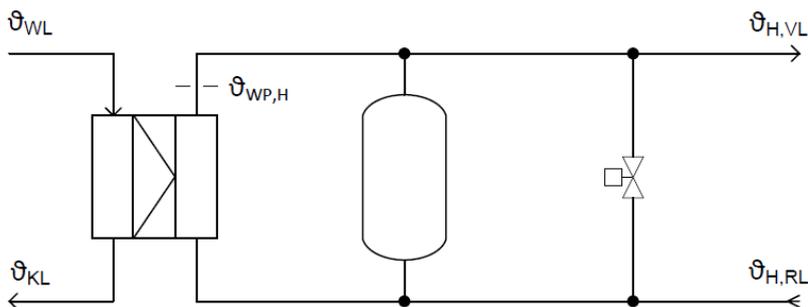
### 4.4.5 Heizsystem der Gebäude

Die Heizung der Gebäude wird in dieser Arbeit mittels Flächenheizungen mit maximalen Vorlauftemperaturen von 40 °C modelliert. Die Bereitstellung des Heizwassers erfolgt mit einer Wärmepumpe, welche als Energiequelle das Wasser aus dem Ringnetz des NTWK-Netzes bezieht. Zur Glättung des Wärmepumpenlastganges fördert diese das erzeugte Warmwasser in einen Heizwasserspeicher, welcher die angeschlossenen Wohnungen mit Heizenergie versorgt. Wegen der niedrigen Vorlauftemperaturen der Flächenheizung (max. 40 °C) und der damit verbundenen Temperaturspreizung ist es unter wirtschaftlichen Umständen nicht möglich einen Pufferspeicher zu errichten, der den Tagesbedarf eines Wintertages an Heizwärme zu speichern vermag. Das dafür erforderliche Wasservolumen bzw. die

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

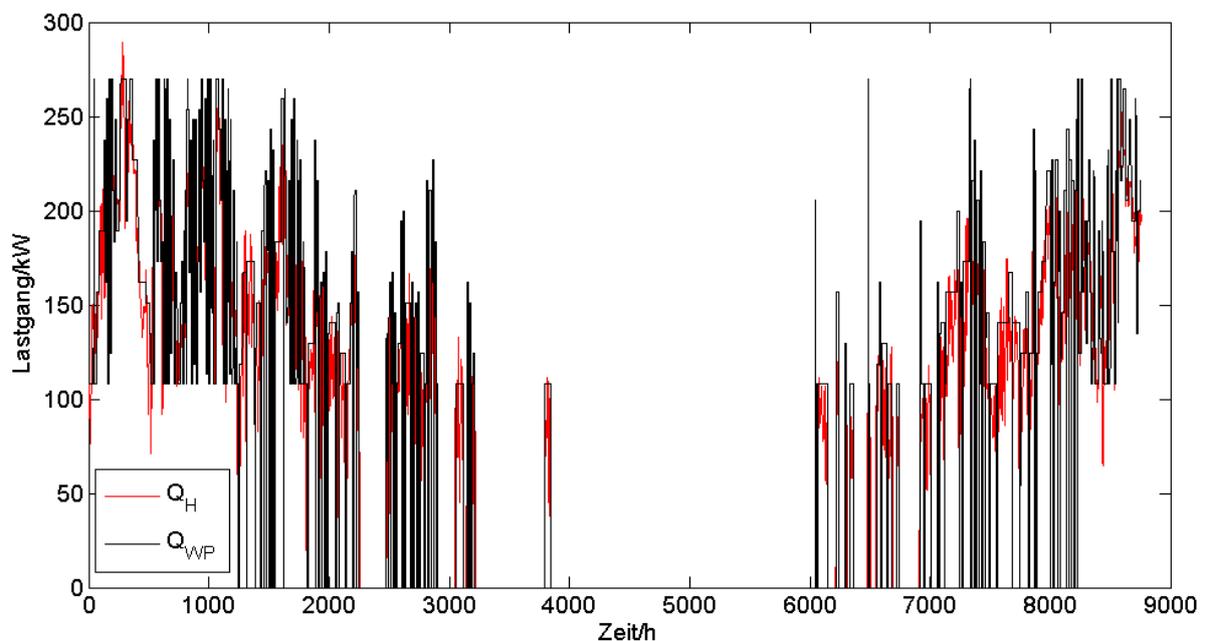
Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Pufferspeicher wären dafür viel zu groß. Daher wird hier von einer festen Speichergröße ausgegangen, und zwar 5 Behälter a Ø 2.5 m x 3 m. Die Ermittlung des Lastganges am Verdampfer der Wärmepumpe (dieser bildet die Schnittstelle zum NTWK-Netz) erfolgt mittels Wärmepumpen- und Schichtspeichermodell. Der Lastgang der Gebäude, welche von der jeweiligen Technikzentrale versorgt werden, bildet dabei den Input. Berechnet wird die notwendige Leistung am Verdampfer. Der hydraulische Verschaltungsplan der Sekundärseite des Heizsystems ist in Abbildung 4.12 dargestellt:



**Abbildung 4.12: Hydraulischer Schaltplan der Heizungswärmepumpe mit Pufferspeicher**

Die Liefertemperatur der Wärmepumpe  $\vartheta_{WP,H}$  wurde hier mit 40 °C festgesetzt. Die Anpassung der Heizungs-Vorlauftemperatur  $\vartheta_{H,VL}$  erfolgt gleitend in Abhängigkeit der Außentemperatur und wird mithilfe der Beimischschaltung realisiert.



**Abbildung 4.13: Lastgänge der Technikzentrale 1.** Rot: Lastgang Heizwärme inkl. Verteilungsverluste, schwarz: Lastgang Heizungs-Wärmepumpe

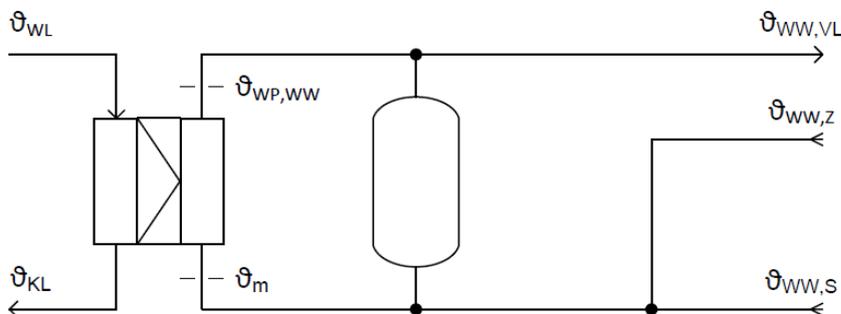
## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

In dieser Arbeit sei des Weiteren angenommen, dass die Wärmepumpe nur bedingt teillastfähig ist, die maximale Teillast wurde hier mit 40 % angenommen. Um den tatsächlichen Lastgang der Wärmepumpe zu ermitteln, wird eine Vorsimulation durchgeführt, welche die Wärmepumpe und den Pufferspeicher umfasst. Der Pufferspeicher wird dabei als Schichtspeicher modelliert, der sowohl die Einströmverhältnisse des Wassers, einen Wärmeverlust über die Mantelfläche, sowie die axiale Dispersion der Temperaturgrenzschicht mitberücksichtigt. Das Ergebnis der Vorsimulation ist der Lastgang der Wärmepumpe, welcher schließlich als Input für die NTKW-Netzsimulation herangezogen wird. In folgender Abbildung 4.13 ist der Heizungs-Lastgang der Technikzentrale 1 sowie der sich daraus ergebende Wärmepumpenlastgang dargestellt.

### 4.4.6 Warmwasserbereitung der Gebäude

Da in dieser Arbeit die Untersuchung einer möglichen Vollversorgung der thermischen Lasten der angeschlossenen Verbraucher, also Heizung und Warmwasser erfolgen soll, wird das Trinkwasser ebenfalls mittels Wärmepumpe erzeugt. Die Trinkwasserwärmepumpe fördert das erzeugte Warmwasser in einen Warmwasserspeicher, welcher in weiterer Folge die Gebäude mit Brauchwarmwasser versorgt. Die Vorlauftemperatur der Brauchwasser-Wärmepumpe wurde wegen des Warmwasserspeichers auf 60 °C gesetzt (ÖNORM B 5019, 2015). Der hydraulische Schaltplan ist in Abbildung 4.14 angegeben:



**Abbildung 4.14: Hydraulischer Schaltplan der Warmwasserwärmepumpe mit Pufferspeicher.**  
 $\vartheta_{WW,VL}$ : Vorlauftemperatur Warmwasser,  $\vartheta_{WW,Z}$ : Rücklauftemperatur Zirkulationsleitung,  $\vartheta_{WW,S}$ : Speisewassertemperatur

Die Austrittstemperatur der Warmwasserwärmepumpe  $\vartheta_{WP,WW}$  wurde hier mit 60 °C festgesetzt, die Eintrittstemperatur in den Kondensator der Wärmepumpe  $\vartheta_m$  wird hier anhand der Massenströme, Temperaturen und mit der Annahme der Zirkulationsverluste aus Kapitel 4.3.4 berechnet. Die Größe des Pufferspeichers wird hier so ausgewählt, dass die Wärmepumpe ganzjährig konstant auf Nennlast betrieben werden kann. Die dafür notwendigen Pufferspeicher-Volumina werden ebenfalls mithilfe des Wärmepumpen-Schichtspeicher-Modells ermittelt.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 4.4.7 Gebäudekühlung

Die Gebäudekühlung in den Sommermonaten stellt einen zusätzlichen Eintrag thermischer Energie ins System (NTWK-Netz + Erdsondenspeicher) dar. Auch hier wird eine Temperaturbeschränkung eingeführt. Als maximale Kaltleitertemperatur des NTWK-Netzes, oberhalb derer keine Gebäudekühlung mehr möglich ist, wurden 21 °C festgelegt.

Das System aus Einspeisern und Beziehen von thermischer Energie sowie das Erdsondenfeld wird so ausgelegt, dass das NTWK-Netz in den Sommermonaten Juli und August so kalt bleibt, dass die Gebäudekühlung ohne Wärmepumpe, also im „free cooling“ Betrieb, erfolgen kann. Da der Brauchwarmwasserbedarf während der Sommermonate positiv bleibt, erfolgt in den Technikzentralen durch die Warmwasserwärmepumpe zunächst eine unmittelbare Verwertung der durch die Gebäudekühlung anfallenden Energie. Lediglich die Differenz zwischen Kühl- und Warmwasserbedarf wird dem NTWK-Netz zugeführt. Durch diese Maßnahme ist sichergestellt, dass die Warmwasserwärmepumpe wegen der im Vergleich zur Kaltleitertemperatur höheren Rücklauftemperatur der Gebäudekühlung effizienter arbeitet.

Während der Kühlperiode im Sommer wird keine thermische Energie vom Einspeiser (Rechenzentrum) bezogen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Temperatur des Kaltleiters, welche maßgeblich für die Gebäudekühlung ist, in Grenzen gehalten wird. Die maximale Kühllast der Gebäude beträgt ca. 370 kW, sie fällt aber nur tagsüber an. Der anfallende durchschnittliche Kühlbedarf der Gebäude fällt somit niedriger aus als die 400 kW, welche vom Rechenzentrum geliefert werden können. Durch Ausdehnen der Kühlperiode über den Zeitraum Juli/August kann somit einer Überladung des Speichers entgegengewirkt werden. Tatsächliche Lastgänge, welche sich ggf. von den in diesem Projekt angenommenen Lastgängen unterscheiden. Diesem Problem kann mit dieser Flexibilitätsoption begegnet werden.

Die Gebäudekühlung mittels „free cooling“ kann nur dann erfolgen, wenn das NTWK-Netz, bzw. der Kaltleiter des NTWK-Netzes eine zulässige Maximaltemperatur nicht überschreitet. Die maximale Temperatur des Kaltleiters wurde hier auf 21 °C gesetzt. Dies ist das Ergebnis einer Expertenbefragung und die Temperaturrandbedingung, welche bei der Auslegung eines ähnlichen Kühlkonzeptes in Wien angesetzt wurde.

### 4.4.8 Abwärme-Einspeisung

Dem System wird thermische Energie auf niedrigem Temperaturniveau zugeführt. Bei dem Einspeiser handelt es sich in diesem Projekt um ein Rechenzentrum, welches in unmittelbarer Nähe des Untersuchungsgebietes lokalisiert ist. Das Rechenzentrum benötigt eine ganzjährig konstante Kühlleistung für seine Serverfarmen. Durch den Anschluss an das NTWK-Netz können die Betriebsstunden der betriebseigenen Kältemaschinen reduziert werden und dadurch eine kostengünstige und ökologisch sinnvolle Kühlung realisiert werden. Dem

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Betreiber des Rechenzentrums wird folglich eine Kühlleistung zum Nulltarif angeboten, was Ansicht des Projektkonsortiums ein hinreichender Anreiz für die Betreiber des Rechenzentrums sein sollte.

Der Ansatz, dass zu jedem Zeitpunkt garantiert werden muss, dass die vom Rechenzentrum geforderte Kühlleistung auch tatsächlich geliefert werden kann, wurde bald verworfen. Zur Dimensionierung ist eine simple Energiebilanz jedoch nicht ausreichend, da auch die Temperaturen des NTKW-Netzes ausreichend tief sein müssen, um die Serverräume kühlen zu können. Daraus resultieren Restriktionen bezüglich der Temperaturführung des Einspeisers E1. Diesem kann thermische Energie nur abgenommen werden, wenn das Temperaturniveau des Kaltleiters des NTKW-Netzes unterhalb der notwendigen Kühlwassertemperatur von 18 °C liegt. Mit einer Grädigkeit von 1,5 K des Wärmetauschers folgt, dass der Einspeiser nur dann gekühlt werden kann, wenn die Kaltleitertemperatur des NTKW-Netzes unterhalb 16,5 °C liegt. Die Wärmeübergabestation beim Rechenzentrum besteht aus einer Umwälzpumpe und einem Plattenwärmetauscher. Geregelt wird auf eine konstante Temperaturdifferenz von 4 K zwischen Kalt- und Warmleiter also zwischen Ein- und Austrittstemperatur der NTKW-Netzseite des Plattenwärmetauschers.

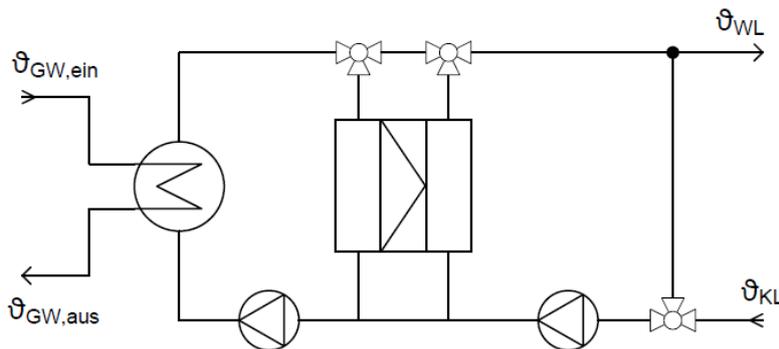
### 4.4.9 Grundwasserdublette

Als zweiter Einspeiser von thermischer Energie ins NTKW-Netz fungiert die Grundwassernutzung. Da die Temperaturen des Grundwassers im Untersuchungsgebiet zwar höher sind als die ungestörten Grundwassertemperaturen, jedoch zeitweise unterhalb des NTKW-Netztemperaturniveaus liegen, wird das Grundwasser hier mittels Wärmepumpe genutzt. Das Grundwasser versorgt den Verdampfer der Grundwasserwärmepumpe. Diese wiederum hebt das NTKW-Netzwasser von der Kaltleiter- auf die Warmleitertemperatur. Durch den Einsatz der Wärmepumpe gibt es hier keine Temperaturrendbedingung. Zu jedem Zeitpunkt kann thermische Energie durch die Grundwasserwärmepumpe in das NTKW-Netz eingespeist werden. Dies dient gleichzeitig als kurzfristiges Backup falls die Übergabestation des Rechenzentrums ausfallen sollte. Aus genehmigungsrechtlichen Gründen muss bei der Verwendung einer Grundwasserwärmepumpe ein Sekundärkreis vorgesehen werden. Das technische Schema ist in Abbildung 4.15 angeführt.

Die Wärmepumpe ist hier so geregelt, dass bei ausreichender Temperaturdifferenz von NTKW-Netz und Grundwasser ( $\vartheta_{\text{GW,aus}} > \vartheta_{\text{KL}}$ ) die Wärmepumpe nicht in Betrieb steht, sondern auf direktem Wege thermische Energie vom Grundwasser auf das NTKW-Netz übertragen werden kann. Die Grundwasserwärmepumpe liefert am Kondensator stets 25 °C warmes Wasser, welches über die Mischschaltung auf das Warmleitertemperaturniveau gemischt wird.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4.15: Hydraulikschema der Grundwasserwärmepumpe über Sekundärkreislauf**

Die Grundwasserwärmepumpe wird in einer der fünf Technikzentralen installiert, simulationstechnisch erfolgt die Einbringung der Heizenergie am Knoten des Rechenzentrums.

Die Position der Entnahmebrunnen wurde so gewählt, dass die Entfernung zwischen den Brunnen möglichst groß ist, der Entnahmebrunnen stromaufwärts zur Versickerung situiert ist und dass sich die Brunnen möglichst nahe an einer Energiezentrale befinden. Somit wurde der Entnahmebrunnen neben der Technikzentrale TZ1 und die Versickerung nahe TZ5 gesetzt. Das Grundwasser wird vom Entnahmebrunnen über eine Rohrleitung zur TZ5 geleitet, wo das Wasser über eine Wärmepumpe (Liefertemperatur 6-20 °C,  $P_{th}$ : 100 kW) um 4 °C abgekühlt und chemisch unverändert wieder über den Versickerungsschacht in den Grundwasserkörper zurückgegeben wird. Bei Kältemittelmengen über 20 kg oder bei Verwendung von Ammoniak ist ein Zwischenkreislauf vorzusehen - Prinzip der doppelten Sicherheit (ÖWAV-RB207, 2009).

Die thermische Grundwassernutzung wird auf Grund erhöhter Grundwassertemperaturen am Standort überwiegend zur Wärmegewinnung eingesetzt. Sie wurde auf eine Maximalleistung von 10 l/s und (bis auf die Sommermonate mit Kühlbedarf) auf Dauerbetrieb mit 3 - 4 l/s ausgelegt. Dadurch können einerseits die fehlenden Wärmemengen für die Gebäudeversorgung sichergestellt und andererseits die Versorgungssicherheit erhöht werden. Für den letzteren Fall kann die Grundwassernutzung einen möglichen Wärmequellenausfall des Einspeisers E1 zumindest mehrere Tage überbrücken, um eine mobile Not-Heizquelle anschließen zu können.

### 4.4.10 Erdsondenfeld

Um die jährlich konstant anfallende Niedertemperatur-Abwärme von den wärmeren Monaten, in denen die Gebäude nicht beheizt werden, für die Wintermonate zu speichern, wird ein Erdsondenfeld eingeplant, welches als saisonaler Speicher fungiert. Die Errichtung des Erdsondenfeldes kann grundsätzlich sowohl unterhalb der bebauten Fläche als auch im freien Gelände (Innenhöfe) erfolgen.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Das Erdsondenfeld ist in dieser Arbeit als passives Element ausgelegt, welches selbst über keine Pumpen verfügt. Die Be- und Entladeregelung des Systems erfolgt nach kumulierten entnommenen und dem NTWK-Netz zugeführten thermischen Leistungen. Wird dem NTWK-Netz mehr Leistung entzogen als von den Einspeisern zur Verfügung gestellt, wird der Speicher entladen, anderenfalls erfolgt die Beladung des Erdsondenspeichers mit der (positiven) Residuallast aus Einspeisern und Beziehern von thermischer Energie.

Das Erdsondenfeld wurde auf die Wärmelieferanten und -bezieher abgestimmt und als saisonaler Speicher ausgelegt. Es wird großes Augenmerk auf eine ausbalanzierte jährliche Energiebilanz gelegt. Die Position des Erdsondenfeldes wurde mit Abstimmung eines Bauträgers auf die Freifläche des Geländes gelegt, damit der Gebäudebau (Baubeginn 2018) nicht durch die Erdsondenherstellung verzögert wird und beides parallel ablaufen kann. Über dem Erdsondenfeld muss eine ausreichende Überdeckung mit Aushubmaterial und Humus (mindestens Frosttiefe, > 1,5 m) sein, um den Netzbetrieb mit Wasser zu ermöglichen. Über dem Erdsondenfeld kann eine grüne Erholungsfläche empfohlen werden.

Die Dimensionierung der Erdsondenfeldgröße wurde unter Berücksichtigung der Versorgungssicherheit und nach dem aktuellen Planungsstand auf Grundlage der berechneten Lastprofile mit Hilfe der vieldynamischen Gesamtsimulation ausgelegt, sodass die Temperaturlimits von 2 °C im Winter und 21 °C im Sommer jedenfalls eingehalten werden.

Die Bohrlöcher sind in der aktuellen Planung mit konventionellen Doppel-U-Rohr-Sonden (Duplexsonden mit 32 mm Durchmesser) ausgebaut. Der gegenseitige Sondenabstand wurde mit 5 m ermittelt. Die Verwendung eines Verpressmaterials mit erhöhter Wärmeleitfähigkeit wird empfohlen. Die Erdsonden werden in der Simulation über vier Teilfelder geregelt, um sicherzustellen, dass die Sonden auch bei Teillast turbulent betrieben werden können. Alle Erdsonden sind parallel geschaltet.

### **4.4.11 Backup-Anschluss**

Als Ausfallsicherheit für unvorhergesehene Ereignisse (z.B. Ausfall der Wärmelieferung vom Rechenzentrum) wird zumindest eine leicht zugängliche Anschlussstelle für mobile Heizkessel empfohlen. Es können auch fixe Ersatzwärmeerzeuger in Betracht gezogen werden, wie beispielsweise ein Gaskessel oder ein Fernwärmeanschluss, was jedoch den Nachteil einer doppelten Systemauslegung mit sich bringt. Der Einsatz einer größeren Grundwasserwärmepumpe ist als kurzfristige Ausfallsicherheit geeignet. Für den längerfristigen Wärmequellenersatz reicht jedoch das Energiepotenzial des Grundwasserkörpers in Kombination mit benachbarten Wasserrechten nicht aus, um das NTWK-Netz langfristig mit ausreichend thermischer Energie zu versorgen.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 4.4.12 Zentraler Energiemanager

Wie aus der Studienreise gelernt (Kapitel 3.1.3), ist es ratsam, das NTWK-Netz über einen zentralen Energiemanager zu steuern. Jeder Netzteilnehmer muss eine Wärme- oder Kälteanforderung an den Energiemanager stellen, der die Anfrage genehmigt oder auch prioritär reihen und verschieben kann. Der Energiemanager überwacht auch die Temperaturen des Netzes, des Untergrundes und der Einspeiser, kontrolliert den Status der Jahresenergiebilanz und dokumentiert die Betriebszustände der Anlagen.

## 4.5 Dynamische Netzsimulation – Modelltechnische Abbildung

### 4.5.1 Simulationsumgebung

Die Simulation des NTWK-Netzes passiert in der Simulationsumgebung Matlab®/Simulink® mit den folgenden Systemkomponenten:

- Rohre
- Wärmepumpen
- Plattenwärmetauscher
- Erdsondenspeicher

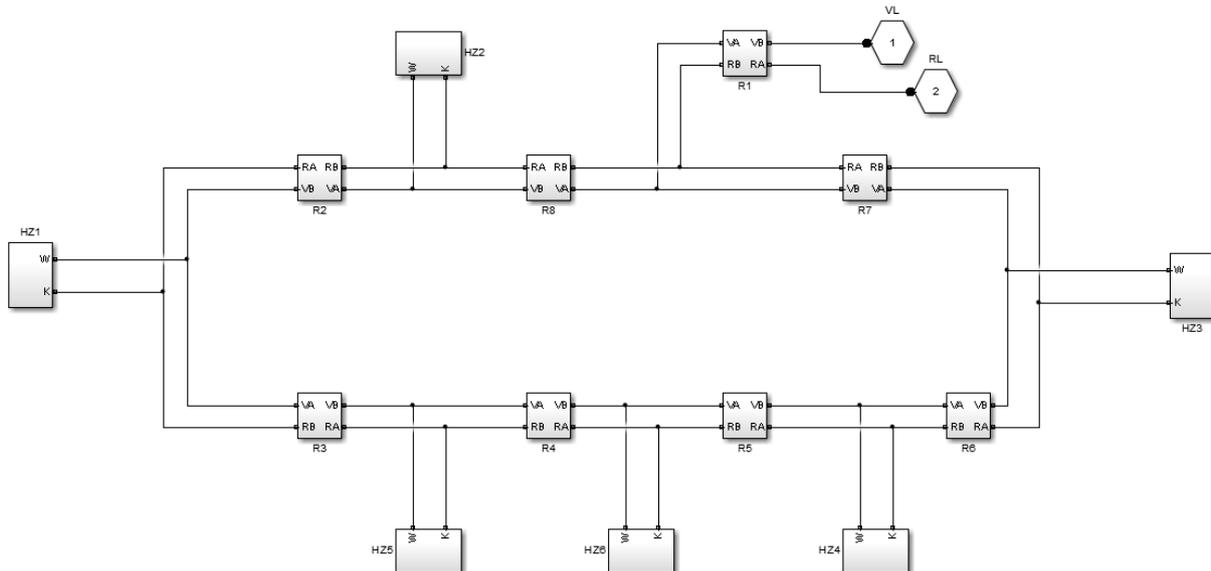
Die Matlab/Simulink – Erweiterung Simscape™ verfügt über die Library „thermal liquid“, welche sich gut für die Simulation von wasserbasierten Rohrnetzwerken eignet. Der Aufbau des Modells erfolgte mithilfe der Standardkomponenten der mitgelieferten Library, welche je nach Bedarf für den jeweiligen Anwendungsfall erweitert wurden. Die Gleichungen sämtlicher hydraulischen/wärmetechnischen Komponenten des NTWK-Netzes werden durch Blöcke repräsentiert, welche miteinander verbunden werden. Das Simulationsmodell des NTWK-Netzes ist in Abbildung 4.16 als Blockschaltbild dargestellt.

Die Berechnung des Druckverlustes in den Rohren geschieht mithilfe der Darcy-Weißbach-Gleichung. Die implizite Berechnung der Rohrreibungszahl  $\lambda$  nach Colebrook-White wird mit der Haaland-Gleichung approximiert. Gleiches gilt für die Berechnung des Druckverlustes über das Erdsondenfeld. Für die Ermittlung des Druckverlustes über die Wärmetauscher (Plattenwärmetauscher – Wärmepumpen - Verdampfer) wird für den Nenn-Massenstrom ein diskreter Druckverlust angenommen. Dieser beträgt für Plattenwärmetauscher 70 kPa, für den Verdampfer der Heizungswärmepumpe 100 kPa und für jenen der Warmwasserwärmepumpe 80 kPa. Mithilfe dieser Annahmen wird für jede Komponente eine Widerstandszahl  $\zeta$

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

berechnet, welche im Teillastfall (Massenstrom  $\neq$  Nenn-Massenstrom) für die Berechnung des Druckverlustes über die Komponente herangezogen wird.



**Abbildung 4.16 Simulationsmodell des Wiener NTWK-Netzes**

- R2 bis R8..... Ringnetz-Rohrabschnitte (Warmleiter und Kaltleiter)
- R1..... Anschlussrohr des Erdsondenfeldes
- HZ1 bis HZ6... Anschlüsse der Technikzentralen (Warmwasser- Heizungswärmepumpe, Plattenwärmetauscher der Gebäudekühlung) inklusive Rohrleitung (Stichleitung) vom Ringnetz zu den Technikzentralen.

Beim Start der Simulation führt der Compiler alle in den Blöcken vorhandenen Gleichungen zu einem Gleichungssystem zusammen. Der gewählte Gleichungslöser ist auf eine fixe Zeitschrittweite (Fixed-Step Solver) von 0,25 h bzw. 900 s eingestellt.

### 4.5.2 Erdsondenmodul

Für die voll-dynamische Gesamtsimulation des Niedertemperatur-Wärmenetzes spielt das Erdsondenfeld eine zentrale Rolle. Das in Matlab®/Simulink® programmierte Modul für das Erdsondenfeld klinkt in jedem Zeitschritt der Netzsimulation ein und berechnet zu der aktuellen Eintrittstemperatur und des Massenstroms die dazugehörige Austrittstemperatur. Diese hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab:

- a) Geometrische Faktoren (Art der Sonde, Bohrdurchmesser, Rohrdurchmesser, Verpressmaterial, Sondenfeldanordnung)
- b) Betriebsfaktoren (Fluidmedium, Jahresbetriebsfunktion)
- c) Geogene Standortfaktoren (Wärmetransporteigenschaften des Untergrunds, Grundwassereinfluss, Erdreichtemperaturen)

Die Berechnung der Austrittstemperatur einer Erdwärmsonde für den jeweiligen Zeitpunkt hängt also, abgesehen von den konstanten geometrischen und geogenen Faktoren für einen

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Standort, auch wesentlich von der Betriebsweise ab. Je höher beispielsweise die Differenz der Fluidtemperatur der Sonden zu der Erdreichtemperatur ist, desto größer die momentane Sondenleistung. Die Erdreichtemperatur ist wiederum von der Vorbelastung des Erdsondenfeldes abhängig, also wieviel Wärmeenergie schon umgesetzt wurde. Dabei löschen sich Wärme- und Kälteeinträge grundsätzlich wieder aus und somit hängen die Erdreichtemperatur und folglich auch die momentane Sondenleistung von der aktuellen Energiebilanz ab.

Zur Programmierung des Erdsondenmoduls in Matlab®/Simulink® wurde zuerst ein mathematisches Modell erstellt, das es erlaubt, das Verhalten eines Saisonspeichers in der NTWK-Netzsimulation abzubilden. Die Grundlage bildet ein eindimensional diskretisiertes Sondenmodell nach Abbildung 4.17, das durch die Gleichungen 4.1, 4.2 und 4.3 definiert ist.

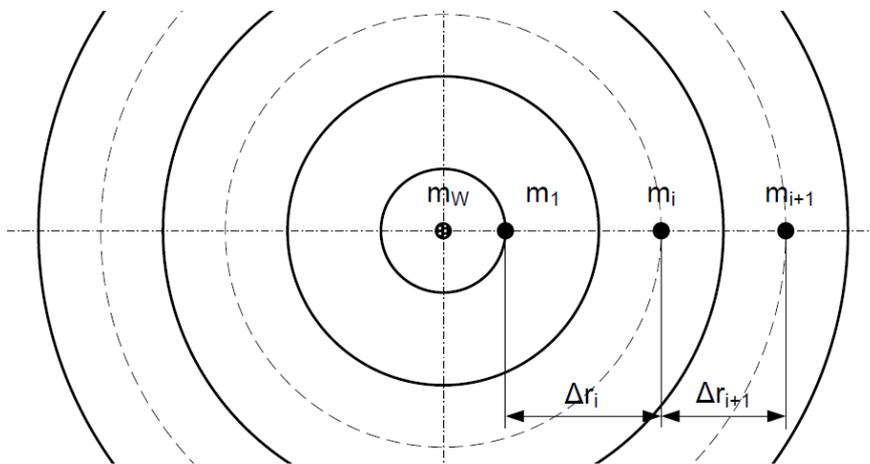


Abbildung 4.17: schematische Skizze des Erdsondenmodells

- Energiebilanz der inneren Knoten ( $i = 2 : j - 1$ ):

$$\begin{aligned} \frac{m_i c_{p,i}}{\Delta t} (T_i^{n+1} - T_i^n) &= F \left[ \frac{\lambda_i}{\Delta r_i} A_i (T_{i-1}^n - T_i^n) - \frac{\lambda_{i+1}}{\Delta r_{i+1}} A_{i+1} (T_i^n - T_{i+1}^n) \right] \\ &+ (1 - F) \left[ \frac{\lambda_i}{\Delta r_i} A_i (T_{i-1}^{n+1} - T_i^{n+1}) - \frac{\lambda_{i+1}}{\Delta r_{i+1}} A_{i+1} (T_i^{n+1} - T_{i+1}^{n+1}) \right] \end{aligned} \quad (4.1)$$

- Energiebilanz innere Randbedingung ( $i = 1$ ):

$$\begin{aligned} \frac{m_i c_{p,i}}{\Delta t} (T_i^{n+1} - T_i^n) &= F \left[ \alpha A_i (T_{w,m}^n - T_i^n) - \frac{\lambda_{i+1}}{\Delta r_{i+1}} A_{i+1} (T_i^n - T_{i+1}^n) \right] \\ &+ (1 - F) \left[ \alpha A_i (T_{w,m}^{n+1} - T_i^{n+1}) - \frac{\lambda_{i+1}}{\Delta r_{i+1}} A_{i+1} (T_i^{n+1} - T_{i+1}^{n+1}) \right] \end{aligned} \quad (4.2)$$

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Energiebilanz äußere Randbedingung ( $i = j$ ):

$$\begin{aligned} & \frac{m_i c_{p,i}}{\Delta t} (T_i^{n+1} - T_i^n) \\ &= F \left[ \frac{\lambda_i}{\Delta r_i} A_i (T_{i-1}^n - T_i^n) - \frac{\lambda_{i+1}}{\Delta r_{i+1}} A_{i+1} (T_i^n - T_{soil}) \right] \\ &+ (1 - F) \left[ \frac{\lambda_i}{\Delta r_i} A_i (T_{i-1}^{n+1} - T_i^{n+1}) - \frac{\lambda_{i+1}}{\Delta r_{i+1}} A_{i+1} (T_i^{n+1} - T_{soil}) \right] \end{aligned} \quad (4.3)$$

$m...$	Knotenmasse
$T...$	Knotentemperatur
$c_p...$	spezifische isobare Wärmekapazität
$\Delta t...$	Zeitschrittweite
$F...$	Berechnungsfaktor
$i...$	Knotenelement (1:j)
$n...$	Zeitindex
$\lambda...$	Wärmeleitfähigkeit
$\Delta r...$	relativer Knotenabstand
$A...$	aktive Wärmeübertragungsfläche
$\alpha...$	Wärmeübergangskoeffizient Wasser-Rohrwand
$T_{w,m}...$	arithmetische Mitteltemperatur Wassereintritt und -austritt
$T_{soil}...$	ungestörte Erdoberflächtemperatur

Das vereinfachte Modell des Erdsondenfeldes wurde anhand eines FEFLOW-Modells am konkreten Standort der Oase22+ kalibriert und validiert. Somit sind die lokalen hydrogeologischen Verhältnisse als 4-Schicht Modell (Advektion im Grundwasserkörper, Jahresverlauf der Oberflächentemperatur und somit des oberflächennahen Untergrunds) in der Gesamtsimulation mitberücksichtigt.

Regelungstechnisch wurde das Erdsondenfeld mit vier Teilsondenfeldern mit jeweils gleicher Sondenanzahl umgesetzt. Dadurch wird es möglich, die Strömungsgeschwindigkeiten und damit den Wärmeübergangskoeffizienten vom Wasser auf das Erdreich hoch zu halten. Die Teilsondenfelder können mittels Absperrklappen aktiviert und deaktiviert werden. Ein integriertes Regelkonzept entscheidet, welche der Teilsondenfelder zu welchem Zeitpunkt aktiv bzw. inaktiv sind. Je nach Massenstrom, welcher am Erdsondenspeicher ankommt (Differenzmassenstrom der Summe der Massenströme aller Wärmebezieher abzüglich der Summe der Massenströme aller Wärmelieferanten), wird festgelegt, wie viele der vier Teilsondenfelder für ein turbulentes Fließregime benötigt werden. Aufgrund der Historie der verschiedenen Teilsondenfelder (Wärmemengenzähler) werden die Teilsondenfelder relativ zu einander gelistet und je nach Speicheranforderung (beladen/entladen) aktiviert oder deaktiviert:

- $\sum \dot{Q}_E > \sum \dot{Q}_{TZ}$ : *Speicher beladen*: Jenes Teilsondenfeld hat Priorität, welches den kleinsten Wert am Wärmemengenzähler aufweist.
- $\sum \dot{Q}_E \leq \sum \dot{Q}_{TZ}$ : *Speicher entladen*: Jenes Teilsondenfeld hat Priorität, welches den größten Wert am Wärmemengenzähler aufweist.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Durch dieses Regelkonzept ist sichergestellt, dass die Energiebilanz der einzelnen Teilsondenfelder ähnlich ist und bei einer ausgeglichenen Bilanz des gesamten Erdsondenspeichers jedes Teilsondenfeld für sich eine ausgeglichene Energiebilanz aufweist.

### 4.5.3 Validierungssimulationen des Erdsondenmoduls

Das eigens programmierte Erdsondenmodul wurde in einem iterativen Prozess mit dem bekannten Simulationsprogramm FEFLOW™ verglichen und dessen Ergebnisse angepasst. FEFLOW™ basiert auf Finiten Elementen und ist gut geeignet zur Simulation von verschalteten Erdwärmesonden.

Die Komplexität der Sondenmodelle wurde dabei von einem einfachen Modell mit konstanter Temperaturvorgabe (Simulation S1) bis zum dreidimensionalen Untergrundmodell mit realen Lastgängen, Klima- und Grundwassereinfluss schrittweise erhöht. In Tabelle 4.7 ist der Verlauf der 12 Validierungssimulationen (S1-S12) und dessen Änderungen angeführt.

Ab Simulation S10 wurde die bisher konstante Erdreichtemperatur an die bekannten Erdreichtemperaturen tiefenabhängig an den Standort angepasst. Ebenso wurden die jahreszeitliche Schwankung der Oberflächentemperatur, der Grundwasserfluss und somit auch Advektion mitberücksichtigt. Das Modell wurde auf die Messwerte einer nahegelegenen Grundwassermessstelle kalibriert, siehe Kapitel 4.5.4 und ist ab Simulation S11 inkludiert. Außerdem wurde das hydrogeologische Untergrundmodell von homogenen Verhältnissen auf ein Vier-Schicht-Modell erweitert. Die finale Validierungssimulation mit Matlab®/Simulink® wurde mit Simulation S11 erfolgreich durchgeführt. In Simulation S12 wurde das Lastprofil auf Monatsdaten vereinfacht und durch eine Leistungsvorgabe ersetzt. Dadurch war es möglich die Simulation mehrere Jahre laufen zu lassen und mit einer thermischen Grundwassernutzung zu kombinieren. Simulation S12 liefert die Basis für die Gesamtsimulation S13, siehe Kapitel 4.5.5.

Für jeden Simulationsschritt wurden die Eingangsdaten für die Erdsonden bzw. das Erdsondenfeld, abhängig vom Lastprofil der Wärmebezieher und Wärmelieferanten, zuerst mit dem Erdsondenmodul in Matlab®/Simulink® berechnet. Die gleichen Eingangsdaten wurden sodann in der Simulationssoftware FEFLOW™ vorgegeben und die Ergebnisse mit den Austrittstemperaturen des Erdsondenmoduls verglichen, dessen Parameter daraufhin für jeden Schritt so angepasst wurden, dass die Abweichung der Ergebnisse im Jahresmittel jedenfalls unterhalb von 1 % liegt.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

**Tabelle 4.7: Übersicht über die durchgeführten Simulationen.** Änderungen der Parameter sind gelb hinterlegt.

Simulationsnummer	Anzahl Sonden	Verschaltung	Vorgabe	Betriebsfunktion	Erreichtemperatur	Erreichparameter	Klimaeinfluss	Grundwassereinfluss	Sondenart
S1	1	-	T, V	T <sub>ein</sub> = konstant V = konstant	konstant 14 °C	homogen 2 W/m/K und 2.5 MJ/m <sup>3</sup> /K	Nein	Nein	2xU
S2	1	-	T, V	T <sub>ein</sub> = konstant V = variabel	konstant 14 °C	homogen 2 W/m/K und 2.5 MJ/m <sup>3</sup> /K	Nein	Nein	2xU
S3	5m Sondenabstand 2 parallel		T, V	T <sub>ein</sub> = 2 Stufig V = variabel, ein- aus	konstant 14 °C	homogen 2 W/m/K und 2.5 MJ/m <sup>3</sup> /K	Nein	Nein	2xU
S4	5m Sondenabstand 169 parallel		T, V	Lastprofil_V01	konstant 14 °C	homogen 2 W/m/K und 2.5 MJ/m <sup>3</sup> /K	Nein	Nein	2xU
S5	5m Sondenabstand 169 4 Teilfelder parallel		T, V	Lastprofil_V01	konstant 14 °C	homogen 2 W/m/K und 2.5 MJ/m <sup>3</sup> /K	Nein	Nein	2xU
S6	5m Sondenabstand 160 4 Teilfelder parallel		T, V	Lastprofil_V02	konstant 14 °C	homogen 2 W/m/K und 2.5 MJ/m <sup>3</sup> /K	Nein	Nein	2xU
S7	5m Sondenabstand 160 4 Teilfelder parallel		P, V	Lastprofil_V02	konstant 14 °C	homogen 2 W/m/K und 2.5 MJ/m <sup>3</sup> /K	Nein	Nein	2xU
S8	5m Sondenabstand 160 4 Teilfelder parallel		T, V	Lastprofil_V02	konstant 14 °C	3 Schichtmodell (Neogen, Tertiär01, Tertiär02)	Nein	Nein	1xU
S9	5m Sondenabstand 160 4 Teilfelder parallel		T, V	Lastprofil_V02	konstant 14 °C	3 Schichtmodell (Neogen, Tertiär01, Tertiär02)	Nein	Nein	2xU
S10	5m Sondenabstand 160 4 Teilfelder parallel		P, V	Lastprofil_V02	T-Oberfläche 12 °C Gradient 0.03K/m	3 Schichtmodell (Neogen, Tertiär01, Tertiär02)	JA	JA	2xU
S11	5m Sondenabstand 160 4 Teilfelder parallel		T, V	Lastprofil_V02	T-Oberfläche 13.2 °C Gradient 0.02K/m 50 Jahre	4 Schichtmodell (Neogen teilgesättigt, Neogen gesättigt, Tertiär01, Tertiär02)	JA	JA	2xU
S12	5m Sondenabstand 160 4 Teilfelder parallel		P, V, Monats- vorgabe	Lastprofil_V02	T-Oberfläche 13.2 °C Gradient 0.02K/m 50 Jahre	4 Schichtmodell (Neogen teilgesättigt, Neogen gesättigt, Tertiär01, Tertiär02)	JA	JA	2xU

T... Temperatur  
T<sub>ein</sub>... Sondereintrittst  
V... Volumenstrom

2xU... Duplex Sonde (Doppel-U-Rohr)  
1xU... Simplex Sonde

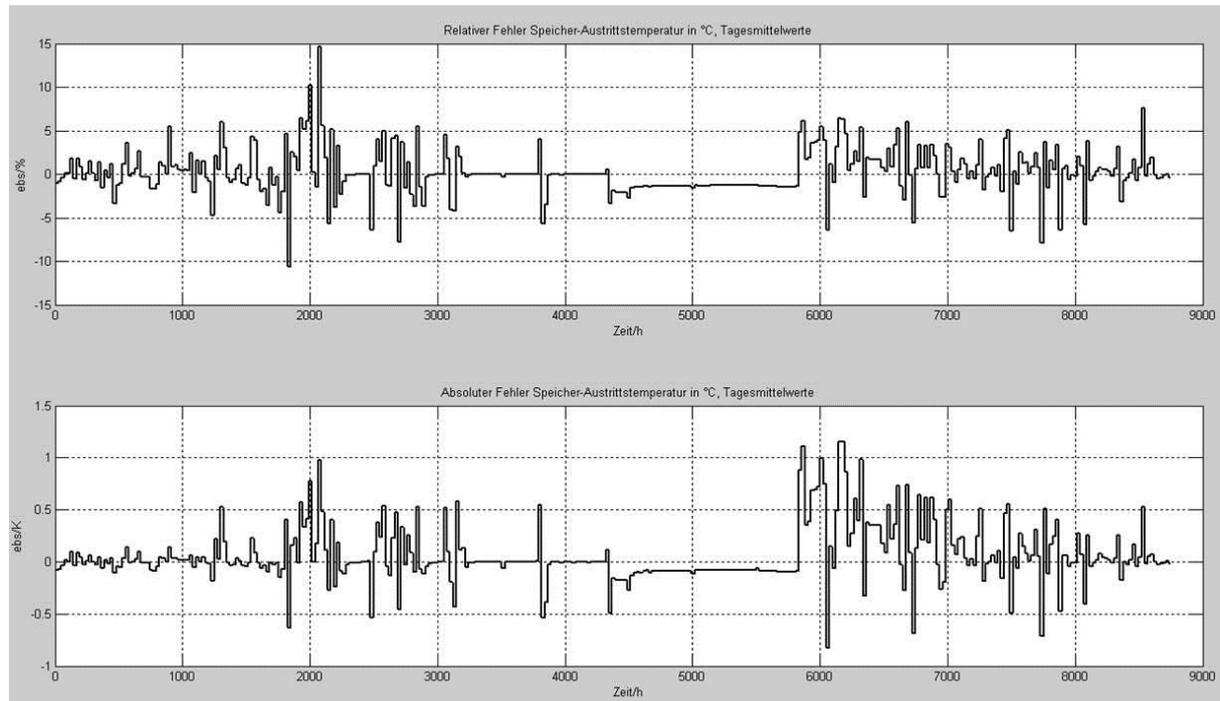
Am Beispiel von Simulation 5 beträgt der relative Fehler der beiden Modelle bei der Mischtemperatur der Teilsondenfelder 0,4 % und bei der mittleren spezifischen Sondenleistung 0,6 %. Ein grafischer Vergleich kann in Anhang A1 mit der Austrittstemperatur des Erdsondenfelds für das simulierte Jahr gemacht werden.

Abbildung 4.18 zeigt den zeitlichen Verlauf der relativen und absoluten Abweichungen der beiden Erdsondenmodelle der letztgültigen Validierungssimulation S11 zwischen FEFLOW™ und Matlab®/Simulink®. Die Abweichung der Jahresmitteltemperatur beträgt 0,062 K absolut bzw. 0,2 % relativ.

Wenngleich das vereinfachte Erdsondenmodell in Matlab®/Simulink® nicht exakt dieselben Ergebnisse wie das FEFLOW-Modell liefert, eignet es sich gut für die Gesamtsimulation, um das Verhalten eines Erdsondenspeichers im Rahmen des gegenständlichen Projektes zu untersuchen.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4.18: Relativer (oben) und absoluter (unten) Fehler der Erdsondenmodelle FEFLOW™ und Matlab®/Simulink®**

## 4.5.4 Kalibrierung des hydrogeologischen Untergrundmodells

Die Kalibrierung der Temperatur des Untergrundmodells wurde auf die verfügbaren Messwerte (Grundwassertemperaturen der Station 22-212) durchgeführt und in Simulation S11 (siehe oben) abgeschlossen. Die Kalibrierung und somit auch die Starttemperatur des Erdmodells in S11 wurden schrittweise durch folgende Vorgehensweise ermittelt:

1. Stationäre Simulation mit Vorgabe der mittleren Bodentemperatur der ZAMG (12,15 °C) an der Oberfläche und Vorgabe eines konstanten Wärmestromes von unten (0,05 W/m<sup>2</sup>). Das Ergebnis dient als Startwert für Schritt 2
2. Transiente Simulation mit jährlich periodisch schwankender Oberflächentemperatur über 10 Jahre mit einem Mittelwert von 12,15 °C und einer Amplitude von 10,8 °C. Im Vergleich zur nächst gelegenen Messstation stimmt der Jahresverlauf der Grundwassertemperatur des Modells in Amplitude und Phase recht gut überein. Lediglich der Mittelwert liegt zu niedrig.
3. Kalibrierung der Untergrundtemperaturen auf Grundwassermesswerte: Iterative transiente Simulation, um die Grundwassertemperaturen des Modells auf die Messwerte der nächst gelegenen Messstation der MA 45 mit Temperaturmessung zu kalibrieren. Durch Erhöhung des Mittelwertes der Oberflächentemperatur von 12,1 auf 13,2 °C, also um +1,1 °C, und dessen Wirkung über 60 Jahre konnte eine gute Übereinstimmung der modellierten Grundwassertemperaturen mit den Messwerten

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

gefunden werden, vergleiche Abbildung in Anhang A1. Die Erhöhung der Oberflächentemperatur kann mit dem qualitativ bekannten Temperatureinfluss durch Oberflächenversiegelung im städtischen Gebiet gerechtfertigt werden.

4. Überprüfung der Kalibrierung mit Temperaturprofil der Erdwärmesonde: Das zu Projektende vorliegende Temperaturprofil der Erdwärmesonde direkt am Standort wurde verwendet, um die Untergrundtemperaturen des Modells mit dem gemessenen Temperaturprofil am Stichtag 11. April 2017 direkt am Standort zu vergleichen. Der Vergleich ist in Anhang 1 grafisch dargestellt und zeigt gute Übereinstimmung mit dem „ungestörten“ Temperaturprofil des Modells zum 8. April. Zusätzlich sind die modellierten Temperaturprofile des Erdreichs im Jänner, Juli und Oktober eingetragen.

### **4.5.5 Langzeitsimulation zur Bestimmung der thermischen und hydraulischen Umweltauswirkungen**

Als Abschluss der numerischen Simulationen der geothermischen Quellen und Speicher wurde eine finale Version (Simulation S13) durchgeführt. Diese baut auf den Ergebnissen von Simulation S12 auf und wurde mit einer thermischen Grundwassernutzung in Form eines Entnahme- und Versickerungsbrunnen ergänzt. Wegen der um ca. 2 °C erhöhten Grundwassertemperaturen am Standort Oase22+, wurde die thermische Grundwassernutzung am WSE-Gelände im ersten Anlauf auf ganzjährigen Wärmeentzug ausgelegt.

#### **4.5.5.1 Lastgänge für das Erdsondenfeld**

Um die Simulation auf mehrere Jahre in adäquaten Zeiten berechnen zu können, mussten die Lastgänge (auf Stundenbasis) wesentlich vereinfacht werden. Da das Ziel der Simulation die Beurteilung des hydraulischen und thermischen Einflusses der geothermischen Anlagen auf den Untergrund darstellt, ist eine Vorgabe der Sondenleistung (anstatt der Eintrittstemperatur) und des Durchflusses zweckmäßig. Die Basis für die Vereinfachung der Sondenleistung bilden die Ergebnisse aus Simulation 12, wo dem Erdsondenfeld die Eintrittstemperatur und der Volumenstrom aus der volldynamischen Gesamtsimulation vorgegeben wurden. Dabei wurde für jedes Monat eine Spitzenlast und eine Grundlast so berechnet, dass die Monatsbilanzen für Heizen und Kühlen (siehe Abbildung 4.19) mit den Ergebnissen aus Simulation 12 übereinstimmen. Die vereinfachte Leistungsfunktion ist in Abbildung 4.20 dargestellt.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

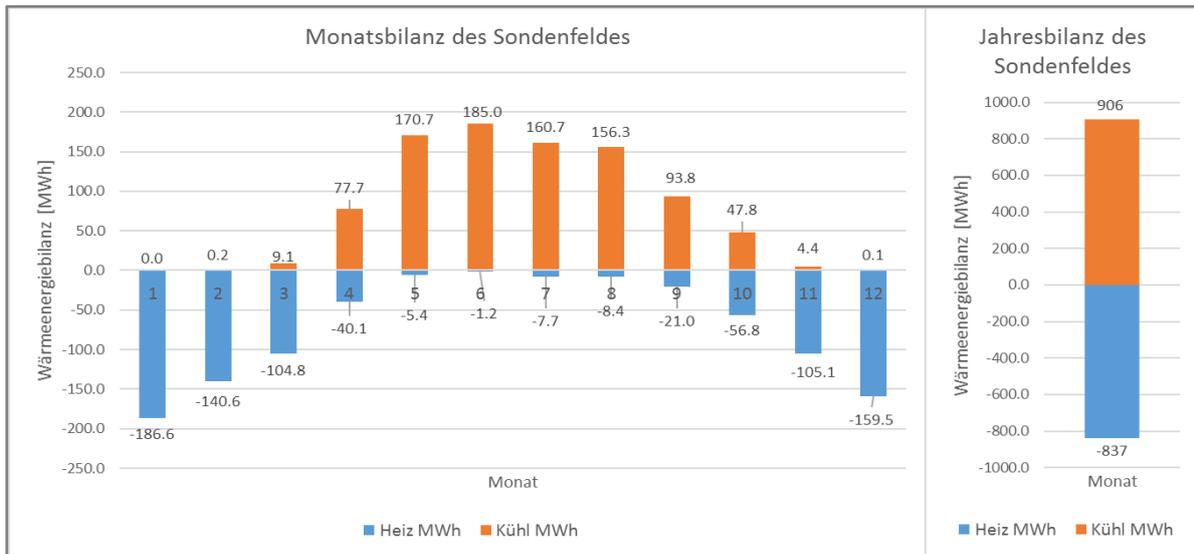


Abbildung 4.19: Monatsbilanz und Jahresbilanz des Erdsondenfeldes für Beladen (orange) und Entladen (blau).

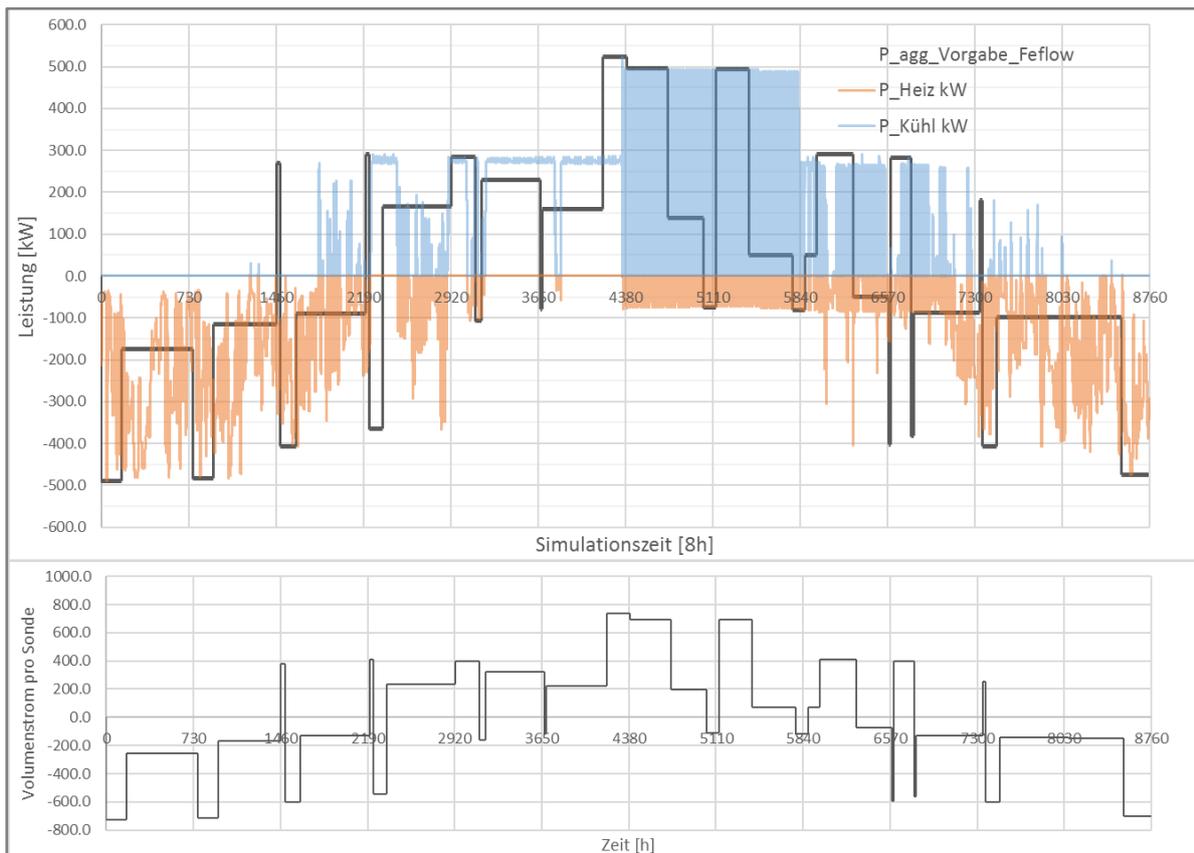
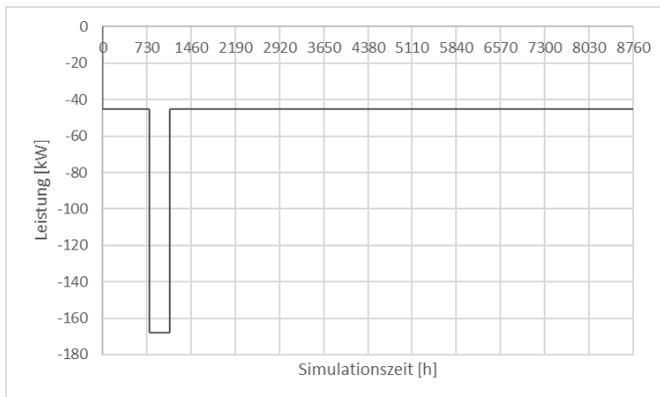


Abbildung 4.20. Vorgabe der vereinfachten Leistungsfunktion für das Erdsondenfeld (schwarze Kurve, obere Grafik) und der Volumenstrom pro Sonde (schwarze Kurve, untere Grafik). Jeder Monat enthält zwei Leistungsstufen: Spitzenlast und Grundlast, sodass die Monatsbilanz für Heizen und Kühlen erfüllt ist.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 4.5.5.2 Lastgang für die Grundwassernutzung



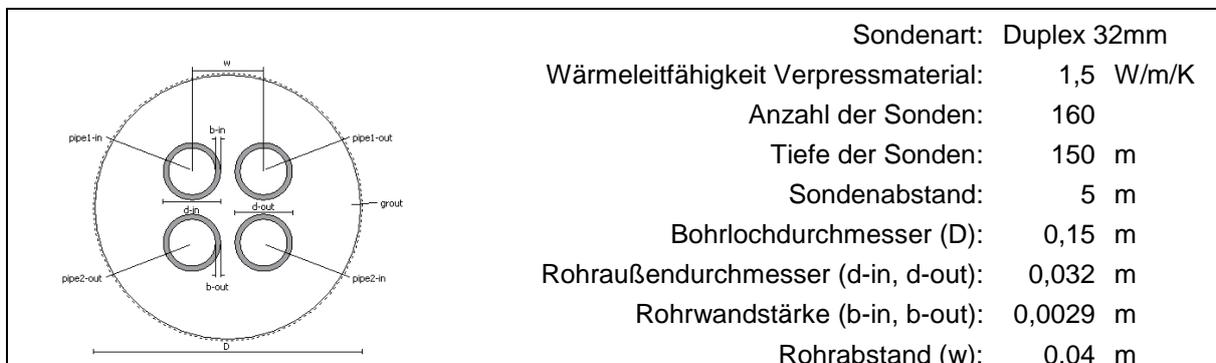
Aufgrund der bereits erhöhten Grundwassertemperaturen am Standort (siehe Kapitel 4.2.4) dient die thermische Grundwassernutzung in dieser ersten Auslegung als reiner Wärmelieferant, d.h. die Anlage ist ganzjährig in Betrieb und kühlt das entnommene Grundwasser um 4°C ab. Der Volumenstrom wird als Spitzenlastszenario in den ersten beiden Februar-Wochen auf 10 l/s gesetzt, im restlichen Jahr auf 2,7 l/s. Dies ergibt eine Grundlast von ca. 45 kW und eine

**Abbildung 4.21: Leistungsvorgabe der thermischen Grundwassernutzung**

Spitzenlast von 168 kW. Jährlich wird dem Grundwasser dadurch eine Wärmemenge von 438 MWh/a entnommen und entweder direkt von den dezentralen Wärmepumpen benötigt oder ins Erdsondenfeld eingespeichert.

### 4.5.5.3 Erdsonden - Geometrie und Parameter

In Abbildung 4.22 sind die für Simulation S13 verwendete Geometrie und Parameter der Erdsonden und des Erdsondenfeldes angegeben.



**Abbildung 4.22: Geometrie und Parameter der Erdwärmesonden in der Simulation**

Die Ergebnisse der Simulation S13 sind in Kapitel 4.6.6 und 4.6.7 angegeben.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

## 4.6 Simulationsergebnisse

In diesem Kapitel sind die Simulationsergebnisse der vollo dynamischen Netzsimulation und der Langzeitsimulation für den Standort Wien angegeben.

### 4.6.1 Energiemengen, Sankey-Diagramm

Das hier dargelegte Konzept des NTKW-Netzes wurde anhand des beschriebenen Untersuchungsgebietes für ein Jahr simuliert. Als Ergebnisse und Input für die Wirtschaftlichkeitsanalyse werden die notwendigen Komponenten sowie die jährlich anfallenden Strombedarfe (Wärmepumpen, Umwälzpumpen) hier angeführt.

Die Gegenüberstellung der Energiemengen für Bedarf und Bereitstellung für ein Betriebsjahr des NTKW-Netzes ist in Abbildung 4.23 zu finden. Im Detail sind die erforderlichen Energiemengen für das simulierte Jahr aus Tabelle 4.8 zu entnehmen. Die Energieflüsse (thermisch und elektrisch) für ein Betriebsjahr sind im Energieflussdiagramm in Abbildung 4.24 grafisch skaliert dargestellt. Die monatliche Auflösung der Werte aus Tabelle 4.8 (Monatsbilanz) ist der Abbildung 4.25 und die Jahresverläufe der NTKW-Netz-Temperaturen sind der Abbildung 4.26 zu entnehmen.

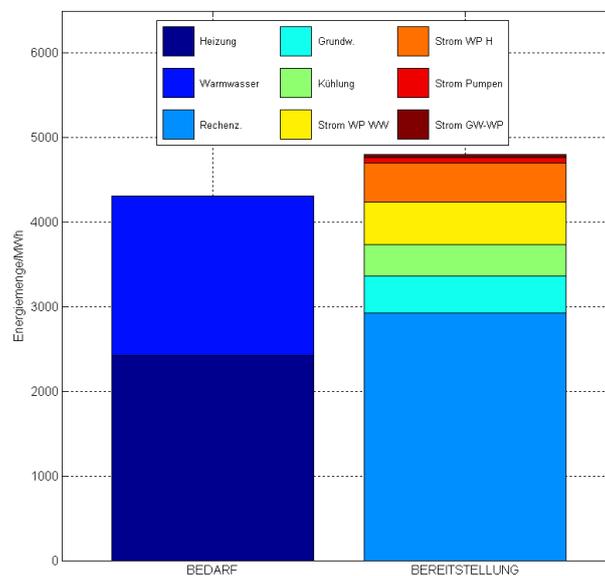


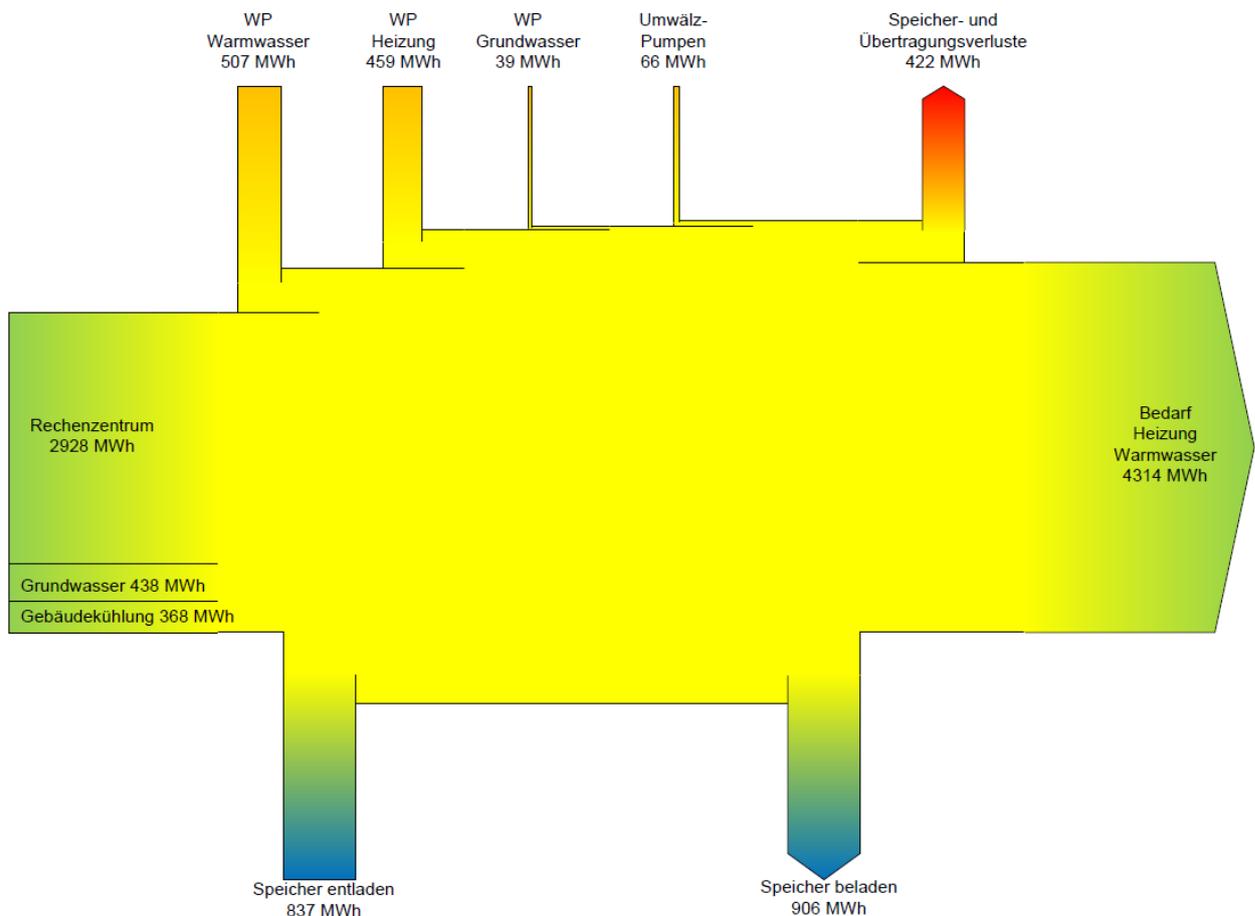
Abbildung 4.23: Energiebedarf vs. Energiebereitstellung, Energiemengen

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

**Tabelle 4.8: Energiemengen Simulationsergebnisse**

Typ	Energiemenge		
Bedarf	Heizung	2426,9	MWh
Bedarf	Warmwasser	1887,5	MWh
Bereitstellung	Rechenzentrum	2928,1	MWh
Bereitstellung	Grundwasser	438,0	MWh
Bereitstellung	Gebäudekühlung	367,7	MWh
Bereitstellung	WP WW elektrisch	507,1	MWh
Bereitstellung	WP H elektrisch	458,5	MWh
Bereitstellung	WP GW elektrisch	38,7	MWh
Bereitstellung	Umwälzpumpen	65,8	MWh
JAZ WP Heizen		5,87	-
JAZ WP Warmwasser		3,82	-
Anzahl Erdsonden		160	-



**Abbildung 4.24: Energieflussdiagramm des in diesem Projekt betrachteten NTWK-Netz-Systems**

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

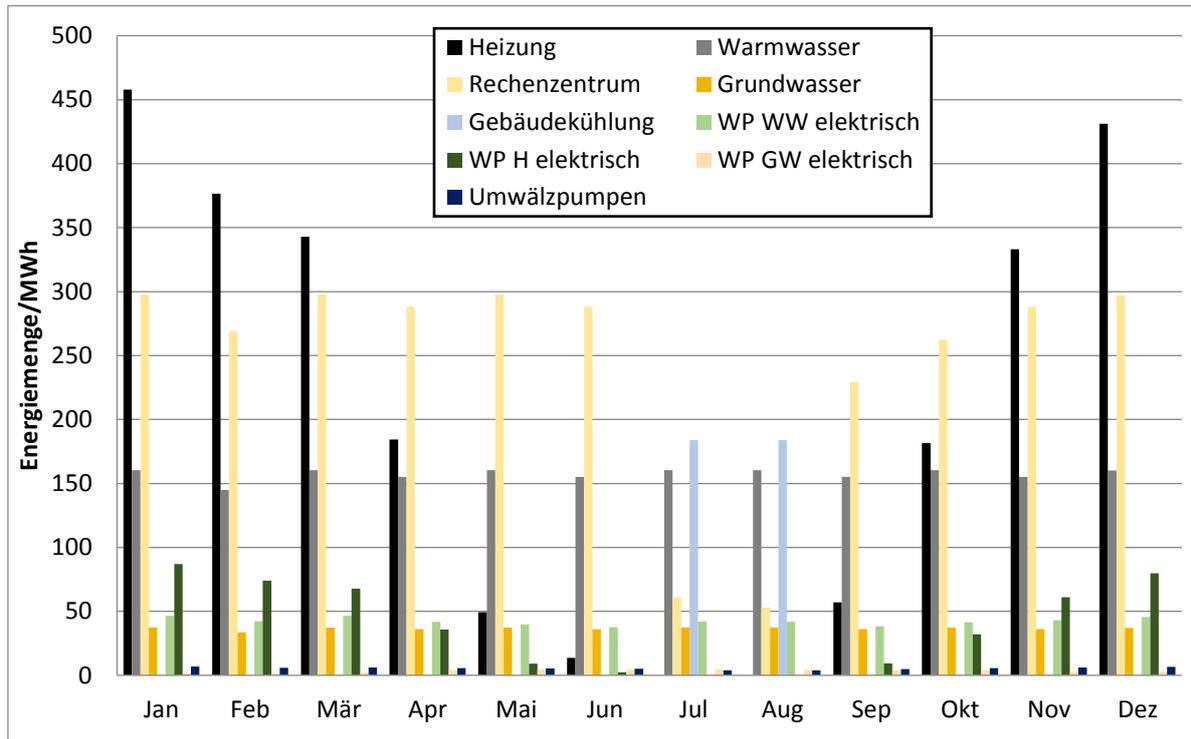


Abbildung 4.25: Monatlicher Energiebedarf und –bereitstellung

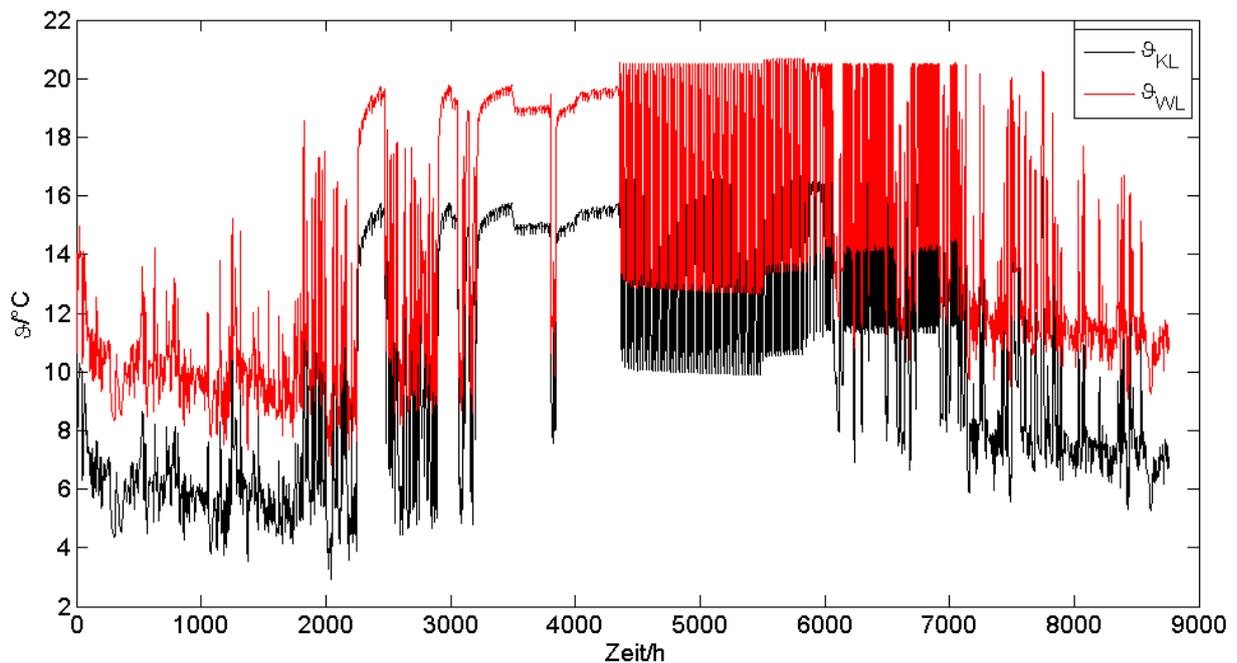


Abbildung 4.26: Jahresverlauf der NTKW-Netztemperatur des Kalt- und Warmleiters

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 4.6.2 Thermischer Wirkungsgrad

Der thermische Wirkungsgrad des Gesamtsystems wird hier folgendermaßen definiert:

$$\eta = \frac{\sum \dot{Q}_H + \sum \dot{Q}_{WW} + \dot{Q}_{S,laden}}{\sum \dot{Q}_E + \sum \dot{Q}_{GK} + \sum P_{WP,H} + \sum P_{WP,WW} + \sum P_{UP} + P_{WP,GW} + \dot{Q}_{S,entladen}} \quad (4.4)$$

Hierbei sind  $\dot{Q}_H$  und  $\dot{Q}_{WW}$  die tatsächlichen Nutzleistungen der Verbraucher (ohne Verteil- und Zirkulationsverluste),  $\dot{Q}_{S,laden}$  und  $\dot{Q}_{S,entladen}$  die Wärmeströme des Erdsondenfeldbe- und –entladens,  $\dot{Q}_E$  der von den Einspeisern Rechenzentrum und Grundwasser ins NTKW-Netz eingebrachte Wärmestrom,  $\dot{Q}_{GK}$  der durch die Gebäudekühlung bereitgestellte Wärmestrom sowie  $P_{WP,H}$ ,  $P_{WP,WW}$ ,  $P_{WP,GW}$  und  $P_{UP}$  der elektrische Leistungsbedarf der Wärmepumpen für Heizen, Warmwasser, Grundwasser und Netzpumpen.

Der Jahresverlauf des thermischen Wirkungsgrades ist in Abbildung 4.27 dargestellt.

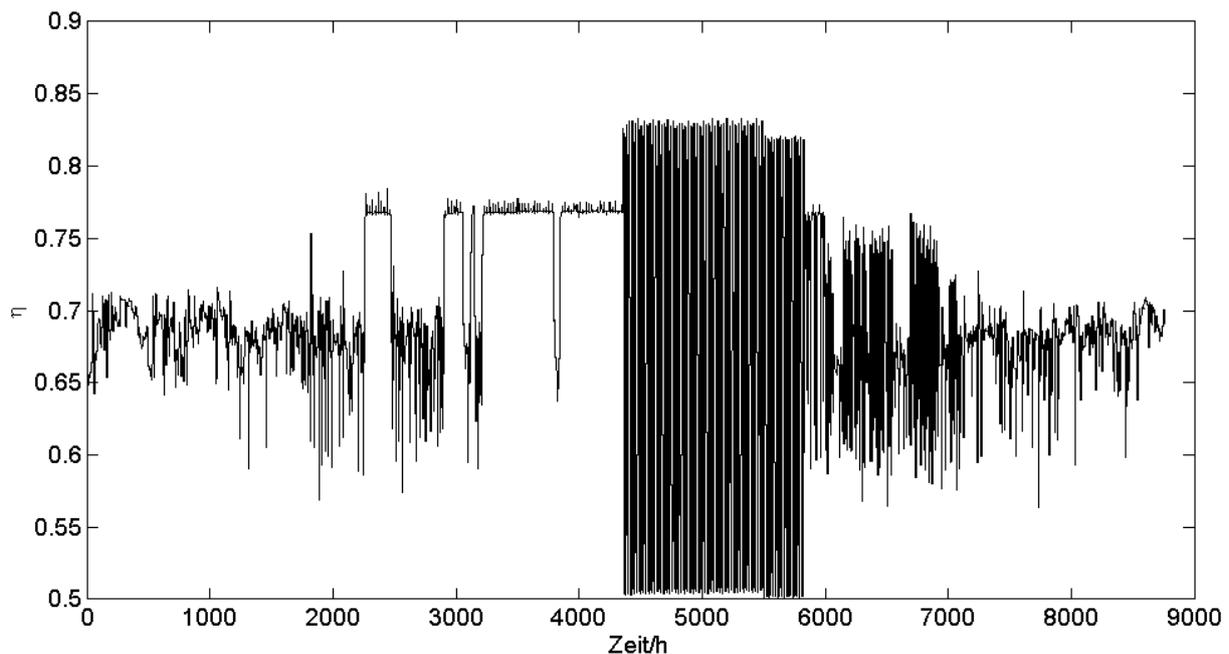


Abbildung 4.27: Zeitverlauf des thermischen Wirkungsgrades des NTKW-Netzes

### 4.6.3 Exergetischer Wirkungsgrad

Für das hier simulierte NTKW-Netz wird neben dem energetischen Wirkungsgrad auch der exergetische Wirkungsgrad bestimmt. Dabei wird einerseits der exergetische Wirkungsgrad der Wärmebereitstellung durch die Wärmepumpen (Heizung und Warmwasser) sowie jener der Wärmeverteilung über das NTKW-Netz bestimmt. Kombiniert werden diese schließlich

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

zum exergetischen Gesamtwirkungsgrad des NTKW-Netzes. Hierfür wird stets mit der Exergie des stationär fließenden Stoffstromes gerechnet, welche folgendermaßen definiert ist:

$$\dot{E} = \dot{m} (c_p(\vartheta_{aus} - \vartheta_{ein}) - T_u(s_{aus} - s_{ein})) \quad (4.5)$$

Hier ist  $\dot{E}$  der Exergiestrom, und  $s_{aus}$  bzw.  $s_{ein}$  die Entropie am Aus- und Eintritt des betrachteten Elementes. Als Referenztemperatur der Exergie  $T_u$  wurde hier 273,15 K (0 °C) gewählt.

Die Berechnung des exergetischen Wirkungsgrades der Wärmebereitstellung bei den Wärmekunden  $\zeta_B$  ist hier folgendermaßen definiert:

$$\zeta_B = \frac{\sum \dot{E}_{KO,H} + \sum \dot{E}_{KO,WW}}{\sum \dot{E}_{VD,H} + \sum \dot{E}_{VD,WW} + \sum P_{WP,H} + \sum P_{WP,WW}} \quad (4.6)$$

Wobei  $\dot{E}_{KO,H}$  und  $\dot{E}_{KO,WW}$  bzw.  $\dot{E}_{VD,H}$  und  $\dot{E}_{VD,WW}$  der Exergiestrom am Kondensator bzw. Verdampfer der Wärmepumpen und  $P_{WP,H}$  sowie  $P_{WP,WW}$  der elektrische Leistungsinput an den Wärmepumpen darstellt. Die Definition des exergetischen Wirkungsgrades der Wärmeverteilung  $\zeta_V$  sowie der exergetische Gesamtwirkungsgrad  $\zeta_{ges}$  sind in Gl. 4.7 und Gl. 4.8 angeführt:

$$\zeta_V = \frac{\sum \dot{E}_{VD,H} + \sum \dot{E}_{VD,WW} + \dot{E}_{S,beladen}}{\sum \dot{E}_E + \sum \dot{E}_{GK} + \dot{E}_{S,entladen} + \sum P_{UP}} \quad (4.7)$$

Hier sind  $\dot{E}_{S,beladen}$  bzw.  $\dot{E}_{S,entladen}$  die Exergieflüsse beim Erdsondenspeicher be- und entladen. Das Erdsondenfeld als saisonaler Speicher fungiert hier einerseits als Wärmebereitsteller und andererseits als Wärmeabnehmer.  $\dot{E}_E$  ist der Exergiestrom den die Einspeiser (Rechenzentrum und Grundwasser) bereitstellen,  $\dot{E}_{GK}$  der Exergieeintrag durch Gebäudekühlung in den Sommermonaten und  $P_{UP}$  der elektrische Leistungsbedarf der Umwälzpumpen.

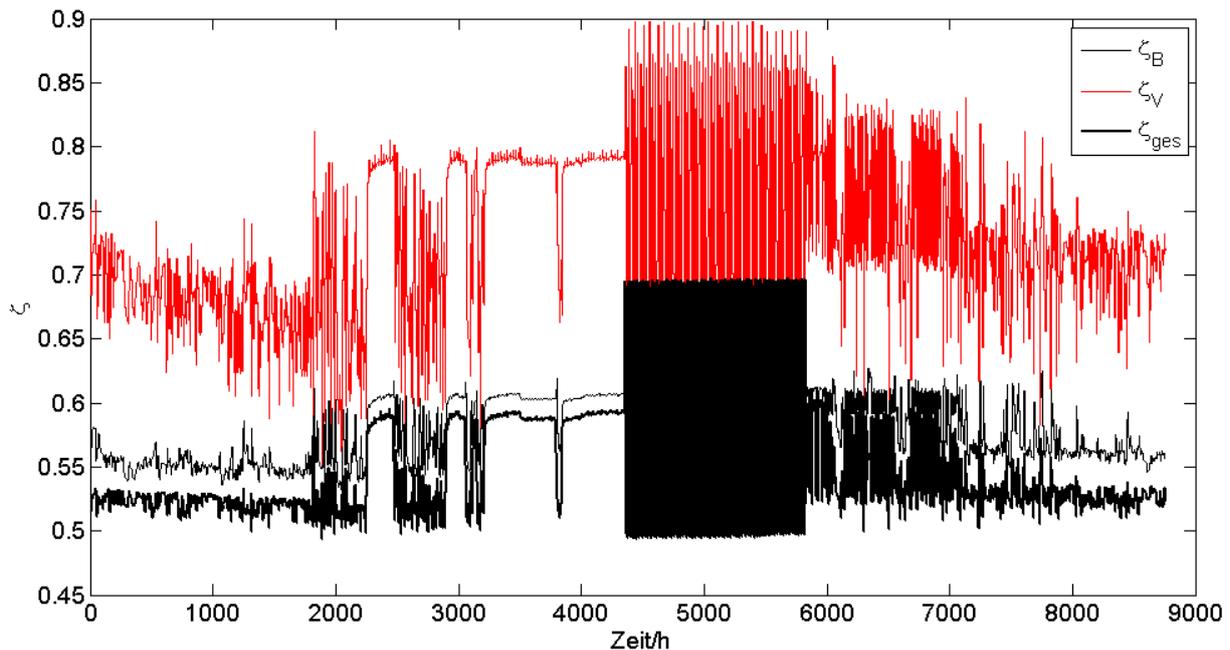
$$\zeta_{ges} = \frac{\sum \dot{E}_{KO,H} + \sum \dot{E}_{KO,WW} + \dot{E}_{S,beladen}}{\sum \dot{E}_E + \sum \dot{E}_{GK} + \sum P_{WP,H} + \sum P_{WP,WW} + \sum P_{WP,GW} + \sum P_{UP} + \dot{E}_{S,entladen}} \quad (4.8)$$

Analog zum thermischen Wirkungsgrad sind hier  $P_{WP,GW}$  der elektrische Leistungsbedarf der Grundwasserwärmepumpe.

Der zeitliche Verlauf der exergetischen Wirkungsgrade ist Abbildung 4.28 dargestellt.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4.28: zeitlicher Verlauf der berechneten exergetischen Wirkungsgrade.** Exergetischer Wirkungsgrad der Wärmebereitstellung bei den Wärmekunden  $\zeta_B$ , exergetischer Wirkungsgrad der Wärmeverteilung  $\zeta_V$  und exergetischer Gesamtwirkungsgrad  $\zeta_{ges}$ .

Bei der Berechnung des exergetischen Wirkungsgrades der Wärmebereitstellung über Wärmepumpen wurde hier auch die Exergie der Wärmequelle berücksichtigt (Bezugstemperatur 0 °C). Durch die höheren Temperaturen im Sommer und den damit verbundenen höheren COP der Wärmepumpen erhöht sich der exergetische Wirkungsgrad der Wärmebereitstellung im Sommer. Der vergleichbare exergetische Wirkungsgrad von konventionellen Fernwärmenetzen beträgt nach (Kranzl, Müller, Matzenberger, & Bayr, 2012) 33 % bei einer Nutzttemperatur von 70 °C. Der relativ hohe exergetische Wirkungsgrad der Wärmebereitstellung, aufgrund der hohen Jahresarbeitszahlen, gepaart mit dem hohen exergetischen Wirkungsgrad der Wärmeverteilung, bedingt durch die niedrigen Netztemperaturen, führt zu einem **exergetischen Gesamtwirkungsgrad, der in etwa doppelt so hoch liegt wie jener konventioneller Fernwärmenetze.**

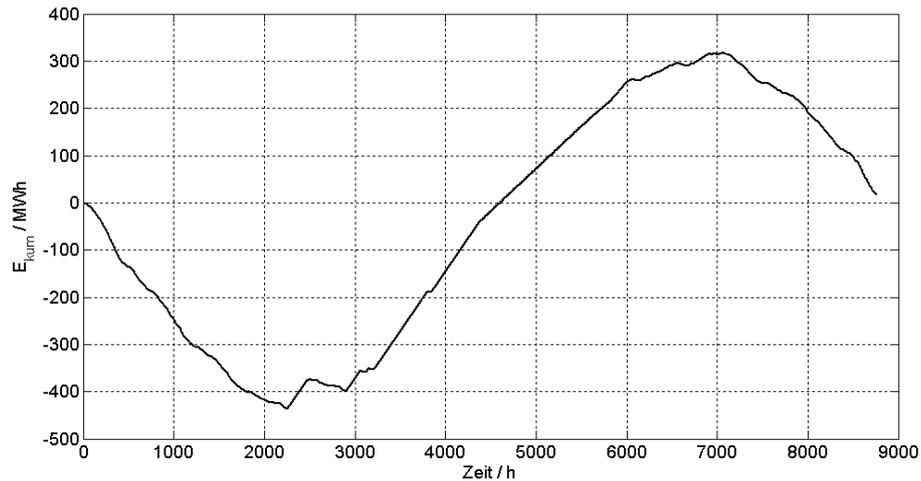
### 4.6.4 Erdspeicher – Bilanz und Statistik

Um einen möglichst nachhaltigen Betrieb eines derartigen Systems sicherzustellen, wurden die Simulationen des NTWK-Netzes stets unter der Voraussetzung einer ausgeglichenen Speicherbilanz des Erdsondenfeldes durchgeführt. Der Nachweis der ausgeglichenen Speicherbilanz erfolgt hier anhand der kumulierten entzogenen und zugeführten thermischen Energie des Erdspondenspeichers. Abbildung 4.29 zeigt die kumulierte Leistung des Erdspondenspeichers über den betrachteten Simulationszeitraum.

Die Monatsbilanzen des Erdspondenspeichers sind in Kapitel 4.5.5, Abbildung 4.19 angegeben.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4.29: kumulierte entzogene und zugeführte Energie des Erdsondenspeichers**

Am Beginn des Jahres wird das Erdsondenfeld entladen und die Steigung der kumulierten Energiemenge des Speichers ist somit negativ. In der Übergangszeit sowie im Sommer wird der Erdsondenspeicher beladen (positive Steigung in Abbildung 4.29) und erreicht sein Lademaximum im Herbst. Während der Winterperiode im zweiten Halbjahr wird der Speicher wieder entladen und erreicht zum Jahresende den Nullpunkt der Ladung.

**Tabelle 4.9: Statistik des Erdsondenspeichers auf Grundlage der Simulation**

	Einheit	Erdsondenspeicher		Gesamt
		Entladen	Beladen	
<b>Anzahl der Erdsonden</b>	-			160
<b>Tiefe der Erdsonden</b>	m			150
<b>Bohrmeter</b>	m			24.000
<b>Spitzenleistung</b>	kW	-490	524	
<b>spezifische Sondenleistung, max</b>	W/lfm	-20,4	21,8	
<b>Jahresenergie</b>	MWh/a	-837	906	1.743
<b>spezifischer Sondenumsatz</b>	Wh/lfm	-35	38	73
<b>Betriebszeit</b>	h	5.441	3.319	8.760
<b>Stillstandszeit</b>	h	0	0	
<b>Vollbetrieb (4 Teilfelder)</b>	h	2.902	432	38,1 %
<b>Dreiviertelbetrieb (3 TF)</b>	h	884,5	114,5	11,4 %
<b>Halbbetrieb (2 TF)</b>	h	643	2.074	31,0 %
<b>Viertelbetrieb (1 TF)</b>	h	1.012	698	19,5 %
<b>Maximaler Sondendurchfluss pro Sonde</b>	l/h	775	774	
<b>Mittlerer Sondendurchfluss pro Sonde, wenn Sonde in Betrieb</b>	l/h	448	474	

Die Regelgröße zur Erreichung der ausgeglichenen Speicher-Jahresbilanz ist hier unter anderem die Grundwasserwärmepumpe, welche ausgehend von der Nennlast mit 57 kW in Abhängigkeit des Verbraucherverhaltens hinauf oder hinuntergeregelt werden kann. Einem

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

positiven Überhang der kumulierten Energiemenge des Speichers kann durch zurückregeln der Leistung der Grundwasserwärmepumpe und/oder der Einspeiseleistung des Rechenzentrums begegnet werden, während einem negativen Überhang mit dem Reduzieren der Gebäude-Kühlperiode und/oder durch einen größeren Wärmeeintrag der Grundwasserwärmepumpe begegnet werden kann.

Tabelle 4.9 zeigt eine relativ niedrige spezifische Sondenleistung von maximal 21,8 W/lfm. Der Energieumsatz pro Sondenlaufmeter liegt im akzeptablen Bereich und beträgt für Heizen und Kühlen 73 Wh/lfm pro Jahr. Die niedrige Sondenmaximalleistung ist auf den Betrieb mit Wasser (Temperaturlimit 2 °C) und die Auslegung auf 4 K zurückzuführen.

### 4.6.5 Reaktionszeit Backup

Als Ausfallsicherheit für unvorhergesehene Ereignisse (z.B. Ausfall der Wärmelieferung vom Rechenzentrum) werden hier unterschiedliche Ersatzwärmeerzeuger qualitativ in Betracht gezogen: ein Gaskessel, Fernwärme und ein mobiler Heizkessel. Auch der Einsatz einer größeren Grundwasserwärmepumpe wäre hier denkbar, jedoch reicht der genehmigungsfähige Volumenstrom am Untersuchungsgebiet nicht aus um das NTKW-Netz langfristig mit ausreichend thermischer Energie zu versorgen.

Um eine zeitliche Aussage treffen zu können, mit welchen Reaktionszeiten auf einen Ausfall des Haupteinspeisers E1 reagiert werden soll, wurden Simulationen durchgeführt wie lange das Netz noch betrieben werden kann, bis die NTKW-Netz-Kaltleitertemperatur unter 1,5°C fällt. In folgender Abbildung 4.30 ist angeführt, wie lange es für jeden Monat des Jahres dauert, bis die Temperatur des NTKW-Netzes 1,5°C unterschreitet. Daraus lassen sich die Reaktionszeiten ableiten, wie lange es dauern darf, bis z.B. ein mobiler Heizkessel im Einsatz stehen muss. Die Abkühlrate der Wärmepumpen wurde bei dieser Untersuchung wie gehabt bei 4 K belassen. Durch eine Erhöhung des Volumenstroms und Verringerung der Temperaturspreizung (z.B. auf 2 K) könnte eine weitere Verbesserung der Reaktionszeit erreicht werden.

Zum Erreichen der ausgeglichenen Speicher-Energiebilanz ist eine Nennlast der Grundwasserwärmepumpe von 50 kW erforderlich. Die in den Auslegungsdaten (Tabelle 4.6) angegebene Auslegungsleistung von 100 kW ermöglicht eine Feinjustierung des Erdsondenspeichers bei geändertem Verbraucherverhalten, bzw. Einspeiserverhalten. In diesem Sinne ist auch die Grundwasserwärmepumpe als Backup zu verstehen.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

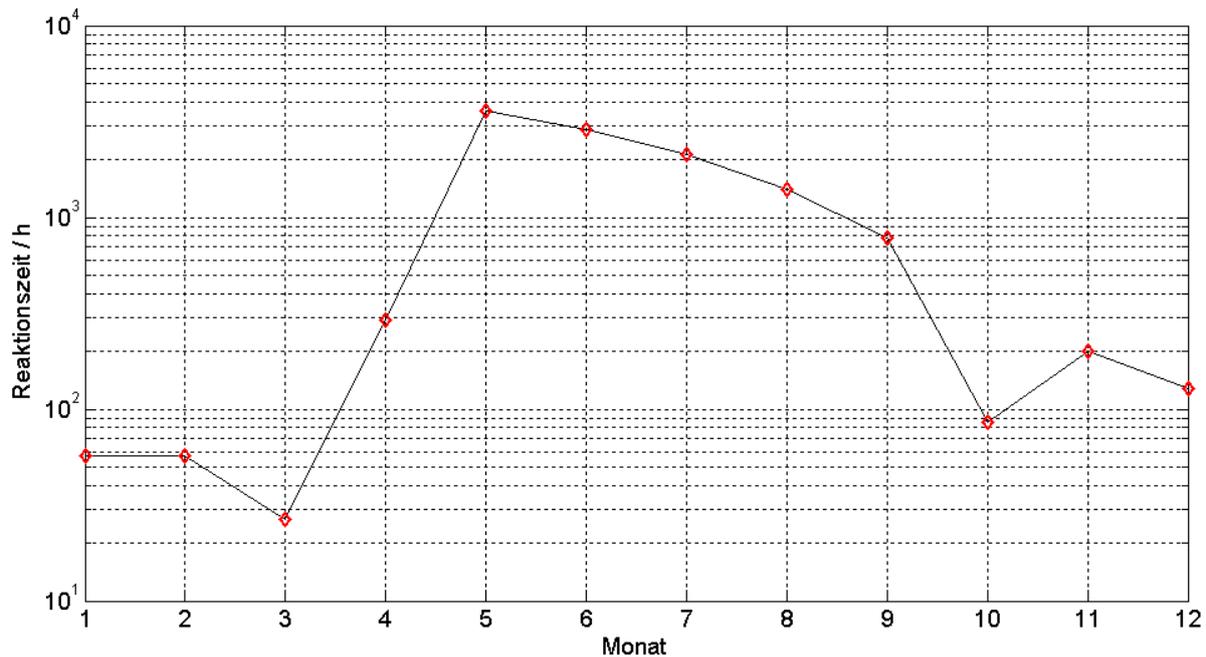


Abbildung 4.30: Zeitspanne des Auskühlens des Anergienetzes auf unter 1,5 °C bei Ausfall des Hauptinspeisers E1

### 4.6.6 Thermische Umweltauswirkungen

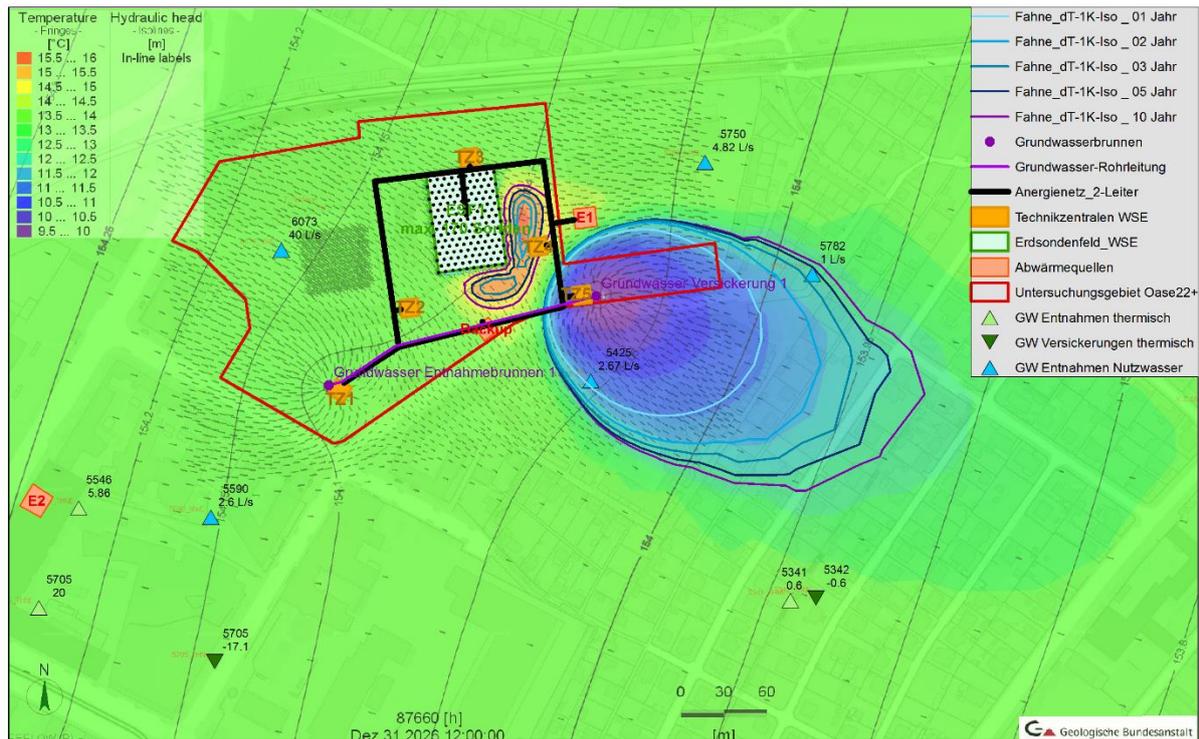
Abbildung 4.31 zeigt die thermischen Auswirkungen der beiden geothermischen Anlagen nach 10 Jahren. Das Erdsondenfeld wird in der Simulation mit 69 MWh/a Überschuss beladen, wodurch eine kleinräumige lokale Erwärmung des Grundwassers um max. 1,4 °C abstromig des Sondenfeldes auftritt. Die Ausbreitung ändert sich jedoch kaum im Laufe der 10 Simulationsjahre.

Die Grundwassernutzung entnimmt ganzjährig Wasser und gibt dieses chemisch unverändert, aber um 4 °C abgekühlt, nahe der Technikzentrale 5 (TZ5) wieder in den Grundwasserkörper zurück. Durch die energetisch unausgeglichene Nutzung bildet sich eine Kältefahne, die sich im Laufe der Zeit immer weiter, jedoch immer langsamer abstromig ausbreitet.

Über die Genehmigungsfähigkeit der geothermischen Anlage muss letztlich die zuständige Behörde entscheiden, siehe Kapitel 3.2. Wäre der Kälteeintrag für die Genehmigung zu hoch, kann die Grundwasserwärmepumpe durch das NTWK-Netz ohne technischen Aufwand natürlich auch zur Gebäudekühlung im Sommer verwendet werden, wodurch die Reichweite der Fahne deutlich reduziert werden würde. Die Kältefahne in Abbildung 4.31 stellt also einen ungünstigen Fall dar. Regelungstechnisch würde bei zusätzlicher Verwendung des Grundwassers zur Gebäudekühlung folglich etwas weniger Wärme vom Rechenzentrum E1 abgenommen werden, um wieder auf die ausgeglichene Jahreswärmebilanz zu kommen.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4.31: Thermische Fahne der Grundwassernutzung. Eingezeichnet ist die Ausdehnung der 1 Kelvin Temperaturdifferenz als Isothermen für den Betrieb nach 1, 2, 3, 5 und 10 Jahren. Als färbige Hintergrundkarte ist die absolute Grundwassertemperatur aus der Simulation nach 10 Betriebsjahren ersichtlich.**

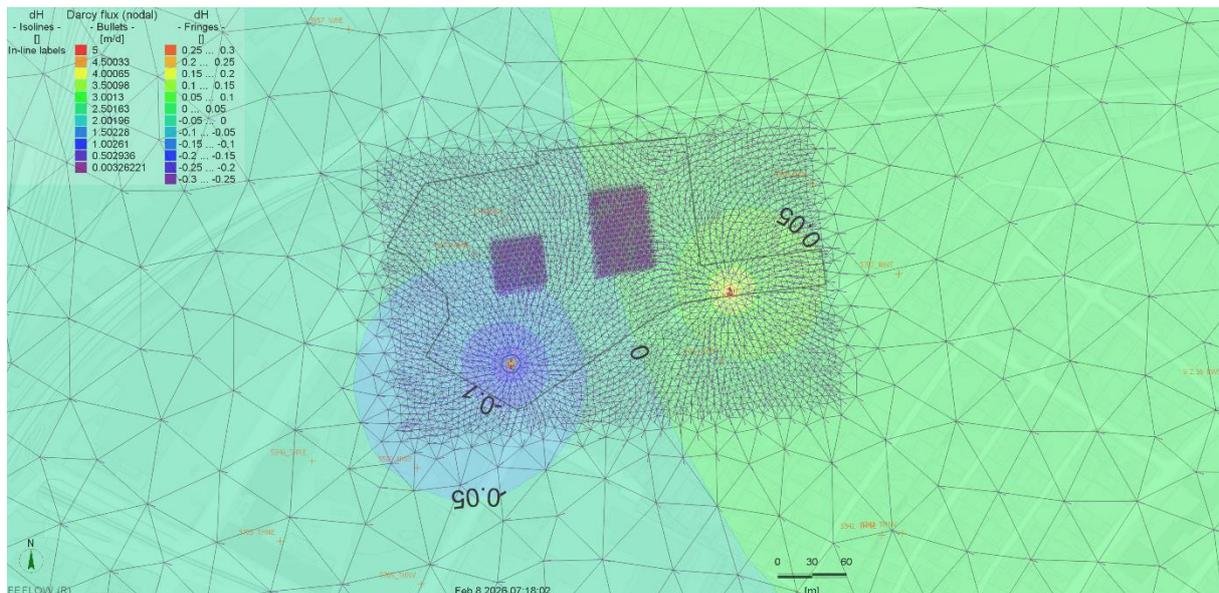
## 4.6.7 Hydraulische Umweltauswirkungen

Zum Zeitpunkt der zweiwöchigen Spitzenlast von 10 l/s, bleibt der maximale hydraulische Einfluss recht gering, wie in Abbildung 4.32 ersichtlich ist. Die bestehende geothermische Grundwasseranlage mit der Postzahl 5546 ist mit einer Wasserspiegelabsenkung von 5,3 cm am stärksten betroffen.

Im Anhang A4 ist der Einfluss dieser Brunnendublette bei Betrieb mit verschiedenen Pumpraten (10 l/s, 20 l/s und 30 l/s) auf die bestehenden Wasserrechte tabellarisch angegeben. Bei einer Pumprate der Brunnendublette am Gelände, wie in Abbildung 4.7 lokalisiert, von 30 l/s wäre die maximale Spiegeländerung der nächstgelegenen thermischen Grundwassernutzung bei -16 cm, bei 20 l/s liegt sie bei -10,6 cm.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4.32: Änderung des Grundwasserspiegels bei einer Spitzenlast von 10 l/s.** Der Einfluss ist gering: Alle Wasserrechte liegen unterhalb 6 cm (0,06 m) Spiegeländerung.

Für die Auslegung der thermischen Grundwassernutzung können zusammenfassend folgende Empfehlungen gemacht werden:

- Maximale Brunnenleistung ca. 20 l/s (als Spitzenlast)
- Empfohlene Auslegung zur Nutzung zur Gebäudeheizung und –kühlung mit einer Jahresenergiebilanz zwischen 100 und 250 MWh/a an Heizüberschuss

Eine wasserrechtliche Genehmigung von der zuständigen Behörde kann nicht garantiert werden.

### 4.6.8 CO<sub>2</sub> Einsparungspotenzial

In diesem Kapitel werden die CO<sub>2</sub>-Äquivalente des Niedertemperatur Wärme- und Kältenetzes am Standort Wien „Oase22+“ berechnet und mit den zwei, am Standort gängigsten, Wärmeversorgungsvarianten „Fernwärme“ und „Erdgas“ verglichen. Die CO<sub>2</sub> Äquivalentwerte berücksichtigen alle Treibhausgasemissionen eines Systems und sind ein Maß für das globale Erwärmungspotenzial. Schlussfolgernd wird das CO<sub>2</sub> Einsparungspotenzial pro Jahr und für eine Nutzungsdauer von 20 Jahren angegeben.

Die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzials basiert auf den oben berechneten Wärme- und Kälteenergiebedarf, siehe Tabelle 4.8. Die CO<sub>2</sub>-Emissionskoeffizienten für den Stromverbrauch (Strommix Österreich Bandlast und HGS-korreliert) und für die beiden Vergleichsszenarien Fernwärme und Erdgas wurden aus (Biermayr, et al., Juni 2017) entnommen. Diese sind in Tabelle 4.10 angeführt, ebenso wie die verwendeten Daten der beiden Vergleichsszenarien „Fernwärmeszenario“ und „Erdgasszenario“. Außerdem sind die

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

jährlichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen des DEGENT-NET Systems im Vergleich der beiden Szenarien angegeben.

**Tabelle 4.10: Berechnung CO<sub>2</sub>-Bilanz des DEGENT-NET Systems am Standort Wien im Vergleich mit der Versorgung über Fernwärme oder Erdgas**

<b>Wärme/Kältebedarf Oase 22+ (Nutzenergie):</b>	
Wärmebedarf für die Heizung	2427 MWh
Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung	1888 MWh
Kühlbedarf	368 MWh
<b>Energieaufwand DEGENT-NET System (Endenergie, el. Strom)</b>	
Stromverbrauch Heizungsärmepumpen	497 MWh
Stromverbrauch Brauchwasserärmepumpen	507 MWh
Stromverbrauch Netzpumpe	66 MWh
<b>CO<sub>2</sub>- Emissionskoeffizienten (Biermayr et al. 2017)</b>	
Strommix Österreich Bandlast	229 gCO <sub>2</sub> äqu/kWh
Strommix Österreich HGS-korreliert	266 gCO <sub>2</sub> äqu/kWh
Fernwärme Wien	160 gCO <sub>2</sub> äqu/kWh
Erdgas	250 gCO <sub>2</sub> äqu/kWh
<b>CO<sub>2</sub> Emissionen DEGENT-NET System</b>	
Summe Emissionen durch Stromverbrauch	263 tCO <sub>2</sub> äqu
<b>Fernwärmeszenario</b>	
Nutzungsgrad Fernwärme	0,95
Kälteleistungszahl Kühlmaschine	3
Emission aus Wärmebereitstellung	727 tCO <sub>2</sub> äqu
Emission aus Kältebereitstellung	28 tCO <sub>2</sub> äqu
Gesamtemission Fernwärmeszenario	755 tCO <sub>2</sub> äqu
<b>Erdgasszenario</b>	
Nutzungsgrad Brennwert-Erdgaskessel	1,05
Kälteleistungszahl Kühlmaschine	3
Emission aus Wärmebereitstellung	1027 tCO <sub>2</sub> äqu
Emission aus Kältebereitstellung	28 tCO <sub>2</sub> äqu
Gesamtemission Erdgasszenario	1055 tCO <sub>2</sub> äqu
<b>Emissionseinsparung</b>	
DEGENT-NET Einsparung gegenüber Fernwärmeszenario	492 tCO <sub>2</sub> äqu
DEGENT-NET Einsparung gegenüber Erdgasszenario	792 tCO <sub>2</sub> äqu

Die jährlichen CO<sub>2</sub>äqu-Emissionen des DEGENT-NET Systems für den Standort Oase 22+ betragen 263 Tonnen. Diese Emissionen resultieren aus dem Einsatz elektrischen Stroms für den Antrieb der Heizungs- und Brauchwasserärmepumpen und den Betrieb der Pumpe für das NTWK-Netz. Die Kälteversorgung aus dem „free cooling“ verursacht im DEGENT-NET System keinen weiteren Endenergieverbrauch.

Verglichen wird dieses System mit 2 Szenarien:

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- 1) **Fernwärmeversorgung und Kühlung mit elektrisch angetriebener Kühlmaschine.**  
Dieses Szenario führt zu jährlichen CO<sub>2</sub>äqu-Emissionen von insgesamt 755 Tonnen.
- 2) **Erdgasbasierte Wärmeversorgung und Kühlung mit elektrisch angetriebener Kühlmaschine.** Dieses Szenario führt zu jährlichen CO<sub>2</sub>äqu-Emissionen von insgesamt 1055 Tonnen.

Das DEGENT-NET System führt im Vergleich zu einer Fernwärmeversorgung somit zu einer jährlichen Einsparung von klimawirksamen Treibhausgasen im Umfang von 492 Tonnen CO<sub>2</sub>äqu. Verglichen mit einer erdgasbasierten Wärmeversorgung spart das DEGENT-NET System sogar 792 Tonnen CO<sub>2</sub>äqu. pro Jahr. Über eine Nutzungsdauer von 20 Jahren sind das Einsparungen von 9.830 Tonnen bzw. 15.843 Tonnen CO<sub>2</sub>äqu.

### 4.7 Wirtschaftlichkeitsbewertung

Diffusionstheoretische Aspekte, eine generelle Analyse der Wirtschaftlichkeit, Kennzahlen für den wirtschaftlichen Systemvergleich, Skaleneffekte und Lernkurven sowie eine Auflistung relevanter Systemkomponenten ist in Kapitel 3.3.4 beschrieben. Im Folgenden wird die Wirtschaftlichkeit auf Grundlage dreier Szenarien für den Standort Wien analysiert und zusammenfassend bewertet.

#### 4.7.1 Basisszenario

Das Basisszenario der Wirtschaftlichkeitsbewertung baut auf folgenden Annahmen auf:

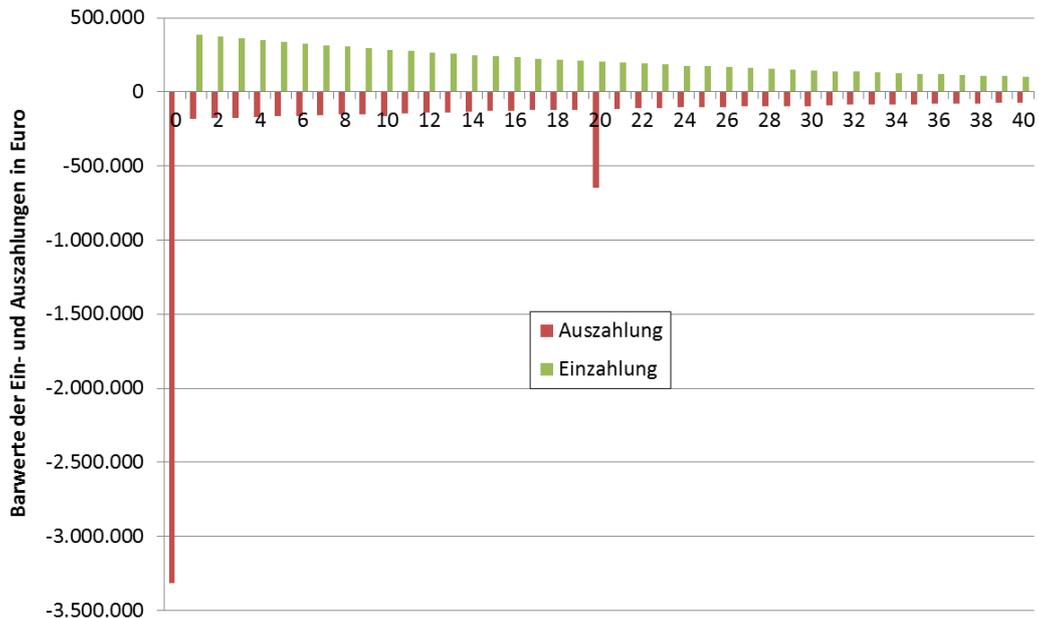
- Betrachtungszeitraum: 40 a (technische Lebensdauer des Erdsondenfeldes)
- Kalkulationszinsfuß: 5,0 %/a
- Inflation: 1,0 %/a
- Reale Teuerung elektrischer Energie: 2,0 %/a
- Reale Teuerung Wärmeenergie: 1,5 %/a
- Kälte aus „free cooling“ ist für die Endkunden gratis
- Jährliche Wärmeabnahme pro Jahr ist konstant (keine Klimawandelfolgen)
- Ein backup-System in Form eines Fernwärmeanschlusses ist integriert

Hierbei wurde der Betrachtungszeitraum auf die technische Lebensdauer zentraler Komponenten, wie dem Erdsondenfeld, ausgelegt. Kurzlebigere Komponenten werden nach Ablauf der technischen Lebensdauer jeweils ersetzt.

Aus den angeführten Parametereinstellungen ergeben sich spezifische Wärmegegostehungskosten von **92,9 €/MWh**. Die Barwerte des Cash-Flows mit obigen Einstellungen sind in Abbildung 4.33 dargestellt, wo auch die hohe Kapitalintensität des Systems sichtbar wird. Die Summe der Barwerte der Einzahlungen ist bei den angegebenen Wärmegegostehungskosten gleich der Summe der Barwerte der Auszahlungen, d.h. der interne Zinssatz wird bei dieser Konstellation 0,0 %.

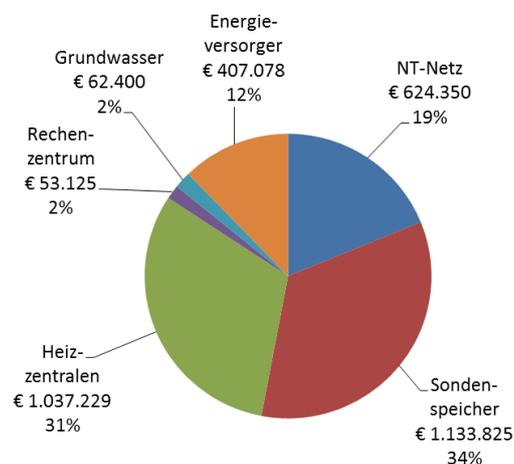
## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4.33: Barwerte der Ein- und Auszahlungen des Wärmeversorgungssystems im Basisszenario bei einem resultierenden internen Zinsfuß von 0,0 %.**

Die Anteile der Anlagenkomponenten an den Gesamt-Investitionskosten sind für das Basisszenario in Abbildung 4.34 dargestellt.



**Abbildung 4.34: Struktur der Gesamt-Investitionskosten im Basisszenario; Summe: 3.318.007 Euro**

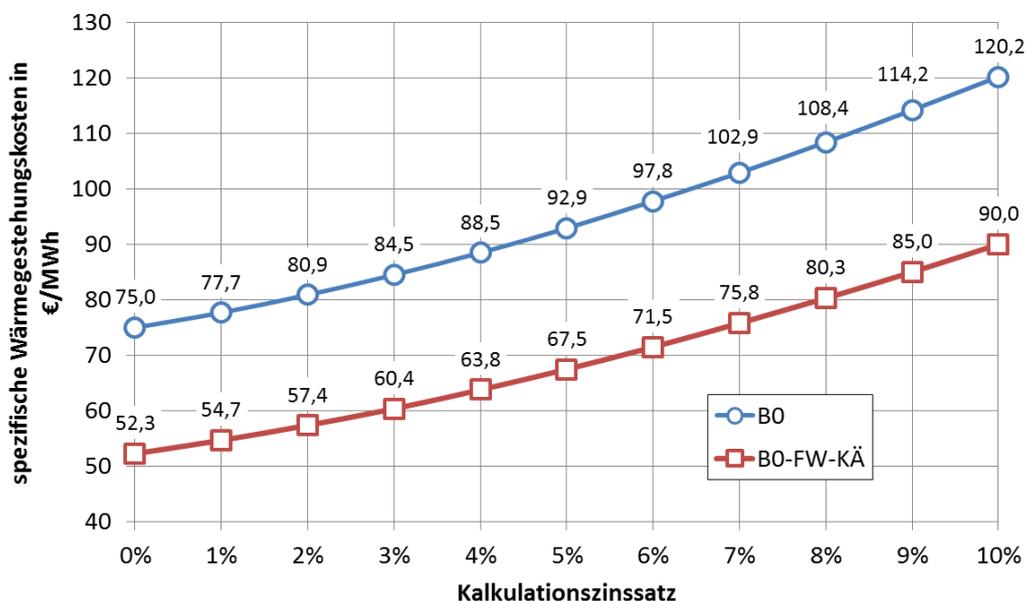
Wird auf das Fernwärme-Backup des Basisszenarios verzichtet, so reduzieren sich die Wärmegestehungskosten deutlich auf **73,2 €/MWh**. Hintergrund ist hierbei der Wegfall der Anschlusskosten (Investitionskosten) und der jährlichen leistungsabhängigen Kosten. Das Backup-System hat also einen großen Einfluss auf die Wärmegestehungskosten und sollte daher optimiert oder generell hinterfragt werden.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Wird das Backup System eingespart und zusätzlich die gelieferte Kälte mit denselben Kosten bewertet wie die gelieferte Wärme, so ergeben sich Wärmegestehungskosten von **67,5 €/MWh**. Damit wird offensichtlich, dass die Wärmegestehungskosten bei einer Variation des Systemdesigns bzw. des Geschäftsmodells bereits über einen weiten Bereich schwanken und die Angabe von Wärmegestehungskosten ohne exakte Systemdefinition nicht sinnvoll ist.

Die Wärmegestehungskosten reagieren ebenso stark auf eine Variation des Kalkulationszinssatzes. Wird ausgehend vom ursprünglichen Basisszenario bei sonst unveränderten Einstellungen eine Variation des Kalkulationszinsfußes von 0,0 % bis 10,0 % vorgenommen, so resultieren korrespondierende Wärmegestehungskosten von **75,0 €/MWh bis 120,2 €/MWh**. Wird bei dieser Variation des Kalkulationszinsfußes gleichzeitig das Backup-System eingespart und die gelieferte Kälte wie die Wärme tarifiert, so ergeben sich Wärmegestehungskosten von **52,3 €/MWh bis 90,0 €/MWh**, wie dies auch in Abbildung 4.35 dargestellt ist. Damit wird einerseits der mögliche Wertebereich der Wärmekosten deutlich, welcher durch unterschiedliche Positionen der kalkulatorischen Betrachtung entsteht, wie dies bereits oben in den Raum gestellt wurde und andererseits wird ein möglicher Wertebereich aufgespannt, der durch das Systemdesign und das Geschäftsmodell definiert wird. Bei einer realistischen Bandbreite des Kalkulationszinssatzes von 3 % bis 6 % resultiert demnach ein möglicher Bereich von Wärmegestehungskosten von **60,4 €/MWh bis 97,8 €/MWh**



**Abbildung 4.35: spezifische Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit vom Kalkulationszinssatz unter den Rahmenbedingungen des Basisszenarios und des Basisszenarios ohne Backup und mit Tarifierung der gelieferten Kälte.**

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

### 4.7.2 Strompreisszenario

Um die Abhängigkeit der Wärmegestehungskosten von der Strompreisentwicklung zu zeigen, wird ein Strompreisszenario betrachtet. Die Basisannahmen sind ähnlich wie im Basisszenario, wobei jedoch eine deutliche Spreizung zwischen der Strompreis- und Wärmepreissteigerung erlaubt wird:

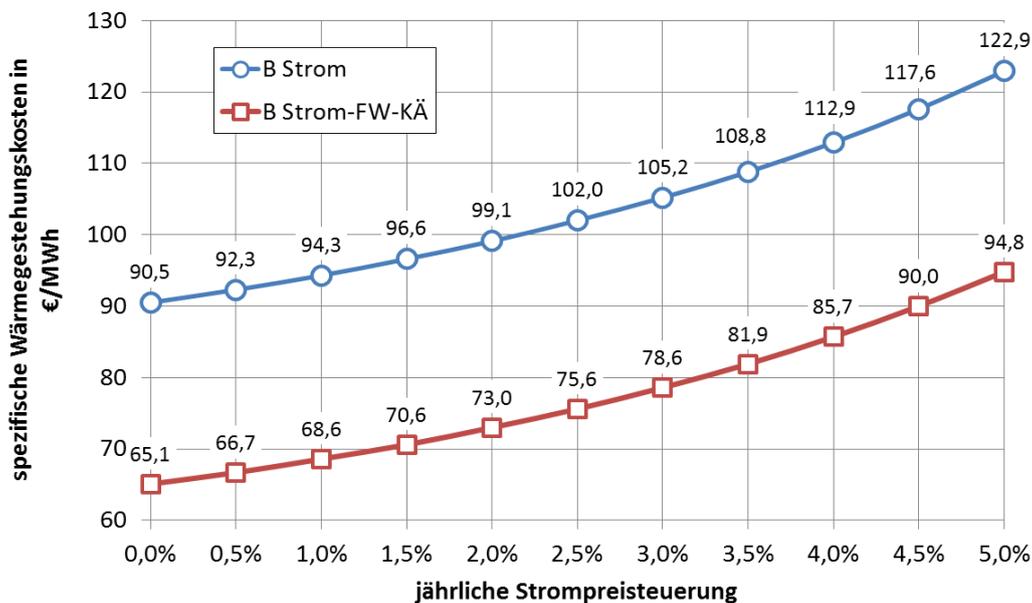
- Betrachtungszeitraum: 40 a
- Kalkulationszinsfuß: 5,0 %/a
- Inflation: 1,0 %/a
- Reale Teuerung elektrischer Energie: 3,0 %/a
- Reale Teuerung Wärmeenergie: 1,0 %/a
- Kälte aus „free cooling“ ist für die Endkunden gratis
- Jährliche Wärmeabnahme pro Jahr ist konstant (keine Klimawandelfolgen)
- Ein backup-System in Form eines Fernwärmeanschlusses ist integriert

Der Ausgangswert für die Wärmegestehungskosten beträgt für diese Grundeinstellung des Strompreisszenarios **105,2 €/MWh**. Eine Variation der realen Strompreisteuerung von 0 %/a bis 5 %/a ergibt einen Wertebereich der Wärmegestehungskosten von **90,5 €/MWh bis 122,9 €/MWh**, siehe Abbildung 4.36. Der Einfluss einer Strompreisteuerung im gewählten Wertebereich ist damit höher, als dies beim Einfluss des Kalkulationszinssatzes zu beobachten war.

Wird im selben Szenario auf das Fernwärme-Backup verzichtet und die Kältelieferung mit den Wärmekosten bewertet, so ergibt sich ein deutlich geringerer Wertebereich für die Wärme- u. Kältegestehungskosten von **65,1 €/MWh bis 94,8 €/MWh**. Es zeigt sich somit auch im Strompreisszenario, dass mit der Definition des Geschäftsmodells und mit der Risikobewertung in Hinblick auf einen Versorgungsausfall ein sehr weiter Bereich an spezifischen Kosten überstrichen werden kann.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4.36: spezifische Wärmegehungskosten in Abhängigkeit von der jährlichen realen Strompreisteuerung unter den Rahmenbedingungen des Strompreisszenarios und des Strompreisszenarios ohne Backup und mit Tarifierung der gelieferten Kälte.**

Wenn aus Gründen der Risikobewertung ein Backup unverzichtbar erscheint, können unterschiedliche Optionen in Betracht gezogen werden:

- Ein Fernwärmeanschluss, über den Wärme in das Niedertemperaturnetz eingespeist werden kann.
- Ein Erdgasanschluss mit installiertem Erdgaskessel, der Wärme in das Niedertemperaturnetz einspeisen kann.
- Ein Vertrag mit einem Anbieter für eine mobile Wärmebereitstellung auf Basis eines im Notfall im Freigelände aufgestellten Heizcontainers, der Wärme in das Niedertemperaturnetz einspeisen kann.

Die Einspeisung hochexergetischer Wärme in das Niedertemperaturnetz ist nur bei einer echten Ausfallsreserve zu argumentieren. Eine solche zentrale Einspeisung hätte minimale Investitionskosten im Bereich des hydraulischen Systems zur Folge, würde jedoch zu einem sehr schlechten Systemwirkungsgrad führen. Würde eine zusätzliche (hochexergetische) Wärmeeinspeisung für den Regelbetrieb vorgesehen werden, müsste die Hochtemperaturwärme daher direkt in die Heizzentralen eingebracht (dort produziert oder dort hingeleitet) und direkt zur Brauchwassererwärmung und/oder Raumheizung verwendet werden.

Eine weitere Fragestellung ist die vorzusehende Backup-Leistung. Diese beeinflusst direkt die Herstellungskosten und die jährlichen Leistungsbereitstellungskosten und muss nicht notwendigerweise mit der maximalen thermischen Systemleistung bemessen werden. In den

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

dargestellten Szenarien wurde die Backupleistung stets mit der Summe der thermischen Leistungen der Heizungswärmepumpen bemessen, ohne die zusätzliche Leistung der Brauchwasserwärmepumpen zu berücksichtigen.

### 4.7.3 Klimaszenario

Ausgangspunkt für das Klimaszenario sind die Einstellungen des Basisszenarios mit der zusätzlichen Annahme, dass sich während der Nutzungsdauer des Systems die Heizwärmenachfrage verringert und die Kältenachfrage erhöht. Die Gesamtwärmenachfrage sinkt dabei um 10 %, während die Kältenachfrage um 15 % steigt.

- Betrachtungszeitraum: 40 a (technische Lebensdauer des Erdsondenfeldes)
- Kalkulationszinsfuß: 5,0 %/a
- Inflation: 1,0 %/a
- Reale Teuerung elektrischer Energie: 2,0 %/a
- Reale Teuerung Wärmeenergie: 1,5 %/a
- Kälte aus „free cooling“ ist für die Endkunden gratis
- Wärmeabnahme sinkt während 40 Jahren um 10 %
- Kälteabnahme steigt während 40 Jahren um 15 %
- Ein backup-System in Form eines Fernwärmeanschlusses ist integriert

Unter den Einstellungen des Klimaszenarios ergeben sich Wärmegestehungskosten von **95,1 €/MWh**. Die Differenz zu den 92,9 €/MWh aus dem Basisszenario resultiert aus den sinkenden Einzahlungen durch geringeren zukünftigen Wärmeverkauf. Die Effekte werden dabei jedoch durch die kalkulatorische Abzinsung der zukünftigen Entwicklung stark gedämpft. Wird in diesem Szenario die Kälte nicht gratis abgegeben, sondern wie die Wärme tarifiert, so stellen sich Wärme/Kälte-Gestehungskosten von **87,1 €/MWh** ein. Wird zusätzlich auf ein Backup verzichtet, so reduzieren sich die Wärme/Kälte-Gestehungskosten auf **68,6 €/MWh**. Es zeigt sich also, dass die Definition des Systemdesigns und des Geschäftsmodells einen weitaus höheren Einfluss auf die Wärmegestehungskosten haben, als die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels.

### 4.7.4 Schlussfolgerungen zum Pilotgebiet in Wien

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass das DEAGENT-NET System je nach Konstellation der Einflussgrößen durchaus attraktive Wärmegestehungskosten aufweist. Es hat sich gezeigt, dass die Kosten eines Fernwärme-Backups einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems haben und dass auch mit der Wahl der Kältetarife ein gewisser Hebel für die Gestaltung der Wärmegestehungskosten existiert. Der Kalkulationszinsfuß, welcher ja auch die Erwartungshaltung des Investors widerspiegelt und die reale Strompreisteuerung haben ebenfalls einen großen Einfluss auf die resultierenden Wärmegestehungskosten. Werden alle diese Einflussgrößen in einem Gesamtsystem realistisch definiert, besteht noch ein deutlicher Kostenabstand zu den konventionellen

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

Vergleichssystemen Fernwärme und Erdgaskessel, sofern jeweils die Anwendung in hochenergieeffizienten Gebäuden verglichen wird. Die sich ergebende Spanne zwischen Wärmegestehungskosten des DEGENT-NET-Systems und den Endkundenpreisen der Vergleichssysteme ermöglicht den Systembetreibern in Abhängigkeit des Tarifsystems eine attraktive Marge. Die Einflüsse der Klimaerwärmung auf die Wirtschaftlichkeit des Systems sind während der technischen Lebensdauer gering und werden von anderen endogenen und exogenen Unsicherheitsfaktoren wie z.B. die Strompreisteuerung bei weitem überschattet.

### **5 Standort Salzburg – Geothermische Grundwassernutzung**

Im Rahmen des Projekts „Dezentrale geothermale Niedertemperatur-Wärmenetze in urbanen Gebieten“ (DEGENT-NET) wurde neben Standorten in der Stadt Wien auch Salzburg-Liefering als Pilotgebiet definiert. Die Aufgabenstellung für diesen Untersuchungsraum umfasste zunächst die regionale Erhebung und Interpretation der herrschenden hydrogeologischen Bedingungen und die vorläufige Einschätzung von geothermalen Potentialen. Der Schwerpunkt der weiteren Bearbeitung von Salzburg-Liefering wurde auf die direkte Nutzung des Grundwassers mittels oberflächennaher Geothermie gelegt. Der Standort bietet in Bezug auf bereits bestehende Bebauung und den Raum zur Stadtentwicklung einen Mix, der geothermale Nutzung besonders interessant erscheinen lässt. Aufgrund günstiger hydrogeologischer Bedingungen im engen und weiteren Untersuchungsraum, ist ein großes Potential für die thermische Nutzung des Grundwassers gegeben.

In der vorliegenden Arbeit wurde besondere Rücksicht auf die Erstellung und Optimierung von Leitungsszenarien zur dezentralen geothermalen Nutzung des Grundwassers genommen. Es wird das Ziel verfolgt, eine bessere Nutzung von natürlich vorkommenden Kälte- und Wärmepotentialen im Grundwasser, welche räumlich abseits von bestehenden Anlagen oder Bauvorhaben liegen, zu ermöglichen. Gleichzeitig wird der ökologische Aspekt betrachtet, in Hinsicht auf einen Ausgleich von, im städtischen Bereich bestehenden, Extremen in den herrschenden Grundwassertemperaturen. In diesem Zusammenhang werden auch räumliche Reihenschaltungen von Wärme- und Kältenutzungen für bestehende und mögliche zukünftige Bauvorhaben untersucht. Zur Erstellung der Leitungskonzepte und Optimierung derselben wurde die Methode der Grundwassermodellierung eingesetzt. Der vorliegende Bericht beschreibt den Aufbau des GW-Modells und die Ergebnisse der hydraulisch-thermischen Berechnungen. Es werden die aufgrund der GW-Modellszenarien aufgestellten Leitungskonzepte bewertet und ein Ausblick gegeben.

#### **5.1 Hydrogeologische Standortinformationen**

Das Modellgebiet liegt im Norden der Stadt Salzburg und erstreckt sich linksufrig entlang der Salzach bis zum Saalachspitz (siehe Abbildung 5.1). Im Westen wird das Modellgebiet durch morphologische Terrassenkanten begrenzt. Der Standort Salzburg-Liefering wurde aufgrund geeigneter hydrogeologischer Verhältnisse sowie bestehender und geplanter Anlagen für die Modellierung der hydraulischen und thermischen Auswirkungen von thermischen Grundwassernutzungen ausgewählt. Das Modellgebiet weist ein homogenes Grundwasserströmungsfeld auf und ist mit zahlreichen GW-Messstellen ausgestattet. Zwei Gebäudekomplexe, das Messehotel Salzburg sowie die Sporthalle Liefering, nutzen Grundwasser thermisch, vorrangig für den Zweck der Gebäudekühlung. Diese beiden Projekte

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

bilden die Grundlage für das modellierte thermische Verbundnetz, welches Grundwasser als Energiequelle (Wärme/Kälte) und teilweise als Transportmedium nutzt.

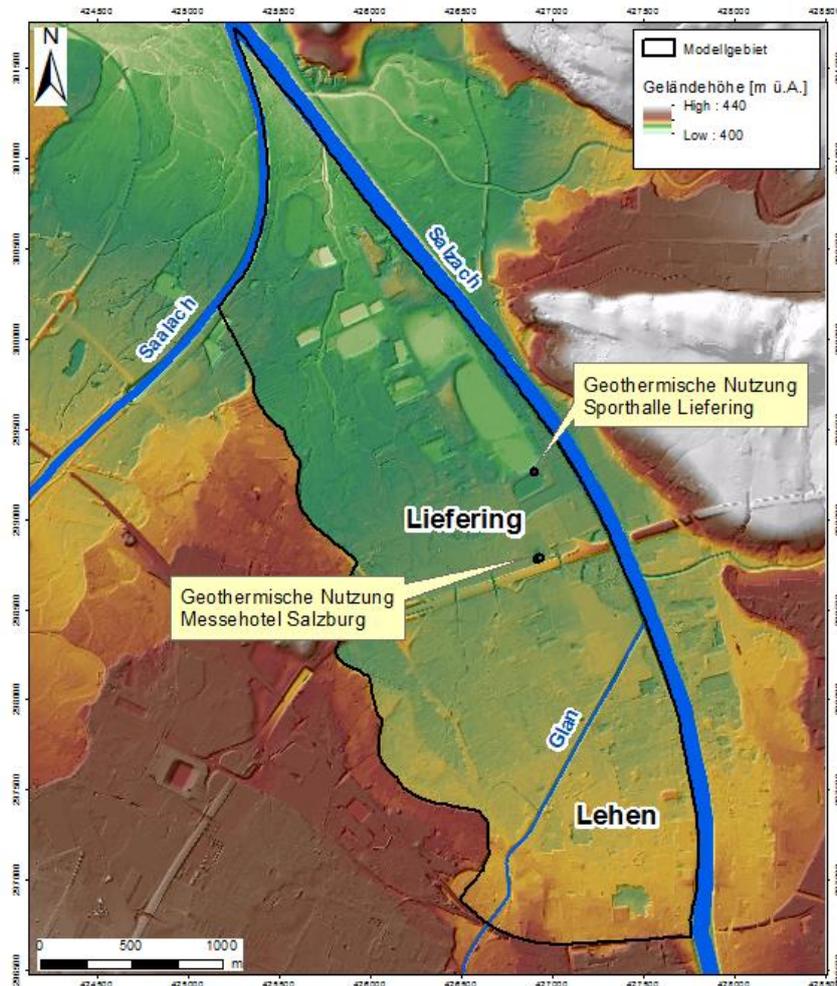


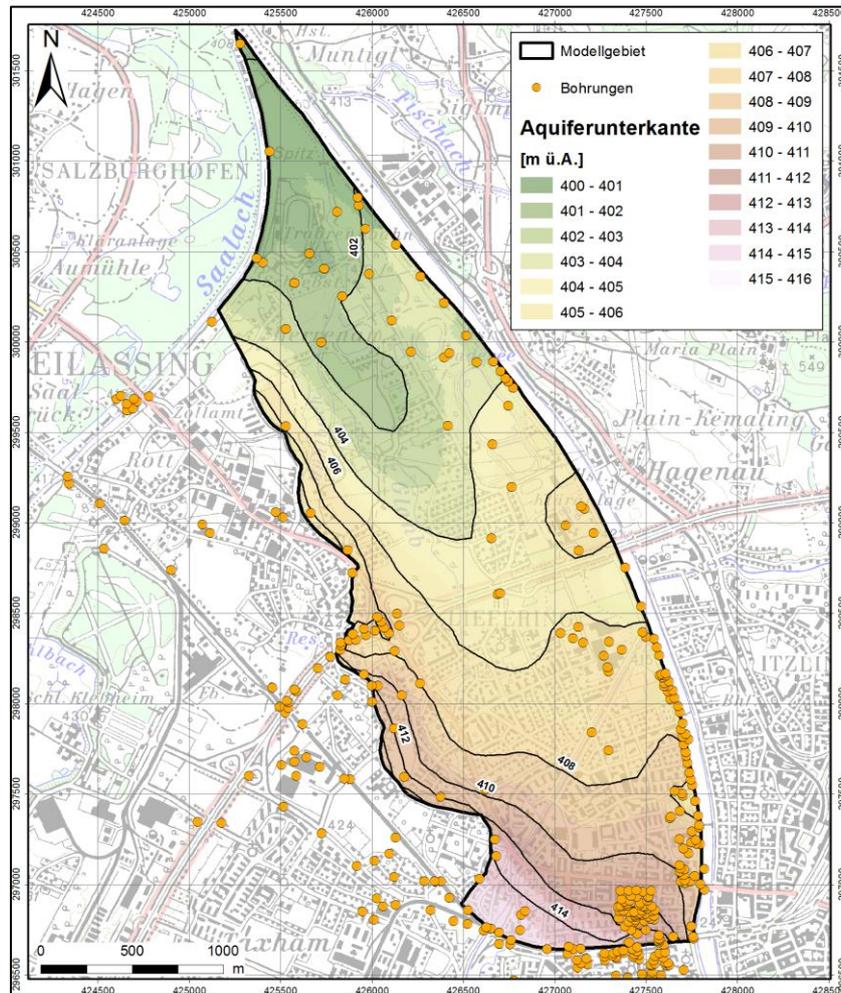
Abbildung 5.1: Topographie des Standorts und des GW-Modellgebiets

### 5.1.1 Geologisches Setting

Die Geologie des Salzburger Beckens und somit auch des Untersuchungsgebiets ist gekennzeichnet durch einen glazial geformten Festgesteinsuntergrund (Kalkalpin bzw. Flysch) mit ausgeprägtem Relief und rinnenartigen Eintiefungen. Im Hangenden folgt meist dicht gelagerte Grundmoräne (Würm) in Form von unsortiertem Gletschergeschiebe. Darüber kamen gradierte limnisch-lakustrine Sedimente zur Ablagerung, welche primär aus Schluffsand mit unterschiedlichem Tongehalt bestehen: der sogenannte „Salzburger Seeton“. Dieser Seeton setzte sich aus der Gletschertrübe eines postglazialen Salzachsees ab, der zeitweise den überwiegenden Teil des Salzburger Beckens bedeckte.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 5.2: Interpolation der Aquiferunterkante („Salzburger Seeton“) im Untersuchungs- bzw. Modellgebiet**

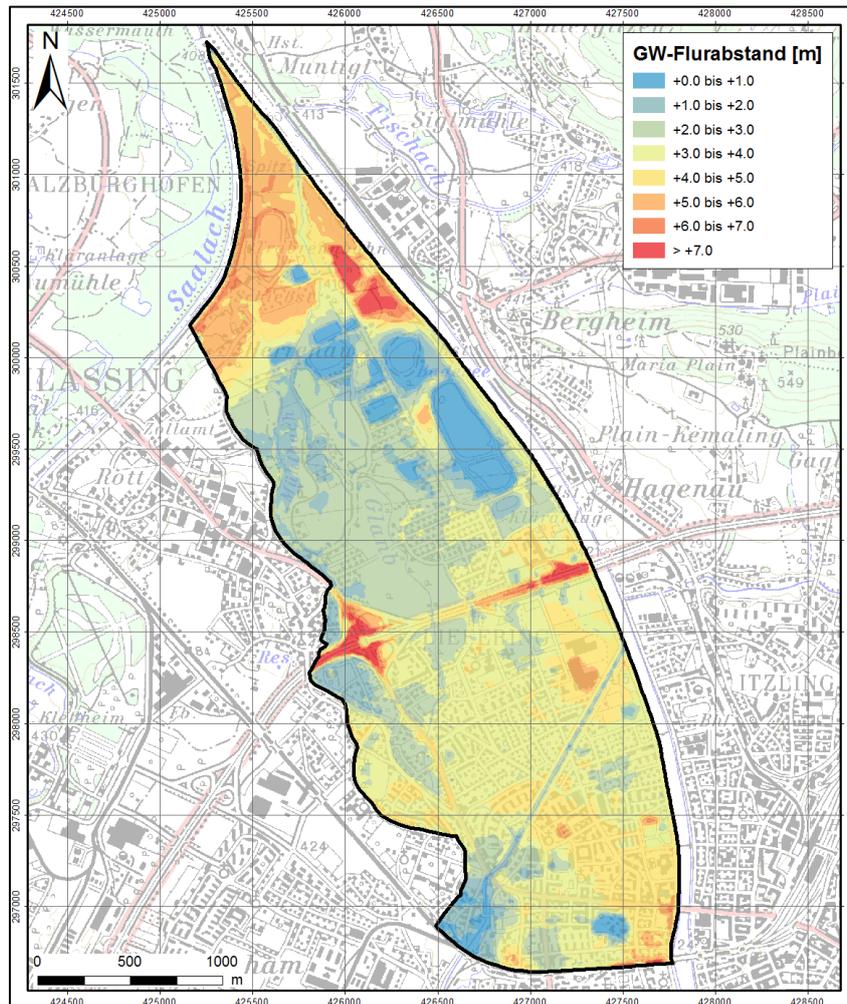
Im Hangenden schließen mit einer Erosionsdiskordanz fluviatil abgelagerte Terrassenschotter (Friedhofs- und Hammerauer Terrasse) mit sandreichen Kiesen an, welche lokal von Schluffen und Feinsanden (Hochflutsande) überlagert werden. Dort haben sich teilweise Moore gebildet, die in der Folge zu Torf umgewandelt wurden, welcher mancherorts noch heute wirtschaftlich genutzt wird. Das Untersuchungs- bzw. Modellgebiet ist, geologisch gesehen, der rezenten Austufe der Salzach und Saalach zuzuordnen. Der Grundwassertransport findet dort in Kiesen und Sanden statt, während der „Salzburger Seeton“ als Grundwasserstauer den Aquifer nach unten begrenzt (siehe Abbildung 5.2).

### 5.1.2 Grundwasserfließgeschehen

Der Grundwasserkörper im Untersuchungsgebiet entspricht einem Aquifer mit freier Oberfläche, die im Mittel etwa 2 - 4 m unter Geländeoberkante (GOK) liegt (siehe Abbildung 5.3). Im südöstlichen Bereich des Gebietes sowie im Umfeld des Saalachspitzes (Nord) sind die GW-Flurabstände aufgrund der höheren Topographie größer.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

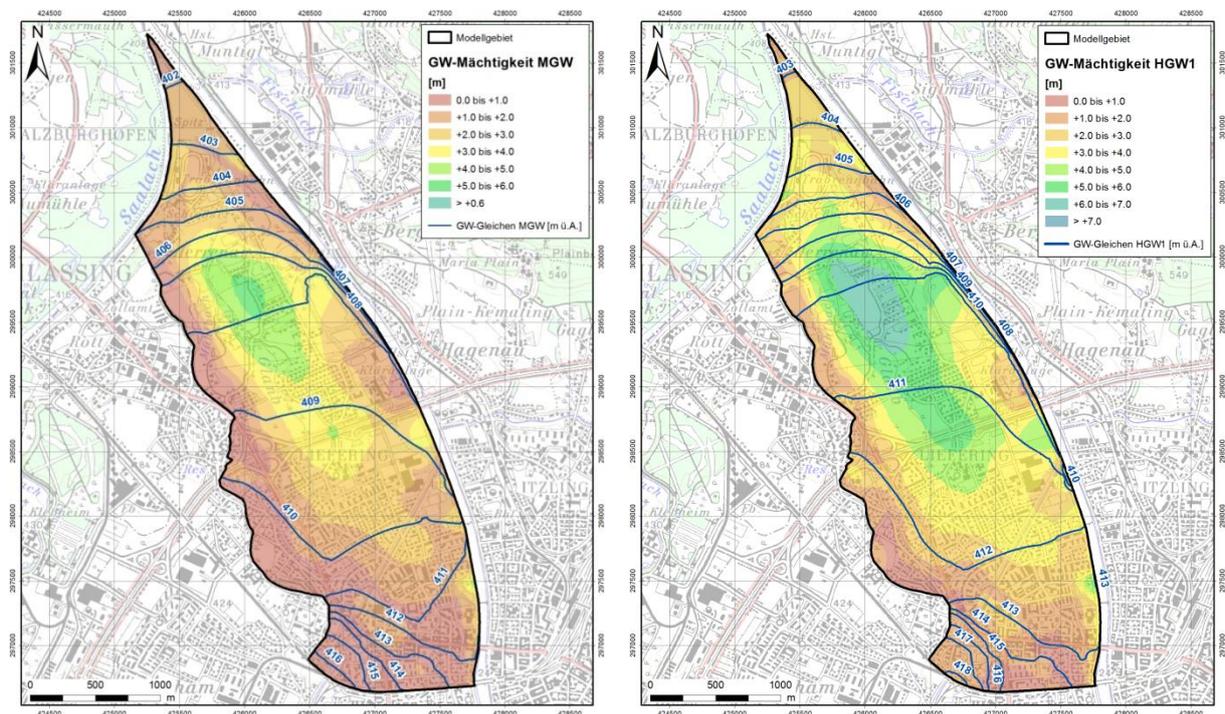


**Abbildung 5.3: Flurabstand des Grundwassers im Untersuchungs- bzw. Modellgebiet (mittlerer GW-Spiegel)**

Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters hängt von der Lage des GW-Spiegels ab und ist saisonal variabel. Im Sommer ist im Vergleich zu anderen Jahreszeiten, bedingt durch starke Niederschläge und höhere Wasserführung der Fließgewässer, mit einem erhöhten Grundwasserspiegelniveau zu rechnen (siehe Abbildung 5.4).

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



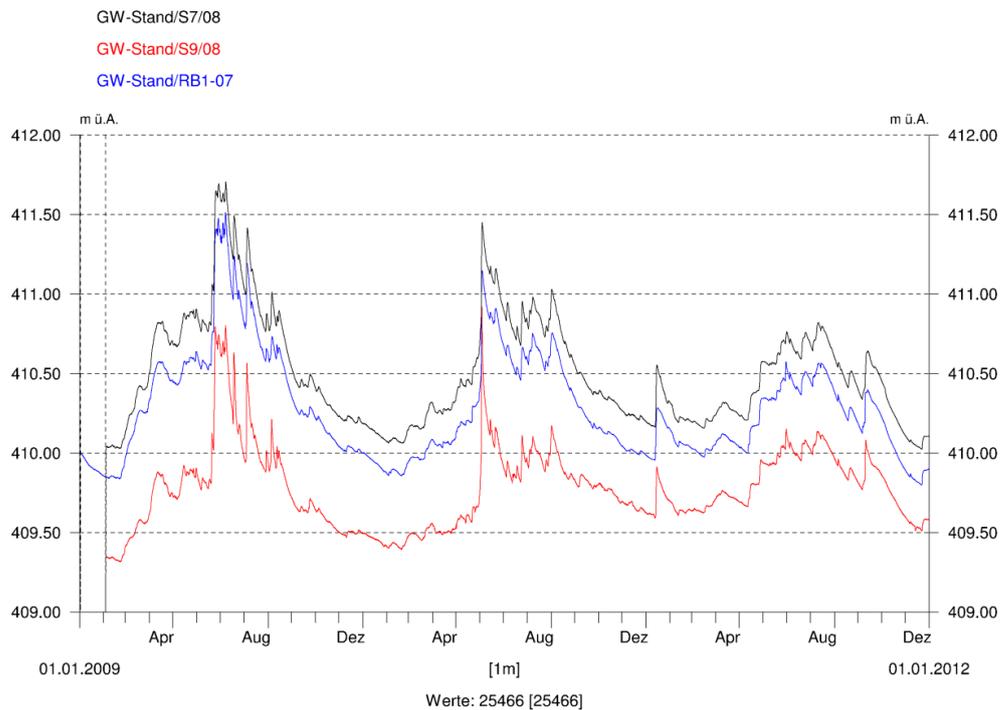
**Abbildung 5.4: Grundwassermächtigkeit und GW-Spiegel bei mittlerem Grundwasserstand (MGW, Herbst-Frühjahr) im Bild links und bei hohem Grundwasserstand (HGW, Sommer) im Bild rechts.**

Im Modellgebiet herrscht eine Süd-Nord gerichtete GW-Strömung vor. Die Salzach fungiert im Modellgebiet als GW-Donator (Bereich Lehen) und andererseits als Entlastungsgerinne (Bereich Lieferung). Dementsprechend wird die GW-Strömung abschnittsweise in ihrer Richtung beeinflusst. Im Bereich des Kraftwerks Sohlstufe Lehen bestehen lokal sowohl infiltrierende Verhältnisse der Salzach (Kraftwerksstauraum) als auch exfiltrierende Bedingungen (Unterwasser des Kraftwerks). Die Glan hat einen untergeordneten Einfluss auf das Grundwasser (Wechselspiel zwischen untergeordnet infiltrierenden und leicht exfiltrierenden Bedingungen). Die Saalach nimmt einen guten Teil des von Süden anströmenden Grundwassers auf. Von Seiten der morphologisch höherliegenden Geländebereiche ist mit vergleichsweise niedrigem GW-Zustrom zu rechnen, dieser zeichnet sich vorwiegend im südlichen Modellgebietsbereich ab.

Die Grundwasserstandsschwankungen wurden anhand mehrerer GW-Pegel im Uferbereich der Salzach ausgewertet (siehe Abbildung 5.5). Die mittlere Schwankungsbreite beträgt saisonal etwa einen halben Meter wobei im Sommer maximale Abweichungen von bis 1,5 m über dem Mittelwasserstand auftreten. Das mittlere Grundwasserniveau liegt im Modellgebiet zwischen 415 m ü.A. im Süden und rund 403 m ü.A. im Bereich Saalachspitz.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 5.5: GW-Pegel-Zeitreihen anhand dreier Messstellen im Uferbereich der Salzach etwa auf Höhe des Autobahnverlaufs A1.**

### 5.1.3 Erhebung Grundwasserparameter

Im Rahmen der Studie wurden im Pilotgebiet Salzburg einige Grundwassermessstellen, welche für die Kalibrierung der Modellszenarien relevant wurden, ausgemessen und beprobt. Insbesondere wurden die Parameter Temperatur, Leitfähigkeit und pH-Wert mit Hilfe einer Multiparametersonde aufgenommen. Die Pegelstände und die gemessenen Temperaturen konnten direkt für die Modellkalibrierung herangezogen werden. Die Probennahme wurde lediglich an ausgewählten Standorten mit ausreichend Pumpkapazität vorgenommen. Die Proben wurden auf hydrochemischen Parameter, Isotopen sowie mikrobiologische Spezies untersucht und ausgewertet. Die Messkampagne der Beprobung ist in Tabelle 5.1 aufgeführt.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

**Tabelle 5.1 Übersicht der im Projekt durchgeführten Grundwasser-Beprobungen in Salzburg**

Datum	Ort	Messpunkt	Temperaturmessung oder -profil (Lichtlot)	Messung mit Multi-parametersonde	Probenahme für Chemie, Isotopen und Mikrobiologie
13.10.2016	Salzburg	LP1/10	-	x	x
13.10.2016	Salzburg	GC2	-	x	x
17.11.2016	Salzburg	PP1	-	x	x
17.11.2016	Salzburg	PP2	-	x	x
17.11.2016	Salzburg	PP5	-	x	x
06./07.03.2017	Salzburg	S2/96	x	-	-
06./07.03.2017	Salzburg	M612	x	-	-
06./07.03.2017	Salzburg	Sa11/00	x	-	-
06./07.03.2017	Salzburg	M614	x	-	-
06./07.03.2017	Salzburg	Sa18/00	x	-	x
06./07.03.2017	Salzburg	Sa15/00	x	-	x
06./07.03.2017	Salzburg	S13/08	x	-	-
06./07.03.2017	Salzburg	RB7/07	x	-	x
06./07.03.2017	Salzburg	Drainage	mit Multimeter	-	x
06./07.03.2017	Salzburg	GC11/08	x	-	-
06./07.03.2017	Salzburg	RB5/07	x	-	-

Die beprobten Aquiferbereiche werden derzeit zwar nicht zur Trinkwasserversorgung genutzt, dennoch werden die Vorgaben der Trinkwasserverordnung in der gültigen Fassung als Orientierungs-/Bewertungshilfe herangezogen.

### 5.1.3.1 Chemische Analytik

Bis auf die folgenden einen Messpunkt sind aus chemischer Sicht alle beprobten Pegel in Salzburg unauffällig.

- Beim Pegel GC2/08 ist die Lithiumkonzentration leicht erhöht mit einem Wert von 0,28 [mg/l]. Da der Pegel sehr oberflächennah liegt und rund um den Pegel zum Zeitpunkt der Probenahme reges Baugeschehen herrschte, kann von einem anthropogenen Eintrag ausgegangen werden.

### 5.1.3.2 Mikrobiologische Untersuchungen

Aus mikrobiologischer Sicht entspricht kein beprobter Pegel in Salzburg den Kriterien der Trinkwasserverordnung der gültigen Fassung. Demzufolge müssten die Gewässer nach den Vorgaben der Trinkwasserversorgung als nicht oder nur bedingt genusstauglich bezeichnet werden.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Bei den Gesamtkeimzahlen KBE (koloniebildende Einheiten) sind die Werte bei den drei Pegeln am Gelände des Landeskrankenhauses (PP1, PP2, PP5) stark erhöht.

E. coli (in 1 von 9 Proben nachgewiesen), Coliforme (in 5 von 9 Proben nachgewiesen), Enterokokken (in 1 von 5 Proben nachgewiesen) und Pseudomonas aeruginosa (in 6 von 9 Proben nachgewiesen) deuten auf eine fäkale Verunreinigung bzw. auf das Vorhandensein von Krankheitserregern hin und dürfen nach den Vorgaben der Trinkwasserverordnung nicht vorhanden sein.

### 5.2 Geothermische und technische Standortinformationen

Im Untersuchungsgebiet (Stadtteil Liefering der Stadt Salzburg) existieren keine punktuellen Wärme- oder Kälteinseln, deren Potenzial für eine Nutzung ausreichend groß wäre. Umgekehrt kann der Wärme-/Kälteinhalt von Oberflächengewässern sowie der flächenhafte urbane Wärmeeintrag in den Grundwasserkörper in Bereichen höherer Ergiebigkeit genutzt werden. Dieser Sachverhalt ist in der folgenden Abbildung 5.6 und Abbildung 5.7 jeweils für die thermische Grundwassersituation im Sommer und im Winter dargestellt. Auf Basis der GW-Temperaturen wurde das thermische Potenzial mit Hilfe der Strömungsgeschwindigkeit und der GW-Mächtigkeit abgeschätzt. Es zeigt sich, dass sowohl im Sommer wie im Winter das größte thermische Potenzial im südöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes entlang der Salzach auftritt. An dieser Stelle infiltrieren große Mengen an Flusswasser in den Aquifer und können dort als Trägermedium Wärme bzw. Kälte speichern. Im Vergleich zeigt die Wärmeinsel des LKH (südlicher Modellrand) aufgrund niedriger GW-Strömungen ein kleines thermisches Potenzial. Eine vergleichbare Situation entsteht im Sommer entlang der Autobahn A1. Hier führen warme Niederschlagswässer zu hohen Temperaturen, die sich allerdings ebenfalls wirtschaftlich kaum nutzen lassen.

Die Grundwassertemperaturen sind auch anhand von Zeitreihen ersichtlich. In Abbildung 5.8 sind die Temperaturen von zwei GW-Messstellen über einen Zeitraum von 3 Jahren gezeigt. Auffällig ist neben den jahreszeitlich bedingten Schwankungen und dem Trend hin zu höheren Temperaturen der zeitliche Versatz der Temperaturextremwerte. Während minimale Temperaturen von 8 - 9 °C im Frühsommer auftreten, sind die Temperaturhöchstwerte auf die Wintermonate November, Dezember und Januar verteilt. Aus diesen zeitlich versetzten Temperaturverläufen leitet sich ein gutes Potenzial für thermische GW-Nutzungen ab.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

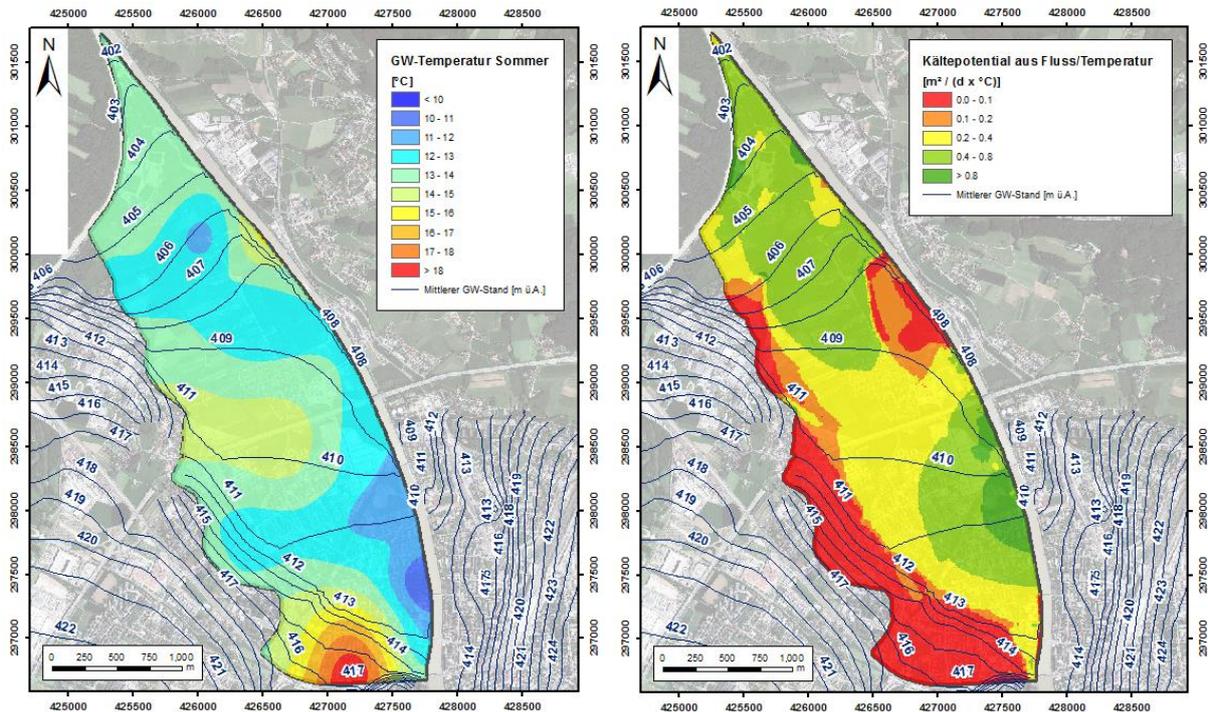


Abbildung 5.6: Mittlere Grundwassertemperatur im Sommer (Bild links), und entsprechendes Kältepotential, berechnet aus dem Grundwasserfluss und der Temperatur (Bild rechts).

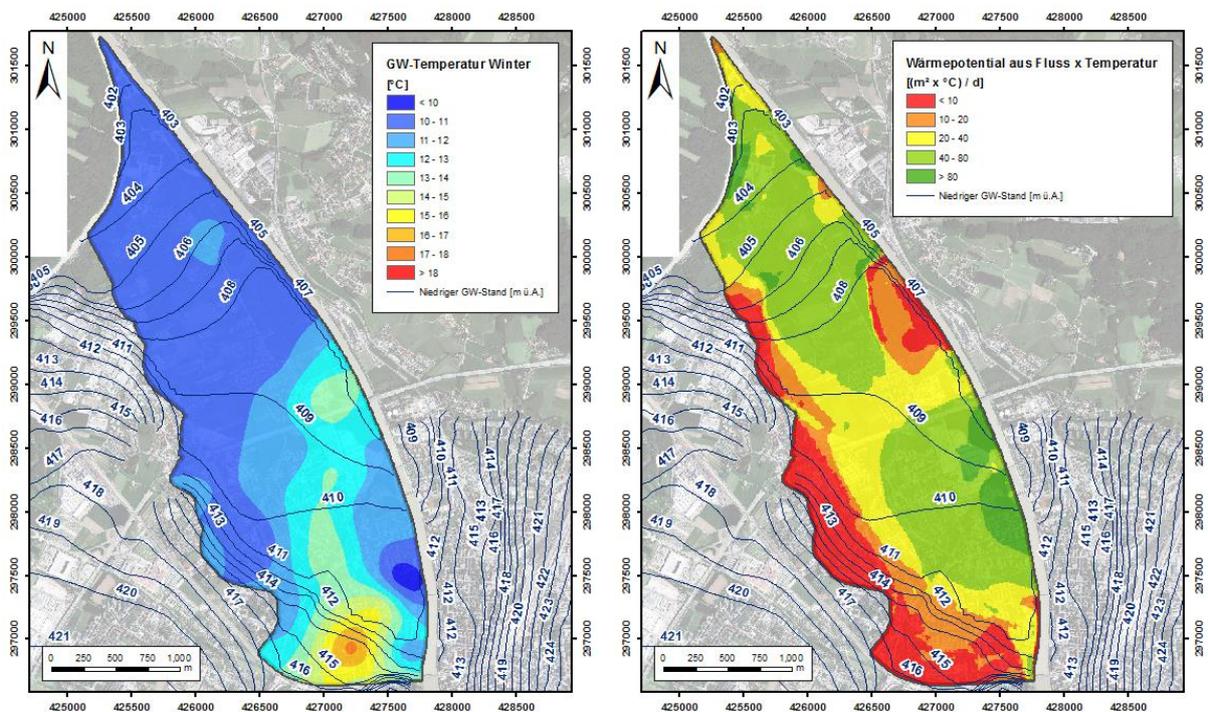
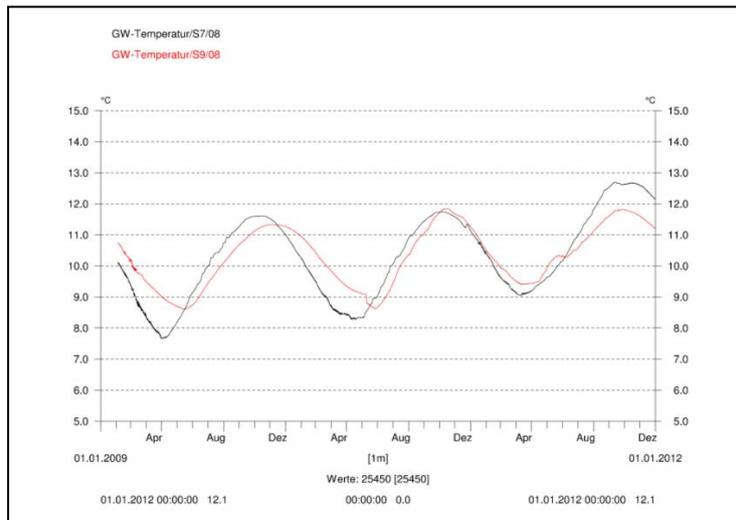


Abbildung 5.7: Mittlere Grundwassertemperatur im Winter (Bild links), und entsprechendes Kältepotential, berechnet aus dem Grundwasserfluss und der Temperatur (Bild rechts).

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 5.8: Temperaturverläufe zweier GW-Messstellen (S7/08 und S9/08) in Lehen nahe des Salzachufers von Anfang 2009 bis Ende 2011.**

## 5.2.1 Thermische Nutzungen

Für die Erstellung von technischen Anlagenkonzepten wurden Daten zu Flächenwidmung, bestehenden und geplanten thermischen Nutzungen inklusive verfügbaren Betriebssystemen sowie technische Details von Netzkomponenten erhoben. Für die Auslegung von Anlagen in zukünftigen Nutzungsszenarien wurden Vergleichswerte von bereits realisierten Gebäuden bzw. thermischen Nutzungen herangezogen. Beispielsweise wurde für die Berechnung der energetischen Bedarfsgrößen für ein in der Zukunft geplantes Landesdienstleistungszentrum (LDZ) des Landes Salzburg ein in Größe, Wärme-/Kältebedarf und Haustechnik vergleichbares Gebäude in Linz, dem Power Tower der Energie AG Oberösterreich, zugrunde gelegt.

Im Modellgebiet besteht eine große Anzahl von privaten Grundwasserwärmepumpen, die sich auf die Siedlungsgebiete in Lehen (südlich der Autobahn) und Liefering (nördlich der Autobahn) verteilen. Diese Nutzungen arbeiten mit sehr geringen Konsensmengen ( $> 5 \text{ l/s}$ ) und sind daher für die Einbindung in ein Versorgungsnetz nur bedingt geeignet. In Abbildung 5.9 sind zudem die bereits realisierten und geplanten thermischen Nutzungen skizziert, welche größeren Wärme-/Kältebedarf haben und für eine Anbindung an ein Versorgungsnetz in Frage kommen. Diese sind insbesondere das Messehotel Salzburg nahe der Autobahn A1 sowie nachrangig auch die Sporthalle Liefering sowie die Wohnanlage Fischergasse im Westen des Untersuchungsgebietes. Zusätzlich sind Flächen mit potenziellen Nutzungskomponenten markiert, welche in den Modellierungsszenarien berücksichtigt wurden.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

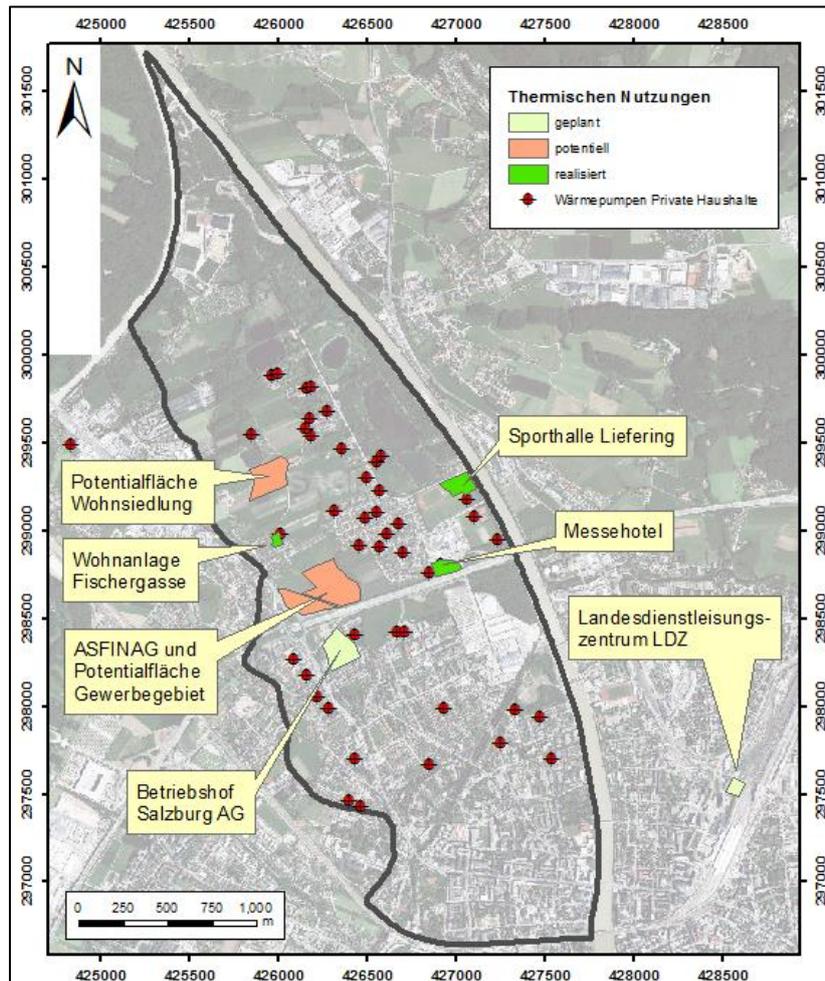


Abbildung 5.9: Thermische GW-Nutzungen im Stadtgebiet Salzburg-Liefering und Komponenten möglicher Nutzungsszenarien einer vernetzten Versorgungsstruktur im Untersuchungsgebiet.

### 5.2.2 Betriebsweise der thermischen Nutzungen

Im Normalfall haben die thermischen Nutzungen einen zeitlich variablen Wärme-/Kältebedarf, der je nach Jahreszeit unterschiedliche Temperaturdifferenzen und Massenströme beinhaltet. Für die bestehenden thermischen Nutzungen Messehotel und Sporthalle Lieferung existieren Bedarfskurven, die für jeden Monat gemittelte Bedarfswerte angeben (siehe Abbildung 5.10).

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

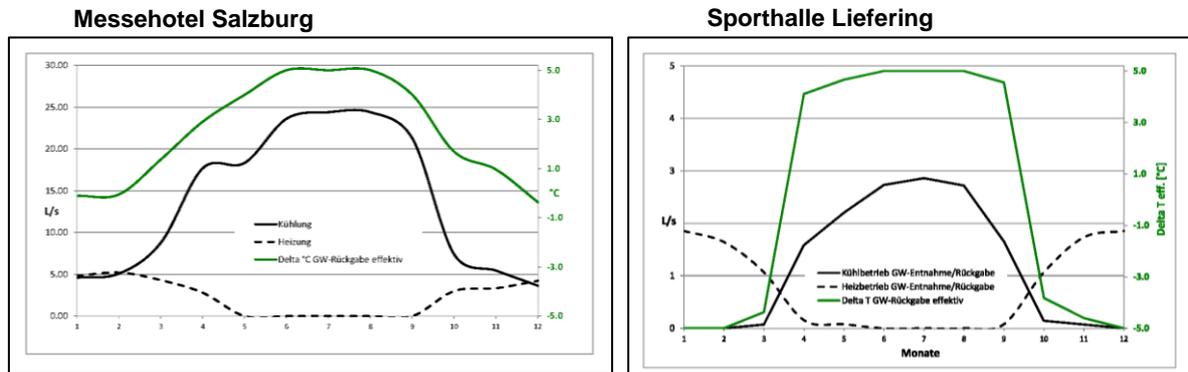


Abbildung 5.10: Jahresgang der Wärme-/Kältebedarfskurven des Messehotels Salzburg (Bild links) und der Sporthalle Liefering (Bild rechts).

### 5.2.3 Anlagenkomponenten

Die Vernetzbarkeit der Grundwassernutzungen ist ein zentrales Kriterium für eine mögliche Verbundnutzung von geothermischen Energiepotenzialen. Einerseits sind hierfür die Parameter der Entnahmeanlagen von Belang, d.h. der Massenstrom und die zu überwindende hydraulische Höhe, welche durch die Pumpen bewerkstelligt werden muss. Neben den absoluten Höhenunterschieden zwischen Entnahme- und Rückgabestelle müssen auch die Reibungsverluste in der Leitung bei der Dimensionierung der Anlagen berücksichtigt werden. Andererseits sind die tatsächliche Länge und der Durchmesser der Verbundleitung ein limitierender Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Anlage, da der Leitungsbau einen wichtigen Kostenfaktor darstellt. Diesbezüglich müssen auch die örtlichen Gegebenheiten bezüglich der Lage der Leitung in Betracht gezogen werden. Im Untersuchungsgebiet sind die Entnahmeanlagen entsprechend den thermischen Potentialen zu platzieren. Leitungsverläufe sind insbesondere entlang von Straßentrassen oder entlang der Salzach kostengünstig umzusetzen.

## 5.3 Numerisches Strömungs- und Wärmetransportmodell

Für die GW-Modellierungsarbeiten wurde die Software FEFLOW von DHI-Wasy GmbH in Version 6.2 eingesetzt. Es wurde ein instationäres 2D-Grundwasserströmungsmodell mit Wärme-/Kälte-transportberechnung erstellt. Als Grundlage der instationären GW-Modellberechnungen in Hinsicht auf die GW-Strömung wurde der Zeitraum 1985 bis 2010 ausgewählt. Hierzu liegen umfangreiche Wasserspiegel-Gangliniendaten der Fließgewässer, Niederschlagsdaten sowie Stichtagsmessungen an GW-Messstellen vor. Das Modellgebiet wurde nach der Finite-Elemente-Methode mit 50.000 Elementen triangular diskretisiert. Je nach Relevanz wurden unterschiedliche Netzdichten erzeugt. Diese reichen von ca. 15 m

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Kantenlänge (südlichster Abschnitt des Modellgebiets) bis zu  $<1$  m im Bereich von thermischen GW-Nutzungen.

### 5.3.1 Hydraulische Randbedingungen

#### 5.3.1.1 Randliche Zuflüsse

Am südlichen bis südwestlichen Modellrand (Bereich Landeskrankenhaus) war aufgrund der Voruntersuchungen mit einem untergeordneten Zustrom an Grundwasser zu rechnen. Dieser wurde, unter Einzugsgebietsabschätzung der GW-Neubildung, aus GW-Gradient und  $K_f$ -Wert der stationären Berechnung ermittelt und als integrale Fluid-Flux-Randbedingung definiert. In einzelnen Bereichen war eine Anpassung des Fluxes im Rahmen der Modellkalibrierung erforderlich. Da es laut GW-Beobachtungen nur zu geringen Schwankungen oberhalb der Terrassenstufe kommt, konnte von einer Umsetzung mittels Zeitreihen abgesehen und konstante Mengen angenommen werden.

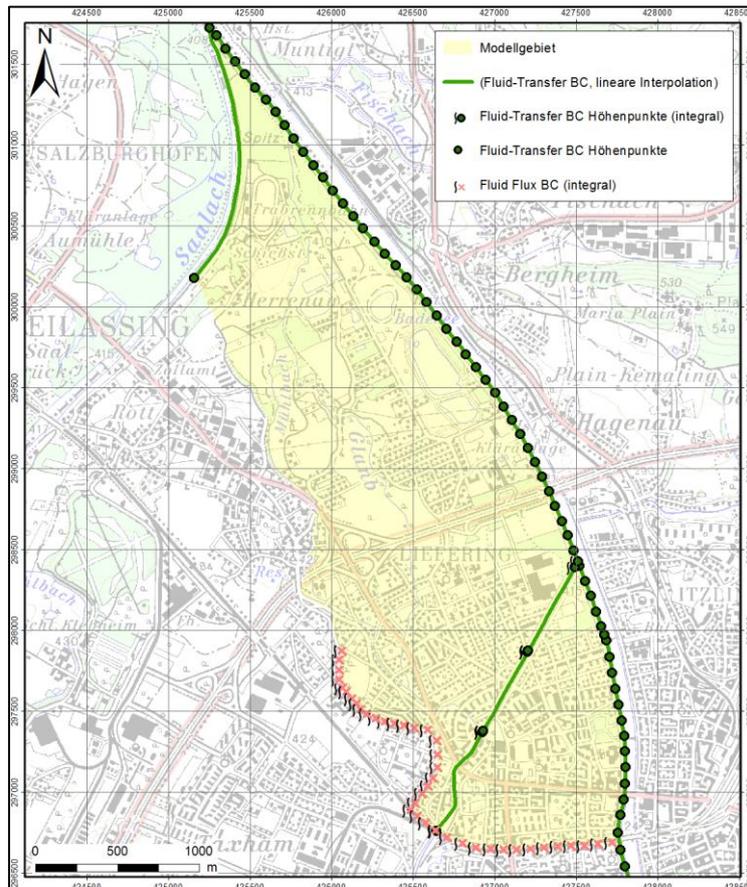
#### 5.3.1.2 Fließgewässer

Die Fließgewässer Salzach, Saalach und Glan wurden im GW-Modell mittels der Fluid-Transfer-Randbedingung umgesetzt (siehe Abbildung 5.11). Entlang der Salzach wurde mit 80 Zeitreihen gearbeitet, um das Flussgefälle gut abzubilden. Die restlichen Fließgewässer weisen weniger Referenzpunkte auf, bei der Glan waren jedoch mehrere Wehre und Überfälle im Modellgebiet zu berücksichtigen. Ausgangspunkt für diese Festlegungen bildete das digitale 1 m-Geländemodell aus der Laserbefliegung. Pegeldata lagen für die Flusspegel Salzach Lehen, Saalach Siezenheim und Glan Moos vor, an denen eine 15-minütige Aufzeichnung erfolgt.

Die annähernd konstante Geometrie des künstlichen Salzachflussbettes bewirkt ein sehr ähnliches Ansprechen des Wasserspiegels auf unterschiedliche Abflussmengen im Untersuchungsgebiet. Für die Definition der power-functions (Zeitreihen) in FEFLOW wurde daher die Pegelganglinie des Pegels Lehen als Referenz herangezogen und entsprechend dem Niveauunterschied zu den Punkten entlang der Salzach linear angerechnet. Im Fall der Salzach und Saalach ist davon auszugehen, dass ein beträchtlicher Teil der Kommunikation zwischen Vorfluter und Grundwasser über die Böschung stattfindet. Im Böschungsbereich kommt es demnach mit Anstieg des Salzachwasserspiegels zu einer zunehmenden Benetzung. In numerischer Hinsicht lässt sich dieses Verhalten besser mittels der Non-integral Fluid-Transfer-Randbedingung erfassen, welche hier eingesetzt wurde. Bei dieser nimmt die im Modell angesetzte "Austauschfläche" zwischen der berechneten Höhe der Randbedingung und der Modellunterkante mit steigendem GW- bzw. Wasserspiegel zu. Im Falle der Glan ist die Wasserspiegelschwankung indes so gering, dass kaum unterschiedliche Böschungsbereiche benetzt werden. Hier konnte mit der integralen Fluid-Transfer-Randbedingung gearbeitet werden.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 5.11: Hydrogeologische Randbedingungen des GW-Modells (Fließgewässer, randliche Zuflüsse)**

Die Fluid-Transfer-Randbedingung verlangt die Angabe der Transfer-Raten In und Out (In: Infiltration ins GW, Out: Exfiltration von GW), womit die Kommunikation zwischen Oberflächen- und Grundwasser über eine Kolmatierungsschicht definiert wird. Basierend auf Literaturangaben wurden die Transferraten (In/Out) für Saalach und Saalach zunächst pauschal mit dem Wert  $3/d$  [Wert / Zeit] angesetzt und die Glan mit  $1/d$  angenommen. Dies wurde später im Rahmen der Modellkalibrierung teilweise lokal angepasst (siehe Kap.5.3.3).

### 5.3.1.3 GW-Neubildung

Grundlage zur Abschätzung der GW-Neubildung bilden die Angaben zu Niederschlag (N), Verdunstung (V) und Anteil des unterirdischen Abflusses ( $A_u$ ) am Gesamtabfluss nach der hydrologischen Grundgleichung:

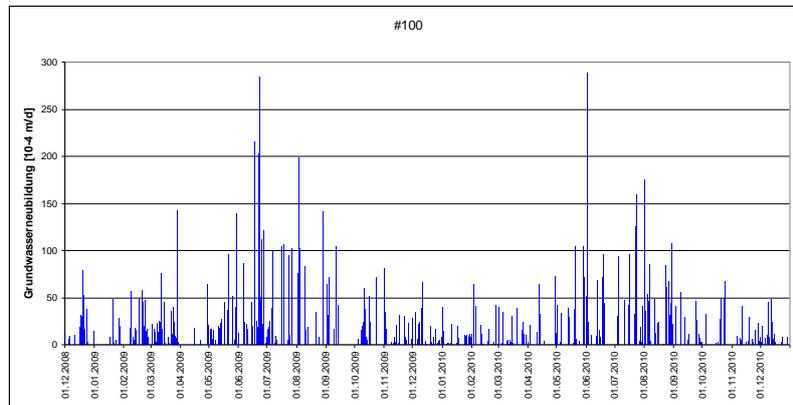
$$GWN = (N - V) A_u$$

Beim Hydrographischen Landesdienst Salzburg wurden neben Niederschlagsdaten auch Angaben zur potentiellen Verdunstung erhoben. Des Weiteren wurden zur Abschätzung der GW-Neubildung im Modellgebiet vom Kanal- und Gewässeramt des Magistrats Salzburg sogenannte Abflussbeiwerte zur Verfügung gestellt. Diese liefern katasterbezogenen Angaben

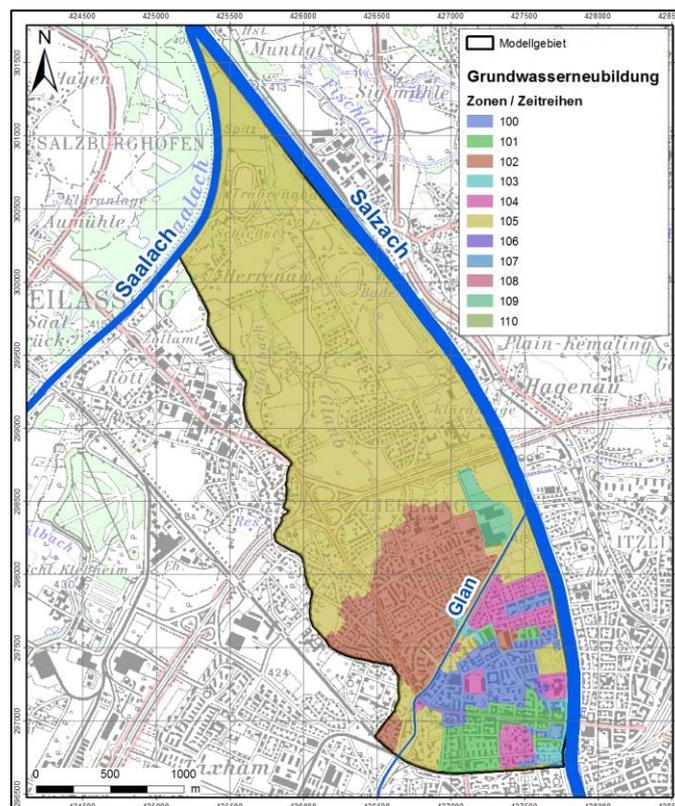
## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

über das Verhältnis der zur Versickerung gebrachten bzw. kanalisiert abgeführten Niederschlagswässer je Grundstück und somit den unterirdischen Abflussanteil ( $A_u$ ). Entsprechend der Beiwerte-Klassifikation wurden 11 Zeitreihen definiert (siehe Abbildung 5.12) und zur Belegung des Modellgebiets mit GW-Neubildung eingesetzt (siehe Abbildung 5.13).



**Abbildung 5.12: Beispiel einer Zeitreihe: Nr. 100 – entspricht einem Abflussbeiwert von 0,6 (60% der anfallenden Niederschläge werden kanalisiert abgeleitet)**



**Abbildung 5.13: Räumliche Verteilung der GW-Neubildungs-Zonen im Modellgebiet basierend auf Niederschlag, Verdunstung und Abflussbeiwerten**

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 5.3.1.4 GW-Temperatur

Die GW-Temperaturen wurden in FEFLOW mittels der Temperatur-Randbedingung an den entsprechenden Berechnungsknoten definiert. Derart wurde die Salzach mit instationären Temperaturwerten belegt sowie der südliche bis südwestliche Modellrand, an welchem ebenfalls GW-Zustrom ins Modellgebiet auftritt. Die Saalach fungiert im Modellgebiet ausschließlich als Entlastungserinne und hat keinen relevanten Einfluss auf die GW-Temperaturen. Die Wassertemperatur der Glan konnte im GW-Modell aufgrund ihres geringen hydraulischen Beitrags zum Grundwassergeschehen vernachlässigt werden. Die simulierten Wärme-/Kältenutzungen wurden an jenen Berechnungsknoten, an denen sich jeweils die GW-Rückgabeburgen befinden.

### 5.3.2 Aquifereigenschaften

#### 5.3.2.1 Aquiferunterkante

Für die Ableitung der Aquiferunterkante im Modellgebiet wurde eine intensive Erhebung der öffentlich zugänglichen Bohrdaten durchgeführt. Das Relief des GW-Stauers wurde aus diesen Daten durch flächige Interpolation gewonnen.

#### 5.3.2.2 Hydraulische Durchlässigkeiten (Kf-Werte)

Im Mai 2010 wurde im Lehener Park ein Langzeit-Pumpversuch durchgeführt. Die instationäre und stationäre Auswertung des Versuchs ergab Transmissivitäten von rund  $4E-02$  m<sup>2</sup>/s für den untersuchten Aquifer. Bei einer GW-Mächtigkeit von rund 4 m entspricht dies einem  $K_f$ -Wert von etwa  $1E-02$  m/s. Ursache der hohen hydraulischen Durchlässigkeiten in einem großen Teil des GW-Modellgebiets sind wahrscheinlich die mächtigen künstlichen und gering konsolidierten Kies-Anschüttungen im Zuge der Salzach-Regulierungen Ende des 19. Jahrhunderts.

In den weniger anthropogen beeinflussten Bereichen, etwa im Bereich der Terrassenkanten (Friedhofsterrasse-Austufe), ergeben sich hydraulische Durchlässigkeiten in der Größenordnung  $E-04$  bis  $E-03$  m/s. Im Zuge der Sedimentationsgeschichte durch Salzach und Saalach wurden abschnittsweise eher sandig- oder kiesig-dominierte Bereiche abgelagert, die mit oben genannten Durchlässigkeiten korreliert werden können. Schlechter durchlässige Zonen lassen sich auf lokale Seetonrhebungen bzw. im Bereich der Salzachseen auf die anstehende Flysch-Felsschwelle (Bergheim) zurückführen. Der eigentliche GW-Stauer (Salzburger Seeton) weist hydraulische Durchlässigkeiten im Bereich etwa  $E-06$  m/s auf. Der wassergesättigte Übergangsbereich zum kiesig-sandigen Aquifer wird mit etwa  $E-05$  m/s angenommen. In Bezug auf die Menge des zirkulierenden Grundwassers hält daher sowohl der Übergangsbereich Aquifer-Seeton als auch der Seeton selbst nur einen untergeordneten Anteil. Daher konnten diese Bereiche in der GW-Modellierung vernachlässigt werden. Im Rahmen der GW-Modellkalibrierung (siehe Kap.5.3.3) wurde die hydraulische Durchlässigkeit (Kf-Wert) abschnittsweise angepasst (siehe Abbildung 5.14).

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

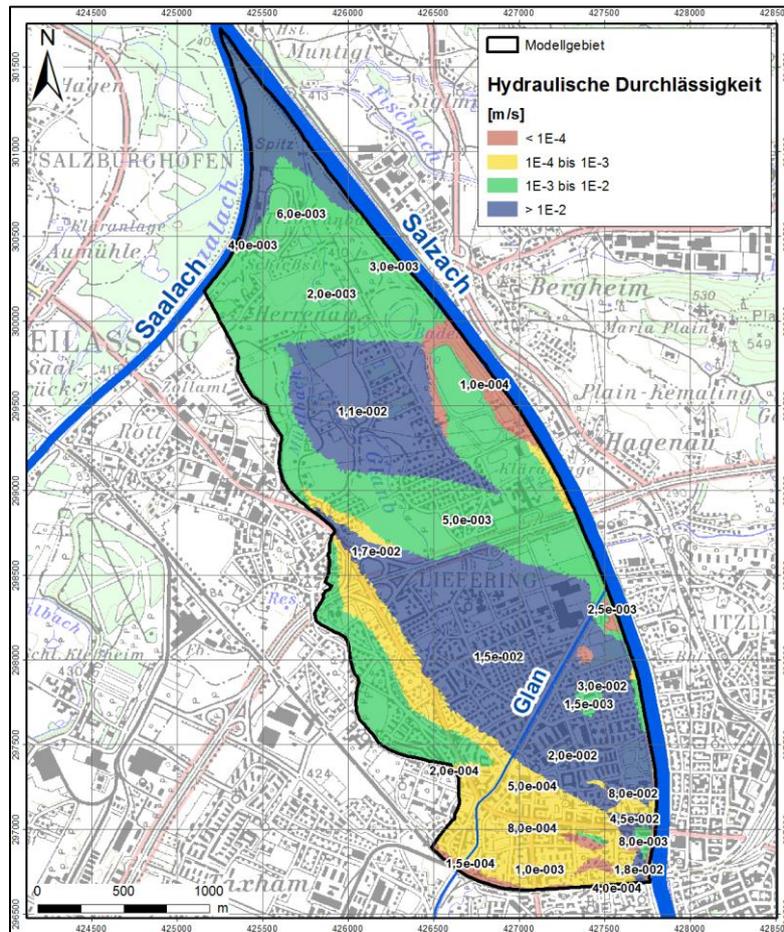


Abbildung 5.14: Hydraulische Durchlässigkeitsbeiwerte (in m/s) des kalibrierten GW-Modells

## 5.3.2.3 Drainierbare Porosität / Effektive Porosität

Der 2010 in Lehen durchgeführte Pumpversuch ergab eine drainierbare Porosität / effektive Porosität von 12 %. Dieser Wert erschien, auch in Anbetracht von Literaturangaben und geologischen Gegebenheiten (künstliche und gering konsolidierte Kies-Anschüttungen im Zuge der Salzach-Regulierungen), als unrealistisch. Es wurde daher, basierend auf Literaturwerten für sandige Kiese (Terrassenschotter), mit einem pauschalen Wert von 0,20 (20 %) gearbeitet.

## 5.3.3 GW-Modellkalibrierung

### 5.3.3.1 GW-Strömung

Die Modellkalibrierung dient der Eichung des GW-Modells und Annäherung der berechneten an die realen GW-Verhältnisse im Projektgebiet. Dazu wurden im vorliegenden Modell die Parameter Kf-Wert, Transfer-Rate der Fluid-Transfer-Randbedingung und vereinzelt die Fluid-Flux-Randbedingung angepasst (siehe Kap. 5.3.1).

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Für die Kf-Wertverteilung bildete das regionale GW-Modell von Salzburg einen guten Ausgangspunkt. Aufgrund des nun deutlich verfeinert vorliegenden Reliefs des Salzburger Seetons ergab sich vor allem an den Randbereichen des Modellgebiets (Hochlage GW-Stauer) die Notwendigkeit zur Anpassung der Kf-Werte. Tendenziell mussten die Werte erhöht werden, um die Transmissivität bei geringerer GW-Mächtigkeit zu erhalten.

Die Kalibrierung erfolgte zunächst stationär anhand mittlerer GW-Spiegelverhältnisse (GW-Stichtagsdaten 05-2010) (siehe Abbildung 5.15). Nach zufriedenstellender Übereinstimmung zwischen Berechnung und Beobachtung wurde die Kalibrierung instationär weitergeführt. Dafür standen an mehreren Messstellen im Bereich Lehen GW-Pegelganglinien aus Datenlogger-Aufzeichnungen im Rahmen des Projekts Kraftwerk Sohlstufe Lehen zur Verfügung. Für den Abschnitt Lieferung konnte auf langjährige Stichtagsmessreihen (1985-2010) zurückgegriffen werden.

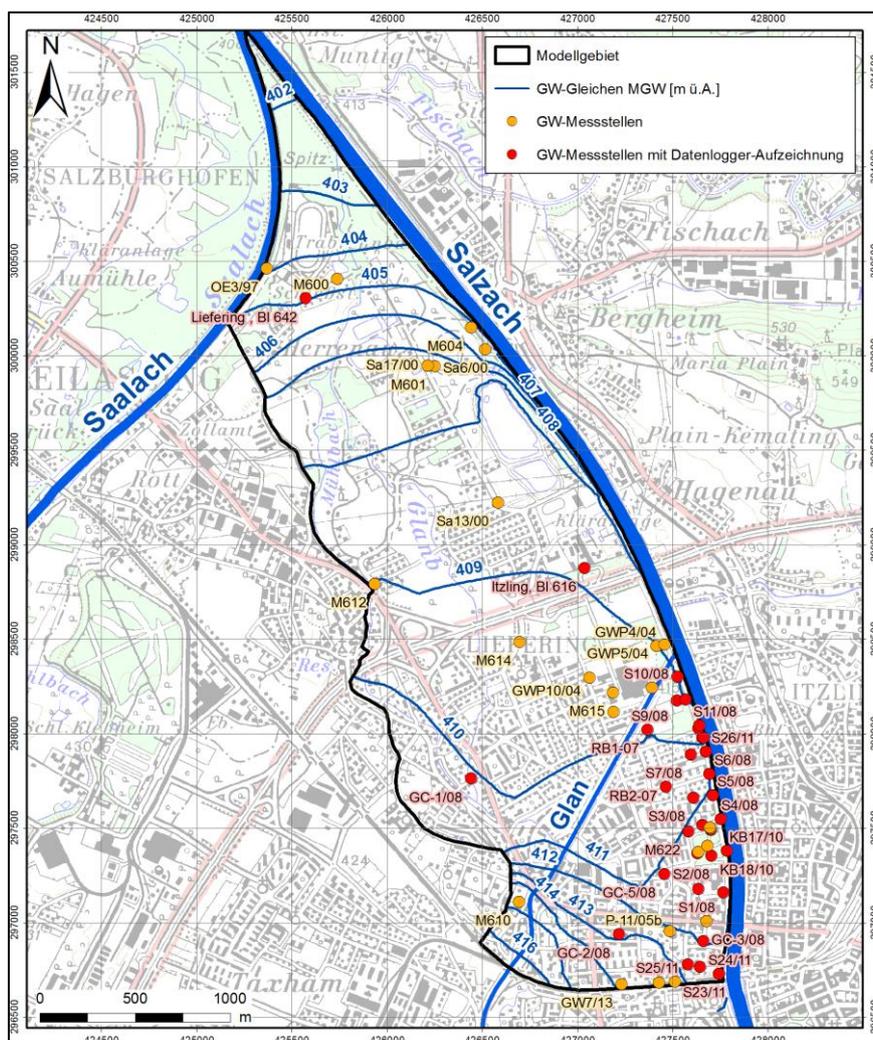
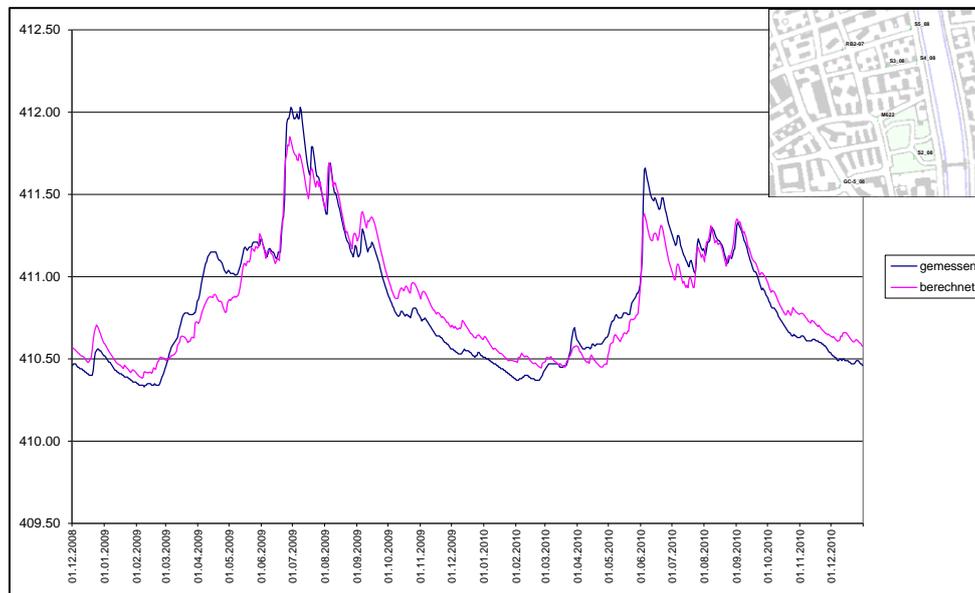


Abbildung 5.15: GW-Gleichen für mittleren GW-Stand (05-2010) laut Modellkalibrierung; GW-Messstellen

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

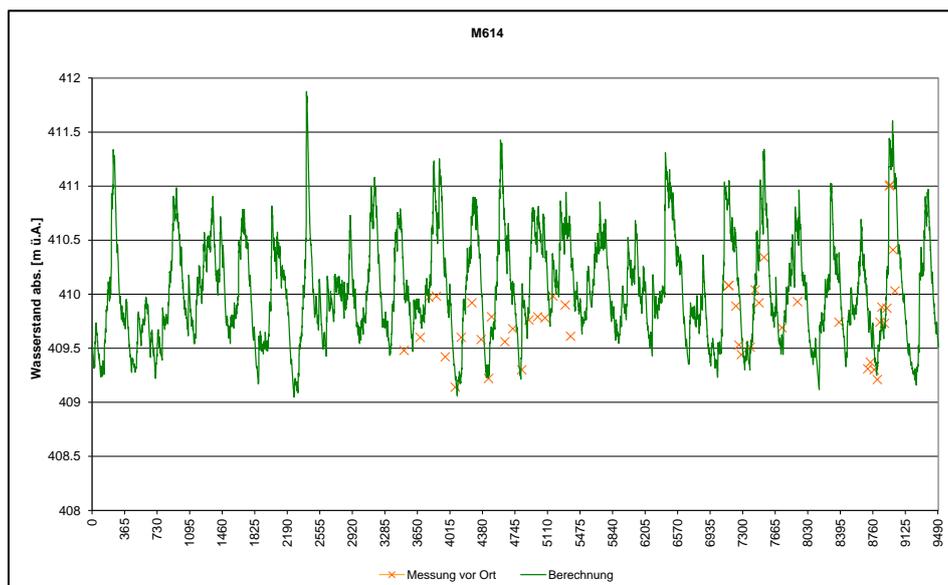
Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

An jenen linksufrigen GW-Messstellen, für welche GW-Ganglinien aus Datenlogger-Aufzeichnungen von 2008-2010 vorlagen, konnten die Abweichungen zwischen Berechnung und Beobachtung auf ca. 0,1 bis 0,2 m begrenzt werden (siehe Abbildung 5.16).



**Abbildung 5.16: Vergleich des GW-Pegelgangs an der Messstelle RB2-07 zwischen Beobachtung und Berechnung im GW-Modell (2008-2010)**

Generell zeigen sich auch an jenen GW-Messstellen, an welchen nur Daten aus GW-Stichtagsmessungen vorliegen, geringe Abweichungen zwischen berechneten GW-Ständen und Stichtagsmessungen (siehe Abbildung 5.17).



**Abbildung 5.17: Vergleich des GW-Pegelgangs an der Messstelle M614 zwischen Beobachtung und Modellberechnung (1985-2010)**

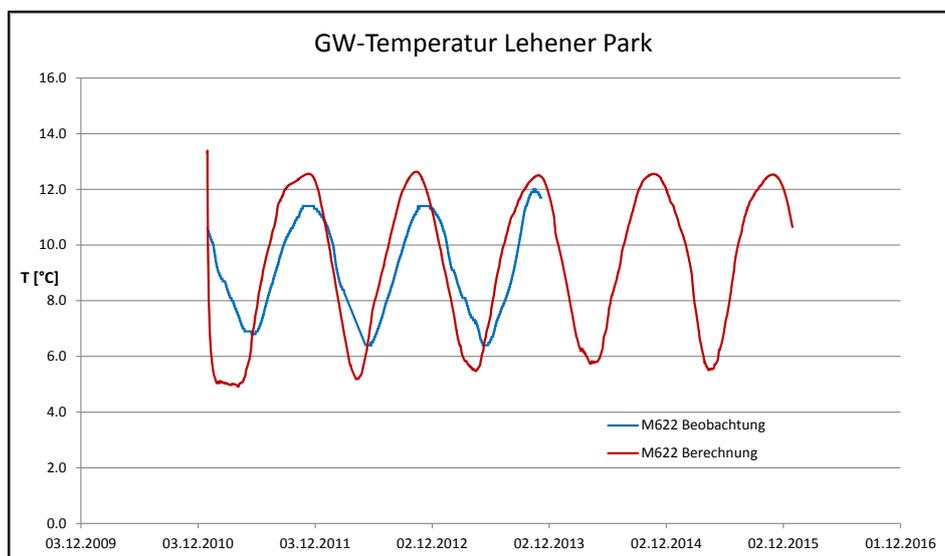
## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### 5.3.3.2 GW-Temperatur

Unter den hydrogeologischen Randbedingungen im Modellgebiet (siehe Kap. 5.3.1) hat die Salzach den stärksten Einfluss auf die GW-Temperaturen im Bereich Lehen und untergeordnet auch Liefering. Konkret erfolgt durch Infiltration in den Aquifer ein advektiver Wärme-/Kältetransport, welcher, je nach Lage der Beobachtung, mehr oder weniger stark zeitversetzte GW-Temperaturminima und -maxima produziert.

Für die im gegenständlichen GW-Modell berechneten Szenarien zur Wärme- bzw. Kältenutzung ist dieser, in Bezug auf die GW-Temperatur, durch die Salzach dominierte Bereich von besonderer Bedeutung. In Abbildung 5.18 sind die Beobachtung und Berechnung der GW-Temperatur im Bereich Lehener Park (Messstelle M622) gegenübergestellt. Die Temperaturen der Berechnung entstammen dem auf die GW-Strömung kalibrierten Modell ohne weitere thermische Kalibrierung.



**Abbildung 5.18: GW-Temperatur im Bereich Lehener Park (Messstelle M622):** Vergleich zwischen Beobachtung und Modellberechnung

## 5.4 Modellszenarien

Die Modellierung erfolgt analog für vier verschiedene Nutzungsszenarien, die sich in Bezug auf Entnahmemengen, Temperaturdifferenzen und Anzahl der Verbundnutzungen unterscheiden. Als Grundlage für die Entwicklung der Modellszenarien wurden die bestehenden Nutzungen Messehotel und Sporthalle Liefering herangezogen. Diese wurden zunächst durch eine optimierte Entnahme und eine Transport- bzw. Verbundleitung ausgebaut. In weiteren Szenarien wurden potentielle Nutzungen hinzugefügt, um die Wirtschaftlichkeit der Verbundleitung zu verbessern. Insbesondere wurde ein Modellszenario für ein geplantes Landesdienstleistungszentrum des Landes Salzburg entworfen, welches

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

ebenfalls in die Verbundleitung integriert werden soll. Die Modellszenarien und die zugrundeliegenden thermischen Potentialkarten sind in Anhang A5 des Berichts dargestellt.

### 5.4.1 Istzustand (Modellszenario 0)

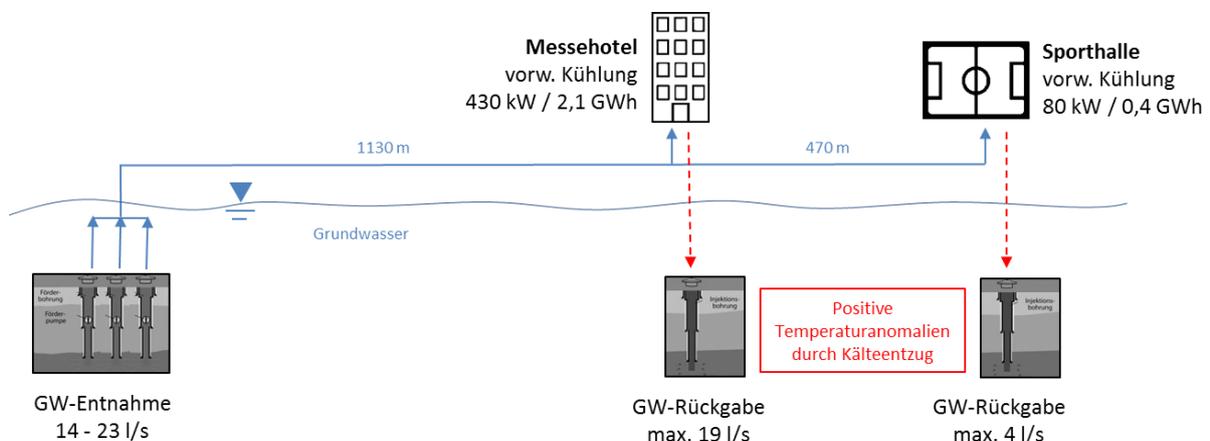
Im Untersuchungsgebiet bestehen die beiden thermischen Nutzungen Messehotel Salzburg (MH) und Sporthalle Liefering (SL) sowie eine große Anzahl kleinerer privater Grundwasserwärmepumpen (GWWP). Aufgrund geringer Konsensmengen werden die privaten GWWP in den Modellszenarien und der Verbundleitung nicht berücksichtigt. Das Messehotel Salzburg sowie die Sporthalle Liefering betreiben zum jetzigen Zeitpunkt autarke Entnahme- und Rückgabeburgen sowie Grundwasserwärmepumpe jeweils zu Kühl- und Heizzwecken. Die maximale Temperaturdifferenz beträgt in beiden Fällen 5 °C.

### 5.4.2 Modellszenario 1a

Im Szenario 1a wurden zunächst ein optimierter Entnahmestandort im Bereich des Kraftwerks Lehen vorgesehen und die beiden bestehenden Nutzungen MH und SL über eine Transportleitung angeschlossen (Abbildung 5.19 und Anhang A5). Die Entnahmemengen und die Temperaturdifferenzen sind in diesem Szenario konstant. Die Versickerung der thermisch genutzten Wässer befindet sich am jeweiligen Standort.

### 5.4.3 Modellszenario 1b

In einem weiteren Schritt wurde bei konstantem Wärme-/Kältebedarf des MH und SL die maximal genehmigungsfähige Temperaturdifferenz ausgenutzt, um die notwendigen Entnahmemengen und damit den Pumpaufwand zu reduzieren. Möglich wird eine Erhöhung der nutzbaren Temperaturdifferenz von 5,0 auf 7,5 °C durch unterschiedliche Grundwassertemperaturen am Entnahme- und Versickerungsstandort. Aus behördlicher Sicht ist eine Temperaturdifferenz von maximal 5 °C in Bezug auf die Umgebungstemperatur am Rückgabestandort ausschlaggebend.



**Abbildung 5.19: Modellszenario 1 (1a und 1b) mit Darstellung des Leitungsverlaufes, der Entnahme- und Rückgabestellen der Thermischen GW-Nutzungen.**

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Der Jahrgang der Rückgabetemperatur der ersten beiden Modellszenarien ist in Abbildung 5.20 dargestellt. Im Vergleich zum Referenzszenario 0 (Istzustand) zeigen die Szenarien 1a und 1b in der Kühlperiode im Sommer deutliche Verbesserungen in Bezug auf die Rückgabetemperatur. Im Szenario 1b sind insbesondere die Maximaltemperaturen im Sommer um bis zu 3 °C reduziert und haben damit einen deutlichen ökologischen Vorteil.

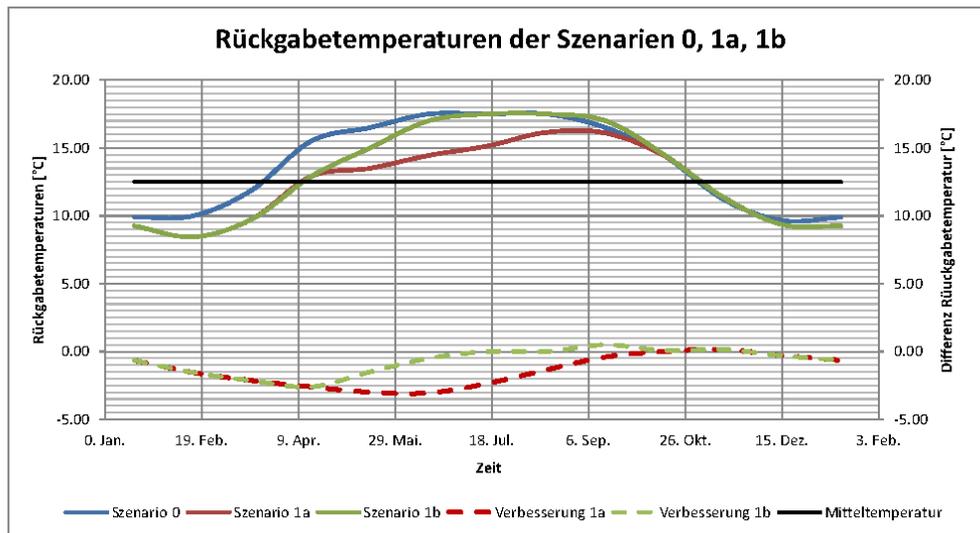


Abbildung 5.20: Vergleich der Rückgabetemperatur am Standort Messehotel Salzburg im Istzustand (Szenario 0) und den Modellszenarien 1a und 1b.

## 5.4.4 Modellszenario 2

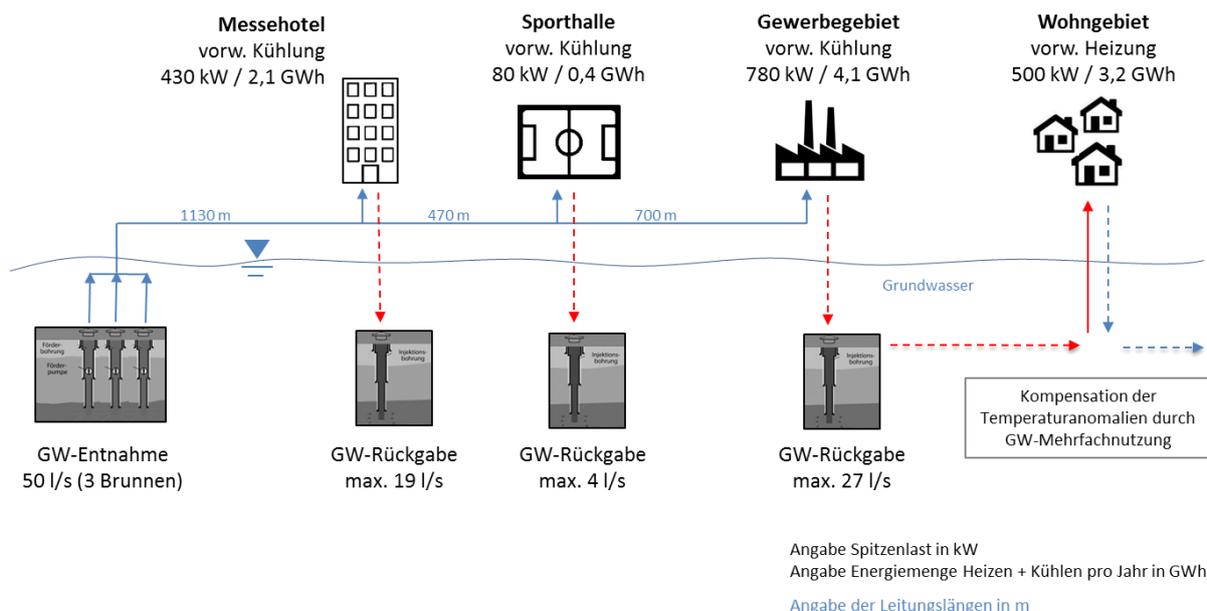


Abbildung 5.21: Modellszenario 2 mit Darstellung des Leitungsverlaufes, der Entnahme- und Rückgabestellen der Thermischen GW-Nutzungen.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Dieses Szenario ist eine Erweiterung des Szenario 1a, wobei die maximale Entnahme am Kraftwerk Lehen auf konstant 50 l/s gesetzt wird. Das überschüssige Wasser, welches an den Standorten MH und SL nicht benötigt wird, soll zu einem Gewerbegebiet (ASFINAG, Salzburg AG und potentielle Gewerbeentwicklungsfläche) westlich des Messehotels zur weiteren thermischen Nutzung transferiert werden (Abbildung 5.21 und Anhang A5). In diesem Modellszenario ist auch eine mehrstufige abstromige Nutzung des gewerblich genutzten Grundwassers im Rahmen eines potentiellen Wohngebietes nördlich davon berücksichtigt.

### 5.4.5 Modellszenario 3

Die Anbindung des geplanten Landesdienstleistungszentrums des Landes Salzburg (LDZ) an einem Standort Nähe Hauptbahnhof wird im Modellszenario 3 abgebildet und berechnet. Der Wärme-/Kältebedarf des LDZ liegt bei jeweils rund 800 kW. Zusätzlich zu der Entnahme am Kraftwerk Lehen (50 l/s) werden im Winter für die Heizung weitere 30 l/s aus der Salzachdrainage hinzugefügt, um den Wärmebedarf des LDZ decken zu können (Abbildung 5.22 und Anhang A5). Nach der thermischen Nutzung des LDZ wird das Wasser im Bereich des Messegeländes infiltriert, um dieses abstromig mit einem zeitlichen Versatz von rund 6 Monaten am Standort Messehotel erneut thermisch nutzen zu können.

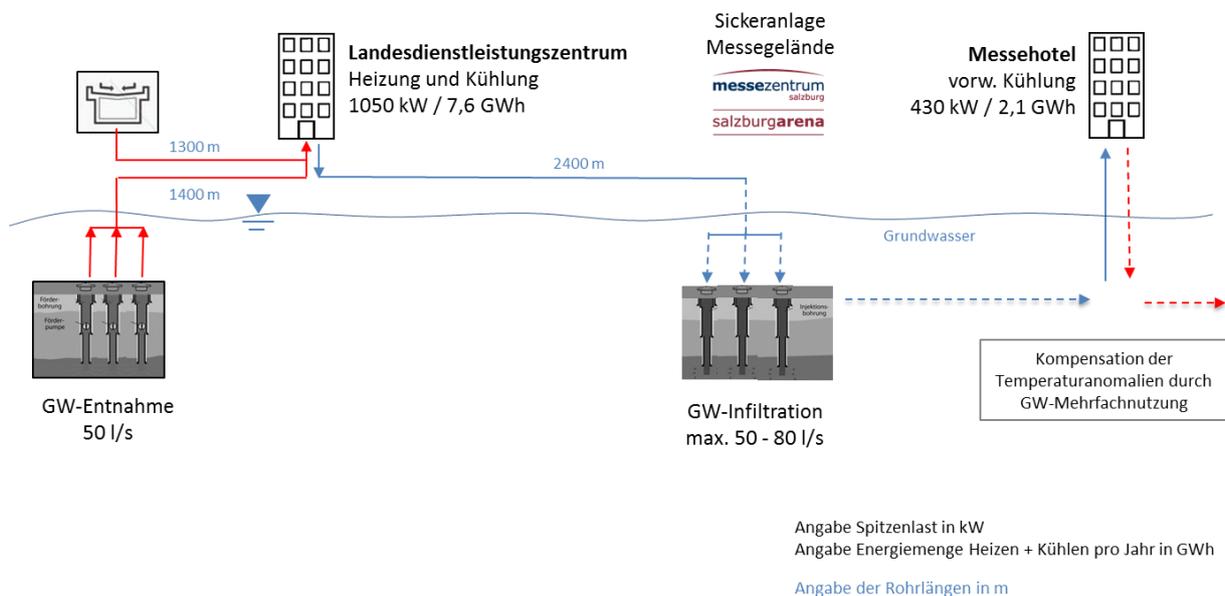


Abbildung 5.22: Modellszenario 3 mit Darstellung des Leitungsverlaufes, der Entnahme- und Rückgabestellen der Thermischen GW-Nutzungen.

## 5.5 Simulationsergebnisse

Die Auswertung der Modellrechnungen wird anhand ökologischer und wirtschaftlicher Faktoren vorgenommen. Im Hinblick auf die ökologischen Faktoren sind insbesondere die

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

Temperaturanomalien sowie die hydraulischen Auswirkungen relevant. Wirtschaftliche Vorteile ergeben sich beispielsweise aus reduzierten Pumpraten oder erhöhter Wärme-/Kälteverfügbarkeit.

### 5.5.1 Thermische Auswirkungen

Die thermischen Auswirkungen von Grundwasserwärme-/Grundwasserkältenutzungen lassen sich sehr anschaulich anhand von Anomaliefahnen darstellen, welche die Abweichung von der mittleren Grundwassertemperatur angibt. Die mittlere jährliche GW-Temperatur liegt bei 12,5 °C. In den folgenden Abbildungen sind jeweils die positiven und negativen Anomalien des Istzustandes (thermische Nutzung des Messehotel Salzburg (MH) sowie der Sporthalle Lieferung (SL) mit autarken GW-Wärmepumpen) sowie der verschiedenen Modellszenarien dargestellt. Dabei wurden zwei Vergleichszeitpunkte am Ende der Heizperiode (28. April) und am Ende der Kühlperiode (29. September) gewählt, um die jeweils maximalen Temperaturanomalien abzubilden.

In Abbildung 5.23 sind zunächst die optimierten Szenarien 1a und 1b dargestellt. Vor allem in der Kühlperiode ist bei konstanter Entnahmemenge (Szenario 1a) aufgrund der niedrigeren Entnahmetemperaturen eine deutliche Reduzierung der Anomalien erkennbar. In der Heizperiode fallen die negativen Anomalien geringfügig höher aus. Im Modellszenario 1b wurden die Pumpmengen auf Kosten höherer Differenztemperaturen reduziert. Abgesehen von einem Kostenvorteil für die Endnutzer sind in diesem Szenario keine deutlichen ökologischen Vorteile erkennbar. Eine niedrigere Pumprate führt offensichtlich nicht zwangsläufig zu einer geringeren räumlichen Ausbreitung der Anomalien.

Im Modellszenario 2 wird nun ein Großteil des entnommenen Wassers (27 l/s) weiter westlich auf einer potentiellen Gewerbefläche thermisch genutzt (Abbildung 5.24). Die Anomalien sind lokal begrenzt und etwa 400 m abstromig mit < 1 °C gering. Die räumlich abgegrenzten positiven und negativen Anomaliefahnen lassen auch eine Mehrfachnutzung der anomal temperierten GW-Körper bei entsprechender räumlicher Anordnung sinnvoll erscheinen. Eine solche optimierte Anordnung ist in Modellszenario 3 realisiert. Abbildung 5.24 (unten) zeigt sehr anschaulich, dass zum Ende der Kühlperiode (Winterbeginn), die Wärmeanomalien die Entnahmefläche am Messehotel erreicht haben. Umgekehrtes Phänomen ist am Ende der Heizperiode (Sommerbeginn) zu beobachten. Eine genaue Analyse der Mehrfachnutzung von GW-Temperaturanomalien ist in Abschnitt 5.5.2 diskutiert.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

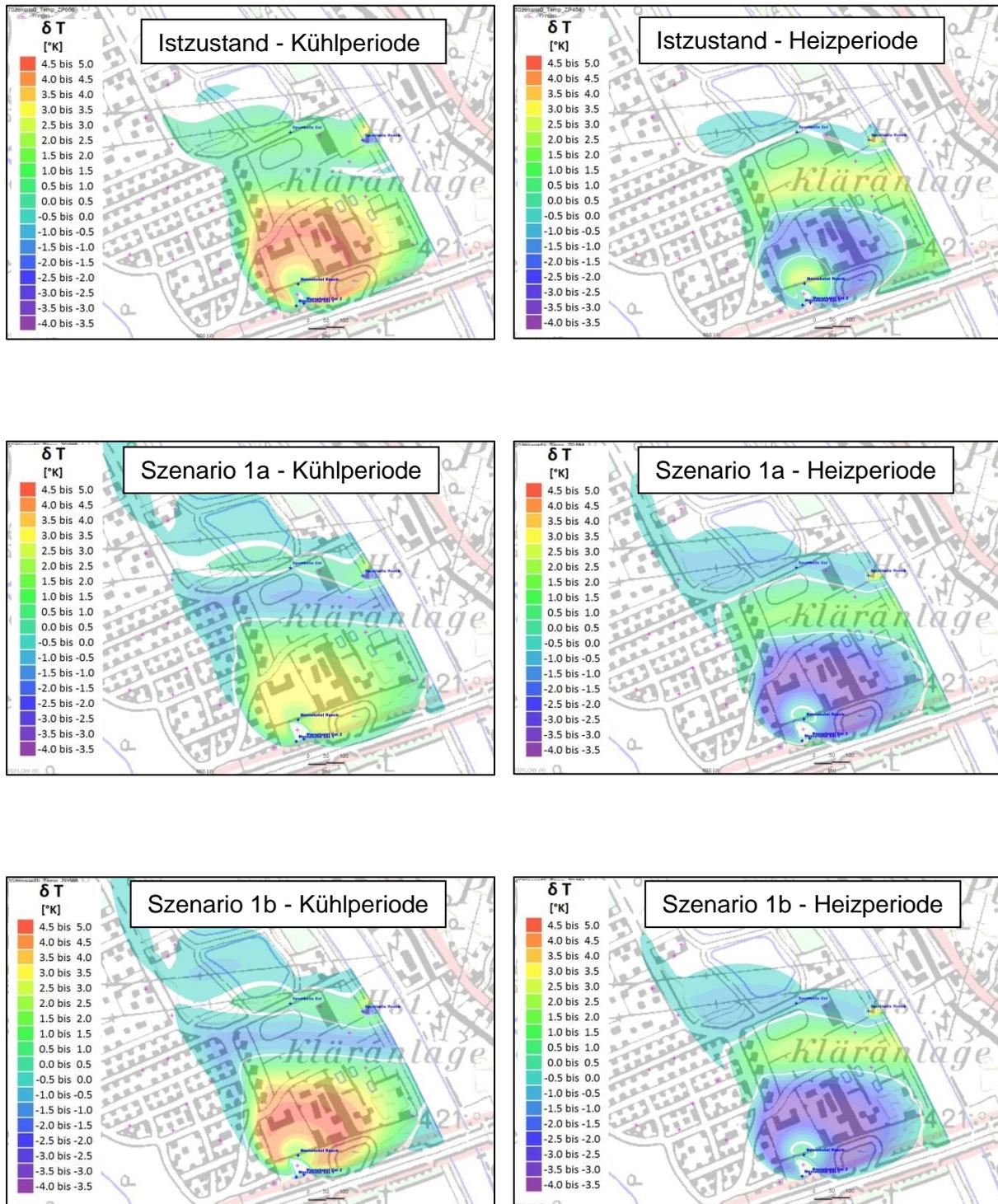
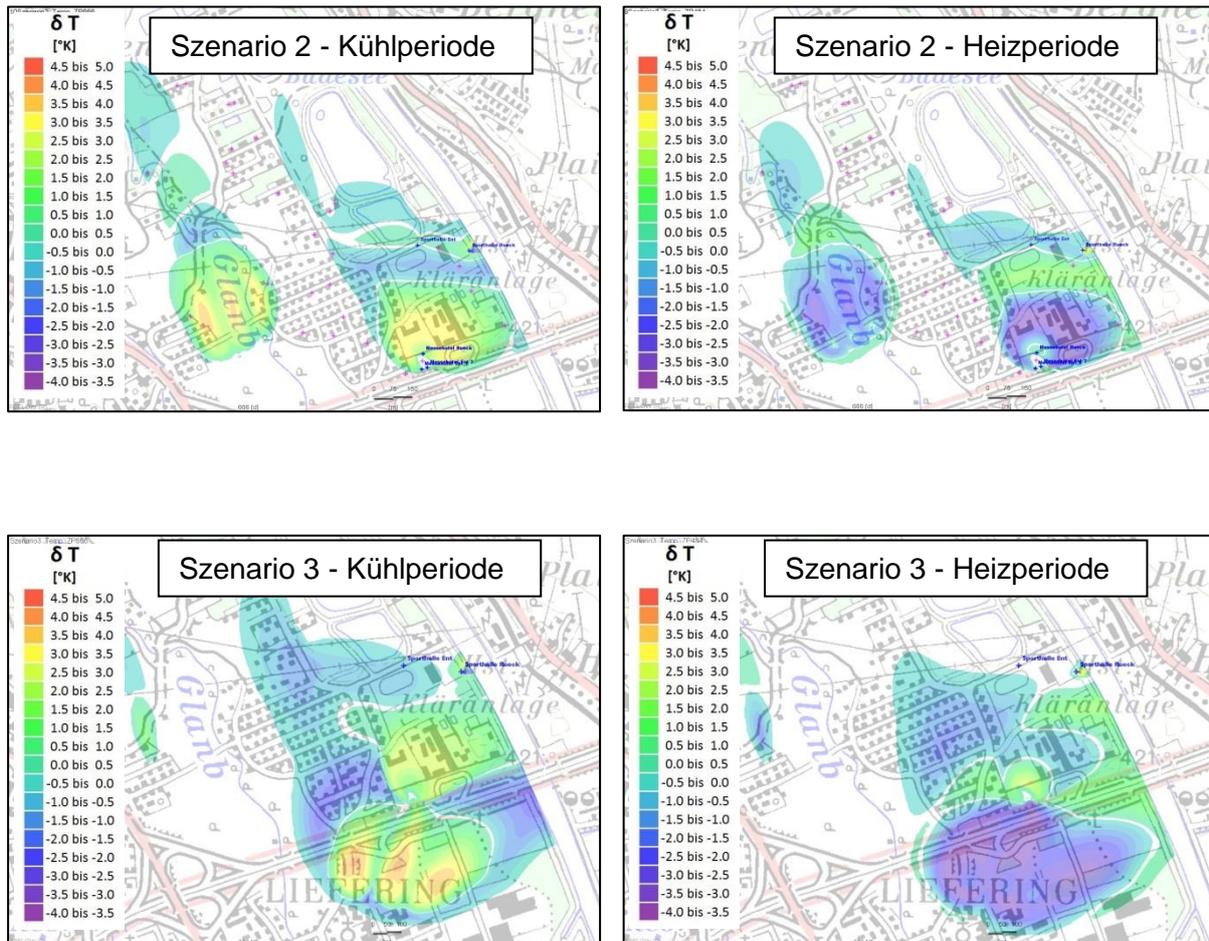


Abbildung 5.23: Temperaturanomalien in  $^{\circ}\text{C}$  des Istzustandes (Szenario 0) und der Modellszenarien 1a und 1b jeweils für das Ende der Kühlperiode (29. Oktober) und für das Ende der Heizperiode (28. April).

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

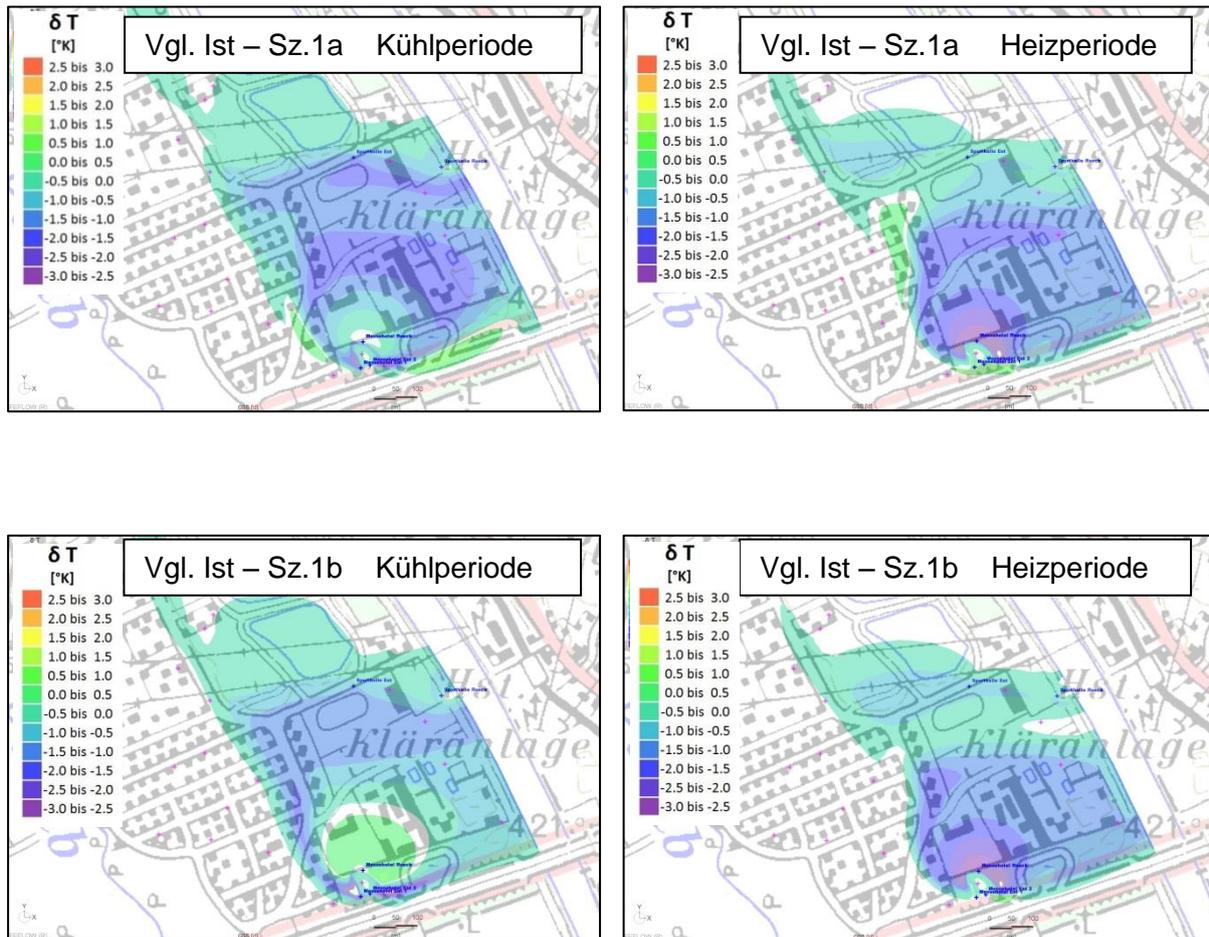


**Abbildung 5.24: Temperaturanomalien in  $^{\circ}\text{C}$  des der Modellszenarien 2 und 3 jeweils für das Ende der Kühlperiode (29. Oktober) und für das Ende der Heizperiode (28. April).**

In den folgenden Abbildung 5.25 und Abbildung 5.26 sind die tatsächlichen Änderungen der Anomalien im Vergleich zum Istzustand dargestellt. Die Modellszenarien 1a und 1b zeigen jeweils niedrigere Rückgabetemperatur aufgrund des kalten Wassers an der Entnahmestelle sowohl im Sommer als auch im Winter. Am stärksten macht sich die Reduzierung in beiden Szenarien am Ende der Heizperiode bemerkbar. Hier liegen die Temperaturen knapp  $3^{\circ}\text{C}$  unter dem Istzustand. Im Szenario 1b sind die Veränderung aufgrund der geringeren Infiltrationsmenge naturgemäß etwas geringer ausgeprägt.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



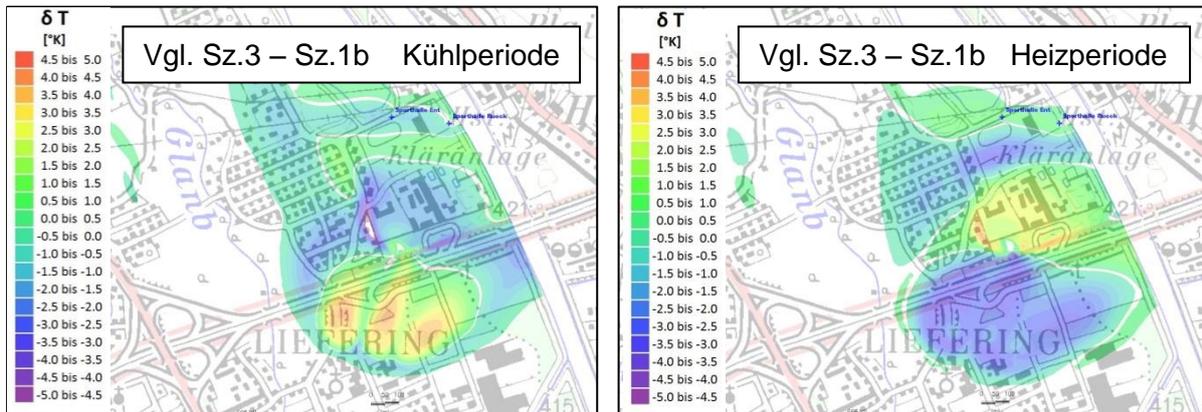
**Abbildung 5.25: Veränderung der Temperaturanomalien in  $^{\circ}\text{C}$  der Modellszenarien 1a und 1b in Bezug auf den Istzustand, jeweils für das Ende der Kühlperiode (29. Oktober) und für das Ende der Heizperiode (28. April).**

Das Modellszenario 3 wurde mit Szenario 1b verglichen, da die Entnahme am Kraftwerk Lehen als Ausgangspunkt betrachtet werden soll. Auf den ersten Blick treten große Unterschiede in den Temperaturanomalien auf. Die größten Anomalien befinden sich jedoch oberstrom des Messehotels und damit zwischen Infiltrationsstandort und der Entnahme beim Messehotel. Die Veränderung der Temperaturen unterstrom des Messehotels sind weitaus geringer und stellenweise als ökologisch positiv zu bewerten.

Zum Ende der Kühlperiode (Winterbeginn) erreicht die Anomaliefahne mit warmem Wasser, welches zuvor am Landesdienstleistungszentrum (LDZ) zur Kühlung genutzt wurde, die Entnahmebrunnen am Messehotel. Dadurch verringert sich die Temperaturdifferenz der Rückgabetemperatur in Bezug auf die Grundwassertemperatur am Messehotel und damit auch die ökologischen Auswirkungen. Generell liegen die Temperaturanomalien  $0,5 - 1,5^{\circ}\text{C}$  unter denen des Referenzszenarios. Das umgekehrte Phänomen tritt im Sommerhalbjahr, sprich zum Ende der Heizperiode, auf (siehe Abbildung 5.26, rechtes Bild).

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 5.26: Veränderung der Temperaturanomalien in °C des der Modellszenarien 2 und 3 in Bezug auf das Modellierungsszenario 1b jeweils für das Ende der Kühlperiode (29. Oktober) und für das Ende der Heizperiode (28. April).**

### 5.5.2 Mehrstufige thermische GW-Nutzung

Im Rahmen der Modellierung wurden auch die mehrstufige Nutzung thermischer Potentiale des Grundwasserkörpers und die Kombination von Nutzungen begutachtet. In Abbildung 5.27 ist eine solche Mehrfachnutzung anhand des Beispiels Messehotel dargestellt. Ausgangspunkt ist eine Entnahme am Messehotel, die den thermischen Bedarf der Anlage deckt sowie eine Versickerung von anomalem Wasser oberstrom der Entnahme, welche im Abstand von rund einem halben Jahr GW-Fließzeit entfernt liegt. In der Graphik ist der Jahresgang eines idealisierten Temperaturverlaufs, bei dem die Rückgabetemperatur der thermischen Nutzung umgekehrt proportional in gestrichelt grau aufgetragen ist. Die Entnahmetemperatur an den Brunnen ist in den farbigen Linien dargestellt. Es zeigt sich, dass der zeitliche Versatz der Kurvenverläufe durch eine geeignete Wahl des Versickerungsstandortes nahezu eliminiert werden kann. Im Fall des Bedarfs von positiv anomalem Wasser kann am Entnahmefrunden 2 ebengleich warmes Wasser entnommen werden. Die unterschiedlichen Temperaturverläufe mit variierenden Extremwerten sind auf einen hydraulischen Kurzschluss am Standort Messehotel zurückzuführen. Hier wird das unterstrom infiltrierte Wasser der Anlage durch die Entnahmefrunden am selben Standort wieder gefördert. Der Entnahmefrunden MH2 liegt zwischen den anderen beiden Brunnen und ist daher hydraulisch am wenigsten durch diesen Rückfluss anomalen Grundwassers beeinflusst.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

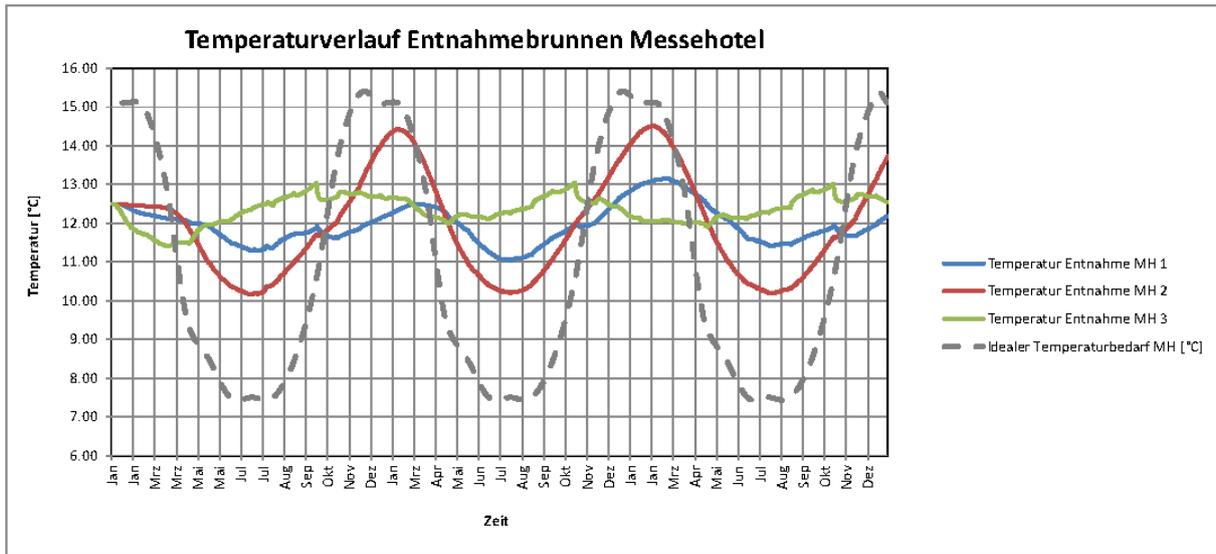


Abbildung 5.27: Temperaturverläufe dreier Entnahmebrunnen am Messehotel Salzburg, sowie der idealisierte Temperaturbedarf, um die Temperaturanomalien zu kompensieren.

## 5.5.3 Wärme-/Kälteleistung

Ausgehend vom Istzustand bringt der optimierte Entnahmestandort am Kraftwerk Lehen sowie die dadurch verringerte Entnahmemenge im Szenario 1b auch wirtschaftliche Vorteile mit sich. Die Entnahmemenge des benötigten Wassers kann durch eine größere nutzbare Temperaturdifferenz im Sommer um 25-30 % gesenkt werden. Das entspricht einer Verringerung der Entnahme um 500-600 m<sup>3</sup>/d für die Monate Juni, Juli, und August (Abbildung 5.28).

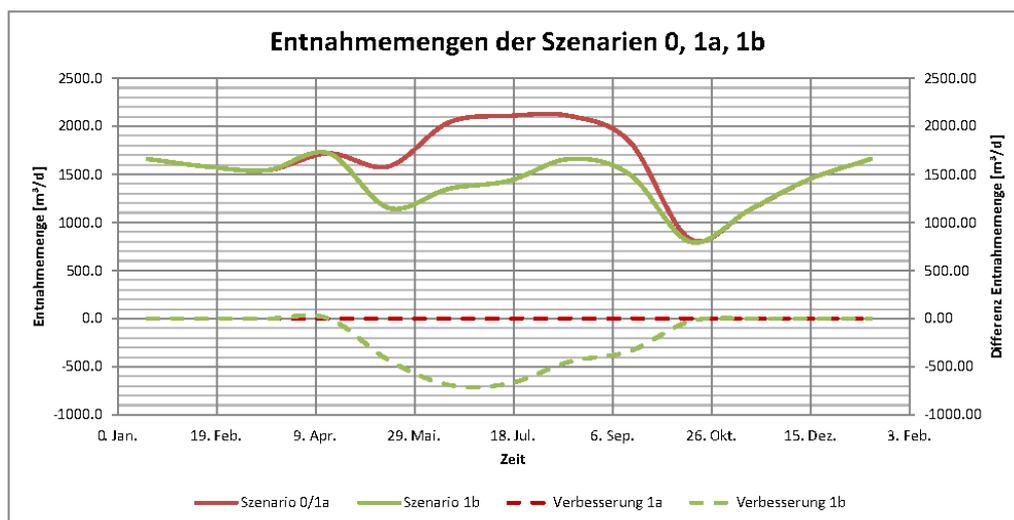


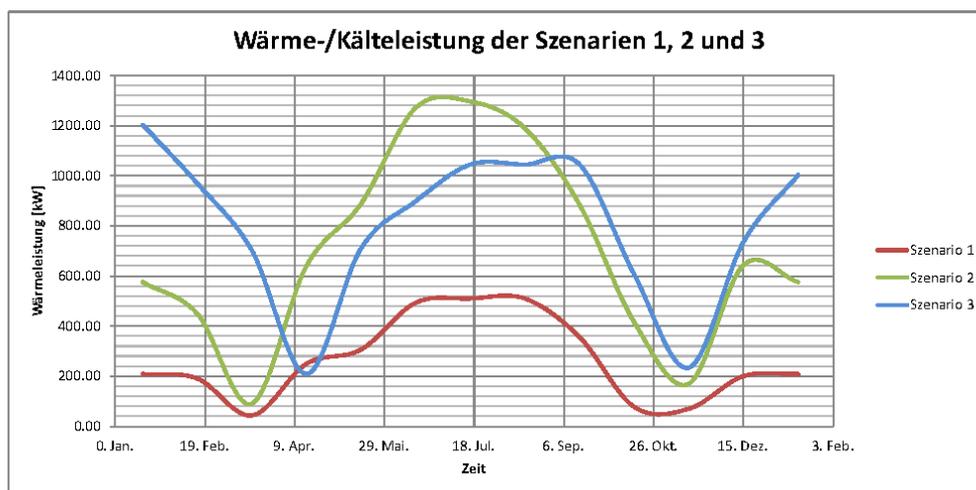
Abbildung 5.28: Vergleich der Entnahmemengen des Istzustandes (Szenario 0) und der Modellszenarien 1a und 1b und die entsprechenden Einsparungen der Pumpmengen.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die gesamte Wärme- und Kälteleistung der verschiedenen Modellszenarien ist in Abbildung 5.29 gezeigt. Da sich die Szenarien 1a und 1b nur in Bezug auf die Entnahmemengen und Rückgabetemperaturen unterscheiden, nicht aber im gesamten Wärme- und Kältebedarf, sind diese in einem Graphen zusammengefasst (Szenario 1). Zur besseren Anschaulichkeit sind zudem die Wärme- und Kälteleistungen jeweils in positiven Leistungsbeträgen aufgetragen. In allen drei Modellszenarien zeigt sich ein klarer Jahrgang mit Leistungsmaxima im Winter und im Sommer. In den Übergangmonaten (März, April und Oktober, November) sinkt die thermische Leistung auf ein Minimum von 15 – 20 % der Maximalleistung, da in dieser Zeit weder stark gekühlt noch geheizt werden muss.

Aufgrund der größeren Entnahmemengen in Szenario 2 und 3 (50 bzw. 80 l/s) kann auch eine wesentlich größere Wärme-/Kälteleistung erzielt werden. Im Szenario 2 ist im Sommer bis zu 1000 kW Kühlleistung möglich. Im Szenario 3 ist sogar bis zu 1300 kW möglich, wobei der mittlere Wärme- wie auch Kältebedarf am LDZ mit rund 800 kW abgeschätzt wurde. Nicht inbegriffen sind in dieser Darstellung mögliche Mehrfachnutzungen. Die Berechnungen beziehen sich lediglich auf die thermische Primärnutzung einer Anlage.



**Abbildung 5.29: Jahrgänge der Wärme-/Kälteleistung in kW für die Modellszenarien 1, 2 und 3. Die Leistung ist jeweils in positiven Beträgen aufgetragen.**

### 5.5.4 Zusammenfassung Simulationsergebnisse

Auf Grundlage der Modellierungsergebnisse können folgende Schlüsse gezogen werden.

- Die Entnahme am Kraftwerk Lehen bietet hydraulisch und thermisch ein Nutzungspotenzial, welches durch das Messehotel nur etwa zur Hälfte ausgenutzt wird und somit den Anschluss weiterer, parallel geschalteter, Anlagen ermöglicht.
- Die kalten Temperaturen an der Entnahmestelle Kraftwerk Lehen bringen insbesondere thermische Vorteile für die Gebäudekühlung im Sommer und können

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

die positiven Temperaturanomalien erheblich senken und einen ökologischen Vorteil für das Erholungsgebiet Salzachseen mit sich bringen.

- Der Großteil des Wärme-/Kältebedarfs des Landesdienstleistungszentrums am Bahnhof Salzburg könnte mit Hilfe einer thermischen Grundwassernutzung in Kombination mit den Salzach Drainagewässern gedeckt werden.
- Eine mehrstufige Nutzung von thermischen GW-Potenzialen könnte im Bereich Messe Salzburg mit nachgeschalteter Nutzung Messehotel sehr gut ausgenutzt werden.

### 5.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Beim Pilotgebiet Salzburg wird ein gänzlich anderer Ansatz untersucht, als beim Pilotgebiet in Wien. Das DEGENT-NET System wird in Salzburg nicht als technisches Anergienetz in Form eines Ringleitungsnetzes mit technischen Quellen, Senken und Speichern ausgeführt, sondern das Netz wird durch den Untergrund bzw. durch das Grundwasser repräsentiert. Hierbei ist von Interesse, inwiefern sich unterschiedliche Grundwassernutzungen gegenseitig beeinflussen und ob und inwieweit sich durch ein optimiertes System aus Entnahme- und Einspeisestellen Synergien in der Wärme- bzw. Kältenutzung nutzen lassen. Die Flussrichtung und -geschwindigkeit des Grundwassers sind hierbei exogene Vorgaben, welche die Nutzungsmöglichkeiten bzw. die Freiheitsgrade bei der Nutzung eingrenzen.

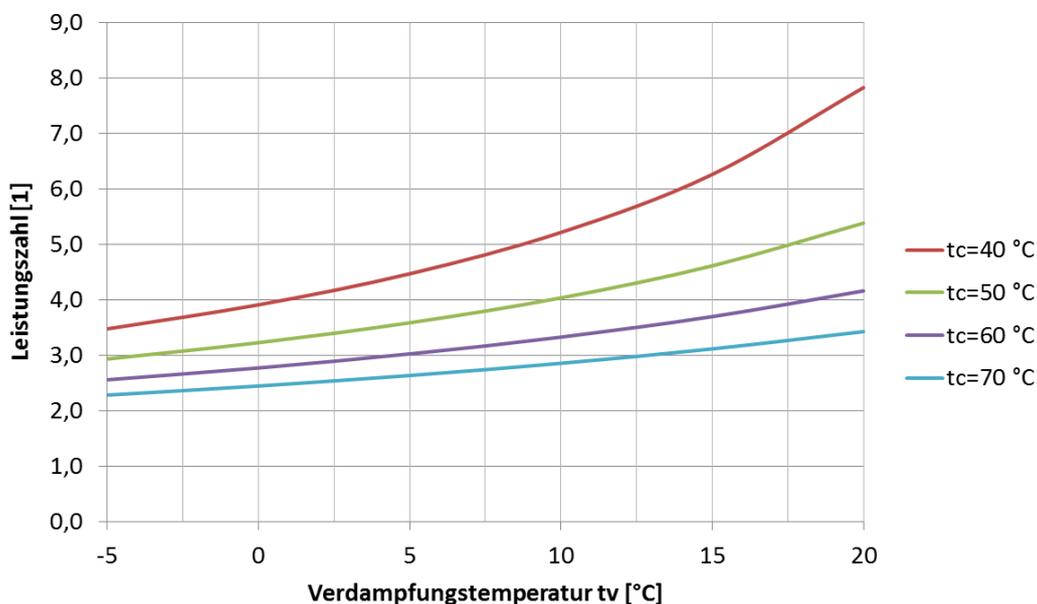
Da für das Pilotgebiet in Salzburg als Basis für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung kein technisch ausdefiniertes System zur Verfügung steht, wird die Frage der Wirtschaftlichkeit von einer allgemeinen Sicht aus beleuchtet. Die Forschungsfrage kann hierbei auf die mögliche Steigerung der Energieeffizienz durch eine gemeinsame Optimierung von Grundwasser-Wärmepumpen basierten Wärmeversorgungssystemen reduziert werden. Wird durch Optimierungsmaßnahmen das Temperaturniveau einer Wärmequelle z.B. im Winter erhöht, so steigt die Energieeffizienz des Wärmeversorgungssystems. Das Effizienzpotenzial besteht dabei aus zwei Effekten:

Effekt a) durch das höhere Temperaturniveau der Wärmequelle sinkt der erforderliche Massenstrom des Wärmeträgers Grundwasser und folglich die Pumparbeit, welche zur Entnahme des Grundwassers bzw. zur Durchströmung des Verdampfer-Wärmetauschers in der Wärmepumpe erforderlich ist; b) wenn der Temperaturanstieg kalkulierbar ist und eine entsprechend optimierte Wärmepumpe eingesetzt werden kann, so steigt überdies der thermodynamische Wirkungsgrad des Wärmepumpen-Kreisprozesses aufgrund einer geringeren Temperaturspreizung zwischen Verdampfungs- und Kondensationstemperatur; es kommt zu einem Anstieg der Leistungszahl bzw. der Arbeitszahl.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Effekt b) ist in Abbildung 5.30 veranschaulicht. Kann bei einer Kondensationstemperatur von  $t_c = 50\text{ °C}$  die Verdampfungstemperatur wegen einer hohen Wärmequellentemperatur z.B. von 5 auf  $10\text{ °C}$  gesteigert werden, so erhöht sich die Leistungszahl der zugehörigen Wärmepumpe von 3,59 auf 4,04, also um 12,5 %. Hierbei ist nicht nur die relative Anhebung der Verdampfungstemperatur, sondern auch die absolute Verdampfungstemperatur relevant. Geht man von einer Kondensationstemperatur von  $40\text{ °C}$  aus, so beträgt die Steigerung der Leistungszahl bei sonst gleichen Rahmenbedingungen 16,7 %. Es sind also stets die mögliche Verdampfungstemperatur und die durch die Vorlaufanforderungen des Heizsystems erforderlichen Kondensationstemperaturen einer Optimierung zuzuführen.



**Abbildung 5.30: Zusammenhang zwischen Verdampfungstemperatur  $t_v$ , Kondensationstemperatur  $t_c$  und Leistungszahl bei einem Carnotschen Gütegrad von 0,5.**

### 5.6.1 Basisszenario

Für die weiteren Betrachtungen werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Kondensationstemperatur  $t_c$  wird mit  $40\text{ °C}$  festgelegt (diese Forderung ist durch den Einsatz von Niedertemperatur-Wärmeverteilssystemen auf der Anwenderseite erfüllbar).
- Der Carnotsche Gütegrad des Wärmepumpenprozesses wird mit 0,5 im praxisrelevanten Wertebereich angenommen.
- Die Temperatur der Wärmequelle schwankt in der Realität zwischen  $8$  und  $11\text{ °C}$  wobei je nach Standort der Betrachtung eine jahreszeitliche Phasenverschiebung von bis zu einem halben Jahr zu beobachten ist. Nachdem die Krümmung des in Abbildung 5.30

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

dargestellten Verlaufes im relevanten Bereich gering ist wird die mittlere Temperatur der Wärmequelle mit 10 °C angenommen.

Die zentrale Frage ist nun, ob die Nutzung einer räumlich entfernt liegenden Wärmequelle wirtschaftlich darstellbar ist oder nicht. Für die Berechnung werden folgende weitere Annahmen getroffen, welche sich an den Verhältnissen im Pilotgebiet Salzburg orientieren:

- Untersucht wird das Leitungstück von den Brunnen am orografisch linken Salzachufer zum Dienstleistungszentrum Bahnhof mit einer Länge von 2.533 Meter.
- Die Leitung besteht aus einem Strang DN 250 mm in Kunststoffausführung. Die Leitungstrasse führt durch verbautes innerstädtisches Gebiet.
- Der Volumenstrom in der Leitung wird mit 80 Liter/Sekunde angenommen.
- Die Förderhöhe beträgt 10,4 m, die elektrische Pumpleistung beträgt 9,79 kW.
- Angenommen wird eine Temperaturspreizung am Verdampfer der Wärmepumpe von 4 K. Das heißt, die Verdampfungstemperatur muss unter den Bedingungen des Kreisprozesses  $< 6 \text{ °C}$  sein. Annahme  $t_v = 4 \text{ °C}$
- Für den Heizbetrieb werden 3000 Volllaststunden und für den Kühlbetrieb mit „free cooling“ werden 1000 Volllaststunden angesetzt.
- Der Leistungsbedarf für die Kühlung beträgt 50 % der Heizleistung.

Aus obigen Annahmen resultieren die in Tabelle 5.2 dokumentierten Kennzahlen:

**Tabelle 5.2: Kennzahlen für das Basisszenario**

Kennzahl	Zahlenwert	Einheit
Wärmequellenleistung	1.338	kW
Elektrische Antriebsleistung der Wärmepumpe	400	kW
Thermische Gesamtleistung der Wärmepumpe	1.738	kW
Elektrische Arbeit Wärmepumpe	1.199	MWh/a
Elektrische Arbeit Wasserpumpe Heizung	29	MWh/a
Elektrische Arbeit Wasserpumpe Kühlung	10	MWh/a
Wärmequellenarbeit Heizung	4.015	MWh/a
Wärmequellenarbeit Kühlung	869	MWh/a
Thermische Gesamtarbeit Wärmepumpe	5.214	MWh/a

Angesichts der Ergebnisse kann das Basisszenario auch als Vor-Ort Lösung interpretiert werden, da in dem dargestellten Modell bei einer Variation der Zuleitungsdistanz alleine die elektrische Leistung und Arbeit der Wasserpumpe variieren würde. Diese beträgt im Basisszenario jedoch nur 2,4 % der elektrischen Antriebsleistung der Wärmepumpe und hat damit einen sehr geringen Einfluss auf die Effizienz des Gesamtsystems. Sieht man von den Investitionskosten der rohrgebundenen Zuleitung der Wärmequelle ab, entsprechen die

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

spezifischen Wärmegestehungskosten im Basisszenario den Kosten einer konventionellen Wärmepumpennutzung mit Großwärmepumpen.

### 5.6.2 Szenario Temperaturerhöhung der Wärmequelle

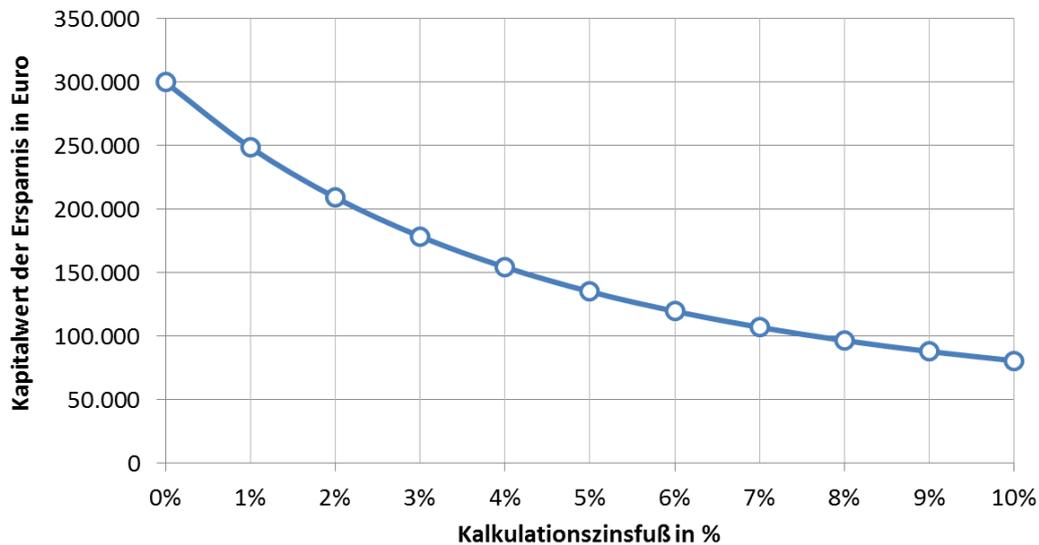
Es wird angenommen, dass die Temperatur der Wärmequelle durch eine freie Wahl der Entnahmestelle des Grundwassers im Vergleich zu den Vor-Ort Bedingungen in der Heizsaison um 3 K gesteigert und im Sommer um 3 K reduziert werden kann. Diese Differenz entspricht ungefähr der gemessenen saisonalen Temperaturschwankung des Grundwassers, wenn eine Phasenverschiebung um 0,5 Jahre unterstellt wird. Die thermische Gesamtarbeit der Wärmepumpe wird entsprechend dem Basisszenario unverändert und gleichsam als Wärmebedarf der Gebäude belassen.

Unter der Annahme, dass das Effizienzpotenzial der höheren Wärmequellentemperatur in der Wärmepumpe technisch in Form von einer Anhebung der Verdampfungstemperatur umgesetzt werden kann, kommt es zu einer Steigerung der Leistungszahl von 4,35 auf 4,74. Dies hat zur Konsequenz, dass sich die elektrische Jahresarbeit der Wärmepumpe bei gleichbleibender thermischer Gesamtarbeit von 1.199 MWh um 100 MWh auf 1.099 MWh reduziert. Gleichzeitig steigt der Beitrag der Wärmequelle von 4.015 MWh/a um 100 MWh/a auf 4.115 MWh/a an. Hierzu ist es erforderlich, den Massenstrom des Wärmequellenwassers von 80 kg/s auf 82 kg/s zu steigern oder die Temperaturspreizung am Wärmepumpenverdampfer geringfügig zu erhöhen. Dieser Mehrverbrauch wird jedoch durch den reduzierten Aufwand im sommerlichen Kühlbetrieb kompensiert. Der Einfluss auf den Pumpaufwand ist – wie bereits im Basisszenario festgestellt – marginal und wird deshalb nicht weiter thematisiert.

Die jährliche Energieeinsparung im Vergleich zum Basisszenario beträgt also 100 MWh. Multipliziert mit den betriebswirtschaftlichen Grenzkosten der elektrischen Energie (Arbeitspreis Netzebene 5) von 75 €/MWh ergibt sich eine jährliche Ersparnis von 7.500 €. Immer vorausgesetzt, dass das theoretische technische Effizienzpotenzial in der praktisch realisierten Wärmepumpe auch tatsächlich umgesetzt werden kann. Der Kapitalwert dieser Ersparnis ist in Abbildung 5.31 in Abhängigkeit vom Kalkulationszinsfuß dargestellt.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG



**Abbildung 5.31: Kapitalwert der Ersparnis durch die Nutzung einer räumlich entfernt liegenden Wärmequelle ohne Berücksichtigung der erforderlichen Investitionen.**

Interpretation des Resultats: Der dargestellte Kapitalwert der Ersparnis ist äquivalent einer möglichen Investition in die Leitungsinfrastruktur. Im konkreten Fall des Basisszenarios steht bei einem Kalkulationszins von 0 % die maximale Summe von knapp 300.000 € für Investitionen zur Verfügung. Wenn spezifische Leitungskosten in einem Wertebereich von 500 € (Verlegung im nicht verbauten Bereich) bis 2000 €/m (Verlegung im dicht verbauten Bereich) angenommen werden, so ließen sich auf Basis der Einsparung 150 Meter bis maximal 600 Meter Leitungslänge realisieren. Wird ein realistischer Kalkulationszinsfuß von 5 % und die tatsächliche Situation auf der potenziellen Leitungstrasse berücksichtigt, so resultiert eine realisierbare Leitungslänge von ca. 90 Metern.

Gemessen an den klassischen Kennzahlen für den wirtschaftlichen Betrieb von Wärmenetzen sind die Ergebnisse des konkreten Beispiels ebenfalls wenig hoffnungsvoll, zumal es sich hier nicht um direkt durch den Wärmekunden nutzbare Wärme handelt, sondern noch die Veredelung durch Anheben der Temperatur erfolgen muss. Der Leistungsbelag der konkreten Anergieleitung beträgt 0,53 kW/m und der Arbeitsbelag beträgt ohne Arbeit für die Kühlung 1,58 MWh/m und mit der Arbeit für die Kühlung 1,93 MWh/m. Die Zahlenwerte für diese Kennzahlen wären für konventionelle Wärmenetze somit am unteren Limit der Wirtschaftlichkeit angesiedelt. Die Kennzahlen für den Arbeitsbelag geben darüber hinaus auch einen Hinweis darauf, dass die Lieferung der Kälte ebenfalls einen Beitrag zur Finanzierung des Systems leisten muss. "free cooling" ist in diesem Sinne nicht gleichsam als kostenlose Kälte zu verstehen.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

### 5.7 Schlussfolgerungen zum Pilotgebiet in Salzburg

Die Modellierung von verschiedenen Nutzungsszenarien bildet zum jetzigen Zeitpunkt eine Evaluierung der Potentiale im Bereich Salzburg-Lieferung dar. Für eine konkrete Konzeption von Anlagenteilen und Verbundleitungen fehlen die konkreten Planungsunterlagen der betrachteten zukünftigen Nutzungen wie bspw. dem Landesdienstleistungszentrum. Die Berechnungen liefern dennoch eine Planungsgrundlage mit aussagekräftigen Ergebnissen, was die hydraulischen und ökologischen Auswirkungen eines solchen Versorgungskonzeptes betreffen.

Aus den betrachteten Modellszenarien kann abgeleitet werden, dass die Kombination verschiedener Nutzungen die Wirtschaftlichkeit von Transport- und/oder Verbundleitungen von Niedertemperaturversorgungsnetzen (hier: Grundwasser) erheblich steigern kann. Im Idealfall kann eine mehrstufige Nutzung implementiert werden, die bei konstantem Grundwasserfließgeschehen, sehr genau eingestellt und ausgenutzt werden kann. Die Rentabilität des gesamten Verbundes kann dadurch mit einfachen Mitteln deutlich verbessert werden. Zudem können die ökologischen Auswirkungen in Bezug auf ungewünschte Temperaturanomalien kompensiert oder mindestens gedämpft werden. Eine umfangreiche Betrachtung des Grundwassergeschehens inklusive der Transport- und thermischen Speicherkapazitäten ist bei der Konzeption von thermischen Verbundnutzungen daher empfehlenswert. Eine rentable Investition von Einzelanlagen ergibt sich möglicherweise erst durch die Kombination mehrerer Nutzungen zu einem geothermalen Verbundnetz.

Die im Basisszenario avisierte Zuleitungslänge von 2.533 Metern ist angesichts der Resultate aus wirtschaftlicher Sicht trotz optimistischer anlagentechnischer und betriebstechnischer Annahmen nicht machbar.

Durch eine Systemerweiterung kann sich die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems verbessern. Die weiteren im Pilotgebiet in Salzburg angedachten Leitungsabschnitte Pumpleitung Grundwasserdrainage Kraftwerk Sohlstufe Lehen (DN 200 mit 1295 Meter Länge) und Pumpleitung Glanspitz (DN 200 mit 1550 Meter Länge) sind jedoch aufgrund der weiteren großen Leitungslängen nicht dafür geeignet, die Wirtschaftlichkeit zu verbessern.

Die prinzipielle Idee, räumlich von der Wärmepumpe entfernt liegende Wärmequellen zu nutzen, muss deshalb jedoch nicht generell verworfen werden. Der wichtigste Aspekt dabei ist jedoch, wie bei allen konventionellen Wärmenetzen und –leitungen, die räumliche Kompaktheit des Systems.

Sollte die Errichtung der Leitung in strukturellen Gunstlagen erfolgen können, wie dies z.B. bei einer Freiflächenverlegung im unbebauten Gebiet der Fall sein kann, so können durchaus veritable Leitungslängen wirtschaftlich realisiert werden. Wenn sich weitere Synergieeffekte bei Grundwassernutzern ergeben, welche als zusätzliche Ersparnisse oder Einzahlungen

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

berücksichtigt werden können, ergeben sich auch erweiterte Möglichkeiten für eine Investition. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht muss dabei jedoch sichergestellt werden, dass begünstigte nachgelagerte Grundwassernutzer tatsächlich Zahlungen an einen Projektbetreiber leisten, was vermutlich nur auf Basis einer freiwilligen Projektbeteiligung geschehen kann. Die Durchführbarkeit eines solchen Geschäftsmodells wird als schwierig eingestuft, zumal stets im Wettbewerb stehende optionale Wärmebereitstellungssysteme wie Erdgaskessel oder Fernwärme zu berücksichtigen sind.

### 6 Zusammenfassung der Ergebnisse und Erfolgskriterien

Zu Beginn der Arbeit wurde für den Standort Wien und Salzburg je ein Untersuchungsgebiet identifiziert. Dabei wurde speziellen Wert auf ein hohes Umsetzungspotenzial zur Errichtung eines Demonstrationsnetzes, die Möglichkeit zur Errichtung eines geothermischen Speichers, gute hydrogeologische Voraussetzungen für eine optionale thermische Grundwassernutzung und das Vorhandensein eines Kühlbedarfs bzw. einer Abwärmequelle gelegt. In Wien wurde die „Oase22+“ und in Salzburg das Gebiet „Liefering“ als geeigneter Untersuchungsstandort ausgewählt. Während in Wien der Schwerpunkt auf die Wärme- und Kälteversorgung eines urbanen Gebietes mit einem bidirektionalem Wärme- und Kältenetz auf Anergie-Niveau gelegt wurde, wurde in Salzburg die Optimierung der geothermischen Nutzung eines oberflächennahen Grundwasserkörpers untersucht. Für beide Standorte wurden lokale hydrogeologische Modelle für die numerische Simulation der geothermischen Anlagen geschaffen.

#### 6.1 Zusammenfassung Pilotgebiet Wien

Am Pilotgebiet in Wien herrschen gute Voraussetzungen für die Versorgung der Oase22+ mit einem NTWK-Netz. Die Gebäudeplanung ist noch in einem frühen Stadium, sodass die Voraussetzung „Neubau oder sanierter Bestand“ zutrifft und notwendige Komponenten, wie eine Niedertemperatur-Flächenheizung, Technikzentralen, Erdsondenfeld, optionale Kühldecken und eine Anschlussmöglichkeit eines mobilen Notheizsystems zur Ausfallsicherheit eingeplant werden können. Ein Schwerpunkt der Arbeit bildete die Auslegung der Komponenten mit der Methodik einer volldynamischen Gesamtsimulation des Netzes. Als Input der Gesamtsimulation dienten die zuvor berechneten Lastprofile der Wärmequellen (Kühlung Rechenzentrum und Gebäude, thermische Grundwassernutzung) und Wärmesenken (Raumheizung und Warmwasser der Gebäude). Diese wurden durch verifizierte Werte aus der Praxis mit  $39,6 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  für die Raumheizung,  $30,8 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  für die Warmwasserbereitung und  $6 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$  für die moderate Gebäudekühlung mittels Kühldecken angenommen. Die Gebäude werden über je eine Wärmepumpe für Raumheizung (max.  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) und eine Wärmepumpe für die Warmwasserbereitung ( $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ) mit Wärme versorgt. Dafür werden Großwärmepumpen eingesetzt, wobei der Skaleneffekt, ab einer Leistung von  $60 \text{ kW}$  thermischer Nennleistung, voll ausgenützt werden kann. Die Jahresarbeitszahl liegt, inklusive der Umwälzpumpen, bei  $5,87$  für die Raumheizung und  $3,82$  für die Warmwasserbereitung. Die Glättung der Lastgänge von Raumheizung und Warmwasser übernehmen Pufferspeicher, dessen Platzbedarf nicht zu vernachlässigen ist. Die Voraussetzung, die Gebäudekühlung mittels „free cooling“ und folglich mit minimaler Exergie zu betreiben, wurde als wesentlicher Vorteil des Netzes für die NutzerInnen identifiziert.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die Wärmequellen und -senken sind über einen Erdsondenspeicher durch ein 577 m langes 2-Leiter Netz miteinander verbunden. Der Arbeits- und Leistungsbelag liegt in diesem Fall bei 8,11 MWh/lfm/a (pro Netzmeter und Jahr) und ca. 2 kW/lfm. Das Netz, und somit auch die Grundwasserwärmepumpen, sind auf eine Temperaturdifferenz von 4 K zwischen Warm- und Kaltleiter ausgelegt. Die Leitungsquerschnitte wurden mit maximal DN 180 berechnet. Die untere Netztemperatur des Kaltleiters ist durch die Wahl des Wärmeträgermediums Wasser auf 2 °C limitiert. Die obere Netztemperatur des Warmleiters liegt bei 21 °C, damit die Gebäudekühlung über „free cooling“ sichergestellt werden kann. Als Hauptwärmelieferant dient ein bestehendes Rechenzentrum, direkt am Nachbargrundstück, mit einer Leistung von 400 kW, die ihre Server somit ohne Betriebskosten kühlen können. Eine Abnahmegarantie kann allerdings in der aktuellen Planung nicht gegeben werden. Bei Überschreitung der Netztemperatur des Kaltleiters von 16,5 °C kann die Abwärme nicht mehr abgenommen werden.

Das Erdsondenfeld als geothermischer Speicher wurde über die dynamische Gesamtsimulation dimensioniert. Dafür wurde ein Erdsondenmodul entwickelt und in die Netzsimulation implementiert, welches mit Hilfe bekannter Simulationstools validiert und kalibriert wurde. Entsprechend den Simulationsergebnissen werden 160 Erdwärmesonden mit 150 m Tiefe benötigt. Ein Sondenabstand von 5 m reicht dabei für den Speicherbetrieb völlig aus. Der Platzbedarf ist mit 3100 m<sup>2</sup> relativ groß und kann grundsätzlich unterhalb der Gebäude oder auf Freiflächen (in Frosttiefe) errichtet werden. Der spezifische Arbeits- und Leistungsbelag des Sondenfeldes liegt in diesem Fall bei 290 kWh/m<sup>2</sup><sub>Grundfläche</sub> und 169 W/m<sup>2</sup><sub>Grundfläche</sub>. Der saisonale Speicher liefert Wärme, wenn die 400 kW des Rechenzentrums nicht mehr ausreichen und nimmt sie bei Aktivierung der Gebäudekühlung wieder auf. Mit der Überschusswärme des Rechenzentrums und unterstützend mit Hilfe der Grundwassernutzung wird der Speicher über den Betrieb von einem Jahr auf eine möglichst ausgeglichene Energiebilanz zwischen Heizen und Kühlen ausgelegt. Die spezifische Sondenleistung liegt mit 21,8 W/lfm im niedrigen Bereich. Der Energieumsatz pro Sondenlaufmeter liegt in einem besseren Bereich und beträgt für Heizen und Kühlen 73 Wh/lfm pro Jahr.

Das Grundwasserpotenzial ist in dieser ersten Dimensionierung mit einer Spitzenlast von 6 l/s (100 kW) noch nicht ausgeschöpft. Sie läuft fast ganzjährig im Nennlastbetrieb bei 48 kW und liefert die Restwärme für den Bilanzausgleich des Erdsondenspeichers. Das Potenzial des Grundwassers könnte bis maximal 20 l/s (340 kW) genutzt werden ohne fremde Rechte hydraulisch zu beeinträchtigen. Die Anlage kann optional auch zur Kühlung herangezogen werden. Ein Jahresbilanzüberschuss von 100-250 MWh/a zugunsten der Heizanwendung kann jedoch, aufgrund der festgestellten erhöhten Grundwassertemperatur am Standort von ca. 2°C, empfohlen werden.

Das Szenario für den Wiener Standort, die nahegelegene Fernwärme zur Warmwasseraufbereitung und als Backup für die Raumheizung zu verwenden, wurde aus

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

wirtschaftlichen Gründen verworfen. Abgesehen von einer doppelten Leitungsverlegung (4-Leiter) bilden die Anschlusskosten einen wesentlichen Faktor bei den Investitionskosten. Die spezifischen Wärmegestehungskosten reduzieren sich dadurch von 92,9 €/MWh deutlich auf 73,2 €/MWh. Das NTKW-Netz in Wien beschränkt sich daher auf die Anschlussmöglichkeit eines mobilen Heizwerkes als Ausfallsicherheit. Die Reaktionszeit bei Ausfall der Abwärmequelle liegt von Jänner bis Februar zwischen 24 und 48 Stunden und im Oktober bis Dezember zwischen 90 und 200 Stunden. Die gewählte Dimensionierung der thermischen Grundwasser Nutzung erlaubt die kurzfristige (tageweise) Substitution der Abwärmequelle Rechenzentrum.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergibt, dass das DEGENT-NET-System je nach Konstellation der Einflussgrößen durchaus attraktive Wärmegestehungskosten aufweist. Es hat sich gezeigt, dass die Kosten eines Fernwärme-Backups einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems haben und dass auch mit der Wahl der Kältetarife ein gewisser Hebel für die Gestaltung der Wärmegestehungskosten existiert. Der Kalkulationszinsfuß, welcher die Erwartungshaltung des Investors widerspiegelt und die reale Strompreisteuerung haben ebenfalls einen großen Einfluss auf die resultierenden Wärmegestehungskosten. Werden alle diese Einflussgrößen in einem Gesamtsystem realistisch definiert, besteht noch ein deutlicher Kostenabstand zu den konventionellen Vergleichssystemen Fernwärme und Erdgaskessel, sofern jeweils die Anwendung in hochenergieeffizienten Gebäuden verglichen wird. Die sich ergebende Spanne zwischen Wärmegestehungskosten des DEGENT-NET Systems und den Endkundenpreisen der Vergleichssysteme ermöglicht den Systembetreibern in Abhängigkeit des Tarifsystems eine attraktive Marge. Die Einflüsse der Klimaerwärmung auf die Wirtschaftlichkeit des Systems sind während der technischen Lebensdauer gering und werden von anderen endogenen und exogenen Unsicherheitsfaktoren wie z.B. die Strompreisteuerung bei weitem überschattet.

Aufgrund der hohen nutzbaren Abwärme-Energie liegt der Anteil geothermischer Quellen inkl. Speicher bei 32 %. Der hohe Nutzungsgrad der Abwärme ist mitunter ein Grund für die gute Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems. Der thermische Wirkungsgrad des Wiener Anergienetzes liegt im Jahresmittel bei ca. 70 %. Der relativ hohe exergetische Wirkungsgrad der Wärmebereitstellung, aufgrund der hohen Jahresarbeitszahlen, gepaart mit dem hohen exergetischen Wirkungsgrad der Wärmeverteilung, bedingt durch die niedrigen Netztemperaturen, führt zu einem exergetischen Gesamtwirkungsgrad, der in etwa doppelt so hoch liegt wie jener konventioneller Fernwärmenetze. Die jährliche Einsparung von klimawirksamen Treibhausgasen liegt im Vergleich zu einer Fernwärmeversorgung bei 492 Tonnen CO<sub>2äqu</sub>. Verglichen mit einer erdgasbasierten Wärmeversorgung spart das DEGENT-NET System sogar 792 Tonnen CO<sub>2äqu</sub> pro Jahr. Über eine Nutzungsdauer von 20 Jahren sind das Einsparungen von 9.830 Tonnen bzw. 15.843 Tonnen CO<sub>2äqu</sub>.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Eine weitere Langzeitsimulation über 10 Jahre brachte Ergebnisse zum thermischen und hydraulischen Einfluss der geothermischen Anlagen auf den Untergrund. In der Gesamtsimulation wurde der Erdspeicher um 8 % überladen, wodurch sich eine kleinräumige Erwärmung des Grundwassers um maximal 1,3 °C bis 25 m abstromig des Erdsondenfeldes ergibt. Die thermische Grundwasseranlage ist aufgrund der festgestellten erhöhten Grundwassertemperaturen am Gelände auf reinen Heizbetrieb ausgelegt, wodurch die 1 Kelvin Kältefahne nach 10 Betriebsjahren ca. 220 m abstromig reicht. Bestehende geothermische Grundwasserrechte sind davon, zumindest nach 10 Jahren, nicht betroffen. Der hydraulische Einfluss der Grundwassernutzung ist mit einer Reichweite des 10 cm Trichters von ca. 30 m gering.

### 6.2 Zusammenfassung Pilotgebiet Salzburg

Im Pilotgebiet in Salzburg werden geothermische Wärme-/Kältepotenziale über den oberflächennahen Aquifer genutzt. Im Istzustand wird das Grundwasser an den bestehenden Standorten Messehotel und Sporthalle Lieferung lokal entnommen und an Ort und Stelle wieder versickert. In beiden Fällen handelt es sich um kombinierte Wärme-/Kältenutzungen, wobei vorrangig gekühlt wird. Ausgehend von der aktuellen Grundwasserbewirtschaftung im Istzustand wurden drei mögliche Szenarien untersucht, die eine Optimierung der Nutzung thermischer Grundwasserpotenziale untersuchen. Die urbanen Wärme-/Kältequellen im Untersuchungsgebiet sind hierbei weniger punktuell als vielmehr flächenhaft mit einem relativ geringen Temperaturgradienten von wenigen Grad Celsius ausgebildet.

Zunächst wurden künftige potenzielle Nutzer identifiziert, um durch Optimierung der aktuellen und künftigen Entnahmestandorte, eine Potenzialsteigerung erreichen zu können. Dies kann einerseits durch Verschiebung der Brunnen zu Gebieten mit höherem thermischen Grundwasserpotenzial erreicht werden oder andererseits durch Mehrfachnutzung des Grundwassers entlang ihrer Fließpfade. Hierbei ist von Interesse, inwiefern sich unterschiedliche Grundwassernutzungen gegenseitig, durch eine optimale Brunnenanordnung, positiv beeinflussen. Somit können Synergien zwischen den Nutzern ausgenutzt werden und die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen, durch eine optimierte Quelltemperatur, verbessert werden. Die thermischen Quellen und Senken sind dabei nicht direkt über ein Rohrleitungsnetz, sondern frei über den oberflächennahen Grundwasserkörper miteinander verbunden.

Mittels Variation der Entnahmestandorte bzw. des genutzten Temperaturgradienten der momentanen Nutzungen Messehotel und Sporthalle Lieferung konnte in Modellszenario 1a und 1b gezeigt werden, dass die ökologischen Auswirkungen von Grundwasseranomalien reduziert werden können. Umgekehrt wird damit die Akzeptanz, und damit einhergehend auch die Genehmigungsfähigkeit, thermischer Grundwasseranlagen in dicht besiedelten Gebieten erhöht werden. Ausschlaggebend sind jeweils die absoluten Temperaturen des umgebenden Aquifers sowie die Pumpmengen der Anlagen. In Modellszenario 2 wurden zusätzliche

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Nutzungen in Reihe geschaltet um die zeitlich verzögerte Nutzung anomalen Wassers auszunutzen. Es zeigt sich, dass bei konstantem Grundwasserfließgeschehen eine Injektion von zur Kühlung genutztem warmem Wasser, ein halbes Jahr später abstromig für die Heizung einer zweiten Anlage verwendet werden kann. Dieser Umstand bzw. die Reihenschaltung von Anlagen kann ein wesentlicher Faktor für die zukünftige Raumplanung sein, da die Wirtschaftlichkeit und der ökologische Abdruck maßgeblich verbessert werden kann.

Im Modellszenario 3 kann der Großteil des Wärme-/Kältebedarfs des geplanten Landesdienstleistungszentrums am Bahnhof Salzburg mit einer Kombination einer thermischen Grundwassernutzung mit der Grundwasser-Drainagenutzung gedeckt werden. Zudem bringt eine Leitung das thermisch bereits genutzte Grund- und Drainagewasser in die Nähe des Messehotels, wo durch oberstromige Injektion des Wassers in den Grundwasserkörper eine mehrstufige Nutzung realisiert werden kann. Ähnlich der Kaskadenschaltung in Szenario 2, profitiert das Messehotel von den saisonal verschobenen Grundwassertemperaturen für Heiz- und Kühlanwendungen durch Erhöhung des thermischen Potenzials und Steigerung der Jahresarbeitszahl. Die Wirtschaftlichkeit der Szenarien im Pilotgebiet in Salzburg ist aufgrund der angedachten großen Leitungslängen (DN 250 mit 2.533 m, DN 200 mit 1295 Meter und DN 200 mit 1550 Meter Länge) in dieser Ausführungsform nicht gegeben. Der wichtigste Aspekt bei der Nutzung räumlich entfernter Wärme- Kältequellen ist, wie bei allen konventionellen Wärmenetzen und -leitungen, die räumliche Kompaktheit des Systems.

Aus den betrachteten Modellszenarien kann abgeleitet werden, dass die Kombination verschiedener Nutzungen die Wirtschaftlichkeit von Transport- und/oder Verbundleitungen von NTWK-Netzen (hier: Grundwasser) erheblich steigern kann. Im Idealfall kann eine mehrstufige Nutzung implementiert werden, die bei bekannter Grundwasserströmung gut ausgenutzt werden kann. Zudem können die ökologischen Auswirkungen in Bezug auf Temperaturanomalien kompensiert oder mindestens gedämpft werden. Eine umfangreiche Betrachtung des Grundwassergeschehens inklusive der thermischen Speicher und Transport Kapazitäten ist bei der Konzeption von thermischen Verbundnutzungen daher erforderlich. Eine rentable Investition von Einzelanlagen ergibt sich möglicherweise erst durch die Kombination mehrerer Nutzungen zu einem geothermalen Verbundnetz.

### 6.3 Erfolgskriterien

Zum Abschluss sind die aus dem Projekt DEGENT-NET abgeleiteten Erfolgskriterien in Tabelle 6.1 dargestellt.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

**Tabelle 6.1 Abgeleitete Erfolgskriterien aus DEGENT-NET, unterteilt in Voraussetzung (blau), Erfolgsunterstützend (grün) und Erfolgshemmend (rot)**

Netz	Kompaktheit des Wärmenetzes: Leistungsbelag > 0,5 kW pro Meter Netzlänge (Standort Wien: 2 kW/lfm) Arbeitsbelag > 1,5 MWh pro Meter Netzlänge (Standort Wien: 8 MWh/lfm)	Energiewirtschaftlich
Gebäudestruktur & Energiebedarf	Neubau oder sanierter Bestand mit einem Niedertemperatur-Heizsystem < 40 °C	Technisch
Geothermische Anlagen	Ausreichender Platzbedarf für das Erdsondenfeld (Richtwert vom Pilotgebiet Wien: 200 W/m <sup>2</sup> und 300 kWh/m <sup>2</sup> bezogen auf die Grundfläche)	Technisch
Geothermische Anlagen	Keine behördlichen Einschränkungen zur Errichtung des geothermischen Speichers	Technisch
Geothermische Anlagen	Die Genehmigung einer geothermischen Anlage ist grundstücksbezogen. Der Betreiber braucht daher die Zustimmung des Besitzers	Politisch
Wärmequellen	Energiebilanzdefizite des Wärmeangebots müssen durch lokal verfügbare Low-Ex-Wärmequellen gedeckt werden können: zu diesen zählen gewerbliche Kühlung, Kanalabwärme, Solarthermie, Asphaltabsorber, Raumkühlung oder konventionelle Wärmenetze. Geothermische Anlagen sind prinzipiell als Speicher auszulegen.	Technisch
Ausfallsicherheit, Spitzenlastabdeckung	Zum Zeitpunkt der Projektdurchführung muss eine Ausfallsicherung der genutzten (Ab-)Wärmequellen aus energiepolitischer Sicht eingeplant werden	Politisch
Netz	Einfache Netzstruktur: Die besuchten Pilotanlagen in der Schweiz haben gezeigt, dass die Resilienz eines Anergienetzes durch eine möglichst einfache, wenn möglich sogar rein mechanische Netzsteuerung mit Klappen und Ventilen gesteigert werden kann. Wenn zudem auf Bypass Leitungen zwischen Wärmequellen und Speicher verzichtet werden kann, wird eine zusätzliche Vereinfachung des Netzes erzielt. Die Fließrichtung wird dann bedarfsorientiert, nur von den Anforderungen der Netzteilnehmer bestimmt und erhält somit eine dynamische Komponente. Mit der daraus resultierenden punktuellen Unvorhersagbarkeit des Netzes kann aus Erfahrung der Schweizer Pilotanlagen gut umgegangen werden, solange die energetische Jahresbilanz vorhergesagt und gesteuert werden kann.	Technisch
Netz	Die Systemeffizienz kann gesteigert werden, wenn Netzzirkulationspumpen möglichst klein dimensioniert oder auf diese vollständig verzichtet werden können. An einigen der besuchten Pilotanlagen in der Schweiz konnte dieses Konzept umgesetzt werden.	Technisch
Netz	Die Betreiber der Pilotanlagen in der Schweiz setzen auf eine intelligente zentrale Steuerungssoftware mit Zugriff bis zu den Wärmepumpen und Wärmetauscher-Pumpen aller Netzteilnehmer. Dadurch kann die Netzdynamik überwacht, Gleichzeitigkeit ausgeglichen und die Erdsondenspeicherbilanz gesteuert und überwacht werden.	Technisch
Netz	Kompakte Netze mit zentralen Erdsondenfeldern und geringen Zuleitungslängen zu Wärmequellen und -senken. Im Vergleich zu Stickleitungen kann die Förderenergie bei Ringleitungen, bei korrekter Auslegung der Netzpumpen, um bis zu 57 % gesenkt werden.	Technisch
Netz	Die Verwendung von Wasser als Wärmeträgermedium hat den Vorteil einer guten Verfügbarkeit und Umweltverträglichkeit, bestimmt jedoch das untere Limit der Netztemperatur (Standort Wien: T <sub>MIN</sub> = 2 °C)	Technisch
Netz	Die moderate Gebäudekühlung erhöht die energetische Effizienz des Gesamtsystems, schränkt jedoch gleichzeitig die maximal zulässigen Temperaturniveaus des NTWK-Netzes ein. (Standort Wien: T <sub>max</sub> = 21 °C)	Technisch
Gebäudestruktur & Energiebedarf	Berücksichtigung des NTWK Netz-Konzept bereits in der frühen Planungsphase von Neubauvorhaben	Technisch
Gebäudestruktur & Energiebedarf	Im frei finanzierten Wohnbau liefert das Argument der moderaten Raumkühlung ein entscheidendes Verkaufsargument gegenüber konventionellen Wärmenetzen und fungiert zugleich als Wärmequelle. Der Energieanteil der Kühlung ist jedoch mit 5 - 10 % des Jahreswärmebedarfs relativ gering.	Technisch Energiewirtschaftlich
Gebäudestruktur & Energiebedarf	Mögliche Einnahmen aus der moderaten Raumkühlung wurden zwar in DEGENT-NET nicht berücksichtigt, können jedoch einen wesentlichen Investitionsanreiz darstellen und zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit in Betracht gezogen werden.	Energiewirtschaftlich
Gebäudestruktur & Energiebedarf	Bei Neubauvorhaben unterstützen homogene Errichtungszeiträume die Wirtschaftlichkeit des Anergienetzes, da bereits frühzeitig eine Refundierung des Investments erfolgen kann. Lange Baupausen zwischen einzelnen Wärmeabnehmern des Netzes können jedoch durch modulartige Netzmaschen umgangen werden. Das Net wächst somit mit dem Versorgungsgebiet mit. Es gilt hierbei jedoch zu beachten, dass durch eine starke Zergliederung des	Energiewirtschaftlich

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

	Netzes unter Umständen wirtschaftliche Vorteile durch Skaleneffekte verloren gehen.	
Gebäudestruktur & Energiebedarf	Homogene Grundstückseigentumsverhältnisse vereinfachen die Implementierung eines NTKW-Netzes, vor allem wegen der grundstücksbezogenen Nutzungsrechte geothermischer Anlagen und dessen Betreiber.	Politisch
Geothermische Anlagen	Das Vorhandensein eines oberflächennahen Grundwasserkörpers zur thermischen Nutzung erhöht die Flexibilität des Netzes und kann auch zur Spitzenlastabdeckung verwendet werden. "Urban heat islands" (Anthropogen erwärmtes Grundwasser) können mit Jahresbilanzüberschuss zu Heizzwecken ausgelegt werden und stellen somit eine zusätzliche Wärmequelle dar.	Technisch
Geothermische Anlagen	Bei der Nutzung von Erdsondenfeldern empfiehlt sich die Nutzung als Speicher. Durch die damit bedingte ausgeglichene energetische Jahresbilanz können die Sondenabstände deutlich reduziert werden. Ein Sondenabstand von 5 m reicht dabei völlig aus.	Technisch
Wärmequellen	Die aus technischer Sicht günstigsten, nicht geothermischen, Wärmequellen stellen industrielle oder gewerbliche Abwärme dar, die frei nutzbar zur Verfügung stehen. Liegt keine Verpflichtung zur Abnahme von Wärme vor, kann das Anergienetz gezielt zum Erreichen einer ausgeglichenen energetischen Jahresbilanz oder zur Vermeidung kritischer Netztemperaturen gesteuert werden.	Technisch
Wärmequellen	Die Berücksichtigung von Power to Heat Ansätzen, insbesondere zur Aufbereitung von Warmwasser kann zu einer zusätzlichen Steigerung der Wirtschaftlichkeit führen. Es wurden jedoch hierzu keine wirtschaftlich optimierten technischen Lösungen erarbeitet. Power to Heat Lösungen könnten, ähnlich zu der zuvor angesprochenen Einspeicherung von Überschusswärme aus konventionellen Wärmenetzen, zum Ausgleich der energetischen Bilanz des saisonalen Erdwärmespeichers herangezogen werden. Der Einsatz der dezentralen Wärmepumpen im Rahmen der Power to Heat Wärmeeinspeicherung kann zudem als technisch sinnvolle Maßnahme zur Reduktion der Kaltleitertemperatur in der Kühlperiode angesehen werden.	Energiewirtschaftlich
Wärmequellen	Die Entscheidungsbereitschaft zur Implementierung von Anergienetzen ist in jenen Gebieten signifikant erhöht, in denen keine konventionellen Wärmenetze vorhanden sind und ein geringer Arbeitsbelag die Errichtung konventioneller Netze unwirtschaftlich macht.	Politisch
Geothermische Anlagen	Dimensionierung des Erdsondenspeichers auf die Residuallast: Die benötigte Leistung der Wärmesenken (Gebäude) muss zu jeder Jahreszeit bedient werden können. Dabei wirken jederzeit aktivierbare Wärmequellen (z.B. Grundwasserwärmepumpen) oder Abwärmequellen mit konstanter Jahresleistung (z.B. Gewerbekühlung) Speicherentlastend. Auch der Exergieanteil der Wärmepumpen (COP) kann abgezogen werden. Die Restleistung muss der Erdsondenspeicher bringen können. Richtwert vom Standort Wien: Leistungsbelag von 22 W/lfm und ein Arbeitsbelag von 36 Wh/lfm pro Jahr, jeweils für Be- und Entladen.	Technisch
Ausfallsicherheit, Spitzenlastabdeckung	Redundante Wärmeverteilnetze (NTWK-Netz und Fernwärme) zur Deckung der Spitzenlast verschlechtern die Wirtschaftlichkeit. Ein mobiles Blockheizwerk ist demnach die wirtschaftlich günstigere Lösung.	Energiewirtschaftlich
Netz	Bislang wurden nur maximale Netzleistungen bis 1,5 MW <sub>th</sub> untersucht. Die kritischen Netzleistungslimits sind bis dato nicht erforscht. Es gilt zu beachten, dass die Energieübertragung im Anergienetz vorrangig über den Massenstrom erfolgt und somit die benötigten Rohrdimensionen des Wärmenetzes Leistungsgrenzen vorgeben. Bei Überschreitung kritischer Netzgrößen empfiehlt sich die Teilung des Netzes in Submaschen, die thermisch miteinander gekoppelt werden können.	Technisch
Netz	Die Kühlanwendungen legen das obere Temperaturlimit des Kaltleiters fest Standort Wien: 21 °C für Gebäudekühlung, 16,5 °C für Rechenzentrum. Liegen die Netztemperaturen darüber kann entweder die Abwärme nicht mehr abgenommen werden oder die Effizienz der Gebäudekühlung zu gering werden.	Technisch
Netz	Bei Überschreitung kritischer Netzgrößen empfiehlt sich die Teilung des Netzes in Submaschen, die thermisch miteinander gekoppelt werden können. Diese Lösung ist jedoch mit erhöhten Investmentkosten (Wärmeübergabestation) verbunden.	Energiewirtschaftlich
Gebäudestruktur, Energiebedarf	Bestandsgebäude mit Hochtemperaturheizsystem und hohe Spitzenlasten	Technisch
Gebäudestruktur, Energiebedarf	Kein Platz für die Pufferspeicher der Raumheizung und der Warmwasseraufbereitung (Platzbedarf ca. 4 m <sup>3</sup> ) in den Technikzentralen	Energiewirtschaftlich

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Gebäudestruktur, Energiebedarf	Die gegenwärtig noch gängigen Komfortvorgaben an die Raumheizung (garantierte Raumtemperatur von 25°C) führen zu einer tendenziellen Überdimensionierung des Gesamtsystems (Anergienetz + optionale Spitzenlastabdeckung). In einigen der besuchten Pilotnetze in der Schweiz konnten die garantierten Raumtemperaturen auf 22°C reduziert werden.	Politisch
Gebäudestruktur, Energiebedarf	Geförderter Wohnbau: Kühlungskonzepte im geförderten Wohnbau sind im Allgemeinen in Österreich bislang noch nicht politisch etabliert. Bereits realisierte Gebäudekühlungskonzepte auf Grundlage des Klimaloop Konzepts® zeigen, dass moderate Kühlung auch im geförderten Wohnbau, unter Berücksichtigung der Kostenbegrenzungen pro m <sup>2</sup> Wohnfläche, wirtschaftlich abbildbar sind.	Politisch
Geothermische Anlagen	Wenn keine ausgeglichene thermische Bilanz in der im geothermischen Speicher erzielt werden kann, führt dies zu einer kontinuierlichen Erwärmung oder Abkühlung des Untergrunds und zu Effizienzverlusten.	Technisch
Geothermische Anlagen	Gemäß den aus dem Projekt DEAGENT-NET vorliegenden Erkenntnissen sind keine weiteren wirtschaftlichen Lerneffekten bei der Errichtung von Erdwärmesonden, Grundwasserbrunnen oder auch Wärmepumpen zu erwarten.	Energiewirtschaftlich
Wärmequellen	Ein Bilanzausgleich mit Hilfe konventioneller Fernwärmenetze oder fossiler Energieträger führt aus exergetischer als auch aus ökologischer Sicht zu einem deutlichen Effizienzverlust des Netzes.	Technisch
Wärmequellen	Es gilt zu beachten, dass die Umgebungstemperatur der Sonden im Untergrund ab Tiefen von ca. 300 - 400 Meter über 20°C betragen und somit die Fähigkeit des Speichers zur moderaten Kühlung verloren geht. Zudem müssen Tiefensonden ab 400 Meter Länge bergrechtlich bewilligt werden, was zu einem erhöhten Genehmigungsaufwand und Mehrkosten führt.	Technisch
Wärmequellen	Anwendung Solarthermie: Die Versorgung mit Solarthermie ist technisch möglich jedoch mit erhöhten Investmentkosten verbunden. Nicht untersucht wurden mögliche Kostenreduktionen durch solare Warmwasserbereitstellung.	Energiewirtschaftlich
Wärmequellen	Anwendung konventioneller Fernwärme: Analysen am Standort Oase 22+ ergaben, dass eine Teilversorgung des Anergienetzes (Warmwasseraufbereitung oder Spitzenlastabdeckung) den Einbau redundanter Wärmenetzleitungen mit sich führt, was zu erhöhten Investmentkosten führt.	Energiewirtschaftlich
Wärmequellen	Konventionelle Fernwärme: Die Erfahrungen, die in der Konzepterstellung für den Standort Oase 22+ gemacht wurden, zeigen, dass die Investitionsbereitschaft zur Errichtung eines geothermisch unterstützten Anergienetzes deutlich sinkt, wenn sich eine Anschlussstation eines konventionell betriebenen Wärmenetzes in Versorgungsreichweite befindet.	Politisch
Wärmequellen	Abwärme Nutzung: Im Rahmen der im Projekt durchgeführten Expertenbefragungen zeigte sich, dass vertraglich fixierte Wärmeabnahmen bei vorhandener gewerblicher Abwärme (z.B. Rechenzentren) zu einer Reduktion der Systemflexibilität des Anergienetzes führt, da vereinbarte Netztemperaturen eingehalten werden müssen, wodurch sich die Dimension des Erdsondenspeichers erhöht.	Politisch
Ausfallsicherheit, Spitzenlastabdeckung	Die Deckung der Ausfallsicherung mit konventioneller Fernwärme (Netztemperatur > 50 °C) ist erfolgshemmend, da der Grundpreis dem Spitzenlastfall entsprechen muss und der Vorteil eines geringen Arbeitspreises nicht genutzt werden kann.	Energiewirtschaftlich

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

## 7 Ausblick

Wegen der fehlenden Verfügbarkeit eines Anergienetzes in Österreich wird aufgrund der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalysen empfohlen, eine DEGENT-NET Pilot- und Demonstrationsanlage zu realisieren, um weiterführende empirische Forschung und Entwicklung in diesem Bereich zu ermöglichen. Um einen optimalen Erkenntnisgewinn zu ermöglichen, sollte das System über Quellen, Senken und Speicher verfügen und die Aspekte Wärme und Kälte beinhalten. Eine derartige Pilotanlage würde auch dazu beitragen gegenwärtige, zumeist subjektive Vorbehalte von Akteuren in Österreich zu reduzieren. Diese Vorbehalte betreffen vorrangig die Themen Versorgungssicherheit und Spitzenlastbereitstellung. Aus Sicht des Projektkonsortiums können geothermisch unterstützte Niedertemperatur Wärme- und Kältenetze einen wichtigen Baustein urbaner Wärme- bzw. Kälteversorgung darstellen. Gerade in peripheren Stadt- oder Siedlungsgebieten ohne konventioneller Wärmeversorgung ist die Implementierung derartiger Netze sinnvoll, insbesondere bei Vorhandensein von Abwärmequellen.

Derzeit bemüht sich das Projektkonsortium um die Implementierung des Konzepts an einem Standort in Baden bei Wien. Die spannende Herausforderung hierbei wird 1) die Umrüstung von Bestandsgebäuden aus den späten 1930 Jahren sowie 2) die Gewährleistung einer multivalenten Wärmequellen Verschaltung darstellen.

## 8 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

### 8.1 TABELLENVERZEICHNIS:

Tabelle 2.1 Aufteilung des Projektes in Arbeitspakete .....	6
Tabelle 3.1: Diffusionswirkung der Charakteristika von dezentralen geothermalen Niedertemperatur-Wärmenetzen in urbanen Gebieten aus der Sicht unterschiedlicher Akteursgruppen .....	24
Tabelle 3.2: Spezifische Wärmepreise für Erdgas-Brennwertsysteme und Fernwärme .....	28
Tabelle 3.3: Beispiele für wirtschaftliche Kennwerte von DEGENT-NET Systemkomponenten zur Berechnung der Wärmegestehungskosten .....	34
Tabelle 3.4: Methodik der mikrobiologischen Untersuchungen .....	38
Tabelle 3.5 Zusammenfassende Tabelle zur Bewertung der potenziellen Untersuchungsgebiete .....	40
Tabelle 3.6: Übersicht der verwendeten Datenquellen zur Erstellung der hydrogeologischen Modelle in Wien [W] und Salzburg [S] .....	41
Tabelle 3.7: Vergleich der Komponenten am Standort Wien und Salzburg .....	45
Tabelle 4.1: Größeneinteilung und aktueller Bebauungsplan der Oase22+, aufgeteilt auf die beiden Liegenschaften WSE und Tardi .....	47
Tabelle 4.2: Geologisches Vier-Schicht-Modell mit Abschätzung der thermischen und hydraulischen Parameter für die Modellerstellung mit Angaben zur Wärmeleitfähigkeit (WLF), spez. Wärmekapazität (WKAP), Temperaturleitfähigkeit (TLFK) und des Durchlässigkeitsbeiwertes (kf-Wert). .....	52
Tabelle 4.3 Übersicht der im Projekt durchgeführten Grundwasser-Beprobungen in Wien ...	55
Tabelle 4.4: Flächen und Wärmebedarf (Heizung und Warmwasser inkl. Zirkulationsverluste) .....	60
Tabelle 4.5: Auslegungsergebnisse des Rohrnetzwerk für die Technikzentralen (TZ), den Einspeiser (E1), das Erdsondenfeld (ESF) und die Ringleitung .....	64
Tabelle 4.6: Nennleistungen der Wärmepumpen und Speichervolumina, Auslegung .....	66
Tabelle 4.7: Übersicht über die durchgeführten Simulationen. Änderungen der Parameter sind gelb hinterlegt .....	79

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Tabelle 4.8: Energiemengen Simulationsergebnisse .....	85
Tabelle 4.9: Statistik des Erdsondenspeichers auf Grundlage der Simulation .....	90
Tabelle 4.10: Berechnung CO <sub>2</sub> -Bilanz des DEGENT-NET Systems am Standort Wien im Vergleich mit der Versorgung über Fernwärme oder Erdgas .....	95
Tabelle 5.1 Übersicht der im Projekt durchgeführten Grundwasser-Beprobungen in Salzburg .....	109
Tabelle 5.2: Kennzahlen für das Basisszenario .....	135
Tabelle 6.1 Abgeleitete Erfolgskriterien aus DEGENT-NET, unterteilt in Voraussetzung (blau), Erfolgsunterstützend (grün) und Erfolgshemmend (rot) .....	145

## 8.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1: Konzeptionelles Schema eines bidirektionalen NT- Wärme- und Kältenetzes mit dezentralen Wärmepumpen gemäß dem DEGENT-NET Ansatz .....	4
Abbildung 3.1: Netztypologien nach (Sulzer M. , 2016). Etablierte Typologie als klassisches Fernwärmenetz (Links), Neue Typologie als Niedertemperatur Wärme- und Kältenetz (Mitte) und Erweiterbarkeit des NTKW-Netzes mittels Vermaschung (Rechts) .....	10
Abbildung 3.2 Spezifische Leistung einer Erdwärmesonde bei konstantem $\Delta T$ von 4 K in Abhängigkeit vom Volumenstrom (links). .....	20
Abbildung 3.3: Temperaturniveaus einer Erdwärmesonde im Dauerbetrieb von einem Jahr mit konstanter Leistungsvorgabe von 14 W/lfm und 61 kWh/lfm/0.5a am Beispiel einer Erdwärmesonde am Wiener Standort.....	21
Abbildung 3.4: Entwicklung der Preise unterschiedlicher Rohölsorten von Jänner 2007 bis Jänner 2017. Quelle: (Mineralölwirtschaftsverband, März 2017) .....	25
Abbildung 3.5: Spezifische Wärmepreise auf Vollkostenbasis (Investitionskosten inklusive Wartung und Instandhaltung plus Brennstoffkosten) für unterschiedliche Kombinationen von Heizsystemen und Gebäudequalitäten. ....	28
Abbildung 3.6: Leistungsspezifische Netto-Verkaufspreise von Sole-Wasser Wärmepumpen über der thermischen Nennleistung der Aggregate.....	31
Abbildung 3.7: Erwartete Entwicklung des COP unterschiedlicher Wärmepumpensysteme bis 2050. Quelle: Müller et al. (2011). .....	32

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Abbildung 3.8: Erwartete Reduktion der realen Preise von Wasser-Wasser Wärmepumpensystemen bis 2050. Quelle: Müller et al. (2011).....	33
Abbildung 3.9: Beurteilungsschema zur Erarbeitung eine Erfolgskriterienkatalogs für die Implementierung eines NTKW-Netzes.....	39
Abbildung 3.10 Lage der sechs potenziellen Untersuchungsgebiete auf vereinfachter Hydrogeologischer Karte (GBA), und aktueller Stand der Erdwärmesonden und Grundwassernutzungen (MA45).....	40
Abbildung 3.11 Schematische Konzepte Wien und Salzburg im Vergleich .....	44
Abbildung 4.1: Übersicht des Untersuchungsgebietes in Wien Oase 22+ mit den beiden Grundstücks-Liegenschaftseigentümern WSE und Tardi, den aktuellen oberirdischen Umrissen der geplanten Wohngebäude, die Tiefgarage auf Tardi und die beiden potenziellen Abwärmequellen (E1, E2) in unmittelbarer Umgebung. (Hintergrundkarte = Mehrzweckkarte der Stadt Wien [W4]) .....	46
Abbildung 4.2 Schematische Darstellung des Kühlkreislaufes des Rechenzentrums .....	48
Abbildung 4.3: Wärme- und Kältemonitoring des Star22 Bürogebäude und der Kälteerzeugung für das Rechenzentrum und Gebäudekühlung .....	49
Abbildung 4.4: Bestehende geothermische Nutzungen aus dem Wasserbuch des hydrografischen Dienstes Wien mit Angabe der Postzahl und des genehmigten Konsens in l/s. ....	50
Abbildung 4.5: Hydrogeologisches Modell Oase22+ in Kartenform .....	51
Abbildung 4.6: Drei Varianten die für DEGENT-NET in Betracht gezogen wurden .....	57
Abbildung 4.7: Gewählte Netzgröße für die technische und wirtschaftliche Detailplanung ....	58
Abbildung 4.8: Erweitertes NTKW-Netz mit zusätzlicher Versorgung der Tardi-Liegenschaft, als Vorschlag einer Netzerweiterung ohne technische und wirtschaftliche Detailplanung. ....	59
Abbildung 4.9: Aggregierter Lastgang der Gebäudebeheizung inkl. Verteilverluste (oben links), aggregierter Lastgang Gebäudekühlung (oben rechts) und aggregierter Gesamtlastgang bestehend aus Heizung, Warmwasser und Gebäudekühlung (unten) .....	61
Abbildung 4.10: Mittlere Grundwassertemperaturen der Messstation 22-212 als Randbedingung der Netzsimulation.....	63

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Abbildung 4.11: Hydraulischer Schaltplan der Technikzentralen. Kühlung: Plattenwärmetauscher, WW: WP-Verdampfer Warmwasser, Heizung: WP-Verdampfer Heizung, WL/KL: NTKW-Netz Warm- und Kaltleiter. ....	65
Abbildung 4.12: Hydraulischer Schaltplan der Heizungswärmepumpe mit Pufferspeicher ....	68
Abbildung 4.13: Lastgänge der Technikzentrale 1. Rot: Lastgang Heizwärme inkl. Verteilungsverluste, schwarz: Lastgang Heizungs-Wärmepumpe .....	68
Abbildung 4.14: Hydraulischer Schaltplan der Warmwasserwärmepumpe mit Pufferspeicher. $\vartheta_{WW,VL}$ : Vorlauftemperatur Warmwasser, $\vartheta_{WW,Z}$ : Rücklauftemperatur Zirkulationsleitung, $\vartheta_{WW,S}$ : Speisewassertemperatur.....	69
Abbildung 4.15: Hydraulikschema der Grundwasserwärmepumpe über Sekundärkreislauf..	72
Abbildung 4.16 Simulationsmodell des Wiener NTKW-Netzes .....	75
Abbildung 4.17: schematische Skizze des Erdsondenmodells.....	76
Abbildung 4.18: Relativer (oben) und absoluter (unten) Fehler der Erdsondenmodelle FEFLOW™ und Matlab®/Simulink®.....	80
Abbildung 4.19: Monatsbilanz und Jahresbilanz des Erdsondenfeldes für Beladen (orange) und Entladen (blau). ....	82
Abbildung 4.20. Vorgabe der vereinfachten Leistungsfunktion für das Erdsondenfeld (schwarze Kurve, obere Grafik) und der Volumenstrom pro Sonde (schwarze Kurve, untere Grafik). Jeder Monat enthält zwei Leistungsstufen: Spitzenlast und Grundlast, sodass die Monatsbilanz für Heizen und Kühlen erfüllt ist. ....	82
Abbildung 4.21: Leistungsvorgabe der thermischen Grundwassernutzung.....	83
Abbildung 4.22: Geometrie und Parameter der Erdwärmesonden in der Simulation.....	83
Abbildung 4.23: Energiebedarf vs. Energiebereitstellung, Energiemengen.....	84
Abbildung 4.24: Energieflussdiagramm des in diesem Projekt betrachteten NTKW-Netz-Systems .....	85
Abbildung 4.25: Monatlicher Energiebedarf und –bereitstellung .....	86
Abbildung 4.26: Jahresverlauf der NTKW-Netztemperatur des Kalt- und Warmleiters.....	86
Abbildung 4.27: Zeitverlauf des thermischen Wirkungsgrades des NTKW-Netzes .....	87

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Abbildung 4.28: zeitlicher Verlauf der berechneten exergetischen Wirkungsgrade. ....	89
Abbildung 4.29: kumulierte entzogene und zugeführte Energie des Erdsondenspeichers ....	90
Abbildung 4.30: Zeitspanne des Auskühlens des Anergienetzes auf unter 1,5 °C bei Ausfall des Haupteinspeisers E1.....	92
Abbildung 4.31: Thermische Fahne der Grundwassernutzung. ....	93
Abbildung 4.32: Änderung des Grundwasserspiegels bei einer Spitzenlast von 10 l/s.....	94
Abbildung 4.33: Barwerte der Ein- und Auszahlungen des Wärmeversorgungssystems im Basisszenario bei einem resultierenden internen Zinsfuß von 0,0 %. ....	97
Abbildung 4.34: Struktur der Gesamt-Investitionskosten im Basisszenario; Summe: 3.318.007 Euro .....	97
Abbildung 4.35: spezifische Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit vom Kalkulationszinssatz unter den Rahmenbedingungen des Basisszenarios und des Basisszenarios ohne Backup und mit Tarifierung der gelieferten Kälte.....	98
Abbildung 4.36: spezifische Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit von der jährlichen realen Strompreisteuerung unter den Rahmenbedingungen des Strompreisszenarios und des Strompreisszenarios ohne Backup und mit Tarifierung der gelieferten Kälte. ....	100
Abbildung 5.1: Topographie des Standorts und des GW-Modellgebiets .....	104
Abbildung 5.2: Interpolation der Aquiferunterkante („Salzburger Seeton“) im Untersuchungs- bzw. Modellgebiet.....	105
Abbildung 5.3: Flurabstand des Grundwassers im Untersuchungs- bzw. Modellgebiet (mittlerer GW-Spiegel).....	106
Abbildung 5.4: Grundwassermächtigkeit und GW-Spiegel bei mittlerem Grundwasserstand (MGW, Herbst-Frühjahr) im Bild links und bei hohem Grundwasserstand (HGW, Sommer) im Bild rechts. ....	107
Abbildung 5.5: GW-Pegel-Zeitreihen anhand dreier Messstellen im Uferbereich der Salzach etwa auf Höhe des Autobahnverlaufs A1.....	108
Abbildung 5.6: Mittlere Grundwassertemperatur im Sommer (Bild links), und entsprechendes Kältepotential, berechnet aus dem Grundwasserfluss und der Temperatur (Bild rechts). ...	111

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Abbildung 5.7: Mittlere Grundwassertemperatur im Winter (Bild links), und entsprechendes Kältepotenzial, berechnet aus dem Grundwasserfluss und der Temperatur (Bild rechts). ..	111
Abbildung 5.8: Temperaturverläufe zweier GW-Messstellen (S7/08 und S9/08) in Lehen nahe des Salzachufers von Anfang 2009 bis Ende 2011.....	112
Abbildung 5.9: Thermische GW-Nutzungen im Stadtgebiet Salzburg-Liefering und Komponenten möglicher Nutzungsszenarien einer vernetzten Versorgungsstruktur im Untersuchungsgebiet. ....	113
Abbildung 5.10: Jahresgang der Wärme-/Kältebedarfskurven des Messehotels Salzburg (Bild links) und der Sporthalle Liefering (Bild rechts). ....	114
Abbildung 5.11: Hydrogeologische Randbedingungen des GW-Modells (Fließgewässer, randliche Zuflüsse) .....	116
Abbildung 5.12: Beispiel einer Zeitreihe: Nr. 100 – entspricht einem Abflussbeiwert von 0,6 (60% der anfallenden Niederschläge werden kanalisiert abgeleitet) .....	117
Abbildung 5.13: Räumliche Verteilung der GW-Neubildungs-Zonen im Modellgebiet basierend auf Niederschlag, Verdunstung und Abflussbeiwerten.....	117
Abbildung 5.14: Hydraulische Durchlässigkeitsbeiwerte (in m/s) des kalibrierten GW-Modells .....	119
Abbildung 5.15: GW-Gleichen für mittleren GW-Stand (05-2010) laut Modellkalibrierung; GW-Messstellen .....	120
Abbildung 5.16: Vergleich des GW-Pegelgangs an der Messstelle RB2-07 zwischen Beobachtung und Berechnung im GW-Modell (2008-2010).....	121
Abbildung 5.17: Vergleich des GW-Pegelgangs an der Messstelle M614 zwischen Beobachtung und Modellberechnung (1985-2010) .....	121
Abbildung 5.18: GW-Temperatur im Bereich Lehener Park (Messstelle M622): Vergleich zwischen Beobachtung und Modellberechnung.....	122
Abbildung 5.19: Modellszenario 1 (1a und 1b) mit Darstellung des Leitungsverlaufes, der Entnahme- und Rückgabestellen der Thermischen GW-Nutzungen.....	123
Abbildung 5.20: Vergleich der Rückgabetemperaturen am Standort Messehotel Salzburg im Istzustand (Szenario 0) und den Modellszenarien 1a und 1b.....	124

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

Abbildung 5.21: Modellszenario 2 mit Darstellung des Leitungsverlaufes, der Entnahme- und Rückgabestellen der Thermischen GW-Nutzungen. ....	124
Abbildung 5.22: Modellszenario 3 mit Darstellung des Leitungsverlaufes, der Entnahme- und Rückgabestellen der Thermischen GW-Nutzungen. ....	125
Abbildung 5.23: Temperaturanomalien in °C des Istzustandes (Szenario 0) und der Modellszenarien 1a und 1b jeweils für das Ende der Kühlperiode (29. Oktober) und für das Ende der Heizperiode (28. April). ....	127
Abbildung 5.24: Temperaturanomalien in °C des der Modellszenarien 2 und 3 jeweils für das Ende der Kühlperiode (29. Oktober) und für das Ende der Heizperiode (28. April). ....	128
Abbildung 5.25: Veränderung der Temperaturanomalien in °C der Modellszenarien 1a und 1b in Bezug auf den Istzustand, jeweils für das Ende der Kühlperiode (29. Oktober) und für das Ende der Heizperiode (28. April). ....	129
Abbildung 5.26: Veränderung der Temperaturanomalien in °C des der Modellszenarien 2 und 3 in Bezug auf das Modellierungsszenario 1b jeweils für das Ende der Kühlperiode (29. Oktober) und für das Ende der Heizperiode (28. April). ....	130
Abbildung 5.27: Temperaturverläufe dreier Entnahmehbrunnen am Messehotel Salzburg, sowie der idealisierte Temperaturbedarf, um die Temperaturanomalien zu kompensieren. ....	131
Abbildung 5.28: Vergleich der Entnahmemengen des Istzustandes (Szenario 0) und der Modellszenarien 1a und 1b und die entsprechenden Einsparungen der Pumpmengen. ....	131
Abbildung 5.29: Jahresgänge der Wärme-/Kälteleistung in kW für die Modellszenarien 1, 2 und 3. Die Leistung ist jeweils in positiven Beträgen aufgetragen. ....	132
Abbildung 5.30: Zusammenhang zwischen Verdampfungstemperatur $t_v$ , Kondensationstemperatur $t_c$ und Leistungszahl bei einem Carnotschen Gütegrad von 0,5. ....	134
Abbildung 5.31: Kapitalwert der Ersparnis durch die Nutzung einer räumlich entfernt liegenden Wärmequelle ohne Berücksichtigung der erforderlichen Investitionen. ....	137

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

### 9 Literaturverzeichnis

- AGCS. (14. 03 2017). *Gas Clearing & Settlement, Information der Homepage AGCS, Downloadcenter* *Lastprofile.* Von [http://www.agcs.at/de/clearing/technisches/lastprofile/lastprofile\\_ab\\_01.04.2009](http://www.agcs.at/de/clearing/technisches/lastprofile/lastprofile_ab_01.04.2009) abgerufen
- Angerer. (2017). *interner Bericht zum Thermal Response Test.* Wien: PORR.
- Austrian Energy Agency.* (Jänner 2017). Von <https://www.energyagency.at/fakten-service/heizkosten/> abgerufen
- Biermayr, P. (Dezember 2016). *Erneuerbare Energien in Zahlen 2016.* Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Biermayr, P., Eberl, M., Enigl, M., Fechner, H., Kristöfel, C., Leonhartsberger, K., . . . Wopienka, E. (Juni 2017). *Innovative Energietechnologien in Österreich, Marktentwicklung 2016* (Bde. Berichte aus Energie- und Umweltforschung). Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Biermayr, P., Götzl, G., Fuchsluger, M., Hoyer, S., Weilbold, J., Brüstle, A.-K., & Stickler, G. (2013). *Erfolgsfaktoren für solare Mikrowärmenetze mit saisonaler geothermischer Wärmespeicherung; Wissenschaftlicher Endbericht zum Forschungsprojekt GEOSOL (Projektnummer SPA/03-32/GEOSOL).*
- Brix, F. (1972). *Geologische Karte der Stadt Wien 1:50.000.* Wien, München: Verlag für Jugend und Volk.
- Dalla Rosa, A., Li, H., Svendsen, S., Werner, S., Persson, U., Ruehling, K., . . . Bevilacqua, C. (2014). *IEA DHC Annex X report: Toward 4th Generation District Heating - Experience and Potential of Low-Temperature District Heating.*
- DIN EN 1484. (1997). *Wasseranalytik - Anleitungen zur Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) und des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC).* DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- Egger, N. (21. 08 2015). Anergienetz wird zum Stand der Technik - Die Trägheit löst hier einige Probleme. *TEC21*(34), S. 4.
- EZB.* (2017). Von Key ECB interest rates, European Central Bank, Statistics: <http://www.ecb.europa.eu/stats/> abgerufen

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Felsmann, C., Dittmann, A., Richter, W., Gnüchtel, S., Sander, T., Rhein, M., . . . Groß, S. (2011). *LowEx Fernwärme - Multilevel District Heating - Zusammenfassung*. Technische Universität Dresden.

Fink, C., Riva, R., Heimrath, R., Halmdienst, C., & Kaufmann, H. (2007). *MOSOL-NET Entwicklung von modular erweiterbaren technischen Lösungen, die eine Wärmeversorgung von Neubaugebieten über solar unterstützte Nahwärmenetze ermöglichen*. Wien: BMVIT Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Gautschi, T. (29. 01 2016). *Ein Anergienetz für die Familienheim Genossenschaft Zürich*. Veranstaltung: Städtische Wärmewende, Wien. Von <https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/erneuerbarewaerme/stadt-quartiere/waermewende.html> abgerufen

Gensberger, E. T., Polt, M., Konrad-Köszler, M., Kinner, P., Sessitsch, A., & Kostić, T. (2014). Evaluation of quantitative PCR combined with PMA treatment for molecular assessment of microbial water quality. *Water Research Vol.67: 367-376*.

Götzl, G. (2014). Ergebnisse des Grundwasser- und Erdwärmekatasters. Vortrag im Rahmen der Veranstaltung: Wärmepumpen in Wien – Welches Potential verbirgt sich hinter dieser Technologie; 02.April 2014.

Griebler, C., Kellermann, C., Stumpp, C., Hegler, F., Kuntz, D., & Walker-Hertkorn, S. (2014). *Auswirkungen thermischer Veränderungen infolge der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Beschaffenheit des Grundwassers und seiner Lebensgemeinschaften – Empfehlungen für eine umweltverträgliche Nutzung, Forschungskennzahl (3710 23 204)*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Illumina. (2017). *16S Metagenomic Sequencing Library Preparation*. Von [https://www.illumina.com/content/dam/illumina-support/documents/documentation/chemistry\\_documentation/16s/16s-metagenomic-library-prep-guide-15044223-b.pdf](https://www.illumina.com/content/dam/illumina-support/documents/documentation/chemistry_documentation/16s/16s-metagenomic-library-prep-guide-15044223-b.pdf) abgerufen

Isoplus. (30. 12 2016). *Isoplus Fernwärmetechnik, Planungshandbuch Kapitel 2 - Starre Verbundsysteme*. Von <http://www.isoplus.at/download/planungshandbuch/> abgerufen

Kranzl, L., Müller, A., Matzenberger, J., & Bayr, M. (2012). LowEx - Das Konzept der Exergie in energieökonomischen Analysen. In *IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme Annex 49: Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Leuchtweis, C. (2010). Biomasseheizwerke erfolgreich planen und umsetzen – Beispiele aus Bayern. *Tagungsbeitrag "Wärme aus Biomasse" 28.01.2010*. Landwirtschaftszentrum Düsse.
- Menti, U.-P., & Sulzer, M. (2014). *Keine Energiewende ohne Vernetzung*. sia TEC21 1-2 / 2014. Abgerufen am 01. 06 2016 von [www.sia.ch/uploads/media/sia\\_tec21\\_1-2\\_2014\\_Energiewende.pdf](http://www.sia.ch/uploads/media/sia_tec21_1-2_2014_Energiewende.pdf)
- Mineralölwirtschaftsverband. (März 2017). *Entwicklung der Rohölpreise von 2007 bis 2017*. Von <https://www.mwv.de/rohoelpreise/> abgerufen
- Müller, A., Biermayr, P., Kranzl, L., Haas, R., Altenburger, F., Bergmann, I., . . . Weiss, W. (2010). *Heizen 2050 - Systeme zur Wärmebereitstellung und Raumklimatisierung im österreichischem Gebäudebestand: Technologische Anforderungen bis zum Jahr 2050*. Klima- und Energiefonds "Energie der Zukunft", Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 814008, Dezember 2010.
- Nowy, W., & Gruppe Wasser. (2001). *Schutz von Tiefengrundwässern in Wien - Grundlagen für eine wasserwirtschaftliche Rahmenverfügung - Endbericht*. Wien: Magistratsabteilung MA45 - Wasserbau.
- ÖNORM B 5019. (2015). *Hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen*.
- ÖNORM EN ISO 10 304-T1. (2007). *Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von gelösten Anionen mittels Flüssigkeits-Ionenchromatographie, Teil 1: Bestimmung von Bromid, Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Sulfat*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN ISO 11885. (2009). *Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von ausgewählten Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) (ISO 11885:2007)*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM ISO 7150-1. (1987). *Wasseruntersuchung; Bestimmung von Ammonium; manuelle spektrophotometrische Methode*. Wien: Austrian Standards.
- ÖWAV-RB207. (2009). *Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen*. Wien: Österreichischer Wasser und Abfallwirtschaftsverband.
- Pfleiderer, S. H. (2004). *Digitaler Angewandter Atlas der Stadt Wien, Hydromodul*.
- Pfleiderer, S., & Hofmann, T. (2004). *Digitaler angewandter Geo-Atlas der Stadt Wien - Projekt WC 21 - HYDRO-Modul (Pilotphase), Endbericht*. Wien: Geologische Bundestanalt.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

Reiterer, D., Wöss, D., Halmdienst, C., & Lichtenegger, K. (2015). *BiNe - Bidirektionale Einbindung von Gebäuden*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations, 5th Edition*. the free press, ISBN 0-7432-5823-1.

Sulzer, M. (2016). Impulsvortrag "Thermische Netze: Grundlagen, Konzepte und Beispiele aus der Schweiz". *DEGENT-NET Expertenworkshop am 5.12.2016*. Geologische Bundesanstalt.

Sulzer, M., & Hangartner, D. (2014). *Grundlagen-/Thesen Kalte Fernwärme (Anergienetze)*. Ittingen, Schweiz: Bundesamt für Energie BFE - Abteilung Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Von <https://www.researchgate.net/publication/262418798> abgerufen

Sulzer, M., Lüthi, D., & Menti, U.-P. (2012). *Energieversorgung für ein Areal – Beispiel V-ZUG AG*. Schweizerisches Status-Seminar: Forschen und Bauen im Kontext von Energie und Umwelt.

Wiener Netze. (01. 03 2017). *Netznutzungs- und Netzverlustentgelte*. Von <https://www.wienernetze.at/nc/ep/channelView.do/pageTypeld/65633/channelld/-45600> abgerufen

WRG. (1959). *Wasserrechtsgesetz, BGBl. Nr. 215/1959, Fassung vom 01.08.2014*.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

## 10 Kontaktdaten

### **Projektleitung, Standort Wien, Hydrogeologische Modellierung, Gesamtkoordination**

GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT

**Mag. Gregor GÖTZL**

**Mag. Martin FUCHSLUGER**

Fachabteilung Hydrogeologie & Geothermie

1030 Wien, Neulinggasse 38

+43 1 7125674-0 (DW 336 oder DW 636)

gregor.goetzl@geologie.ac.at ; martin.fuchsluger@geologie.ac.at

### **Technische Dimensionierung, Lastprofile, Volldynamische Gesamtsimulation**

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN - INSTITUT FÜR ENERGIETECHNIK UND THERMODYNAMIK (IET)

**Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Karl PONWEISER**

**Projektass. Dipl.-Ing Johannes NAGLER**

Getreidemarkt 9/E302

A-1060 Wien

+43 1 58801 302310

karl.ponweiser@tuwien.ac.at; johannes.nagler@tuwien.ac.at

### **Standort Salzburg, Hydrogeologische Modellierung**

GEOCONSULT ZT GMBH

**Mag. Dr. Giorgio HÖFER-ÖLLINGER**

**DI Timo KESSLER, PhD**

**Mag. Klaus HEIMLICH**

Hölzlstraße 5

5071 Wals bei Salzburg

+43 - (0)662 - 65 9 65 – 0

giorgio.hoefer-oellinger@geoconsult.eu; timo.kessler@geoconsult.eu;

klaus.heimlich@geoconsult.eu

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

### **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

E-THINK - ZENTRUM FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT UND UMWELT

**DI Dr. Peter BIERMAYR**

Argentinierstraße 18/10

1040 Wien

T: +43-(0)680-5076744

E: [biermayr@e-think.ac.at](mailto:biermayr@e-think.ac.at)

W: [www.e-think.ac.at](http://www.e-think.ac.at)

### **Umweltauswirkung, Chemische und mikrobielle Analyse des Grundwassers**

AIT - AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY GMBH - CENTER FOR ENERGY

**DI Dr. Edith HASLINGER**

**DI Otmar PLANK**

Konrad-Lorenz-Straße 24

3430 Tulln

Tel.: +43 50550-3608

Fax: +43 50550-3452

[edith.haslinger@ait.ac.at](mailto:edith.haslinger@ait.ac.at)

[www.ait.ac.at](http://www.ait.ac.at)



# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

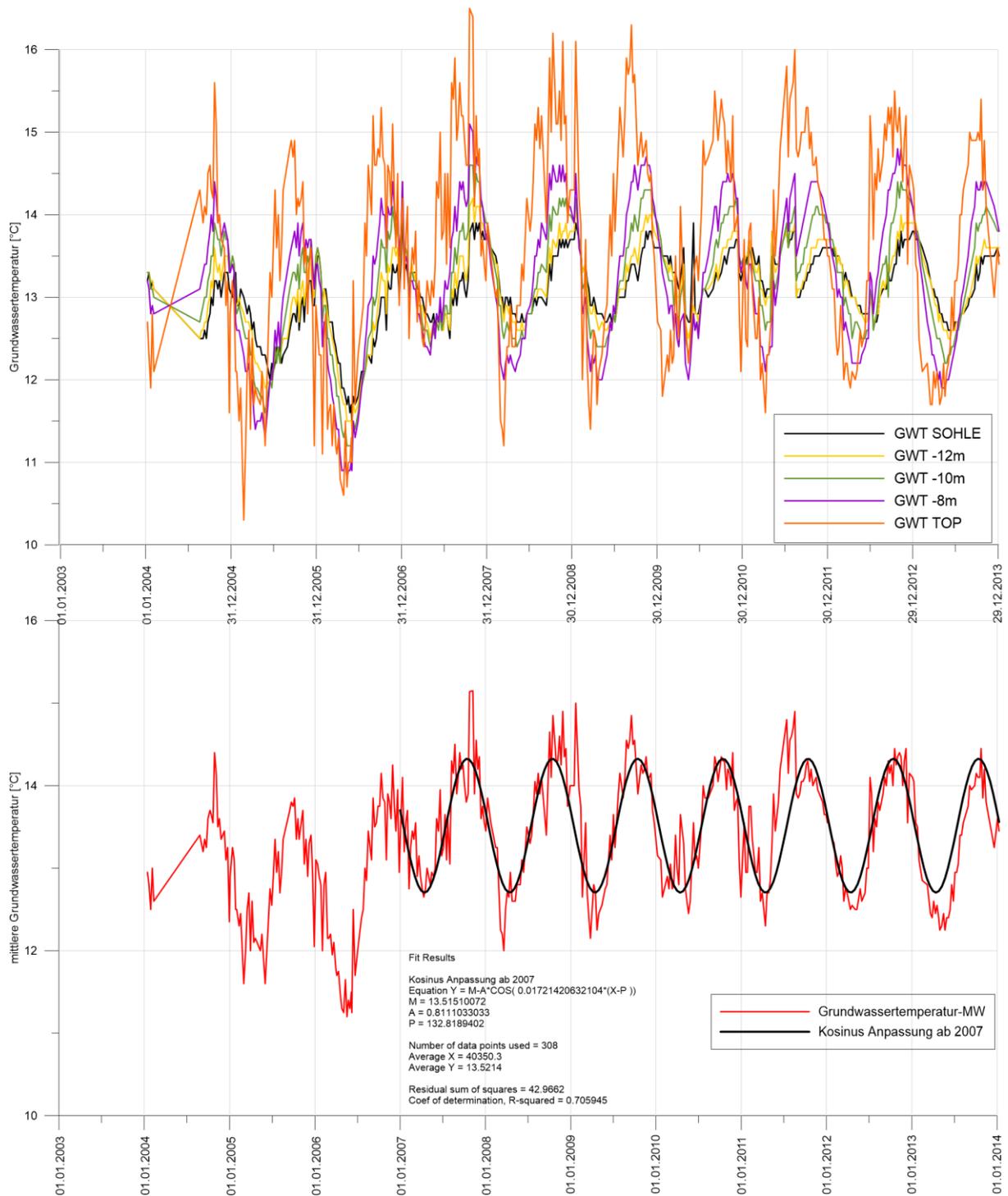
Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG



## A1 ANHANG 1: Temperaturdaten am Standort Wien und Kalibrierung des Modells

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

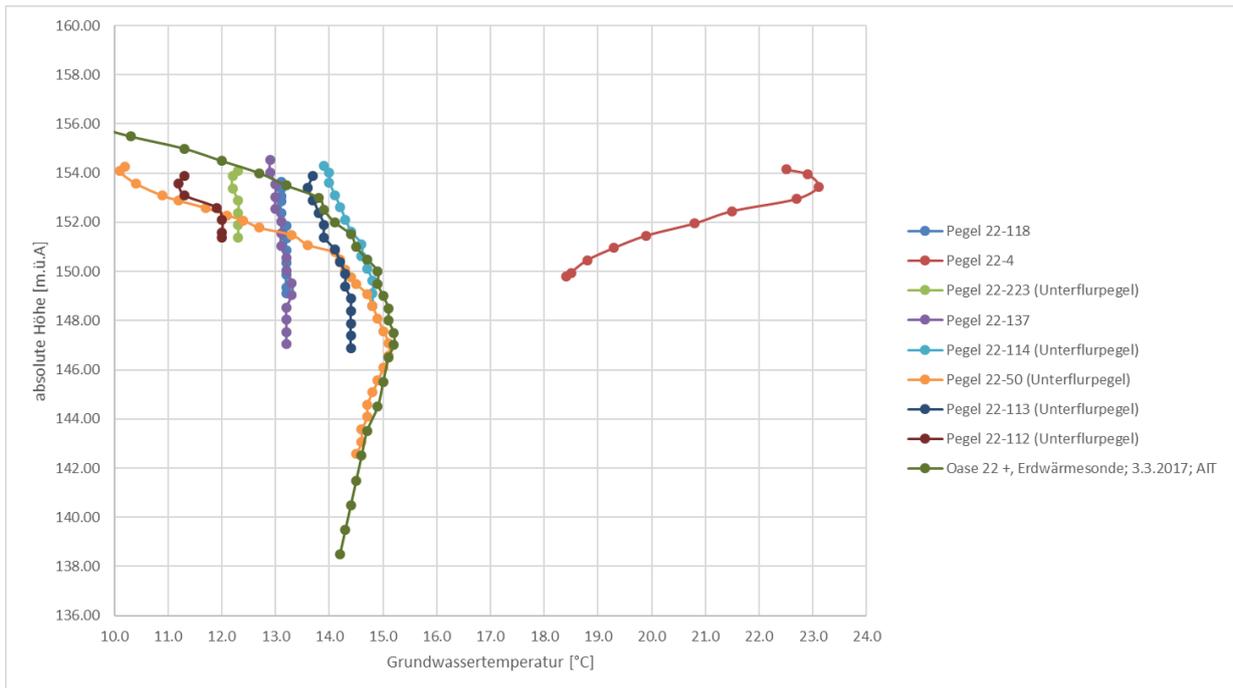
Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



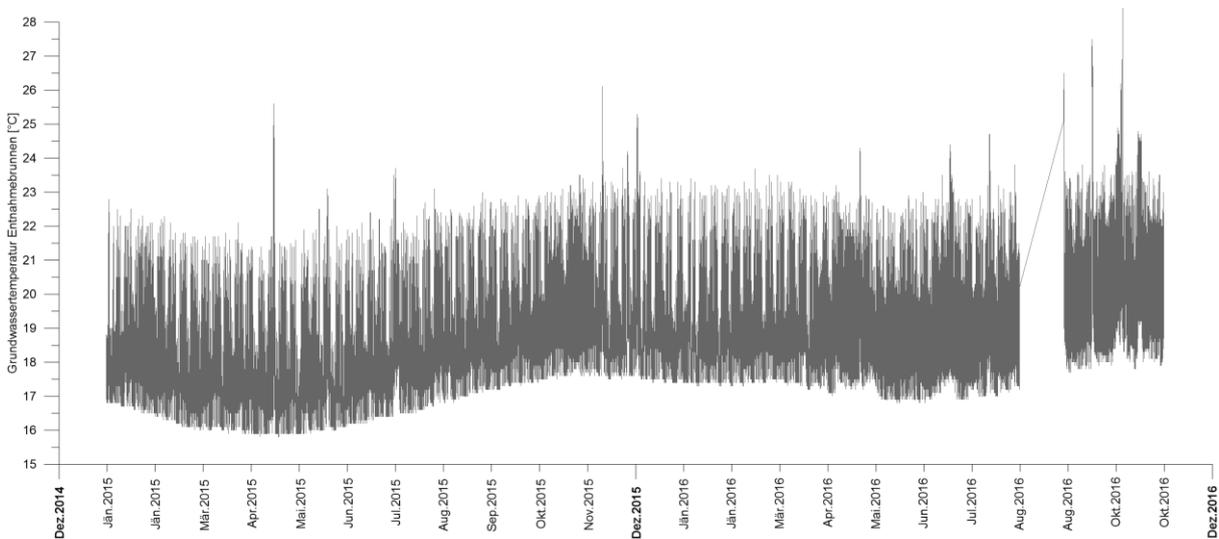
**Zeitreihe der Grundwassertemperatur des Pegels 22-212 in 5 verschiedenen Tiefen des Aquifers (oben) und der Mittelwert über alle Tiefen mit Kosinus-Anpassung (unten), Datenquelle: hydrografischer Dienst Wien**

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



## Stichtagsmessung vom 3.3.2017 an Pegel nahe der Oase22+



## Monitoring der Grundwassertemperatur im Entnahmebrunnen der MA14



# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

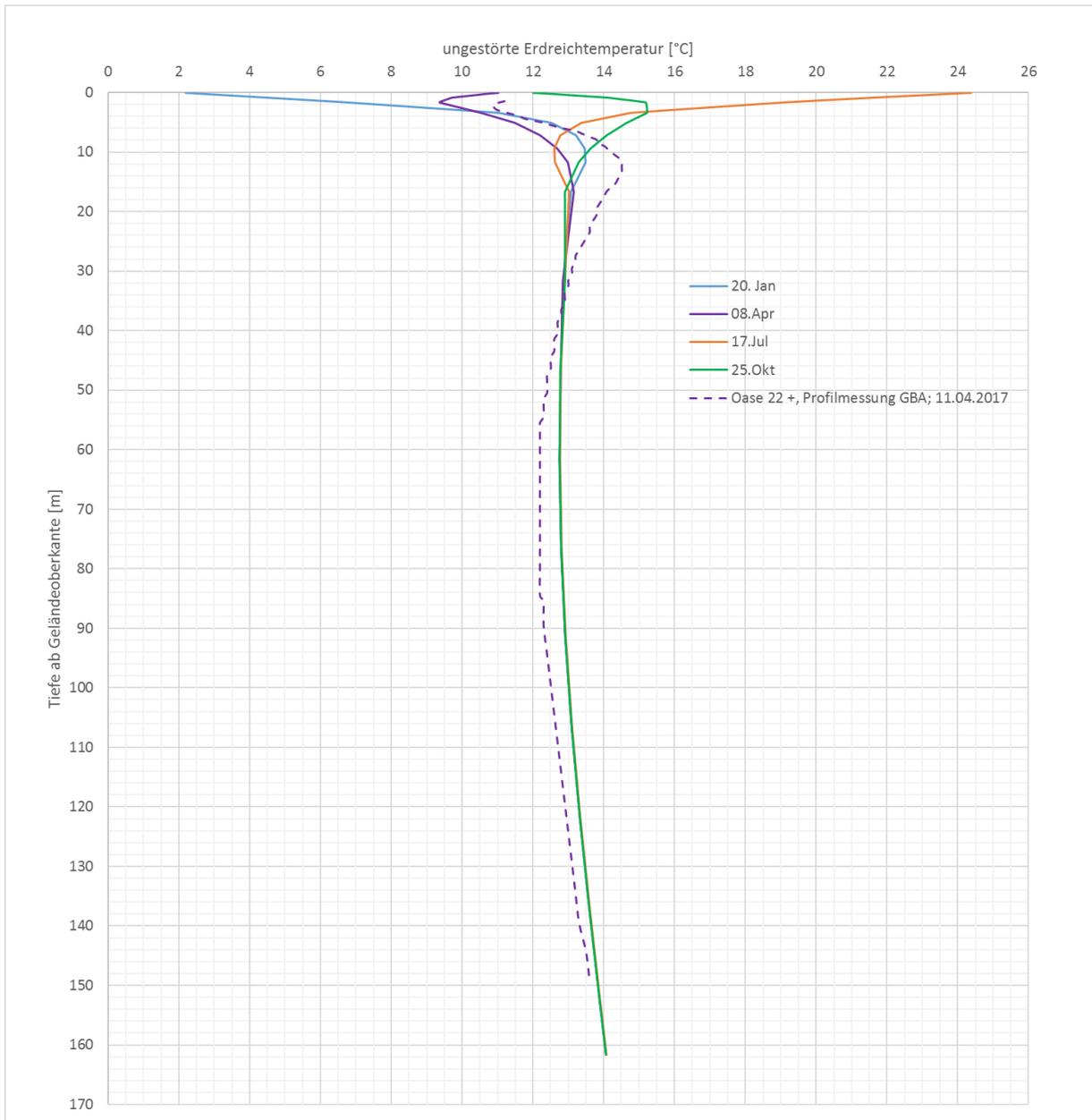
Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Kalibrierung der simulierten Grundwassertemperaturen auf die Messwerte des Pegels 22-212, nahe des Grundwasserspiegels (oberes Diagramm) und an der Aquiferbasis (unteres Diagramm). Der Zeitverlauf der Grundwassertemperatur des Modells stimmt sehr gut mit den mittleren Messwerten des Zeitraums 2003-2013 überein, obwohl im Modell „nur“ die Oberflächentemperatur vorgegeben wurde. Die vorgegebene Oberflächentemperatur stammt von Klima-Aufzeichnungen im Zeitraum 1993-2013, erhöht im Mittel um 1.1 °C.**

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

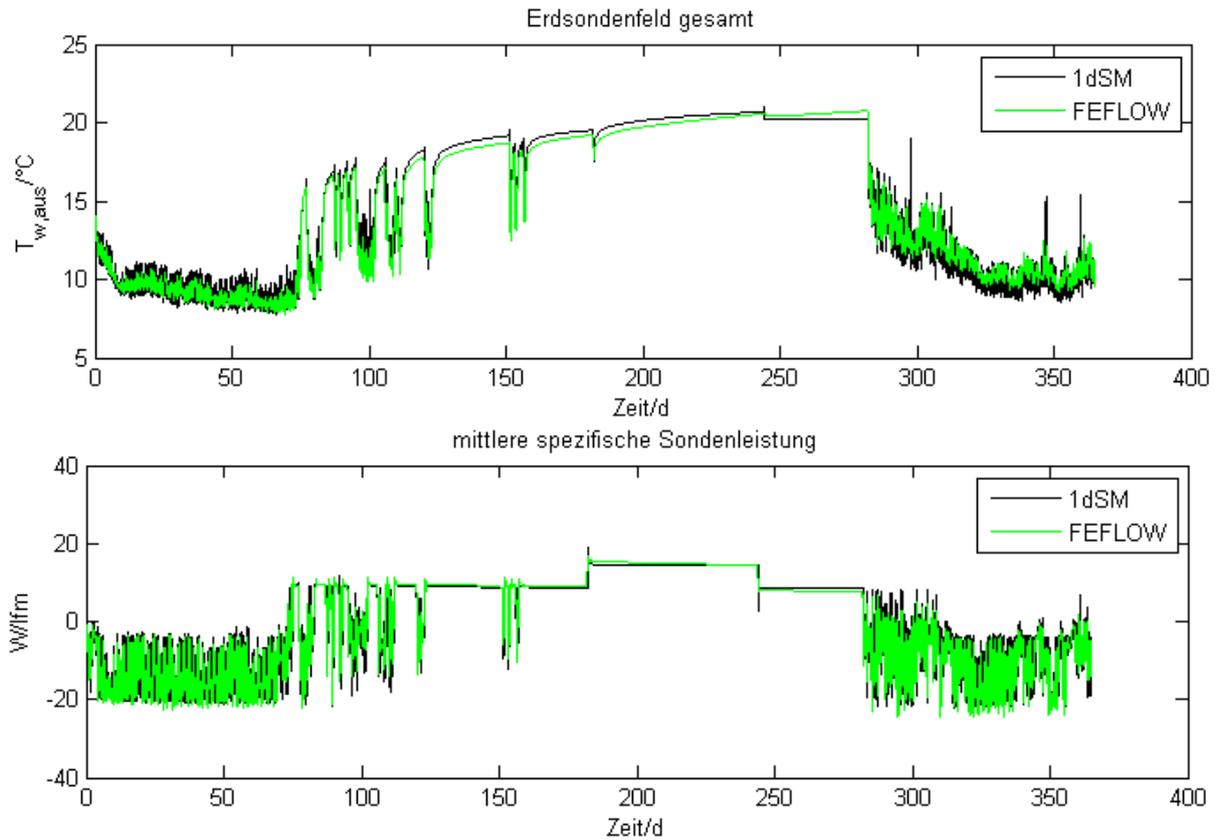
Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Simulationsergebnis der ungestörten Erdreichtemperatur zu verschiedenen Jahreszeiten des Kalibrierschritts 3 bei Verwendung der Bodentemperaturmesswerte der Station Donauefeld (ZAMG) als Vorgabe für die Oberflächentemperatur, modifiziert um 1.1 °C für 60 Jahre. Zum Vergleich ist das gemessene Temperaturprofil der Erdwärmesonde vom April 2017 direkt im Untersuchungsgebiet der Oase22+ dargestellt.**

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Relativer Fehler der Validierung in Simulation S5, dargestellt als zeitlicher Vergleich des vereinfachten Erdsondenmodells in Matlab/Simulink (1dSM) mit der FEFLOW Simulation. Austrittstemperatur aller vier Sondenteilfelder als Mischtemperatur (oben) und spezifische Sondenleistung (unten).**

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG



## A2 ANHANG 2: Hydrochemische Datenerhebung Wien und Salzburg

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Folgende Abkürzungen wurden in den folgenden Messblättern verwendet:

WSP	Wiener Null, Höhenbezugspunkt
ROK	Höhe der Rohroberkante eines Pegels
GOK	Höhe der Geländeoberkante eines Messpunktes
T	Gemessene Temperatur
LF	Gemessene Leitfähigkeit
pH	Gemessener pH-Wert
LDO	Gelöster Sauerstoff (Luminescent Dissolved Oxygen)

Zur Beschreibung der Methodik, siehe Kapitel 3.3.5, zur Datenerhebung siehe Kapitel 4.2.6 und Kapitel 5.1.3

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

<b>GW_2/08 Sparkassenstraße</b>							<b>LP_1/10 Lehener Park</b>						
WSP (m ROK)	5,72						WSP (m ROK)	5,75					
ROK-GOK (m)	1,05						ROK-GOK (m)	1,37					
Sonde frei (m)	6,7						Sonde frei (m)	6,8					
Pumprate (l/s)	-						Pumprate (l/s)	0,07					
Messungen Multi 340i Pumpprobe:							Messungen Multi 340i Pumpprobe:						
T (°C)	17,2						T (°C)	12,5					
LF (µS/cm)	527						LF (µS/cm)	375					
pH							pH						
Messungen im Labor:							Messungen im Labor:						
LF (µS/cm)	530						LF (µS/cm)	370					
pH	7,9						pH	7,6					
Überdeckung (m)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	pH	LF (µS/cm)	LDO (mg/l)	Überdeckung (m)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	pH	LF (µS/cm)	LDO (mg/l)
0,25	5,97	4,92	20,41	6,65	490	8,10	0,02	5,77	4,40	12,22	7,30	355	3,82
0,35	6,07	5,02	20,31	7,66	494	7,98	0,17	5,92	4,55	12,22	7,47	355	3,44
0,58	6,30	5,25	20,17	8,09	497	7,78	0,41	6,16	4,79	12,14	7,54	356	3,23
0,60	6,32	5,27	20,09	8,21	497	7,54	0,66	6,41	5,04	12,03	7,58	358	3,00
1,03	6,75	5,70	19,85	7,96	551	6,47	0,67	6,42	5,05	12,02	7,59	358	2,82
		<b>Median</b>	<b>20,17</b>	<b>7,96</b>	<b>497</b>	<b>7,78</b>			<b>Median</b>	<b>12,14</b>	<b>7,54</b>	<b>356</b>	<b>3,23</b>

**Ergebnisse der Messungen mit der Multiparametersonde in den Pegeln GW\_2/08, Sparkassenstraße und LP\_1/10 Lehener Park in Salzburg-Lehen (Messkampagne Oktober 2016, siehe Kapitel 4.2.6).**

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

<b>S 2/96</b>			<b>M 612 (Unterflur)</b>			<b>Sa 11/00</b>			<b>M 614</b>		
WSP (m ROK)	4,85		WSP (m GOK)	2,33		WSP (m ROK)	4,77		WSP (m ROK)	5,60	
ROK-GOK (m)	0,95		ROK-GOK (m)	0,00		ROK-GOK (m)	0,70		ROK-GOK (m)	0,95	
Sonde frei (m)	11,05		Sonde frei (m)	4,52		Sonde frei (m)	7,98		Sonde frei (m)	6,90	
Pumprate (l/s)	keine PN		Pumprate (l/s)	keine PN		Pumprate (l/s)	keine PN		Pumprate (l/s)	keine PN	
Messungen Multi 340i Pumpprobe:			Messungen Multi 340i Pumpprobe:			Messungen Multi 340i Pumpprobe:			Messungen Multi 340i Pumpprobe:		
T (°C)			T (°C)			T (°C)			T (°C)		
LF (µS/cm)			LF (µS/cm)			LF (µS/cm)			LF (µS/cm)		
pH			pH			pH			pH		
Messtiefe (m u. ROK)	Messtiefe (m u. GOK)	T (°C)	Messtiefe (m u. ROK)	Messtiefe (m u. GOK)	T (°C)	Messtiefe (m u. ROK)	Messtiefe (m u. GOK)	T (°C)	Messtiefe (m u. ROK)	Messtiefe (m u. GOK)	T (°C)
5,00	4,05	11,60		2,50	7,20	5,00	4,30	9,90	6,00	5,05	11,30
5,50	4,55	11,30		3,00	7,00	5,50	4,80	9,90	6,50	5,55	11,30
6,00	5,05	11,30		3,50	7,10	6,00	5,30	9,90		<b>Median</b>	<b>11,30</b>
6,50	5,55	11,30		4,00	7,40	6,50	5,80	9,90			
7,00	6,05	11,30		4,50	7,40	7,00	6,30	10,10			
7,50	6,55	11,30		<b>Median</b>	<b>7,20</b>	7,50	6,80	10,10			
8,00	7,05	11,30				7,98	7,28	10,10			
8,50	7,55	11,30					<b>Median</b>	<b>9,90</b>			
9,00	8,05	11,30									
9,50	8,55	11,30									
10,00	9,05	11,30									
10,50	9,55	11,30									
11,00	10,05	11,40									
	<b>Median</b>	<b>11,30</b>									

### Ergebnisse der Messungen mit dem Lichtlot in Salzburg (Messkampagne März 2017)

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### Ergebnisse der Messungen mit dem Lichtlot in Salzburg (Messkampagne März 2017)

Sa 18/00			Sa 15/00			S 13/08 (Unterflur)			RB 7/07		
WSP (m ROK)	3,66		WSP (m ROK)	4,77		WSP (m GOK)	4,94		WSP (m ROK)	4,40	
ROK-GOK (m)	0,96		ROK-GOK (m)	0,60		ROK-GOK (m)	0,00		ROK-GOK (m)	1,20	
Sonde frei (m)	9,00		Sonde frei (m)	10,80		Sonde frei (m)	7,33		Sonde frei (m)	7,40	
Pumprate (l/s)	0,1		Pumprate (l/s)	0,083		Pumprate (l/s)	keine PN		Pumprate (l/s)	0,083	
Messungen Multi 340i Pumpprobe:			Messungen Multi 340i Pumpprobe:			Messungen Multi 340i Pumpprobe:			Messungen Multi 340i Pumpprobe:		
T (°C)	10,0		T (°C)	10,2		T (°C)			T (°C)	12,5	
LF (µS/cm)	690		LF (µS/cm)	673		LF (µS/cm)			LF (µS/cm)	764	
pH	7,7		pH	7,6		pH			pH	7,6	
Messtiefe (m u. ROK)	Messtiefe (m u. GOK)	T (°C)	Messtiefe (m u. ROK)	Messtiefe (m u. GOK)	T (°C)	Messtiefe (m u. ROK)	Messtiefe (m u. GOK)	T (°C)	Messtiefe (m u. ROK)	Messtiefe (m u. GOK)	T (°C)
4,00	3,04	10,60	5,00	4,40	10,30		5,00	12,90	4,50	3,30	12,50
4,50	3,54	10,60	5,50	4,90	10,60		5,50	13,20	5,00	3,80	12,90
5,00	4,04	10,60	6,00	5,40	10,60		6,00	13,40	5,50	4,30	13,10
5,50	4,54	10,60	6,50	5,90	10,70		6,50	13,50	6,00	4,80	13,30
6,00	5,04	10,60	7,00	6,40	10,80		7,00	13,60	6,50	5,30	13,50
6,50	5,54	10,80	7,50	6,90	10,90		<b>Median</b>	<b>13,40</b>	7,00	5,80	13,50
7,00	6,04	10,90	8,00	7,40	10,90				7,40	6,20	13,50
7,50	6,54	11,10	8,50	7,90	11,00					<b>Median</b>	<b>13,30</b>
8,00	7,04	11,30	9,00	8,40	11,00						
8,50	7,54	11,30	9,50	8,90	11,10						
9,00	8,04	11,40	10,00	9,40	11,20						
	<b>Median</b>	<b>10,80</b>	10,50	9,90	11,20						
				<b>Median</b>	<b>10,90</b>						

### Ergebnisse der Messungen mit dem Lichtlot in Salzburg (Messkampagne März 2017 - Fortsetzung)

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

<b>GC 11/08</b>			<b>RB 5/07</b>			<b>Drainage</b>			<b>Salzach</b>																										
WSP (m ROK)			6,10			WSP (m ROK)			7,45			WSP (m ROK)			xxx			WSP (m ROK)			xxx														
ROK-GOK (m)			1,02			ROK-GOK (m)			0,93			ROK-GOK (m)			xxx			ROK-GOK (m)			xxx														
Sonde frei (m)			8,14			Sonde frei (m)			8,90			Sonde frei (m)			xxx			Sonde frei (m)			xxx														
Pumprate (l/s)			keine PN			Pumprate (l/s)			keine PN			Pumprate (l/s)			xxx			Pumprate (l/s)			xxx														
Messungen Multi 340i Pumpprobe:						Messungen Multi 340i Pumpprobe:						Messungen Multi 340i Pumpprobe:						Temperaturmessung mit Lichtlot:																	
T (°C)						T (°C)						T (°C)						10,1						T Mitte (°C)						5,6					
LF (µS/cm)						LF (µS/cm)						LF (µS/cm)						718						T Ufer (°C)						5,8					
pH						pH						pH						7,7																	
Messtiefe		Messtiefe		T		Messtiefe		Messtiefe		T																									
(m u. ROK)		(m u. GOK)		(°C)		(m u. ROK)		(m u. GOK)		(°C)																									
6,50		5,48		11,80		7,60		6,67		11,30																									
7,00		5,98		12,00		8,00		7,07		11,50																									
7,50		6,48		12,10		8,50		7,57		11,60																									
8,00		6,98		12,10		8,90		7,97		11,70																									
		<b>Median</b>		<b>12,05</b>				<b>Median</b>		<b>11,55</b>																									

### Ergebnisse der Messungen mit dem Lichtlot in Salzburg (Messkampagne März 2017 – Fortsetzung)

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

PP1							PP2							PP5							
WSP (m ROK)		4,87					WSP (m ROK)		6,01					WSP (m ROK)		4,17					
ROK-GOK (m)		0,6					ROK-GOK (m)		0,7					ROK-GOK (m)		0,97					
Sonde frei (m)		5,52					Sonde frei (m)		8,78					Sonde frei (m)		5,48					
Pumprate (l/s)		0,047					Pumprate (l/s)		0,06					Pumprate (l/s)		0,08					
Messungen Multi 340i Pumpprobe:							Messungen Multi 340i Pumpprobe:							Messungen Multi 340i Pumpprobe:							
T (°C)		13,7					T (°C)		14,6					T (°C)		14,7					
LF (µS/cm)		100					LF (µS/cm)		727					LF (µS/cm)		702					
pH		8,1					pH		7,22					pH		7,26					
Messungen im Labor:							Messungen im Labor:							Messungen im Labor:							
LF (µS/cm)							LF (µS/cm)							LF (µS/cm)							
pH							pH							pH							
Überdeckung (m)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	pH	LF (µS/cm)	LDO (mg/l)	Überdeckung (m)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	pH	LF (µS/cm)	LDO (mg/l)	Überdeckung (m)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	pH	LF (µS/cm)	LDO (mg/l)	
0,05	4,92	4,32	13,61	7,61	92	9,66	0,27	6,28	5,58	15,78	8,02	500	8,67	0,15	4,32	3,35	14,65	7,59	708	0,90	
0,14	5,01	4,41	13,64	7,73	89	9,66	0,37	6,38	5,68	15,71	8,01	501	8,60	0,15	4,32	3,35	14,53	7,64	710	0,55	
0,26	5,13	4,53	13,70	7,81	90	9,64	0,7	6,71	6,01	15,66	7,88	508	8,41	0,16	4,33	3,36	14,52	7,66	710	0,25	
0,22	5,09	4,49	13,70	7,88	90	9,69	1,1	7,11	6,41	15,40	7,69	595	8,01	0,37	4,54	3,57	14,75	7,58	707	0	
0,31	5,18	4,58	13,71	7,91	89	9,67	1,09	7,10	6,40	15,40	7,61	594	6,38	0,33	4,50	3,53	14,71	7,57	708	0	
0,29	5,16	4,56	13,71	7,94	89	9,66	1,36	7,37	6,67	15,17	7,51	671	4,52	0,62	4,79	3,82	14,73	7,60	709	0	
0,39	5,26	4,66	13,75	7,95	89	9,64	1,65	7,66	6,96	14,98	7,48	717	3,10	0,65	4,82	3,85	14,78	7,60	709	0	
0,49	5,36	4,76	13,74	7,96	89	9,64	1,65	7,66	6,96	14,99	7,47	724	2,41	0,65	4,82	3,85	14,76	7,58	709	0	
0,46	5,33	4,73	13,76	8,00	89	9,68	1,91	7,92	7,22	14,87	7,46	732	2,06	0,93	5,10	4,13	14,79	7,58	710	0	
0,37	5,24	4,64	13,77	8,01	89	9,64	1,9	7,91	7,21	14,88	7,46	732	1,82	1,03	5,20	4,23	14,81	7,58	696	0	
0,39	5,26	4,66	13,77	8,03	89	9,65	2,21	8,22	7,52	14,71	7,46	733	1,67	1,07	5,24	4,27	14,80	7,59	710	0	
		<b>Median</b>	<b>13,71</b>	<b>7,94</b>	<b>89,00</b>	<b>9,66</b>	2,27	8,28	7,58	14,73	7,46	733	1,61			<b>Median</b>	<b>14,75</b>	<b>7,59</b>	<b>709</b>	<b>0</b>	
							2,59	8,60	7,90	14,59	7,46	733	1,58								
							2,55	8,56	7,86	14,60	7,46	732	1,58								
								<b>Median</b>	<b>14,99</b>	<b>7,48</b>	<b>721</b>	<b>2,76</b>									

**Ergebnisse der Messungen mit der Multiparametersonde in den Pegeln PP1, PP2 und PP5 LKH in Salzburg (Messkampagne November 2016)**

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Pegel 22-113 (Unterflurpegel)						Pegel 22-114 (Unterflurpegel)						Pegel 22-137						Pegel 22-50 (Unterflurpegel)								
Messungen Multi 340i Pumpprobe:						Messungen Multi 340i Pumpprobe:						Messungen Multi 340i Pumpprobe:						Messungen Multi 340i Pumpprobe:								
T (°C) 15,20						T (°C) 14,70						T (°C) 14,40						T (°C) 15,60								
LF (µS/cm) 990,00						LF (µS/cm) 1031,00						LF (µS/cm) 949,00						LF (µS/cm) 1880,00								
pH 7,35						pH 7,25						pH 7,33						pH 7,38								
Überdeckung (m)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	pH	LF (µS/cm)	LDO (mg/l)	Überdeckung (m)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	pH	LF (µS/cm)	LDO (mg/l)	Überdeckung (m)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	pH	LF (µS/cm)	LDO (mg/l)	Überdeckung (m)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)		
0,19		4,67	14,97	7,32	1002	3,13	1,18	5,19	5,19	14,93	7,82	907	6,55	0,25	4,87	4,37	14,53	7,79	939	6,13				2,50	14,30	
0,18		4,66	14,84	7,47	1007	2,39	1,61	5,62	5,62	15,00	7,65	1004	5,05	0,28	4,90	4,40	14,41	7,82	943	5,05				2,90	14,40	
0,50		4,98	15,31	7,57	999	1,80	1,95	5,96	5,96	15,01	7,58	1034	4,03	0,56	5,18	4,68	14,48	7,81	942	4,71				3,30	14,50	
0,83		5,31	15,35	7,66	999	1,56	2,23	6,24	6,24	15,00	7,53	1039	3,27	0,84	5,46	4,96	14,51	7,75	948	3,92				3,70	14,80	
1,20		5,68	15,36	7,67	999	0,98	2,55	6,56	6,56	14,99	7,53	1039	3,04	1,17	5,79	5,29	14,56	7,65	952	2,72				4,10	15,00	
1,67		6,15	15,36	7,66	999	0,75	2,88	6,89	6,89	14,97	7,48	1039	2,87	1,57	6,19	5,69	14,58	7,60	955	1,65				4,60	15,40	
2,09		6,57	15,30	7,64	1000	0,49	2,97	6,98	6,98	14,95	7,53	1040	2,84	1,95	6,57	6,07	14,59	7,56	962	0,61				5,00	15,70	
2,56		7,04	15,27	7,62	1000	0,00	3,45	7,46	7,46	14,92	7,54	1039	2,93	2,24	6,86	6,36	14,61	7,54	966	0,09				5,50	15,80	
3,02		7,50	15,23	7,60	1000	0,00	3,84	7,85	7,85	14,90	7,54	1039	2,88	2,47	7,09	6,59	14,65	7,51	980	0,44				6,00	16,00	
3,43		7,91	15,12	7,59	1001	0,00	4,19	8,20	8,20	14,90	7,54	1039	3,10	2,71	7,33	6,83	14,65	7,50	985	1,41				6,50	16,10	
3,82		8,30	15,09	7,58	1000	0,00	4,57	8,58	8,58	14,89	7,54	1039	2,94	2,94	7,56	7,06	14,64	7,49	986	1,63				7,00	16,20	
4,26		8,74	15,01	7,55	1001	0,00	4,94	8,95	8,95	14,88	7,55	1039	2,86	3,19	7,81	7,31	14,63	7,48	988	1,79				7,50	16,10	
4,73		9,21	14,96	7,56	1001	0,17	5,32	9,33	9,33	14,87	7,55	1039	2,96	3,42	8,04	7,54	14,62	7,48	988	1,94				8,00	15,90	
5,15		9,63	14,89	7,56	1000	0,08	5,36	9,37	9,37	14,87	7,55	1039	2,83	3,71	8,33	7,83	14,59	7,47	988	1,99				8,50	15,70	
5,60		10,08	14,79	7,56	1001	0,00	5,71	9,72	9,72	14,88	7,55	1038	2,83	4,01	8,63	8,13	14,58	7,48	987	2,00				9,00	15,50	
6,14		10,62	14,71	7,52	1002	0,00	6,13	10,14	10,14	14,85	7,55	1039	2,82	4,31	8,93	8,43	14,54	7,48	986	1,92				9,50	15,30	
6,74		11,22	14,60	7,52	1011	0,00	6,18	10,19	10,19	14,84	7,55	1039	2,81	4,59	9,21	8,71	14,53	7,48	985	1,89				10,00	15,20	
7,29		11,77	14,53	7,47	1024	0,00								4,93	9,55	9,05	14,51	7,48	984	1,84				10,50	15,00	
7,84		12,12	14,52	7,39	1051	0,00								5,27	9,89	9,39	14,50	7,47	983	1,74				11,00	14,90	
														5,64	10,26	9,76	14,46	7,48	980	1,63				11,50	14,80	
														6,01	10,63	10,13	14,43	7,49	981	1,42				12,00	14,70	
														6,47	11,09	10,59	14,44	7,49	992	1,44				12,50	14,60	
														6,96	11,58	11,08	14,44	7,45	996	1,75				13,00	14,60	
																									13,50	14,50
																									14,00	14,50
																									14,50	14,50

Ergebnisse der Messungen mit der Multiparametersonde in Wien (Messkampagne November 2016)

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

<b>Pegel 22-118</b>			<b>Pegel 22-4</b>			<b>Pegel 22-223 (Unterflurpegel)</b>			<b>Pegel 22-137</b>		
WSP (m ROK)		5,89	WSP (m ROK)		3,62	WSP (m GOK)		5,07	WSP (m ROK)		4,72
ROK-GOK (m)		1,00	ROK-GOK (m)		0,18	ROK-GOK (m)		0,00	ROK-GOK (m)		0,50
Sonde frei (m)		10,75	Sonde frei (m)		8,15	Sonde frei (m)		8,12	Sonde frei (m)		12,63
WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)
6,20	5,20	13,1	3,80	3,62	22,5	5,30	5,30	12,3	5,00	4,50	12,9
6,50	5,50	13,1	4,00	3,82	22,9	5,50	5,50	12,2	5,50	5,00	12,9
6,80	5,80	13,1	4,50	4,32	23,1	6,00	6,00	12,2	6,00	5,50	13,0
7,00	6,00	13,1	5,00	4,82	22,7	6,50	6,50	12,3	6,50	6,00	13,0
7,50	6,50	13,1	5,50	5,32	21,5	7,00	7,00	12,3	7,00	6,50	13,0
8,00	7,00	13,2	6,00	5,82	20,8	7,50	7,50	12,3	7,50	7,00	13,1
8,50	7,50	13,2	6,50	6,32	19,9	8,00	8,00	12,3	8,00	7,50	13,1
9,00	8,00	13,2	7,00	6,82	19,3				8,50	8,00	13,1
9,50	8,50	13,2	7,50	7,32	18,8				9,00	8,50	13,2
10,00	9,00	13,2	8,00	7,82	18,5				9,50	9,00	13,2
10,50	9,50	13,2	8,15	7,97	18,4				10,00	9,50	13,3
10,75	9,75	13,2							10,50	10,00	13,3
									11,00	10,50	13,2
									11,50	11,00	13,2
									12,00	11,50	13,2
									12,50	12,00	13,2

**Ergebnisse der Messungen mit dem Lichtlot in Wien (Messkampagne März 2017).**

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

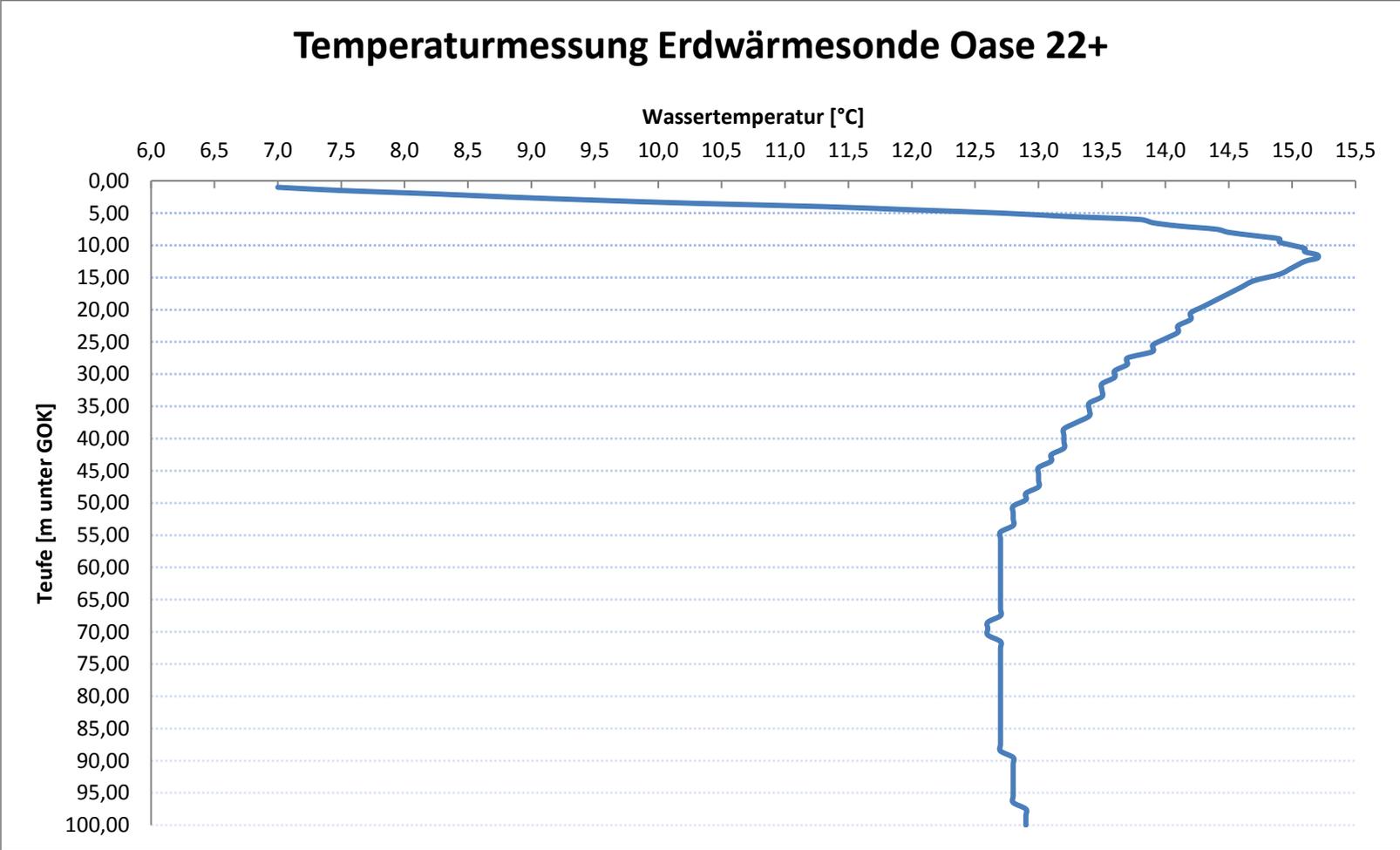
Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

<b>Pegel 22-114 (Unterflurpegel)</b>			<b>Pegel 22-50 (Unterflurpegel)</b>			<b>Pegel 22-113 (Unterflurpegel)</b>			<b>Pegel 22-112 (Unterflurpegel)</b>		
WSP (m ROK)	4,115		WSP (m ROK)	2,52		WSP (m ROK)	4,59		WSP (m ROK)	4,59	
ROK-GOK (m)	0,00		ROK-GOK (m)	0,00		ROK-GOK (m)	0,00		ROK-GOK (m)	0,00	
Sonde frei (m)	12,38		Sonde frei (m)	14,62		Sonde frei (m)	12,30		Sonde frei (m)	7,20	
WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)	WSP (m u. ROK)	WSP (m u. GOK)	T (°C)
4,30	4,30	13,9	2,80	2,80	10,2	5,00	5,00	13,7	4,70	4,70	11,3
4,60	4,60	14,0	3,00	3,00	10,1	5,50	5,50	13,6	5,00	5,00	11,2
5,00	5,00	14,0	3,50	3,50	10,4	6,00	6,00	13,7	5,50	5,50	11,3
5,50	5,50	14,1	4,00	4,00	10,9	6,50	6,50	13,8	6,00	6,00	11,9
6,00	6,00	14,2	4,20	4,20	11,2	7,00	7,00	13,9	6,50	6,50	12,0
6,50	6,50	14,3	4,50	4,50	11,7	7,50	7,50	13,9	7,00	7,00	12,0
7,00	7,00	14,4	4,80	4,80	12,1	8,00	8,00	14,1	7,20	7,20	12,0
7,50	7,50	14,6	5,00	5,00	12,4	8,50	8,50	14,2			
8,00	8,00	14,6	5,30	5,30	12,7	9,00	9,00	14,3			
8,50	8,50	14,7	5,60	5,60	13,3	9,50	9,50	14,3			
9,00	9,00	14,8	6,00	6,00	13,6	10,00	10,00	14,4			
9,50	9,50	14,8	6,30	6,30	14,1	10,50	10,50	14,4			
10,00	10,00	14,8	6,60	6,60	14,2	11,00	11,00	14,4			
			7,00	7,00	14,3	11,50	11,50	14,4			
			7,30	7,30	14,4	12,00	12,00	14,4			
			7,60	7,60	14,5						
			8,00	8,00	14,7						
			8,50	8,50	14,8						
			9,00	9,00	14,9						
			9,50	9,50	15,0						
			10,00	10,00	15,1						
			10,50	10,50	15,1						
			11,00	11,00	15,0						
			11,50	11,50	14,9						
			12,00	12,00	14,8						
			12,50	12,50	14,7						
			13,00	13,00	14,7						
			13,50	13,50	14,6						
			14,00	14,00	14,6						
			14,50	14,50	14,5						

### Ergebnisse der Messungen mit dem Lichtlot in Wien (Messkampagne März 2017 – Fortsetzung)

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



Ergebnisse der Messungen mit dem Lichtlot in Wien (Messkampagne März 2017 - Fortsetzung).

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

	Pegel	Vor-Ort-Messungen				Chemische Analytik																		Mikrobiologische Analytik									
		T [°C]	pH	LF [µS/cm]	O <sub>2</sub> [mg/L]	Al [mg/L]	Ca [mg/L]	Cd [mg/L]	Cr [mg/L]	Cu [mg/L]	Fe [mg/L]	K [mg/L]	Li [mg/L]	Mg [mg/L]	Mn [mg/L]	Mo [mg/L]	Na [mg/L]	Ni [mg/L]	Pb [mg/L]	Zn [mg/L]	F [mg]	Cl [mg/L]	NO <sub>3</sub> [mg/L]	PO <sub>4</sub> [mg/L]	SO <sub>4</sub> [mg/L]	NH <sub>4</sub> [mg/L]	DOC [mg/L]	KBE 22°C [mL <sup>-1</sup> ]	KBE 37°C [mL <sup>-1</sup> ]	E. coli [100ml <sup>-1</sup> ]	Coliforme [100ml <sup>-1</sup> ]	Enterokokken [100ml <sup>-1</sup> ]	Pseudomonas aer. [100ml <sup>-1</sup> ]
Salzburg	LP1/10	12,1	7,5	356	3,2	<0,01	63	<0,001	<0,005	<0,01	<0,01	1,4	<0,005	11	<0,001	<0,005	4,5	<0,005	<0,002	<0,05	<0,5	4,6	2,0	<0,5	19	<0,03	<1	60	30	0	70	0	0
Salzburg	GC2/08	20,2	8,0	497	7,8	0,02	39	<0,001	<0,005	<0,01	0,01	6,4	0,28	19	0,006	<0,005	48	<0,005	<0,002	0,67	<0,5	67	<0,5	<0,5	16	0,04	4	0	10	0	0	0	0
Salzburg	PP1	13,7	7,9	89	9,7	0,01	16	<0,001	<0,005	<0,01	0,05	0,4	<0,005	1,9	<0,01	0,004	1,3	<0,01	<0,005	0,08	<0,5	<0,5	1,7	<0,5	<0,5	<0,03	2	3850	4050	3	153	50	49
Salzburg	PP2	15,0	7,5	721	2,8	<0,01	100	<0,001	<0,005	<0,01	<0,05	2,4	<0,005	21	<0,01	0,002	25	<0,01	<0,005	<0,05	<0,5	42	6,2	<0,5	36	<0,03	<1	325	550	0	73	0	28
Salzburg	PP5	14,8	7,6	709	0,0	<0,01	81	<0,001	<0,005	<0,01	0,41	7,1	<0,005	18	0,26	0,003	37	<0,01	<0,005	0,09	<0,5	61	<0,5	<0,5	45	<0,03	1	3250	4150	0	20	0	0
Wien	RZ	19,9	7,4	1034	-	<0,01	100	<0,001	<0,005	<0,01	<0,05	12	0,008	33	<0,01	<0,002	63	<0,01	<0,005	<0,05	<0,5	130	17	<0,5	53	<0,03	<1	120	180	0	0	0	0
Wien	22-113	15,0	7,6	1001	0	<0,01	97	<0,001	<0,005	<0,01	<0,05	8,0	0,007	32	0,22	0,003	53	<0,01	<0,005	<0,05	<0,5	121	2,9	<0,5	69	0,69	1	760	210	0	24	44	20
Wien	22-114	14,9	7,6	1039	3	<0,01	92	<0,001	<0,005	<0,01	<0,05	11	0,007	30	<0,01	0,002	66	<0,01	<0,005	<0,05	<0,5	143	16	<0,5	57	<0,03	<1	3520	2500	0	0	75	55
Wien	22-137	14,5	7,5	983	1,8	<0,01	95	<0,001	<0,005	<0,01	<0,05	7,8	0,007	31	0,01	<0,002	44	<0,01	<0,005	0,30	<0,5	104	14	<0,5	52	<0,03	<1	1800	1420	0	1	51	10
Wien	22-50	15,0	7,4	1880	-	<0,01	100	<0,001	<0,005	<0,01	0,98	8,9	0,010	27	0,22	0,003	190	<0,01	<0,005	0,55	<0,5	390	8,0	<0,5	59	<0,03	2	1420	1240	1	31	0	0
Salzburg	Sa18/00	10,0	7,7	690	-	0,01	107	<0,001	<0,005	<0,01	<0,05	2,9	<0,005	21	<0,01	<0,002	22	<0,01	<0,005	<0,05	<0,5	34,0	11,5	<0,5	21	<0,03	<1	2100	470	0	0	0	10?
Salzburg	Sa15/00	10,2	7,6	673	-	<0,01	104	<0,001	<0,005	<0,01	<0,05	2,3	<0,005	20	<0,01	<0,002	20	<0,01	<0,005	<0,05	<0,5	31,0	11,0	<0,5	21	<0,03	<1	1400	30	0	0	0	20?
Salzburg	RB7-07	12,5	7,6	764	-	<0,01	108	<0,001	<0,005	<0,01	<0,05	4,3	<0,005	19	<0,01	0,002	38	<0,01	<0,005	0,13	<0,5	61,2	17,5	<0,5	27	<0,03	<1	250	50	0	0	0	10
Salzburg	Drainage	10,1	7,7	718	-	<0,01	90	<0,001	<0,005	<0,01	<0,05	6,4	<0,005	18	<0,01	0,002	42	<0,01	<0,005	<0,05	<0,5	67,5	9,8	<0,5	39	<0,03	<1	350	50	1	38	0	50

## Ergebnisse der chemischen und mikrobiologischen Analysen (Messkampagnen Oktober 2016, November 2016 und März 2017)

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG



## **A3 ANHANG 3: „Factsheets“ zu relevanten bestehenden Anlagen der Studienreise 07/2016**

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### ETH Höggerberg

Motivation	Dezentrale Kälteversorgung Nutzung der Abwärme aus der Kälteproduktion durch saisonale Speicherung
Areal	> 10000 Studierende, Lehrende und Mitarbeiter 4 Gebäudecluster = Energiezentralen für Gebäude bzw. –block mit Wärmepumpe 3 Sondenfelder ohne Pumpen und ohne Wärmetauscher, hydraulisch direkt gekoppelt
Jahresenergieumsatz	30 GWh Wärme 15 - 20 GWh Kälte
Wärmequellen	Kältebedarf für Klimatisierung und Laborkälte (vorhanden)
Wärmesenken	Gebäudeheizung
Bilanzausgleich / Backup	bestehende (alte) Rückkühler und Gaskessel der ehemaligen Fernwärme- und Fernkältezentrale
Leitungsnetz	PE-Leitungen, DN 650, PN 16 2-Leiternetz (Warm- Kaltleiter) für Hauptbetrieb 3. Leitung zum Bilanzausgleich des SONDENSPEICHERS Ringleitung ca 1,2 km, Wasservolumen im Netz: ca. 500 m <sup>3</sup> Keine Hauptpumpe im Netz, es gibt nur dezentrale Pumpen bei allen Verbrauchern Verlegung der Rohre in bereits vorhandenen begehbaren Energiekanälen Auslegung: Verbraucher, der am weitesten vom Speicher entfernt ist kann Wärme vom Speicher beziehen bzw. an ihn liefern. Peak shaving Stromseitig: Pumpen im Anergienetz können auch dazu verwendet werden um Spitzenlasten im Stromnetz abzubauen (träges thermisches System)
Speicher	Speicher bildet hydraulische Weiche und wird je nach Bedarf be- bzw. entladen. Klappen zur Speicherbewirtschaftung Zu den EWS-Feldern geht zusätzlich ein 3. Leiter EWS können in Gruppen über Klappen zu oder abgeschaltet werden, Sind meist im turbulenten Betrieb, Rasterabstand Sonden: 5 m, bisher 400 Sonden, 2 Sonden beschädigt
Wärmepumpe	Ammoniak WP, 2 x 1,5 MW Heizleistung, WP bestehend aus Wärmetauscher – Transferpumpen – Verdampferpumpen – Kondensatorpumpen
Hydraulik	Expansionsgefäße im Kaltleiter

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

	<p>Wassergeschwindigkeit im Netz auf 1 m/s (max. 2 m/s) ausgelegt Durchfluss wird magnetisch induktiv oder mit Ultraschall gemessen.</p> <p>bisher keine Probleme bei EWS mit zu wenig Leistung wegen laminarer Strömung (bei 300 m<sup>3</sup>/h sind alle 4 Klappen offen)</p>
Temperatur	<p>Erforderliches T-Niveau für Laborkälte: 6/12 °C Wärmepumpen (Wärmesenken) und dezentrale Einspeiser stellen Temperaturdifferenz von 4 K sicher.</p> <p>Netztemperaturen ergeben sich aus dem SONDENSPEICHER. Tiefste Temperaturen: Februar/März: 10-11 °C, Höchste Temperaturen: Juli: 17-18 °C (aus Messwerten) Tiefste Temperaturen: 8 / 4 °C, Höchste Temperaturen: Juli: 22 / 18 °C (Auslegung) Ungestörte Bodentemperatur 13 -14 °C</p>
Steuerung	<p>Gebäudecluster stellt Anfrage an Erdsondenfelder und enthält OK/NOK zum Einspeichern/Ausspeichern. Es gibt eine zentrale Steuerung zum Ein- und Ausspeichern, um die Jahresbilanz auszugleichen</p> <p>Es steckt viel Knowhow in der Steuerung, Cluster stellt Energieanfrage, Steuerprogramm entscheidet über Freigabe, intelligenter Algorithmus hinterlegt</p>
Wirtschaftlichkeit	<p>Investition 30-35 Mio (ca. 12 Rp / kWh f. Wärme bzw. Kälte)</p> <p>MAZ (Monatsarbeitszahl, inkl. aller Hilfsenergien, Schnittstelle Speicher) im besten Cluster (HPL) bewegte sich zw. 6-8 (COP zw. 8-10) im Jahr 2014</p>
Erfahrungen	<p>Momentan zu viel Wärme eingespeist -&gt; zu hohe Netztemperaturen im Sommer, „Bilanzausgleich“ über 3. Leiter der ehemaligen ETH-eigenen Fernkälte Rückkühler = Backup</p> <p>Bestreben weiter benachbarte Wohnblocks anzuschließen -&gt; Problem, dass Netztemperaturen nicht verbindlich zugesagt werden können Anfangs geringe Probleme wegen Verschleppung der Wärme durch Hangwasser – durch Drainage gelöst Langfristiges Ziel: Fernwärme- und Kälte abstellen und Ausgleich zwischen Wärme- und Kältebedarf herstellen. Primäres Ziel: So wenig Wärme wie möglich über Netz in Speicher zu schicken, Clusterung der Gebäude soll, sofern möglich, bereits einen Bilanzausgleich zwischen Wärme und Kälte ausgelegt sein</p>
Gebäudetechnik nach Wärmepumpe	<p>Warmwasser wird dezentral elektrisch aufbereitet Wärme Neubauten (30 °C), sanierter Altbauten (35 °C) – teilweise nur 2 K; 8 K wäre optimal</p>

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### Richti Areal Wallisellen

Motivation	Dezentrale Kälteversorgung Nutzung der Abwärme aus der Kälteproduktion durch saisonale Speicherung Bereitstellung des Anergienetzes, nicht der Wärmeerzeuger und –verbraucher Wärmenetz gehört anteilig den Wohnungseigentümern
Areal	Gemische Nutzung (Wohnen, Dienstleistung und Gewerbe) auf 72 000 m <sup>2</sup> 7 Baufelder 5 davon reine Wärmebezügler, 2 liefern auch Wärme (Rechenzentren) 1 Erdsondenspeicher mit 4 Teilfelder ohne Pumpen und ohne Wärmetauscher, hydraulisch direkt gekoppelt
Energieumsatz	5,7 GWh Wärme pro Jahr 6 GWh Kälte pro Jahr Ca. 650 kW Übergabe beim Plattenwärmetauscher pro Heizzentrale
Wärmequellen	Kältebedarf für 2 Rechenzentren Wohnraumkühlung über „free cooling“, wird vertraglich nicht garantiert
Wärmesenken	Gebäudeheizung
Bilanzausgleich / Backup	Bilanz ist im Mittel relativ ausgeglichen (Defizit 200 MWh) Gasheizung bei manchen Wohnungen vorhanden, andere ohne Backup
Leitungsnetz	2-Leiternetz (Warm- Kaltleiter) Außerhalb Gebäude PE-Leitungen, in Zentralen Stahlleitungen Rohre erdverlegt, ohne Dämmung Stichleitung mit Speicher am Anfang der Leitung Keine Hauptpumpe im Netz, es gibt nur dezentrale Pumpen bei allen Verbrauchern Dimensionierung erfolgte nicht auf die kumulierte Spitzenleistung des Energieumsatzes, um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Kein Peakshaving
Speicher	Sondenfelder befinden sich unter Tiefgarage Monitoring Bodentemperatur in 20 m Tiefe zur Speicherüberwachung Rückkühler am Hochhausdach des Allianzgebäudes zur Regeneration des EWS-Feldes. Leistung: 1.1 MW, Nasskühltürme Wärmeentzug: Bandlast 25 W/lfm, nominal 50 W/lfm, maximal 75 W/lfm 220 Sonden, Tiefe 225 m, 5 m Rasterabstand
Wärmepumpe	Plattenwärmetauscher ist Schnittstelle, Wärmepumpe wird nicht vom Netzbetreiber kontrolliert
Hydraulik	Plattenwärmetauscher hat Bypassschaltung, entweder Heiz- oder Kühlbetrieb Keine Strömungsumkehr im Plattenwärmetauscher, Richtungsumkehr durch Speicher oder Stichleitung

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Temperatur	<p>Wärmepumpen (Wärmesenken) und dezentrale Einspeiser stellen Temperaturdifferenz von 4 K sicher.</p> <p>Netztemperaturen ergeben sich aus dem SONDENSPEICHER.</p> <p>Tiefste Temperaturen Ende Heizperiode, Ende Sommer höchste Netztemperaturen gegen 25 °C</p> <p>4 °C Minimum im Anergienetz bzw. 6 °C auf Gebäudeseite</p> <p>Tiefste Temp.: 10/6 °C, Höchste Temperaturen: Juli: 22/18 °C (Auslegung)</p> <p>Ungestörte Bodentemperatur 20 °C</p>
Steuerung	<p>Gebäudecluster stellt Anfrage an zentralen Energiemanager und erhält Freigabe, wenn die Limits eingehalten werden. Zeitweise Sperrung einzelner Bezüger wird anhand Nutzungsvereinbarung geregelt. Thermische Trägheit gut gedämmter Neubauten ermöglicht dies ohne Nutzer einzuschränken.</p> <p>Es gibt eine zentrale Steuerung zum Ein- und Ausspeichern, um die Jahresbilanz auszugleichen</p>
Wirtschaftlichkeit	Keine Angaben zum COP der Wärmepumpen beim Netzbetreiber vorhanden
Erfahrungen	<p>Solarthermie ist für Regeneration des Speichers nicht wirtschaftlich</p> <p>Jede Wohnung hat Anteil am Anergienetz in Form einer unterfertigten Nutzungsverordnung, die festlegt, wieviel Wärme und Kälte maximal bezogen werden dürfen. In Zukunft könnte es Schwierigkeiten geben die Jahresbilanz einzuhalten, da die Nutzungsverordnungen relativ flexibel sind.</p> <p>Die Nennleistungen stimmen im Betrieb nicht mit Plangrößen überein.</p> <p>Nicht optimal für die Netzbetreiber ist, dass Wärmetauscher die Schnittstelle ist, keine Kontrolle über die Wärmepumpen</p>
Gebäudetechnik nach Wärmepumpe	Wärmetauscher ist Schnittstelle, keine Kontrolle über Wärmepumpe durch Netzbetreiber

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### Familienheim Genossenschaft Zürich (FGZ)

Motivation	Effizientes Heizsystem für zahlreiche Gebäude(-komplexe) mittels kostenloser Abwärme der Swisscom (später auch Credit Swiss)
Areal	Realisiert: 2300 Wohneinheiten Bei Inbetriebsetzung: Stichleitung mit 1 Erdspeicher, 1 Abwärmequelle und 2 Energiezentralen mit Wärmepumpen Endzustand (ca. 2050): Ringleitung mit 4 Erdspeicher, 2 Abwärmequellen und 9 Energiezentralen mit Wärmepumpen
Jahresenergieumsatz	35 GWh Wärme, soll bis 2050 auf 15 GWh reduziert werden 80 GWh Kälte
Wärmequellen	Kältebedarf für Rechenzentrum der Swisscom. Credit Swiss wird im 2. Bauabschnitt eingebunden
Wärmesenken	Gebäudeheizung
Bilanzausgleich/ Backup	Heizkessel zur Spitzenlastabdeckung (1 Woche) und Backup. Öl/Gas Bestand bleibt, keine Einspeisung ins Anergienetz
Leitungsnetz	2-Leiter (Warm- Kaltleiter) DN 500 aus PE  Erdverlegt in 1 m Tiefe Verlegung durch eigene Grundstücke Durchschnittliche Verlegekosten inkl. Straßendurchgänge, komplett 2 Rohre und Leerrohr: 2600 CHF/lfm 2 h Speicherkapazität 60 m geodätische Höhendifferenz
Speicher	5 Teilfelder 150 Sonden, 250 m tief, 5 m Rasterabstand Teilfelder durch Klappen regelbar Weitere 180 Sonden sind unter Neubauten geplant 80 CHF/lfm Sonde Wasserzutritte beim Bohren der Sonden, z.Z. keine Probleme mit Grundwasserverschleppung bekannt Auslegung erfolgte auf Sommerabwärme, um die gesamte Wärme zwischenspeichern zu können Thermal Response Test wurde durchgeführt
Wärmepumpe	JAZ 4,5  Ammoniakwärmepumpe, Vorlauftemperatur 67 °C

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

	<p>2 MW, versorgt großen Gebäudeverband mit hoher Temperatur (65 °C) Für Heizung und Brauchwarmwasser Neue WP für Neubau werden kleiner (300 - 1000 kW) ausgeführt (30 °C)</p>
Hydraulik	<p>Expansionsgefäß im Warmleiter 1000 m<sup>3</sup> Wasser in Leitungen Maximaler Durchfluss 6 m<sup>3</sup>/min Wärme wird zuerst direkt zu Nutzer geleitet, wird sie nicht benötigt, fließt sie in den Erdspeicher</p>
Temperatur	<p>Minimale Netztemperatur: 4 °C, maximale Netztemperatur: 27 °C</p>
Wirtschaftlichkeit	<p>Investition 42 Mio CHF, 10 % Förderungen Anergienetz, Verteiler, Wärmepumpen, Quellenbindung, Erdspeicherspeicher Sanierung/Umbau Heizzentralen nicht enthalten Wärmekosten: 0,18 CHF/kWh Abwärme wird unentgeltlich dem Anergienetz überlassen, entsprechend ist der Kältebezug kostenlos Amortisationsdauer: 25 Jahre</p>
Erfahrungen	<p>Moderate Wohnraumkühlung ist für Speicherbilanz nicht relevant Gusseisenrohre unpraktisch, daher Umstellung auf PE-Rohre</p>
Gebäudetechnik nach Wärmepumpe	<p>Brauchwasseraufbereitung erfolgt im Neubau mit Abluftwärmepumpen, im Altbau mit Ammoniakwärmepumpe (2 T-Niveaus) 65 °C</p>

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### Suurstoffi

Motivation	CO <sub>2</sub> -Neutralität und Energieautarkiegedanke im Sinne der Energiewende in der Schweiz 2020 „Zero-Zero“ Strategie von Zug Estates, mit dem Ziel das gesamte Immobilienportfolio ohne CO <sub>2</sub> Emissionen und möglichst ohne zusätzliche Energiezufuhr von außen.
Areal	Realisiert: ca. 575 Bewohner, ca. 400 Arbeitsplätze Endausbau: 1500 Bewohner, 2000 Arbeitsplätze Stichleitung mit 1 Erdsondenfeld und PVT-Modulen auf Dächern
Jahresenergieumsatz	Gesamtverbrauch: 5 GWh 5 MW Spitzenleistung
Wärmequellen	PVT-Module auf Dächern und „free cooling“ Abwärmenutzung war geplant, bis jetzt keine geeigneten Quellen identifiziert Mögliche Quellen: Umspannwerk SBB (Problem mit Kriechströme) und Kanalabwärme
Wärmesenken	Gebäudeheizung
Bilanzausgleich/ Backup	Backup erfolgt elektrisch, früher durch Biomasseheizkessel
Leitungsnetz	2-Leiter (Warm- Kaltleiter)  PE Rohre, erdverlegt Leitungsquerschnitte zwischen 150 mm und 400 mm Verzweigte Stichleitung Gesteuertes bidirektionales Netz mit Umwälzpumpe bei Erdspeicher
Speicher	Gesamt 3 Sondenfelder geplant Bereits gebaut: Erdspeicher Mitte mit 220 Sonden, 150 m Tiefe, 2 GWh Speicherkapazität  In Bau: Erdspeicher Ost mit 180 Sonden, 300 m Tiefe, 3 GWh Speicherkapazität Erdsonden sind auf Grund besserer Zugänglichkeit unter Freiflächen lokalisiert
Wärmepumpe	Brauchwassererwärmung erfolgt über kaskadische Wärmepumpe
Hydraulik	Pumpen befinden sich bei den Verbrauchern (Wärmepumpen) und es gibt zusätzliche Pumpen bei den Sondenfeldern Gleichzeitiges Be- und Entladen des Netzes möglich
Temperatur	Im Wohnraum werden 24 °C Raumtemperatur garantiert.
Wirtschaftlichkeit	COP 5 - 6

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

Erfahrungen	Etwaige Probleme in der Planung oder Umsetzung wurden nicht angesprochen
Gebäudetechnik nach Wärmepumpe	Sekundärseitiger Kurzzeitspeicher für Heizung und Brauchwasser (zwei Druckniveaus)

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG



## **A4 ANHANG 4: Hydraulischer Einfluss auf bestehende Wasserrechte**

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

### Hydraulischer Einfluss auf die bestehenden Grundwassernutzungen aus dem Wasserbuch, Stand 4.5.2016, bei einer Brunnendublette am Gelände Oase22+ für unterschiedliche Pumpraten

Bezeichnung	Kat	Spiegeländerung in Meter bei Pumprate			Legende:
		10 l/s	20 l/s	30 l/s	
<i>Grundwassernutzung für thermische Zwecke</i>					
5546_THNE	THNE	-0,053	-0,106	-0,160	THNE Thermische Nutzung Entnahme
5705_THNV	THNV	-0,046	-0,092	-0,139	THNV Thermische Nutzung Versickerung
5705_THNE	THNE	-0,043	-0,086	-0,130	NWE Nutzwasser Entnahme
4564_THNV	THNV	-0,014	-0,028	-0,042	EWS Erdwärmesonde
5063_THNV	THNV	-0,011	-0,022	-0,033	
5062_THNE	THNE	-0,010	-0,020	-0,030	
4498_THNV	THNV	-0,007	-0,014	-0,021	
4497_THNE	THNE	-0,007	-0,013	-0,020	
5559_THNV	THNV	0,001	0,002	0,003	
5559_THNE	THNE	0,001	0,003	0,004	
5026_THNV	THNV	0,005	0,010	0,015	
2597_THNV	THNV	0,005	0,010	0,015	
5025_THNE	THNE	0,006	0,011	0,017	
2596_THNE	THNE	0,006	0,013	0,019	
5587_THNE	THNE	0,017	0,034	0,051	
5587_THNV	THNV	0,017	0,034	0,051	
5341_THNE	THNE	0,018	0,035	0,053	
5342_THNV	THNV	0,018	0,037	0,055	
<i>Grundwassernutzung für Nutzwasser-Zwecke und Erdsonden</i>					
5590_NWE	NWE	-0,072	-0,144	-0,218	
6073_NWE	NWE	-0,061	-0,123	-0,185	
2290_NWE	NWE	-0,031	-0,063	-0,094	
4581_NWE	NWE	-0,022	-0,045	-0,067	
4673_NWE	NWE	-0,021	-0,042	-0,063	
1731_NWE	NWE	-0,019	-0,038	-0,057	
3957_NWE	NWE	-0,016	-0,032	-0,048	
4563_NWE	NWE	-0,015	-0,029	-0,044	
4563_NWE	NWE	-0,014	-0,029	-0,043	
4563_NWE	NWE	-0,014	-0,028	-0,042	
1904_NWE	NWE	-0,009	-0,018	-0,028	
4519_NWE	NWE	-0,009	-0,017	-0,026	
4479_NWE	NWE	-0,007	-0,014	-0,020	
5749_NWE	NWE	-0,002	-0,003	-0,005	
V.Z.349_EWS	EWS	-0,001	-0,002	-0,003	
4614_NWE	NWE	-0,001	-0,001	-0,002	
V.Z.535_EWS	EWS	0,002	0,004	0,006	
V.Z.848_EWS	EWS	0,004	0,007	0,011	

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

V.Z.333_EWS	EWS	0,005	0,011	0,016
1843_NWE	NWE	0,006	0,012	0,018
4318_NWE	NWE	0,007	0,014	0,021
4042_NWE	NWE	0,008	0,015	0,023
4951_NWE	NWE	0,008	0,016	0,024
4318_NWE	NWE	0,009	0,017	0,026
3588_NWE	NWE	0,009	0,018	0,027
5228_NWE	NWE	0,011	0,022	0,033
3010_NWE	NWE	0,015	0,030	0,046
V.Z.16_EWS	EWS	0,018	0,036	0,054
5782_NWE	NWE	0,051	0,102	0,153
5750_NWE	NWE	0,058	0,115	0,172
5425_NWE	NWE	0,067	0,134	0,200

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft  
FFG

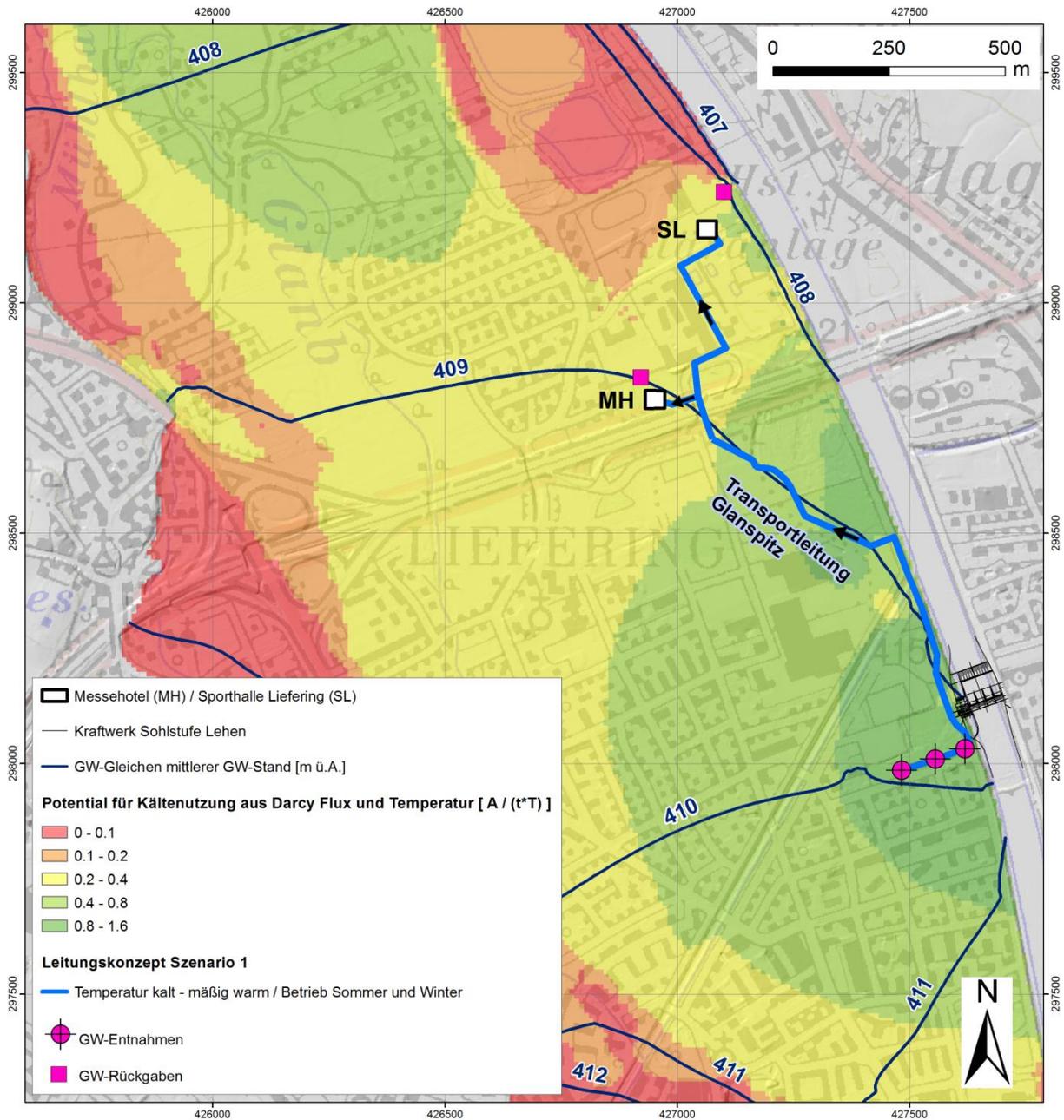


## **A5 ANHANG 5: Modellszenarien am Pilotgebiet Salzburg mit Darstellung der thermischen Potentialkarten**

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

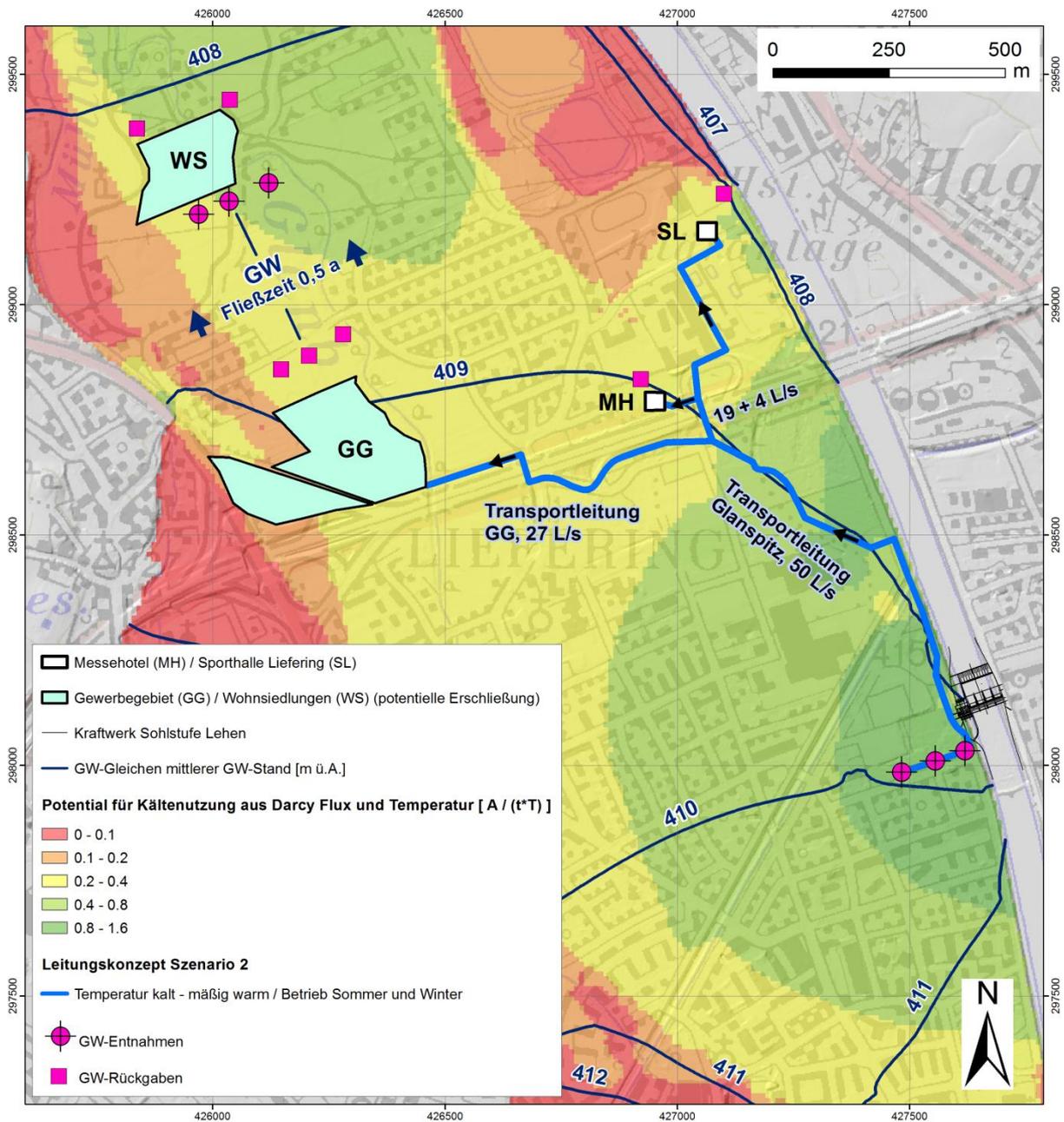
## Modellierungsszenarien 1a und 1b



# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

## Modellierungsszenario 2



# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

## Modellierungsszenario 3

