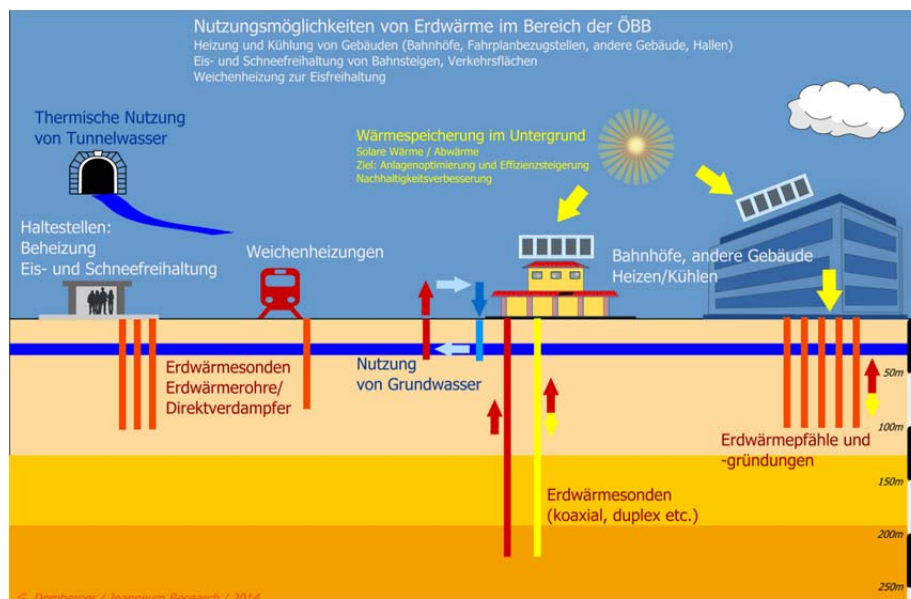


Potenzialanalyse und Umsetzungsmöglichkeiten geothermischer Energie im Bereich der Infrastruktur der ÖBB INFRAplusGEO

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung 2011
(VIF2011)

September 2014





Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Renngasse 5
A - 1010 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
A - 1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A - 1010 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH
RESOURCES
Elisabethstrasse 18
8010 Graz



Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Bereich Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien





Potenzialanalyse und Umsetzungsmöglichkeiten geothermischer Energie im Bereich der Infrastruktur der ÖBB INFRAplusGEO

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2011)

AutorInnen:

DI Gunnar DOMBERGER

Ing. Anton WENZEL

DI (FH) Stefan GUNCZY

DI Kurt Könighofer

DI (FH) DI Johanna PUCKER

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

INHALTSVERZEICHNIS

1	Projektziele.....	7
2	Projekttablauf	9
3	Projektrahmenbedingungen	10
4	Geothermisches Potenzial	11
4.1	Beschreibung des geothermischen Potenzials nach Tiefenlage und Nutzungsart.....	11
4.1.1	Gliederung hinsichtlich der Tiefenlage der geothermischen Energiequelle	11
4.1.2	Gliederung nach der Nutzungsart bzw. Art der geothermischen Quelle.....	12
4.1.3	Oberflächennahe Erdwärme	13
4.1.4	Mitteltiefe Erdwärme.....	14
4.1.5	Tiefe Erdwärme	14
4.2	Nachhaltigkeit der Nutzung von Erdwärme	15
5	GIS, Datengrundlagen	16
5.1	Verwendete Software	16
5.1.1	Geografisches Informationssystem - GIS.....	16
5.1.2	Wärmehaushaltssimulation	16
5.2	Datenerhebung, Datengrundlagen	16
5.2.1	Geografische Basisdaten	17
5.2.2	Geologische Karten.....	17
5.3	Infrastrukturelle Rahmenbedingungen	18
5.3.1	Streckenverläufe und Tunnel	18
5.3.2	Standorte der Bahnhöfe, Haltestellen und andere Betriebsstellen der ÖBB	19
5.3.3	Grundstücke im Eigentum der ÖBB	20
5.3.4	Gebäude- und Anlagenbestand im Bereich der ÖBB	21
5.3.4.1	Anlagendatenbank	21
5.3.4.2	Gebäudestand	26
5.3.4.3	Gebäude- und Objektdatenbank.....	26
5.3.5	Weichenheizungsbestand im Bereich der ÖBB	29
5.3.6	Energieausweise	31
6	Nutzungsmöglichkeiten – Technische Prinzipien	32

6.1	Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme	32
6.1.1	Erdwärmekollektoren.....	33
6.1.2	Erdwärmesonden, Erdwärmesondenfelder.....	34
6.1.3	Erdwärmerohre - Pumpenlose Erdwärmesonden	38
6.1.4	Energiepfähle bei Baugründungen.....	39
6.1.5	Massivabsorber	41
6.2	Nutzung von Erdwärme mit Wasserentnahme aus Untergrund.....	41
6.2.1	Grundwassernutzung	41
6.2.2	Nutzung von Tunnelwasser.....	43
6.2.2.1	Bosruck-Eisenbahntunnel.....	46
6.2.2.2	Karawanken-Eisenbahntunnel	48
6.2.2.2.1	Wasserführung.....	49
6.2.2.2.2	Gesteinstemperaturen	50
6.2.2.2.3	Realisierte Nutzung auf österreichischer Seite des Eisenbahntunnels.....	51
6.2.2.2.4	Derzeitige Wasserableitungseinrichtungen	52
6.2.2.3	Karawanken-Autobahntunnel	53
6.2.3	Tunnelwassernutzung in der Schweiz.....	54
6.3	Saisonale Speicherung von Wärme im Untergrund	55
6.4	Indirekte Nutzung der Erdwärme mit Wärmepumpe	56
7	Projektbeispiele	61
7.1	Projektbeispiele im Bereich der ÖBB	61
7.1.1	Sportmittelschule Penzing.....	61
7.1.2	Erdwärmenutzung – Hauptbahnhof Wien	63
7.1.3	Kombinierte Erdwärmenutzung - Bahnhof Attnang-Puchheim	63
7.1.4	Erdwärmenutzung - Hauptbahnhof Salzburg	65
7.1.5	Tunnelwassernutzung - Bahnhof Weststeiermark	66
7.2	Projektbeispiele (nicht ÖBB)	66
7.2.1	Projektbeispiel Crailsheim (Deutschland).....	66
7.2.2	Projektbeispiel - Eis- und Schneefreihaltung - Bad Lautenberg – Haltepunkt Barbis (Deutschland).....	68

7.3	Projektbeispiele/Fachexkursion – Geothermische Energie für Weichenbeheizung	71
7.3.1	Exkursionsinhalt und Reiseziele.....	71
7.3.2	Weichenheizung mit CO ₂ -Erdwärmerohren– Hamburger Hafenbahn	71
7.3.3	Weichenheizung – Deutsche Bahn – Bahnhof Farchant	75
7.3.3.1	Einleitung, Lagebeschreibung	75
7.3.3.2	Geologische Rahmenbedingungen.....	76
7.3.3.3	Weichenheizung -Systembeschreibung	77
8	Analyse der Einsatzmöglichkeiten von Erdwärme im Bereich der ÖBB	80
8.1	Oberflächennahe Erdwärme - Gesamtpotenzial	80
8.2	Heizen von Bahnhofsgebäuden, Haltestellen und anderen Objekten der ÖBB	80
8.2.1	Bauliche Voraussetzungen für die Erdwärmenutzung in Gebäuden	80
8.2.1.1	Betonkernaktivierung.....	82
8.2.1.2	Matten und Panele.....	83
8.2.2	Bahnhöfe, Haltestellen, wohnraumähnliche Objekte	84
8.2.3	Hallen im Bereich der ÖBB	86
8.3	Heizung und Kühlung – Kombinierte Nutzung	88
8.4	Wärmespeicherung im Untergrund	90
8.5	Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen und Freiflächen	90
8.6	Beheizung von Weichen zur Eis- und Schneefreihaltung	92
9	Bearbeitungsmethodik	94
9.1	Analyse der ÖBB-Infrastruktur mit Wärme- oder Kältebedarf	97
9.1.1	Gebäude und Objekte	99
9.1.2	Gebäudenettogrundflächen.....	101
9.1.3	Weichenheizungen.....	101
9.1.4	Heiz- und Kühlanlagen	102
9.2	Geothermisches Potenzial	102
9.2.1	Grundlegende Bemerkungen	103
9.2.2	Bewertungsmaßstab, Detaillierungsgrad	103
9.2.3	Geologische Informationen	104
9.3	Thermische Gesteinsparameter	104

9.3.1	Wärmeleitfähigkeiten	106
9.3.2	Spezifische Wärmespeicherkapazitäten	106
9.3.3	Natürlicher Erdwärmefluss	108
9.4	Hydrogeologische Standorteignung	108
9.5	Solarthermisches Potenzial (Solarstrahlung, Globalstrahlung).....	110
9.6	Wärmebedarfsanalyse	111
9.6.1	Wärmebedarf - Grundlagen.....	112
9.6.2	Wärmebedarf - Berechnung und Ergebnisdarstellung	112
9.7	Umsetzungsanalyse	113
9.7.1	Filtersetzung (Standortselektion).....	114
9.7.1.1	Standortkriterien für die Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund.....	114
9.7.1.2	Standortkriterien für die geothermische Nutzung von Grundwasser.....	115
9.7.2	Ergebnisdarstellung.....	116
10	Identifikation von zielführenden Nutzungsmöglichkeiten	119
10.1	Nutzungsmöglichkeiten	119
10.2	Analyse von günstigen Standorten.....	119
10.2.1	ÖBB-Betriebsstellen mit günstigen Standorteigenschaften für die thermische Grundwassernutzung	120
10.2.2	ÖBB-Betriebsstellen mit günstigen Standorteigenschaften für die Nutzung der Erdwärme ohne Wasserentnahme	122
11	Exemplarische Pilotplanungen	124
11.1	Einleitung - Pilotplanungen.....	124
11.2	Erforderliche Planungsgrundlagen	125
11.3	Monitoring.....	129
11.4	Pilotplanung 1 – Simulation von Wärmespeicherung im Untergrund mit Erdwärmesonden - Exemplarischer Standort Raum Graz.....	131
11.4.1	Ausgangslage, Grundlage.....	131
11.4.2	Methodik	133
11.4.3	Anlagenannahme, Modellbeschreibung	134
11.4.4	Simulationsergebnisse	135

11.4.4.1	Simulation des Erdwärmesondenfeldes ohne Wärmespeicherung.....	135
11.4.4.2	Simulation des Erdwärmesondenfeldes mit Wärmespeicherung.....	138
11.4.4.3	Vergleich der Ergebnisse der beiden Simulationsszenarien	141
11.5	Pilotplanung 2 – Bahnhof Aspang-Markt.....	142
11.5.1	Geologisch-hydrogeologische Rahmenbedingungen	142
11.5.2	Anlagenbeschreibung.....	143
11.6	Pilotplanung 3 – Thermische Nutzung des Grundwassers zur Beheizung - Exemplarischer Standort Hallein	145
11.6.1	Geologisch-hydrogeologische Rahmenbedingungen	145
11.6.2	Anlagenbeschreibung.....	146
11.6.3	Nutzungskonzept.....	147
11.7	Ökonomische und ökologische Rahmenbedingungen der Pilotplanungen.....	148
11.7.1	Ökonomische Rahmenbedingungen	148
11.7.2	Ökologische Rahmenbedingungen	152
11.7.2.1	Methodik	152
11.7.2.2	Untersuchte Umweltwirkungen.....	153
11.7.2.3	Datenbasis der ökologischen Bewertung.....	155
11.7.2.4	Ergebnisse	155
12	Wasserwirtschaftliche Grundsätze, wasserrechtliche Aspekte	159
12.1	Wasserwirtschaftliche Relevanz, Umweltwirkungen	159
12.2	Allgemeine wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmennutzungen im oberflächennahen Bereich.....	159
12.3	Mögliche negative Veränderungen der Grundwasserkörper und des Untergrundes.....	161
12.4	Wasserrechtliche Rahmenbedingungen, Wasserrechtsgesetz WRG.....	161
12.4.1	Anlagen mit einer thermischen Nutzung des Grundwassers	162
12.4.2	Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes ohne Wasserentnahme (Erdwärmesonden, Energiepfähle)	163
12.5	Erforderliche Planungsgrundlagen	164
12.5.1	Allgemeine Planungsaspekte für die Nutzung von oberflächennaher Geothermie	165
12.5.2	Planungsaspekte - Erdwärmesonden und Energiepfähle	165
12.5.3	Planungsaspekte - Direkte Nutzung von Grundwasser	167



12.6	Wasserrechtliche Ablehnungsgründe einer geplanten Anlage	168
12.7	Umsetzungsstand in den einzelnen Bundesländern	169
13	Zusammenfassung	172
14	Literaturverzeichnis	175
15	Abbildungsverzeichnis.....	178
16	Tabellenverzeichnis.....	183
17	Abkürzungsverzeichnis	185

1 PROJEKTZIELE

Ziel des Projektes INFRAplusGEO war die Erfassung und Darstellung der Potenziale und der realistischen (technisch, ökonomisch, ökologisch, betrieblich) Möglichkeiten im Bereich der Infrastruktur der ÖBB geothermische Energie zu nutzen. Dafür wurden die Infrastruktur und die geothermischen Potenziale mit Hilfe eines geografischen Informationssystems (im folgenden GIS abgekürzt) analysiert und Pilotplanungen für besonders zielführend erscheinende Nutzungsmöglichkeiten erarbeitet.

Innerhalb des Projektantrages von INFRAplusGEO waren folgende Arbeitspakete vorgesehen, die im Rahmen der Projektbearbeitung auch entsprechend berücksichtigt wurden:

- AP2: Erfassung der Infrastruktureinrichtungen (Standort, energietechnische Eigenschaften)
- AP3: Ermittlung des geothermischen Potenzials im Bereich der Infrastruktur
- AP4: Energiebedarf und Einsatzmöglichkeiten (als Verschneidung der Informationen in AP2 und AP3)
- AP5: Identifikation von zielführenden Nutzungsmöglichkeiten
- AP6: Pilotplanungen

Die Projektbearbeitung erfolgte entsprechend den verfügbaren Datensätzen und Grundlagedaten der ÖBB (Infrastruktur und Energiedaten). Auf Basis der infrastrukturellen Gegebenheiten und energietechnischen Rahmenbedingungen der ÖBB erfolgte eine umfassende, bundesweite Übersichtsanalyse des vorhandenen geothermischen Potenzials und der Nutzungsmöglichkeiten von Erdwärme im Bereich der ÖBB.

Die modulartige Bearbeitung in Datenbanken und im GIS erfolgte entsprechend dem Projektantrag gemäß folgendem Ablauf:

- Auflistung und geografische Zuordnung der Infrastruktureinrichtungen (Bahnhöfe, Haltestellen, Gebäude, beheizte Weichen etc.) der ÖBB (als GIS-basierte Datenbank organisiert: „INFRAGIS“) gemäß Projektantrag - AP2.
- Systematische Ermittlung und Darstellung des geothermischen Potenzials (GIS-basierte Datenbank „GEOPOT“) gemäß Projektantrag - AP3



- Ermittlung des Einsatzpotentials und der Einsatzmöglichkeiten geothermischer Energie. Ergebnis ist eine GIS-basierte Datenbank „GEODEMAND“, gemäß Projektantrag - AP4
- Identifikation von zielführenden Nutzungsmöglichkeiten (Ausschluss von Nutzungsmöglichkeiten, deren Einsatz aus technischen, ökonomischen, ökologischen, betrieblichen oder rechtlichen Gründen nicht zielführend ist) und Abschätzung des Einsatzpotentials. (gemäß Projektantrag - AP5)
- Pilotplanungen anhand von standortspezifischen Szenarien an exemplarischen Standorten (gemäß Projektantrag - AP6)

Die Arbeiten wurden von der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH in Graz durchgeführt.

2 PROJEKTABLAUF

Die ursprüngliche Laufzeit des Projektes war von Juli 2012 bis Juni 2014 mit 24 Monaten geplant. In Abstimmung mit der Projektkoordination der ÖBB erfolgte eine 2-monatige Projektverlängerung bis 31.8.2014.

Der organisatorische Projekttablauf ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Projektereignis	Datum	Ort
Projektstart	01.07.2012	-
1. Projektbesprechung	10.08.2012	ÖBB-Wien
2. Projektbesprechung	07.12.2012	ÖBB-Wien
3. Projektbesprechung	04.06.2013	ÖBB-Linz
Zwischenbericht	30.06.2013	-
Fachexkursion - Geothermische Weichenheizung	3.3.2014 - 5.3.2014	Hamburg, Farchant
4. Projektbesprechung / Abschlussworkshop	11.08.2014	ÖBB-Wien
Projektende, Berichtlegung	31.08.2014	-

Tabelle 1: Organisatorischer Projekttablauf

3 PROJEKTRAHMENBEDINGUNGEN

Ausgangspunkt des Projektes INFRAplusGEO ist das Bestreben der ÖBB, den Anteil des Einsatzes erneuerbarer Energieformen unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu erhöhen. Die grundsätzlichen Vorstellungen dazu sind auch im Nachhaltigkeitsbericht 2010 der ÖBB (siehe Abbildung 1) zusammengefasst. In diesem Bericht sind auch Hinweise auf die Nutzung von Erdwärme hervorgehoben.

In einigen Infrastrukturprojekten der ÖBB (siehe Kapitel 7.1) wurde die Nutzung von Erdwärme bereits geplant und umgesetzt. Im Projekt INFRAplusGEO erfolgt eine österreichweite Beurteilung der Nutzungsmöglichkeiten von Erdwärme im Bereich der ÖBB-Infrastruktur potenziellseitig und bedarfsseitig.

Die Energie effizient einsetzen

Die ÖBB möchten mit möglichst wenig Energie möglichst weit kommen. Gelingen soll das unter anderem mit dem Einsatz erneuerbarer Energie, thermischer Sanierung und Spritspartrainings.

Effizienter Umgang mit Energie ist ein Gebot der Stunde. Denn die Energiepreise steigen und steigen – genauso wie der Kostendruck der Unternehmen. Einer der großen Vorteile der ÖBB gegenüber anderen Verkehrsmitteln ist die Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energieträgern für den Antrieb der Züge. 93 Prozent der ÖBB-Traktionsenergie sind „sauberer Strom“. Aber auch in anderen Bereichen des Konzerns ist Energieeffizienz ein Thema. 2011 wurde ein konzernweites Energiesparprojekt gestartet, um die Bemühungen der letzten Jahre zu bündeln und den effizienten Umgang mit Energie weiterhin zu forcieren. Die ÖBB unterstützen seit Jahren auch die klima:aktiv-Initiative.

So gibt es beispielsweise spezielle Trainings für Lenker von Bussen, Pkws und Lkws, die dazu beitragen sollen, Treibstoff zu sparen – und damit auch CO₂ und Geld. 2009 wurden an zwölf Schulungstagen 153 Teilnehmer (nur Pkw-Lenker) geschult, und 2010 haben sich 157 Teilnehmer (Pkw- und Lkw-Lenker) informieren und schulen lassen. Das dabei erlangte Wissen soll auch privat angewendet werden. Der größte Spritspareffekt im ÖBB-Konzern wird aber durch die Lenker der ÖBB-Postbus GmbH erreicht. Bei über 2200 Bussen österreichweit lässt sich einiges durch spritsparende Fahrweise erreichen. So können pro Jahr circa zwei Millionen Liter Diesel – und damit be-

trächtliche Kosten – eingespart werden. Für die Umwelt bedeutet es rund 5000 Tonnen weniger an CO₂-Emissionen.

Auch mit Triebfahrzeugen kann man energiesparend fahren. Eigene Trainings für Lokführer sorgen dafür, dass der sprichwörtliche „Gasfuß“ nicht unnötig Bahnstrom verbraucht – auch hier ist vorausschauendes und bedachtes Fahren das große Geheimnis – natürlich in Abhängigkeit von der Betriebsführung am Schienennetz. Pro Jahr können so etwa 62 Gigawattstunden (GWh) an Strom eingespart werden.

Ein wichtiges Thema sind die ÖBB-eigenen Immobilien. Die ÖBB-Immobilienmanagement GmbH verwaltet derzeit im Auftrag der ÖBB-Infrastruktur AG rund 5300 Gebäude in ganz Österreich. Klimafreundliche Lösungen sind aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten gefragt. Werden bestehende ÖBB-Gebäude saniert, werden nach eingehender Analyse und Kosten-Nutzen-Kalkulation wärmedämmende und heizungstechnische Maßnahmen vom Keller bis zum Dach gesetzt. 2009 wurden in 117 Objekten Sanierungsmaßnahmen durchgeführt, im Jahr 2010 insgesamt in 84 Objekten. Die ÖBB richten aber auch neue Bahnhöfe. Bei deren Planung ist Energieeffizienz gefragt: Geothermie, Fernwärme, Fernwärme sowie ein integriertes CO₂-gesteuertes Lüftungssystem machen den Hauptbahnhof Wien zu einem energieeffizienten,



93 Prozent der ÖBB-Traktionsenergie stammen aus nachhaltigen, sauberen Quellen. Foto: ÖBB

umwelt- und ressourcenschonenden Vorzeigeprojekt. Für die optimale Wärme- und Kälteversorgung des Gebäudes soll Geothermie, also Erdwärme, zur Anwendung kommen. Die im Winter benötigte Wärme wird dem Gebäude aus der Erde zugeführt. Im Sommer wird sie dem Gebäude entzogen und in den Boden rückgeführt.

Um das Gebäude vor heißen Temperaturen zu schützen, sind circa 3500 Megawattstunden (MWh) an Kälteenergie jährlich erforderlich. Hier kommt Fernwärme zum Einsatz: Das ist Absorptions-

kälte (Kälte aus Wärme), die aus überschüssiger Wärme erzeugt wird. Dafür soll eine Fernwärmezentrale zwischen Mommsegasse und Argentinierstraße unter dem Gleistragwerk geschaffen werden. Die Verkehrsstation und der neu erschlossene Stadtteil werden so mit Fernwärme und -kälte versorgt. Bei der Frischluftzufuhr im Bahnhof kommen erstmals in einem Einkaufszentrum „CO₂-Fühler“ zum Einsatz, die die Frischluftversorgung regeln und das Shoppingcenter optimal belüften. Die Luftzu- und -abfuhr erfolgt bedarfsorien-

tiert und somit effizienter. Der CO₂-Fühler misst und regelt die Luftqualität laufend: Je mehr Kohlendioxidanteile in der Luft sind, desto mehr Frischluft wird zugeführt, um die Luftqualität zu sichern.

Zur Abdeckung des Strombedarfs der Wärmepumpen für die Geothermieanlage ist eine Photovoltaikanlage angedacht. Auf den verlängerten Bahnsteigdächern werden die technischen Voraussetzungen geschaffen, um eine solche Anlage – sofern sie sich wirtschaftlich rechnet – nachrüsten zu können. Die Wirtschaftlichkeit wird derzeit geprüft.

Thema ist auch das Kunstlicht im Freien als ein wichtiger Bestandteil der Eisenbahninfrastruktur. Beleuchtete Bahnsteige, Park & Ride-Anlagen oder Zufahrtswege erhöhen den Komfort und die Sicherheit. Werden Leuchtmittel nicht gezielt eingesetzt, geben sie ihr Licht diffus an die Umgebung ab. Der überwiegende Teil geht damit verloren, trägt zur Lichtverschmutzung bei, kostet Energie und Geld. Bedarfsorientierte Beleuchtung und gezielter Lichteinsatz sollen daher die Betriebskosten senken, das Klima schonen und auch die Lichtverschmutzung reduzieren. Bundesweit sollen in den nächsten Jahren alle ineffizienten und für nachtaktive Tiere besonders schädlichen Natriumdampf-Hochdrucklampen ausgetauscht werden. Auch in den Werkstätten der ÖBB-Technische Services GmbH sollen Energiesparpotenziale durch den Einsatz effizienterer Beleuchtungskörper gehoben werden: Eingesetzte Leuchtmittel werden erhoben, bewertet und wenn notwendig ersetzt. Auch hier ist das Ziel, neben Energie und CO₂-Emissionen vor allem Kosten zu sparen.

Abbildung 1: Auszug aus dem ÖBB-Nachhaltigkeitsbericht 2010

4 GEOTHERMISCHES POTENZIAL

4.1 Beschreibung des geothermischen Potenzials nach Tiefenlage und Nutzungsart

Grundsätzlich kann man das geothermische Potenzial nach Tiefenlage und Nutzungsart einteilen (siehe dazu Abbildung 2).

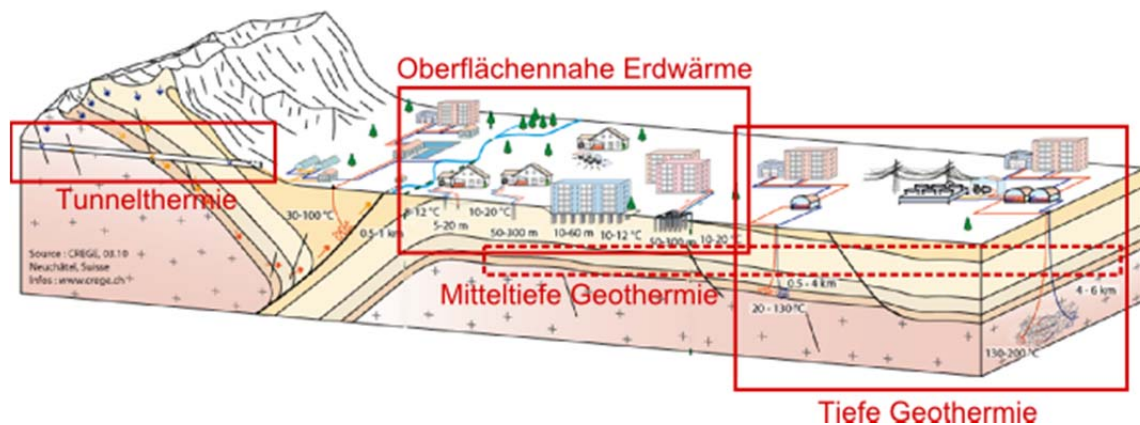


Abbildung 2: Geothermisches Potenzial –Tiefenlage und Nutzungsmöglichkeiten

4.1.1 Gliederung hinsichtlich der Tiefenlage der geothermischen Energiequelle

Mit der Tiefenlage einer Erdwärmequelle hängt meist direkt das verfügbare Temperaturniveau und die Erfordernis/Nichterfordernis des Einsatzes von Wärmepumpen im Heizungsfall zusammen, da die Temperatur mit zunehmender Tiefe ebenfalls zunimmt.

Folgende Tiefenbereiche können definiert werden:

- Oberflächennahe Erdwärme (0-200m)
Temperaturbereich bis maximal 20°C; Heizung meist mit Erhöhung des Temperaturniveaus verbunden; Kühlung
- Mitteltiefe Erdwärme (200-800m)
Begriff wird teilweise verwendet, er ist aber noch nicht allgemein etabliert
- Tiefe Erdwärme (>800m)
Thermalwassernutzung bzw. Erdwärmesondennutzung mit Hilfe von Tiefbohrungen

4.1.2 Gliederung nach der Nutzungsart bzw. Art der geothermischen Quelle

Die Nutzung von Erdwärme kann erfolgen indem entweder Grundwasser oder die im Gesteinskörper vorhandene Wärme aus dem Untergrund entnommen wird. Diese beiden Nutzungsarten können entsprechend den Tiefenlagen folgendermaßen gegliedert werden:

- Erdwärmennutzung mit Wasserentnahme aus dem Untergrund
 - Die Nutzung von Grundwasser zu Heiz- oder Kühlzwecken wird vor allem durch die Verfügbarkeit von grundwasserführenden Speichergesteinen bestimmt.
 - Thermische Nutzung von Grundwasser im Heizfall meist mit Wärmepumpenunterstützung; Grundwasser zur Kühlung mit und ohne Wärmepumpenunterstützung
 - Thermische Nutzung von Tunnelwasser; oft keine Pumpenergie erforderlich
 - Tiefe hydrothermale Geothermie (Thermalwassernutzung mit Wärmetauscher, Stromerzeugung)
- Erdwärmennutzung ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund
 - Erdwärmesonden, Erdwärmesondenfelder, Baugründungen, Baupfähle
 - Erdwärmerohre (Betriebsmittel CO₂, Ammoniak, Gasgemische)
 - Flächenkollektoren
 - Tiefe petrothermale Energie (HDR, HFR, EGS)
 - Die spezifischen Entzugsleistungen hängen sehr wesentlich vom Aufbau und den thermischen Eigenschaften des Untergrundes ab. Ein weiterer wichtiger Faktor, der die Entzugsleistungen von Erdwärmesonden mitbestimmen kann, ist das Vorhandensein natürlicher Grundwasserströmung, welche in den meisten Fällen zu einer Erhöhung der Entzugsleistung beiträgt.

4.1.3 Oberflächennahe Erdwärme

Im Rahmen der 1. Projektbesprechung am 10.8.2012 erfolgte in Abstimmung mit der ÖBB die Fokussierung des Projektes INFRAplusGEO auf die Nutzung der oberflächennahen und mitteltiefen Erdwärme.

Die oberflächennahe Erdwärmennutzung ist vor allem durch das erzielbare Temperaturniveau beschreibbar. Die Temperaturzunahme mit der Tiefe (siehe Abbildung 3) fasst die zu erwartenden Temperaturverhältnisse sehr anschaulich zusammen und zeigt die Zusammenhänge mit den jahreszeitlich bedingten Schwankungen in der seichtesten Bodenzone (bis etwa 20m unter Gelände).

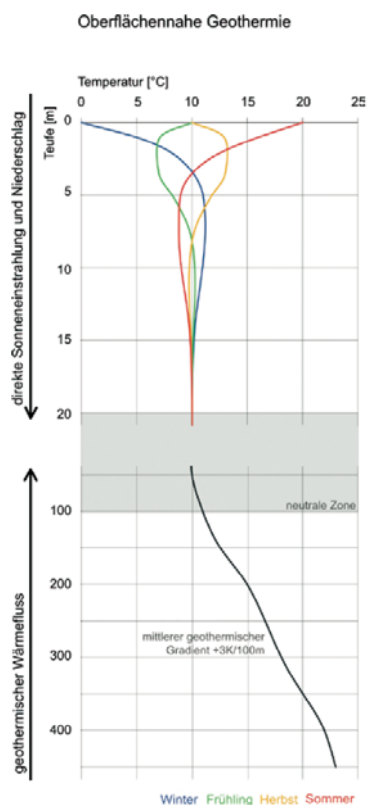


Abbildung 3: Temperaturzunahme mit der Tiefe (aus [15])

Bei der Nutzung der oberflächennahen Erdwärme sind die thermischen Untergrundeigenschaften ebenso von Bedeutung wie das verfügbare Flächendargebot. Die Flächenverfügbarkeit ist im Bereich der ÖBB oft gegeben, da z.B. Verkehrsflächen oder Bahnsteige für die Errichtung von Anlagen zur Nutzung der Erdwärme diesbezüglich

günstige Voraussetzungen bieten. Tabelle 2 fasst die möglichen Entzugsleistungen der verschiedenen Nutzungsarten zusammen.

				Leistung	
				Wärmeentzug über Wärmepumpe	Wärmeeintrag über freie Kühlung
Reiner Wärmeentzug nach VDI 4640 Anlagen < 30 kW Betriebsstunden 800 h / 2400 h	Erdsonden	schlechter Untergrund (trockenes Sediment) $\lambda < 1,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	[W/m]	25/20	–
		Normaler Festgesteins-Untergrund und wassergesättigtes Sediment $\lambda = 1,5\text{--}3,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	[W/m]	60/50	–
		Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit $\lambda > 3,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	[W/m]	84/70	–
Saisonaler Speicher	Erdsonden		[W/m]	40–80	20–60
	Energiepfähle	$\varnothing < 60 \text{ cm}$	[W/m]	40–80	20–60
		$\varnothing > 60 \text{ cm}$	[W/m ²]	40–80	20–50
	Bodenabsorber		[W/m ²]	20–50	10–30
	Brunnen		[kW/(m ³ /h)]	5–6	k. A.

Tabelle 2: Entzugsleistungen verschiedener Nutzungstechnologien von oberflächennaher Erdwärme (aus [15])

4.1.4 Mitteltiefe Erdwärme

Das mitteltiefe geothermische Potenzial besitzt im Bereich der ÖBB eventuell bei Tunnelprojekten Relevanz, da in diesen Bereichen oft Erkundungsbohrungen mit großen Tiefen vorhanden sind bzw. abgeteuft werden und diese einer geothermischen Nachnutzung zugeführt werden könnten. Eine energetische Nachnutzung dieser Erkundungsbohrungen kann z.B. in Form von Erdwärmesonden erfolgen. Eine separate Betrachtung erfolgt daher innerhalb des Projektes INFRAplusGEO nicht.

4.1.5 Tiefe Erdwärme

Die Nutzung von tiefer Erdwärme erfolgt mit Tiefbohrungen, die heiße Wasser (hydrothermale Energie) oder heißes Gestein ohne primäre Wasserführung (petrothermale Energie) aufschließen. Wärmepumpen sind für diese Nutzungen i.a. nicht

erforderlich, da das Temperaturniveau ausreichend hoch ist. Innerhalb des Projektes INFRAplusGEO wird der Bereich der tiefliegenden Erdwärme nicht betrachtet, da diese Nutzungsart nicht Gegenstand des Projektantrages war und für die ÖBB keine Relevanz besitzt.

4.2 Nachhaltigkeit der Nutzung von Erdwärme

Erdwärme wird weitgehend der Kategorie der erneuerbaren Energieformen zugeordnet. Bei strenger Auslegung des Begriffes fällt jedoch auf, dass diese Zuordnung in manchen Fällen nicht uneingeschränkt zutrifft.

Grund dafür ist der sehr geringe natürliche Wärmestrom ($0,06-0,1 \text{ W/m}^2$) vom Erdinneren an die Erdoberfläche. Es kann daher nur in einem eingeschränkten Maße von erneuerbarer Energieform und einer nachhaltigen Nutzung der Erdwärme gesprochen werden. Es ist daher außerordentlich wichtig, dass für Erdwärmeanlagen Bewirtschaftungsstrategien entwickelt und beachtet werden, die eine langfristig nachhaltige und optimale Nutzung der vorhandenen geothermischen Energie ermöglichen. Dieses grundsätzliche Erfordernis ist in jedem Fall schon bei der Anlagenplanung zu beachten.

5 GIS, DATENGRUNDLAGEN

5.1 Verwendete Software

5.1.1 Geografisches Informationssystem - GIS

Die Beurteilung des geothermischen Potenzials im gesamten Bundesgebiet von Österreich erfolgt vorrangig auf Basis von vorliegenden Studien, Publikationen, Berichten und Kartenwerken, welche im Rahmen der Erhebungsarbeiten innerhalb des Projektes INFRAplusGEO systematisch aufbereitet wurden.

Für die Bearbeitung des Projektes INFRAplusGEO war weiters die Einbindung vorliegender geologischer Karten (digital/analog) und Lagepläne erforderlich, um damit die geologischen Informationen für das gesamte Bundesgebiet systematisch zusammenzuführen.

Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes und dem umfassenden Datenbestand war eine Bearbeitung des Projektes nur mit Hilfe eines geografischen Informationssystems (GIS) möglich. Die verwendete GIS-Software war ESRI-ARCGIS 10.0 und 10.1.

5.1.2 Wärmehaushaltssimulation

Im Pilotplanungsbeispiel (siehe Kapitel 11.4) erfolgte eine Langzeit-Simulation des Wärmehaushaltes des Untergrundes am Beispiel eines Erdwärmesondenfeldes.

Um die zeitliche und räumliche Entwicklung der Gesteinstemperaturen (Abkühlung, Erwärmung) prognostizieren zu können, war die Durchführung einer instationären 3D-Simulation mit Hilfe eines Finite-Elemente-Modells erforderlich.

Dazu wurde das Software-Paket FEFLOW der Firma WASY herangezogen.

5.2 Datenerhebung, Datengrundlagen

Die gesamte Datenerhebung erfolgte durch JOANNEUM RESEARCH unter Mithilfe ÖBB-interner Dienststellen.

Folgende Datensatztypen und Inhalte wurden für die Analyse und Darstellung der ÖBB-Infrastruktur, des Wärmebedarfs und des geothermischen Potenzials erhoben und zusammengeführt:

- Geografische Basisdaten
- Geologische Karten
- ÖBB-interne Datenbankauszüge
- ÖBB-GIS-Daten

Die verwendeten Datensätze werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben.

5.2.1 Geografische Basisdaten

Zur Darstellung von Übersichtskarten auf Basis von Verwaltungseinheiten (Gemeinden) wurden im GIS folgende Rasterdatensätze und Vektordatensätze integriert und verwendet.

Verwendete Rasterdatensätze: ÖK500

Digitales Höhenmodell: NASA-DHM (95mx95m-Auflösung)

Vektordatensätze:

- Grenze Österreich inkl. Bundesländergrenzen
- Bezirksgrenzen
- Gemeindegrenzen

5.2.2 Geologische Karten

Die zentrale Basis für die bundesweite Darstellung des geothermischen Potenzials ist die geologische Übersichtskarte von Österreich im Maßstab 1:500.000 (siehe Abbildung 4). Dieser Datensatz wurde für die Projektbearbeitung als GIS-fähiger Vektordatensatz von der Geologischen Bundesanstalt angekauft.

Für die Darstellung der hydrogeologischen Standorteigenschaften wurde der Vektordatensatz der hydrogeologischen Karte von Österreich im Maßstab 1:500.000 (siehe Abbildung 77) herangezogen.

Weiters wurden bei der Geologischen Bundesanstalt online verfügbare geologische Kartenblätter für die Detailanalyse des geothermischen Potenzials hinzugezogen.

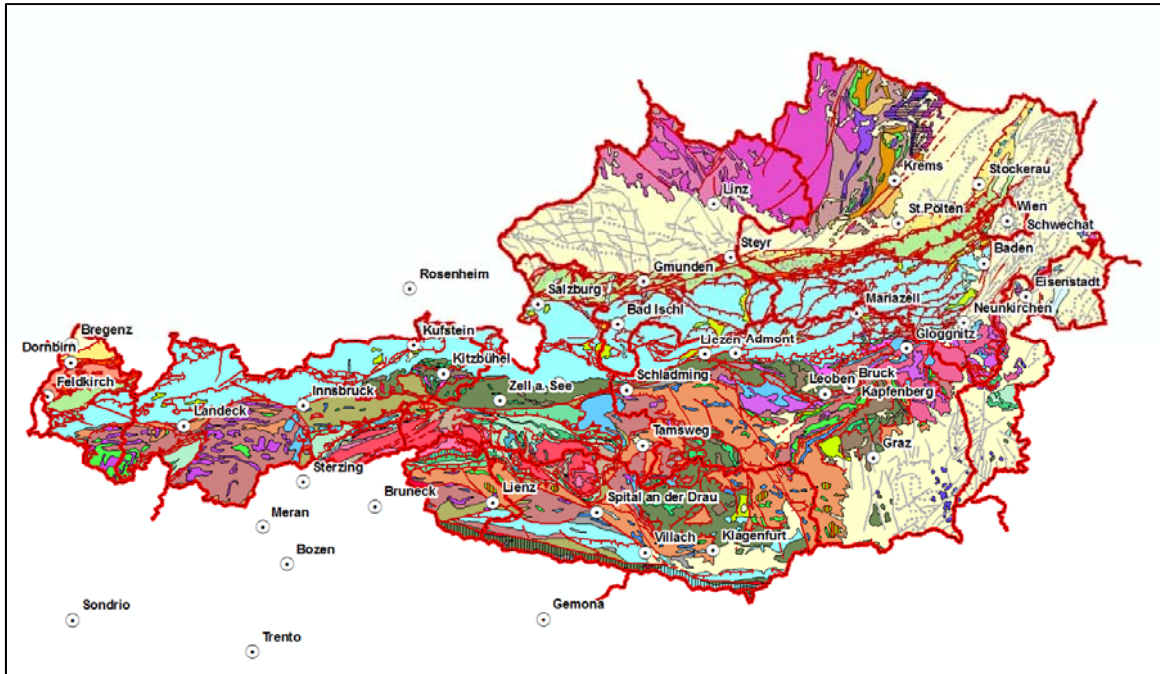


Abbildung 4: Geologische Karte von Österreich (1:500.000)

5.3 Infrastrukturelle Rahmenbedingungen

Die Nutzungsmöglichkeiten von Erdwärme sind weitgehend an die infrastrukturellen Rahmenbedingungen (Grundstücksgegebenheiten, Grundstücksverfügbarkeit, Standorte der Betriebsstellen, Energiebedarf der Betriebsstellen) im Bereich der ÖBB gebunden.

Von der ÖBB wurden die erforderlichen Datensätze hinsichtlich der infrastrukturellen Rahmenbedingungen in digitaler Form für die Projektbearbeitung zur Verfügung gestellt. Folgende Kapitel beschreiben diese Datengrundlagen.

5.3.1 Streckenverläufe und Tunnel

Abbildung 5 zeigt den Lageplan des Streckennetzes der ÖBB. Der Datensatz wurde als Vektordatensatz von der ÖBB bereitgestellt. Ein Großteil der ÖBB-Infrastruktur befindet sich naturgemäß entlang des dargestellten Streckennetzes. Darüber hinaus sind auch außerhalb der streckennächsten Bereiche infrastrukturelle Einrichtungen der ÖBB vorhanden.

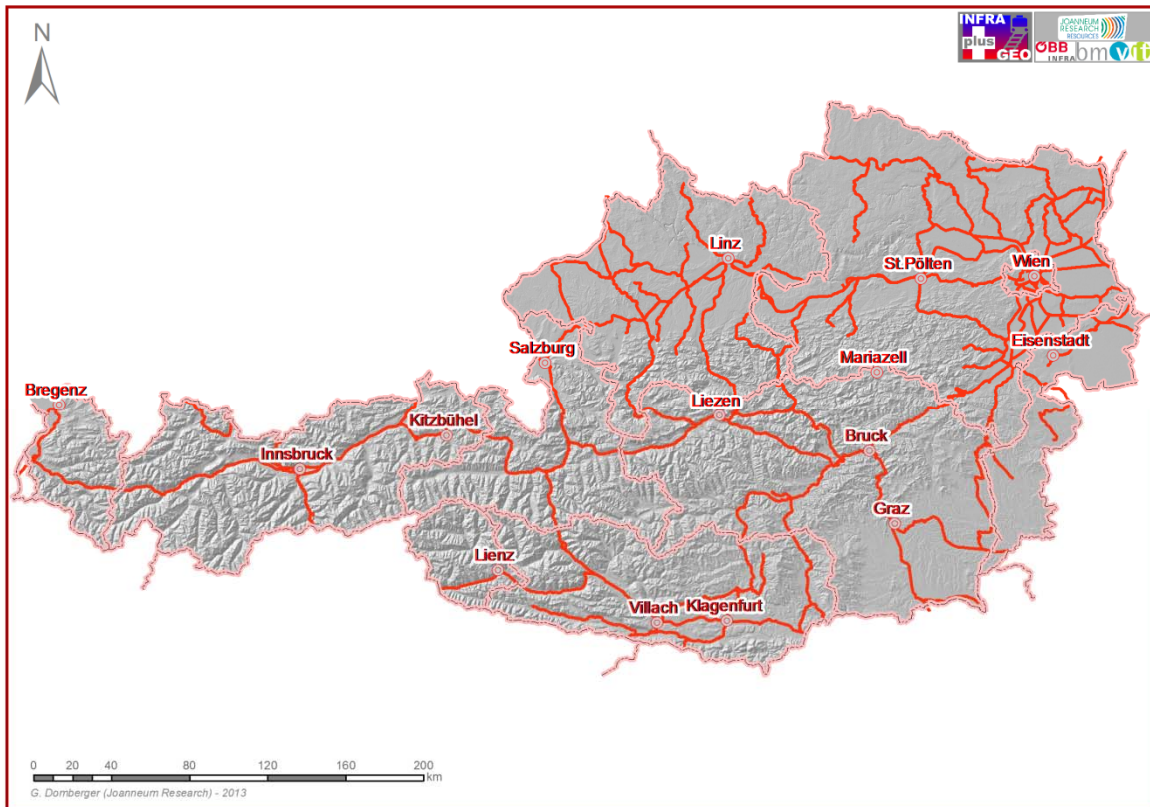


Abbildung 5: Lageplan der ÖBB-Strecken

5.3.2 Standorte der Bahnhöfe, Haltestellen und andere Betriebsstellen der ÖBB

Im Bereich der ÖBB befinden sich entlang und im Umfeld der ÖBB-Strecken Bahnhöfe, Haltestellen und andere Gebäude, die hinsichtlich des Wärmebedarfes relevant sind. Des Weiteren sind auch die mit Weichenheizungen ausgestatteten Weichen vorrangig im Bereich der ÖBB-Betriebsstellen vorhanden, was hinsichtlich des Energiebedarfes von Weichenheizungen relevant ist.

Von der ÖBB wurde ein GIS-Datensatz mit Betriebsstellen zur Verfügung gestellt, der die verschiedenen Betriebsstellentypen (siehe Tabelle 3) in einem GIS-Vektordatensatz beinhaltet.

Hinsichtlich der Möglichkeiten der Nutzung von Erdwärme wurden im Projekt INFRAplusGEO ausschließlich die in Tabelle 3 rot markierten Betriebsstellen in die Betrachtungen einbezogen. Die anderen Betriebsstellentypen (in Tabelle 3 grau hinterlegt) haben für die energetische Nutzung von Erdwärme nur untergeordnete

Relevanz und wurden daher in die Bedarfsanalysen nicht einbezogen. Innerhalb der rot markierten Betriebsstellentypen fokussierten sich die Auswertungen vor allem auf Bahnhöfe und Fahrplanbezugspunkte.

Betriebsstelle - Typ	Anzahl
Abzweigstelle	41
Abzweigweiche	15
Anschlußbahn	76
Ausweichanschlußstelle	127
Bahnhof	650
Bahnhof Privatbahn oder Ausland	1
Blockstelle	10
Eisenbahnkreuzung	24
Fahrplanbezugspunkt	146
Grenze zu anderen Bahnen	20
Halte- /Ladestelle	36
Haltestelle	506
Ladestelle	19
Selbstblockstelle	651
Staatsgrenze	27
Überleitstelle	78
Zusätzlicher Personen Halt	39

Tabelle 3: Analysetabelle – Betriebsstellen

Die weitere Bearbeitung erfolgte, indem die Energieverbraucher weitgehend den Bahnhöfen bzw. den Gemeinden zugeordnet wurden um eine geografische Analyse überhaupt zu ermöglichen. Dadurch können geringfügige Ergebnisunschärfen entstehen, die im bundesweiten Maßstab jedoch keine Einschränkungen der Gesamtaussagekraft nach sich tragen.

5.3.3 Grundstücke im Eigentum der ÖBB

Die Analyse der verfügbaren Grundstücke im Bereich der ÖBB erfolgte auf Basis eines GIS-Datensatzes, der von der ÖBB zur Verfügung gestellt wurde.

Der GIS-Datensatz beinhaltet den Grundstücksbestand der ÖBB und wurde am Beginn der Projektbearbeitung von INFRAplusGEO zur Verfügung gestellt, verlor im Lauf der Projektbearbeitungszeit aber an Bedeutung, da andere für die Analysemethodik

zielführendere Datensätze zur Verfügung gestellt wurden. Für die Detailplanung von Umsetzungsprojekten ist dieser Datensatz allerdings von Bedeutung.

Anhand des Grundstück-Datensatzes ist es möglich, große Grundstücke zu erkennen bzw. geografisch zu filtern. Diese sind für die Errichtung von großen Erdwärmesondenfeldern bzw. die Grundwassernutzung (Distanz zwischen Entnahmebrunnen und Schluckbrunnen) erforderlich. Damit ist des Weiteren eine Einschätzung der Beeinflussungsmöglichkeiten von benachbarten Wassernutzungen oder Erdwärmennutzungen möglich.

5.3.4 Gebäude- und Anlagenbestand im Bereich der ÖBB

5.3.4.1 Anlagendatenbank

Die Maschinen- und Anlagendatenbank wurde von der ÖBB zur Analyse des Energiebedarfes (Energieform, Energiebedarf, Nutzungszweck) zur Verfügung gestellt.

In der Maschinen- und Anlagendatenbank sind sämtliche Anlagen und Maschinen im Bereich der ÖBB inkludiert, die hinsichtlich des Energieverbrauchs Relevanz besitzen.

Folgende Einträge sind in dieser Anlagendatenbank vorhanden:

Anlagenart / Buchungskreis_Anlage / Objektnr / PLZ / Objekt/WE/RE (Lage) / Objekt/Lage – Bezeichnung Ort1 / Ort2 / Ort3 / Baujahr / Bestellung / Region/Standort / ISM-Region

Folgende Anlagenarten sind in dieser Datenbank beinhaltet:

- Tür und Toranlagen
- Personensicherungsanlagen
- Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlagen
- Gaserzeugungs- und Gasverteilungsanlagen
- Kälte- und Klimaanlage
- Lüftungs- und Absauganlagen
- Be- und Entlüftungsanlagen
- Tankanlagen
- Fördereinrichtungen für Flüssigkeiten und ortsfeste Pumpen
- Wasserbehandlungsanlagen
- Aufzüge und Fahrtreppen

- Kräne
- Hebe- und Fördereinrichtungen
- Gleislose Flurfördermittel
- Drehscheiben und Schiebebühnen
- Elektrische Anlagen
- Blitzschutz
- Sicherheits-, Not und Zusatzbeleuchtung
- Ersatzstromversorgung
- Telekomanlagen
- Brandalarm- und Alarmierungseinrichtungen
- Brandrauchentlüftungsanlagen
- Ortsfeste Löschleitungen
- Sonderlöschanlagen
- Feuerlöscher
- Druckluftanlagen
- Fahrzeugbehandlungsanlagen
- Mess- und Prüfgeräte
- Rollstuhlhebelifte
- Spezialmaschinen
- Gießerei- und Schmiedeanlagen

Von zentraler Bedeutung für die mögliche Nutzung geothermischer Energie sind dabei Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlagen sowie Kälte- und Klimaanlage. Diese Anlagentypen wurden in den weiteren Berechnungen und Analysen berücksichtigt. Die übrigen Anlagentypen besitzen im Sinne einer Versorgung mit Erdwärme/Erkälte keine Bedeutung.

Tabelle 4 fasst jene Anlagentypen zusammen, die durch die Nutzung von Erdwärme im Bereich der ÖBB ersetzt bzw. teilweise ersetzt oder ergänzt werden können. Auf Basis der Datenbankanalyse bzw. der Analyse der geografischen Verteilung der jeweiligen Anlagentypen ist auch das Maß des Ersatzes bzw. der Einsparung an fossilen Energieträgern analysierbar bzw. visualisierbar.

Anlagenart	Anlagenkategorie
2001 - / Einzelraumheizer Gas (Konvektor)	Heizung- und Warmwasserbereitung
2002 - / Fernwärme Umformer mit Verteiler und Energieverbraucher	Heizung- und Warmwasserbereitung
2003 - / Gas Infrarotstrahler	Heizung- und Warmwasserbereitung
2004 - / Heizkanonen	Heizung- und Warmwasserbereitung
2005 - / Heizkesselanlagen feste Brennstoffe	Heizung- und Warmwasserbereitung
2006 - / Heizkesselanlagen mit atmosph. Gasfeuerung	Heizung- und Warmwasserbereitung
2007 - / Heizkesselanlagen mit Gasgebläsefeuerung	Heizung- und Warmwasserbereitung
2008 - / Heizkesselanlagen mit Ölfeuerung inkl. Kunststofftank	Heizung- und Warmwasserbereitung
2009 - / Heizkesselanlagen mit Ölfeuerung inkl. Lagertank	Heizung- und Warmwasserbereitung
2010 - / Heizkörper elektrisch	Heizung- und Warmwasserbereitung
2013 - / Luftheizer Gas	Heizung- und Warmwasserbereitung
2014 - / Thermen- und Brennwertegeräteheizungsanlage Gas	Heizung- und Warmwasserbereitung
2015 - / Warmwasseraufbereitung	Heizung- und Warmwasserbereitung
2016 - / Warmwasserboiler	Heizung- und Warmwasserbereitung
2017 - / Boiler gasbeheizt	Heizung- und Warmwasserbereitung
2018 - / Wärmepumpe	Heizung- und Warmwasserbereitung
2021 - / Heizkesselanlagen mit Flüssiggas	Heizung- und Warmwasserbereitung
2022 - / Heizung Graz Hbf 90300160	Heizung- und Warmwasserbereitung
2025 - / Heizkesselanlagen mit Ölfeuerung inkl. Lagertank < 1000 L	Heizung- und Warmwasserbereitung
2026 - / Elektro-Durchlauferhitzer	Heizung- und Warmwasserbereitung
2027 - / ölbefeuerte Warmluftheizer	Heizung- und Warmwasserbereitung
2099 - / keine Untergruppe zugeordnet	Heizung- und Warmwasserbereitung
2500 - / Fensterklimagerät >1,5 kg Kühlmittel	Kälte- und Klimaanlage
2501 - / Kühlanlagen f. Kühlräume > 1,5 kg Kühlmittel	Kälte- und Klimaanlage
2502 - / Splitklimaanlage >=1,5 kg Kühlmittel	Kälte- und Klimaanlage
2503 - / Klimaanlage	Kälte- und Klimaanlage
2504 - / Fensterklimagerät <1,5 kg Kühlmittel	Kälte- und Klimaanlage
2505 - / Klimaschränke	Kälte- und Klimaanlage
2506 - / Kühlanlagen f. Vitrinen	Kälte- und Klimaanlage
2507 - / Mobile (fahrbare) Klimageräte / Kompakt-Klimagerät	Kälte- und Klimaanlage
2508 - / Splitklimaanlage <1,5 kg Kühlmittel	Kälte- und Klimaanlage
2509 - / Kaltwassersätze	Kälte- und Klimaanlage
2510 - / Kühlanlagen f. Kühlräume <1,5 kg Kühlmittel	Kälte- und Klimaanlage
2511 - / Multisplit-Kühlanlage <3 kg Kühlmittel	Kälte- und Klimaanlage
2512 - / Splitklimaanlage >3 kg Kühlmittel	Kälte- und Klimaanlage
2513 - / Kältemaschinen	Kälte- und Klimaanlage
2514 - / Multisplit-Kühlanlage > 3 kg Kühlmittel	Kälte- und Klimaanlage
2599 - / keine Untergruppe zugeordnet	Kälte- und Klimaanlage

Tabelle 4: Erdwärme- bzw. erdkälterelevante Anlagentypen der Anlagendatenbank der ÖBB

Mit Hilfe der Zuordnung der Anlagen zu Gemeinden war es möglich, die Anlagendatenbank mit den Gemeinden geografisch zu verknüpfen, sodass eine bundesweite Darstellung der Verteilung der verschiedenen wärme- und kälterelevanten Anlagen ermöglicht wurde.

Für jeden dieser Anlagentypen wurde eine geografische Verteilungsanalyse durchgeführt. Einige Ergebnisbeispiele der geografischen Verteilung ausgewählter Anlagentypen sind in Abbildung 6, Abbildung 7 und Abbildung 8 ersichtlich.

Es zeigte sich erwartungsgemäß, dass die Anlagendichte in den wichtigen Schnittstellen des Streckennetzes bzw. den Ballungsräumen am höchsten ist.

Die Ölfeuerungen konzentrieren sich dabei beispielsweise eher im Westen Österreichs, die Gasfeuerungen eher im Osten. Splitklimaanlagen verteilen sich entlang des gesamten Streckennetzes der ÖBB eher gleichmäßig.

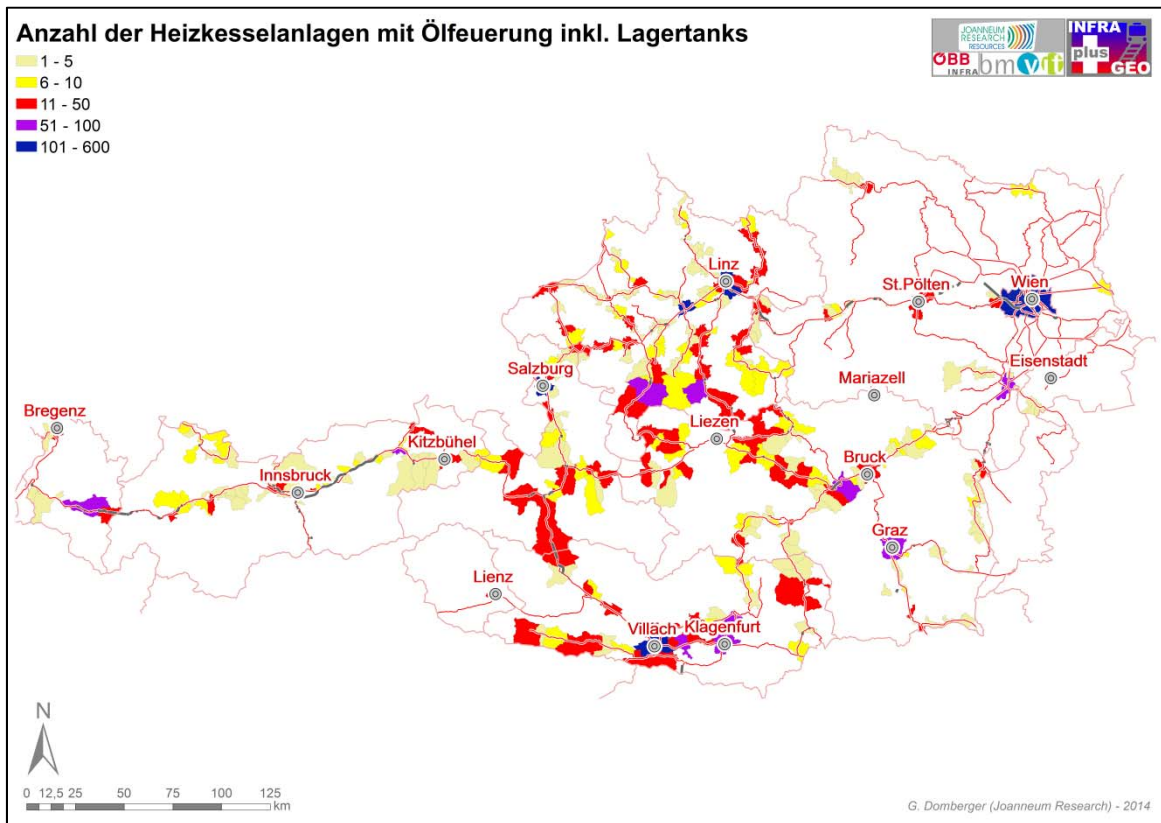


Abbildung 6: Anzahl der Heizkesselanlagen mit Ölfeuerung inkl. Lagertanks

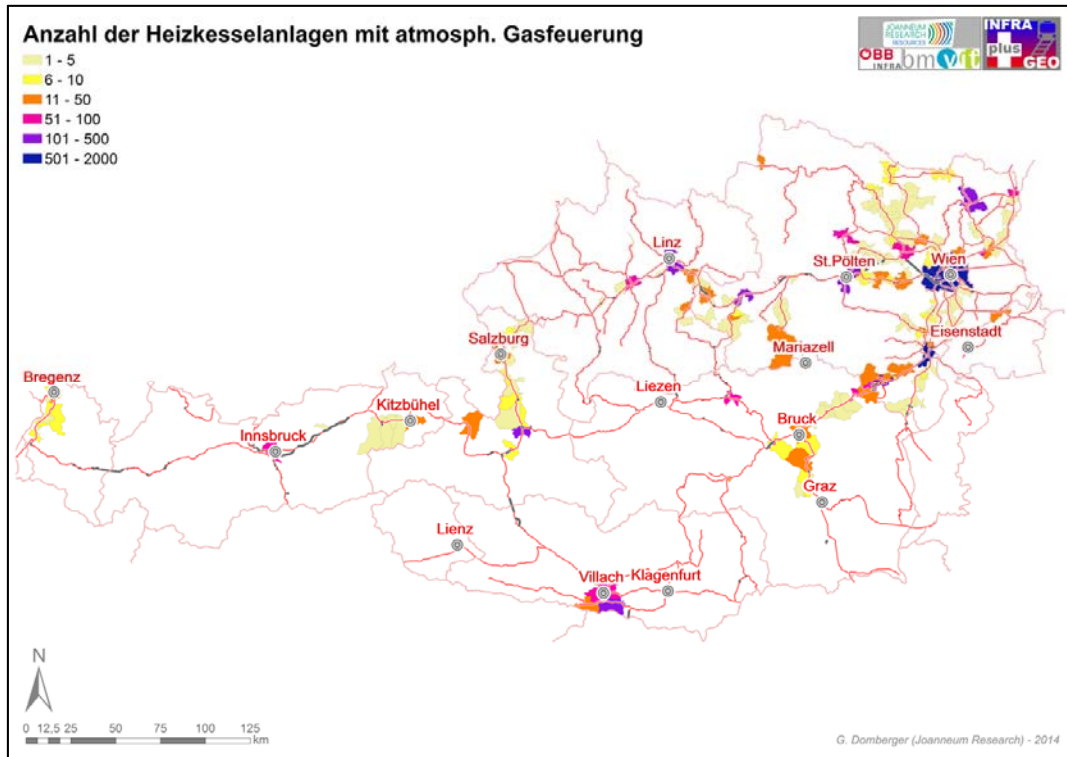


Abbildung 7: Anzahl der Heizkesselanlagen mit atmosphärischer Gasfeuerung

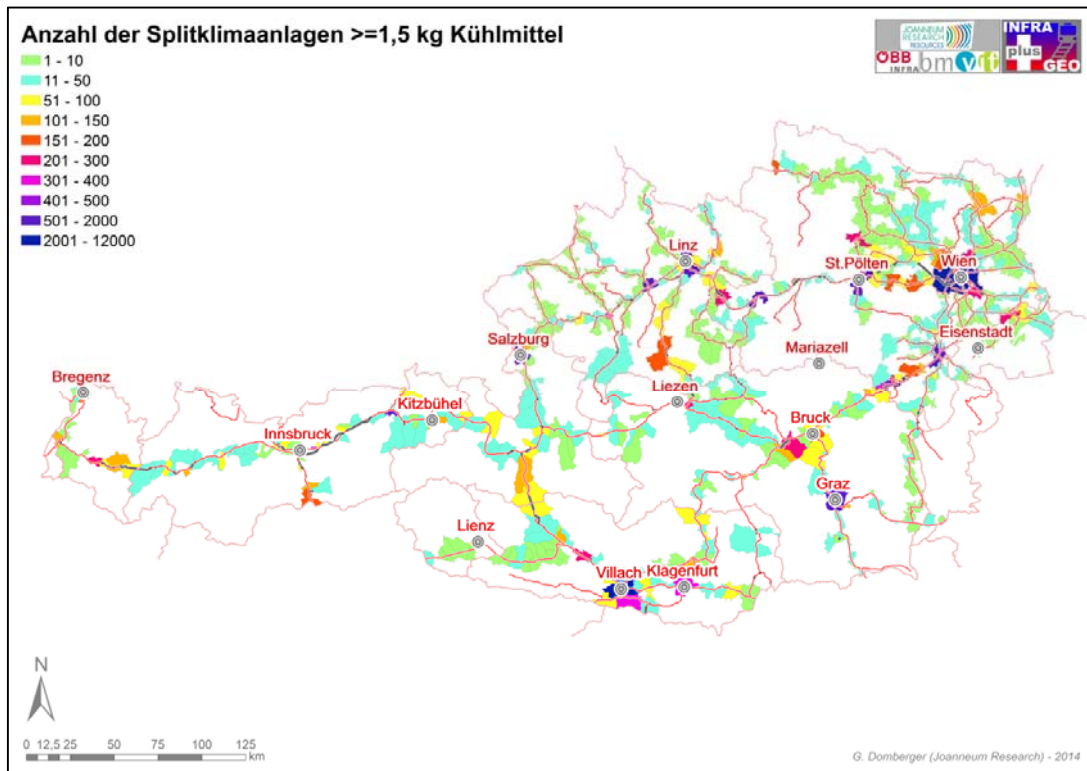


Abbildung 8: Anzahl der Splitklimaanlagen $\geq 1,5$ kg Kühlmittel

5.3.4.2 Gebäudestand

Der Datensatz „Gebäudestand“, welcher von der ÖBB als Excel-Tabelle zur Verfügung gestellt wurde, beinhaltet die Gebäude der ÖBB und einige wichtige Gebäudeeigenschaften, die für die weitere Bearbeitung im GIS erforderlich waren. Tabelle 5 zeigt alle Felder dieses Datensatzes. Die ursprüngliche Excel-Tabelle wurde in eine Objekt- und Anlagendatenbank überführt und weiter in die GIS-Datenbank integriert. Damit wurden die Datensätze für die weiterführenden GIS-Analysen verfügbar.

Von besonderer Bedeutung im Datensatz Gebäudestand waren für die weitere geografische Analyse des Energiebedarfs die Datenbankeinträge „Katastralgemeinde“ und „Gebäudenummer“. Damit wurde eine Zuordnung der Nutzungsflächen zu den Gemeinden möglich.

BuKr	Text
WE	Text
Gebäude	Zahl
SysStat	Text
Bez Gebäude	Text
Gebäudeart	Text
Katastralgemeinde	Zahl
Gemeinde	Text
PLZ	Zahl
Ort	Text
Straße	Text
Strecke	Text
km von	Text
Parzellennummer Grundstück	Text
RP affin	Text
RPStr Nr	Zahl
Rahmenplanstrecke Bezeichnung	Text
ObjbuName	Text
Verwalter Name	Text
BauteName	Text
Baujahr	Zahl
Gültig bis	Zahl
SBM-Region	Text
Bundesland	Text

Tabelle 5: Feldinhalte des Datensatzes Gebäudestand

5.3.4.3 Gebäude- und Objektdatenbank

Die Objektdatenbank der ÖBB beinhaltet die Gebäude, die im Immobilienbestand der ÖBB vorliegen. Der gesamte Datensatz, der als Excel-Tabelle von der ÖBB zur

Verfügung gestellt wurde, umfasst 4961 Gebäude. Innerhalb dieses Datensatzes sind den jeweiligen Gebäuden Flächennutzungstypen mit Flächenangaben in m² zugeordnet. Die ursprüngliche Excel-Tabelle wurde in die GIS-Datenbank integriert um für die weiterführenden Auswertungen verfügbar zu werden.

Die Flächen innerhalb der Gebäude und im Umfeld der Gebäude sind in folgende Flächenkategorien (Nutzungstypen) gegliedert:

Flächen innerhalb von Gebäuden:

- Gastronomische Einrichtung
- Verkauf-Geschäft
- Tankstelle
- Wohnung
- Ledigenheim
- Nächtigungszimmer-InfraBau
- Sozial- und Pausenraum
- Übernachtungszimmer-Dritte
- Sanitär/Bad/Sauna
- Büro
- Kundenraum
- Sport und Kulturräume
- Lagerräume
- Nebenraum
- Umschlagfläche in Gebäuden
- Werkstatt

Freiflächen und sonstige Flächen innerhalb von Gebäuden:

- Freifläche-Lager
- Freifläche-Umschlagfläche
- Freifläche-Gastronomie
- Freifläche-Verkauf
- Freifläche-Sonstige
- Freifläche-Viadukt

- Freifläche-Garten
- Freifläche Stell- und Parkplatz
- Park&Ride-Flächen
- Garagen
- Automatenstandplatz
- Mobiler Verkaufsstand
- Werbeflächen
- Gestattung / Prekarium
- Waschhalle / Waschplatz
- Technikraum
- Bahnhofshalle
- Sonstige Hallen
- Flächen mit gemeinsamer Nutzung
- Sonstige Räume
- Allgemeinfläche

Die Analyse des Wärmebedarfes erfolgte auf Basis der in dieser Datenbank vorhandenen Flächenangaben und der zugehörigen Nutzungstypen. Berücksichtigung fand bei der Wärmebedarfsberechnung auch das Baujahr des jeweiligen Gebäudes.

Mit Hilfe von mehreren Datenbankaktionen wurde der Wärmebedarf für die einzelnen Gebäude berechnet und kumuliert. Diese weiterführenden Berechnungen erfolgten für folgende Gebäude- bzw. Nutzungstypen:

- Gastronomische Einrichtung
- Verkauf-Geschäft
- Wohnung
- Ledigenheim
- Nächtigungszimmer-InfraBau
- Sozial- und Pausenraum
- Übernachtungszimmer -Dritte
- Sanitär/Bad/Sauna
- Büro

Die verbleibenden Nutzungstypen wurden in der Wärmebedarfsberechnung nicht berücksichtigt, da deren Wärmebedarf nicht klar definierbar war und letztendlich eine gemeindebezogene Aufsummierung zu großen Datenunschärfen und eventuellen Fehlinterpretationen geführt hätte.

Eine räumliche Zuordnung der in der Objektdatenbank vorhandenen Gebäude war nur aufgrund des Datenbankeintrages der Katastralgemeindenummer möglich. Aufgrund des Eintrages der KG-Nr. (Katastralgemeindenummer) und der ÖBB-internen Gebäudenummer im Datensatz Gebäudestand war eine eindeutige geografische Zuordnung von Gebäudenutzungsflächen zu Gemeinden möglich. Diese erfolgte im GIS-Datenbanksystem, welches im Projekt INFRAplusGEO aufgebaut wurde.

Aus der Verbindung der Datensätze Gebäudestand-Objektdatenbank-Gemeindegrenzen wurde ein zusammenführender, für die weitere GIS-Analyse erforderlicher Datensatz generiert.

5.3.5 Weichenheizungsbestand im Bereich der ÖBB

Im Bereich des Streckennetzes der ÖBB befinden sich zahlreiche Weichen, die zur Eis- und Schneefreihaltung beheizbar ausgeführt sind. Gemäß Projektantrag war in INFRAplusGEO auch das Thema der Weichenheizung mit Erdwärme zu bearbeiten. Dazu wurden im Jänner 2014 die erforderlichen Datensätze von der ÖBB übermittelt.

Im Datensatz (Excel-Tabelle) der Weichenheizungen sind 10710 strombetriebene Weichenheizungsanlagen und 528 gasbetriebene Weichenheizungsanlagen aufgelistet, welcher zur Analyse der geografischen Verteilung der Weichenheizungen in die GIS-Datenbank integriert wurde.

Die Weichenheizungen konnten mit Hilfe eines ÖBB-internen Codes den einzelnen Betriebsstellen der ÖBB (Bahnhöfe etc.) zugeordnet werden. Mit den übermittelten Datensätzen von Betriebsstellen und den zugeordneten Weichenheizungen war es damit möglich, die Anzahl an Weichenheizungen pro Betriebsstelle der ÖBB zu berechnen und darzustellen. Damit war eine bundesweite, kartografische Umsetzung der Weichenanzahl für die einzelnen Betriebsstellen der ÖBB möglich.

Die aus dieser Methodik resultierende bundesweite Verteilung der strombetriebenen und gasbetriebenen Weichenheizungen ist in Abbildung 9 bzw. Abbildung 10 dargestellt.

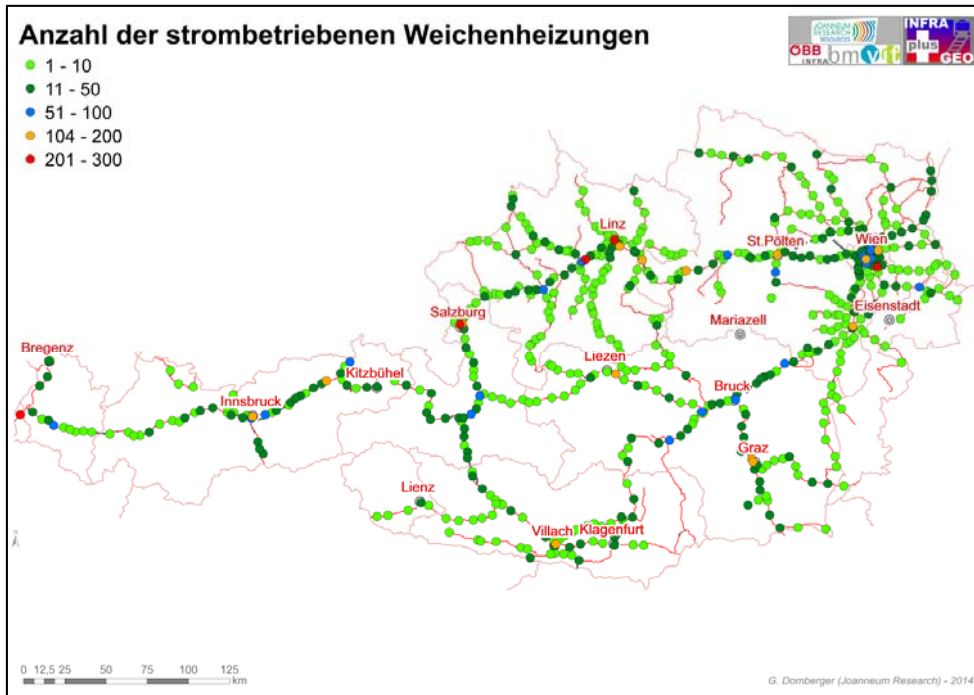


Abbildung 9: Anzahl der strombetriebenen Weichenheizungen zugeordnet zu ÖBB-Betriebsstellen

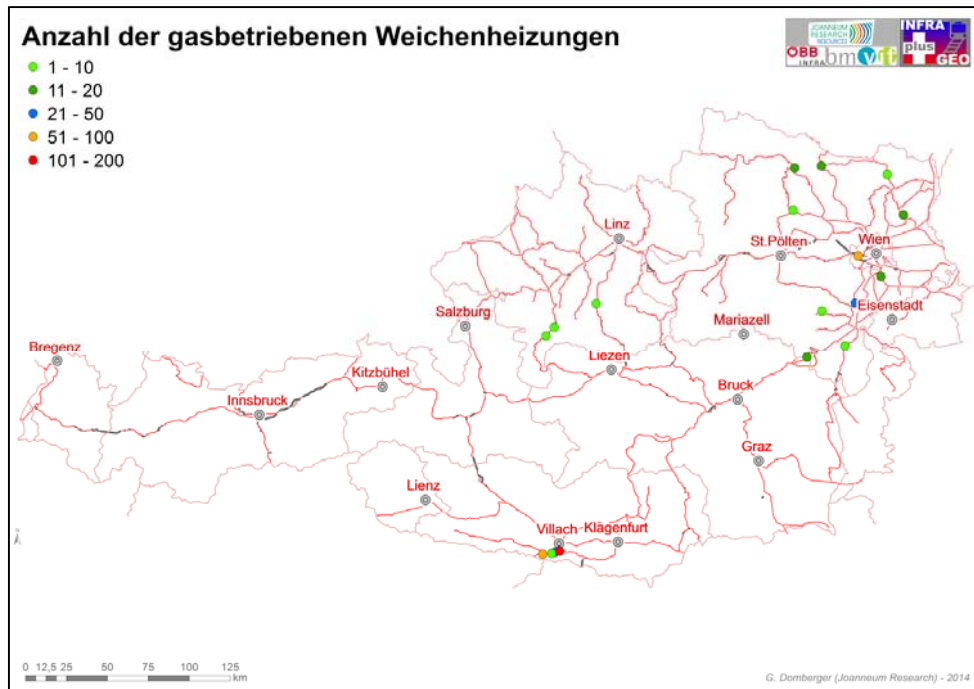


Abbildung 10: Anzahl der gasbetriebenen Weichenheizungen zugeordnet zu ÖBB-Betriebsstellen

5.3.6 Energieausweise

Im Mai 2014 wurde von der ÖBB ein PDF-Datensatz mit 197 Energieausweisen verschiedener Gebäude im Bereich der ÖBB übermittelt.

Mit Hilfe der ÖBB-internen Gebäudenummer konnten diese Energieausweise räumlich zu Gemeinden zugeordnet werden. Abbildung 11 zeigt die Gemeinden, in welchen ÖBB-Gebäude liegen, von welchen Energieausweise zur Projektbearbeitung zur Verfügung gestellt wurden.

Die vorliegenden Energieausweise waren eine wichtige Basis für die Auswahl der Pilotplanungsstandorte (siehe Kapitel 11).

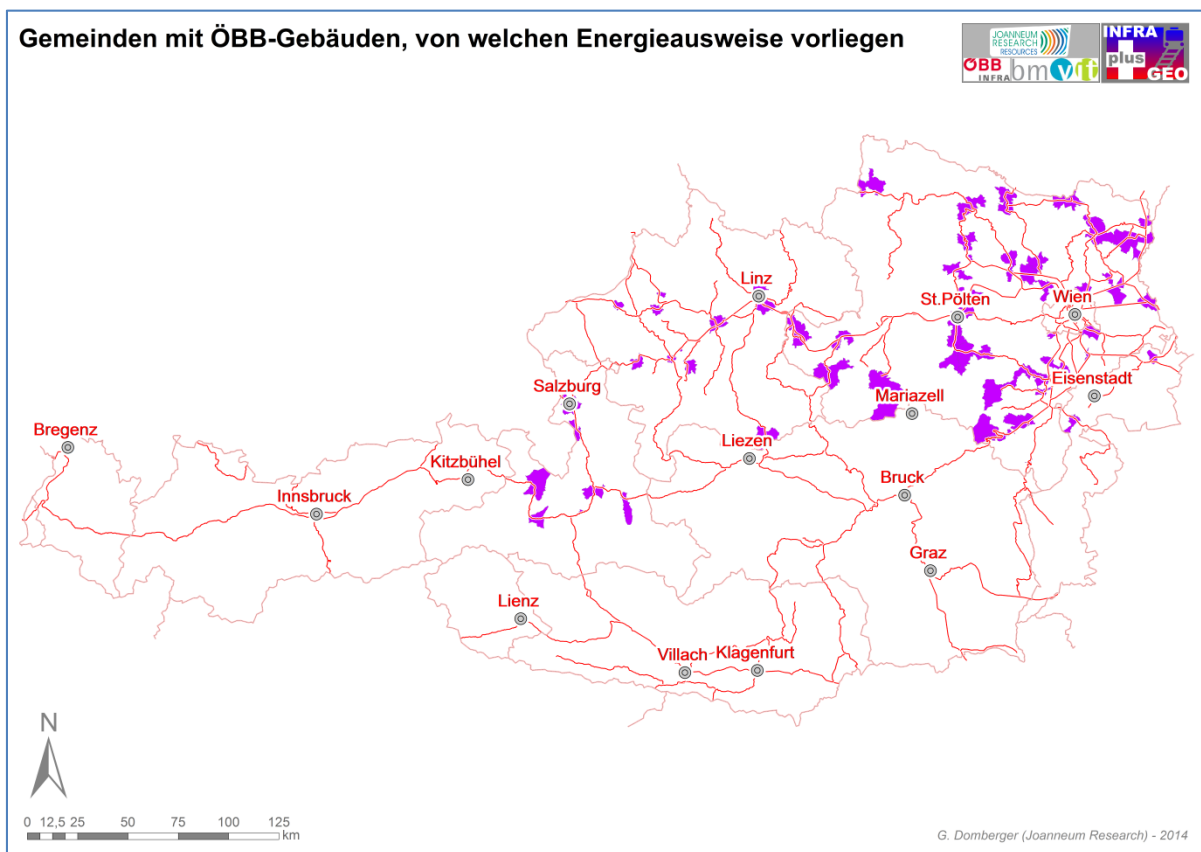


Abbildung 11: Gemeinden mit ÖBB-Gebäuden mit Energieausweisen

6 NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN – TECHNISCHE PRINZIPIEN

Grundsätzlich ist eine Nutzung von Erdwärme einerseits möglich, indem Wasser (Grundwasser) aus dem Untergrund entnommen wird und andererseits indem nur die im Gestein vorhandene Wärme des Untergrundes genutzt wird. Dementsprechend sind verschiedene Nutzungstechnologien einzusetzen.

Innerhalb des Projektes INFRAplusGEO wurden die Methoden zur Analyse des geothermischen Potenzials auf diese beiden grundsätzlichen Nutzungsformen von Erdwärme abgestimmt.

6.1 Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme

Die Nutzung von Erdwärme ohne dabei Grundwasser aus dem Untergrund zu entnehmen ist jene Nutzungsart, die hinsichtlich der Standorteigenschaften die geringsten Anforderungen stellt, da dazu keine Wasserführung im Untergrund erforderlich ist.

Jene Nutzungstechnologien, die im Bereich der geologisch-lithologischen Rahmenbedingungen in Österreich bei der ÖBB umgesetzt werden können, werden im Folgenden beschrieben:

Innerhalb des Projektes INFRAplusGEO werden Erdwärmesonden, Energiepfähle und vergleichbare Baugründungen näher betrachtet (siehe Abbildung 12). Bodenabsorber und Flächenkollektoren werden nicht berücksichtigt, da diese stark von der Oberflächentemperatur beeinflusst werden und nur untergeordnet geothermische Standorteigenschaften erfordern.

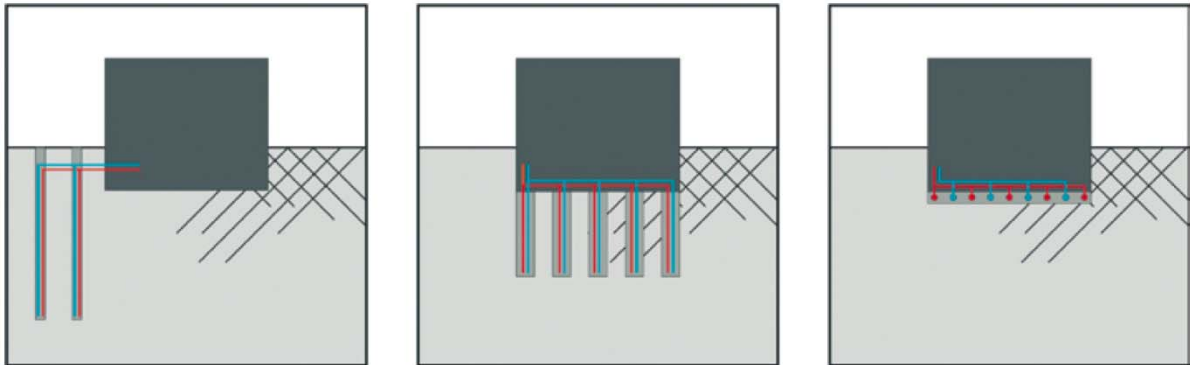


Abbildung 12: Nutzungsprinzipien von Erdwärme ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund (Erdwärmesonden, Energiepfähle, Bodenabsorber/Kollektoren) [15]

6.1.1 Erdwärmekollektoren

Erdwärmekollektoren sind flächenhaft verlegte Schläuche und Rohre in geringer Tiefe (etwa 1-3 m unter GOK). Die Temperatur in diesen geringen Tiefen ist vor allem von der Sonneneinstrahlung und vom Niederschlagsgeschehen beeinflusst. Saisonale Temperaturschwankungen bestimmen die Bodentemperatur maßgeblich. Abbildung 13 zeigt dazu den Verlauf der Bodentemperatur in 2m Tiefe im Bereich von Graz. Bei der Nutzung von Erdwärmekollektoren handelt es sich also nicht um eine klassische geothermische Nutzung sondern eine Übergangsenergieform zwischen solarer Wärme und Erdwärme. Innerhalb von INFRAplusGEO wird diese Nutzungsart daher nicht explizit betrachtet.

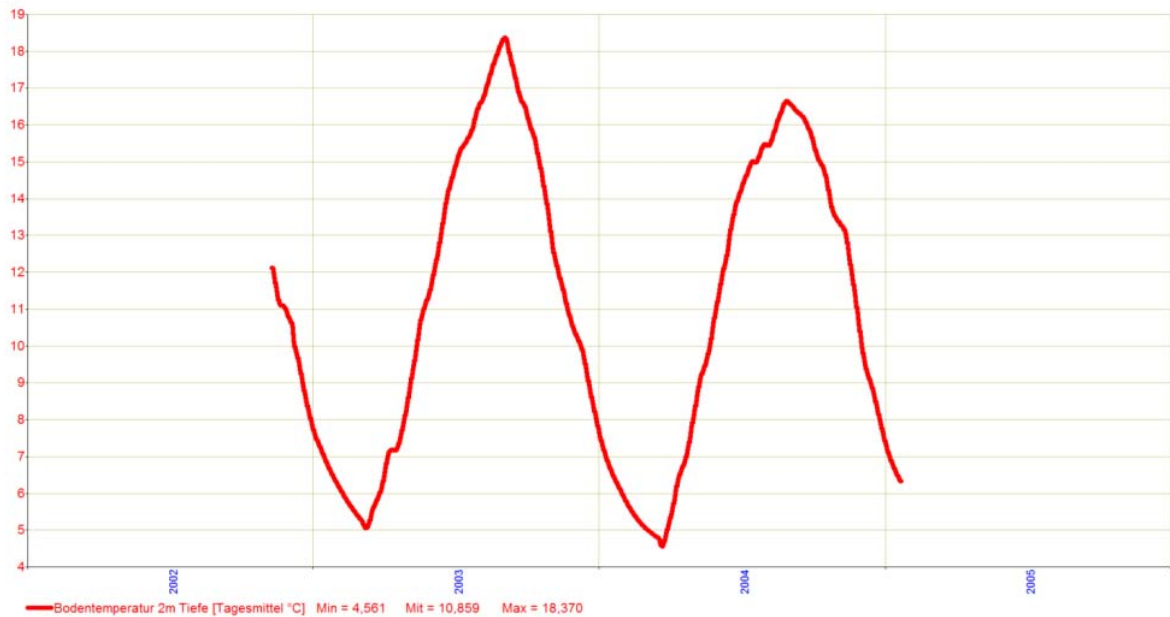


Abbildung 13: Verlauf der Bodentemperatur in 2m Tiefe – Bereich Graz (Tagesmittel 2002-2005)

6.1.2 Erdwärmesonden, Erdwärmesondenfelder

Erdwärmesonden nutzen Erdwärme in Form von vertikalen Wärmetauschern (siehe Abbildung 14). Erdwärmesonden werden in unterschiedlichen Bauformen, Tiefen und Anordnungen errichtet. In Österreich ist die meist angewandte Form die Einfach-U-Sonde bzw. Doppel-U-Sonde (siehe Abbildung 15).

Des Weiteren gibt es noch verschiedene Formen von Koaxialsonden, die jedoch in Österreich nur selten eingesetzt werden.

Die Bohrungen werden nach Einbringen der Erdwärmesonde meist mit einer Bentonit-Zement-Mischung verfüllt, sodass ein möglichst guter Wärmeübergang vom Untergrund zu den Erdwärmesonden und letztendlich zum Wärme-/Kühlsystem stattfindet. Die Herstellung von Erdwärmesonden ist in Abbildung 16 dokumentiert.

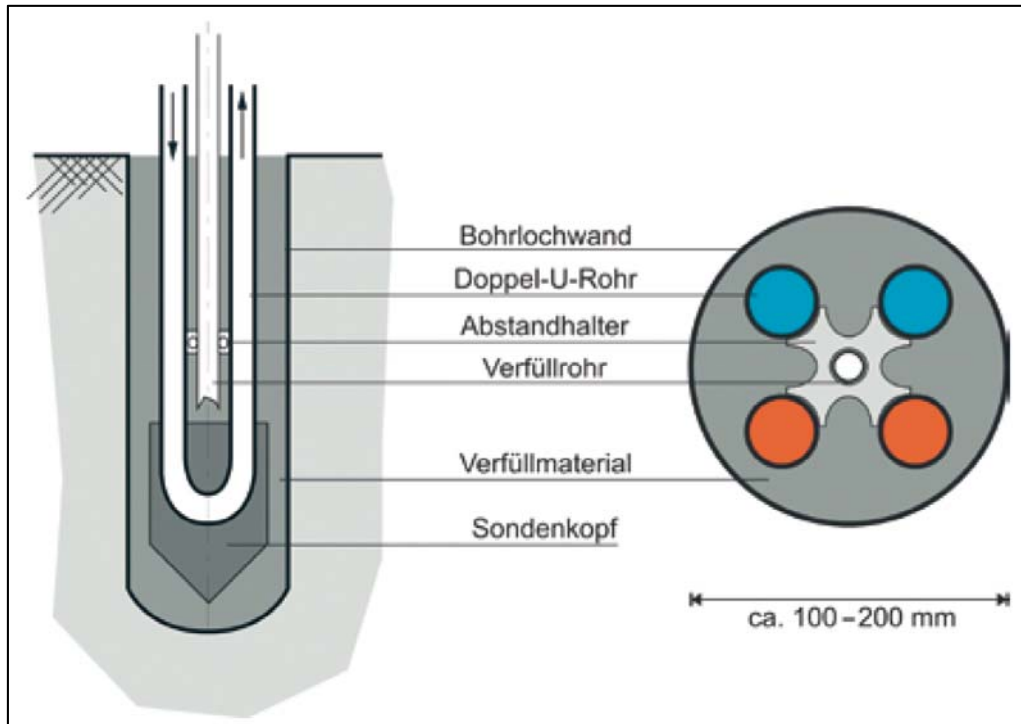


Abbildung 14: Prinzip der Erdwärmesonde [aus 15]

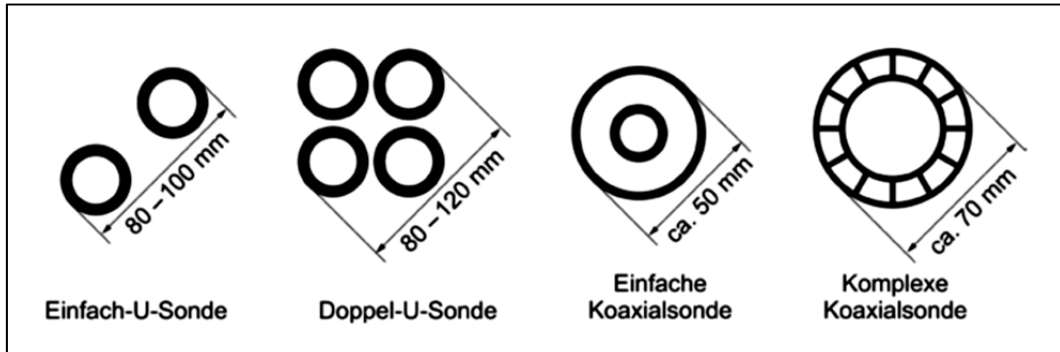


Abbildung 15: Wichtigste Bauformen von Erdwärmesonden [aus 15]



Abbildung 16: Bau eines Erdwärmesondenfeldes (Fotos: G.Domberger)

Die Wärmeausbeute von Erdwärmesonden hängt maßgeblich von den thermischen Eigenschaften des Untergrundes und der technischen Qualität der Erdwärmesonden ab. Das Vorhandensein grundwasserführender Schichten kann die Effizienz von Erdwärmesonden begünstigen, was im Rahmen mancher Projekte zur Anlagenoptimierung beiträgt.

Die thermische Leistungsfähigkeit von Erdwärmesonden ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tiefe Erdwärmesonden:

Tiefe Erdwärmesonden sind nach den Darstellungen in Kapitel 4.1 meist der mitteltiefen Nutzung von Erdwärme zuzuordnen. Bei tiefen Erdwärmesonden handelt es sich um etwa 300-800m tiefe Erdwärmesonden, die aufgrund der Tiefe ein höheres Temperaturniveau aufweisen als Erdwärmesonden bis 300 m Tiefe. Meist sind tiefe Erdwärmesonden aufgrund der mit der Tiefe überproportional zunehmenden Bohrkosten wirtschaftlich schwer darstellbar. Meist werden diese nur errichtet, wenn wenig verfügbare Grundfläche vorhanden ist, was im Bereich der ÖBB-Infrastruktur aber meist nicht zutrifft.

Ein möglicher Ansatzpunkt für die Errichtung von tiefen Erdwärmesonden kann sich im Bereich der ÖBB ergeben, wenn zur Erkundung von z.B. Tunnelprojekten tiefe Erkundungsbohrungen errichtet werden. Diese Erkundungsbohrungen könnten im Sinne einer geothermischen Nachnutzung in die diesbezüglichen Überlegungen einbezogen werden.

Abbildung 17 zeigt einen Überblick der Erkundungsbohrungen beim Semmering Basistunnel. Es wurden einige Bohrungen mit einer Tiefe von über 500 m niedergebracht. Ob eine energetische Nutzung dieser Bohrungen in Frage käme und zielführend wäre, kann nur im Rahmen von Detailstudien untersucht werden. Dies betrifft auch Bohrungen, die bei anderen Tunnelgroßprojekten (Brenner, Koralm) abgeteuft wurden.

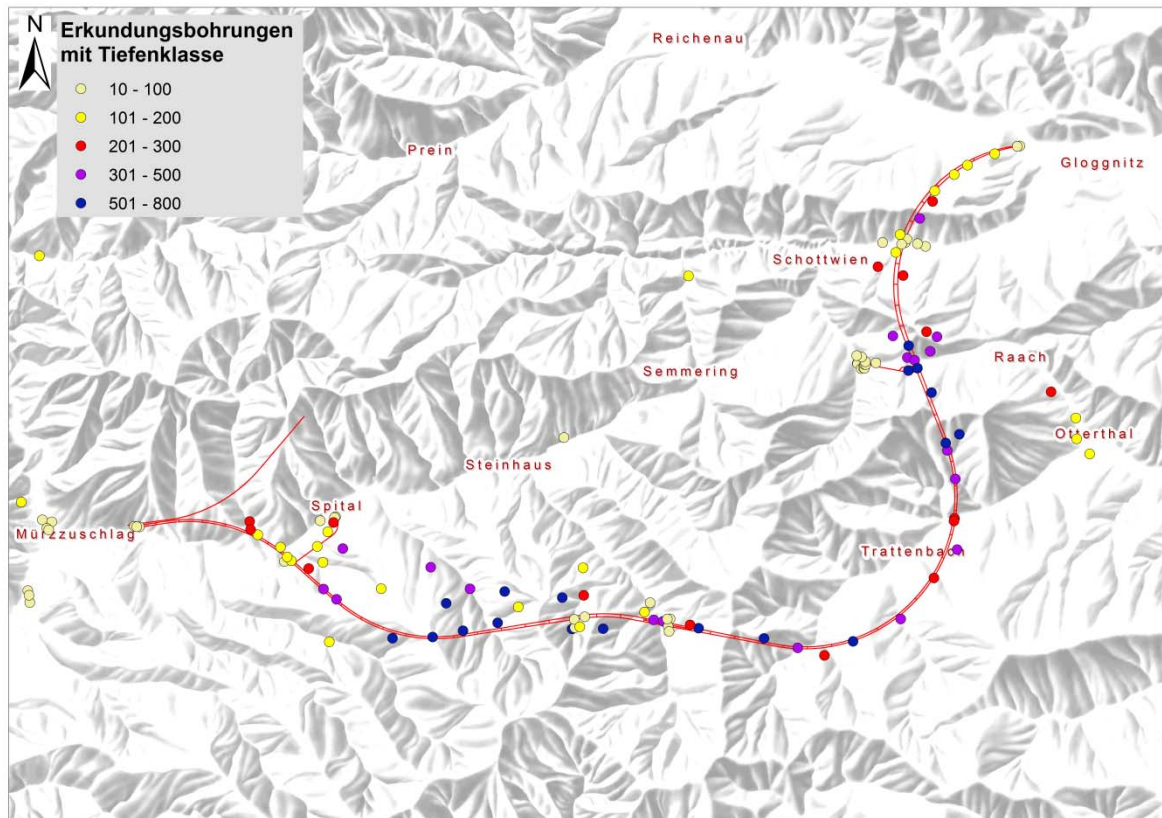


Abbildung 17: Erkundungsbohrungen im Bereich des Semmering Basistunnels (Tiefen Kategorien)

6.1.3 Erdwärmerohre - Pumpenlose Erdwärmesonden

Der Betrieb von Erdwärmerohren (auch Heat Pipes genannt) mit den Kältemitteln Ammoniak NH_3 oder Kohlendioxid CO_2 stellt eine Alternative zu den konventionellen Erdwärmesonden dar. Anstelle der Umwälzpumpe tritt die Thermosiphonwirkung (Gravitationswärmerohr), die zu einem selbsttätigen, pumpenlosen Umlauf des Wärmeträgers führt. Aufgrund des Entfalls der erforderlichen Pumpenergie gegenüber konventionellen Erdwärmesonden ergeben sich Verbesserungen der Leistungszahlen von bis zu 12-15% [20].

Das Kältemittel verdampft durch die Erdwärme im Untergrund und rekondensiert an kalten Oberflächen, wo die Kondensationsenergie abgegeben wird und genutzt werden kann.

Erdwärmerohre haben erst in den letzten Jahren eine größere Aufmerksamkeit erhalten.

Der maximale übertragbare Wärmestrom innerhalb der Erdwärmesonde ist durch physikalische Effekte begrenzt und hängt in starkem Maße vom Durchmesser der Sonde ab.

Aus Gründen der Dichtheit werden Kupferrohre verwendet, deren Durchmesser aus Einbaugründen auf etwa 1-2 cm beschränkt ist. Größere Leistungen erfordern größere Durchmesser, wodurch aber wiederum Probleme beim Einbau entstehen können.

Es wurden mehrere Wärmeträger untersucht. Hinsichtlich der Wärmetransporteigenschaften ist Ammoniak am günstigsten zu bewerten. CO₂ als Wärmeträger ist zwar umweltneutral, jedoch sind seine Betriebsdrücke extrem hoch. Bei kleinsten Leckagen strömt das CO₂ aus und macht die Sonde unwirksam.

Man benötigt also eine einfache und kostengünstige Reparaturmöglichkeit. Das Druckproblem lässt sich durch Verwendung von Ammoniak anstelle von CO₂ lösen, da der Betriebsdruck von Ammoniak bei nur etwa 5 bar liegt. Ammoniak ist jedoch giftig und für Kupfermaterialien korrosiv.

Eine mögliche Anwendung eines CO₂-Erdwärmerohres wurde im Rahmen der Fachexkursion (siehe Kapitel 9.6) bei einer Weichenheizung der Hafenbahn Hamburg besichtigt.

Ein zentraler Punkt für die Nutzung von CO₂-Erdwärmerohren für die Eis- und Schneefreihaltung von Weichen ist die effiziente Wärmeübertragung auf die Weichenkonstruktion. Ein weiteres Kriterium für den praktischen Einsatz hängt den regelmäßigen Wartungsarbeiten des Gleiskörpers zusammen. Dabei sind Erdwärmerohre als sehr schadensanfällig zu bezeichnen. Diesbezügliche Routinelösungen sind noch zu entwickeln.

6.1.4 Energiepfähle bei Baugründungen

Energiepfähle sind aus bautechnischer Sicht erforderliche Baugründungspfähle, die neben ihrer bauerforderlichen Hauptfunktion zusätzlich als Wärmetauscher im Untergrund fungieren. Dementsprechend geben die bautechnischen Planungen in den meisten Fällen die Dimensionen des Wärmetauschers vor. Die wärmeübertragende Fläche der Energiepfähle ist also meist durch gründungsstatische Gesichtspunkte wie Abmessungen

und Anzahl der Pfähle begrenzt bzw. vorgegeben. Eine Prinzipskizze ist in Abbildung 18 ersichtlich.

Oft sind Baupfähle aufgrund baustatischer Gegebenheiten ohnehin erforderlich, wodurch sich im Vergleich zu Erdwärmesonden oft wesentlich günstigere wirtschaftliche Rahmenbedingungen ergeben können, da die zusätzlichen Bohrkosten für die Errichtung von Erdwärmesonden entfallen.

Wenn Baupfähle bei Neubau von Bahnhöfen ohnehin baustatisch erforderlich sind, ergeben sich damit sehr günstige Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Einsatz von Geothermie im Bereich der ÖBB, da geringere Zusatzkosten für die Errichtung einer Geothermieanlage (z.B. Erdwärmesonden) anfallen.

Ein Beispiel für Erdwärmennutzung mit Energiepfählen im Bereich der ÖBB ist der Hauptbahnhof Salzburg (siehe 7.1.4).

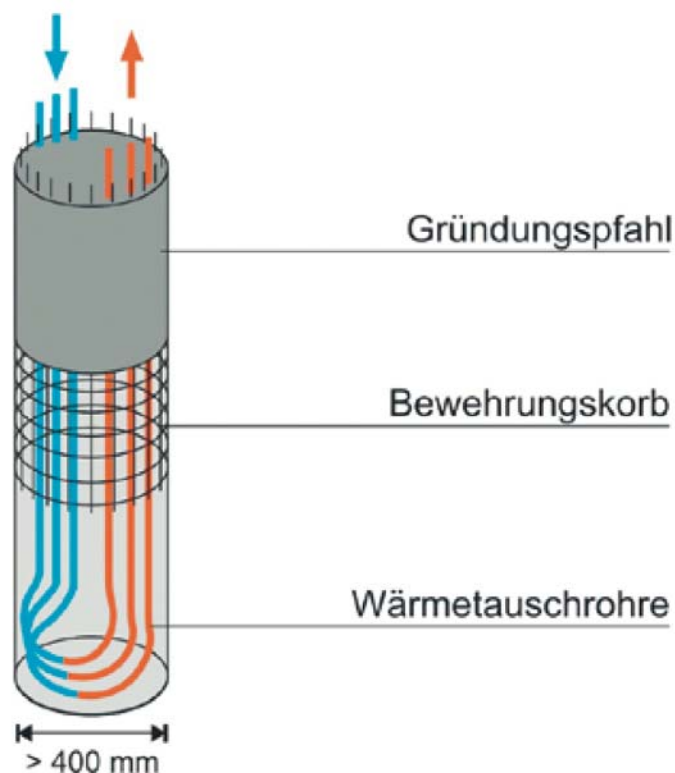


Abbildung 18: Skizze - Energiepfahl (aus [15])

6.1.5 Massivabsorber

Die Massivabsorbertechnologie nutzt Erdwärme für die Beheizung bzw. Erdkälte für die Klimatisierung von Bauwerken. Dabei werden in ohnehin erforderlichen Betonbauteilen wie Schlitzwänden, Bodenplatten oder Tunneln Absorberrohre eingebaut, welche mit einer Wärmeträgerflüssigkeit durchströmt werden und daher große Flächen thermisch aktivieren und nutzen können.

Beispiele für die Nutzung von Erdwärme mit dieser Technologie sind im Bereich der ÖBB der Bahnhof Attnang-Puchheim (siehe Kapitel 7.1.3) und der Wiener Hauptbahnhof (siehe Kapitel 7.1.2).

Aufgrund der Vielzahl an Bauvorhaben im Bereich der ÖBB finden sich zahlreiche Beispiele für die Umsetzungsmöglichkeiten dieser Nutzungstechnologie.

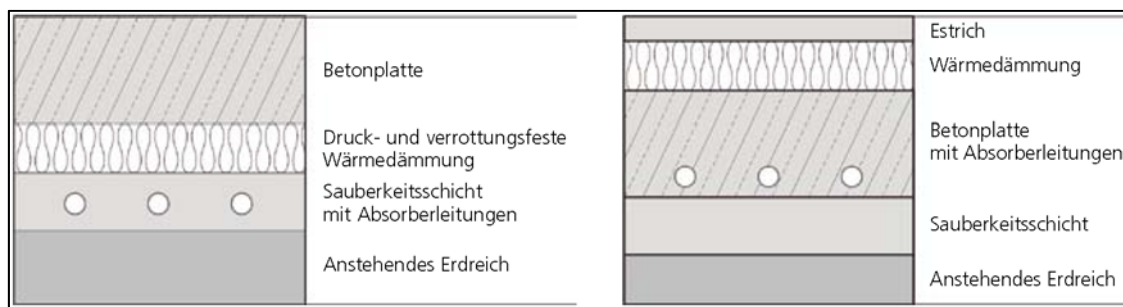


Abbildung 19: Beispiele für den Aufbau von Bodenabsorber [15]

Innerhalb des Projektes INFRAplusGEO wird auf diese Technologie nicht näher eingegangen.

6.2 Nutzung von Erdwärme mit Wasserentnahme aus Untergrund

6.2.1 Grundwassernutzung

Bei der thermischen Nutzung von Grundwasser wird Grundwasser aus dem Untergrund entnommen, thermisch genutzt und in nahezu allen Fällen in den Untergrund rückgeführt (siehe dazu Abbildung 20). Die thermische Nutzung des Grundwassers kann dabei für eine Beheizung bzw. zur Kühlung erfolgen.

Das thermisch genutzte (abgekühlte bzw. erwärmte) Grundwasser ist aus wasserwirtschaftlichen und wasserrechtlich festgelegten Gründen in jedem Fall wieder in

den Untergrund zurückzuführen. Nur in wenigen hydrogeologisch begründbaren Fällen kann das thermisch genutzte Wasser auch in einen Vorfluter eingeleitet werden.

Für diese Nutzungsmethode von Erdwärme ist ein ausreichend ergiebiger Grundwasserleiter erforderlich, der die benötigte Wassermenge in der technisch notwendigen Qualität und Temperatur zu Verfügung stellt.

Die Grundwasserentnahme erfolgt aus einem Entnahmehrunnen, die Rückführung des genutzten Wassers in den Untergrund mit Hilfe eines Schluckbrunnens oder einer Versickerungsanlage.

Um eine thermische Beeinflussung zwischen dem Entnahmehrunnen und dem Schluckbrunnen zu vermeiden, ist auf deren erforderliche Minimaldistanz und die natürliche Strömungsrichtung des Grundwassers zu achten. Für einen nachhaltigen Betrieb sind detaillierte planerische Arbeiten unumgänglich.

Der notwendige Abstand zwischen einem Entnahmehrunnen und einem Schluckbrunnen erfordert relativ große Grundstücke, welche im Bereich der ÖBB oft verfügbar sind und günstige Rahmenbedingungen für die Umsetzung dieser Nutzungsvariante darstellen.

Die Qualität des Grundwassers spielt bei dessen thermischer Nutzung ebenfalls eine wichtige Rolle. Beispielweise können Korrosion, Verockerungen und Versinterungen zu andauernden bzw. wiederkehrenden technischen Problemen im Betrieb führen, was die Wirtschaftlichkeit dieser Projekte oft maßgeblich negativ beeinflusst.

Ein wesentlicher Kostenfaktor im Betrieb einer Grundwasseranlage entsteht aus der eingesetzten Pumpenergie.

Für eine geplante Grundwasserentnahme und Rückführung ist in Österreich eine wasserrechtliche Bewilligung erforderlich (siehe dazu auch Kapitel 12).

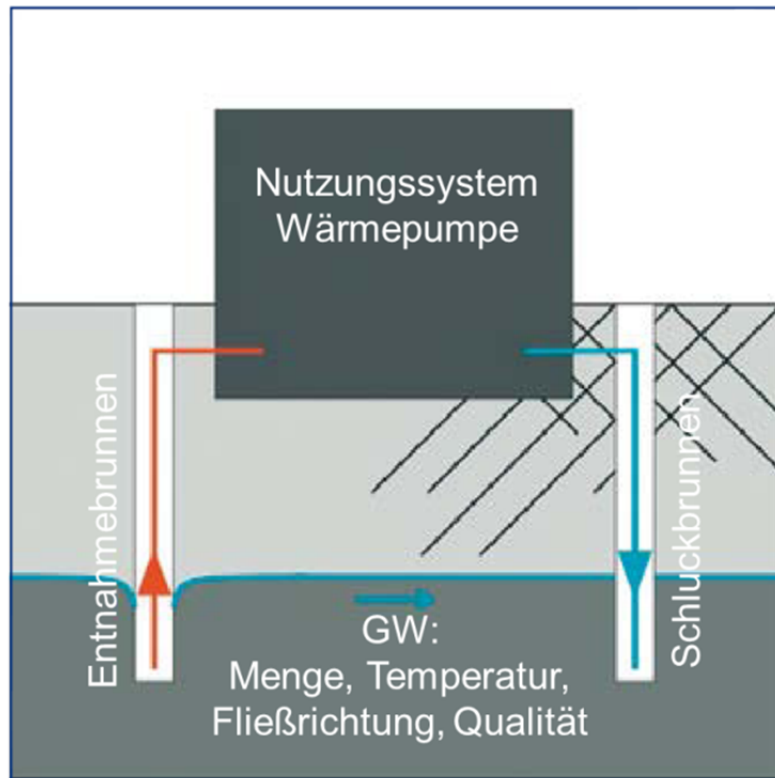


Abbildung 20: Thermische Nutzung des Grundwassers [15]

Eine spezielle Nutzungsmöglichkeit ergibt sich mit Grundwasser im freien Kühlbetrieb (Free Cooling). Dabei wird Grundwasser direkt (also ohne Wärmepumpenunterstützung) zur Gebäudekühlung eingesetzt.

6.2.2 Nutzung von Tunnelwasser

Ein spezieller Fall der thermischen Nutzung von Grundwasser besteht im Bereich der ÖBB durch das Vorhandensein und den Betrieb zahlreicher Eisenbahntunnel unterschiedlicher Längen und geologischer Rahmenbedingungen. Im Rahmen von INFRAplusGEO wurden die Tunnel, die im Bereich des Streckennetzes der ÖBB liegen, erhoben. Ein GIS-Vektordatensatz wurde von der ÖBB für die Projektbearbeitung zur Verfügung gestellt.

In Abbildung 21 und Abbildung 22 sind die Lage und die Längen der Tunnel der ÖBB aufgelistet bzw. dargestellt.

Das Wärmepotenzial von Tunnelwasser wird von der Wassertemperatur und der Wassermenge bestimmt. Die Wassermenge schwankt mit den hydrometeorologischen Rahmenbedingungen z.T. jahreszeitlich erheblich.

Ebenso kann auch die Wassertemperatur entsprechenden Schwankungen unterliegen. Damit variiert auch der Energieinhalt (das Wärmepotenzial) der einzelnen Tunnel entsprechend den Standorteigenschaften bzw. den unterschiedlichen hydrogeologischen und geothermischen Gesetzmäßigkeiten. Für die Auslegung von Heiz-/Kühlsystemen mit Tunnelwasser ist in jedem Fall das langfristige Schwankungsverhalten der verfügbaren Tunnelwassermenge und der Wassertemperatur maßgeblich.

Tunnelwasser wird beim Bau von Tunneln angetroffen und teilweise durch Abdichtungsmaßnahmen im Gebirge zurückgehalten und teilweise in Tunneldrainagen bzw. Einzelfassungen gefasst und zu einem oder beiden Tunnelportalen ausgeleitet. Die entsprechende Wassermenge ist damit beim Portal (bei den Portalen) verfügbar und fließt in den meisten Fällen gravitativ aus, wodurch keine Pumpenergie (wie bei konventioneller Grundwassernutzung) erforderlich ist.

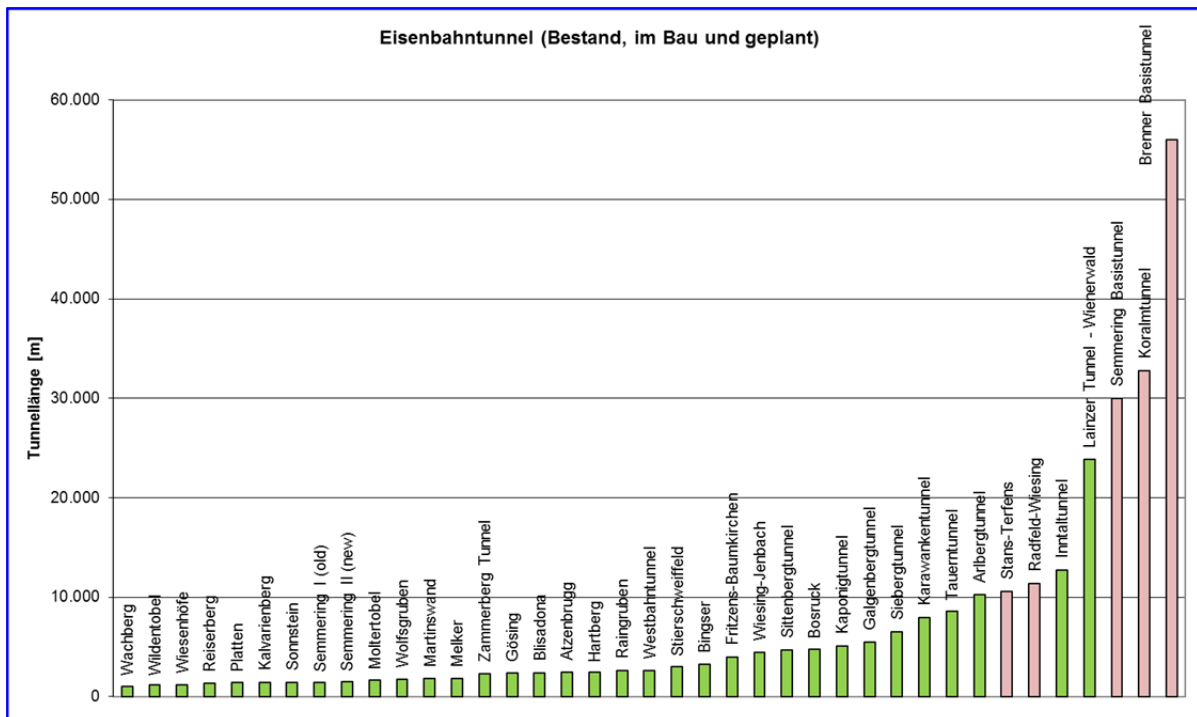


Abbildung 21: Eisenbahntunnel in Betrieb, im Bau oder in Planung (österreichweit)

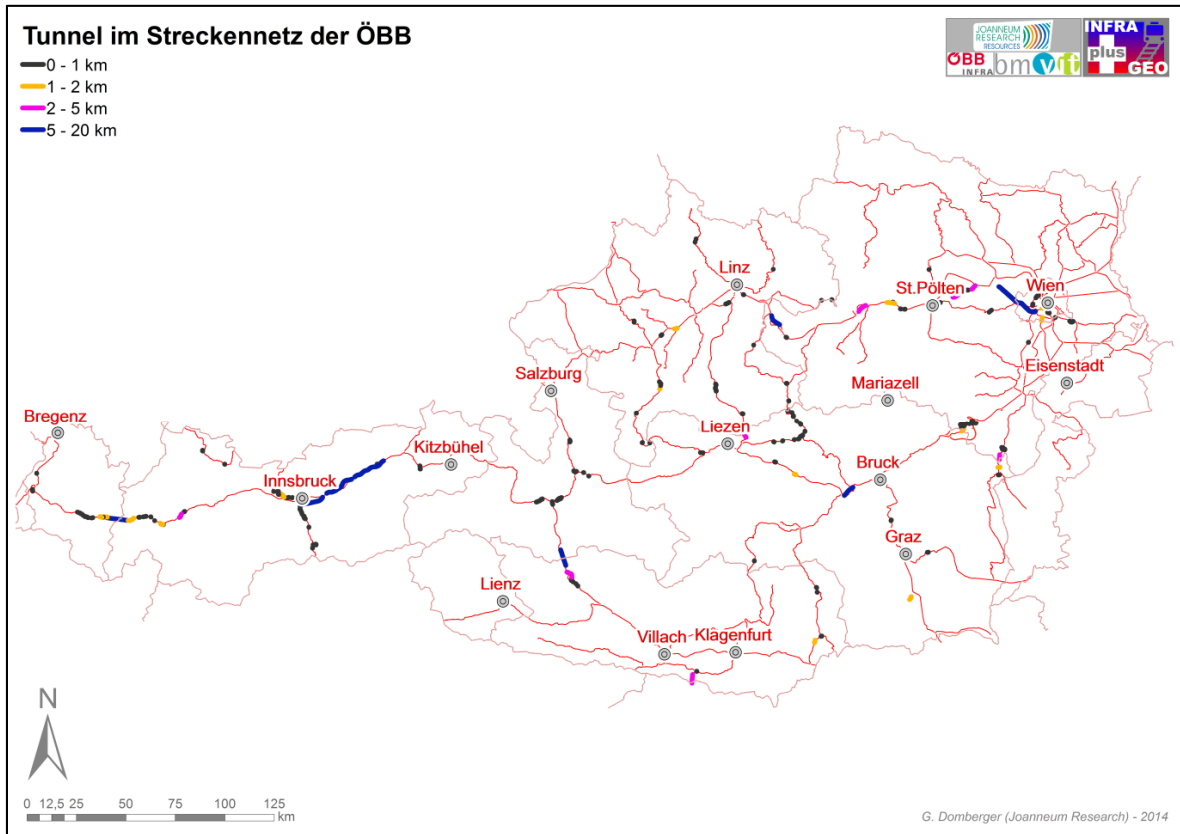


Abbildung 22: Bestandstunnel im Bereich der ÖBB-Strecken

Die Wassermengen und die Wassertemperaturen sind nur von wenigen Einzelprojekten bekannt und für weiterführende bundesweite Analysen nicht zusammengefasst verfügbar.

Generell ist jedoch eher davon auszugehen, dass Tunnel mit größeren Längen erhöhte Wassermengen aufweisen, da diese über die gesamte Tunnellänge zusammengefasst werden. Weiters korrelieren höhere Gesteinsüberlagerungen meist mit erhöhten Wassertemperaturen. Im Bereich der ÖBB wäre eine systematische Erhebung der Bestandstunnel erforderlich um die diesbezüglichen Grundlagen für eine geothermische Bewertung der Tunnel verfügbar zu haben.

Einige aus Vorprojekten bekannte Tunnelbeispiele sind der Bosrucktunnel, der Karawanken-Eisenbahntunnel und der Karawanken-Autobahntunnel (siehe Abbildung 24 bis Abbildung 30). Diese werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben.

Weiters ist JOANNEUM RESEARCH in die hydrogeologischen Arbeiten beim Koralmtunnel und beim Semmering Basistunnel involviert, wodurch ein diesbezügliches Detailwissen aufgebaut werden konnte.

6.2.2.1 Bosruck-Eisenbahntunnel

Der Bosrucktunnel ist ein Tunnel, der die Kalkalpen quert und daher am Nordportal und am Südportal große Wassermengen ableitet (siehe Abbildung 23).

Im Bereich des Südportals fließen etwa 200 l/s in einem betonierten Gerinne unter dem Gleiskörper ab. Im Bereich des Nordportals fließen etwa 100 l/s in einem betonierten Gerinne unter dem Gleiskörper ab und münden portalnah in den Vorfluter (siehe dazu auch Tabelle 6, Abbildung 24, Abbildung 25).

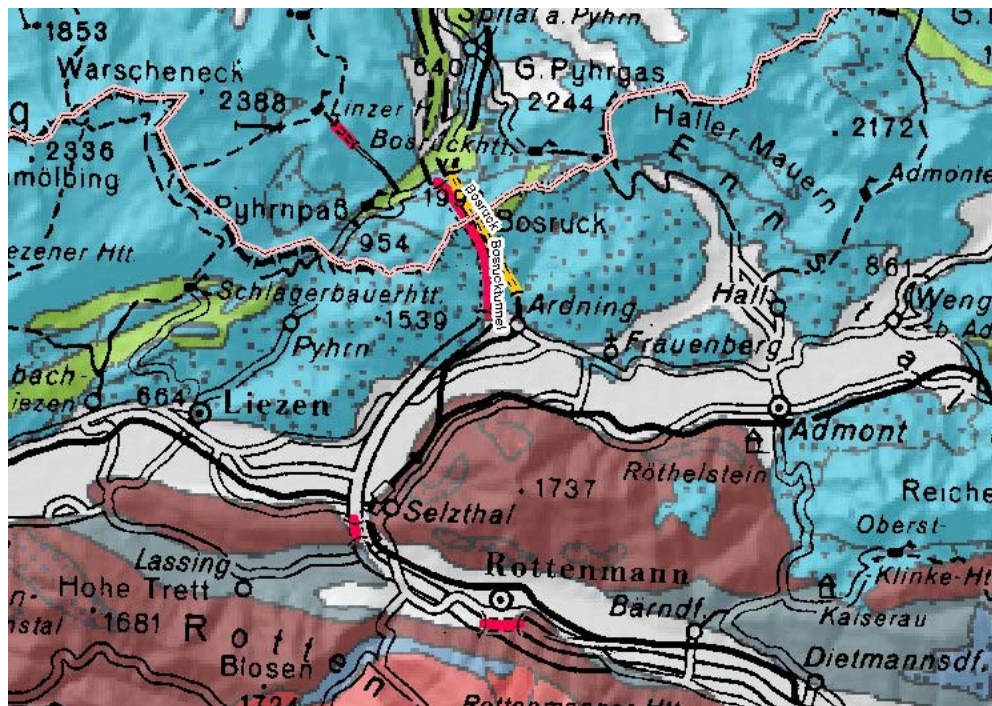


Abbildung 23: Bosrucktunnel – Geologische Übersicht

Messstelle	Datum	Menge	Wassertemperatur
Nordportal-Gesamtmenge	12.03.2007	~100 l/s	6,3 °C
Südportal-Gesamtmenge	12.03.2007	~200 l/s	7,7 °C
Nische 558m	12.03.2007	nicht erkennbar	7,2 °C
Einzelzutritt 1627m	12.03.2007	~5 l/s	6,3 °C

Tabelle 6: Gemessene Wassertemperaturen – Bosrucktunnel



Abbildung 24: Bosphuck – Tunnel – Wassermenge am Nordportal

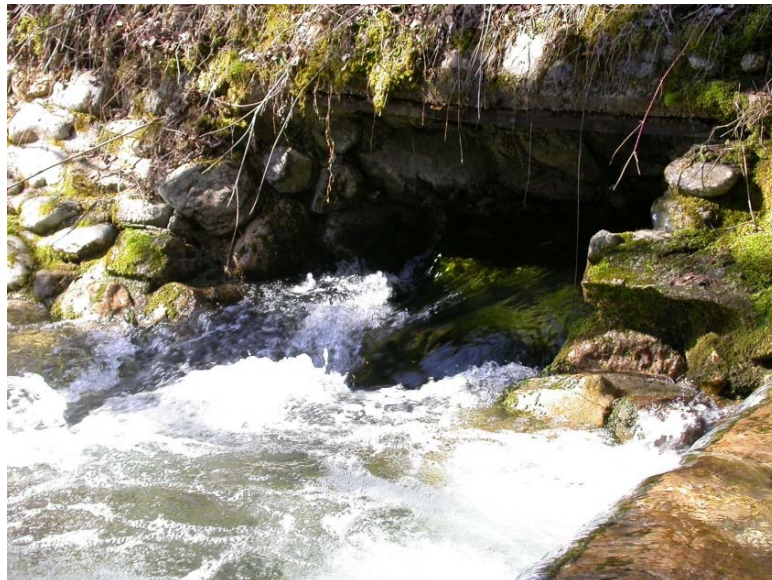


Abbildung 25: Bosphuck-Tunnel – Einleitestelle Tunnelwasser beim Südportal

Die gemessenen Wassertemperaturen zwischen $6,3^{\circ}$ bzw. $7,7^{\circ}\text{C}$ sind für eine für eine Beheizung mit Wärmepumpenunterstützung aus technisch-wirtschaftlicher Sicht nicht zielführend einsetzbar. Für Kühlzwecke wäre das Tunnelwasser des Bosrucktunnels jedoch verwendbar. Der Kühlbedarf ist im Bereich der Portale des Bosrucktunnels jedoch nicht gegeben.

Im Bereich des Südportales wird mit dem Tunnelwasser ein Kleinwasserkraftwerk betrieben.

6.2.2.2 Karawanken-Eisenbahntunnel

Der etwa N-S-verlaufende Karawankentunnel der Eisenbahnlinie Villach–Jesenice–Ljubljana verbindet Österreich mit Slowenien (siehe Abbildung 26).

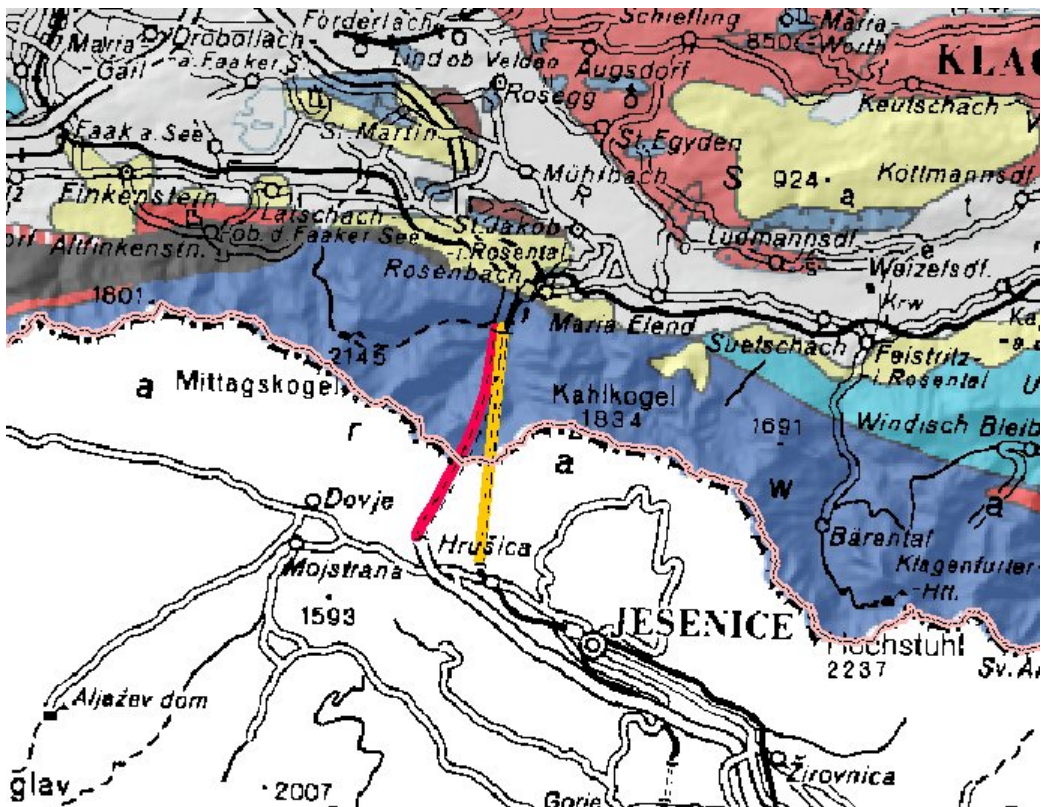


Abbildung 26: Karawankentunnel (Eisenbahn-gelb, Autobahn-rot) – Geologische Übersicht

Das Nordportal des Tunnels liegt im Rosenbachtal in Kärnten. Die maximale Gebirgsüberlagerung beträgt 956 m. Die Trasse steigt vom Nordportal (Seehöhe 626 m) mit etwa 3‰ auf einer Länge von 3768 m bis zur Seehöhe von 637,7 m, verläuft dann

etwa 250 m horizontal und fällt dann über 3958 m zum Südportal (Seehöhe 614 m) auf slowenischem Staatsgebiet mit etwa 6‰ wieder ab [23].

Es handelt sich demnach um einen Scheiteltunnel, der die anfallenden Bergwassermengen zum Süd- bzw. Nordportal hin aufteilt.

Der 7.976 m lange Tunnel wurde am 1. Oktober 1906 eröffnet.

6.2.2.2.1 Wasserführung

Die Informationen zur folgenden Beschreibung der hydrogeologischen Rahmenbedingungen wurden im Wesentlichen der detaillierten Dokumentation von Teller [23] entnommen und entsprechend der Projektfragestellung von INFRAplusGEO adaptiert.

Der Nord- und Südvortrieb zeigten entsprechend den unterschiedlichen geologischen Rahmenbedingungen stark differenzierte hydrogeologische Situationen.

Nordvortrieb:

Bis etwa Stationierung 750 m zeigten sich im Nordstollen überall ergiebige Firstregen in zerklüfteten Kalken und Dolomiten. Einzelzutritte wurden in diesem Bereich bei 63-80 m, 143-256 m und 378,5-413,2 m angefahren. In diesem Bereich handelte es sich um gering ergiebige (maximal 1 l/s) Einzelzutritte. Im Grenzbereich zu den stauenden Werfener Schichten kam es zwischen 460 m und etwa 580 m mehrfach zu starken Wasserzutritten, welche einen Gesamtabfluss von etwa 60 l/s erbrachten. Das geringe Gefälle von 3‰ führte zu erschwerenden Verhältnissen bei der Wasserableitung. Zwischen 600 m und 750 m zeigten sich nahezu trockene Verhältnisse. Bei zwei Einzelzutritten bei 537 m (Gesamtschüttung etwa 5 l/s) wurde auch Schwefelwasserstoffgeruch dokumentiert. Die anschließenden Werfener Schichten zwischen 750 und 1700 m zeigten fast völlig trockene Bedingungen. Bis etwa 2300 m zeigten sich nur geringfügige Tropfwasserzutritte. Erst zwischen 2320 m und 4022 m wurden kleine Einzelzutritte angetroffen, die aber nie über 1 l/s lagen. Der stärkste Einzelzutritt dieses Bereiches wies eine Schüttung von nur 0,5 l/s auf. Die Wasserzutritte entstammten meist sandig verwitterten Rauhwacken. Mit dem Eintritt in die Wengener Plattenkalke (ab 4022 m) nahm die Gebirgsfeuchtigkeit zu. In permischen Kalkbrekzien wurden zwischen 4315 m und 4498 m einige Einzelzutritte von etwa 1-3 l/s angetroffen. Bei 4476 m wurde

druckstarkes Wasser angetroffen. Dieser Zutritt blieb bis 4525,8 an. Die gesamte Wassermenge dieses Bereiches musste aufgrund des fallenden Vortriebes zum Nordportal gepumpt werden. Der restliche Vortrieb im Bereich des Nordabschnittes blieb nahezu trocken. Somit wurden im Bereich des Nordvortriebes nur zwei Tunnelabschnitte mit erhöhtem Wasserzutritt angetroffen, nämlich zwischen 460-572 m (~60 l/s) und zwischen 4352-4526 m (~100 l/s).

Südvortrieb:

Bei 102 m (vom Südportal aus) erfolgten Zutritte aus dem Schuttmantel. In der triassischen Abfolge kam es bei 213 m zu ersten Wasserzutritten, die jedoch bald wieder trocken fielen. Bei 430 m und bei 477 m wurden weitere Einzelzutritte angetroffen. Der am meisten wasserführende Bereich des Südvortriebes lag zwischen 640 m und 720 m. Die Grenze zwischen Trias und Karbon bei 1095 m erwies sich als völlig trocken. Die gesamte Schichtfolge des Karbon zwischen 1355 m und 2805 m wies nur untergeordnete Wasserzutritte auf, die zum Teil Hinweise auf höhere Mineralisierungen des Bergwassers erbrachten.

Viele der angetroffenen Wasserzutritte im Bereich des Südvortriebes fielen bald trocken. Dennoch floss bei Tunneleröffnung im Jahr 1906 eine Gesamtmenge von etwa 30 l/s beim Südportal ab.

6.2.2.2.2 Gesteinstemperaturen

Im Rahmen der Bauarbeiten zum Karawankentunnel erfolgten regelmäßige Messungen der Gesteinstemperaturen, die in F. Teller, 1910 zusammengefasst sind. Die dokumentierten Werte wurden übernommen und sind in Abbildung 27 dargestellt.

Die Gesteinstemperaturen wurden in 1m bis 1,5 m tiefen Bohrlöchern gemessen, sodass unerwünschte Einflüsse aus der Tunnelluftzirkulation minimiert wurden.

Für geothermische Überlegungen sind diese Untersuchungen und Messungen von großer Bedeutung.

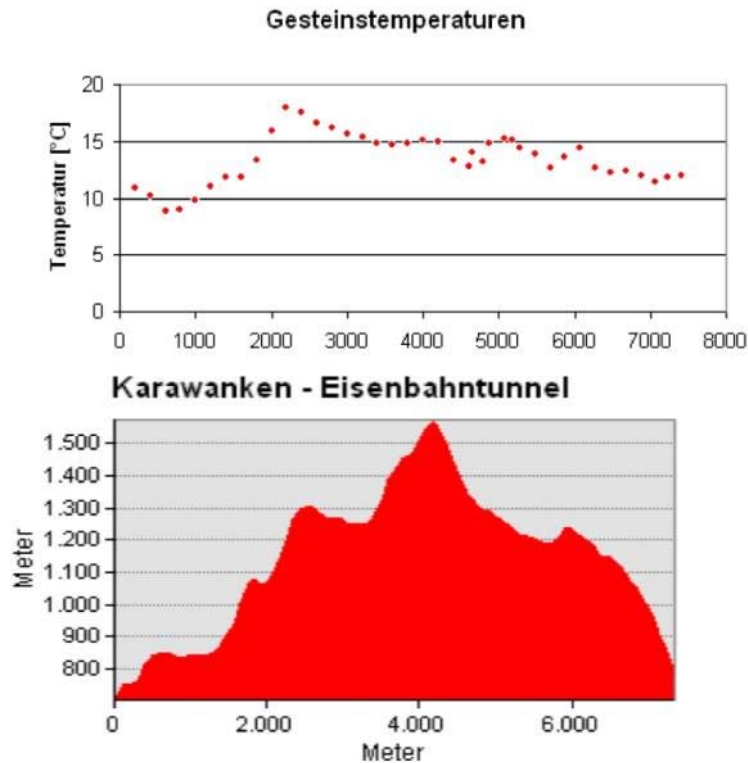


Abbildung 27: Tunnelprofil –Gesteinstemperaturen

Grundsätzlich zeigt sich, dass die Felstemperatur maximal etwa 18°C erreichte. Die Maximaltemperatur wurde in dunklen Dolomiten bei etwa 2200 m (ab Portal Nord) gemessen. Wasserzutritte beschränkten sich hier auf geringfügige Tropfwasserzutritte. Ein direkter Zusammenhang mit der Gesteinsüberlagerung (siehe Abbildung 27) und damit mit den geothermischen Gradienten besteht hier aber nicht.

6.2.2.2.3 Realisierte Nutzung auf österreichischer Seite des Eisenbahntunnels

Im Zuge des Tunnelbaus wurde bereits 1902 in Rosenbach (Ortsteil von Sankt Jakob im Rosental) ein Wasserkraftwerk errichtet. Seit der Fertigstellung des Tunnels versorgt man von dort aus die Bahnhöfe und die Eisenbahnanlagen mit elektrischem Strom. Dieses Kraftwerk nutzt Mischwasser aus einigen Seitenzubringern und dem Tunnelwasser aus dem Straßentunnel und dem Eisenbahntunnel. Eine thermische Nutzung des Tunnelwassers erfolgt nicht.

6.2.2.2.4 Derzeitige Wasserableitungseinrichtungen

Vom Scheitelpunkt ausgehend kumuliert sich das Tunnelwasser aus zahlreichen kleinen Zutritten und Tropfwasserzutritten in einer Rohrleitung, die mittig unterhalb des Gleiskörpers zwischen den beiden Gleisen des einröhrig-zweigleisigen Tunnels verläuft (siehe Abbildung 28). In Schächten die in regelmäßigen Abständen angeordnet sind, kann die jeweilige Abflussmenge geschätzt werden. Die Einzelzutritte dürften aus einzelnen Abschlauchungen in dieses zentrale Rohr einmünden. Es sind jedoch nur wenige Einzelzutritte sichtbar, die oft diffus im Schotter des Gleiskörpers versickern.



Abbildung 28: Zentrale Ableitung unter dem Gleiskörper des Karawankentunnels

Im Portalbereich Nord existiert ein zentraler Schacht, welchen die gesamte Tunnelwassermenge passiert und anschließend in einer Rohrleitung in den Vorfluter (siehe Abbildung 29) abgeleitet wird.



Abbildung 29: Einleitung des Tunnelwassers des Karawanken-Eisenbahntunnels

Die Gesamtmenge kann mit wenigen 10er l/s abgeschätzt werden, eine detailliert Messung ist nur schwer möglich, da die Einleitestelle kaum zugänglich ist.

Auf slowenischer Seite erfolgt derzeit keine Nutzung der Wasser aus dem Eisenbahntunnel. Der gesamte Ausfluss beträgt auf slowenischer Seite etwa 12 l/s. Zum Teil sind hochmineralisierte Wasser beigemischt, die aufgrund von Ausfällungsproblemen nicht genutzt werden können.

Für eine thermische Nutzung des Tunnelwassers auf der österreichischen Nordseite des Karawankentunnels müssten Zeitreihen (Schwankungen) der Mengen und Wassertemperaturen gemessen werden. Weiters wäre auch ein möglicher Wärme- bzw. Kältebedarf in Portalnähe detailliert zu erheben.

6.2.2.3 Karawanken-Autobahntunnel

Der Karawanken-Autobahntunnel verläuft unweit des Karawanken-Eisenbahntunnels (siehe Abbildung 26). Der Tunnel ist geothermisch von großem Interesse und wird aus diesem Grund innerhalb des Projektes INFRAplusGEO kurz beschrieben, obwohl er kein ÖBB-Tunnel ist.

Ein Teil des Tunnelwassers wird auf österreichischer Seite in Ulmendrainagen abgeführt, ein zweiter Teil wurde in zwei Einzelfassungen gefasst und für eine mögliche zukünftige Trinkwassernutzung bereitgestellt. Die beiden Einzelfassungen stellen eine derzeit ungenutzte Trinkwasserreserve der Wasserwerke Villach dar. Die Gesamtmenge, die am Nordportal anfällt, hat eine Wassertemperatur von 17,9°C und beträgt etwa 200-300 l/s (siehe Abbildung 30).

Der Karawanken-Autobahntunnel zeigt damit das enorme thermische Potenzial auf, welches auch ÖBB-Tunnel aufweisen können und welches derzeit in Österreich ungenutzt ist.

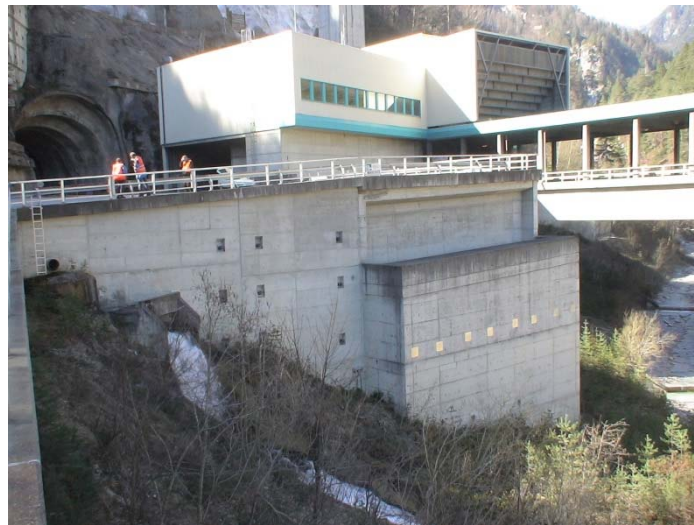


Abbildung 30: Karawanken-Autobahntunnel – Gesamtwassermenge Nordportal

In der Schweiz hingegen wurden einige Projekte der geothermischen Nutzung von Tunneln bereits umgesetzt.

6.2.3 Tunnelwassernutzung in der Schweiz

In der Schweiz besteht ein umfangreiches Know-How im Bereich der thermischen Nutzung von Wasser aus Eisenbahn- und Straßentunneln. Aufgrund der Tatsache, dass die damit zusammenhängenden Projekte meist mit finanziellen Mitteln der öffentlichen Hand unterstützt wurden, sind zahlreiche Studien und Arbeiten veröffentlicht und die damit verbundenen Erfahrungen verfügbar. Da die Schweiz mit Österreich vergleichbare topografische und geologische Gegebenheiten aufweist, sind die vorliegenden Erfahrungen gut auf österreichische Verhältnisse übertragbar.

In den Jahren 1995 und 1996 wurden im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Energie sämtliche bestehenden schweizer Tunnel, die länger als 1 km sind, im Hinblick auf die thermische Nutzung des Tunnelwassers untersucht.

Ausgehend von der daraus resultierenden Vorselektion von 130 Tunneln und Stollen aus 600 erfassten Bauwerken in der Schweiz wurde eine Untersuchung des geothermischen Potenzials von 15 Tunneln durchgeführt. Berücksichtigt wurde dabei die Temperatur und Ergiebigkeit des Wassers an den Portalen sowie die Verfügbarkeit und Nähe von potenziellen Wärmeabnehmern. Die Tunnelwasserergiebigkeit dieser 15 Tunnel beträgt zwischen 6 l/s und 300 l/s, während die Temperatur von 12 bis 24° C erreicht. Mit diesen

beiden Parametern kann man das geothermische Potenzial, d.h. die Wärmeleistung, die diese Tunnel liefern könnten, berechnen. Das gesamte geothermische Potenzial der 15 untersuchten Tunnel beträgt etwa 30.000 kW, was dem Wärmebedarf von etwa 4000 Haushalten entspricht (siehe dazu Tabelle 7).

Geothermisches Potenzial einer Auswahl von 15 Eisenbahn- und Strassentunnels sowie Sondierstollen.

Tunnel	Kanton	Tunneltyp	Ausfluss (l/min)	Wassertemperatur (° C)	Wärmeleistung ² (kW)
Ascona	TI	Strasse	360	12	150
Furka ¹	VS	Eisenbahn	5400	16	3'758
Frutigen	BE	Sondierstollen	800	17	612
Gotthard ¹	TI	Strasse (N2)	7200	15	4'510
Grenchenberg (Südportal)	SO	Eisenbahn	18000	10	11'693
Hauenstein (Basistunnel)	SO	Eisenbahn	2500	19	2'262
Isla Bella	GR	Strasse	800	15	501
Lötschberg	VS	Eisenbahn	731	12	305
Mappo-Morettina ¹	TI	Strasse	983	16	684
Mauvoisin	VS	Pilotstollen von Riddes	600	20	584
Polmengo	TI	Sondierstollen	600	20	584
Rawyl	VS	Sondierstollen	1200	24	1'503
Ricken ¹	SG	Eisenbahn	1200	12	501
Simplon (Portal Brig)	VS	Eisenbahn	1380	13	672
Vereina	GR	Eisenbahn	2100	17	1'608
Total (kW)					29'927

¹ bestehende geothermische Heizanlagen

² Leistung berechnet am Tunnelportal, ohne Wärmepumpe, bei einer Abkühlung auf 6° C

Tabelle 7: Geothermisches Potenzial von Tunnels in der Schweiz (J.Wilhelm & L.Rybach)

Tabelle 8 gibt ein Überblick über die tatsächlich genutzten Tunnel in der Schweiz.

Tunnel	Ortschaft	Schüttung [l/min]	Schüttung [l/s]	Wassertemperatur [°C]	Energie T=10°C [GWh]
Furkatunnel	Oberwald	5400	90	16	19,87
Gotthard Straßentunnel	Airolo	7200	120	12	8,83
Rickentunnel	Kaltbrunn	690	12	12,3	0,97
Hauenstein Basis	Trimbach	2500	42	19	13,8
Mappo Morettina	Minusio/Tenero	250	4	11	0,15
Grand St. Bernard	Bourg St. Pierre	Tunnelabluft (Luft-Wasser-Wärmepumpe)			

Tabelle 8: Tunnelwassernutzungen in der Schweiz

6.3 Saisonale Speicherung von Wärme im Untergrund

Grundsätzlich besteht bei geothermischen Nutzungen ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund in den meisten Fällen eine Diskrepanz zwischen der entnommenen Energie

und jener Energie, die durch den natürlichen Erdwärmefluss regeneriert wird. Vor allem betrifft dies die in Kapitel 6.1 dargestellten Nutzungsmethoden. Es kommt daher in vielen Fällen zu einer thermischen Übernutzung und dementsprechend zu einer langfristigen Abkühlung des Untergrundes (siehe dazu auch Kapitel 11.4).

In diesen Fällen ist eine saisonale Wärmespeicherung durch eine kombinierte Heiz-Kühlanlage bzw. durch die Speicherung solarer Wärme im Untergrund günstig bzw. zielführend. In Abbildung 31 ist das Prinzip dazu dargestellt.

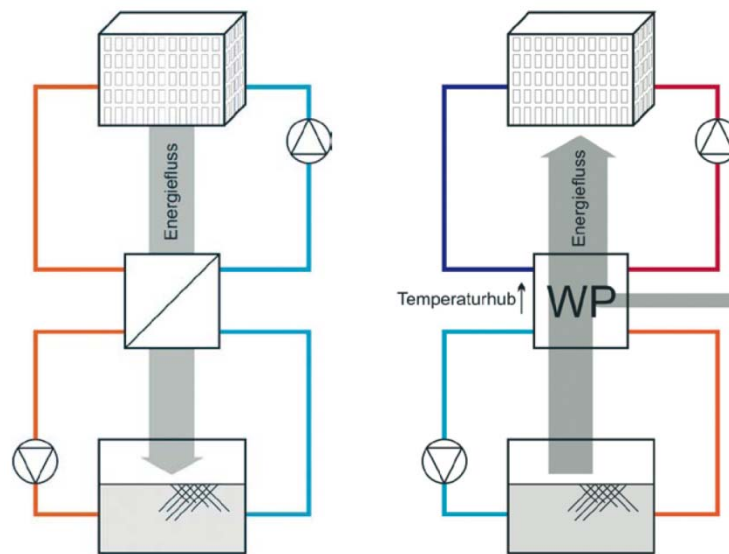


Abbildung 31: aus [15] - Sommer: Wärmeeintrag in den Untergrund zur Gebäudekühlung im freien Kühlbetrieb (links) bzw. Winter: Wärmeentzug aus dem Untergrund zur Gebäudeheizung im Wärmepumpenbetrieb (rechts)

6.4 Indirekte Nutzung der Erdwärme mit Wärmepumpe

Bei einer zu geringen verfügbaren Quelltemperatur bei allen in den vorherigen Kapiteln angeführten Formen der Erdwärmeeintragung erfolgt die Anhebung der Vorlauftemperatur für ein Heizsystem mit Hilfe einer Wärmepumpe. Eine Wärmepumpe ist eine Arbeitsmaschine, die mit Hilfe elektrischer Energie Wärme von einem tieferen auf ein höheres Temperaturniveau hebt (siehe Abbildung 32).

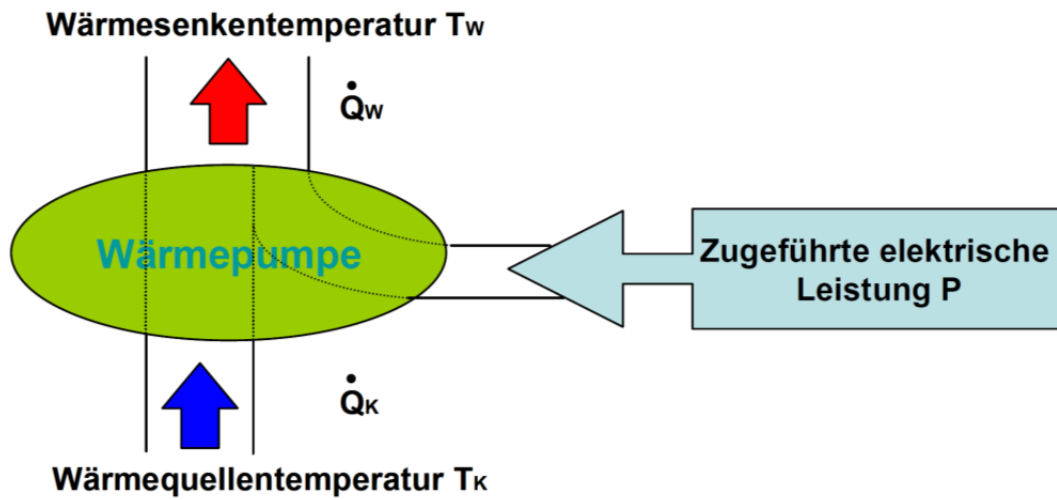


Abbildung 32: Schema zur Funktion einer Wärmepumpe

Jede Kompressionswärmepumpe enthält die folgenden Komponenten:

- Verdampfer
- Verdichter
- Kondensator
- Expansionsventil

Diese Komponenten sind durch Leitungen verbunden, in denen ein Kältemittel mit geeigneten thermodynamischen Eigenschaften den Kreisprozess nach Abbildung 33 durchläuft.

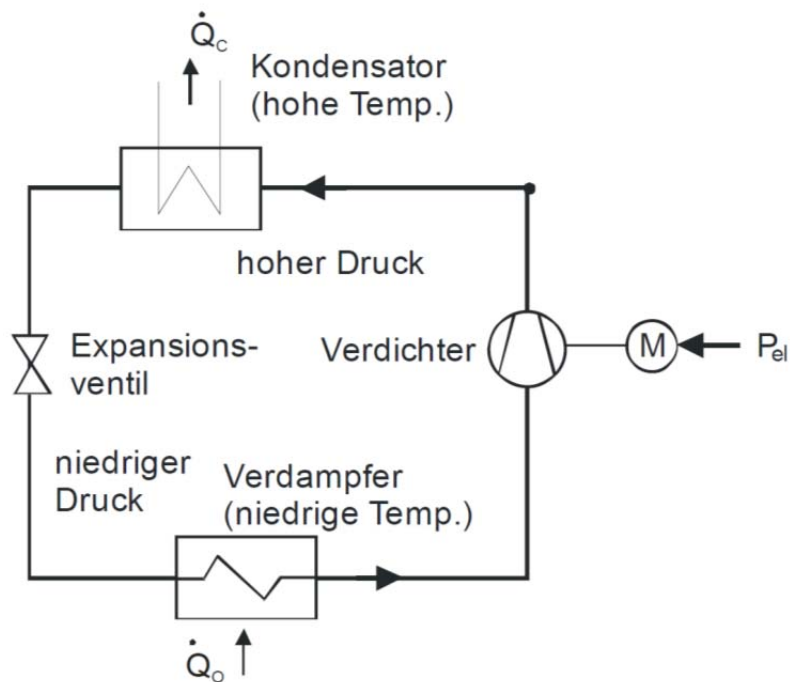


Abbildung 33: Prinzipielle Schaltung einer Wärmepumpe

Im Verdampfer wird das flüssige Kältemittel unter Wärmezufuhr auf niedrigem Temperaturniveau beim Druck p_0 verdampft. Der etwas überhitzte Kältemitteldampf wird vom Verdichter angesaugt und auf den Druck p verdichtet und damit auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Im Kondensator gibt der überhitzte Kältemitteldampf seine Überhitzungs- und Kondensationswärme ab, wird verflüssigt und im Expansionsventil auf den Verdampfungsdruck p_0 entspannt, wobei ein Teil des flüssigen Kältemittels verdampft. In Abbildung 34 ist ein Wärmepumpen-Kreisprozess im $(\log p, h)$ -Diagramm eingezeichnet. Diese Diagrammform ist für die thermodynamische Prozessbeschreibung besonders gut geeignet, da hier die Beträge der spezifischen Wärmen und Arbeiten direkt als Strecken abgelesen werden können.

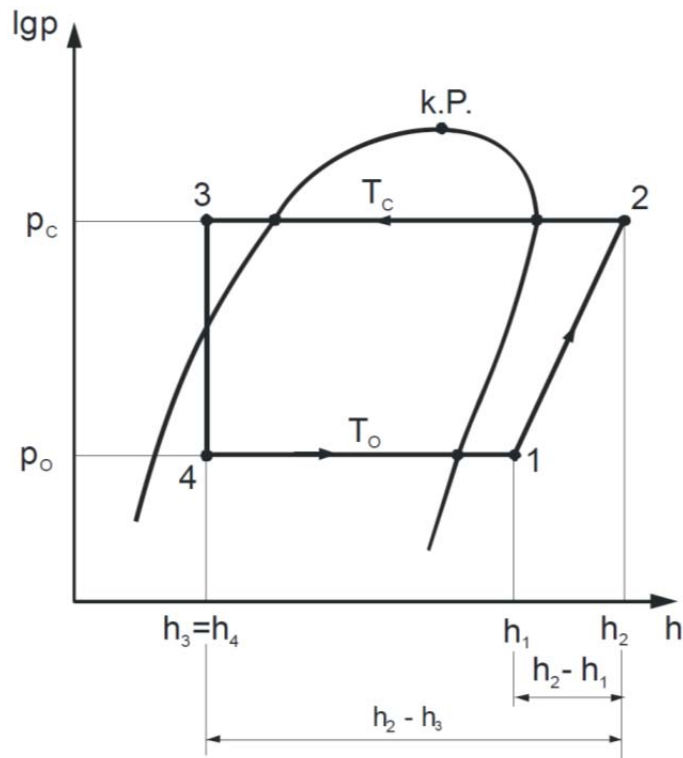


Abbildung 34: Wärmepumpen - Kreisprozess im $(\log p, h)$ -Diagramm

Ausgehend von Punkt 1 wird der Kältemitteldampf im Idealfall (isentropische Verdichtung d. h. $ds = 0$) bis zum Punkt 2 verdichtet. Von Punkt 2 bis zum Punkt 3 wird das Kältemittel isobar abgekühlt, verflüssigt und etwas unterkühlt. Die Strecke 2-3 stellt die spezifische Nutzwärme ($q = h_2 - h_3$) dar.

Die Entspannung von Punkt 3 nach Punkt 4 verläuft auf einer Isenthalpen ($dh = 0$). Vom Punkt 4 bis Punkt 1 wird das Kältemittel isobar verdampft und leicht überhitzt. Die Strecke 4-1 entspricht der spezifischen Wärme $q_0 = h_1 - h_4$, die der Wärmequelle (Umgebung) entzogen wird. Für die Beurteilung einer Wärmepumpe ist entscheidend, wievielfach größer der Nutzwärmestrom, d. h. der vom Kondensator an die Wärmesenke (Warmwasserheizung) abgegebene Wärmestrom gegenüber der aufgewendeten Antriebsleistung des Verdichters ist.

Das Verhältnis zwischen gewonnenem Nutzwärmestrom und aufgewendeter Arbeitsleistung wird mit der Leistungszahl ϵ bezeichnet.

Diese Leistungszahl lässt sich aus den Werten im $(\log p, h)$ -Diagramm wie folgt bestimmen:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{P} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Eine Wärmepumpe lässt sich besonders dort vorteilhaft anwenden, wo Umwelt- oder Abwärme von einem noch angemessen hohen Temperaturniveau ($>0^\circ\text{C}$) zur Verfügung steht und wo Nutzwärme bei nicht sehr hohen Temperaturen (z.B. Heizung $<50^\circ\text{C}$) benötigt wird, so dass nur eine geringe Temperaturdifferenz zwischen Verdampfungs- und Kondensationstemperatur zu überwinden ist.

Eine Wärmepumpe sollte daher idealerweise in Verbindung mit einer guten Wärmedämmung und einer Niedertemperaturheizung eingesetzt werden. Die verschiedenen geothermischen Nutzungsmöglichkeiten von Wärmepumpen sind in Abbildung 35 dargestellt.

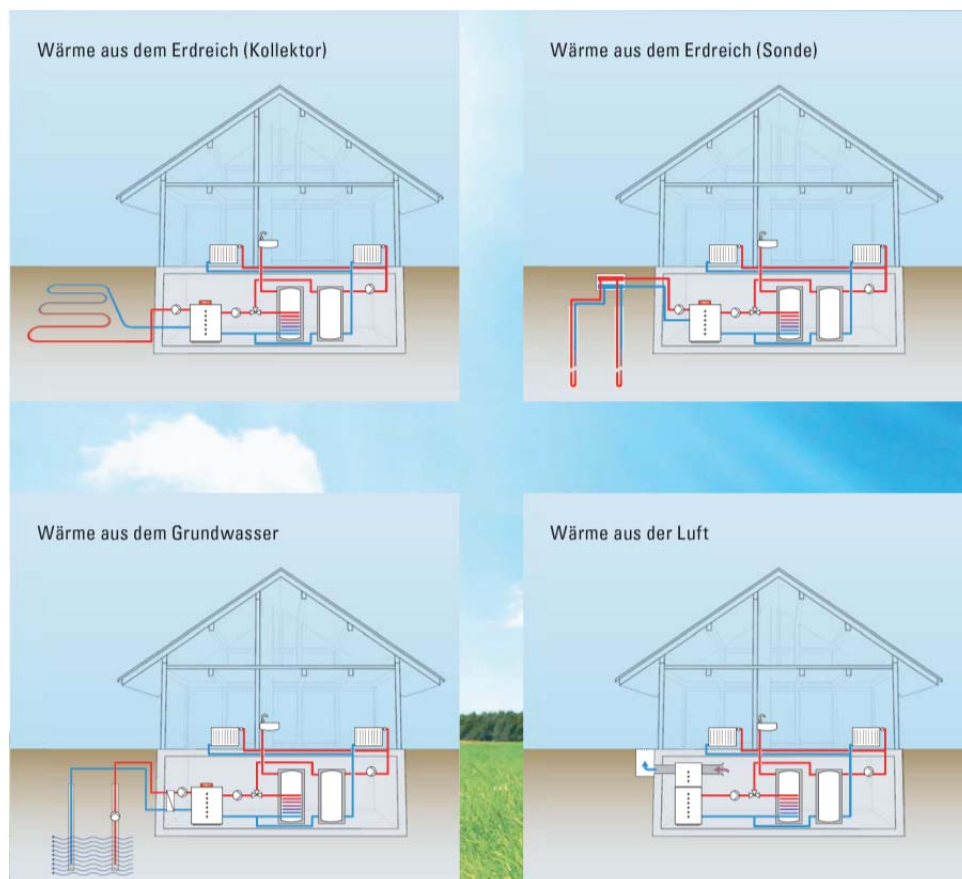


Abbildung 35: Nutzungsmöglichkeiten von Wärmepumpen (Quelle: Planungshandbuch Viessmann, www.viessmann.at/de/Nahwaermenetze/services/fachreihen.html)

7 PROJEKTBEISPIELE

7.1 Projektbeispiele im Bereich der ÖBB

Im Zuge der Erhebungsarbeiten und bei den Projektbesprechungen mit der ÖBB-Expertenrunde wurden einige Projekte der ÖBB diskutiert, bei denen Erdwärme als Energiequelle herangezogen wird. Die Projektunterlagen zu diesen Projekten wurden von der ÖBB an Joanneum Research übermittelt.

Auf Basis der Planungsunterlagen und ÖBB-Projektbeschreibungen werden die folgenden Projektbeispiele erläutert:

- Sportmittelschule Penzing – Bohrpfähle
- Wiener Hauptbahnhof – Bohrpfähle, Bodenplattenabsorber
- Attnang Puchheim – Energiebodenplatte, Erdwärmesonden
- Hauptbahnhof Salzburg - Erdwärmesonden , Energiepfähle
- Bahnhof Weststeiermark - Tunnelwassernutzung

Weiters werden in Kapitel 7.2 einzelne Nicht-ÖBB-Projekte, welche für das Projekt INFRAplusGEO Relevanz besitzen, dargestellt.

7.1.1 Sportmittelschule Penzing

Zwischen den Haltestellen Wien-Hadersdorf und Wien-Weidlingau (siehe Abbildung 36) wurde ein etwa 100m langer Tunnelabschnitt des Lainzer Tunnels mit einem Erdwärmesystem ausgestattet. In diesem Bereich wurde der Tunnel in offener Bauweise errichtet und die Pfahlwände wurden mit Wärmeabsorberleitungen ausgerüstet.

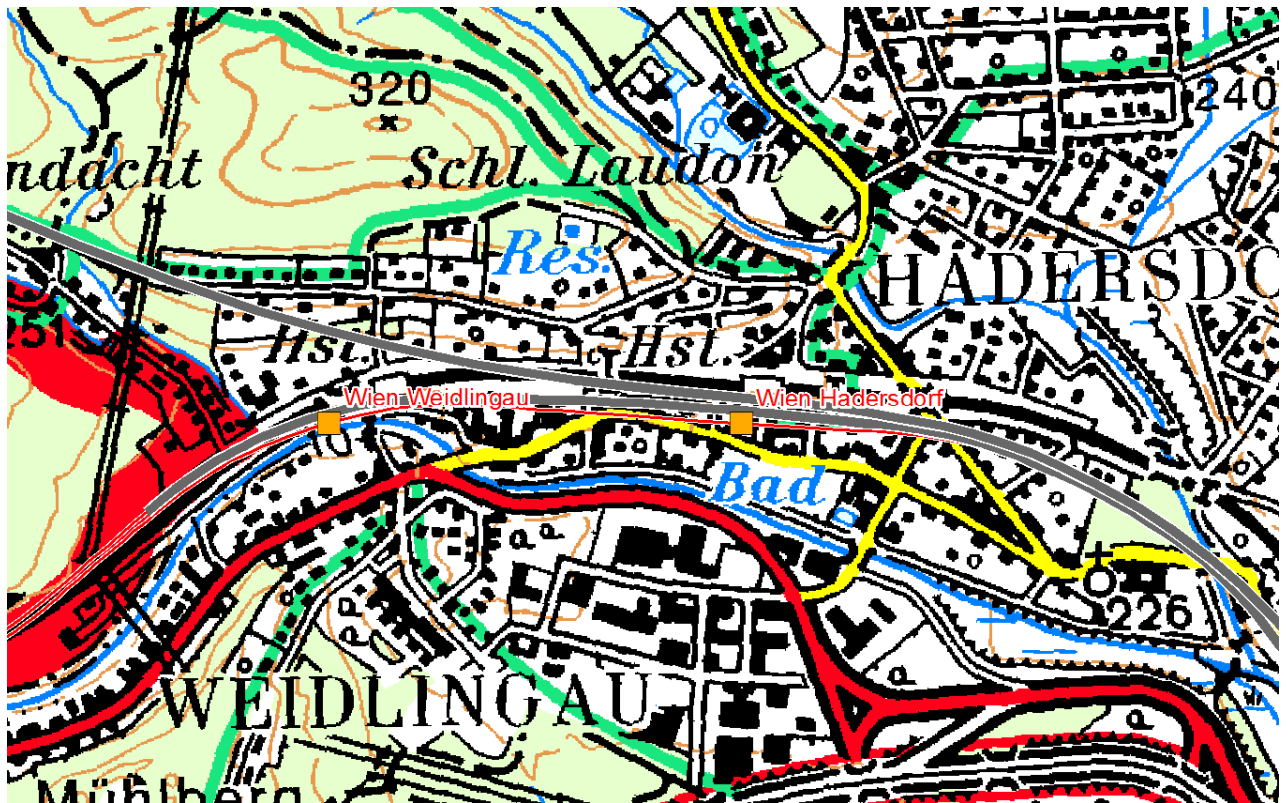


Abbildung 36: Lageskizze - Sportmittelschule Penzing

Die Wärme wird an Wärmepumpen in der nahen Sportmittelschule zum Heizen und zum Aufbereiten von Warmwasser genutzt.

Die Anlage ist auch im ÖBB-Nachhaltigkeitsbericht von 2010 wie folgt beschrieben:

Auszug: „Nach der Gaskrise ist vor der Gaskrise. Diese Erkenntnis, die Österreich und andere europäische Nachbarstaaten in den letzten Wintern immer wieder einholte, lässt die Sportmittelschule Penzing kalt. Durch die Tunnel-Thermie® ist die Schule unabhängig von Energielieferungen. Sie deckt ihren Energiebedarf aus einer umweltfreundlichen heimischen Quelle. Denn im Zuge der Errichtung des 15 Kilometer langen Lainzer Tunnels wurde eine Geothermie-Anlage durch ein Konsortium aus ÖBB-InfrastrukturAG, der Wien-Energie-Tochter Energie-Comfort, SCHIG und der Stadt Wien installiert. Dazu wurden 59 Bohrpfähle als sogenannte „Energiepfähle“ mit Absorberschläuchen ausgestattet und diese mit sechs Wärmepumpeneinheiten direkt im Schulgebäude verbunden. Die Anlage läuft bereits seit mehreren Jahren und liefert für die Schule Heizwärme und Warmwasser. Damit werden jährlich nicht nur rund 35.000 Kubikmeter Erdgas eingespart, sondern auch circa 30 Tonnen CO₂ vermieden.“

7.1.2 Erdwärmennutzung – Hauptbahnhof Wien

Das Gesamtprojekt Hauptbahnhof Wien ist eine bedeutende aktuelle Infrastrukturmaßnahme der ÖBB. Ein Teil der Heiz- und Kühlenergie des neuen Wiener Hauptbahnhofes soll aus Geothermie gewonnen werden.

Dafür werden unterhalb der etwa 1,80 m starken Bodenplatte des Bahnhofes (siehe Abbildung 37) sowie auch in Teilbereichen der Bohrpfähle Absorberleitungen eingebaut, die die Erdwärme aufnehmen. Über eine Wärmepumpe bzw. eine Kältemaschine wird diese Energie zum Heizen im Winter und zur Klimatisierung des Bahnhofes im Sommer genutzt.



Abbildung 37: Verlegung der Absorberleitungen vor Errichtung der Bodenplatte, Quelle: ÖBB-Infrastruktur AG

Allein mit der Nutzung der Geothermie im neuen Wiener Hauptbahnhof werden pro Jahr 20 Tonnen klimaschädlicher Kohlendioxidemissionen eingespart.

[Quellen: ÖBB, ÖBB Infrastruktur AG, www.diepresse.com]

7.1.3 Kombinierte Erdwärmennutzung - Bahnhof Attnang-Puchheim

In [16] ist das Projekt zur Nutzung der Erdwärme im Bahnhof Attnang-Puchheim detailliert dargestellt.

Gemäß [16] erfolgt die Nutzung der Erdwärme am Bahnstandsstandort Attnang-Puchheim mit 810 m² Flächenkollektoren und 4 zusätzlichen Erdwärmesonden mit einer Tiefe von je 125 m.

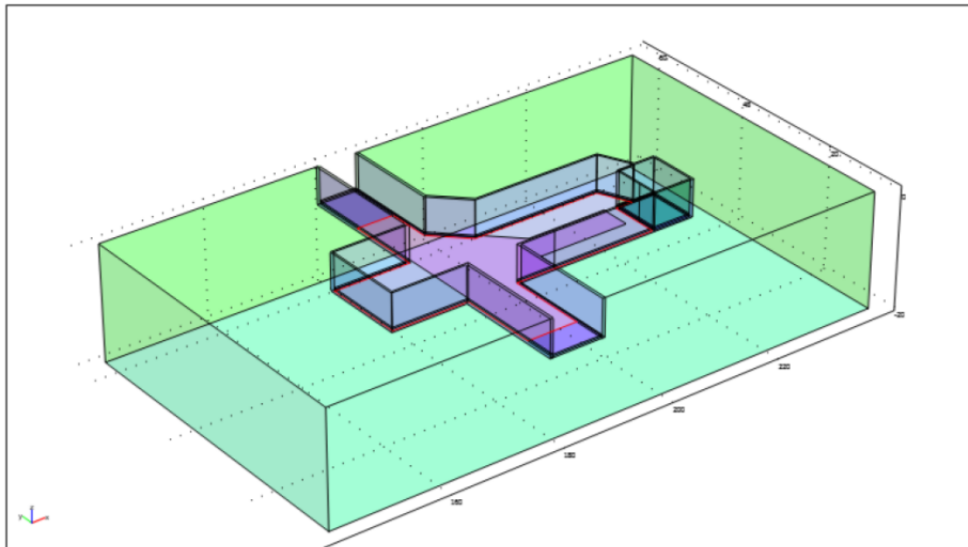


Abbildung 38: Energiebodenplatte – Absorberfläche (aus [16])

Die Erdwärme/Erdkälte wird dabei für Heizung und Kühlung (Free Cooling und bei Bedarf mit Unterstützung durch eine Kältemaschine) herangezogen. Die erforderliche Heizwärme für das Aufnahmegebäude wird über eine monovalente Wärmepumpenanlage erzeugt. Bei einem COP von 4 wird eine Entzugsleistung von 37,88 kW benötigt.

Technische Anlagenbeschreibung:

Diese erforderliche Entzugsenergie wird dabei teilweise aus dem Flächenkollektor gewonnen, welcher unter der Bodenplatte des Aufnahmegebäudes und Teilen des Tunnels errichtet wird (siehe Abbildung 38 - „Energie-Bodenplatte“). Dieser Flächenkollektor weist eine Fläche von 810 m² auf und deckt einen Teil des Energiebedarfes ab. Der Flächenkollektor wird aus HD-PE-Rohrleitungen DN25 x 2,3 mm mit einem Regelabstand von etwa 30 cm hergestellt. Diese werden auf eine Sauberkeitsschicht verlegt und mittels einer etwa 10 cm starken Schutzbetonschicht (die eigentliche Sauberkeitsschicht für die Bewehrungsarbeiten) abgedeckt und geschützt. Die Rohre werden zu einem zentralen Verteilerstandort geführt und dort über Verteilerbalken – getrennt nach Vor- und Rücklauf – zu zwei Sammelleitungen vereint. Diese führen dann zur Wärmepumpe bzw. Kältemaschine.

Zur Maximierung des Energiebezuges aus der Erdwärme wird die Anlage mit 3 Erdwärmesonden mit je 140 m Tiefe unterstützt. Diese Erdwärmesonden werden unter der Bodenplatte niedergebracht.

Die Anlage wird im Sommer auch zur Kühlung des Gebäudes verwendet, wobei der Anlagenbetrieb weitestgehend im „Free-Cooling“-Modus erfolgt. Bei Überschreitung der Grenztemperatur für das „Free-Cooling“ von etwa 14°C muss die Kältemaschine in Betrieb gesetzt werden, um die Kühltemperatur für die Zuluft entsprechend niedrig halten zu können.

7.1.4 Erdwärmenutzung - Hauptbahnhof Salzburg

In [17] ist das Projekt zur Nutzung der Erdwärme im Hauptbahnhof Salzburg detailliert dargestellt.

Die Erdwärme wird beim Hauptbahnhof Salzburg vorwiegend mit den bautechnisch notwendigen Rammpfählen und ergänzend mit etwa 22 Erdwärmesonden (je 100 m Tiefe) bereitgestellt.

Die Erdwärme/Erdkälte wird dabei für Heizung und Kühlung (Free Cooling und bei Bedarf mit Unterstützung durch eine Kältemaschine) herangezogen.

Dabei werden vorwiegend die aus statischen Gründen vorgesehenen Rammpfähle zusätzlich als Absorberelemente genutzt. Die Erdwärmesonden, welche die Leistungsfähigkeit der Absorberanlage vergrößern und zu einer größeren Deckung des gesamten Heiz- und Kühlbedarfs des Bahnhofsgebäudes beitragen, wurden unter einem Bahnsteig errichtet.

Die Erdwärmeanlage wird zur teilweisen Deckung des Heizbedarfs und Kühlbedarfs des Neu- bzw. Umbaus sowie auch des Bestandes des Hauptbahnhofes Salzburg herangezogen. Aus dem Betrieb der Erdwärmeanlage ergeben sich signifikante Betriebskosteneinsparungen und eine Reduktion von Emissionen am Standort.

Detailbeschreibung - Rammpfähle:

Die aus statischen Gründen vorgesehenen Kleinrammpfähle (Tiefe bis zu 35m) wurden teilweise als Energierammpfähle ausgestattet. Die Herstellung der Energierammpfähle erfolgt grundsätzlich gleich wie bei den übrigen Rammpfählen. In die Rammpfähle wurde nach deren Fertigstellung in die noch flüssige Zementsuspension Absorberleitungen eingebracht.

Detailbeschreibung - Erdwärmesonden:

Um den Deckungsgrad der Erdwärmeanlage in Bezug auf die Energieaufbringung zu

vergrößern und kostenmäßig aufwendig anzubindende Bereiche wie weiter entfernte Bahnsteigdachfundamente weglassen zu können, wurden zusätzlich Erdwärmesonden im Bereich des Bahnsteiges Gleis 2-3 abgebohrt.

7.1.5 Tunnelwassernutzung - Bahnhof Weststeiermark

In der Betriebsphase des Koralmtunnels wird Tunnelwasser anfallen, welches einer thermischen Nutzung zugeführt werden soll. Entsprechend dem Technischen Bericht [2] werden für die Betriebsphase am Ostportal des Tunnels Bergwassermengen von rund 130 l/s bei einem Temperaturniveau zwischen 11–18°C prognostiziert.

Für die Nutzung des Bergwassers liegt eine Wirtschaftlichkeitsstudie (IC Consulanten) vor, die die thermische Tunnelwassernutzung beim geplanten Bahnhof Weststeiermark beschreibt.

7.2 Projektbeispiele (nicht ÖBB)

7.2.1 Projektbeispiel Crailsheim (Deutschland)

Ziel der solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit saisonalem Wärmespeicher beim Projekt in Crailsheim ist die Deckung von 50% und mehr des Gesamtwärmebedarfs einer größeren Wohnsiedlung (mehr als 100 Wohneinheiten). Durch die zeitliche Diskrepanz zwischen dem solaren Hauptstrahlungsangebot im Sommer und dem Hauptwärmebedarf im Winter ist es aus technischer und ökonomischer Sicht sinnvoll, im Sommer gewinnbare Solarwärme bis in die Heizperiode hinein zu speichern (aus [24]). Abbildung 39, Abbildung 40 und Abbildung 41 geben einen Überblick zu dem Projekt in Crailsheim.

Das Projekt ist ein ausgezeichnetes Beispiel für die kombinierte Nutzung von solarer Wärme, Erdwärme und der Speicherung von Wärme im Untergrund und ober Tage. Eine detaillierte Dokumentation findet sich auf www.bine.info.

Im Bereich der ÖBB wären vergleichbare Projektbeispiele umsetzbar, da die verfügbaren Grundstücksflächen an verschiedenen Standorten verfügbar sein könnten.



Solar Kollektoren auf Dächern und Lärmschutzwall sind ausgefallene Merkmale des solaren Nahwärmesystems in Crailsheim-Hirtenwiesen. Ein Ersonden-Wärmespeicher bevorratet solare Wärme für den Winter.
© Stadwerke Crailsheim GmbH

Abbildung 39: Anlagenüberblick Crailsheim- aus [25]

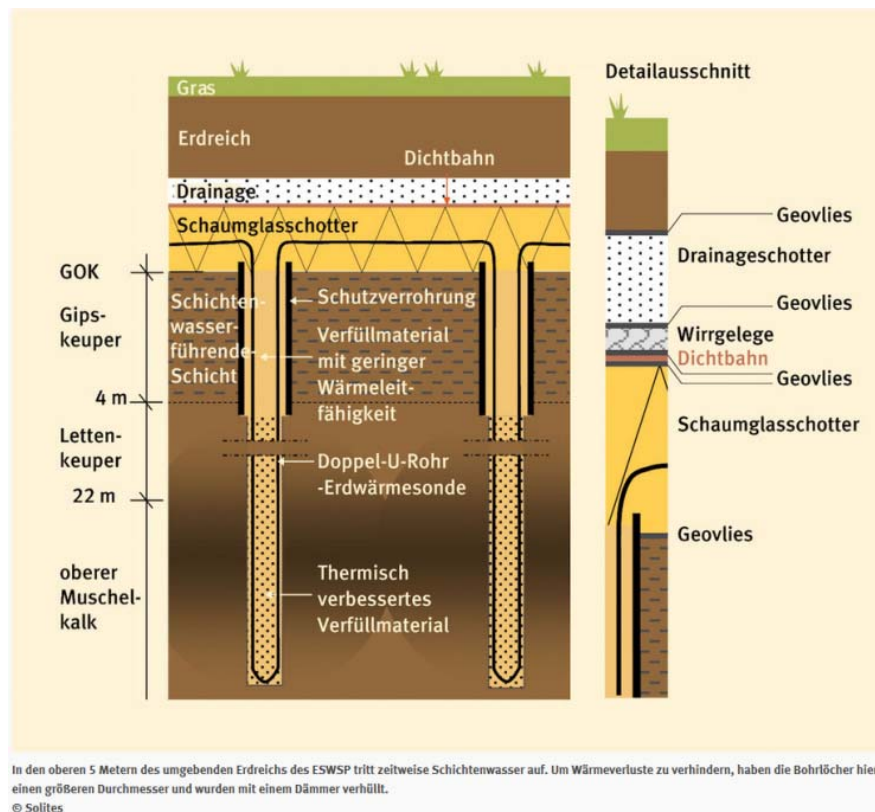


Abbildung 40: Schnittzeichnung des Erdsonden-Wärmespeichers [aus 24]

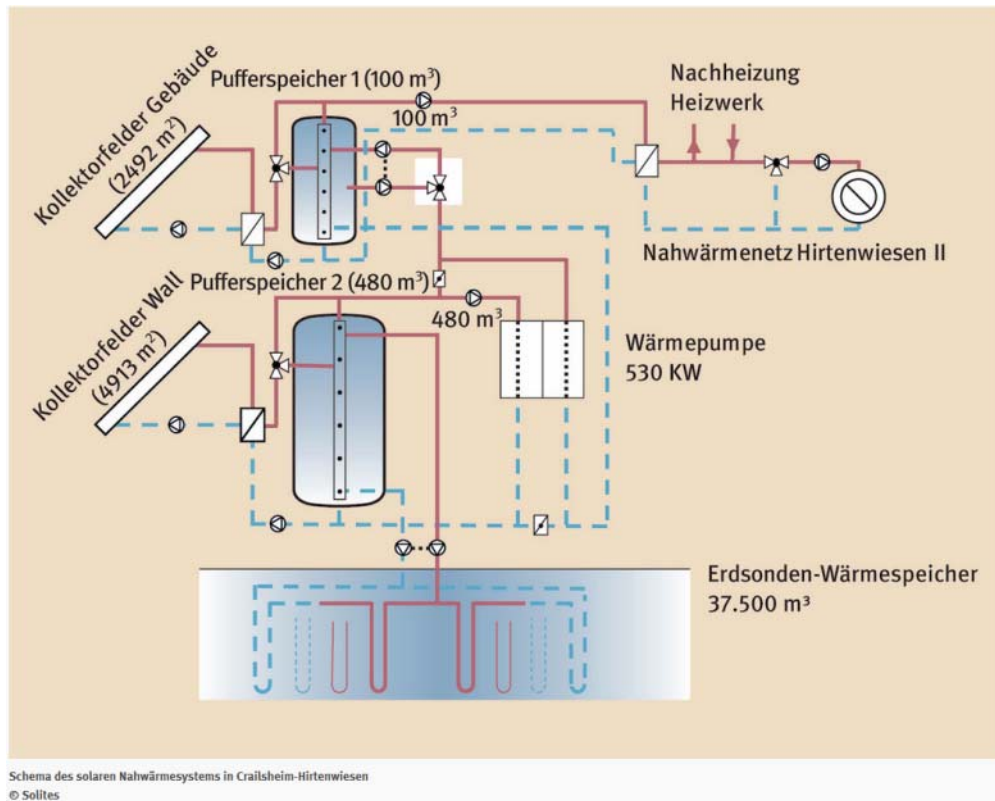


Abbildung 41: Anlagenschema Crailsheim (aus [25])

7.2.2 Projektbeispiel - Eis- und Schneefreihaltung - Bad Lautenberg – Haltepunkt Barbis (Deutschland)

Die beiden etwa 150 m langen Bahnsteige des Haltepunktes Barbis (Bad Lautenberg, D) werden mit einem solarthermisch-geothermischen Speichersystem schnee- und eisfrei gehalten.

Dieses System nutzt die Sonneneinstrahlung und die Erdwärme. Unter dem Bahnsteig befinden sich Rohrregister, welche die auftreffende Solareinstrahlung sammeln und mittels Erdwärmesonden in den Untergrund einspeisen. Der Untergrund wird so in den Sommermonaten thermisch aufgeladen. Im Winter wird die gespeicherte Wärme zur Eis- und Schneefreihaltung des Bahnsteiges wieder rückgewonnen.

Abbildung 42 zeigt einen Lageplan der Haltestelle Barbis, Abbildung 43 zeigt die Haltestelle Barbis mit dem schneefreien Bahnsteig.

Abbildung 44 zeigt den Lageplan der Erdwärmesonden und das Anlagenkonzept, welches bei der Haltestelle Barbis umgesetzt wurde und in Betrieb ist.

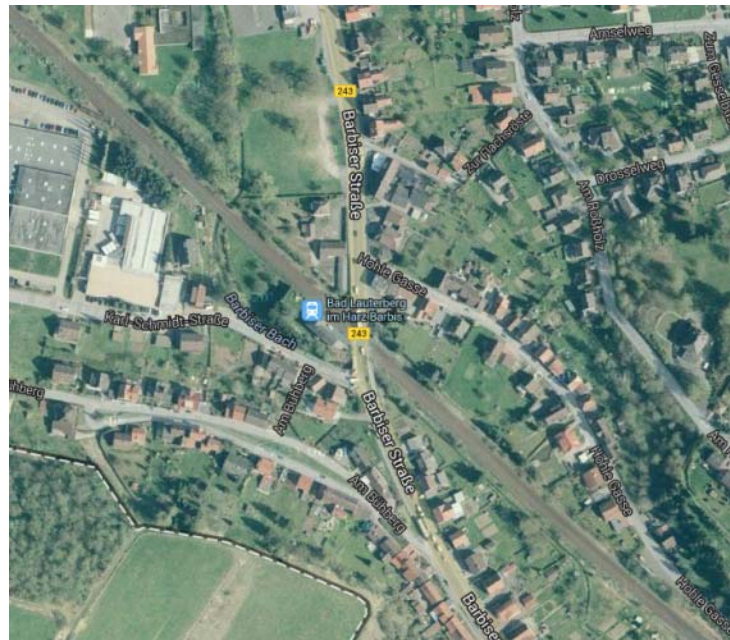


Abbildung 42: Lageplan DB-Haltestelle Barbis

Folgende Eckdaten können gemäß [9] zu diesem Projekt aufgelistet werden:

- 9 Erdwärmesonden je 200 m tief
- Minimale Einspeicherung: 110.000 bis 130.000 kWh/Jahr
- Maximale Heizleistung: 130 W/m²
- Jahresheizleistung: ~155.000 kWh
- Bahnsteigfläche: ~600m²
- Bahnsteiglänge: 2x~150 m
- Regelung - Einschaltzeitpunkt: Oberflächentemperatur der Bahnsteigfläche <3°C
- Flächenkollektor in den Bahnsteigen: ~3000 lfm RAUWAY-Rohre (Fa. REHAU)



Abbildung 43: Beispiel Barbis – REHAU-Prospekt [12]

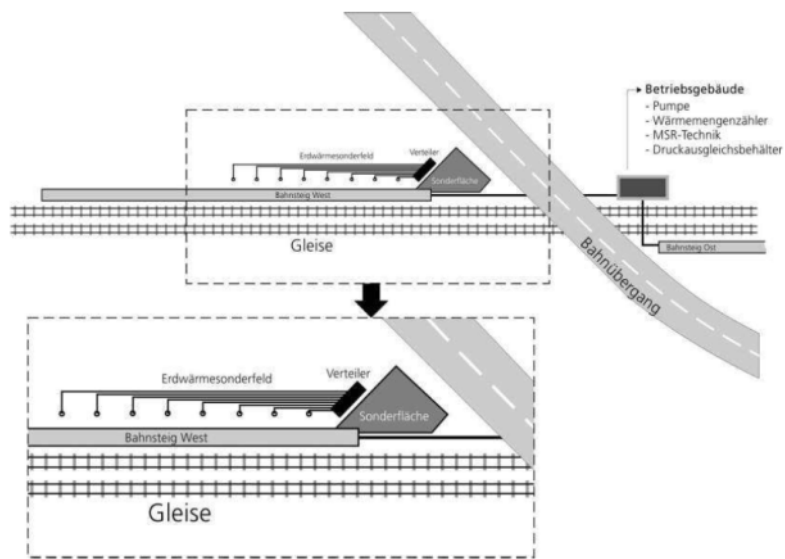


Abbildung 44: Systemdarstellung Barbis (Reiner Wittig – Frenzel Bau, Internet-Recherche)

7.3 Projektbeispiele/Fachexkursion – Geothermische Energie für Weichenbeheizung

7.3.1 Exkursionsinhalt und Reiseziele

Zwischen 3.3.2014 und 5.3.2014 wurde im Rahmen dieses Projektes eine Fachexkursion nach Hamburg und Farchant (Bayern) durchgeführt.

Teilnehmer an dieser Fachexkursion waren M.Haberler-Weber, W.Zottl (beide ÖBB), W.Feldmann (IuV – Innovation und Verkehrstechnik - Fachlicher Begleiter), G.Domberger, St.Gunczy und teilweise A.Wenzel (JOANNEUM RESEARCH).

Ziel dieser Fachexkursion war die Besichtigung von Weichen, welche zur Eis- und Schneefreihaltung mit geothermischer Energie beheizt werden.

Die Weiche im Bereich der Hafenbahn Hamburg wird mit Hilfe von CO₂-Erdwärmerohren beheizt, die beiden Weichen in Farchant werden derzeit mit Hilfe von 5 Erdwärmesonden und Wärmepumpe beheizt.

7.3.2 Weichenheizung mit CO₂-Erdwärmerohren– Hamburger Hafenbahn

Abbildung 45 zeigt die Lage der Weiche im Bereich der Hamburger Hafenbahn in verschiedenen Maßstäben.

Bei der Weiche handelt es sich um eine Rangierweiche S504-190.

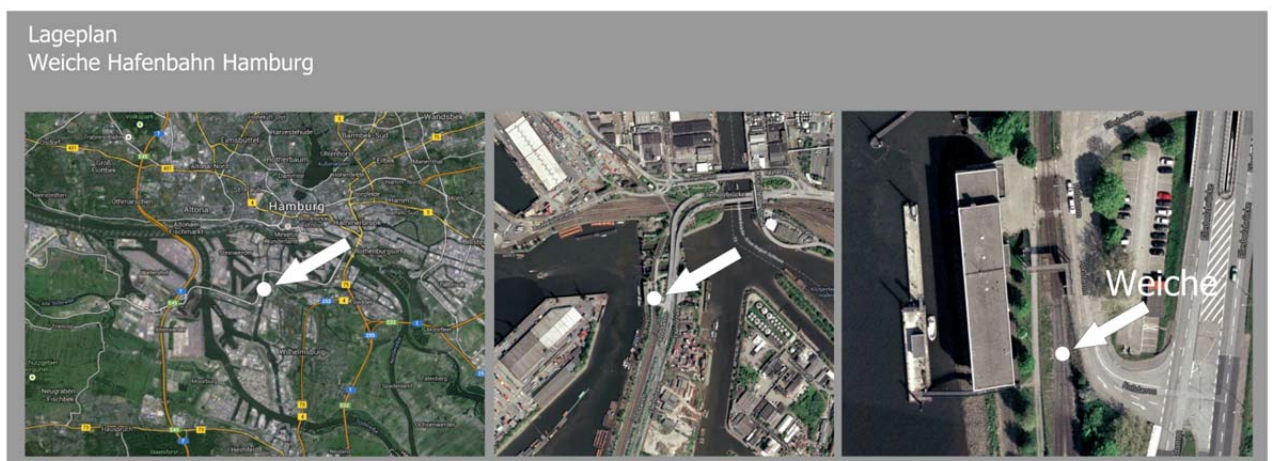


Abbildung 45: Lageplan der Weiche im Bereich der Hafenbahn Hamburg (Großraum, Übersicht, Detail)

Die Weichenheizung erfolgt mit Hilfe von zwei Erdwärmerohren, die links und rechts der Weiche angeordnet sind (siehe Abbildung 46). Die beiden Erdwärmerohre sind jeweils 80m tief und mit 10 Wärmetauscher-Rohren ausgestattet.

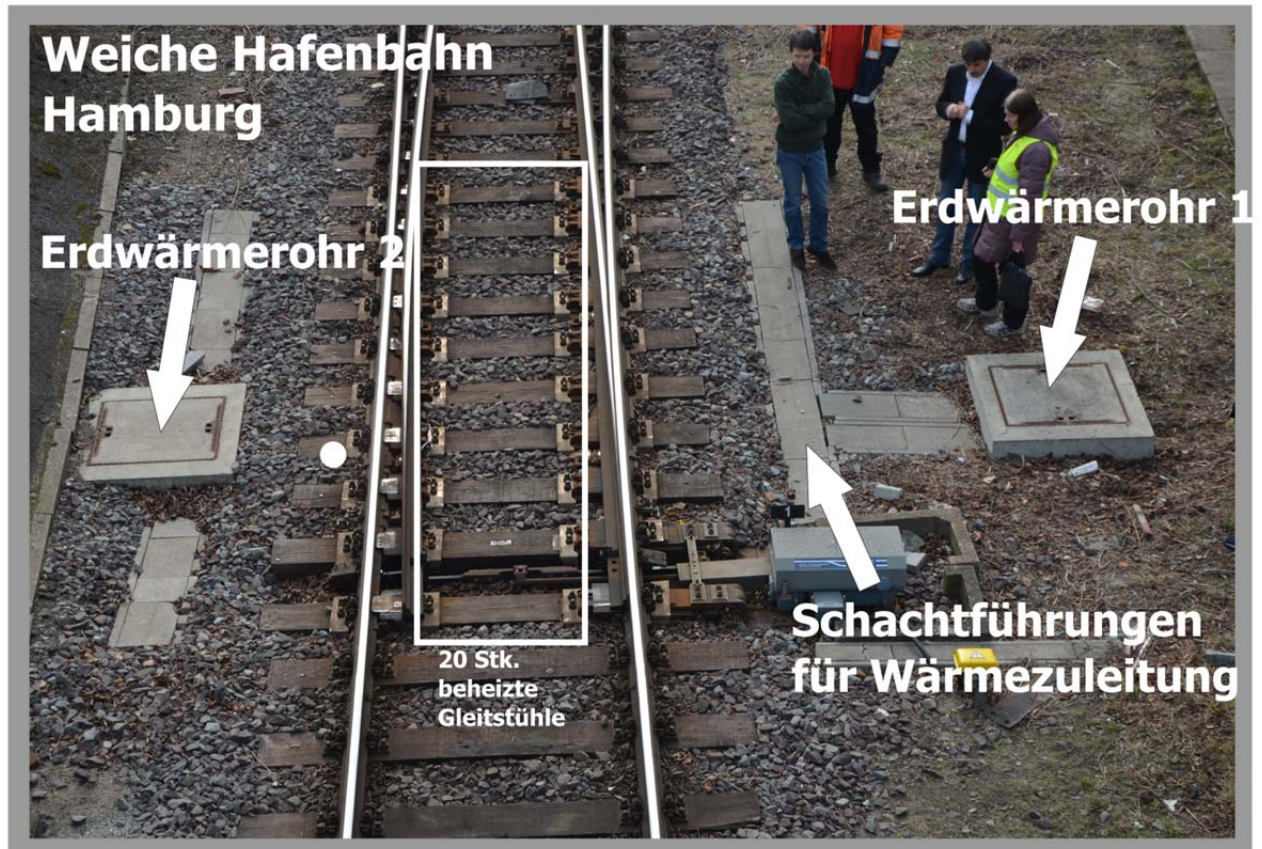


Abbildung 46: Weichenheizung – Hafenbahn Hamburg – Aufbau

Das Funktionsprinzip und die Betriebsweise der Weichenheizung mit Hilfe einer CO₂-Erdwärmesonde ist in Abbildung 47 und in Kapitel 6.1.3 erläutert.

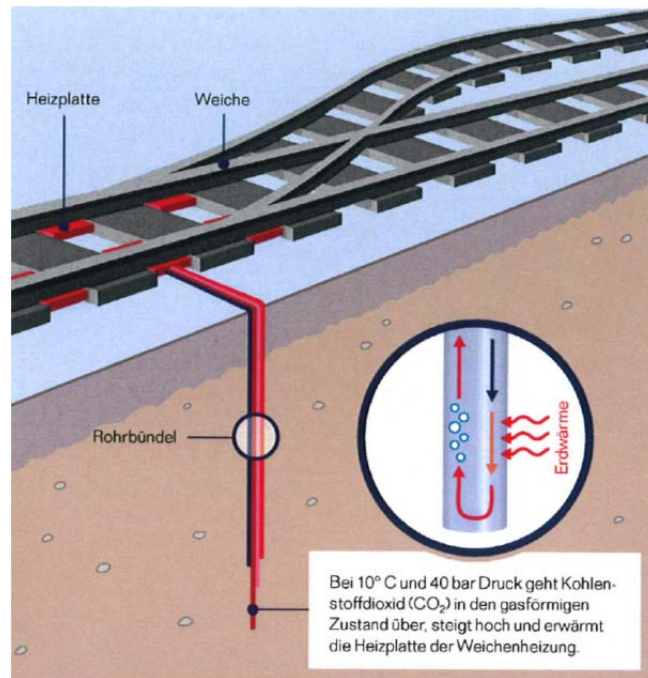


Abbildung 47: Weichenheizung-Prinzip (HPA-Folder)

Wichtige Aspekte bei der Umsetzung dieser Weichenheizung sind einerseits die effiziente Wärmeübertragung auf die eisfrei zu haltenden Weichenteile und andererseits die einwandfreie und einfach durchzuführende Wartung der Gleiskörper, die durch die angebrachten Wärmetauscher derzeit noch erschwert wird (siehe Abbildung 48). Diesbezüglich ist entsprechender Entwicklungsbedarf gegeben.



Abbildung 48: Beheizte Gleitstühle

Die Abbildung 49 zeigt einen der beiden Verteilerschächte am Kopf der Erdwärmerohre.



Abbildung 49: Erdwärmerohre – Verteilerschacht

Bei der Weichenbesichtigung herrschten zu warme Temperaturbedingungen, sodass die Weichenheizung nicht aktiv war. Aus diesem Grund zeigten auch die Thermalbilder keine Wärmeaktivität der Weichenheizung (siehe Abbildung 50). Aufgrund der Sonneneinstrahlung ergaben sich jedoch Temperaturunterschiede im Bereich des Weichengleitstuhles (Abbildung 51).

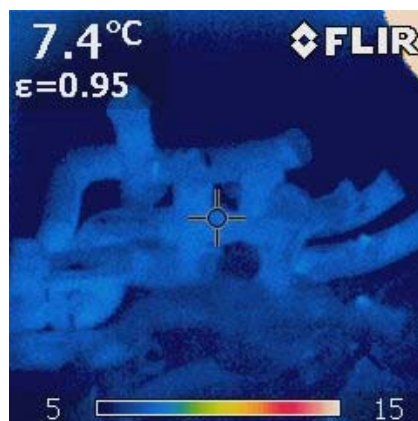


Abbildung 50: Thermalbild – Verteilerschacht der Erdwärmerohre

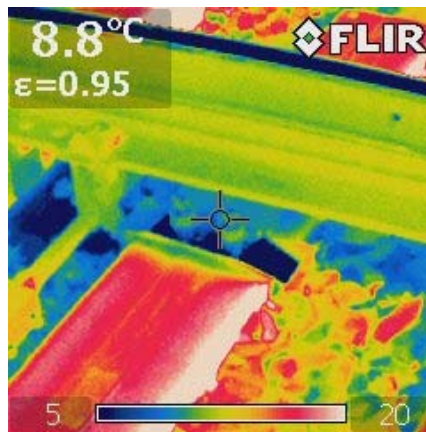


Abbildung 51: Thermalbild – Weichengleitstuhl

7.3.3 Weichenheizung – Deutsche Bahn – Bahnhof Farchant

7.3.3.1 Einleitung, Lagebeschreibung

Die beiden geothermisch beheizten Weichen in Farchant (siehe Abbildung 52) wurden von der Firma triple.S (Mühlheim a.d. Ruhr) im Auftrag der Deutschen Bahn geplant und errichtet. Im Rahmen der Fachexkursion wurde die Weiche von Herrn Dirk Hoffman (triple.S) erklärt.

Die geothermische Weichenheizung in der DB-Haltestelle Farchant wird derzeit mit 5 Erdwärmesonden (siehe Abbildung 53) beheizt. Die beiden ursprünglich installierten Grundwasserbrunnen (Förderbrunnen und Schluckbrunnen) sind derzeit nicht mehr in Verwendung, da die Grundwasserergiebigkeit nicht mehr ausreicht. Die Grundwasserbrunnen könnten jedoch jederzeit wieder in Betrieb genommen werden, sobald die Grundwasserergiebigkeit wieder ansteigt.



Abbildung 52: Überblick Farchant-Garmisch-Partenkirchen (Tourismus-Folder)

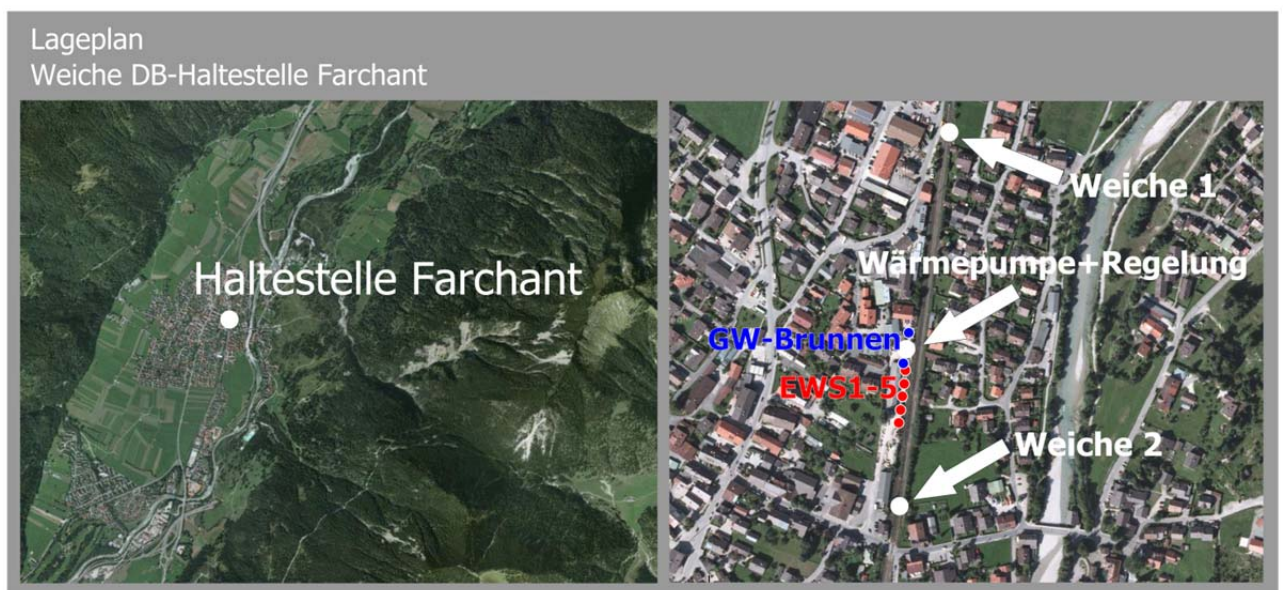


Abbildung 53: Lageskizze Weichen Farchant (Übersicht, Detail)

7.3.3.2 Geologische Rahmenbedingungen

Abbildung 54 zeigt die bei der Anlage gelagerten Bohrmaterialproben (Bohrklein). Es zeigt sich bis zur Endtiefe der Erdwärmesonden ein von Grobsedimenten (Kiese) dominierter lithologischer Aufbau. Entsprechend diesem Aufbau ist mit einer Grundwasserführung zu rechnen, die den Betrieb der Erdwärmesonden eher begünstigt, da langfristige Abkühlungseffekte durch die Grundwasserströmung kompensiert werden können.



Abbildung 54: Bohrklein einer Erdwärmesonde

7.3.3.3 Weichenheizung -Systembeschreibung

Als Wärmequelle dienen derzeit fünf 55-65 m tiefe Erdwärmesonden (siehe Abbildung 53), welche entlang des Bahnsteigs angeordnet und als Koaxialsonden ausgeführt sind.

Die Erdwärmesonden werden in einem Sammelschacht zusammengefasst und zur Wärmepumpe (siehe Abbildung 57) geführt.

Die Beheizung der beiden Weichen (siehe Abbildung 55 und Abbildung 56) erfolgt entlang eines Wärmetauschers an der Außenseite des Schienensteiges (siehe Abbildung 58).



Abbildung 55: Weiche 2 – Foto 1



Abbildung 56: Weiche 2 – Foto 2



Abbildung 57: Container mit Wärmepumpe und Regelungseinheit



Abbildung 58: Weiche 2 mit Wärmezuleitungen

8 ANALYSE DER EINSATZMÖGLICHKEITEN VON ERDWÄRME IM BEREICH DER ÖBB

8.1 Oberflächennahe Erdwärme - Gesamtpotenzial

Mit Hilfe von oberflächennaher Erdwärme ist nicht jeder Wärmebedarf wirtschaftlich abdeckbar. Das geringe Temperaturniveau des oberflächennahen Untergrundes, das verfügbare Flächenangebot und die Versorgungsreichweite limitieren das oberflächennahe geothermische Potenzial.

Aufgrund der geringen Versorgungsreichweiten, die mit oberflächennaher Erdwärme erzielbar sind, kommt der räumlichen Struktur bzw. den Distanzen zwischen Quellen und Verbrauchern große Bedeutung zu. Aufgrund der Nahelage von großen Grundstücken und den Verbraucherstrukturen ist die oberflächennahe Erdwärme im Bereich der ÖBB i.A. an vielen Standorten gut umsetzbar und nutzbar.

Grundsätzliche Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärme im Bereich der ÖBB sind:

- Heizen von Bahnhofsgebäuden, Haltestellen und anderen Objekten der ÖBB
- Kühlen von Bahnhofsgebäuden und Haltestellen und anderen Objekten der ÖBB
- Heizen und Kühlen – Kombinierte Nutzung
- Wärmespeicherung im Untergrund
- Beheizung von Weichen zur Eis- und Schneefreihaltung
- Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen und Freiflächen

8.2 Heizen von Bahnhofsgebäuden, Haltestellen und anderen Objekten der ÖBB

8.2.1 Bauliche Voraussetzungen für die Erdwärmennutzung in Gebäuden

In Kombination mit Erdwärmesystemen werden in Gebäuden meist Flächensysteme als Wärmeübergabesysteme eingesetzt (siehe Abbildung 59 und Abbildung 60). Flächensysteme sind thermisch aktivierte Teile des Gebäudes wie Fußbodenheizungen, Wandheizungen oder Deckenheizsysteme.

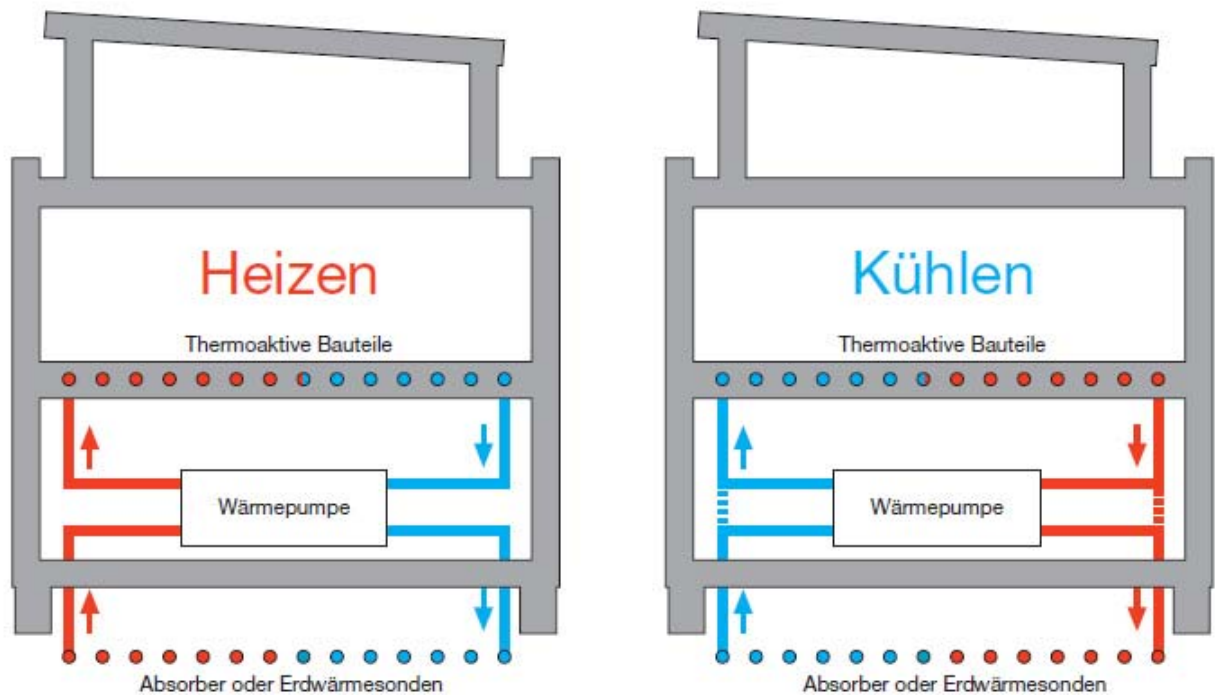
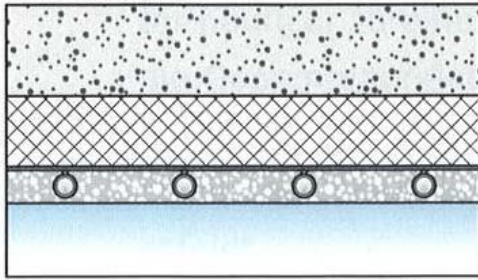
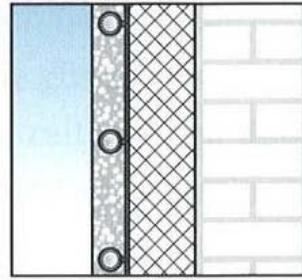
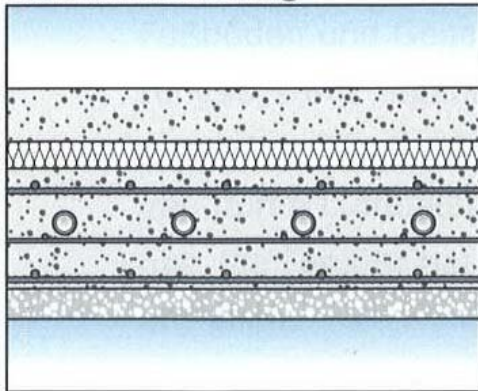
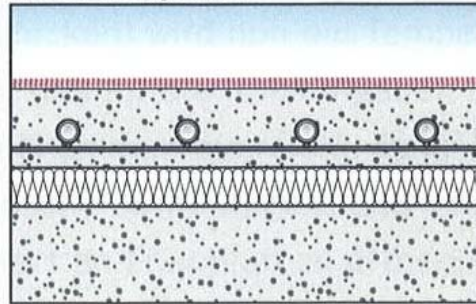


Abbildung 59: Schema thermoaktivierter Bauteile (Quelle: www.beton.org)

Neben dem Vorteil der kombinierten Nutzung von Heiz- und Kühlbetrieb (die maximale Kühlleistung von thermoaktiven Decken liegt bei ca. 40 W/m^2) sind Flächensysteme im Gegensatz zu Radiatorheizungen viel besser für geringere Vorlauftemperaturen geeignet, da die Wärme großflächig ohne Konvektion abgegeben werden kann. Dies ist sowohl im Hinblick auf eine Direktnutzung von Erdwärme, als auch beim Einsatz von Wärmepumpen wichtig, da diese mit kleineren Vorlauftemperaturen effizienter und somit wirtschaftlicher betrieben werden können. In Kombination mit Hochtemperaturübergabesystemen und Lüftungssystemen können thermisch aktivierte Systeme auch zur Grundlastversorgung eingesetzt werden.

Deckensystem

Wandsystem

Betonkernaktivierung

Fußbodensystem


© velta 1999

Abbildung 60: Beispiele von Flächensystemen mit wasserdurchflossenen Rohren (Quelle: Meierhans/Olesen: Betonkernaktivierung)

8.2.1.1 Betonkernaktivierung

Bei der Kombination von Heizung und Kühlung im saisonalen Wechsel kann die sogenannte Betonkernaktivierung, auch thermische Bauteilaktivierung genannt, zur Anwendung kommen. Dabei werden Rohrleitungen in der Betondecke integriert und die Wärme- und Kälteabgabe findet sowohl nach unten als auch nach oben statt. Dieses System eignet sich für die Raumkühlung besonders gut, da die warme Raumluft aufsteigt und nach der Abkühlung an der Decke wieder als kältere Luft in den Raum zurück fällt. Der entscheidende Unterschied zwischen den in 6.5.3 beschriebenen direkt gekühlten bzw. beheizten Decken liegt in der möglichen zeitlichen Verzögerung zwischen dem Lastanfall und dem Einsatz der Kühlung bzw. der Heizung und ist somit z.B. für Bürogebäude bzw. nur zu gewissen Tageszeiten genutzte Gebäude besonders gut einsetzbar.

8.2.1.2 Matten und Panele

Soll ein Flächensystem in einem bestehenden Gebäude nachgerüstet werden, so kann auf Heiz- und Kühlsegel sowie auch auf Kapillarrohrmatten zurückgegriffen werden. Kapillarrohrmatten werden direkt an der Decke befestigt und verputzt, die Heiz- und Kühlsegel oder Paneele sind von der Decke abgehängte Systeme (siehe Abbildung 61). Diese Flächensysteme könnten bei Bahnofsanierungen in Verbindung mit der Erdwärmenutzung zur Anwendung kommen.

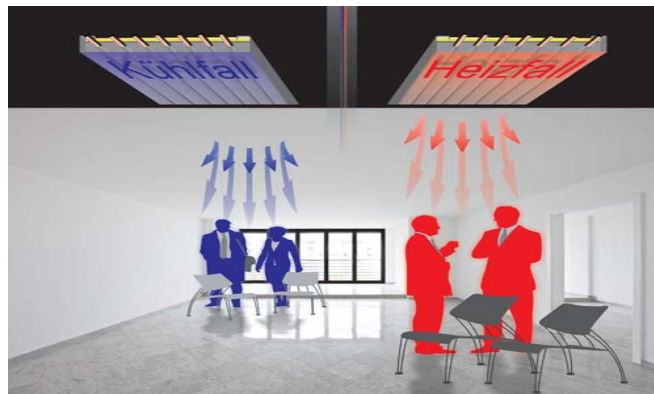


Abbildung 61: Schema Flächensysteme (Quelle www.sunline-heizflaechen.de)

In Abbildung 62 ist der Aufbau eines kombinierten Deckenheizsystems und Deckenkühlsystems und der Anwendungsfall in einem großen Bürogebäude zu sehen.



Abbildung 62: Aufbau und Anwendung von Heiz-/ Kühlpanelen (www.sunline-heizflaechen.de)

8.2.2 Bahnhöfe, Haltestellen, wohnraumähnliche Objekte

Aufgrund der von der ÖBB an Joanneum Research gelieferten Informationen zur Nutzungsart von Gebäuden der ÖBB sowie den zugeordneten Baujahren wurde der Wärmebedarf von ausgewählten Gebäuden bewertet und bei Vorliegen der benötigten Daten, für einige Beispiele im Rahmen einer Pilotplanung (siehe Kapitel 11) berechnet. Der daraus resultierende Heizenergiebedarf diente als Grundlage für die Dimensionierung einer teilweisen oder gänzlichen Wärmeversorgung mit oberflächennaher Erdwärme.

Seitens der ÖBB wurden folgende Daten der ÖBB-Gebäude in Tabellenform zur Verfügung gestellt:

- Nutzungsart des Gebäudes (Büro, Hallenflächen, Lagerräume etc.)
- Flächen nach Nutzungsart
- Baujahr des Gebäudes (ohne Sanierung)
- Gebäudeort (Gemeinde)

Auf Grundlage dieser Datensätze und des in Tabelle 9 dargestellten spezifischen Wärmebedarfes wurden für die ÖBB-Infrastruktur Wärmebedarfswerte ermittelt.

Grundlage der in Tabelle 9 dargestellten Wärmebedarfswerte ist die Gebäudeklasse mit 3 – 10 Wohnungen. Diese Gebäudegrößenklasse ist am besten mit dem Großteil der Gebäude der ÖBB vergleichbar. Die Wärmebedarfswerte wurden aus der Studie „Eine Typologie Österreichischer Wohngebäude“ der Austria Energy Agency übernommen und berücksichtigen den Heizwärmebedarf von Gebäuden entsprechend den angegebenen Baujahren sowohl im unsanierten als auch im sanierten Fall.

Auf Basis der Werte aus Tabelle 9 und den Flächenangaben der ÖBB-Datensätze wurden Wärmebedarfsmengen für die einzelnen Gebäude berechnet und diese für Gemeinden, in welchen die ÖBB-Gebäude bestehen, summiert.

Heizwärmebedarf pro m² konditionierter Brutto-Grundfläche kWh/(a*m²) aus AEA-Studie*** / Gebäude mit 3-10 Wohnungen

	Kategorie		1	2	3	4	5	6	7
	ÖBB Datenbankbezeichnungen	Vollbenutzungsstunden*	Baujahr - Zeitraum						
			bis 1919	1919 - 1944	1945 - 1960	1961 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2009
Bestand	Gastronomische Einrichtung	2000	221	198	179	165	81	71	44
	Verkauf/Geschäft	1700	187,85	168,3	152,15	140,25	68,85	60,35	37,4
	Wohnung	2000	221	198	179	165	81	71	44
	Ledigenheim	2000	221	198	179	165	81	71	44
	Naehtigungszimmer InfraBau	1700	187,85	168,3	152,15	140,25	68,85	60,35	37,4
	Sozial Pausenraum	2000	221	198	179	165	81	71	44
	Uebernachtungszimmer Dritte	1700	187,85	168,3	152,15	140,25	68,85	60,35	37,4
	Sanitär-Bad-(Sauna)	2000	221	198	179	165	81	71	44
Büro	1700	187,85	168,3	152,15	140,25	68,85	60,35	37,4	
saniert	Gastronomische Einrichtung	2000	80	79	79	87	49	45	44
	Verkauf/Geschäft	1700	68	67,15	67,15	73,95	41,65	38,25	37,4
	Wohnung	2000	80	79	79	87	49	45	44
	Ledigenheim	2000	80	79	79	87	49	45	44
	Naehtigungszimmer InfraBau	1700	68	67,15	67,15	73,95	41,65	38,25	37,4
	Sozial Pausenraum	2000	80	79	79	87	49	45	44
	Uebernachtungszimmer Dritte	1700	68	67,15	67,15	73,95	41,65	38,25	37,4
	Sanitär-Bad-(Sauna)	2000	80	79	79	87	49	45	44
Büro	1700	68	67,15	67,15	73,95	41,65	38,25	37,4	

* Quelle: Quelle: VDI 2067 Blatt 2 (Dez.93)

** Austria Energy Agency: EINE TYPOLOGIE ÖSTERREICHISCHER WOHNGEBÄUDE

Tabelle 9: Grundlagentabelle für die Berechnung des Heizwärmebedarfes im Bereich der ÖBB-Gebäude

Weiters wurden von der ÖBB 197 Energieausweise von Gebäuden im Bereich der ÖBB übermittelt. Ein Großteil davon umfasst Wohnungen sowie Ein- und Mehrfamilienhäuser im nördlichen und östlichen Teil Österreichs (siehe dazu Kapitel 5.3.6.).

8.2.3 Hallen im Bereich der ÖBB

Im Bereich der ÖBB existiert eine große Anzahl von Hallen in folgenden verschiedenen Bau- und Nutzungsformen:

- Bahnhofshallen
- Montagehallen
- Lagerhallen
- Werkstätten
- Waschhallen

Hallen sind große, höhere Räume, welche meist ohne Zwischenwände ausgeführt sind. In den meisten Fällen wird nur der ebenerdige Bereich genützt. In Abhängigkeit von der Nutzung der Hallen sind verschiedenste Raumlufzustände einzuhalten. Die beeinflussenden Faktoren sind dabei die sich in der Halle befindende Personenanzahl und deren Tätigkeit, die ablaufenden Produktionsprozesse und die Lagerbedingungen der sich darin befindlichen Güter und Materialien.

Aufgrund dieser vielen verschiedenen Einflussfaktoren gibt es keine allgemeingültige Berechnungsmethode für den Wärme- und Lüftungsbedarf einer Halle.

Für die Berechnung des Wärmebedarfs muss daher jede Halle individuell neben den Abmessungen und den k-Werten auf folgende Kriterien überprüft werden:

- Nutzungsart und die damit verbundene geforderte Raumtemperatur:

Je nach Nutzung der Halle werden verschiedene Raumtemperaturen empfohlen. Für Nichtwohngebäude gilt ein Temperaturbereich von 12°C bis 19°C. Die DIN EN 12831 erfordert Zuschläge bei Räumen über 5m Höhe. Z.B. können folgende Temperaturen angegeben werden:

- 12°C bei schwerer körperlicher Arbeit
- 17°C bei überwiegend nicht sitzender Tätigkeit
- 19°C bei überwiegend sitzender Tätigkeit

- Hallenöffnungen (Tore, Rolltore, Türen, Fenster und deren Größe und Öffnungsdauer):

Die Art und Weise, wie eine Halle im Winter be- und entladen wird, ist von großer Bedeutung für den Wärmebedarf der Halle. Hierbei ist entscheidend, wie viele Türen und Tore gleichzeitig für eine definierte Zeit offen sind, welcher freie Querschnitt sich daraus ergibt und ob und wie der Kaltlufteinfall abgefangen wird (Tor-Luftschleier etc.).

- Produktionsbedingte Wärme- und Abgasquellen

Speziell bei sich in der Halle befindlichen Wärme- und Abgasquellen müssen die Raumluftwechselraten den Luftgüteeigenschaften entsprechend angepasst werden. Als Anhaltswerte für die stündlichen Luftwechselraten gelten hier als Beispiel:

- Lagerhalle Maschinenbau: 1-4 /h
- Werkstätten allgemein: 3-6 /h
- Werkstätten mit Schweißerei: 5-8 /h

Diese Luftwechselraten müssen sowohl bei der Wahl des geeigneten Heizungssystems für die Hallen als auch bei der Berechnung der Heizlast berücksichtigt werden.

- Nutzungsdauer der Halle über den Tag:

Hier gilt es zu beachten, ob eine Halle mit regelmäßigen oder mit unregelmäßigen Unterbrechungen benützt wird. Ein schnelles Aufheizen einer ausgekühlten Halle, die nur in großen Zeitabständen genutzt wird, erfordert geeignete Heizungssysteme und dementsprechende Heizleistungen.

- Beheizung von Teilbereichen:

In einigen Hallen werden innerhalb einer Halle verschiedene Temperaturen benötigt. Dies kann z.B. bei der punktuellen Beheizung einzelner Arbeitsplätze oder Arbeitsbereiche aber auch bei Hallenbereichen mit verschiedenen Arbeitsanforderungen der Fall sein. Hier bietet sich die Installation einer Strahlungsheizung an, die direkt die entsprechenden Bereiche erwärmt wobei die übrigen Bereiche kühler bleiben und keine Zugerscheinungen auftreten. Als Beispiel für die ÖBB wäre hier die Beheizung von Reparaturgruben für Lokomotiven und Waggons mittels Wandheizung anzuführen - die restliche Halle bleibt in diesen Fällen unbeheizt.

Aufgrund der großen Anzahl von ÖBB-Hallen in den unterschiedlichsten Nutzungsformen ist eine Nutzung von oberflächennaher Erdwärme zur Beheizung dieser interessant und sinnvoll, weil das geforderte Temperaturniveau meist niedriger ist als z.B. in Büro- oder Aufenthaltsräumen. Aufgrund der oben erwähnten unterschiedlichen Anforderungen an die Heizung und Klimatisierung von Hallen müssen zur Beurteilung der technischen Machbarkeit und der

wirtschaftlichen Sinnhaftigkeit die nötigen Parameter wie Flächen, Höhen, Fenstergrößen und Luftwechselraten für jede einzelne Halle individuell ermittelt werden.

Die Planung von Erdwärmenutzungen für ÖBB-Hallen kann daher nur für jeden speziellen Hallentyp und Nutzungszweck erfolgen. Grundsätzlich ist aber Wärme- und auch Kühlungsbedarf von Hallen im Bereich der ÖBB gegeben und die Flächenverfügbarkeit für Erdwärmenutzungen (EWS-Felder, Grundwasserbrunnen) auch innerhalb der Hallenfläche wäre in vielen Fällen gegeben.

Ein Beispiel eines Hallenbeheizungssystems ist in Abbildung 63 ersichtlich.



Abbildung 63: Beheizung (und mögliche Kühlung) einer Halle mit Deckenstrahlplatten (Quelle: www.best-bredemann.de)

8.3 Heizung und Kühlung – Kombinierte Nutzung

Die kombinierte Nutzung von Erdwärme- und kühle in Erdwärmesystemen im Heiz- und Kühlbetrieb erfordert eine sorgfältige Abstimmung der obertägigen Anlagenkomponenten mit den untertägigen Verhältnissen. Für die Speicherung von Wärme und/oder Kälte im Untergrund gilt dies im Besonderen, da die erwünschte Funktion (Heizung, Kühlung) bei Überwärmung oder Unterkühlung aufgrund der thermischen Trägheit des Erdreichs nachhaltig gefährdet sein kann

bzw. sehr ineffizient werden kann. Um eine dauerhafte Funktionalität sicherzustellen, sind daher unbedingt einige Aspekte hinsichtlich Ausführung und Betrieb zu beachten. Die Anlagendimensionierung und die Betriebsweise müssen für den jeweiligen Heiz- und Kühlbedarf optimiert sein um eine nachhaltigen Nutzung zu gewährleisten.

Die Fragestellungen im Zusammenhang mit der Dimensionierung und den Auswirkungen der Rücklauftemperaturen auf den Wärmehaushalt des Untergrundes lassen sich nur mit Hilfe von Simulationsmodellen analysieren und bewerten (siehe daher Exemplarische Pilotplanungen 11). Analytische Lösungsverfahren sind aufgrund der Dynamik der Anlagenbetriebsweise und der Wärmehaushaltsprozesse nicht zielführend einsetzbar.

Abbildung 64 zeigt den Temperaturverlauf im Untergrund bei einer kombinierten Nutzung von Heizung und Kühlung am Beispiel einer Energiepfehlanlage. Naturgemäß erfolgt die Heizung (Abkühlung des Untergrundes) in den Wintermonaten, das Kühlen (Erwärmung des Untergrundes) in den Sommermonaten.

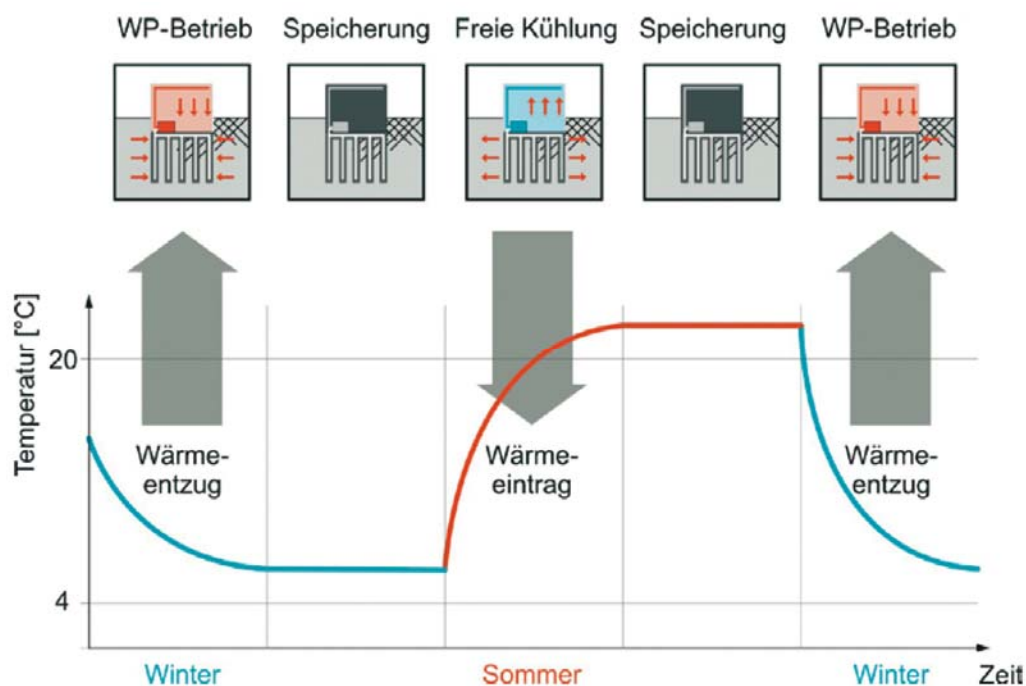


Abbildung 64: Idealisiertes Schema der saisonalen Wärme- und Kältespeicherung im Untergrund am Beispiel einer Energiepfehlanlage - aus [15]

8.4 Wärmespeicherung im Untergrund

Wie schon in Kapitel 4.2 erwähnt und in der Pilotplanung (siehe Kapitel 11.4) analysiert, kann es in vielen Fällen der Erdwärmnutzung zu einer thermischen Übernutzung des Untergrundes und damit zu einer langfristigen Abkühlung des Untergrundes kommen.

Im reinen Heizfall kann dem entgegengewirkt werden, indem in den Sommermonaten eine thermische Aufladung mit Hilfe von Solarthermie erfolgt. Die gespeicherte Wärme kann dann in der Heizperiode rückgewonnen werden.

Damit kann eine nachhaltige Nutzung gewährleistet bzw. eine Optimierung der Anlageneffizienz erzielt werden.

Im Bereich der ÖBB existieren in Form von z.B. Bahnsteigen, großflächigen Abdeckungen und Dächern beste Voraussetzungen für die Montage von Solarkollektoren.

8.5 Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen und Freiflächen

Die Eis- und Schneefreihaltung auf den Bahnsteigen ist ein wichtiger Aspekt für den Komfort und die Sicherheit von Fahrgästen auf Bahnsteigen und beim Ein- und Aussteigen in die Züge. Die Eis- und Schneefreihaltung von Freiflächen mittels Salz, Streusplit, Chemikalien ist personal- und kostenintensiv. Freiflächenheizungen sind eine alternative Variante der Eis- und Schneefreihaltung. Speziell auf unbemannten Bahnhöfen und Personenhaltestellen stellt diese Art der Winterbetreuung einen besonderen Vorteil dar, da man auch die zeit- und kostenintensive An- und Abfahrt des Räumpersonals einsparen kann.

Freiflächenheizungen können mit unterschiedlichen Energiequellen betrieben werden. Innerhalb von INFRAplusGEO fokussiert sich die genutzte Energieform auf Erdwärme (auch in Kombination mit Solarthermie).

Die benötigte Wärmedichte zur Eis- und Schneefreihaltung wird bei Außentemperaturen zwischen -6°C und -15°C mit etwa 250 bis 300 W/m^2 angegeben. Dabei spielen die Wetterbedingungen und der Klimabereich für die Leistungsberechnung eine wichtige Rolle. Der Windeinfluss und das Niederschlagsgeschehen müssen bei der Anlagendimensionierung ebenfalls berücksichtigt werden. Wichtige Parameter für den Bau eines Heizungssystems sind zudem eine möglichst oberflächennahe Montage der Wärmerohre um Speicherverluste und die Trägheit des Systems möglichst klein zu halten. Eine gute, feuchtigkeitsbeständige Isolierung zum Untergrund ist entscheidend für die Verringerung von Wärmeverlusten. Ein weiterer sehr

wichtiger Aspekt für das problemlose Funktionieren einer Freiflächenheizung ist die einwandfreie und schnelle Abführung von Schmelzwasser, um Eisbildung an den Rändern der beheizten Freifläche zu verhindern. In diesem Zusammenhang ist auch die Regelung des Einschaltzeitpunktes ein wesentlicher Planungsinhalt, um die Trägheit des Abtau- bzw. Schmelzvorganges so berücksichtigen, sodass eine Eis- und Schneefreiheit großteils gewährleistet ist. Der Einsatz des Winterdienstes ist dann nur bei extremen Wetterbedingungen erforderlich. Auch die Überwachbarkeit der einwandfreien Eis- und Schneefreihaltung (z.B. mit Überwachungskameras) ist ein wichtiger Planungsinhalt.

Aufgrund des relativ hohen Leistungsbedarfes pro m² kann die Eisfreihaltung auf den nicht überdachten Rand des Bahnsteiges konzentriert werden, wo die Rutschgefahr beim Ein- und Aussteigevorgang in die Waggonen am größten ist. Die Beheizung des überdachten Bereiches ist im Regelfall nicht erforderlich, da hier kein Niederschlag auftritt (siehe dazu Beispiel Bahnhof Leoben in Abbildung 65).

In Kapitel 7.2.2 ist das Projektbeispiel bei der Haltestelle Barbis (Bad Lautenberg) dargestellt. Im Bereich der ÖBB existieren zahlreiche vergleichbare Haltestellen, die sich für eine Umsetzung von geothermischen Freiflächenheizungen (wie bei der Haltestelle Barbis) eignen würden.



Abbildung 65: Bahnsteige im Bahnhof Leoben – Winter

Die geothermische Beheizung von Bahnsteigen und anderen Freiflächen kann ebenfalls mit und ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund erfolgen. Im Bereich der ÖBB sind beide

Nutzungsvarianten möglich, wobei auch die thermische Nutzung von Tunnelwasser für diesen Zweck zu erwähnen ist (siehe Abbildung 66 und Abbildung 67).

Im Sommerhalbjahr können die schnee- und eisfreiehaltenden Freiflächen als Wärmekollektor zur Speicherung solarer Energie genutzt werden. Diese solare Wärme kann im Fall der Nutzung von Erdwärmesonden im Untergrund gespeichert werden und im Winterhalbjahr rückgewonnen werden (siehe Abbildung 67).

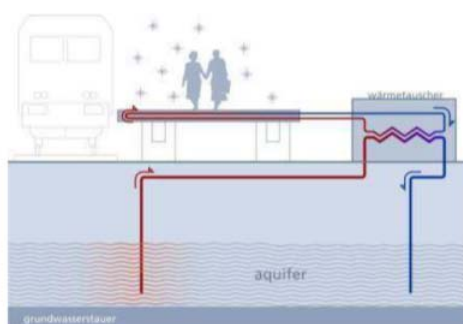


Abbildung 66: Eis- und Schneefreihaltung mit Wasserentnahme aus dem Untergrund (aus [11])

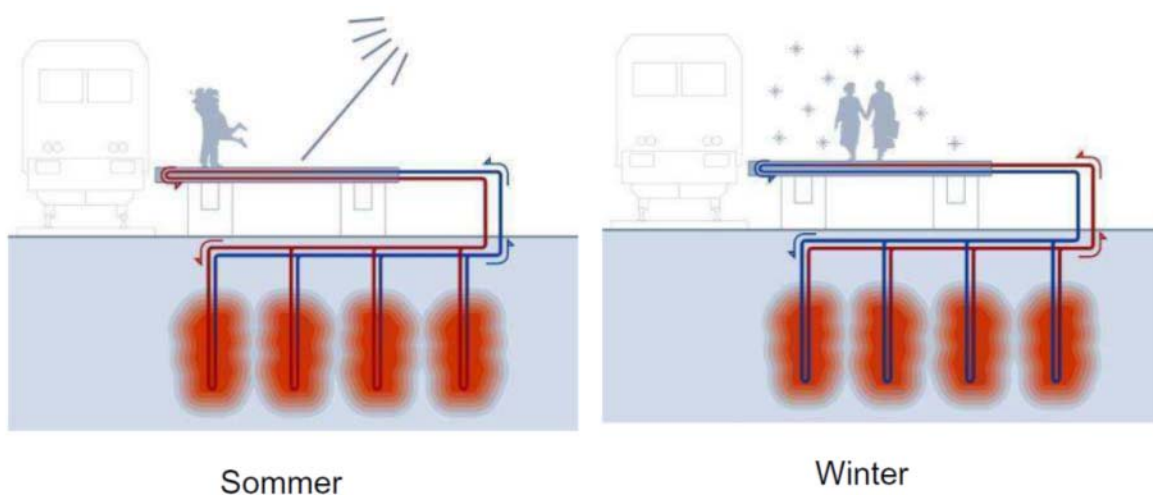


Abbildung 67: Eis- und Schneefreihaltung ohne Wasserentnahme und mit Wärmespeicherung aus dem Untergrund (aus [11]).

8.6 Beheizung von Weichen zur Eis- und Schneefreihaltung

Im Bereich der ÖBB existieren in Österreich 11238 Weichenheizungen. Aufgrund der meteorologischen Rahmenbedingungen in Österreich müssen diese Weichen schnee- und eisfrei gehalten werden. Dies erfolgt größtenteils mit Weichenheizungen, die ein Einfrieren der Weichen

verhindern und den fallenden oder windverfrachteten Schnee abtauen. Damit wird eine sichere Abwicklung des Schienenverkehrs der ÖBB in den Wintermonaten gewährleistet. Die Beheizung der Weichen erfolgt im Bereich der ÖBB vor allem mit elektrischem Strom oder auch Gas.

Von der ÖBB wurde ein Datensatz mit allen Weichenheizungen und deren wichtigsten technischen Spezifikationen zur Verfügung gestellt. Mit Hilfe eines weiteren GIS-Datensatzes der verschiedenen Betriebsstellen der ÖBB war eine räumliche Zuordnung der Weichenheizungen zu den Betriebsstellen, den Strecken und letztendlich den geologisch-hydrogeologischen Rahmenbedingungen möglich. Die exakte Darstellung der Lage der Weichenheizungen war mit den Datensätzen der ÖBB nicht möglich. Für das Projekt INFRAplusGEO ergeben sich daraus aber keine Einschränkungen der Aussagekraft.

528 Weichen werden im Bereich der ÖBB mit Gas und 10710 Weichen mit Strom beheizt.

Die Prinzipien und Möglichkeiten der Weichenheizungen mit Erdwärme sind im Rahmen der Fachexkursion vor Ort besichtigt worden und in Kapitel 7.3 dargestellt.

Grundsätzlich können Weichen mit folgenden Prinzipien der Erdwärmenutzung beheizt werden:

- Erdwärmesonden mit Wärmepumpe
- Grundwasser mit Wärmepumpe
- Erdwärmerohre

Im Bereich der ÖBB liegen viele der Weichenheizungen in geologisch-hydrogeologischen Bereichen, wo diese Weichenheizungstechnologien angewendet werden können. Die klimatischen Bedingungen sind in Österreich jedoch oft sehr rau und z.B. Windverfrachtungen und Schneeverwehungen können den sicheren Betrieb der geothermischen Weichenheizungen gefährden. Dies ist beim Einsatz geothermischer Weichenheizungssysteme entsprechend zu berücksichtigen und mit Hilfe planerischer Maßnahmen zu kompensieren.

9 BEARBEITUNGSMETHODIK

Die Wärmebedarfsanalyse und die Analyse des geothermischen Potenzials erfolgten weitgehend mit Hilfe von Datenbanken und GIS-Anwendungen.

Das in Abbildung 69 dargestellte Bearbeitungsschema stellt den verwendeten Datenbestand und die darauf aufbauende Bearbeitungsmethodik systematisch zusammengefasst dar.

Die Bearbeitung erfolgte gemäß Antrag (siehe Abbildung 68) in einigen großen Bearbeitungsblöcken, diese sind:

- Analyse der energierelevanten Infrastruktur (korrespondiert mit AP2 des Antrages) – INFRADATA/INFRAGIS
- Wärmebedarfsanalyse – (korrespondiert mit AP4 und teilweise AP2) - GEODEMAND
- Analyse des geothermischen Potenzials (korrespondiert mit AP3) - GEOPOT
- Umsetzungsanalyse (korrespondiert mit AP5)

Diese Bearbeitungsbereiche und die in INFRAplusGEO aufgebauten Zusammenhänge sind in Abbildung 69 dargestellt. Eine Beschreibung der Vorgangsweise erfolgt in den folgenden Kapiteln.

Die verwendeten Datensätze sind in Kapitel 5 im Detail beschrieben.

Projektstruktur INFRAplusGEO: Arbeitspakete, Output und Vernetzung

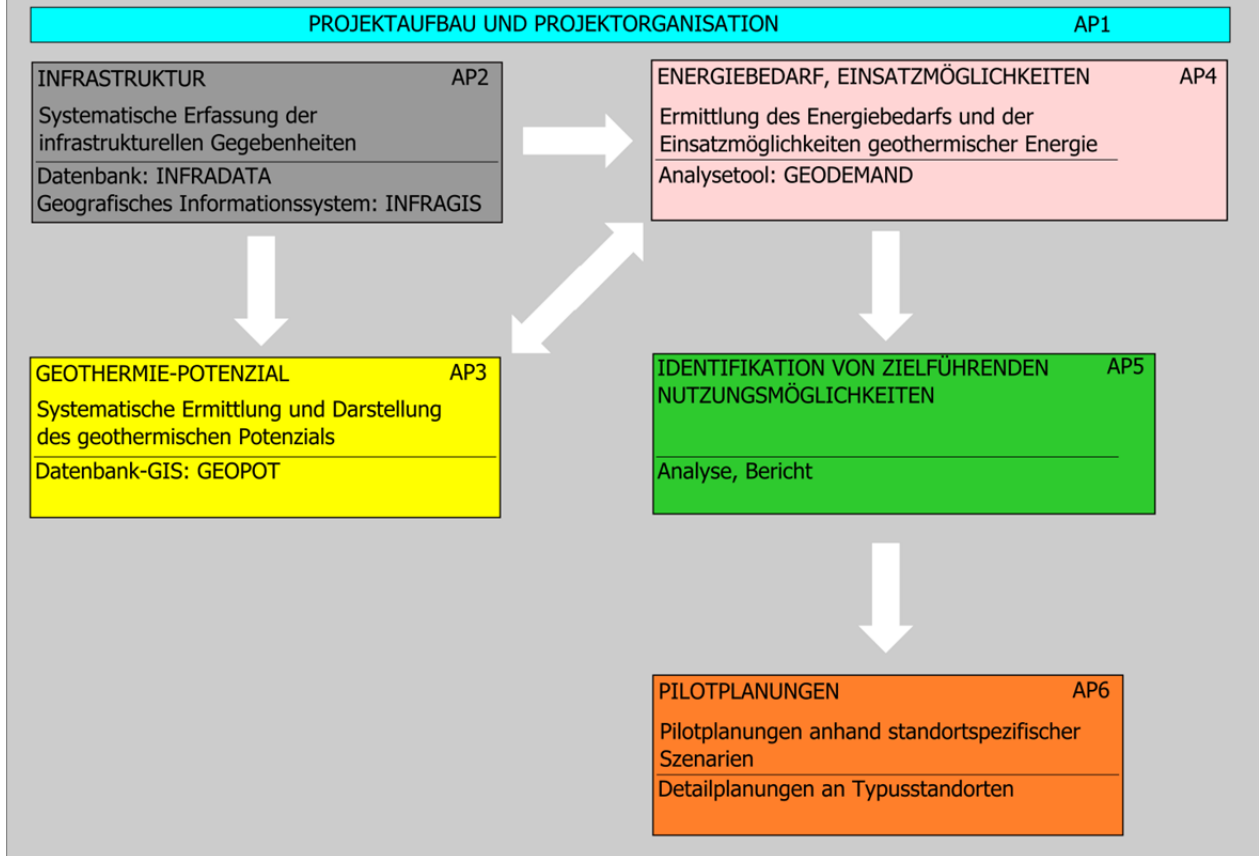
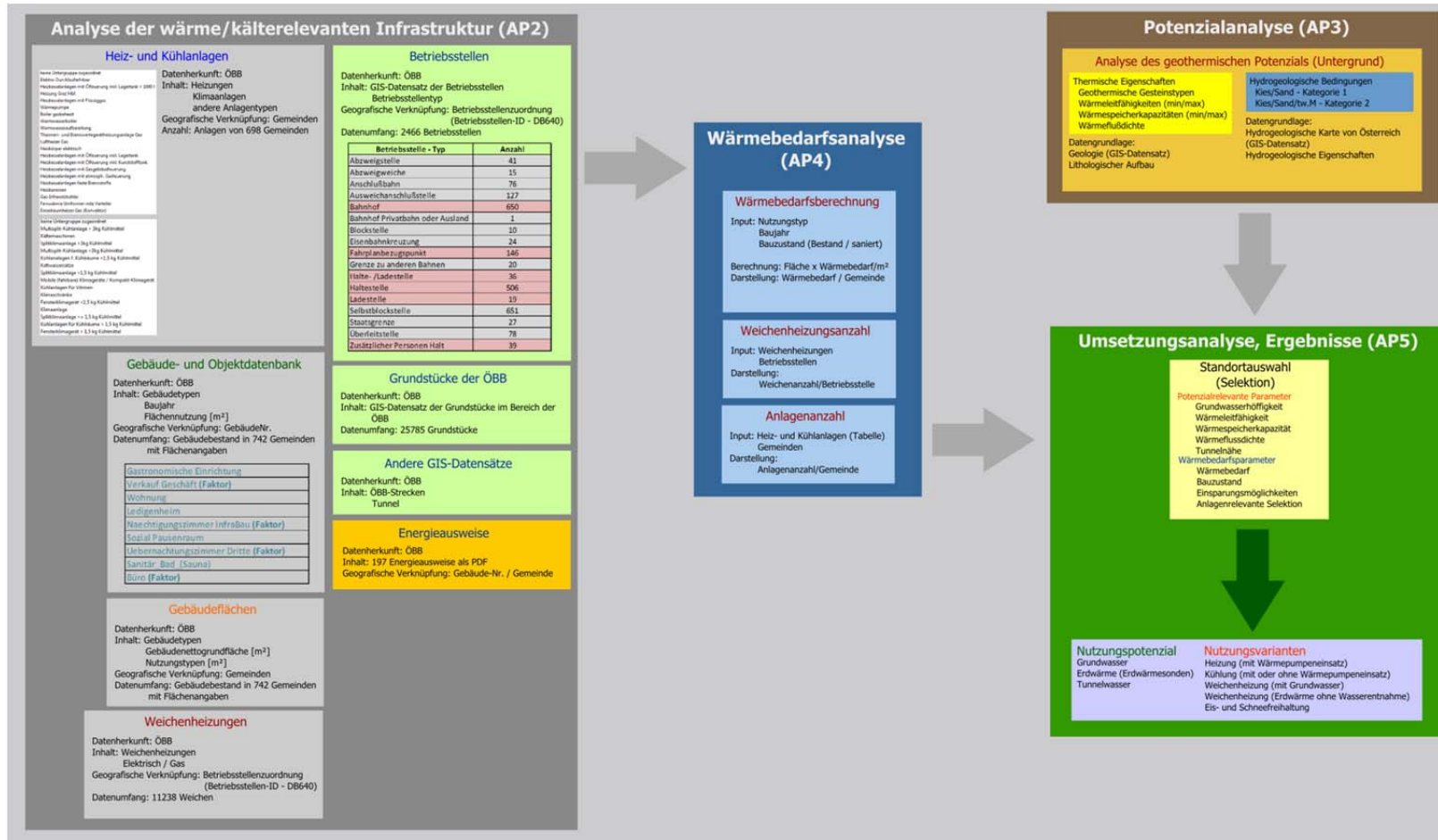


Abbildung 68: Projektstruktur gemäß Projektantrag



Wärmebedarfsanalyse (AP4)

Wärmebedarfsberechnung

Input: Nutzungstyp
 Baujahr
 Bauzustand (Bestand / saniert)

Berechnung: Fläche x Wärmebedarf/m²
 Darstellung: Wärmebedarf / Gemeinde

Weichenheizungsanzahl

Input: Weichenheizungen
 Betriebsstellen

Darstellung: Weichenanzahl/Betriebsstelle

Anlagenanzahl

Input: Heiz- und Kühlanlagen (Tabelle)
 Gemeinden

Darstellung: Anlagenanzahl/Gemeinde

Potenzialanalyse (AP3)

Analyse des geothermischen Potenzials (Untergrund)

Thermische Eigenschaften
 Geothermische Gesteinstypen
 Wärmeleitfähigkeiten (min/max)
 Wärmespeicherkapazitäten (min/max)
 Wärmefluidichte

Datengrundlage:
 Geologie (GIS-Datensatz)
 Lithologischer Aufbau

Hydrogeologische Bedingungen
 Kies/Sand - Kategorie 1
 Kies/Sand/tw.M - Kategorie 2

Datengrundlage:
 Hydrogeologische Karte von Österreich (GIS-Datensatz)
 Hydrogeologische Eigenschaften

Umsetzungsanalyse, Ergebnisse (AP5)

Standortauswahl (Selektion)

Potenzialrelevante Parameter
 Grundwasserhöflichkeit
 Wärmeleitfähigkeit
 Wärmespeicherkapazität
 Wärmefluidichte
 Tunnelnähe
 Wärmebedarfsparameter
 Wärmebedarf
 Bauzustand
 Einsparungsmöglichkeiten
 Anlagenrelevante Selektion

Nutzungspotenzial

Grundwasser
 Erdwärme (Erdwärmesonden)
 Tunnelwasser

Nutzungsvarianten

Heizung (mit Wärmepumpeinsatz)
 Kühlung (mit oder ohne Wärmepumpeinsatz)
 Weichenheizung (mit Grundwasser)
 Weichenheizung (Erdwärme ohne Wasserentnahme)
 Eis- und Schneefreihaltung

Abbildung 69: Bearbeitungsschema und Datengrundlagen - INFRAplusGEO

9.1 Analyse der ÖBB-Infrastruktur mit Wärme- oder Kältebedarf

Die Analyse der ÖBB-eigenen Infrastruktur erfolgte auf Basis der Datensätze, die in Abbildung 70 in AP2 zusammenfassend dargestellt sind. Die Datensätze wurden von der ÖBB in verschiedenen Tabellen an Joanneum Research übermittelt, sodass eine geografische Zuordnung für eine systematische Auswertung nicht direkt und unmittelbar möglich war. Die Zuordnung der Datensätze erfolgte entweder mit Hilfe der Gemeindenummer oder mit Hilfe der Betriebsstellen-ID. Manche Datensatztypen können daher bei der Ergebnisdarstellung nur auf Gemeindeebene erfolgen, eine eindeutige Zuordnung zu Betriebsstellen war nicht immer möglich. Weiters wurden von der ÖBB GIS-Datensätze zur Verfügung gestellt. In Abbildung 70 sind tabellarische Datensätze grau hinterlegt, GIS-Datensätze sind hellgrün hinterlegt.

Analyse der wärme/kälterelevanten Infrastruktur (AP2)

Heiz- und Kühlanlagen

keine Untergruppe zugeordnet
 Elektro-Durchlauferhitzer
 Heizkesselanlagen mit Ölfeuerung inkl. Lagertank < 1000 l
 Heizung Graz Hbf.
 Heizkesselanlagen mit Flüssiggas
 Wärmepumpe
 Boiler gasbeheizt
 Warmwasserboiler
 Warmwasseraufbereitung
 Thermien- und Brennvorgängerheizungsanlage Gas
 Luftheizer Gas
 Heizkörper elektrisch
 Heizkesselanlagen mit Ölfeuerung inkl. Lagertank
 Heizkesselanlagen mit Ölfeuerung inkl. Kunststofftank
 Heizkesselanlagen mit Gasbläsefeuerung
 Heizkesselanlagen mit atmosph. Gasfeuerung
 Heizkesselanlagen feste Brennstoffe
 Heizkesselanlagen
 Gas-Infrarotstrahler
 Fernwärme Umformer mit Verteiler
 Einzelraumheizer Gas (Konvektor)

keine Untergruppe zugeordnet
 Multiplit-Kühlanlage > 3kg Kühlmittel
 Kaltmaschinen
 Splitklimaanlage > 3kg Kühlmittel
 Multiplit-Kühlanlage < 3kg Kühlmittel
 Kühlanlagen f. Kühlräume < 1,5 kg Kühlmittel
 Kaltwassersätze
 Splitklimaanlage < 1,5 kg Kühlmittel
 Mobile (fahrbare) Klimageräte / Kompakt-Klimagerät
 Kühlanlagen für Vitrinen
 Klimaschränke
 Fensterklimagerät < 1,5 kg Kühlmittel
 Klimaanlage
 Splitklimaanlage >= 1,5 kg Kühlmittel
 Kühlanlagen für Kühlräume > 1,5 kg Kühlmittel
 Fensterklimagerät > 1,5 kg Kühlmittel

Datenherkunft: ÖBB
 Inhalt: Heizungen
 Klimaanlage
 andere Anlagentypen
 Geografische Verknüpfung: Gemeinden
 Anzahl: Anlagen von 698 Gemeinden

Betriebsstellen

Datenherkunft: ÖBB
 Inhalt: GIS-Datensatz der Betriebsstellen
 Betriebsstellentyp
 Geografische Verknüpfung: Betriebsstellenzuordnung
 (Betriebsstellen-ID - DB640)
 Datenumfang: 2466 Betriebsstellen

Betriebsstelle - Typ	Anzahl
Abzweigstelle	41
Abzweigweiche	15
Anschlußbahn	76
Ausweichanschlußstelle	127
Bahnhof	650
Bahnhof Privatbahn oder Ausland	1
Blockstelle	10
Eisenbahnkreuzung	24
Fahrplanbezugspunkt	146
Grenze zu anderen Bahnen	20
Halte- /Ladestelle	36
Haltestelle	506
Ladestelle	19
Selbstblockstelle	651
Staatsgrenze	27
Überleitstelle	78
Zusätzlicher Personen Halt	39

Gebäude- und Objektdatenbank

Datenherkunft: ÖBB
 Inhalt: Gebäudetypen
 Baujahr
 Flächennutzung [m²]
 Geografische Verknüpfung: GebäudeNr.
 Datenumfang: Gebäudebestand in 742 Gemeinden
 mit Flächenangaben

Gastronomische Einrichtung
Verkauf Geschäft (Faktor)
Wohnung
Ledigenheim
Nachtlungszimmer InfraBau (Faktor)
Sozial Pausenraum
Uebernachtungszimmer Dritte (Faktor)
Sanitär Bad (Sauna)
Büro (Faktor)

Grundstücke der ÖBB

Datenherkunft: ÖBB
 Inhalt: GIS-Datensatz der Grundstücke im Bereich der ÖBB
 Datenumfang: 25785 Grundstücke

Andere GIS-Datensätze

Datenherkunft: ÖBB
 Inhalt: ÖBB-Strecken
 Tunnel

Energieausweise

Datenherkunft: ÖBB
 Inhalt: 197 Energieausweise als PDF
 Geografische Verknüpfung: Gebäude-Nr. / Gemeinde

Gebäudeflächen

Datenherkunft: ÖBB
 Inhalt: Gebäudetypen
 Gebäudenettogrundfläche [m²]
 Nutzungstypen [m²]
 Geografische Verknüpfung: Gemeinden
 Datenumfang: Gebäudebestand in 742 Gemeinden
 mit Flächenangaben

Weichenheizungen

Datenherkunft: ÖBB
 Inhalt: Weichenheizungen
 Elektrisch / Gas
 Geografische Verknüpfung: Betriebsstellenzuordnung
 (Betriebsstellen-ID - DB640)
 Datenumfang: 11238 Weichen

Abbildung 70: Infrastruktur – Analyse (INFRADATA, INFRAGIS)

9.1.1 Gebäude und Objekte

Basierend auf den Gebäude- und Objektdatensätzen, welche von der ÖBB zur Verfügung gestellt wurden, erfolgte eine Berechnung des Wärmebedarfes.

Basis dieser Berechnung waren folgende Inputs:

- Gebäude- bzw. Raumkategorien
- Energiebedarf je Gebäude/Raumtyp pro m²
(Austria Energy Agency - EINE TYPOLOGIE ÖSTERREICHISCHER WOHNGEBÄUDE)
- Geografische Zuordnung der Gebäude zu Gemeinden (einzige Möglichkeit der GIS-Verknüpfung)
- Berechnung des Wärmebedarfs pro Gebäude- bzw. Raumtyp und Summierung des Wärmebedarfes je Gemeinde

Abbildung 71 und Abbildung 72 zeigen beispielhaft die Ergebnisse der gemeindeweisen Flächensummierungen für die Raumnutzungstypen (z.B. Wohnflächen, Büroflächen) im Bereich der ÖBB-Infrastruktur.

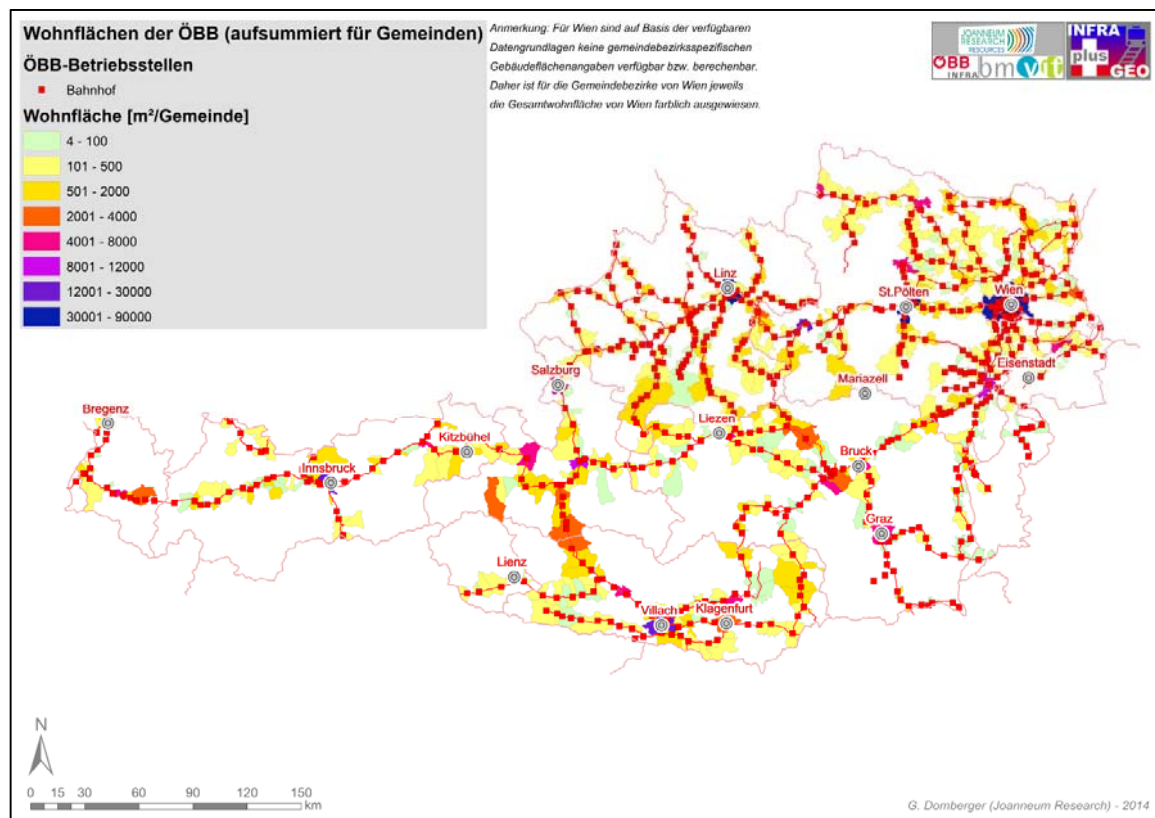


Abbildung 71: Wohnflächen der ÖBB (aufsummiert für Gemeinden – mit Bahnhöfen)

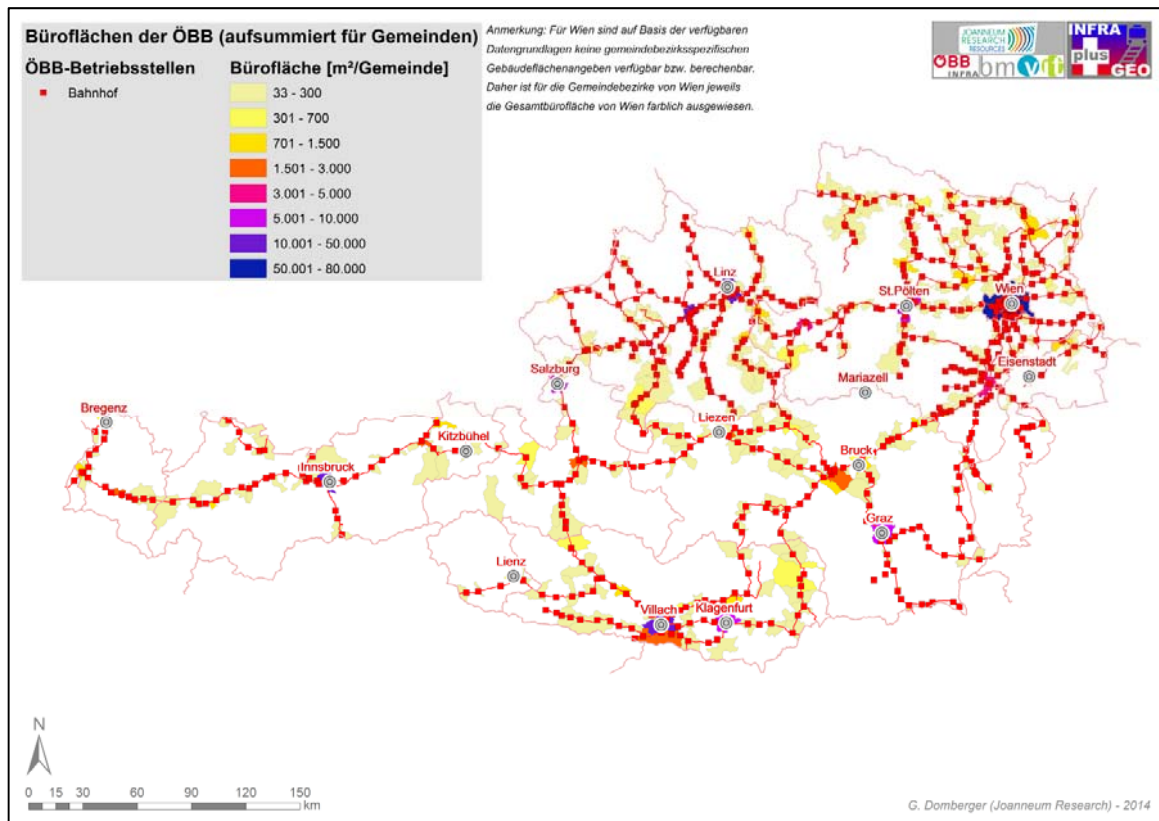


Abbildung 72: Büroflächen der ÖBB (aufsummiert für Gemeinden – mit Bahnhöfen)

Mit dieser Vorgehensweise war es möglich, den Wärmebedarf der ÖBB-Gebäude auf Gemeindebasis zu berechnen und zu summieren und damit eine geografische Analyse des Wärmebedarfes der ÖBB bundesweit durchführen zu können.

Die in Tabelle 10 aufgelisteten Raumkategorien wurden in die dargestellte Berechnungsmethodik einbezogen. Die anderen in den Datensätzen beinhalteten Raumkategorien (wie. Z.B. Lagerräume) wurden in diese Berechnung nicht einbezogen.

Kategorien / ÖBB Datenbankbezeichnungen
Gastronomische Einrichtung
Verkauf/Geschäft
Wohnung
Ledigenheim
Naechtigungszimmer InfraBau
Sozial Pausenraum
Uebernachtungszimmer Dritte
Sanitär-Bad-(Sauna)
Büro

Tabelle 10: Raumkategorien für die Berechnung des Wärmebedarfes

Weiters wurden innerhalb dieser Berechnung folgende Gebäudezustände berücksichtigt

- Bestand (Gebäudezustand gemäß Baujahr)
- saniert (Gebäudezustand nach thermischer Sanierung)

Damit kann der Gesamtwärmebedarf für den thermisch sanierten Gebäudezustand und den bestehenden Zustand ausgewiesen werden. Für die Berechnung des Wärmebedarfes wurden die Flächen der verschiedenen, dargestellten Raumkategorien für die einzelnen Gemeinden entsprechend den Baujahren aufsummiert. Mit dieser Methodik ergibt sich ein Wärmebedarf der ÖBB-Infrastruktur (zur geografischen Darstellung) aufsummiert für die einzelnen Gemeinden.

Basierend auf dieser Berechnungsmethodik ergeben sich 742 Gemeinden mit Wärmebedarfswerten.

9.1.2 Gebäudenettogrundflächen

Der Datensatz mit den Gebäudenettogrundflächen wurde für die Berechnung des Wärmebedarfes nicht herangezogen, da dieser im Vergleich zur Gebäude- und Objektdatenbank vergleichsweise undetaillierte Informationen beinhaltet.

9.1.3 Weichenheizungen

Von der ÖBB wurde ein Datensatz mit dem gesamten Weichenheizungsbestand zur Verfügung gestellt. In Kapitel 5.3.5 wurde der Weichenheizungsbestand bereits analysiert und dargestellt. Mit Hilfe der Betriebsstellen-ID war eine geografische Zuordnung der Weichenanzahl und der Weichentypen zu den Betriebsstellen der ÖBB möglich.

Der Energiebedarf der Weichenheizungen wurde nicht näher berechnet, da hierzu die tatsächlichen Einschaltdauern der Heizungen nicht vorliegen.

Die Weichenheizungsleistungen der elektrisch beheizten Weichen betragen zwischen 250 und 1600 W/Heizstab und aufsummiert für gesamte Weichenheizungsanlagen bis maximal 24kW pro Weichenheizungsanlage. Über die geringere Anzahl gasbeheizten Weichen liegen keine energierelevanten Datensätze vor.

9.1.4 Heiz- und Kühlanlagen

Zur Analyse des Bestandes an Heiz- und Kühlanlagen erfolgte eine systematische Auswertung der vorhandenen Anlagen im Bereich der Infrastruktur der ÖBB. In Kapitel 5.3.4.1 erfolgte die Analyse dieser Anlagendatenbank. Es zeigen sich generell bundesweit sehr heterogene Verhältnisse was die Anzahl und die Verteilung der Typen an Kühl- und Heizanlagen betrifft.

Der Datensatz wurde letztendlich herangezogen, um die Reduktion des Verbrauches an fossilen Energieträgern durch die Substitution mit Erdwärme qualitativ zu beurteilen.

9.2 Geothermisches Potenzial

Die bundesweite Beurteilung des geothermischen Potenzials erfolgt auf Basis der geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes.

Anhand der geologischen und hydrogeologischen Karte von Österreich wurden Eigenschaftsklassen des Untergrundes gebildet, die die Kriterien für die Selektion geothermisch begünstigter Standorte und Betriebsstellen der ÖBB darstellen.

Abbildung 73 gibt den Datenbestand und die Kriterien an, welche für die Standortanalyse des geothermischen Potenzials herangezogen wurden.

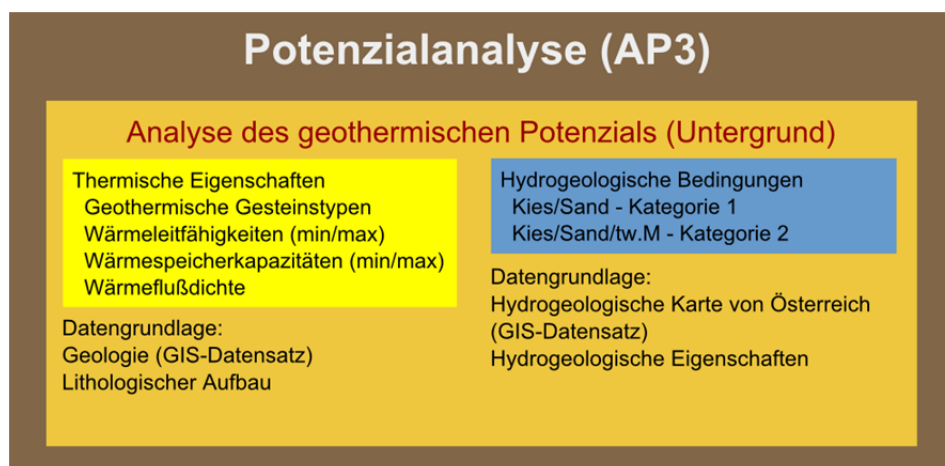


Abbildung 73: Beurteilung des geothermischen Potenzials

9.2.1 Grundlegende Bemerkungen

Die systematische Analyse des oberflächennahen geothermischen Potenzials erfolgte mit Hilfe des aufgebauten geografischen Informationssystems (GIS). In diesem Zusammenhang sind einige einleitende Bemerkungen zu machen und grundsätzliche Definitionen zu treffen.

Das geothermische Nutzungspotenzial ergibt sich aus der systematischen Verknüpfung von geowissenschaftlichen Grundlagen und den infrastrukturellen Gegebenheiten mit dem Wärmebedarf.

Die Bewertung des geothermischen Potenzials erfolgt auf Basis von geologischen Karten im Übersichtsmaßstab. Diese verwendeten geologischen Karten repräsentieren daher sehr generalisierte, geologisch-lithologische Einheiten mit den zugehörigen thermischen Eigenschaften. Aufgrund der Tatsache, dass die geothermisch-hydrogeologischen Rahmenbedingungen einzelner Standorte jedoch oft auch von kleinräumigen Gegebenheiten geprägt sind, ist in jedem Fall konkreter Nutzungs- und Umsetzungsüberlegungen eine Detailstudie erforderlich.

9.2.2 Bewertungsmaßstab, Detailierungsgrad

Innerhalb des Projektes INFRAplusGEO wurde das gesamte Bundesgebiet Österreichs analysiert und im Bereich der Betriebsanlagen der ÖBB hinsichtlich des oberflächennahen geothermischen Potenzials bewertet. Aufgrund der Größe des gesamten Untersuchungsgebietes wurde zur Analyse des geothermischen Potenzials die geologische Karte von Österreich im Maßstab 1:500.000 herangezogen. Dieser gewählte und bundesweit umsetzbare Kartenmaßstab von 1:500.000 bietet eine ausgezeichnete Basis für eine Übersichtsbewertung des geothermischen Potenzials. In diesem Kartenmaßstab sind die geologisch-lithologischen Einheiten sehr übersichtlich verarbeitbar. Dieser Kartenmaßstab verliert jedoch gegenüber den geologischen Detailblättern im Maßstab von z.B. 1:50.000 deutlich an Detailauflösung. Eine Detailplanung für mögliche Nutzungsstandorte sollte daher in jedem Fall auf die geologischen Grundlegekarten mit dem höchsten Auflösungsvermögen zurückgreifen und diese in die Detailuntersuchungen einbinden.

9.2.3 Geologische Informationen

Die geologischen Karten sind ein Abbild des geologisch-hydrogeologischen Inventars an der Geländeoberfläche.

Oberflächennahe geothermische Nutzungen, die im Projekt INFRAplusGEO näher betrachtet werden, erreichen im Fall von Erdwärmesonden maximal etwa 250 m. Die geologische Kartengrundlage beschreibt jedoch den Gesteinsaufbau an der Oberfläche und gibt keine direkten Informationen zum Aufbau des Untergrundes bis zur projektrelevanten Tiefe von etwa 250 m an. Dadurch ergeben sich Interpretationsspielräume, die ebenfalls im Rahmen von standortbezogenen Detailplanungen minimiert werden müssen.

9.3 Thermische Gesteinsparameter

Auf Basis der geologischen Karte von Österreich (1:500.000) erfolgte entsprechend den vorhandenen Gesteinseinheiten eine Gliederung nach den thermischen Eigenschaften der Gesteine. Basis der Zuordnung der Wärmeleitfähigkeiten und der spezifischen Wärmespeicherkapazitäten ist Tabelle 11.

Gesteinstyp (aus geologischer Karte von Österreich 1:500.000 - Geologische Bundesanstalt)	Wärmeleitfähigkeit			Spezifische Wärmespeicherkapazität	
	[W/mK]			[mj/m³K]	
	max	min	typisch	min	max
Amphibolit	2,3	2,1	2,2	2	2,3
Amphibolit (Zwölferzug - Basisamphibolit)	2,3	2,1	2,2	2	2,3
Amphibolit	2,3	2,1	2,2	2	2,3
Andesit, Dazit, Trachyt; Karpat, Baden	4,25	2,8	3,55	2,1	2,1
Basalt, Basanit, Nephelinit, Tuff, Sarmat/Pannon - Plio-/Pleistozän	2,3	1,3	1,7	2,3	2,6
Ultrasit	2,3	1,3	1,8	2,3	2,6
Basischer Vulkanit	2,3	1,3	1,8	2,3	2,6
Eklogit führendes Metasediment	4,2	2,3	2,9	2	2,3
Granitoid (Südböhmischer Pluton); Karbon	4,1	2,1	3,4	2,1	3
Granitoid; Permokarbon	4,1	2,1	3,4	2,1	3
Granitoid; Permokarbon	4,1	2,1	3,4	2,1	3
Tonalit, Granodiorit, Oligozän	4,1	4,1	3,1	2,1	3
Ganggestein (im Gefolge der tertiären Intrusionen)	4,1	2,1	3,1	2,1	3
Granulit	4	1,9	3	2,1	3
Tiefmarines Sediment - Ophiolith (Ybbsitzer -, Sulzer- und St. Veiter - Klippen, Nordrandzone); Jura - Kreide	2,6	1,5	2	2,2	2,5
Ozeanisches Metasediment, z. T. flyschartig (Bündner Schiefer, Rechnitzer Serie, Prättigauflisch); Jura - Kreide, z. T. Alttertiär	2,6	1,5	2	2,2	2,5
Grünschiefer, Prasinit, Serpentin	2,6	1,5	2	2,2	2,5
überwiegend Karbonatgestein; Mitteltrias - Unterkreide	4	2,5	2,8	2,1	2,4
Karbonatgestein, Klastika (Karbon von Nötsch); oberes Vise - Oberkarbon	4	2,5	2,8	2,1	2,4
Karbonatgestein, Klastika (Grauwackenzone / Veitscher Decke); oberes Vise - Oberkarbon	4	2,5	2,8	2,1	2,4
Karbonatgestein	4	2,5	2,8	2,1	2,4
Karbonatgestein; Trias	4	2,5	2,8	2,1	2,4
überwiegend Karbonatgestein; Mitteltrias - Jura	4	2,5	2,8	2,1	2,4
Marmor, Kalksilikatgestein	3,1	1,3	2,1	2	2
Marmor	3,1	1,3	2,1	2	2
Orthogneis	4	1,9	2,9	1,8	2,4
Orthogneis (Zentralgneis); Permokarbon	4	1,9	2,9	1,8	2,4
Orthogneis	4	1,9	2,9	1,8	2,4
Migmatit, Anatexit, migmatischer Paragneis (Altes Dach, Altkristallin i.a.)	4	1,9	2	1,8	2,4
Altkristallin i. a. (meist Paragneis, Glimmerschiefer lokal, auch Granatphyllit)	3,1	1,5	2,3	1,8	2,4
Migmatit	4	1,9	2	1,8	2,4
Metamorphite i. a.: meist Paragneis, Glimmerschiefer (Moldanubikum, Moravikum)	3,1	1,5	2	1,8	2,4
Schladminger Kristallin	3,1	1,5	2,3	1,8	2,4
Bundschuh Kristallin	3,1	1,5	2,3	1,8	2,4
Phyllit, Metaklastika, Metavulkanit (Grauwackenzone / Silbersberg - Decke westl. Afienz nicht ausgeschieden); Altpaläozoikum i. a. ?Permoskyth	5,4	2,3	4	2,2	2,4
überwiegend pelitisch-psammitisches Sediment; Oberordovicium	1	0,4	0,7	2,2	2,4
Phyllit; Oberordovicium - Unterkarbon	5,4	2,3	3,8	2,2	2,4
Quarzphyllite, z. T. Phyllonite	5,4	2,3	3,8	2,2	2,4
Porphyroid (Blasseneck Porphyroid); Oberordovicium	1,9	1,9	1,9	2,2	2,4
Comelico - Porphyroid; Ordovicium	1,9	1,9	1,9	2,2	2,4
Porphyroid; Perm	1,9	1,9	1,9	2,2	2,4
Quartär i. a. (Alluvium; Pleistozän entlang der Hauptentwässerungslinien und Moränen im Alpenvorland)	1,8	0,3	0,8	1,3	1,5
Allochthone und parautochthone Molasse; Obereozän - Miozän/Oberjura	1	0,3	0,6	1,3	1,5
Alttertiärklippen (Ernstbrunner Klippen)	1	0,3	0,6	1,3	1,5
Post-variszische Klastika (Perm von Zöbing); Perm	1	0,3	0,6	1,3	1,5
Kontinentalrandsediment (Helvetikum i.w.S. inkl. Grestener- und Hauptklippenzone); Jura - Mitteleozän	1	0,3	0,6	1,3	1,5
Liebensteiner- und Feuerstätter Decke (nicht differenziert); Lias - Eozän	1	0,3	0,6	1,3	1,5
Rhenodanubischer Flysch; Unterkreide - Eozän	1	0,3	0,6	1,3	1,5
meist Klastika (Gosau - Schichten); Oberkreide - Eozän	1	0,3	0,6	1,3	1,5
Molassezone; Obereozän - Miozän; Inneralpine Becken; Neogen	1,4	1,4	1,4	1,3	1,5
Siliciklastika; Permoskyth	1,7	0,8	1,3	1,8	2,6
Post-variszische Klastika; Oberkarbon	1,7	0,8	1,3	1,8	2,6
Siliciklastika; Permoskyth	1,7	0,8	1,3	1,8	2,6
Post-variszische Klastika und Karbonatgestein; Oberkarbon - Perm	5	1	3	2	3
Kalk, Feinklastika	5	1	3	2	3
Metasediment (in Falknis - und Sulzfluh - Decke nicht differenziert); Permomesozoikum, z. T. Alttertiär	5	1	3	2	3
Metasediment (Brennkogel -, Kaserer - Serie); Jura - Kreide	5	1	3	2	3
Metasediment (Hochstegen - Serie); Malm	5	1	3	2	3
Metasediment (Wustkogel -, Seidlwinkel -, Schrovlin - Serie); Permotrias	5	1	3	2	3
Metasediment, Metavulkanit (Habach -, Greiner -, Storz -, Kareck - Serie); Paläozoikum	5	1	3	2	3
Tektonische Melange ostalpiner und penninischer Gesteine (Matreier Zone - Nordrahmenzone, Richbergkogel - Serie, Arosa - Zone); Permomesozoikum	5	1	3	2	3
Metasediment (Tasna - Decke); Permotrias	5	1	3	2	3

Tabelle 11: Thermische Gesteinseigenschaften auf Basis der geologischen Karte von Österreich und VDI-Richtwerten (farblich relativ abgestuft)

9.3.1 Wärmeleitfähigkeiten

Abbildung 74 zeigt die Verteilung der Wärmeleitfähigkeiten in Österreich auf Basis von Tabelle 11 und der geologischen Karte von Österreich. Generell ist erkennbar, dass die Gesteine im Bereich der Sedimentbecken in OÖ, NÖ, Steiermark, Burgenland und Vorarlberg geringe Wärmeleitfähigkeiten aufweisen. Größere Wärmeleitfähigkeiten weisen Teilbereiche der alpinen Gesteinseinheiten und die Granite und granitähnlichen Gesteine der Böhmisches Masse auf.

Dabei sind in Abbildung 74 die typischen Wärmeleitfähigkeiten der einzelnen Gesteine (gemäß Tabelle 11) dargestellt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass eine Variation der Wärmeleitfähigkeiten zwischen den maximalen und minimalen Werten und auch darüber hinaus möglich ist.

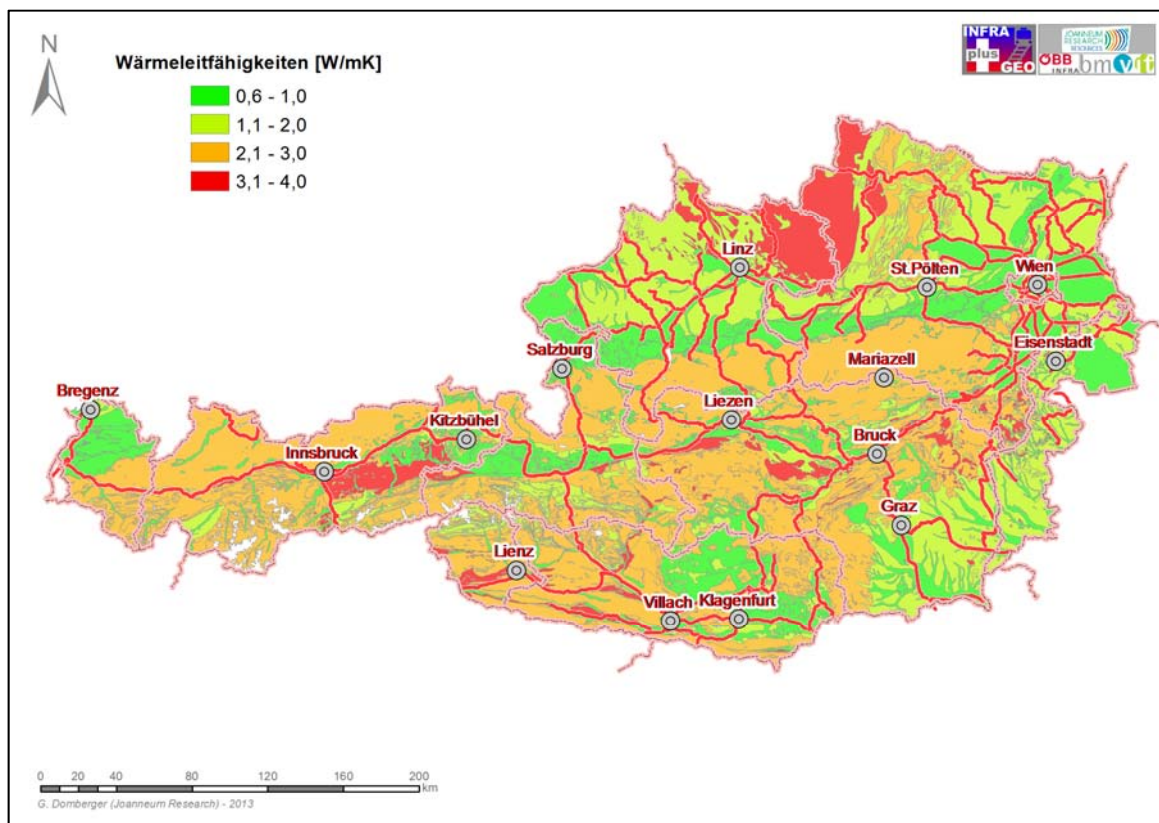


Abbildung 74: Wärmeleitfähigkeiten der Gesteinseinheiten in Österreich

9.3.2 Spezifische Wärmespeicherkapazitäten

Abbildung 75 zeigt die Verteilung der spezifischen Wärmespeicherkapazitäten in Österreich auf Basis von Tabelle 11. Granite und granitähnliche Gesteine weisen die besten Wärmespeichereigenschaften auf, während die Lockersedimente in den großen Sedimentbecken die

geringsten Speicherfähigkeiten aufweisen. Ersichtlich ist aus den beiden Abbildungen in Abbildung 75 die Schwankungsbreite zwischen den jeweiligen minimalen und maximalen Wärmespeicherkapazitäten der Gesteinseinheiten. Dementsprechend ist auch an dieser Stelle wieder auf erforderliche Detailstandorterkundungen bzw. Vorortmessungen hinzuweisen.

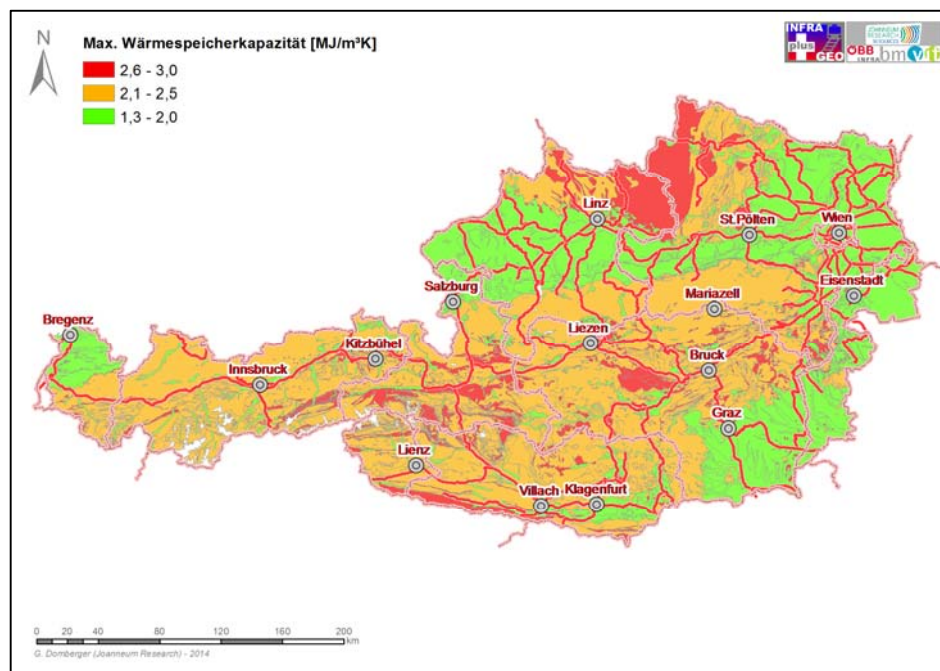
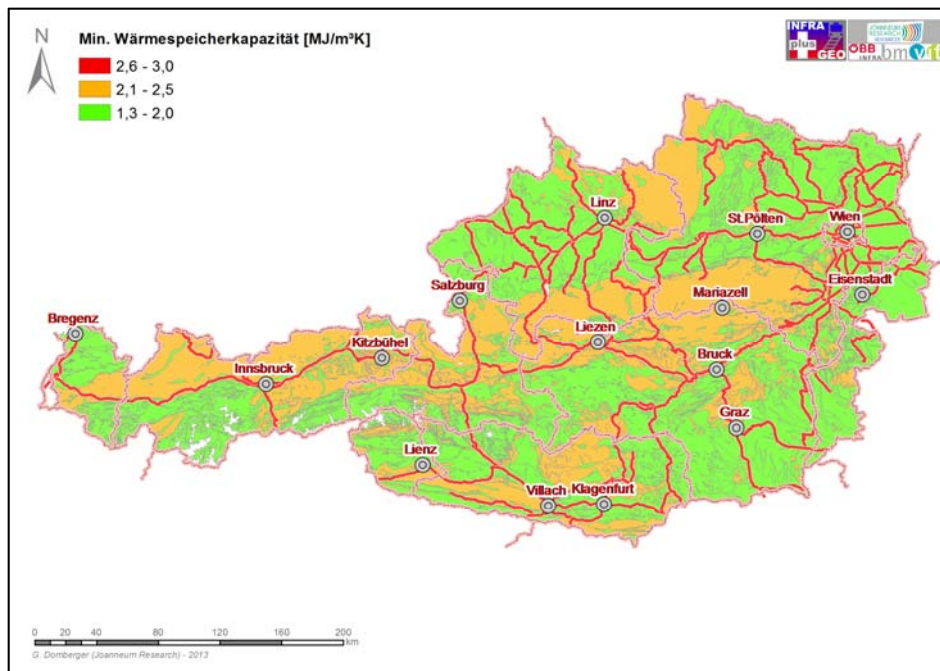


Abbildung 75: Wärmespeicherkapazitäten (Vergleich – min und max.) der Gesteinseinheiten in Österreich

9.3.3 Natürlicher Erdwärmefluss

Neben den thermischen Eigenschaften der Gesteinseinheiten (Wärmespeicherkapazität siehe 9.3.2, Wärmeleitfähigkeit siehe 9.3.1) ist auch der natürliche Erdwärmefluss für die Realisierung von Erdwärmennutzungen von Bedeutung. Hier zeigen sich im Bereich der Sedimentbecken eher günstige Werte (siehe Abbildung 76) während vor allem im Bereich der Kalkalpen eher ungünstige Rahmenbedingungen herrschen. Im Bereich des Steirisch-Südburgenländischen Beckens liegen aufgrund der großtektonischen Entstehungsgeschichte dieses Beckens besonders günstige Verhältnisse vor und der Erdwärmefluss kann hier etwa 100 mW/m² erreichen.

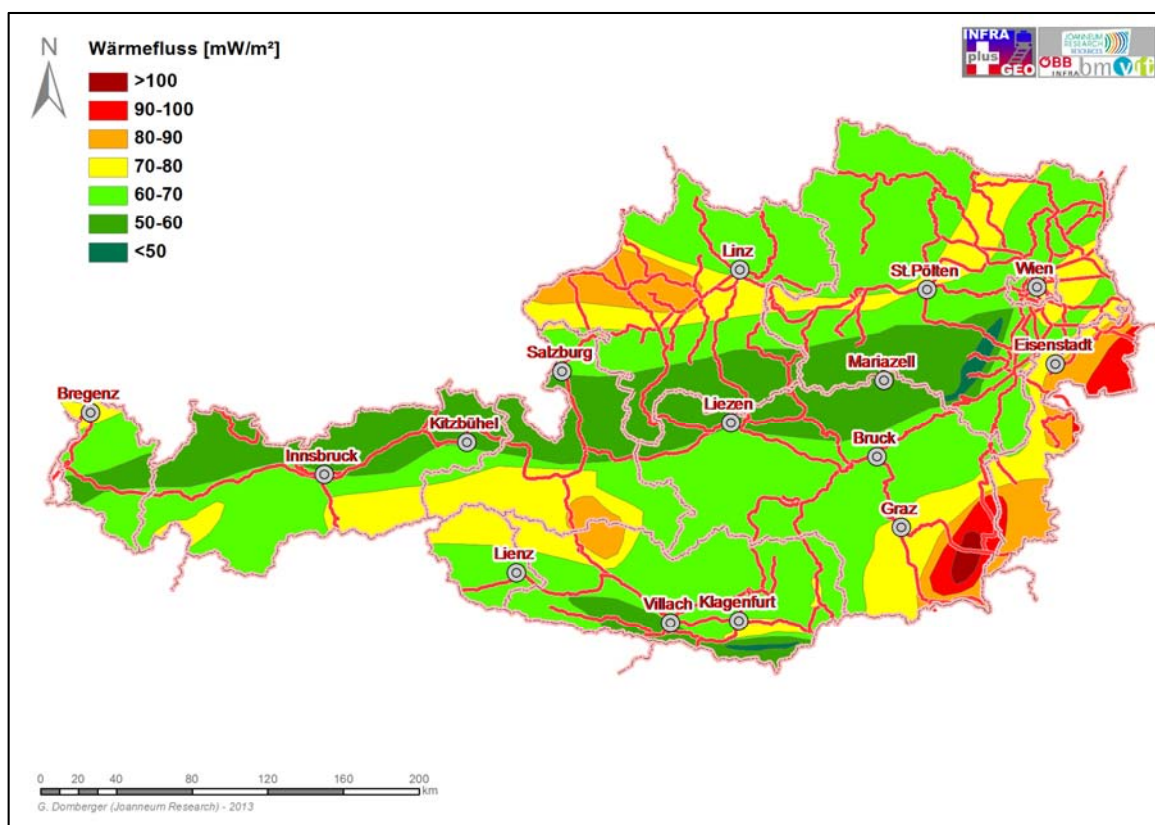


Abbildung 76: Natürlicher Erdwärmefluss (Basisquelle: Geologischer Atlas – Geologische Bundesanstalt)

9.4 Hydrogeologische Standorteignung

Die Analyse der hydrogeologischen Standorteignung von Betriebsstellen der ÖBB zielt vorrangig auf das Vorhandensein von oberflächennahem Grundwasser in ausreichender Ergiebigkeit für eine thermische Nutzung ab. Basis der bundesweiten Analyse ist die hydrogeologische Karte von Österreich im Maßstab 1:500.000.

Die Existenz von oberflächennahem Grundwasser ist in den meisten Fällen an das Vorhandensein von Lockersedimenten mit erhöhten Durchlässigkeiten und Mächtigkeiten gebunden. Diese sind vor allem im Bereich der quartären Talfüllungen vorhanden. In der hydrogeologischen Karte Österreichs sind diese als „Überwiegend Kies und Sand“ bzw. „Überwiegend Kies und Sand, örtlich Moränen“ ausgewiesen. Die bundesweite Analyse zielt daher auf die Lage der Betriebsstellen der ÖBB im Bereich dieser beiden hydrogeologischen Klassen ab (siehe dazu Abbildung 77).

Es ist dabei anzumerken, dass auch bei der Analyse der hydrogeologischen Standorteignung in jedem Fall auf eine standortspezifische Detailuntersuchung nicht verzichtet werden kann. Vor allem gibt die hydrogeologische Karte von Österreich keine standortspezifische Auskunft über die Durchlässigkeiten und Mächtigkeiten der ausgewiesenen Lockersedimente. Damit lässt sich für den Einzelstandort auch nur eine generalisierte Auskunft über die tatsächliche Grundwassergiebigkeit ableiten. Weiters ist darauf hinzuweisen, dass auch außerhalb dieser Gesteinsbereiche thermisch nutzbare Grundwasserkörper vorhanden sein können. Beispielsweise können Karbonatgesteinsbereiche große Wassermengen führen, die auf Basis der gewählten Übersichtsmethodik bzw. den Inhalten der hydrogeologischen Karte Österreichs jedoch nicht näher analysiert und ausgewiesen werden können.

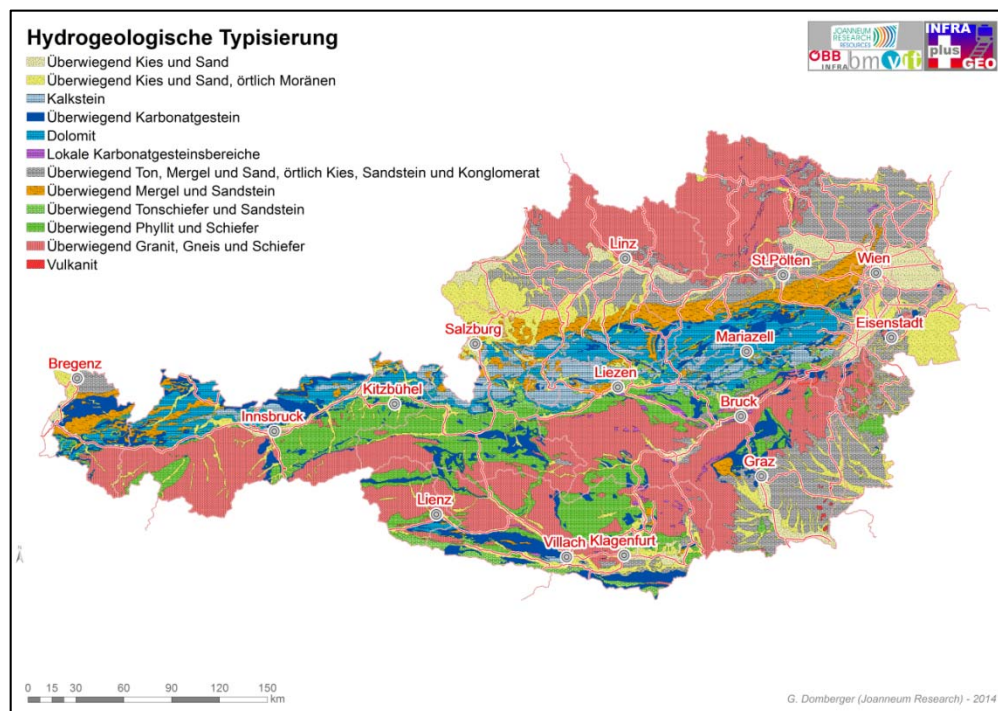


Abbildung 77: Hydrogeologische Standorteignung (Basis: Hydrogeologische Karte – Geologische Bundesanstalt)

Tunnelwassernutzung:

Die thermische Nutzung von Tunnelwasser ist ein Spezialfall einer Erdwärmennutzung mit Grundwasserentnahme. Die Thematik und der Tunnelbestand im Streckennetz der ÖBB ist in Kapitel 6.2.2 bereits ausführlich dargestellt.

Eine weiterführende Analyse kann innerhalb des Projektes INFRAplusGEO nicht erfolgen, da die Datenbasis (Tunnelwassermengen, Wassertemperaturen) nicht vorliegt. Einzelbeispiele wie z.B. der Semmering Basistunnel bieten gute Möglichkeiten für die thermische Nutzung von Tunnelwasser.

9.5 Solarthermisches Potenzial (Solarstrahlung, Globalstrahlung)

Solarstrahlung ist der Strahlungsanteil, die von der Sonne ausgesandt wird. Auf dem Weg durch die Erdatmosphäre geht Energie durch Reflexion (z.B. durch Wolken), Absorption oder Streuung für die Nutzung durch Solaranlagen verloren. Den Anteil der Solarstrahlung, der schlussendlich an der Erdoberfläche auftrifft, bezeichnet man als Globalstrahlung. Die österreichweite Verteilung der Globalstrahlung ist in Abbildung 78 dargestellt.

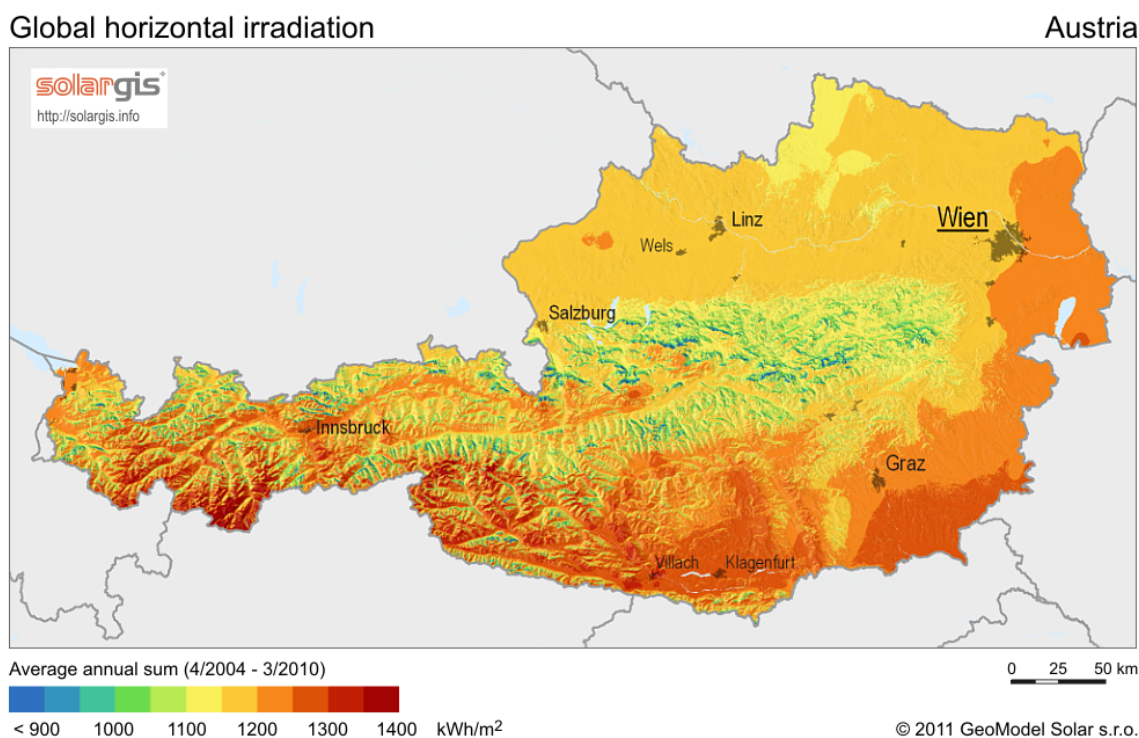


Abbildung 78: Globalstrahlung Österreich (Quelle: GeoModel Solar)

Die Globalstrahlung unterteilt sich in direkte Strahlung und indirekte bzw. diffuse Strahlung. Letztere bezeichnet Solarstrahlung, die z.B. nach einer Brechung, Streuung oder Reflexion auf einen bestimmten Punkt der Erdoberfläche auftrifft. Da die diffuse Strahlung auch mehr als die Hälfte der Globalstrahlung ausmachen kann, erklärt, warum Solarthermieranlagen auch an bewölkten Tagen noch Ertrag bringen können.

Für die Bearbeitung des Projektes INFRAplusGEO wurden die Globalstrahlungsdaten der ZAMG-Messstationen Innsbruck, Wien-Hohe Warte und Graz-Universität angekauft.

Für die weiteren Berechnungen der Energieverfügbarkeit mit Solarkollektoren wurde ein Wirkungsgrad der Solarkollektoren von 80% festgelegt, d.h. 80% der Globalstrahlungsenergie kann z.B. für eine Einspeisung in thermische Speicher im Untergrund zugrunde gelegt werden.

9.6 Wärmebedarfsanalyse

Die Datengrundlagen der Wärmebedarfsanalyse sind Abbildung 79 dargestellt. Die Methodik der orientierenden Berechnung des Wärmebedarfs im Bereich der ÖBB-Objekte ist in den nachfolgenden Kapiteln 9.6.1 bis 9.6.2 dargestellt.



Abbildung 79: Wärmebedarfsanalyse und Wärmebedarfsberechnung

9.6.1 Wärmebedarf - Grundlagen

Die Berechnung des Wärmebedarfes der ÖBB-Gebäude erfolgte auf Basis der Flächenangaben der jeweiligen Raumkategorien und des Wärmebedarfes gemäß Tabelle 12.

Heizwärmebedarf pro m² konditionierter Brutto-Grundfläche kWh/(a*m²) aus AEA-Studie*** / Gebäude mit 3-10 Wohnungen

	Kategorie		1	2	3	4	5	6	7
			Baujahr - Zeitraum						
	ÖBB Datenbankbezeichnungen	Vollbenutzungsstunden*	bis 1919	1919 - 1944	1945 - 1960	1961 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2009
Bestand	Gastronomische Einrichtung	2000	221	198	179	165	81	71	44
	Verkauf/Geschäft	1700	187,85	168,3	152,15	140,25	68,85	60,35	37,4
	Wohnung	2000	221	198	179	165	81	71	44
	Ledigenheim	2000	221	198	179	165	81	71	44
	Naechtigungszimmer InfraBau	1700	187,85	168,3	152,15	140,25	68,85	60,35	37,4
	Sozial Pausenraum	2000	221	198	179	165	81	71	44
	Uebernachtungszimmer Dritte	1700	187,85	168,3	152,15	140,25	68,85	60,35	37,4
	Sanitär-Bad-(Sauna)	2000	221	198	179	165	81	71	44
	Büro	1700	187,85	168,3	152,15	140,25	68,85	60,35	37,4
saniert	Gastronomische Einrichtung	2000	80	79	79	87	49	45	44
	Verkauf/Geschäft	1700	68	67,15	67,15	73,95	41,65	38,25	37,4
	Wohnung	2000	80	79	79	87	49	45	44
	Ledigenheim	2000	80	79	79	87	49	45	44
	Naechtigungszimmer InfraBau	1700	68	67,15	67,15	73,95	41,65	38,25	37,4
	Sozial Pausenraum	2000	80	79	79	87	49	45	44
	Uebernachtungszimmer Dritte	1700	68	67,15	67,15	73,95	41,65	38,25	37,4
	Sanitär-Bad-(Sauna)	2000	80	79	79	87	49	45	44
	Büro	1700	68	67,15	67,15	73,95	41,65	38,25	37,4

* Quelle: Quelle: VDI 2067 Blatt 2 (Dez.93)
 ** Austria Energy Agency: EINE TYPOLOGIE ÖSTERREICHISCHER WOHNUNGSBÄUEN

Tabelle 12: Heizwärmebedarf der verschiedenen Gebäudekategorien bzw. Nutzungstypen

9.6.2 Wärmebedarf - Berechnung und Ergebnisdarstellung

Der Wärmebedarf der Einzelgebäude der ÖBB musste entsprechend den vorliegenden Datensätzen für eine geografische Ergebnisdarstellung auf Basis von Gemeinden aufsummiert werden. Eine Zuordnung des Wärmebedarfs zu den einzelnen Betriebsstellen der ÖBB war nicht möglich. Diese Form der Ergebnisdarstellung gibt zwar einen ausgezeichneten Überblick über den Wärmebedarf der ÖBB in den einzelnen Gemeinden, bringt jedoch auch eine gewisse Unschärfe mit sich.

Abbildung 80 stellt den Wärmebedarf der ÖBB in einer bundesweiten Übersicht dar. Deutlich erkennbar ist der hohe Wärmebedarf in den Ballungszentren und Schienenverkehrsknotenpunkten der ÖBB.

Bezüglich der Datensätze und der Berechnungen des Wärmebedarfes für den Bereich von Wien ist folgendes anzumerken: Hier ist keine Darstellung des Wärmebedarfs auf Basis der einzelnen Gemeindebezirke möglich, da die ÖBB-Ausgangstabellen keine gemeindebezirksspezifischen Daten von Wien beinhalten. Daher sind die damit zusammenhängenden Ergebnisdarstellungen in Wien einheitlich und repräsentieren nur Gesamtwerte für Wien, nicht jedoch

gemeindebezirksspezifische Werte. D.h. für alle Gemeindebezirke von Wien wird in Abbildung 80 jeweils der gesamte Wärmebedarf der ÖBB von Wien dargestellt (dunkelblaue Signatur).

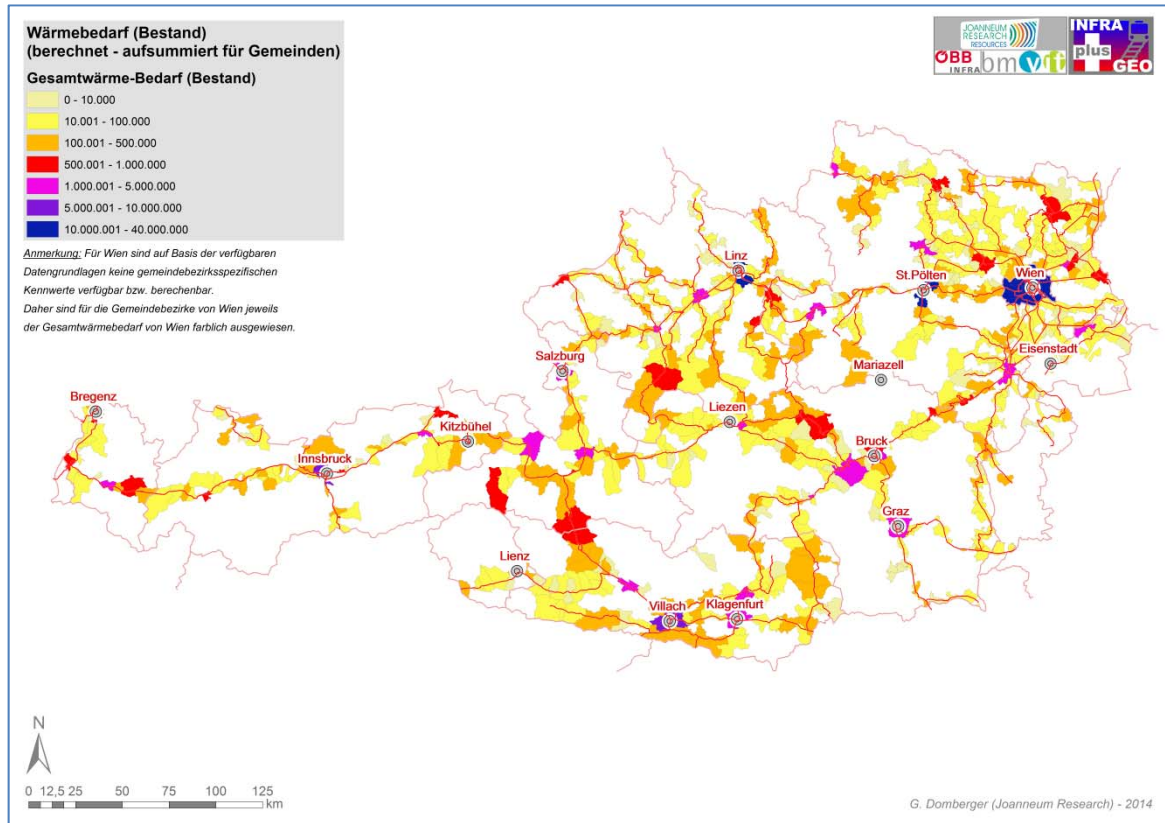


Abbildung 80: Wärmebedarf des Gebäudebestandes – orientierend berechnet und auf Gemeindebasis aufsummiert

9.7 Umsetzungsanalyse

Abbildung 81 fasst die Methodik zur Auswahl günstiger Standorte für die verschiedenen Nutzungsvarianten von Erdwärme im Bereich der ÖBB zusammen. Dabei werden Wärmebedarf und geothermisches Potenzial miteinander kombiniert und mögliche Umsetzungsstandorte nach verschiedenen Kriterien selektiert.

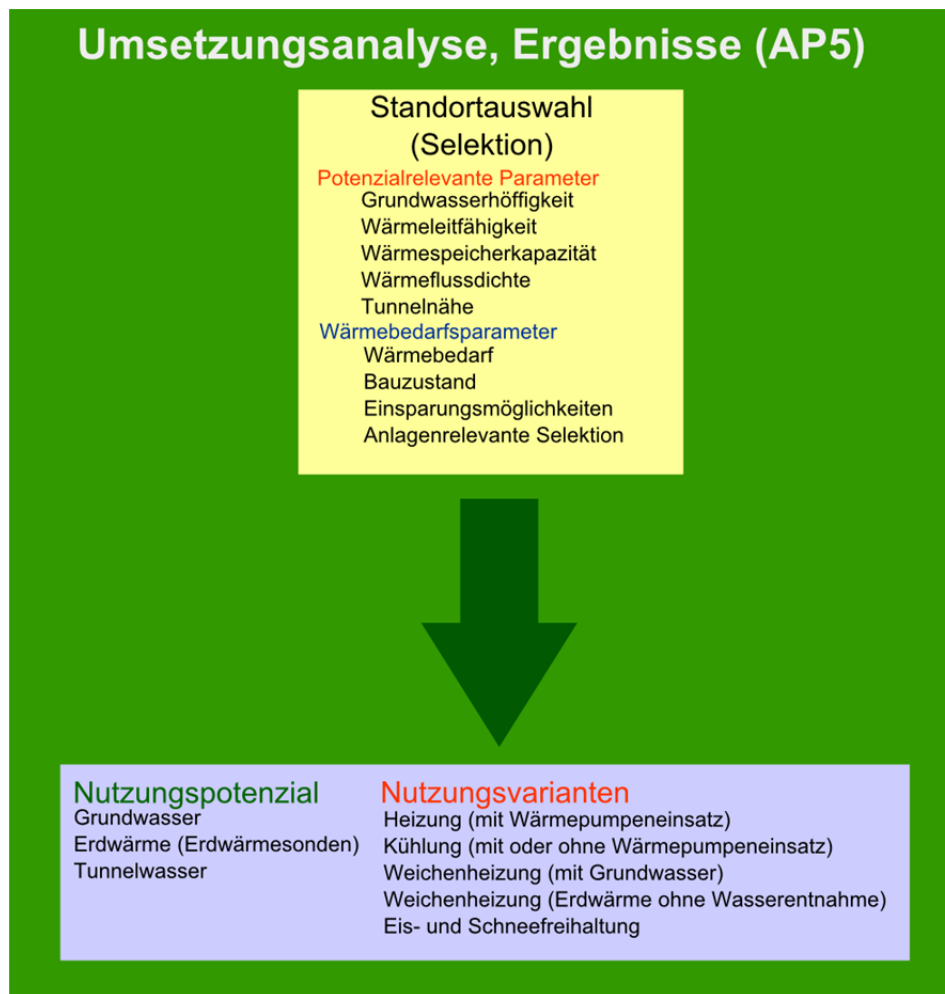


Abbildung 81: Auswahl von geothermisch begünstigten ÖBB-Betriebsstellen

9.7.1 Filtersetzung (Standortselektion)

Die Einflussparameter und Kriterien für die Selektion von ÖBB-Betriebsstellen für die Nutzung von Erdwärme wurden in den nachfolgenden Kapiteln 9.7.1.1 und 9.7.1.2 dargelegt. Auf Basis dieser Kriterien erfolgt in den folgenden Kapiteln eine Selektion günstiger möglicher Umsetzungsstandorte.

9.7.1.1 Standortkriterien für die Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund

Die folgenden Standortkriterien betreffen vor allem Standorte für Errichtung von Erdwärmennutzungen ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund (siehe Kapitel 6.1).

Die Standortauswahl erfolgte auf Basis folgender thermischer Gesteinseigenschaften:

- Hohe Wärmeleitfähigkeit des Gesteins

- Hohe Wärmespeicherkapazität des Gesteins
- Hohe Wärmeflussdichte (qualitative Betrachtung)
- Für die Pilotplanung wurde ein Standort (Aspang) ausgewählt, von welchem zusätzlich ein Energieausweis vorlag.
- Für die Detailanalyse des Standortes wurde weiters analysiert, welche Energieformen die bestehenden Wärmeerzeugungssysteme nutzen und durch den Einsatz von Erdwärme substituiert werden.

9.7.1.2 Standortkriterien für die geothermische Nutzung von Grundwasser

Die folgenden Standortkriterien betreffen vor allem Standorte für Errichtung von Erdwärmennutzungen mit Wasserentnahme aus dem Untergrund (siehe Kapitel 6.2).

Die Standortauswahl für die energetische Nutzung von Grundwasser ist an das Vorhandensein ausreichend großer Grundwassermengen gebunden.

Diese Auswahl erfolgte auf Basis der hydrogeologischen Karte und der geologischen Karte von Österreich (siehe Kapitel 9.4)

Folgende Selektionskriterien wurden definiert:

- Große zu erwartende Grundwasserergiebigkeit
- Für die Pilotplanung wurden ein Standort (Hallein) ausgewählt, von welchem zusätzlich ein Energieausweis vorlag
- Für die Detailanalyse des Standortes wurde zusätzlich analysiert, welche Energieträger die bestehenden Wärmeerzeugungssysteme nutzen und durch den Einsatz von Erdwärme substituiert werden.

9.7.2 Ergebnisdarstellung

Aus den beschriebenen geologisch–hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes sind folgende Standorttypen für die Nutzung von Erdwärme ableitbar:

- Typ A): Standorteignung für die thermische Nutzung von Grundwasser
 - Standortbedingung: Sande und Kiese – locker gelagert an der Oberfläche vorhanden.
 - Anzahl von Standorten (Bahnhöfe, Fahrplanbezugspunkte): **215**
- Typ B): Standorteignung für die thermische Nutzung der Gebirgswärme (ohne Wasserentnahme)
 - Standortbedingung: Thermische Leitfähigkeit $>2 \text{ W/m.K}$
 - Anzahl von Standorten (Bahnhöfe, Fahrplanbezugspunkte): **71**
- Typ C): Thermische Nutzung von Tunnelwasser
 - Standortbedingung:
Nahelage zu Tunnelportalen; Tunnelwassermenge ausreichend;
Tunnelwassertemperatur;
Die Standortanalyse ist nicht für das gesamte Bundesgebiet möglich, da hierzu die Tunnelwassermengen und Tunnelwassertemperaturen nicht für alle ÖBB-Tunnel vorliegen. Detailinformationen liegen nur für einige einzelne ÖBB-Tunnel vor.

Die erforderlichen Eigenschaften von Standorttyp A und Standorttyp B sind unterschiedlich und schließen sich in vielen Fällen wechselseitig aus. D.h. Standorte für die Nutzung von z.B. Erdwärmesonden sind oft ungünstig für die Nutzung von Grundwasser zu bewerten und umgekehrt.

Abbildung 82 fasst die Standorttypen A und B in einer kartografischen Ergebnisdarstellung zusammen.

Die Standorte für Typ C sind nur in Einzelfällen dokumentierbar, da keine bundesweite Datenbank über Mengen und Temperaturen von Tunnelwasser vorliegen (siehe Kapitel 6.2.2).

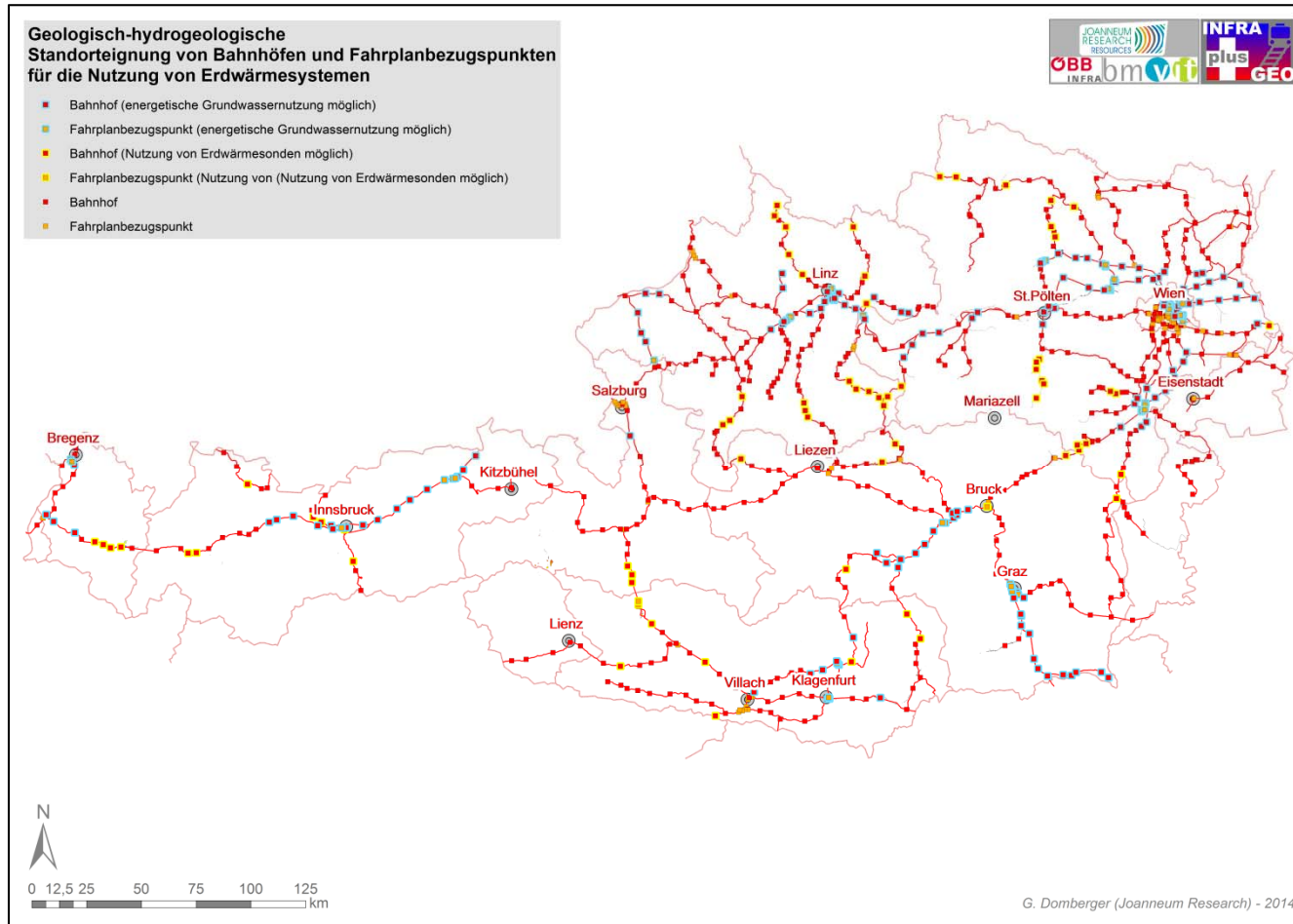


Abbildung 82: Geowissenschaftliche Standorteignung für die Nutzung von Erdwärme



Auf Basis dieser Standortselektion anhand der geowissenschaftlichen Kriterien erfolgte eine weitere Selektion entsprechend dem Wärmebedarf der einzelnen Standorte. Ein wesentliches Kriterium, welches für die Auswahl geeigneter Standorte herangezogen wurde, war die Verfügbarkeit von Energieausweisen für die jeweiligen Standorte.

10 IDENTIFIKATION VON ZIELFÜHRENDEN NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN

10.1 Nutzungsmöglichkeiten

Abbildung 83 fasst die wichtigsten Nutzungsmöglichkeiten und Nutzungstechnologien von Erdwärme im Bereich der ÖBB-Infrastruktur und die zugrundeliegenden Ressourcen grafisch zusammen. Die geografische Darstellung der günstigen Standorte für die Umsetzung dieser Nutzungsarten von Erdwärme erfolgt in Kapitel 10.2.1 und 10.2.2.

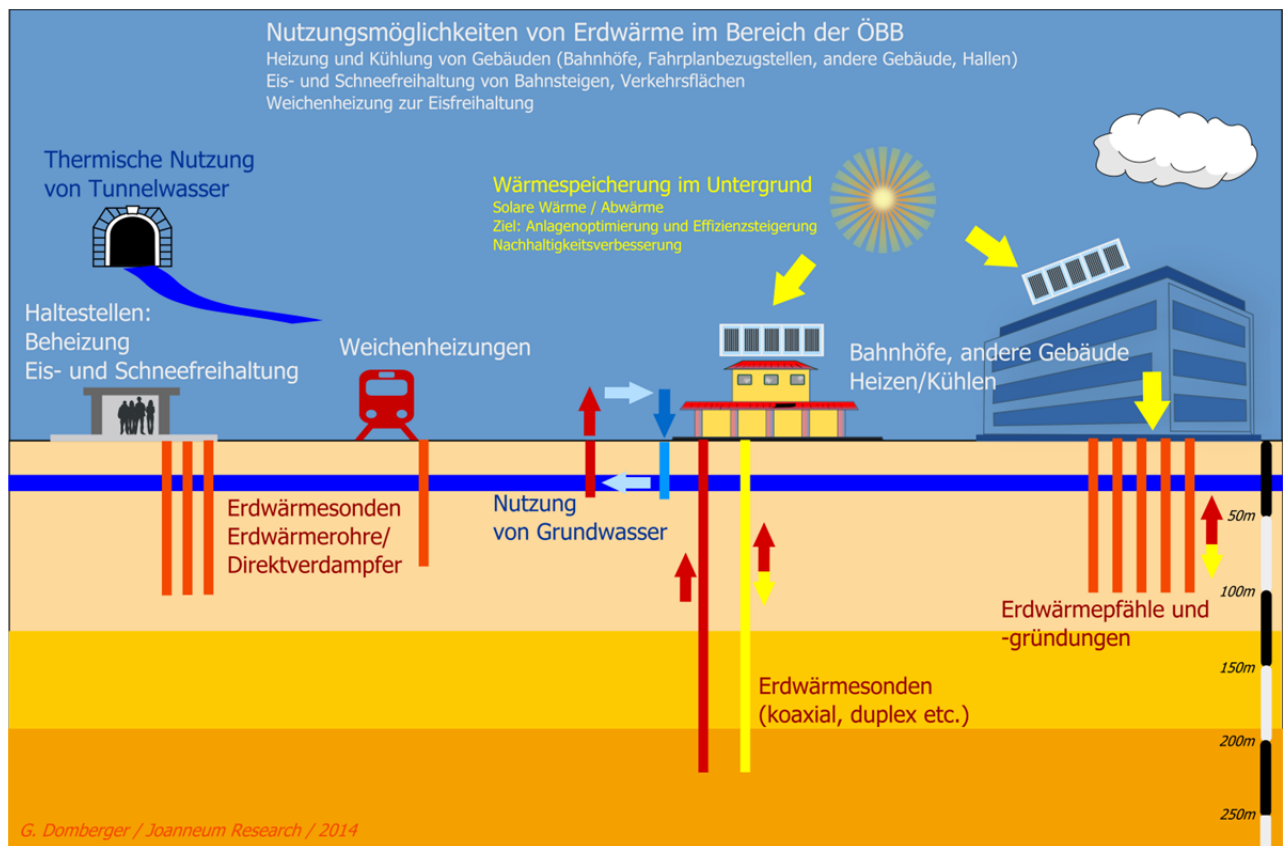


Abbildung 83: Geothermisches Potenzial - Nutzungsmöglichkeiten von geothermischer Energie im Bereich der ÖBB

10.2 Analyse von günstigen Standorten

Auf Basis der dargestellten Methodik ergibt sich eine Auswahl von ÖBB-Betriebsstellen bzw. ÖBB-Standorten, die für die Nutzung von Erdwärme besonders günstige Voraussetzungen aufweisen. Diese werden in den folgenden Kapiteln 10.2.1 und 10.2.2 zusammengefasst dargestellt.

10.2.1 ÖBB-Betriebsstellen mit günstigen Standorteigenschaften für die thermische Grundwassernutzung

Abbildung 84 stellt jene Betriebsstellen dar, die sehr günstige Standorteigenschaften hinsichtlich der thermischen Nutzung von Grundwasser aufweisen, Tabelle 13 fasst die Anzahl der verschiedenen Betriebsstellentypen zusammen. Tabelle 14 gibt einen statistischen Überblick über jene Betriebsstellen der ÖBB, die günstige Standorteigenschaften hinsichtlich der thermischen Nutzung von Grundwasser aufweisen.

Selbstverständlich sind sämtliche Standorte auch tabellarisch auflistbar. Innerhalb dieses Berichtes erfolgt die Darstellung aus Gründen der Übersichtlichkeit aber in Kartendarstellungen.

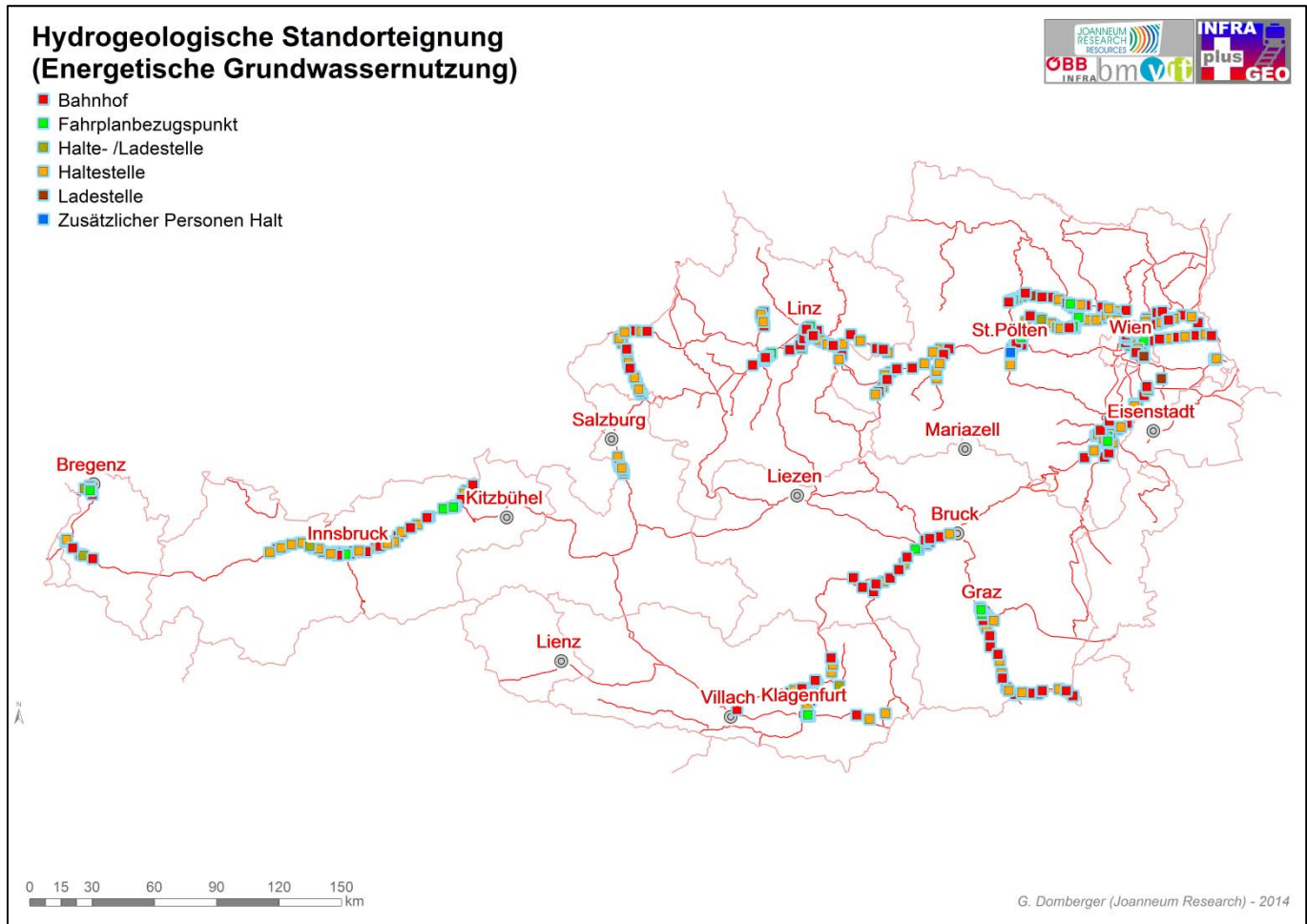


Abbildung 84: Betriebsstellen mit sehr günstigen hydrogeologischen Rahmenbedingungen für eine Nutzung von Grundwasserwärmepumpen

Betriebsstellentyp	Anzahl
Bahnhof	149
Fahrplanbezugspunkt	66
Halte- /Ladestelle	9
Haltestelle	141
Ladestelle	4
Zusätzlicher Personen Halt	14

Tabelle 13: Statistik der Betriebsstellen mit sehr günstigen hydrogeologischen Rahmenbedingungen

Betriebsstellentyp	Anzahl
Bahnhof	277
Fahrplanbezugspunkt	37
Halte- /Ladestelle	15
Haltestelle	223
Ladestelle	12
Zusätzlicher Personen Halt	16

Tabelle 14: Statistik der Betriebsstellen mit günstigen hydrogeologischen Rahmenbedingungen

10.2.2 ÖBB-Betriebsstellen mit günstigen Standorteigenschaften für die Nutzung der Erdwärme ohne Wasserentnahme

Die thermischen Eigenschaften eines Standortes (für eine Erdwärmenutzung ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund) beziehen sich innerhalb des Projektes INFRAplusGEO vorrangig auf die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärmespeicherkapazität des Gesteinsuntergrundes und auf den natürlichen Erdwärmefluss.

Hohe Wärmeleitfähigkeiten und hohe Wärmespeicherkapazitäten begünstigen die energetische Nutzung des Untergrundes mit Erdwärmesondenfeldern, Energiepfählen und anderen Systemen ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund.

Abbildung 85 zeigt die Betriebsstellen der ÖBB, die eine Wärmeleitfähigkeit von mehr als 3 W/mK erwarten lassen und damit günstige Standorteigenschaften für die Errichtung von z.B. Erdwärmesondenanlagen und Erdwärmepfählen aufweisen. Diese Eigenschaften erfüllen 140 ÖBB-Betriebsstellen, die in Form von GIS-Datenbankabfragen auch tabellarisch verfügbar sind.

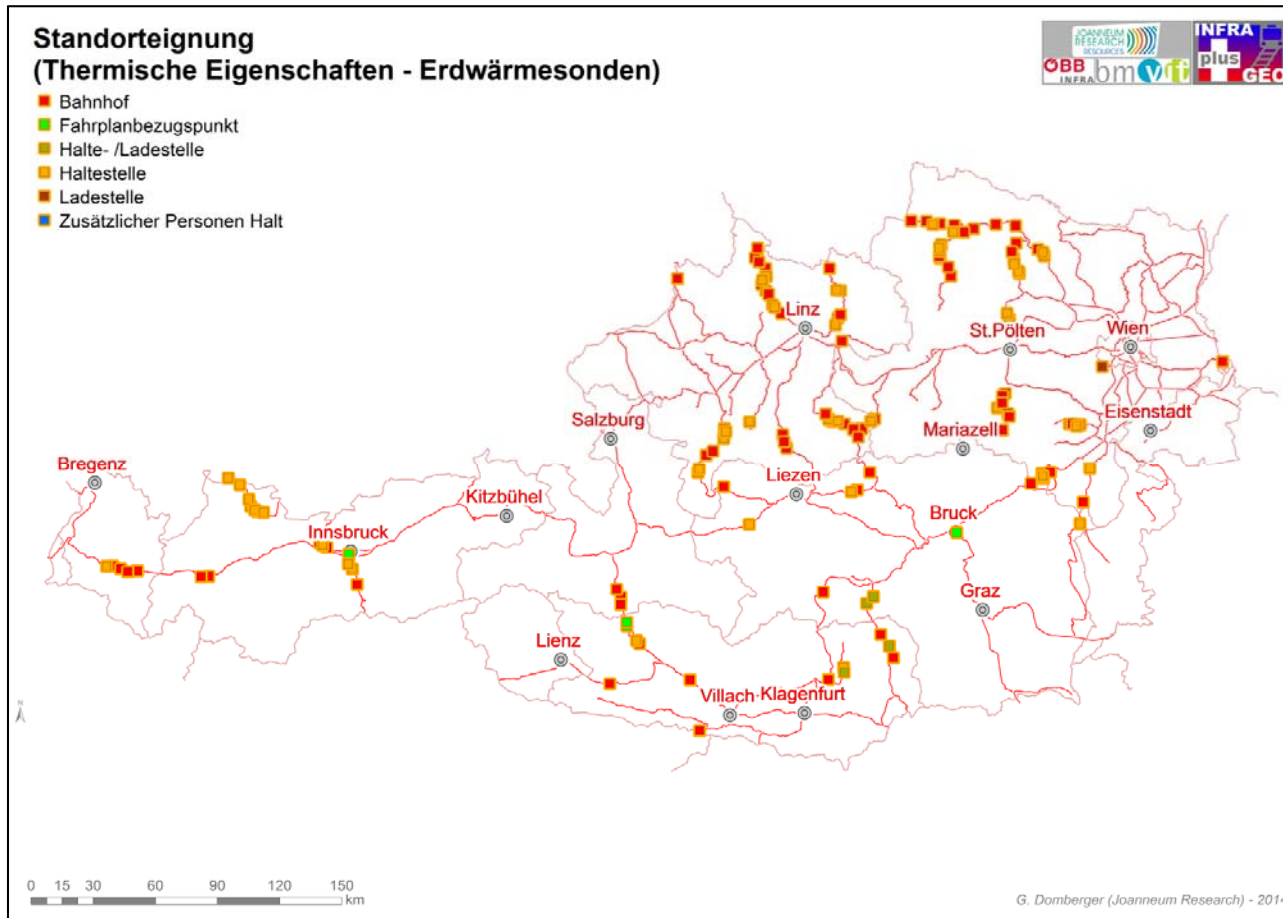


Abbildung 85: Zu erwartende Wärmeleitfähigkeiten >3 W/mK

11 EXEMPLARISCHE PILOTPLANUNGEN

11.1 Einleitung - Pilotplanungen

Im Rahmen der exemplarischen Pilotplanungen wurden drei Betriebsstellen der ÖBB bzw. Bereiche ausgewählt, welche einer eingehenderen Betrachtung und Pilotplanung unterzogen wurden.

Folgende Betriebsstellen bzw. Bereiche wurden ausgewählt:

- Bahnhof Aspang – Nutzung von Erdwärmesonden mit Wärmepumpenunterstützung zur Beheizung von einigen ÖBB-Objekten (Bahnhof und Wohnhäuser)
- Bahnhof Hallein – Nutzung von Grundwasser mit einer Grundwasserwärmepumpe zur Beheizung des Bahnhofsgebäudes mit Restaurant
- Raum Graz – Simulation der Nachhaltigkeitsverbesserung und Anlagenoptimierung eines Erdwärmesondenfeldes mit Speicherung solarer Wärme im Untergrund

Abbildung 86 zeigt eine geografische Übersicht der ausgewählten exemplarischen Pilotplanungsstandorte. Es wird darauf hingewiesen, dass die Pilotplanungen auf Grundlage der verfügbaren Datensätze nur grobe Erstplanungen darstellen.

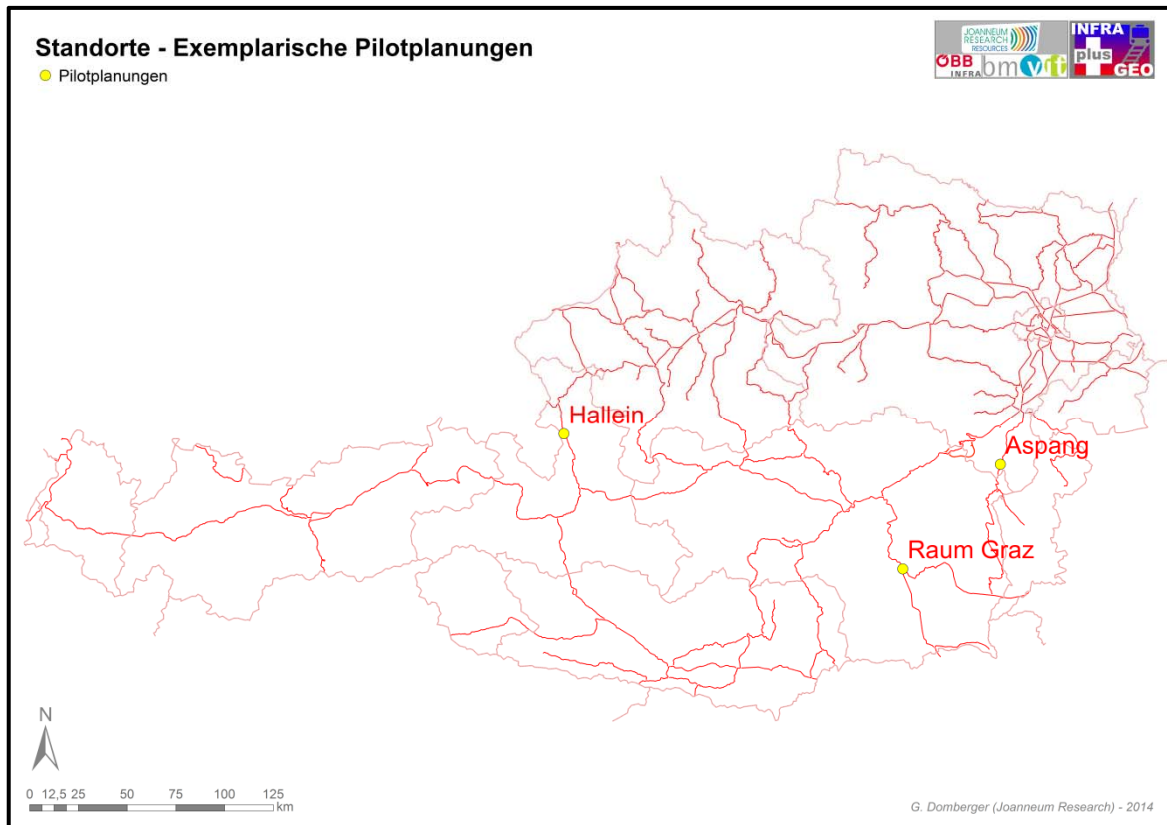


Abbildung 86: Übersichtsdarstellung der Pilotplanungen

11.2 Erforderliche Planungsgrundlagen

Zusätzlich zu den fachlichen Untersuchungen und Planungen sind Erdwärmenutzungen wasserrechtlich anzeige- bzw. bewilligungspflichtig. Behördliche Aussagen darüber, ob eine Anlage zur geothermischen Nutzung des Untergrundes bzw. des Grundwassers den technischen und umweltrechtlichen Anforderungen und wasserwirtschaftlichen Grundsätzen entspricht, sind nur dann möglich, wenn detaillierte Projektunterlagen vorliegen.

Eine wesentliche fachliche Basis des Kapitels 11.2 sind die Ausführungen in „Wasserwirtschaftliche Grundsätze und rechtliche Rahmenbedingungen für die Projektierung und den Betrieb von Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes und des Grundwassers“ in [1].

Erst wenn das vorhandene Wasser- und Energiedargebot auf Grundlage gesicherter und nachvollziehbarer Unterlagen möglichst genau abgeschätzt ist und die geplanten Nutzungen darauf abgestimmt werden können, lassen sich das Ausmaß, in dem der Untergrund bzw.

das Grundwasser langfristig geothermisch genutzt werden kann, ermitteln und mögliche Nutzungskonflikte vermeiden.

Abhängig von Art und Umfang einer geplanten Erdwärmenutzung und dem rechtlichen Hintergrund (Wasserrechtsgesetz (WRG), Mineralrohstoffgesetz (MinroG) oder Umweltverträglichkeitsprüfungs-Gesetz (UVP-G)) kann die Ausarbeitung und Einreichung folgender Planungsunterlagen und Nachweise erforderlich sein.

Gemäß [1] können die erforderlichen Planungsgrundlagen folgendermaßen dargestellt werden.

- Generelle Angaben zur Anlage:
 - Eigentümer
 - Lage der geplanten Anlage mit Bezug zu bestehenden Schutzgebieten, Schongebieten und den wasserwirtschaftlichen Rahmenverfügungen
 - Art und Zweck der Anlage
 - Dauer der Grundwasserbenutzung
 - Grundbuchsgemäße Bezeichnung der beanspruchten Liegenschaften
 - Vor- und Nachteile des Vorhabens
 - Inanspruchnahme fremder Rechte
 - Projektverfasser
- Nachweise hinsichtlich des Energie- und Wasserbedarfs und des sparsamen Umgangs mit Grundwasser
- Darstellung der geologischen, hydrogeologischen, hydrologischen und isotopenhydrologischen Verhältnisse am Standort und im weiteren Umfeld der geplanten Anlage (Hydrogeologisches Modell)

Im Besonderen ist eine Beschreibung folgender geowissenschaftlicher Grundlagen erforderlich:

- Charakteristik der stauenden und leitenden Schichten in hydrogeologischer und lithologischer Hinsicht
- Maßgebende Schichteigenschaften
 - Bodenart

- Art des Locker-/ Festgesteins
 - Eignung als GW-Stauer-/Leiter
 - Eventuelle Angaben zu Lagerungsdichten, Konsistenzen, Verbandsfestigkeiten, Klüftigkeit u.a. spezielle Untergrundeigenschaften
- Grundwasserströmungsrichtung und –gefälle, Grundwasserschichtenpläne
- GW-Flurabstand im Bereich der Kollektoren und Sonden
- Temperatur des Grundwassers (mittlere Jahrestemperatur, Jahresmaxima und –minima),
- Angaben über bestehende Grundwasser-Stockwerke und der herrschenden Druckverhältnisse (frei, gespannt, artesisch) und deren möglicher hydraulischer Zusammenhänge
- Chemisch-physikalische, bakteriologische und biotische Beschaffenheit des Grundwassers
- Menge und Temperatur des entnommenen und rückgeleiteten Grundwassers
- Bereiche der durch die Entnahme und Rückleitung bedingten hydraulischen und thermischen Beeinflussung des Grundwassers (Brunneneinzugsgebiete, Abströmbereiche, Ausbreitung der Wärmefahne)
- Technische Beschreibung des gewählten Bohrverfahrens
 - Einrichtung des Bohrplatzes
 - Spülmittelzusätze - Nachweis der Gewässerträglichkeit
 - Aufbereitung und Entsorgung der Bohrspülung
 - Verwendete Bau- und Hilfsstoffe
 - Darstellung geplanter Säuerungs- oder sonstige Ertüchtigungsmaßnahmen
- Mess- und Untersuchungsprogramme
 - Geophysikalische Bohrlochuntersuchungen
 - Chemisch-physikalische und isopenhydrologische Untersuchungen des Grundwassers
 - Dokumentation und Auswertung

- Technische Beschreibung der Entnahme- und Rückgabebohrung
 - Lage
 - Endteufe
 - Bohrlochausbau (Durchmesser, Verrohrung, Verfilterung, Ringraumverpressung)
- Beschreibung der wasserwirtschaftlichen Versuche (Pumpversuch)
 - Entnahmemengen und -dauer, Entnahmestufen
 - Messprogramm (Anzahl der Messstellen, Intervalle, Parameter)
 - Dokumentation und Auswertung
 - Ableitung des geförderten Wassers
- Technische Beschreibung der Anlage zur Gewinnung geothermischer Energie
 - Hersteller
 - Fabrikat
 - Leistungsdaten
 - Art und Menge eingesetzte Betriebs- und Arbeitsmittel
 - Technische Ausrüstung und Sicherheitseinrichtungen
 - Betriebsweise
 - Geplante Temperaturspreizung
 - Entgasung
- Beschreibung der Einrichtungen zur Überwachung und Registrierung des ordnungsgemäßen Betriebes der Anlage, des Temperatur- und Druckverlaufes, sowie der Menge des entnommenen und des wieder in den Untergrund rückgeleiteten Grundwassers
- Dokumentation des Betriebes der Brunnen und der Anlage Führen eines Betriebsbuches, Erstellen von Bewirtschaftungsberichten, Betriebsordnung
- Erforderliche Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers
- Pläne: Übersichtslageplan, Lagepläne, Detaillagepläne, Schnittzeichnungen

11.3 Monitoring

Die Einrichtung und der Betrieb eines umfassenden Monitoring-Systems ist eine wesentliche Grundlage für die Analyse und die Gewährleistung der Nachhaltigkeit einer Betriebsweise, sowie Basis für die Regelung einer Erdwärmeanlage.

Geothermische Nutzungen, die ausschließlich entweder im Heizbetrieb oder Kühlbetrieb arbeiten, beinhalten nur eingeschränkte Beeinflussungsmöglichkeiten, was den thermischen Haushalt des Untergrundes betrifft.

Geothermische Systeme, die im kombinierten Heiz- und Kühlbetrieb arbeiten (z.B. Erdwärmesonden mit Wärmespeicherung), bieten vermehrte Möglichkeiten der Beeinflussung einer nachhaltigen und optimierten Betriebsweise indem Wärme auch im Untergrund gespeichert wird. Mit dieser kombinierten Betriebsweise ist ein erhöhter Monitoringbedarf verbunden, der auch die Grundlage für einen optimalen Anlagenbetrieb ist.

Tabelle 15 gibt einen Überblick über zielführende Monitoringparameter in Abhängigkeit von den verschiedenen Nutzungsvarianten.

Erforderliche Datenerfassung für Energie- und Betriebsmonitoring eines Erdwärmesystems		Elektroenergie	Wärme-/Kälteenergie	Volumenströme	Temperaturen	Ventil- und Klappenstellungen	Betriebsfreigaben/-zustände	Betriebsstunden*)
Erdreich	Erdreich/Grundwasser				X**)			
	Erdwärme-/kältekreis		X	X	VL/RL			
	Umwälzpumpen Primärkreis	X					X	X
Energie-erzeugung	Freier Kühlbetrieb		X***)	X	VL/RL			
	Primärseite WP/KM		X	X	VL/RL			
	Wärmepumpe/ Kaltmaschine	X					X	X
	Sekundärseite WP/KM		X	X	VL/RL			
	Umwälzpumpen Sekundärkreis	X					X	
	Einspeisung weiterer thermischer Erzeuger		X		VL/RL			
	Regel-/Umschaltventile und Klappen					X		
Verteilung	Übergabesysteme		X	X	VL/RL			
	Regel-/Umschaltventile und Klappen					X		
Gebäude	andere Heiz-/Kühlsysteme mit indirektem Einfluss auf Erdwärmesystem		X					
	Referenzräume				X			
Randbedingungen	Heiz-/Kühlbetrieb Erdwärme						X	
	Außentemperatur				X			
	falls vorhanden Außentemperaturmittelwert				X			
Erläuterungen	Daten aus Wärme- bzw. Kaltemengenzählern, möglichst auf die Gebäudeleittechnik aufschalten *) falls vorhanden, manuelle Ablesung ausreichend **) in einigen Fällen Voraussetzung für die wasserbehördliche Genehmigung ***) möglicherweise identisch mit Erdwärme-/kältekreis							

Tabelle 15: Empfohlenes Monitoring bei verschiedenen Nutzungstechnologien (aus 15)

11.4 Pilotplanung 1 – Simulation von Wärmespeicherung im Untergrund mit Erdwärmesonden - Exemplarischer Standort Raum Graz

11.4.1 Ausgangslage, Grundlage

Für eine Pilotplanung von ÖBB-Standorten, welche mit einer Anlage zur Nutzung von Erdwärme mit Wärmespeicherung im Untergrund ausgestattet werden könnten, wurde als Beispielstandort der Bereich Graz ausgewählt. Die Standortauswahl erfolgte auf Basis der guten Kenntnis des Untergrundes im Bereich von Graz aufgrund zahlreicher früherer Projekte im Raum Graz. Da die Standorteigenschaften für die Nutzung von Erdwärmesonden im Bereich von Graz mit vielen Bereichen in den Sedimentbecken Österreichs vergleichbar sind, sind auch die gewonnenen prinzipiellen Erkenntnisse weitgehend auf diese Bereiche übertragbar.

Die Nutzung von Erdwärme mittels Erdwärmesonden wird maßgeblich durch die thermischen Standorteigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmespeicherkapazität) bestimmt. In Abbildung 76 ist der natürliche Erdwärmefluss dargestellt, welcher in Österreich zwischen etwa 50 und 100 mW/m² liegt. Diese geringen Wärmeflusswerte führen in vielen Fällen zu einer langfristigen Abkühlung des Untergrundes, wenn dieser ausschließlich für den Heizbetrieb geothermisch genutzt wird. Abbildung 87 stellt dazu die prinzipiellen Komponenten des Wärmehaushalts dar.

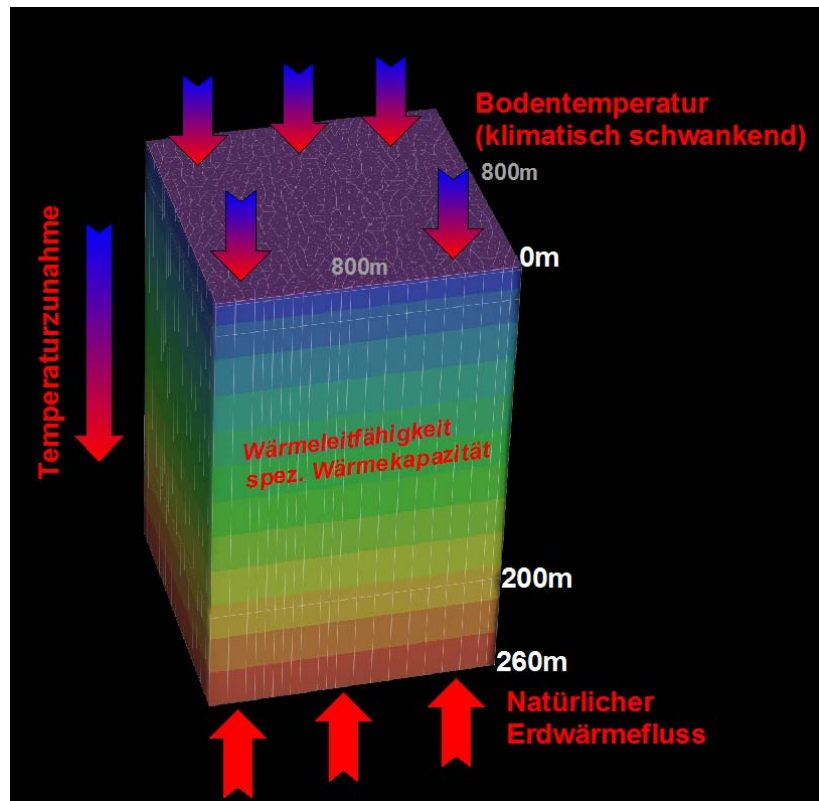


Abbildung 87: Erdwärmesonden – Prinzipbild Wärmebilanz

Die Abkühlung des Untergrundes erfolgt zwar über sehr lange Zeiträume und verlangsamt sich mit der Zeit zusätzlich, kann jedoch Temperaturdifferenzen zum Ausgangszustand erreichen, die einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb letztendlich in Frage stellen können (siehe dazu Abbildung 91).

Innerhalb der Pilotplanung 1 erfolgen die Analyse dieser beschriebenen Abkühlung und des langfristigen Wärmehaushaltes eines Erdwärmesondenfeldes. Weiters wurde die Wirkung der Speicherung von solarer Wärme im Untergrund auf den Wärmehaushalt und die Nachhaltigkeit simuliert.

11.4.2 Methodik

Für komplizierte Bemessungsfälle (z.B. große Erdwärmesondenfelder, saisonale Speicherung von Wärme im Erdreich) ist eine analytische Lösung und Berechnung der thermischen Prozesse im Untergrund nicht möglich. In diesen Fällen kann eine Beurteilung der thermischen Prozesse (Abkühlung bzw. Erwärmung des Untergrundes) nur auf Basis eines numerischen Modells bzw. einer numerischen Simulation erfolgen. Innerhalb des Projektes INFRAplusGEO erfolgte dies mit Hilfe eines dreidimensionalen, instationären Wärmehaushaltsmodells. Damit können zeitliche Abläufe der Temperaturentwicklung in allen Punkten des Modellraumes (siehe Abbildung 87) über die gesamte Nutzungsdauer (in Pilotplanung 1 ist die Nutzungsdauer mit 30 Jahre angenommen) berechnet und dargestellt werden.

Die verwendete Software ist das Programm-Paket FEFLOW der Firma Wasy (siehe Abbildung 88 und Abbildung 89).

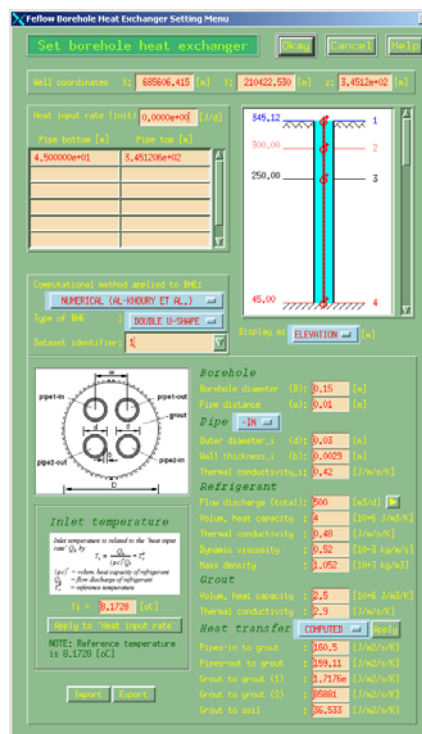


Abbildung 88: Software-Oberfläche des EWS-Moduls des Simulationsprogrammes FEFLOW

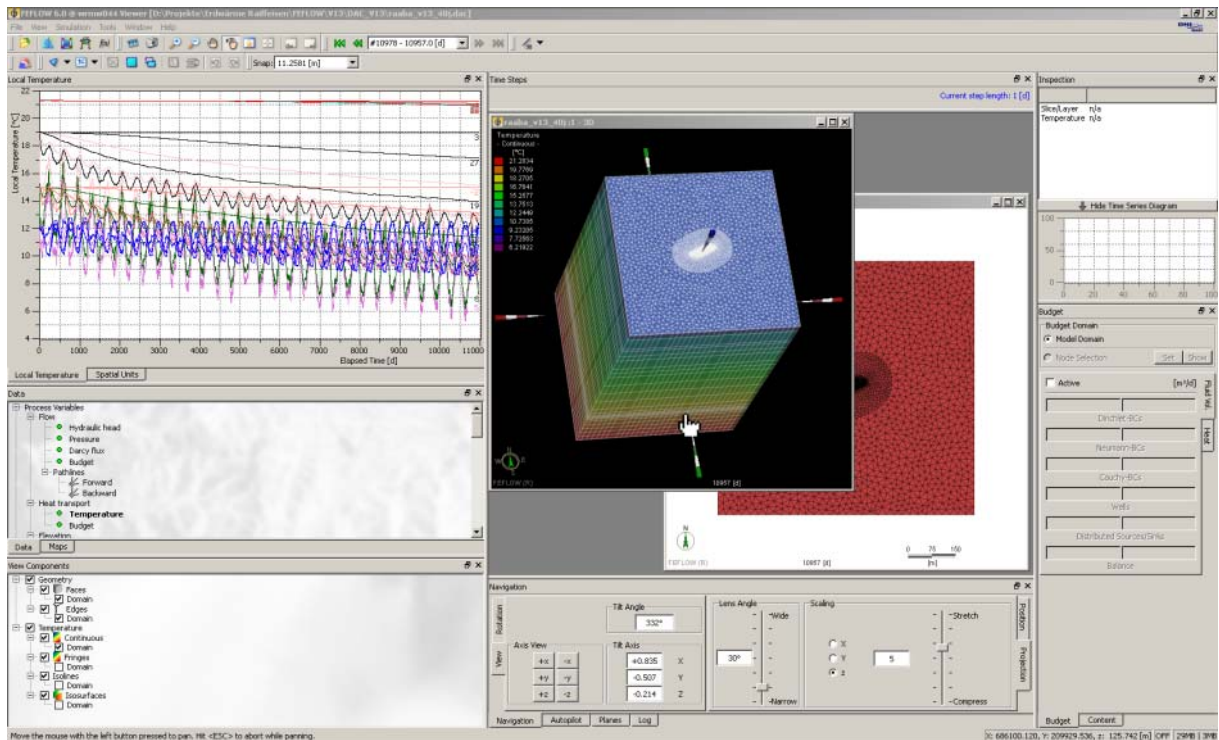


Abbildung 89: Bildschirmaufbau und Ergebnisdarstellung der verwendeten Software FEFLOW

Die Themen und Fragestellungen, die sich mit der Berechnung eines numerischen Modells bearbeiten lassen, sind z.B.:

- Betriebsoptimierung und Effizienzsteigerung von Erdwärmesondenfeldern
- Prognose der Nachhaltigkeit einer geplanten Nutzung
- Prognose der thermische Wirkungen auf die Umgebung und die Umwelt
- Wirkung von Wärmespeicherung und Wärmeentnahme

11.4.3 Anlagenannahme, Modellbeschreibung

Die Pilotplanung 1 geht von Untergrundbedingungen aus wie sie beispielsweise im Raum Graz (z.B. Hauptbahnhof Graz) auftreten. Die Pilotplanung 1 befasst sich mit einem Erdwärmesondenfeld mit 20 Stück je 200m tiefen Erdwärmesonden. Die geplante Gesamtheizleistung des Erdwärmesondenfeldes beträgt 100 kW.

Die Simulation des Wärmehaushalts erfolgt mit Hilfe einer 3D-Wärmehaushaltssimulation.

In der Pilotplanung werden die Erdwärmesonden in einer langgestreckten, rasterartigen Anordnung niedergebracht und anschließend in Sammelleitungen zusammengefasst und zu einer Heizanlage geführt. Die Erdwärmesonden könnten beispielsweise im Bereich eines Bahnsteiges oder anderen Freiflächen (Bahnhofsvorplatz, Freiflächen im Bahnhofsgelände) errichtet werden.

Die angenommene Bauform der Erdwärmesonden ist die Konstruktionsform Doppel-U (siehe Abbildung 90). Die Bauform ist eine wichtige Rahmenbedingung für die Leistungsfähigkeit einer Erdwärmesonde.

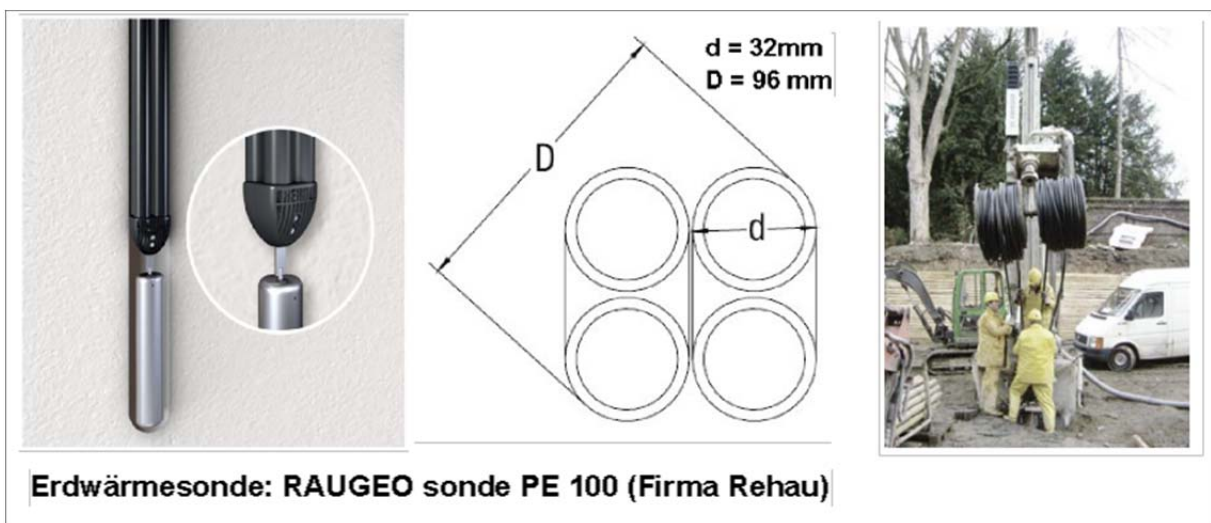


Abbildung 90: REHAU – Erdwärmesonde RAUGEO Sonde PE100 (Dimensionen, Verlegung, Einbau)

Es wird davon ausgegangen, dass eher heterogene geologisch-hydrogeologische Rahmenbedingungen herrschen, was sowohl den Aufbau der quartären Lockersedimente als auch das Relief und den Aufbau der liegenden Neogenschichten betrifft. Die Neogenschichten sind vorrangig von Fein- und Feinstdimenten geprägt und stellen einen Großteil des Schichtaufbaues dar.

11.4.4 Simulationsergebnisse

11.4.4.1 Simulation des Erdwärmesondenfeldes ohne Wärmespeicherung

Die Simulationsergebnisse werden in Form von Zeitreihen von Temperaturen des Untergrundes und 3D-Darstellungen dokumentiert. Für die Analyse des Wärmehaushalts

werden die Temperaturen in einer Entfernung von 1 m von einer der zentral gelegenen Erdwärmesonden in verschiedenen Tiefen herangezogen und verglichen.

Tabelle 16 listet die Beobachtung- bzw. Interpretationspunkte in einer Distanz von 1m von einer zentralen Erdwärmesonde des EWS-Feldes auf. Abbildung 91 stellt die zugehörigen Temperaturentwicklungen in einer Tiefe von 12 m, 100 m, 200 m und 260 m dar.

In der Tiefe von 260 m (Linie grün = Beobachtungspunkt 12) ist über die simulierte Nutzungsdauer von 30 Jahren ein leichter, gleichmäßiger Temperaturrückgang um wenige zehntel Grad erkennbar. Dieser Verlauf zeigt, dass eine geringfügige Abkühlung durch die Nutzung der EWS bis an den unteren Modellrand bei 260 m reicht. Da die Erdwärmesonden eine Tiefe von nur 200 m aufweisen, sind kurzfristige Temperaturschwankungen bei 260 m Tiefe nicht mehr erkennbar.

In 12 m, 100 m und 200 m Tiefe sind deutliche jahreszeitliche Temperaturschwankungen erkennbar. Die Temperaturschwankungen sind in 100 m Tiefe am meisten ausgeprägt, was sich in der größten Amplitude in dieser Tiefe zeigt.

Die Beobachtungspunkte 9,10,11 zeigen deutliche langfristige Temperaturrückgänge um einige °C. Diese Temperaturabnahme ist ein Maß für die Abkühlung des Untergrundes durch die geothermische Nutzung.

Beobachtungspunkt	Distanz von EWS	Tiefe
9	1m	12
10	1m	100
11	1m	200
12	1m	260

Tabelle 16: Beobachtungspunkte unmittelbar im Bereich einer Erdwärmesonde in unterschiedlichen Tiefen

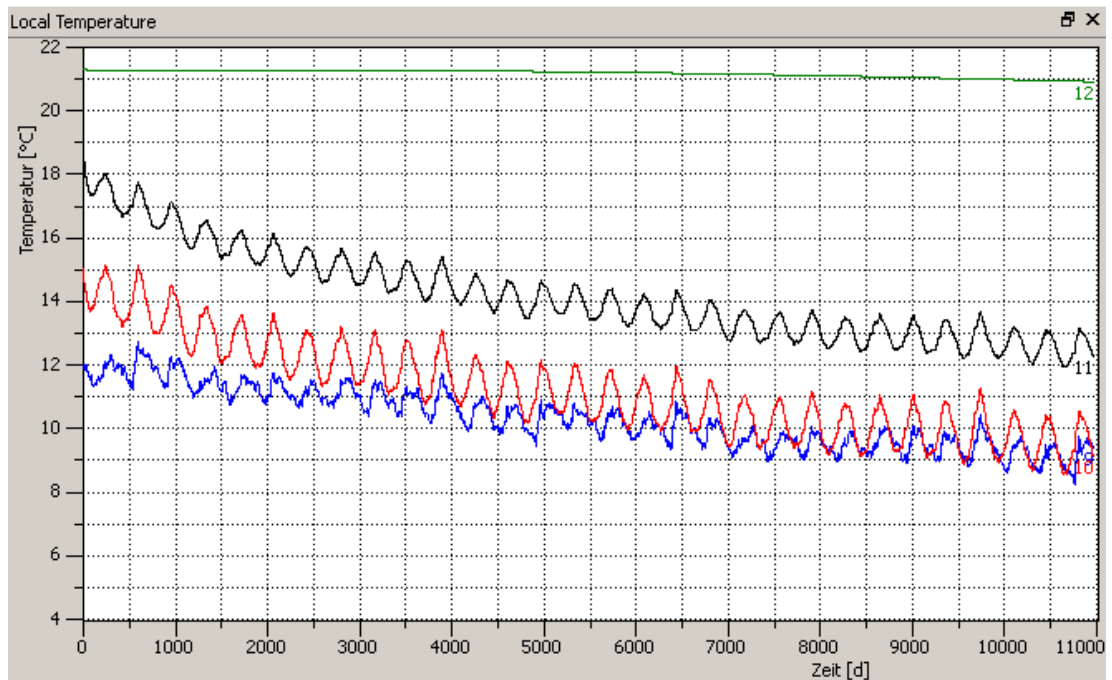


Abbildung 91: Temperaturentwicklung in unterschiedlichen Tiefen in einer Entfernung von 1m zu einer Erdwärmesonde

Abbildung 92 stellt die Ergebnisse dieser Simulationsvariante in einer 3D-Darstellung der Temperaturverteilung dar. Die linke Abbildung stellt die Temperaturverteilung nach einem Nutzungsjahr, die rechte Abbildung nach 30 Nutzungsjahren dar.

Deutlich erkennbar ist die Abkühlung des Untergrundes im Bereich des Erdwärmesondenfeldes.

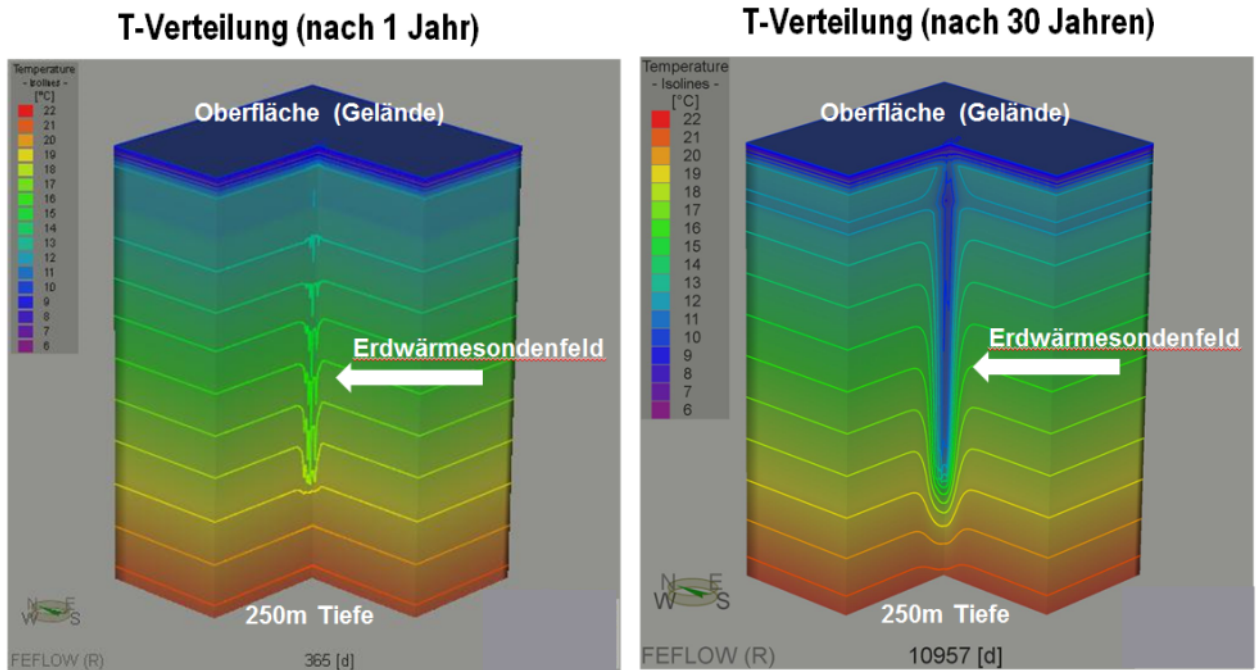


Abbildung 92: 3D-Temperaturverteilung im Untergrund – Vergleich

11.4.4.2 Simulation des Erdwärmesondenfeldes mit Wärmespeicherung

Ziel der Pilotplanung 1 ist die Simulation des Wärmehaushalts unter dem Szenario der saisonalen Einspeisung (Speicherung) solarer Wärme in den Untergrund. Zur Wärmeeinspeisung in den Untergrund wird eine Anlage aus Solarkollektoren angenommen, welche mit den Erdwärmesonden verbunden wird.

Folgende Annahmen wurden für die Solaranlage getroffen:

Kollektorfläche [m ² /Kollektor]	5
Anzahl-Kollektoren [-]	100
Wirkungsgrad [%]	80%
Gesamtkollektorfläche [m ²]	500
Anzahl-Erdwärmessonden [-]	20

Tabelle 17: Solarthermische Anlage – Annahmen für Simulation

In Kapitel 9.5 sind die Grundlagen für das Nutzungspotenzial der solaren Wärme dargestellt.

In Abbildung 93 sind die Simulationsergebnisse der Erdwärmesondennutzung mit Speicherung solarer Wärme im Untergrund dargestellt.

Es kommt ab dem Betriebsbeginn der Anlage zu einer sukzessiven Erwärmung des Untergrundes, welche nach 10 Jahren schon sehr deutlich erkennbar ist und am Ende des Simulationszeitraumes das Maximum erreicht.

Abbildung 94 zeigt Temperaturzeitreihen der schon in Kapitel 11.4.4.1 verwendeten Beobachtungspunkte im Modellraum.

Es zeigt sich eine deutliche, langfristige Erwärmung in den Beobachtungspunkten 9,10 und 11.

Daraus geht hervor, dass mit dem simulierten Szenario mehr Wärme in den Untergrund gespeichert wird als diesem mit den 20 Erdwärmesonden entnommen wird.

Dies zeigt sich auch in den Zeitreihen in Abbildung 95, in welcher die Entnahmetemperatur und die Rücklaufemperatur einer Erdwärmesonde des EWS-Feldes dargestellt sind. Die Fläche zwischen den beiden Ganglinien ist ein Maß für die entnommene bzw. eingespeicherte solare Wärme. Es zeigt sich auch hier, dass die eingespeicherte Wärmemenge deutlich größer als die entnommene Wärmemenge ist, was letztendlich die Erwärmung des Untergrundes bedingt.

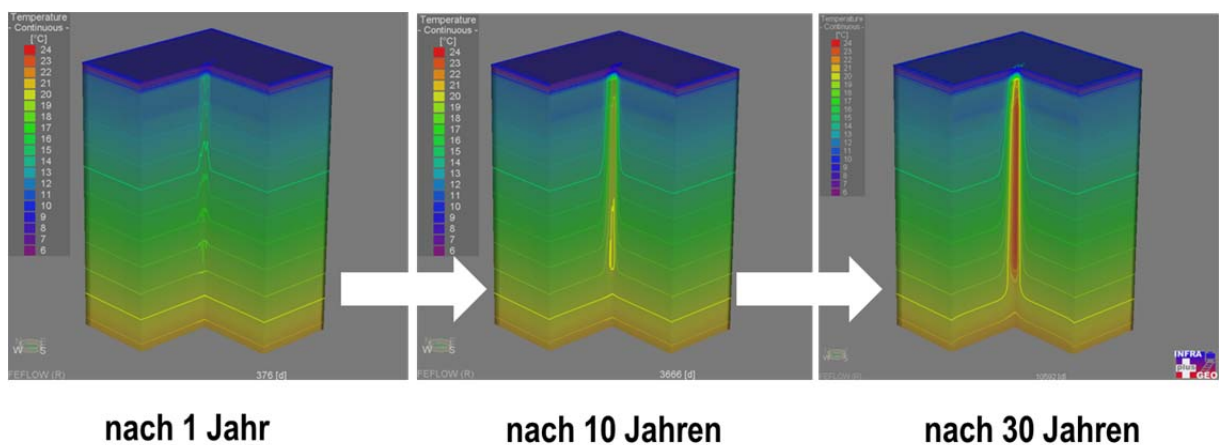


Abbildung 93: 3D-Temperaturverteilung nach 1 Jahr, 10 Jahren und 30 Jahren

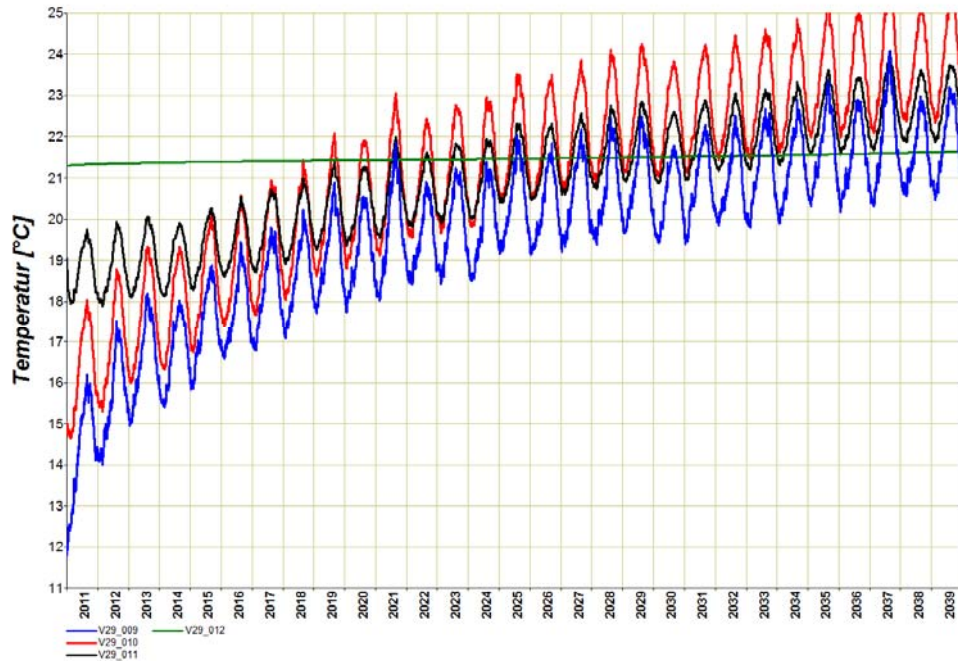


Abbildung 94: Temperaturentwicklung in einer Entfernung von 1m zu einer Erdwärmesonde in unterschiedlichen Tiefen (mit Aufladung durch solare Wärme)

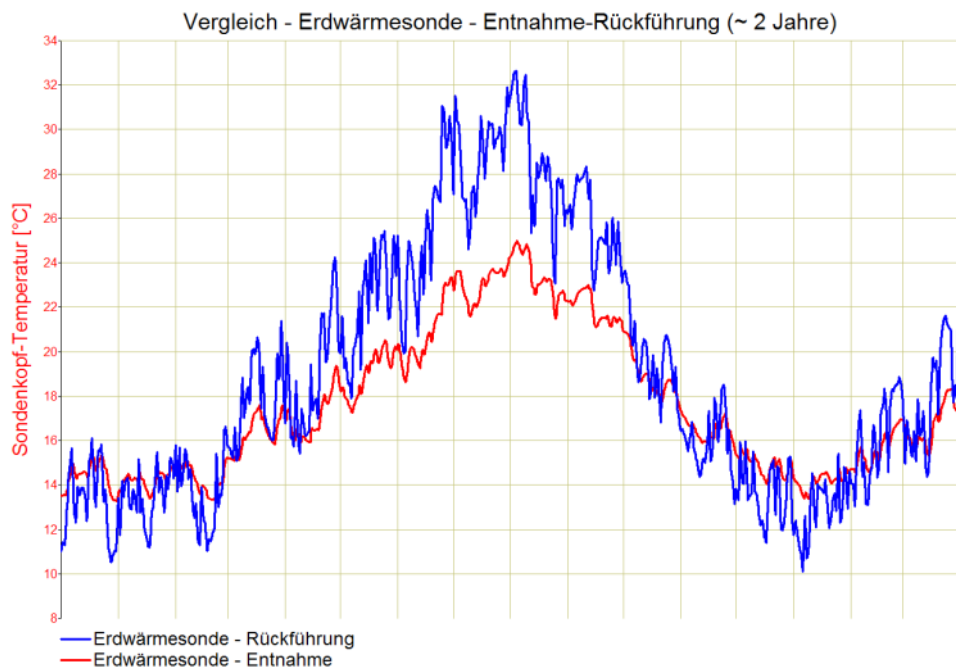


Abbildung 95: Vergleich - Entnahmetemperatur und Rückführungstemperatur einer Erdwärmesonde

11.4.4.3 Vergleich der Ergebnisse der beiden Simulationsszenarien

Zusammenfassend ist in Abbildung 96 der Vergleich der Ergebnisse der beiden Simulationsvarianten dargestellt. Beide Darstellungen beziehen sich auf das Ende der Simulationszeit (nach 30 Jahren Nutzung).

Ohne Einspeicherung solarer Wärme kommt es zu einer langfristigen Abkühlung des Untergrundes. Mit der Einspeicherung solarer Wärme in den Untergrund gemäß Anlagenkonfiguration in Tabelle 17 kommt es zu einer deutlichen Erwärmung des Untergrundes über die gesamte Nutzungsdauer.

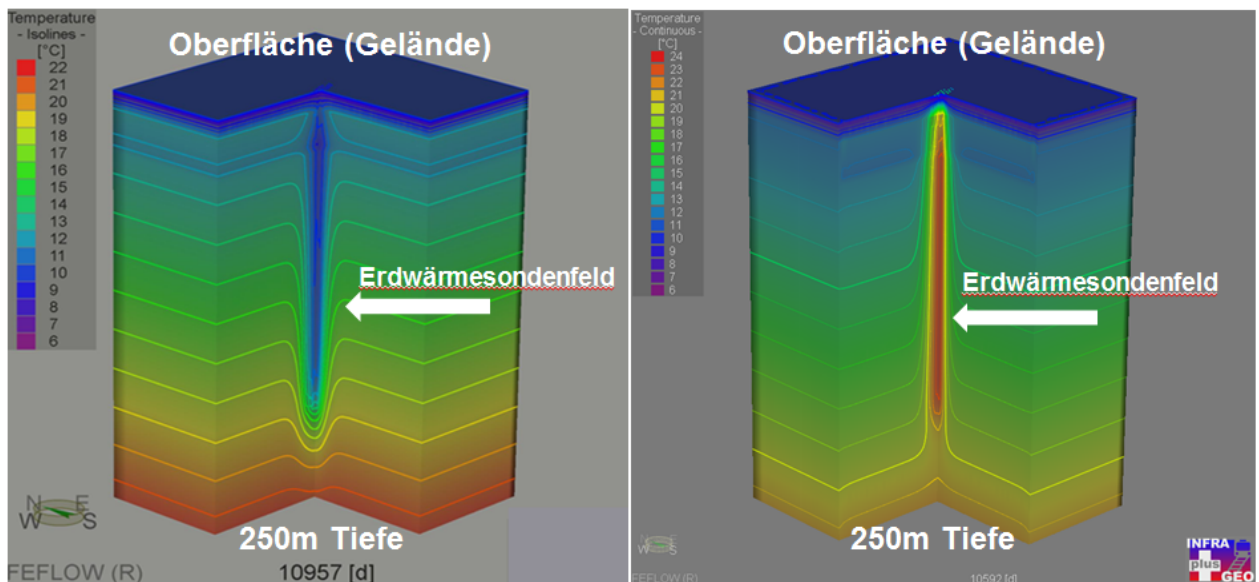


Abbildung 96: Vergleich Erdwärmesondennutzung ohne und mit solarthermischer Energiespeicherung

Für die Umsetzung eines vergleichbaren Projektes ergeben sich aus diesen Simulationsvarianten folgende Informationen:

- Der langfristige Abkühlungseffekt kann durch die Speicherung solarer Wärme kompensiert werden.
- Die Fläche der Solarkollektoren kann im Pilotplanungsbeispiel kleiner dimensioniert werden als angenommen.
- Bei der Anlagenkonstellation der Pilotplanung 1 kommt es zu einer deutlichen Erwärmung des Untergrundes über die Nutzungszeit.

- Für eine Anlagenoptimierung ist der Einsatz der Finiten-Elemente-Simulation ein ausgezeichnetes Werkzeug.
- Es ist zu beachten, dass die Durchführung einer Simulationsrechnung ohne eine Kalibrierungsphase (Vergleich der Simulationsergebnisse mit realen Messdaten) große Interpretationsspielräume ergibt.
- Es ist anzustreben, dass die Simulationsrechnungen mit Hilfe von Temperaturmesswerten aus einem Anlagenmonitoring kalibriert und verifiziert werden.

11.5 Pilotplanung 2 – Bahnhof Aspang-Markt

11.5.1 Geologisch-hydrogeologische Rahmenbedingungen

Am Standort Aspang liegen Gesteine des Grobgneiskomplexes vor. Grobgneis und Glimmerschiefer dominieren das geologische Umfeld (siehe Abbildung 98).

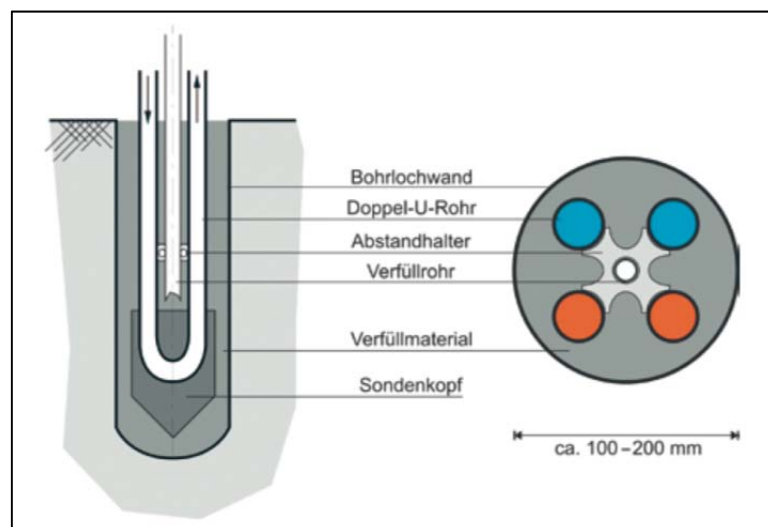


Abbildung 97: Prinzip der Erdwärmesonde [15]

Damit bestehen an dem Beispielstandort Aspang für die Nutzung von Erdwärmesonden (siehe Abbildung 97) günstige thermische Untergrundeigenschaften mit guten Wärmeleitfähigkeiten und Wärmespeicherfähigkeiten.

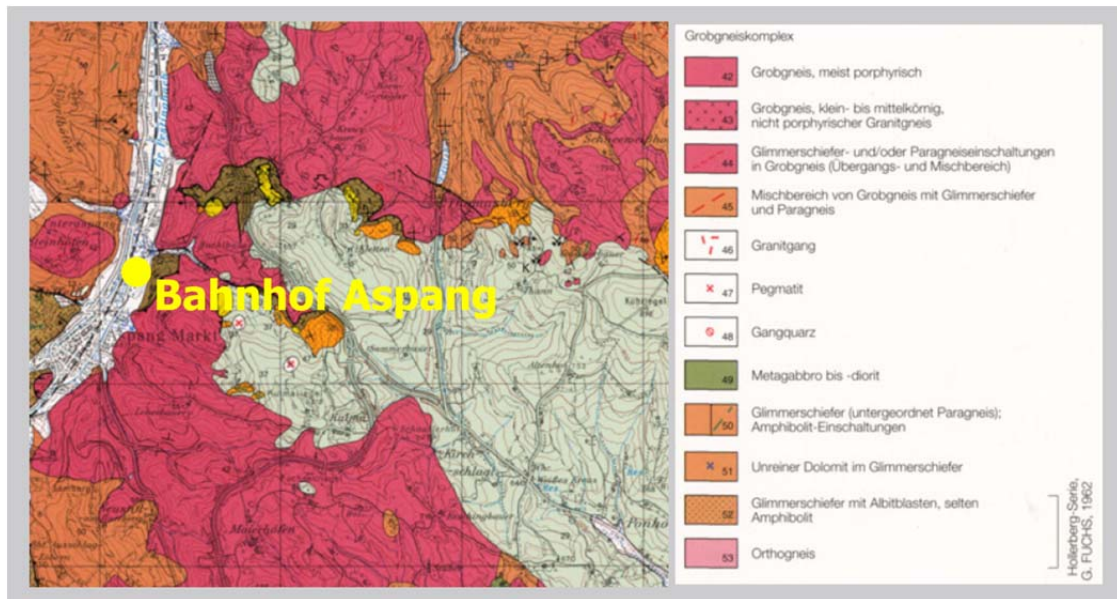


Abbildung 98: Geologische Rahmenbedingungen – Standort Aspang (Quelle: GBA-online)

11.5.2 Anlagenbeschreibung

Der Bahnhof Aspang Markt (siehe Abbildung 99) wurde als Beispielprojekt für die Versorgung mit einer Erdwärmesondenanlage ausgewählt da der Standort eine sehr gute geologische Eignung für die geothermische Nutzung von Erdwärmesonden aufweist. In diesem Beispielprojekt wurden 3 Wohngebäude sowie das Aufnahmegebäude des Bahnhofs in den Berechnungen berücksichtigt. Für die Mehrfamilienhäuser in der Bahnstraße 38, 40 und 42 mit einer Bezugs-Grundfläche von insgesamt ca. 1495 m² stehen Energieausweise zur Verfügung, die einen Heizwärmebedarf von insgesamt 309.049 kWh/a ausweisen. Für das Büro und die Sozialräume stehen das Baujahr, die Nutzungsarten sowie die Flächen zur jeweiligen Nutzungsart zur Verfügung. Mit diesen Daten wurde ein durchschnittlicher Wärmebedarf von 58.747 kWh/a ermittelt.

Das Ergebnis der technischen Auslegung ist in Tabelle 18 zusammengefasst dargestellt.



Abbildung 99: Luftbild - Bahnhofsgelände Aspang Markt

Bezeichnung	Standort	Gebäude	Wärmebedarf	Volllaststunden	Heizlast
[-]	[-]	[-]	[kWh/a]	[h/a]	[kW]
Bahnhof Aspang	2870 Aspang Markt	3 Wohngebäude	309.049	2500	124
Bahnhof Aspang	2870 Aspang Markt	Büro	35.100	2554	14
Bahnhof Aspang	2870 Aspang Markt	Sozialräume	23.647	2288	10
Summe			344.149		137

Wärmepumpe	Typ	Nenn-Wärmeleistung	Kälteleistung	Elektr. Leistungsaufnahme	COP
[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kW]	[-]
VITOCAL 300-G Pro	BW 302.B150	145	117	31,5	4,60
			spezifische Entzugsleistung	$dT=T_{in}-T_{out}$	Sondenanzahl
	Wärmequelle	Tiefe	W/m	[K]	[-]
	[-]	m			
	Erdsonde	200	50	5	12

Tabelle 18: Zusammenstellung der technischen Daten zur Pilotplanung Aspang Markt

11.6 Pilotplanung 3 – Thermische Nutzung des Grundwassers zur Beheizung - Exemplarischer Standort Hallein

11.6.1 Geologisch-hydrogeologische Rahmenbedingungen

Quartäre Lockersedimente dominieren den Standort Hallein (siehe Abbildung 100). Das Vorhandensein der quartären Kiese und Sande ist an diesem Standort ein Hinweis, dass günstige hydrogeologische Eigenschaften für die Nutzung von Grundwasser vorliegen. Die quartäre Talfüllung wird mit großer Wahrscheinlichkeit ausreichende Mächtigkeiten aufweisen, sodass die erforderlichen Grundwasserergiebigkeiten erreicht werden können. Die Bestätigung dieser hydrogeologischen Einschätzung findet sich in der Wasserversorgung der Stadt Hallein. Im Ortsteil Gamp (siehe Abbildung 100) befinden sich zwei Tiefbrunnen mit einer Förderleistung von 225 l/s, welche zur Wasserversorgung herangezogen werden. Dies bestätigt die große Ergiebigkeit des Grundwasserkörpers im Bereich des gewählten exemplarischen Standortes und weist diesen als Standort für den Einsatz einer thermischen Grundwassernutzung aus.

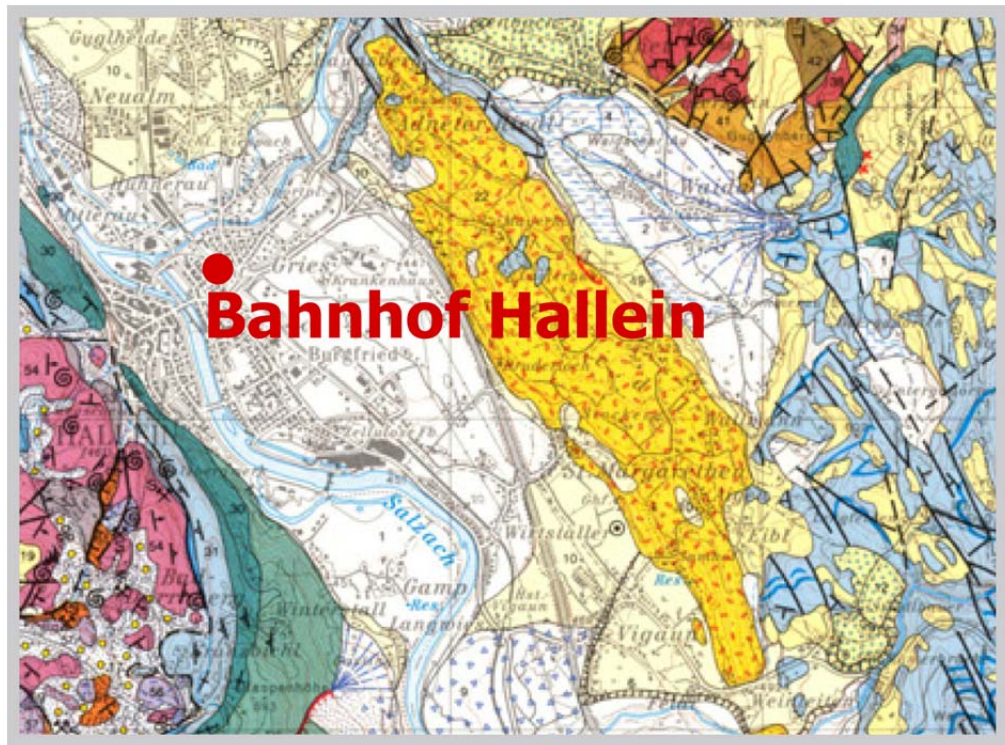


Abbildung 100: Geologische Rahmenbedingungen – Standort Hallein (Quelle: GBA-online)

11.6.2 Anlagenbeschreibung

Der Bahnhof Hallein (siehe Abbildung 101) wurde als exemplarisches Pilotplanungsprojekt für die Wärmeversorgung mit einer Grundwasserwärmepumpe gewählt. Als energetische Datenbasis sind 2 Energieausweise vorhanden - für das Bürogebäude mit einer Bezugs-Grundfläche von insgesamt 610 m² und für das Restaurant mit einer Bezugs-Grundfläche von 75 m². Aus der ÖBB-Anlagendatenbank ist ersichtlich, dass an diesem Standort aktuell Heizöl als Energieträger verwendet wird. Der Heizwärmebedarf für das Bürogebäude beträgt 134.840 kWh/a und für das Restaurant mit 18.533 kWh/a.

Das Ergebnis der technischen Auslegung ist in Tabelle 19 zusammengefasst dargestellt.



Abbildung 101: Bahnhofsgebäude Hallein

Bezeichnung	Standort	Gebäude	Wärmebedarf	Volllaststunden	Heizlast
[-]	[-]	[-]	[kWh/a]	[h/a]	[kW]
Bahnhof Hallein	5400 Hallein	Büro	134.840	2554	53
Bahnhof Hallein	5400 Hallein	Restaurant	18.533	2288	8
Summe			153.373		61

Wärmepumpe	Typ	Nenn-Wärmeleistung	Kälteleistung	Elektr. Leistungsaufnahme	COP
[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kW]	[-]
VITOCAL 300-G	BW301.A45	58,9	48,9	10,7	5,50
	Wärmequelle	Tiefe	Massenstrom	dT=T_{in}-T_{out}	Anzahl Bohrungen
	[-]	[m]	[kg/s]	[K]	[-]
	Wasser	20 - 30	3	4	2

Tabelle 19: Zusammenstellung der technischen Daten zur Pilotplanung Hallein

11.6.3 Nutzungskonzept

Die thermische Nutzung des Grundwassers erfordert die Errichtung von mindestens zwei Grundwasserbrunnen. Aus dem Entnahmebrunnen wird Grundwasser mit Hilfe einer Pumpe entnommen und zur thermischen Nutzung geführt. Das thermisch genutzte Grundwasser wird zu einem Schluckbrunnen geführt. Die Rückführung des thermisch genutzten Grundwassers ist am Beispielstandort aus wasserwirtschaftlichen Gründen in jedem Fall erforderlich, da das Grundwasserfeld eine große wasserwirtschaftliche Bedeutung besitzt. Abbildung 102 zeigt das beschriebene Nutzungsprinzip.

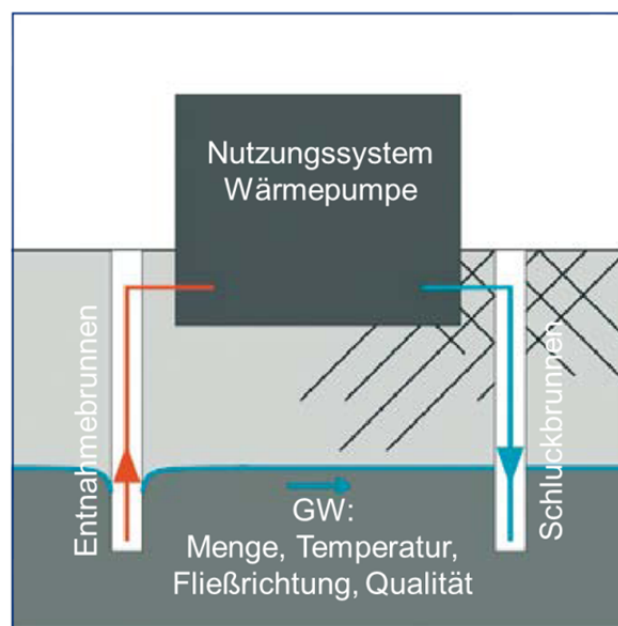


Abbildung 102: Nutzungsprinzip – Beispielstandort Hallein

11.7 Ökonomische und ökologische Rahmenbedingungen der Pilotplanungen

11.7.1 Ökonomische Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel wurden auf Basis der in Kapitel 11.5 und 11.6 dargestellten Pilotplanungen, welche technische Grobplanungen darstellen, die voraussichtlichen Kosten und ökonomischen Rahmenbedingungen der Projekte erhoben. Es wurden Investitionskosten, kapitalgebundene Betriebskosten und sonstige Betriebskosten auf Basis von Angeboten und eigenen Annahmen zusammengestellt.

In Tabelle 20 sind die Investitionskosten der beiden Pilotplanungen zusammengestellt. In Tabelle 21 sind die kapitalgebundenen Betriebskosten der Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage und der Grundwasser-Wärmepumpenanlage zusammengefasst dargestellt. Tabelle 22 zeigt die sonstigen Betriebskosten welche sich aus dem Strombedarf der Wärmepumpenanlage ergeben. Der spezifische Strompreis wurde dabei mit 109,50 €/MWh (Energie, Netz und Abgaben) angenommen (Quelle: Hr. Lebner, ÖBB, August 2014).

	von	bis	Kosten von	bis
Geothermieanlage				
Erdwärmesonde (200 m)	51	56 €/lfm	10.114	11.238 €
Tiefe [m]	200	lfm		
Anzahl der Sonden	12			
Kosten Erschließung Erdwärme			121.370	134.856 €
Nutzungsdauer [a]	50 Jahre [a]			
Brunnen (1 Bohrung, Sickerschlitze)			21.294	23.660 €
Nutzungsdauer [a]	50 Jahre [a]			
Wärmepumpe				
Erdwärmepumpe mit Erdsonde			54.216	60.240 €
Nutzungsdauer [a]	20 Jahre [a]			
Grundwasser-Wärmepumpe (GW-WP)			29.449	32.722 €
Nutzungsdauer [a]	20 Jahre [a]			
Zusatzinvestitionen				
Installation + Extras			2.500	3.000 €
Material, Rohrleitungen etc.			1.000	1.000 €
Summe Zusatzinvestitionen			3.500	4.000 €
Nutzungsdauer [a]	20 Jahre [a]			
Kalkulatorische Zinsen [%]	4,6 %			

Tabelle 20: Zusammenstellung der Investitionskosten ohne Förderung

	Instand- setzung		Instand- setzung	
	Kosten von	Wartung	Kosten bis	Wartung
Geothermieanlage				
Erschließung Erdwärmesonden	1213,704	1213,704 €/a	1348,56	1348,56 €/a
Erschließung Grundwasser	212,94	212,94 €/a	236,6	236,6 €/a
Wärmepumpe				
Erdwärmesonden-WP	1626,48	542,16 €/a	1807,2	602,4 €/a
Grundwasser-WP	883,4832	294,4944 €/a	981,648	327,216 €/a
Zusatzinvestitionen	70	35 €/a	80	40 €/a
Summe kapitalgebundene B. Kosten				
Erdwärmesonden-WP	2.910	1.791 €/a	3.236	1.991 €/a
Summe Erdwärmesonden-WP		4.701 €/a		5.227 €/a
Summe kapitalgebundene B. Kosten				
Grundwasser-WP	1.166	542 €/a	1.298	604 €/a
Summe Grundwasser-WP		1.709 €/a		1.902 €/a

Tabelle 21: Zusammenstellung der kapitalgebundenen Betriebskosten

Summe sonstige Betriebskosten	
Erdwärmesonden-WP	10.526 [€/a]
Summe sonstige Betriebskosten	
Grundwasser-WP	5.361 [€/a]

Tabelle 22: Zusammenstellung Summe der sonstigen Kosten der Pilotplanungen

Die ökonomische Bewertung der Projekte wurde auf Basis der in Tabelle 20, Tabelle 21 und Tabelle 22 dargestellten Kosten vorgenommen. Dabei wurde die Annuitätenmethode angewandt. Jahreskosten (Annuität, kapitalgebundene und sonstige Kosten) wurden errechnet und bezogen auf die Wärmemenge den Kosten alternativer Wärmeherzeugung gegenübergestellt.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind im Folgenden dargestellt:

Tabelle 23 zeigt die Kosten der Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesondenfeld am Standort Aspang. Die Jahreskosten der Wärmeherzeugung betragen unter den gegebenen Annahmen zwischen 25.945 und 27.670 €/Jahr. Die spezifischen Kosten der Wärmeherzeugung bezogen auf die jährliche Wärmemenge betragen zwischen 75,4 und 80,4 €/MWh_{Wärme}.

Tabelle 24 zeigt die Kosten der Wärmepumpenanlage mit Grundwasserbrunnen am Standort Hallein. Die Jahreskosten der Wärmeherzeugung betragen unter den gegebenen Annahmen zwischen 10.720 und 11.328 €/Jahr. Die spezifischen Kosten der Wärmeherzeugung bezogen auf die jährliche Wärmemenge betragen zwischen 69,9 bis 73,9 €/MWh_{Wärme}.

Im Vergleich zu beiden Standorten betragen die spezifischen Kosten zur Wärmeherzeugung mit einem Heizölkessel (bei einem Ölpreis von 91,4 €/MWh und einem Jahresnutzungsgrad von 92 %) 99,3 €/MWh, mit einem Erdgaskessel (Gaspreis: 73,5 €/MWh, Jahresnutzungsgrad 95 %) 77,4 €/MWh und mit Fernwärme 93,2 €/MWh [aus 28 und 29].

Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesonden			
	von	bis	
Annuität	10.717	11.917	€/a
Kapitalgebundene Betriebskosten	4.701	5.227	€/a
Sonstige Betriebskosten	10.526	10.526	€/a
Jahreskosten gesamt	25.945	27.670	€/a
Spezifische Kosten	0,0754	0,0804	€/kWh

Tabelle 23: Statische Annuitätenberechnung, Aspang

Wärmepumpenanlage mit Grundwasserbrunnen			
	von	bis	
Annuität	3.650	4.064	€/a
Kapitalgebundene Betriebskosten	1.709	1.902	€/a
Sonstige Betriebskosten	5.361	5.361	€/a
Jahreskosten gesamt	10.720	11.328	€/a
Spezifische Kosten	0,0699	0,0739	€/kWh

Tabelle 24: Statische Annuitätenberechnung, Hallein

11.7.2 Ökologische Rahmenbedingungen

11.7.2.1 Methodik

Zur Bestimmung der Umweltwirkungen der geothermischen Energiebereitstellung mit Unterstützung von Wärmepumpen wird eine ökologische Bewertung für die zuvor beschriebenen Pilotplanungen an den Standorten Aspang und Hallein durchgeführt. Für die ökologische Bewertung wird die Methode der Lebenszyklusanalyse - auch als Ökobilanz bezeichnet - angewandt.

Laut EN ISO 14040:2006 „Umweltmanagement Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen“ bezieht sich eine Ökobilanz auf die Umweltaspekte und Umweltwirkungen (z.B. Nutzung von Ressourcen und die Umweltauswirkungen von Emissionen) im Verlaufe des Lebensweges eines Produktes von der Rohstoffgewinnung über die Produktion, Anwendung, Abfallbehandlung, Recycling bis zur endgültigen Beseitigung (d.h. „von der Wiege bis zur Bahre“).

In der Lebenszyklusanalyse werden alle relevanten Stoffe und Prozesse berücksichtigt. Diese sind für die Pilotplanungen:

- die Errichtung und die Entsorgung der Anlagen (z.B. Errichtung der Bohrungen, Herstellung der Wärmepumpen)
- Hilfsenergie beim Betrieb der Anlage (z.B. Pumpstrom)
- Hilfsmaterial beim Betrieb der Anlage und die energetische Nutzung zur Wärmebereitstellung

Ziel dieser Lebenszyklusanalyse ist die Untersuchung der Treibhausgasemissionen für die Wärmebereitstellung mittels einer Erdwärmesonden-Wärmepumpe-Anlage und einer Grundwasser-Wärmepumpen-Anlage im Vergleich zur Wärmebereitstellung mit einem Erdgaskessel bzw. einem Heizölkessel für die Pilotplanungen an den Standorten Aspang und Hallein.

Die funktionelle Einheit dieser Lebenszyklusanalyse sind die Treibhausgasemissionen bezogen auf 1 MWh Wärme am Übergabepunkt in das Wärmeabgabesystem:

- Funktionelle Bewertungseinheit = 1 kg CO₂-Äq./MWh_{Wärme}

Die Treibhausgasemissionen der Anlagen werden über 15 Jahre betrachtet und für den diesen Betrachtungszeitraum dargestellt.

11.7.2.2 Untersuchte Umweltwirkungen

Mit der Methode der Lebenszyklusanalyse werden die Umweltwirkungen der Treibhausgasemissionen untersucht.

Es werden die in Tabelle 25 dargestellten Treibhausgase betrachtet. Als Maß für die Treibhauswirkung dieser Gase wird das Treibhausgaspotenzial für den Zeitraum von 100 Jahren verwendet (GWP 100 - Global Warming Potential 100). Dafür werden die angeführten Äquivalenzfaktoren angewandt, mit denen die Treibhauswirkung eines Kilogramms des jeweiligen Treibhausgases (z.B. CH₄, N₂O, R-14) in die äquivalente CO₂-Menge umgerechnet wird [30]. In den Ergebnisdarstellungen werden die einzelnen Treibhausgase der Gruppen FKW, FCKW, HFCKW und CKW aggregiert ausgewiesen.

Kategorie	Treibhausgas	CO ₂ -Äquivalenzfaktor
	CO ₂	1
	CH ₄	25
	N ₂ O	298
Fluorkohlenwasserstoffe (FKW)	HFC-134a	1430
	HFC-143a	4470
	HFC-152a	124
	HFC-116	12200
	HFC-125	3500
	HFC-32	675
	R-14	7390
	HFC-23	14800
	HFC-43-100mee	1640
	HFC-227ea	3220
	HFC-236fa	9810
	HFC-245fa	1030
	PFC-318	10300
	PFC-5-1-14	9300
	PFC-218	8830
PFC-3-1-10	8860	
PFC-4-1-12	9160	
Vollhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)	CFC-113	6130
	CFC-114	10000
	CFC-115	7370
	CFC-13	14400
	CFC-12	10900
	CFC-11	4750
Teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (HFCKW)	HCFC-141b	725
	HCFC-142b	2310
	HCFC-123	77
	HCFC-124	609
	HCFC-22	1810
	HCFC-21	2100
Chlorkohlenwasserstoffe (CKW)	HCC-30	8,7
	R-10	1400
	R-40	13

Tabelle 25: Untersuchte Treibhausgase und deren CO₂-Äquivalenzfaktoren [30]

11.7.2.3 Datenbasis der ökologischen Bewertung

Die Datenbasis für die ökologische Bewertung setzt sich wie folgt zusammen:

- Projektspezifische Daten, die für die Pilotplanung Aspang und Hallein erhoben wurden
- Datenbank GEMIS – Globales Emissions-Modell integrierte Systeme, Version 4.6. [31] für die Wärmebereitstellung mit Erdgas und Heizöl extraleicht und die Strombereitstellung
- Datenbank ecoinvent – ecoinvent data v3.0 [32] für Herstellungs- und Entsorgungsprozesse von Anlagenkomponenten und deren Materialien

Für die Erzeugung des benötigten Stroms werden folgende zwei verschiedene Arten der Stromerzeugung untersucht:

1. ÖBB Strommix: Die Strombereitstellung wird entsprechend dem Stromerzeugungsmix der ÖBB aus dem Jahr 2013 angenommen, der in Tabelle 26 dargestellt ist.
2. Strom aus Erdgas GuD: Stromerzeugung in einem mit Erdgas befeuerten Gas- und Dampfkraftwerk

Strommix ÖBB 2013	
Wasserkraft	83%
Erdgas	7,90%
feste oder flüssige Biomasse	3,50%
Windenergie	3,50%
Biogas	1,10%
sonstige Ökoenergie	1%

Tabelle 26: Zusammensetzung ÖBB Strommix 2013

11.7.2.4 Ergebnisse

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen mit der Methode der Lebenszyklusanalyse ergab für die untersuchten Pilotplanungen und die Referenzsysteme die in der Folge beschriebenen Ergebnisse.

Abbildung 103 zeigt die Treibhausgasemissionen der untersuchten Pilotplanung Aspang für die Wärmebereitstellung mit Erdwärmesonden mit einer Wärmepumpe bei einem Betrieb mit dem ÖBB-Strommix 2013 im Vergleich zu einem Betrieb der Wärmepumpe mit dem Strom aus einem Erdgas GuD Kraftwerk, der Bereitstellung der Wärme mit einem Erdgaskessel und einem Heizölkessel. Die Treibhausgasemissionen bei einem Wärmepumpenbetrieb mit dem Strommix der ÖBB betragen $33 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./MWh}_{\text{Wärme}}$. Im Vergleich dazu betragen die Treibhausgasemissionen bei einem Betrieb mit Strom aus einem Erdgas GuD $139 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./MWh}_{\text{Wärme}}$. Bei einer Wärmebereitstellung mit einem Erdgaskessel betragen die Treibhausgasemissionen $315 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./MWh}_{\text{Wärme}}$ und bei einem Betrieb mit einem Heizölkessel betragen die Treibhausgasemissionen $363 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./MWh}_{\text{Wärme}}$.

Abbildung 104 zeigt die Treibhausgasemissionen der untersuchten Pilotplanung Hallein für die Wärmebereitstellung mit einer Wärmepumpe bei einem Betrieb mit dem ÖBB Strommix 2013 im Vergleich zu einem Betrieb der Wärmepumpe mit dem Strom aus einem Erdgas GuD Kraftwerk, der Bereitstellung der Wärme mit einem Erdgaskessel und einem Heizölkessel. Die Treibhausgasemissionen bei einem Wärmepumpenbetrieb mit dem Strommix der ÖBB betragen $37 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./MWh}_{\text{Wärme}}$. Im Vergleich dazu betragen die Treibhausgasemissionen bei einem Betrieb mit Strom aus einem Erdgas GuD $144 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./MWh}_{\text{Wärme}}$. Bei einer Wärmebereitstellung mit einem Erdgaskessel betragen die Treibhausgasemissionen $315 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./MWh}_{\text{Wärme}}$ und bei einem Betrieb mit einem Heizölkessel betragen die Treibhausgasemissionen $363 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./MWh}_{\text{Wärme}}$.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Tabelle 27 dargestellt.

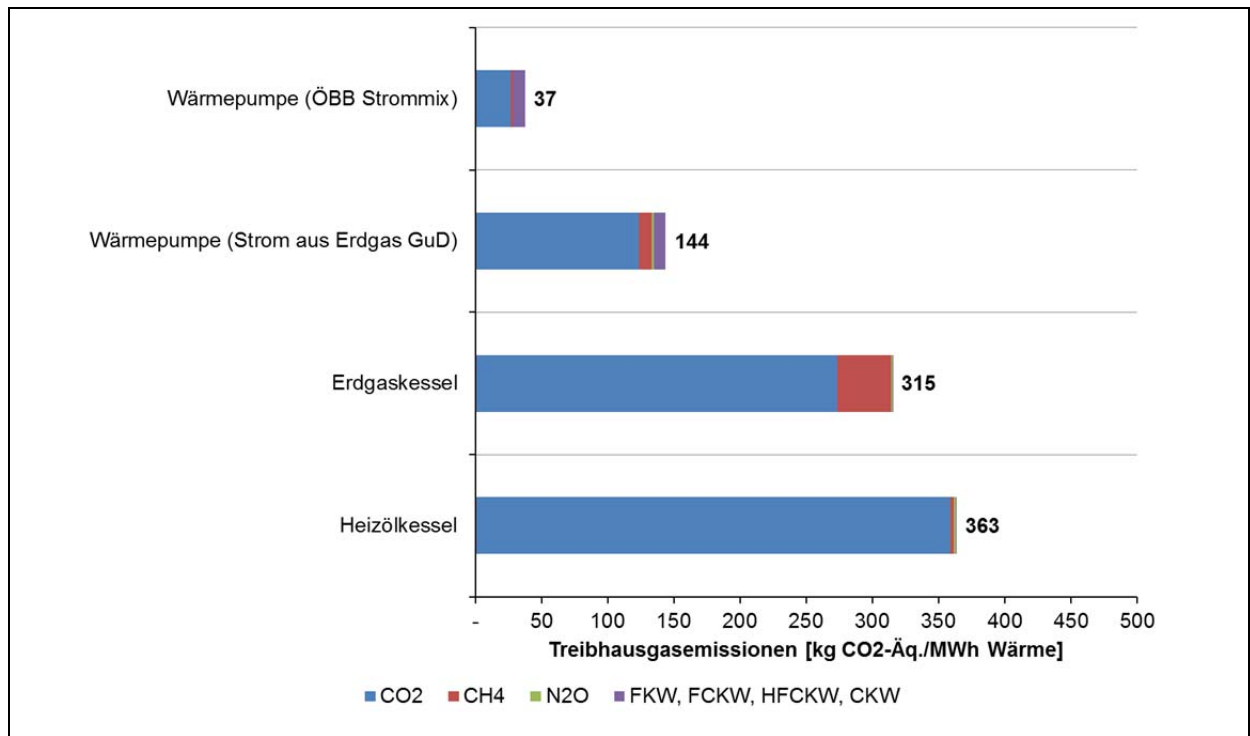


Abbildung 103: Spezifische Treibhausgasemissionen, Pilotplanung Aspang

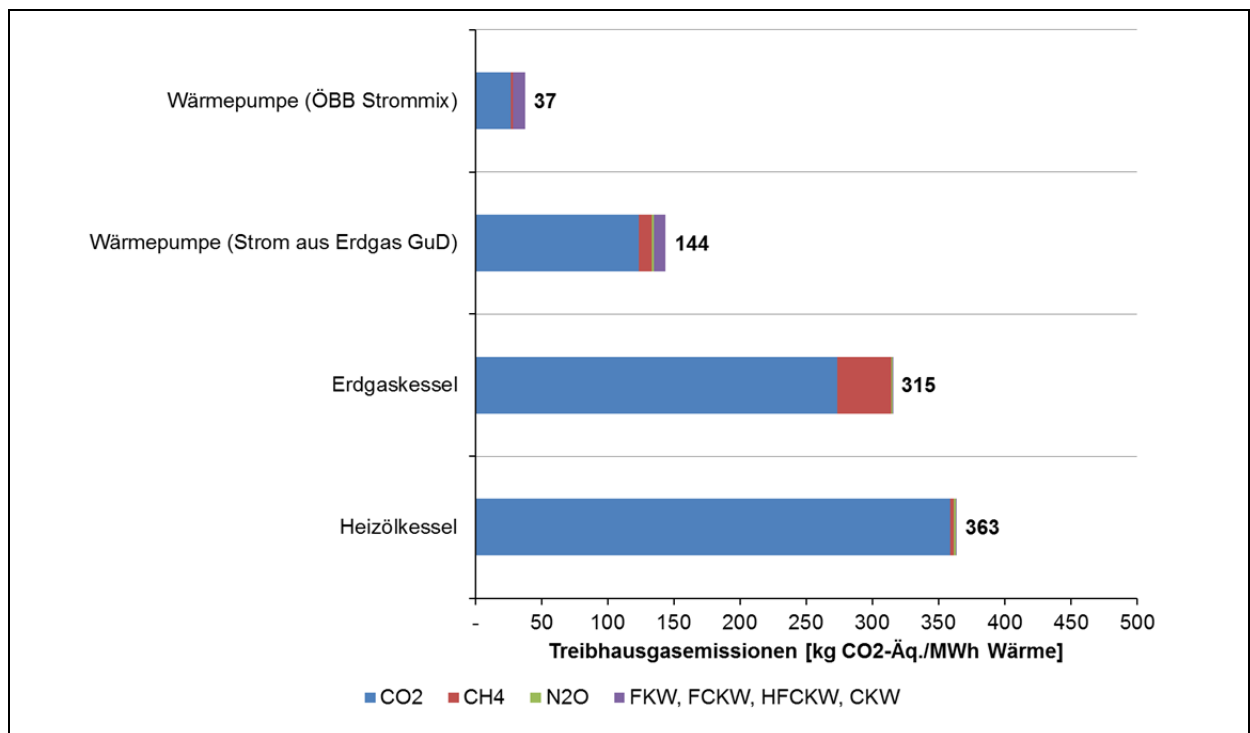


Abbildung 104: Spezifische Treibhausgasemissionen, Pilotplanung Hallein

In der Tabelle 27 sieht man zusammengefasst die Ergebnisse der Treibhausgasbilanzierung für die beiden Pilotplanungen. In der 1. Spalte sind die Gesamtemissionen dargestellt und in der 2. Spalte sind die spezifischen Kosten in kg CO₂-Äquivalent pro MWh berechnet.

Pilotplanung 3: Bahnhof Hallein	Treibhausgasemissionen					Spezifische Treibhausgasemissionen				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	FKW, FCKW, HFCKW, CKW	Gesamt	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	FKW, FCKW, HFCKW, CKW	Gesamt
	[kg CO ₂ -Äq.]					[kg CO ₂ -Äq./MWh]				
Wärmepumpe (ÖBB Strommix)	61.908	2.933	974	20.210	86.025	27	1	0	9	37
Wärmepumpe (Strom aus Erdgas GuD)	284.234	22.613	3.796	20.207	330.850	124	10	2	9	144
Erdgaskessel	629.165	93.643	2.346	3	725.157	273	41	1	0	315
Heizölkessel	825.465	6.557	3.515	5	835.542	359	3	2	0	363

Pilotplanung 2: Bahnhof Aspang	Treibhausgasemissionen					Spezifische Treibhausgasemissionen				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	FKW, FCKW, HFCKW, CKW	Gesamt	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	FKW, FCKW, HFCKW, CKW	Gesamt
	[kg CO ₂ -Äq.]					[kg CO ₂ -Äq./MWh]				
Wärmepumpe (ÖBB Strommix)	110.033	7.568	1.777	49.744	169.123	21	1	0	10	33
Wärmepumpe (Strom aus Erdgas GuD)	607.510	51.605	8.092	49.738	716.945	118	10	2	10	139
Erdgaskessel	1.412.062	210.145	5.267	7	1.627.481	274	41	1	0	315
Heizölkessel	1.853.048	14.757	7.893	12	1.875.711	359	3	2	0	363

Tabelle 27: Treibhausgasbilanzierung, Zusammenfassung der Ergebnisse

12 WASSERWIRTSCHAFTLICHE GRUNDSÄTZE, WASSERRECHTLICHE ASPEKTE

12.1 Wasserwirtschaftliche Relevanz, Umweltwirkungen

Die Nutzung der geothermischen Energie kann mit quantitativen und qualitativen Einwirkungen auf den Untergrund und/oder den Grundwasserhaushalt verbunden sein.

Eventuellen negativen Auswirkungen muss mit planerischen Mitteln entgegengewirkt werden. In jedem Fall sind die standortspezifischen Eigenschaften zu berücksichtigen. Weiters sind auch bundesländerspezifische Regelungen zu beachten. Zusätzlich sind Wasserschutz- und Wasserschongebiete zu erheben und in der Planung entsprechend zu berücksichtigen.

Für die Projektierung und den Betrieb einer oberflächennahen Erdwärmeanlage sind wasserwirtschaftliche Grundsätze und die daraus resultierenden wasserrechtlichen Rahmenbedingungen einzuhalten. In [1,2 und 4] sind die diesbezüglichen Grundlagen im Detail dargelegt.

12.2 Allgemeine wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmennutzungen im oberflächennahen Bereich

Oberstes wasserwirtschaftliches Ziel ist es sowohl die oberflächennahen als auch die tiefen Grundwasserkörper zu schützen und durch eine entsprechende Bewirtschaftung deren (weitgehend) nachhaltige Nutzung sicher zu stellen. Dieses Ziel kann aber nur dann erreicht werden, wenn entsprechende Standards vorgegeben werden und diese bei der Planung, der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen zur Nutzung der geothermischen Energie entsprechende Beachtung finden.

Anleitungen und Hinweise zur Erreichung dieses Zieles sind in den folgenden genannten Regelblättern des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV) publiziert:

- ÖWAV-Regelblatt 207: Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrundes – Heizen und Kühlen, Wien 2009
- ÖWAV- Regelblatt 213: Tiefbohrungen zur Wassergewinnung, Wien 2000

- ÖWAV- Regelblatt 215: Nutzung und Schutz von Thermalwasservorkommen, Wien 2010

Ziel der Erarbeitung der ÖWAV-Regelblätter 207 und 215 war es, für ganz Österreich einheitliche Planungs-, Errichtungs-, Betriebs- und Bewirtschaftungskriterien für Anlagen zur Nutzung der geothermischen Energie zu entwickeln.

Folgende Grundsätze sollen bei der Planung und Errichtung von Anlagen zur Nutzung der geothermischen Energie generell beachtet werden:

- Grundwasser einschließlich Tiefengrundwasser ist flächendeckend zu schützen
- Die Versorgung mit Trinkwasser hat uneingeschränkten Vorrang gegenüber der thermischen Nutzung des Untergrunds und des Grundwassers
- Die thermische Nutzung des Untergrundes und des Grundwassers soll nicht zu großräumigen Veränderungen der Temperaturverhältnisse führen
- Grundwasser soll nach der thermischen Nutzung wieder vollständig in den Grundwasserleiter, aus dem es entnommen wurde, eingeleitet werden
- Veränderungen der Beschaffenheit des Grundwassers durch wassergefährdende Stoffe sind zu vermeiden
- Wärmeträgermedien und Arbeitsmittel, die im Falle eines Gebrechens (Leckagen) keine Umweltschäden verursachen können, sind zu verwenden
- Die Anlagen sollen den zu erwartenden Beanspruchungen dauerhaft standhalten können und die erforderliche Dichtheit aufweisen
- Das Risiko von Leckagen soll mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden
- Gebrechen, die zum Ausfließen von Kälte- und Betriebsmitteln führen können, sollen leicht erkennbar sein um eine mögliche Beeinträchtigung des Grundwassers verhindern zu können
- Anlagen sollen ausschließlich durch qualifizierte Fachfirmen, die über geeignetes Fachpersonal und die erforderliche maschinelle Geräteausrüstung verfügen, errichtet werden
- Mit dem vorhandenen Wasserdargebot soll sparsam umgegangen werden
- Eine hydraulische Verbindung unterschiedlicher Grundwasserstockwerke soll sowohl während des Bohrvorgangs als auch nach der Erdwärmesondenverpressung dauerhaft unterbunden werden.

12.3 Mögliche negative Veränderungen der Grundwasserkörper und des Untergrundes

Mangelhafte Planung, unsachgemäße Erschließung von Erdwärme sowie Betriebsfehler können quantitative und qualitative Auswirkungen und Einwirkungen auf den Untergrund und die Grundwasserkörper haben.

Diese Auswirkungen können sein:

- Veränderung/Entfernung/Verringerung/Auflockerung der das oberflächennahe Grundwasser überlagernden Deckschicht und damit zusammenhängend eine Reduktion der Schutzwirkung dieser Deckschicht
- Beeinträchtigung der Beschaffenheit des Bodens und des Grundwassers beim Abteufen von Bohrungen, durch Eintrag von wassergefährdenden Stoffen (Kraftstoffe, Öle, Spülmittel usw.) und von bakteriologischen Keimen
- Schaffung künstlicher hydraulischer Verbindungen zwischen mehreren Grundwasserleitern durch unsachgemäßes Bohrungsdesign – Vermischung und Druckentlastung unterschiedlicher Grundwasserleiter
- Unsachgemäße Abdichtung bzw. Zementierung der Bohrung und Eintrag von Schadstoffen
- Übermäßige und nicht nachhaltige Entnahme von Wassermengen (größer als die natürliche Grundwasserneubildung) und unsachgemäße Rückführung des Wassers in den Untergrund
- Schadstoffeintrag in den Grundwasserleiter durch die Rückführung/Reinjektion von energetisch genutztem Wasser
- Änderung hydraulischer Parameter und der Temperaturverhältnisse infolge der Rückführung/Reinjektion von energetisch genutztem, abgekühltem oder erwärmtem Grundwasser

12.4 Wasserrechtliche Rahmenbedingungen, Wasserrechtsgesetz WRG

Entsprechend den in den §30 und §30c WRG 1959 genannten Zielen ist insbesondere das Grundwasser sowie das Quellwasser so reinzuhalten, dass es als Trinkwasser verwendet werden kann und so zu schützen, zu verbessern und zu sanieren, dass eine

Verschlechterung des jeweiligen Zustandes verhindert wird und der gute Zustand bis spätestens 22.12.2015 erreicht wird.

Gemäß §31 WRG 1959 hat jeder, dessen Anlagen, Maßnahmen oder Unterlassungen eine Einwirkung auf Gewässer herbeiführen können, mit der gebotenen Sorgfalt seine Anlagen so herzustellen, instand zu halten und zu betreiben oder sich so zu verhalten, dass eine Gewässerverunreinigung vermieden wird, die den Bestimmungen des §30 WRG 1959 zuwiderläuft und nicht durch eine wasserrechtliche Bewilligung gedeckt ist.

Gemäß §12a Abs.3 WRG 1959 ist der Stand der Technik bei allen Wasserbenutzungen und allen dem WRG unterliegenden Anlagen und Maßnahmen nach Maßgabe näher genannter Bestimmungen sowie den auf dem WRG basierenden Verordnungen, einzuhalten. Verordnungen des BMLFUW, die den Stand der Technik für Anlagen zur geothermischen Nutzung des Untergrundes und des Grundwassers bestimmen liegen bis dato nicht vor. Für die thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrundes sind im Wasserrechtsgesetz (WRG 1959) Bewilligungstatbestände nach §10 und §32 Abs.2 lit.b (Einwirkungstatbestand) und nach § 31c Abs.5 (Vorsorgetatbestand) vorgesehen.

12.4.1 Anlagen mit einer thermischen Nutzung des Grundwassers

Diese sind Anlagen, bei denen Grundwasser entnommen und nach dessen thermischer Nutzung verändert (erwärmt oder abgekühlt) wieder in den Grundwasserleiter oder (u.U. im Einzelfall) in einen Vorfluter eingeleitet wird (siehe Kapitel 6.2).

Folgende Bewilligungstatbestände sind gegeben:

- §10 WRG 1959 für die Entnahme von Grundwasser
- §32 Abs.2 lit.b WRG 1959 für die Versickerung (Reinjektion) oder Einleitung in einen Vorfluter

In beiden Fällen ist ein wasserrechtliches Bewilligungsverfahren durchzuführen.

Bewilligungsvoraussetzung ist insbesondere, dass durch das geplante Vorhaben (Entnahme und Rück- bzw. Einleitung) weder eine Beeinträchtigung öffentlicher Interessen (§105 WRG 1959), noch eine Verletzung fremder Rechte (§12 WRG 1959) erfolgt. In den Verfahren ist zu prüfen, ob die Umweltziele für Oberflächengewässer und Grundwasser (§§ 30a und 30c WRG 1959) erreicht werden.

Wird thermisch verändertes Wasser in ein Oberflächengewässer eingeleitet, sind zusätzlich nachstehend genannte Verordnungen zu beachten:

- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Kühlsystemen und Dampferzeugern, BGBl. II 266/2003
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft zur Verbesserung der Wassergüte der Donau und ihrer Zubringer, BGBl. 210/1977

Allenfalls erforderliche Entnahmetests und Pumpversuche bedürfen einer Bewilligung gemäß §56 WRG 1959, wenn eine Beeinträchtigung öffentlicher Interessen oder eine Verletzung bestehender Rechte (§12 WRG 1959) nicht auszuschließen ist.

Eine wasserrechtliche Bewilligung ist gemäß §21 Abs.1 WRG 1959 auf die jeweils längste vertretbare Zeit zu befristen.

Anlagen gemäß §31c (Anzeigeverfahren) sind mit 15 Jahren, Tiefsonden mit 25 Jahren ab Einbringung der Anzeige zu befristen. Entsprechend §112 Abs.6 WRG 1959 sind der Baubeginn und die Bauvollendung der Wasserrechtsbehörde anzuzeigen. Wasserrechte erlöschen, wenn einer der in §27 WRG 1959 normierten Tatbestände verwirklicht ist.

Für Anlagen zur Nutzung von Erdwärme sind generell die Bezirksverwaltungsbehörden (i.A. die Bezirkshauptmannschaften) zuständig. Bei Anlagen, die das Grundwasser thermisch nutzen, ist bei Entnahmen von mehr als 5 l/s der Landeshauptmann (bzw. das Amt der Landesregierungen) die zuständige Behörde.

12.4.2 Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes ohne Wasserentnahme (Erdwärmesonden, Energiepfähle)

Bei diesen Anlagentypen findet keine Wasserentnahme aus dem Untergrund statt (siehe Kapitel 6.1). Man spricht daher auch von geschlossenen Systemen. Da jedoch eine (qualitative) Gefährdung des Grundwassers nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann (z.B. durch Bohrarbeiten, durch Leckagen), unterlagen derartige Anlagen bis 2011 unter bestimmten Voraussetzungen einer wasserrechtlichen Bewilligungspflicht (§31c Abs.5 WRG 1959).

Mit der Wasserrechtsgesetzesnovelle 2011 wurden die bis dahin geltenden Bestimmungen maßgeblich geändert. §31c Abs 5 WRG 1959 regelt nunmehr, dass

- Anlagen zur Gewinnung von Erdwärme in wasserrechtlich besonders geschützten Gebieten (§34, §35 und §54 WRG 1959) und in geschlossenen Siedlungsgebieten ohne zentrale Trinkwasserversorgung,
- Anlagen zur Gewinnung von Erdwärme in Form von Vertikalkollektoren (Tiefsonden), soweit sie von lit a. nicht erfasst sind, sofern sie eine Tiefe von 300 m überschreiten oder in Gebieten mit gespannten oder artesisch gespannten Grundwasservorkommen,
- Anlagen zur Wärmenutzung von Gewässern

zwar einer wasserrechtlichen Bewilligungspflicht unterliegen, für derartige Vorhaben, aber das Anzeigeverfahren gemäß §114 WRG 1959 anzuwenden ist.

Gemäß §31c Abs.5 lit b sind Gebiete mit gespannten oder artesisch gespannten Grundwasservorkommen im Wasserbuch ersichtlich zu machen. Teilweise wurden diese Bereiche bundeslandweise bereits definiert (siehe dazu Kapitel 12.7).

Neben dem Wasserrechtsgesetz finden bei der Bewilligung von Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes und des Grundwassers noch weitere Materiengesetze Anwendung. Diese sind das Mineralrohstoffgesetz (MinroG), BGBl. I 1999/38 i.d.g.F. für die Errichtung von Erdwärmesonden mit einer Tiefe von mehr als 300 m, wobei bei diesen Projekten die Montanbehörde zuständig ist.

Die Gewerbeordnung 1994, BGBl. 194 i.d.g.F. ist anzuwenden wenn die Anlage zur thermischen Nutzung des Untergrundes und des Grundwassers Teil einer nach Gewerbeordnung bewilligungspflichtigen Betriebsanlage ist.

Die jeweiligen landesrechtlichen Bestimmungen des Bau- und Naturschutzrechts sind ebenfalls zu berücksichtigen.

12.5 Erforderliche Planungsgrundlagen

Wasserrechtliche Aspekte, die im Rahmen der Detailplanung und der Umsetzung von Projekten zur Nutzung der oberflächennahen Erdwärme berücksichtigt werden sollen, sind in den folgenden Kapiteln 12.5.1, 12.5.2 und 12.5.3 dargelegt und erläutert.

12.5.1 Allgemeine Planungsaspekte für die Nutzung von oberflächennaher Geothermie

Die thermische Nutzung von Grundwasser sollte in jedem Fall auf die wasserwirtschaftliche Bedeutung und den Schutz seichtliegender Grundwasserkörper abgestimmt sein bzw. diese standortbezogen berücksichtigen.

Folgende Planungsaspekte sind damit verbunden:

- Die thermische Nutzung des Grundwassers soll auf oberflächennahes Grundwasser mit freiem Grundwasserspiegel beschränkt bleiben.
- In der Schutzzone III von gemäß §34(1) WRG 1959 bestimmten Schutzgebieten sowie in gemäß § 34(2) WRG 1959 bestimmten Schongebieten sollen Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes und des Grundwassers nur errichtet werden wenn
 - die Anlagentypen dem besonderen Schutzbedarf entsprechen (z. B. Zwischenkreislauf),
 - spezielle Begleitmaßnahmen gesetzt werden (z. B. Sperrrohre, Hilfsverrohrung) und
 - geeignete hydrogeologische Standortbedingungen gegeben sind.

In Abhängigkeit vom jeweiligen Anlagentyp bzw. der Nutzungsmethode sollen aus wasserwirtschaftlich-wasserrechtlicher Sicht zusätzlich die in 12.5.2 und 12.5.3 Aspekte beachtet werden.

12.5.2 Planungsaspekte - Erdwärmesonden und Energiepfähle

Erdwärmesonden, Energiepfähle und ähnliche Erdwärmennutzungen ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund sollen folgende anlagentypspezifische Planungsaspekte berücksichtigen:

- Zum Schutz von Karstgrundwasser bzw. Kluftgrundwasser ist eine Vorerkundung und Darstellung der geologischen Verhältnisse in Gebieten, in denen ergiebige Kluft- oder Karstgrundwasserleiter zu erwarten sind, bzw. deren Vorhandensein nicht zuverlässig ausgeschlossen werden kann, erforderlichenfalls unter Beiziehung eines Geologen/Hydrogeologen durchzuführen.

- Falls für die eindeutige Klärung der hydrogeologischen Rahmenbedingungen erforderlich, sind geophysikalische Bohrlochmessungen als Vorerkundung und Dokumentation der Bohrungen durchzuführen.
- Die Auswahl des Bohrverfahrens, des gesamten Bohrungsdesigns, der sonstigen Bohrbedingungen (Schutzverrohrung, Spülung, etc.) und der Verpressmaterialien (inkl. Zusatzstoffe) müssen die Ergebnisse der geologischen und hydrogeologischen Vorerkundung (Grundwasserstockwerke, Druckhöhen) berücksichtigen.
- Die fachkundige Dokumentation der, bei den Erkundungsbohrungen angetroffenen geologisch-lithologischen Schichtfolge ist erforderlich.
- Die Wiederherstellung der Funktion einer grundwasserstauenden Schicht bzw. einer schlecht durchlässigen Schicht, welche Grundwasserstockwerke voneinander trennt, ist vorzusehen wenn artesisch gespanntes Grundwasser bei der Errichtung von Erdwärmesonden angetroffen wurde.
- Wenn Karst- und Kluftgrundwasserkörper angetroffen werden könnten bzw. angetroffen wurden ist dies bei der Sondenverpressung bzw. Sondenverfüllung zu berücksichtigen.
- Gegebenenfalls soll die Möglichkeit von Gas-Austritten (z.B. natürliche Gasblasen, Deponiegase) fachkundig eingeschätzt werden.
- Eine vollständige Verpressung des Ringraumes nach dem Stand der Technik ist anzustreben.
- Auf eine optimale Auswahl des Verpressmaterials unter Beachtung einer geringen hydraulischen Durchlässigkeit, einer guten Wärmeleitfähigkeit und einer Frostbeständigkeit ist erforderlich.
- Eine bedarfs- und fachgerechte Dimensionierung der Bohrungen (Bohrlochdurchmesser) ist von Bedeutung um eine dem Stand der Technik entsprechende Sondenverpressung zu gewährleisten und Schäden durch Frost-Tauwechsel zu vermeiden.
- Ein vollständiges Ausspülen des Wärmeträgers bei Außerbetriebnahme einer Erdwärmesonde ist zu gewährleisten.
- Eine dauerhafte und wasserdichte Verpressung der Sonde ist bei Außerbetriebnahme der Anlage oder bei Misserfolg einer der Bohrungen zu gewährleisten.

12.5.3 Planungsaspekte - Direkte Nutzung von Grundwasser

Die thermische Nutzung von Grundwasser wirkt aufgrund des Nutzungsprinzips (Grundwasserentnahme und Grundwasserrückführung) und der hydraulischen Gesetzmäßigkeiten auf den Grundwasserleiter direkter und räumlich ausgreifender als thermische Nutzungen des Untergrundes ohne Wasserentnahme. In den Planungsunterlagen sind folgende damit zusammenhängenden Erfordernisse und Aspekte zu berücksichtigen.

- Eine Ermittlung der Reichweite der Absenkung bzw. der Aufhöhung des Grundwasserspiegels beim Entnahmebrunnen bzw. beim Schluckbrunnen ist durchzuführen.
- Eine Ermittlung der Temperaturveränderung des Grundwassers im Bereich der Wiedereinleitung und des temperaturbeeinflussten Bereiches ist durchzuführen.
- Eine Ausführung des Entnahme- und Rückgabebrunnens als Bohrbrunnen ist anzustreben; Schachtbrunnen sollten vermieden werden.
- Eine oberflächennahe Abdichtung der Bohrungen, eine wasserdichte Ausführung des Brunnenkopfes bzw. eines vorhandenen Vorschachtes ist durchzuführen um einen Schadstoffeintrag in den Grundwasserkörper zu verhindern.
- Eine Wiederherstellung der das Grundwasser schützenden und trennenden Bodenschichten (Deckschichten) nach Fertigstellung einer Bohrung ist zu gewährleisten.
- Die Berechnung des erforderlichen Mindestabstandes zwischen dem Entnahmebrunnen und dem Schluckbrunnen zur Vermeidung eines hydraulischen und/oder thermischen Kurzschlusses ist durchzuführen bzw. die Anlage entsprechend den standortspezifisch möglichen Abständen entsprechend anzupassen.
- Der Nachweis der Ergiebigkeit des Entnahmebrunnens und der Sickerleistung des Schluckbrunnens ist zu erbringen.
- Um die thermischen und hydraulischen Wirkungen auf benachbarte Grundwassernutzungen zu minimieren, sind die benachbarten Anlagen zu erheben und in der Planung zu berücksichtigen.
- Ein fachgerechtes Verfüllen der Bohrungen nach Außerbetriebnahme der Anlage ist gegebenenfalls durchzuführen.

12.6 Wasserrechtliche Ablehnungsgründe einer geplanten Anlage

Die wasserwirtschaftliche Bedeutung des Untergrundes ist naturgemäß größer als die geothermische Bedeutung des Untergrundes. Dies wird wasserrechtlich auch entsprechend berücksichtigt. Ablehnungsgründe für die Bewilligung von Anlagen zur Nutzung der geothermischen Energie liegen dann vor, wenn eine Erdwärmeanlage nicht mit den wasserwirtschaftlichen Zielsetzungen zu vereinbaren ist.

Folgende Bedingungen und Anlagenstandorte können zu einer Projektablehnung führen:

- Anlagen innerhalb der Schutzzonen I und II von gemäß §34 Abs. 1 WRG 1959 bestimmten Wasserschutzgebieten
- Anlagen innerhalb der Schutzzone III von gemäß § 34 Abs. 1 WRG 1959 bestimmten Wasserschutzgebieten und wenn ein besonderer Bedarf, die Grundwasserüberdeckung (z.B. bei gespannten und artesischen Grundwässern) zu schützen, gegeben ist
- Anlagen in gemäß §35 WRG 1959 bestimmten Schutz- und Schongebieten im Sinne des Schutzes der zukünftigen Wasserversorgung
- Anlagen in gemäß §37 WRG 1959 zum Schutz von Heilquellen und Heilmooren bestimmten Gebieten
- Anlagen auf Flächen, auf welchen eine Altlast ausgewiesen wurde
- Anlagen auf Flächen, auf welchen eine Deponie betrieben wird oder errichtet werden soll
- Anlagen im unmittelbaren Einzugsbereich von nach § 10 Abs. 1 WRG 1959 bewilligungsfreien Grundwasserentnahmen, wenn eine Beeinträchtigung des Wasserspenders zu erwarten ist
- Anlagen, deren hydraulische und thermische Auswirkungen (GW-Aufhöhungsbereich/GW-Absenkungsbereich, Wärme- bzw. Kältefahne) bis in die Schutzzone II von gemäß § 34 Abs. 1 WRG 1959 bestimmten Wasserschutzgebieten reichen
- Anlagen, die im Rahmen der Bohrarbeiten gespannte Grundwasservorkommen durchhörern könnten

12.7 Umsetzungsstand in den einzelnen Bundesländern

Wie in Kapitel 12.4.2 beschrieben, werden in den Bundesländern Gebiete definiert werden, in welchen gespannte und artesische Trinkwässer auftreten können und daher besondere Regelungen für die Errichtung von Erdwärmesonden zu definieren sind um diese Tiefengrundwasservorkommen entsprechend zu schützen.

Der diesbezügliche Stand (von 2012) in den einzelnen Bundesländern ist in Tabelle 28 zusammengefasst und erweist sich österreichweit noch als sehr heterogen.

Bundesland	Zitierte Stellungnahme	Kennzeichnung in Kartenform	Bewilligungs-pflicht	Bemerkung
Vorarlberg	... kann gespanntes oder artesisch gespanntes Grundwasser grundsätzlich im gesamten Landesgebiet angetroffen werden	nicht notwendig	ja	
Tirol	... überall unter 1800 m ü.A. mit gespannten oder artesisch gespannten Grundwassern gerechnet werden muss	ja, im Wasserbuch	ja	
Salzburg	... dass für das gesamte Bundesland Salzburg bei Bohrungen über 50 m Tiefe flächendeckend mit gespanntem Grundwasser gerechnet werden muss	nein	ja	
Kärnten	... dass nahezu überall gespannte Grundwasserverhältnisse angetroffen werden können	nein	ja	ausführliches Merkblatt für Tiefensonden
Steiermark		Gebiete mit gespanntem oder artesisch gespanntem Grundwasservorkommen	ja, in den ausgewiesenen Gebieten	
Oberösterreich		Gespannte Grundwässer, Karte vom 9.3.2011	ja, in den ausgewiesenen Gebieten	
Niederösterreich	... keine Abgrenzung von Gebieten mit gespanntem oder artesisch gespanntem Grundwasser möglich	Keine Kennzeichnung	nein	
Wien	... keine schriftliche Stellungnahme; mündlich wurde mitgeteilt, dass im Großteil des Bundeslandes mit Ausnahme im westlichen Randbereich mit gespannten oder artesisch gespannten Grundwässern zu rechnen ist	noch nicht erfolgt	ja, zum Großteil	
Burgenland	... keine schriftliche Stellungnahme; mündlich wurde mitgeteilt, dass eine Ausweisung der bewilligungspflichtigen Zonen in Ausarbeitung ist	noch nicht erfolgt	ja, zum Großteil	

Tabelle 28: Regelungen der einzelnen Bundesländer - Status 15.4.2012 [aus 22]

In Abbildung 105 sind die diesbezüglichen Bereiche in der Steiermark, in denen aufgrund des Vorhandenseins von gespannten Grundwasservorkommen Einschränkungen zur Nutzung der Erdwärme mit Erdwärmesonden zur Anwendung kommen, dargestellt.

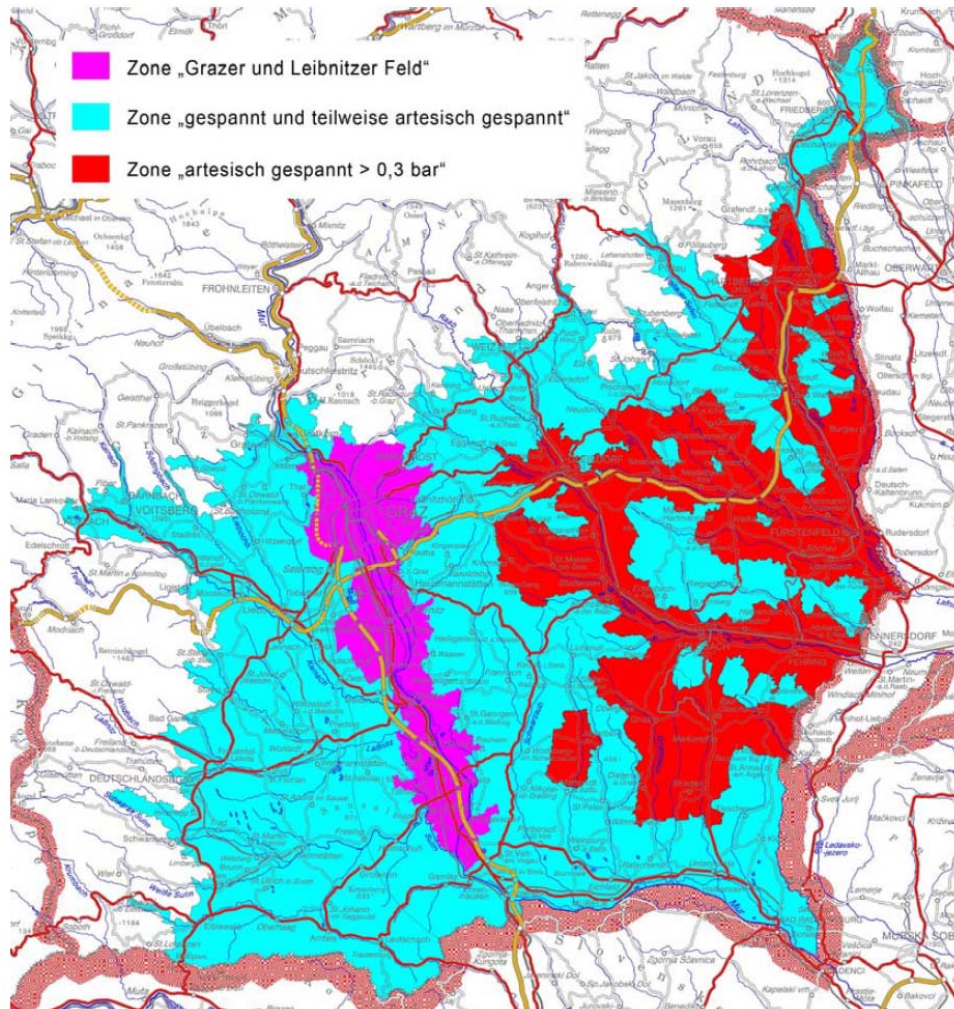


Abbildung 105: Gespannte Grundwasservorkommen in der Ost- und Weststeiermark [aus 21]

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in den Bundesländern Vorarlberg, Tirol, Kärnten und Salzburg sämtliche Anlagen bewilligungspflichtig, in den Bundesländern Steiermark und Oberösterreich Anlagen nur in den ausgewiesenen Gebieten bewilligungspflichtig, in den Bundesländern Wien und Burgenland in den noch auszuweisenden Gebieten bewilligungspflichtig und nur in Niederösterreich im gesamten Bundesland nahezu alle Anlagen bewilligungsfrei sind [22].

Die endgültige bundeslandweise Umsetzung dieser Richtlinien muss im Rahmen jeder zukünftigen Standortauswahl für die Errichtung von Erdwärmesonden berücksichtigt werden.

13 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel des Projektes INFRAplusGEO war die Erfassung und Darstellung der Potenziale und der realistischen Nutzungsmöglichkeiten von oberflächennaher Erdwärme im Bereich der Infrastruktur der ÖBB.

Dafür wurden die Infrastruktur (z.B. Bahnhöfe, Haltestellen) und das geothermische Potenzial mit Hilfe eines geografischen Informationssystems geowissenschaftlich analysiert und Pilotplanungen für verschiedene Nutzungsmöglichkeiten an exemplarischen Standorten erarbeitet.

Aus diesen systematischen Untersuchungen resultieren im Bereich der ÖBB folgende Möglichkeiten und Standorte zur Nutzung von Erdwärme:

- ÖBB-Standorte für eine thermische Nutzung des Grundwassers
- ÖBB-Standorte für eine Nutzung der Erdwärme mit verschiedenen Verfahren ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund
- Thermische Nutzung von Tunnelwasser im Nahbereich von Bahntunneln

Der Bedarf an Erdwärme im Bereich der ÖBB besteht vorrangig zum Zweck der Gebäudeklimatisierung und der Gebäudeheizung. Die Beheizung von Weichen, Bahnsteigen und Verkehrsflächen zur Eis- und Schneefreihaltung sind weitere Möglichkeiten zur Nutzung von Erdwärme im Bereich der ÖBB.

Innerhalb von INFRAplusGEO wurde eine bundesweite Entscheidungsgrundlage für die Einbindung von Erdwärme in die Energieversorgung der ÖBB erarbeitet.

Des Weiteren wurden technisch-wirtschaftliche Pilotplanungen durchgeführt, deren grundlegende Ergebnisse auf andere Standorte (Betriebsstellen der ÖBB) übertragbar sind.

Ausgangslage und Problemstellung:

Der vermehrte Einsatz von Erdwärme im Bereich der Infrastruktur der ÖBB soll dazu beitragen, den Einsatz von fossilen Brennstoffen unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu reduzieren. Wo und wie Erdwärme-Anlagen im Bereich der ÖBB umsetzbar sind, wurde im Projekt INFRAplusGEO bundesweit untersucht.

Gewählte Methodik:

Die methodische Vorgangsweise war aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes nur mit Hilfe eines geografischen Informationssystems (GIS) möglich. Auf Basis des aufgebauten

GIS-Systemen wurden ÖBB-Standorte mit geothermischem Nutzungspotenzial ausgewiesen. Einige dieser Standorte wurden im Rahmen von technischen und ökonomischen Pilotplanungen näher untersucht. Innerhalb einer Pilotplanung wurden auch 3D-Simulationen des Wärmehaushalts und der Wärmespeicherung im Untergrund mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode durchgeführt.

Ergebnisse: Die erarbeiteten Ergebnisse liegen in Form eines Datenbank-GIS-Systems, eines umfassenden Kartenwerkes und eines umfangreichen technischen Berichtes vor.

Schlussfolgerungen:

- Im Bereich der ÖBB liegen zahlreiche Standorte mit günstigen Voraussetzungen für die Nutzung von Erdwärme vor, die im Rahmen von Detailprojekten umgesetzt werden können.
- Die Nutzung der Erdwärme kann zu Heiz- und Kühlzwecken oder kombiniert erfolgen.
- Die oberflächennahe Erdwärme kann je nach Temperaturanforderung
 - direkt zur Kühlung oder zur Frostfreihaltung bzw. Eis- und Schneefreihaltung eingesetzt werden
 - oder**
 - indirekt zur Heizung mittels Wärmepumpe oder mit Erdwärmerohren genutzt werden.
- Unter den derzeitigen ökonomischen Annahmen sind Grundwasser-Wärmepumpensysteme wirtschaftlicher als Erdwärmesonden-Wärmepumpensysteme.
 - Im Vergleich zur Nutzung von Fernwärme bzw. dem Einsatz von Heizöl sind die beiden angeführten Erdwärmesysteme wirtschaftlicher.
 - Verglichen mit dem Einsatz von Erdgas sind die Wärmekosten eines Erdwärmesonden-Wärmepumpensystems knapp höher und die Wärmekosten eines Grundwasser-Wärmepumpensystems etwas geringer.

- Die ökologische Betrachtung der Pilotplanungen zeigt eine deutliche Verminderung der Treibhausgasemissionen bei Einsatz von Wärmepumpen mit dem ÖBB-Strommix im Vergleich zu einem Erdgas- oder einem Heizölkessel.
- Optimierungsmöglichkeiten und Möglichkeiten zur langfristigen Effizienzsteigerung von Erdwärmennutzungen bestehen in vielen Fällen durch die Speicherung von Wärme im Untergrund bzw. durch die Installation von Heiz-Kühlkombinationen mit Wärmespeicherung.
Ohne Wärmespeicherung im Untergrund kann es bei geothermischen Nutzungen ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund zu einer langfristigen Abkühlung des Untergrundes und damit zu einer Reduktion der Anlageneffizienz kommen.
- Günstige Voraussetzungen für die Umsetzung von Projekten für die Nutzung von oberflächennaher Erdwärme bestehen im Bereich der ÖBB im Besonderen aufgrund der räumlichen Nähe von verfügbaren Grundstücksflächen und den Gebäuden mit Wärmebedarf zueinander.
- Wasserrechtliche und wasserwirtschaftliche Einschränkungen sind bundeslandabhängig im Rahmen standortspezifischer Detailplanungen zu berücksichtigen.
- Die in INFRAplusGEO entwickelte Übersichtstudie und die exemplarischen Pilotprojekte stellen eine bundesweite Entscheidungshilfe für zukünftige Detailplanungen von Erdwärmeeinrichtungen im Bereich der ÖBB dar.

Dipl.-Ing. Gunnar Domberger (Projektleiter)

Ing. Anton Wenzel

Dipl.-Ing.(FH) Stefan Gunczy

DI (FH) DI Johanna Pucker

(Joanneum Research)

Graz, August 2014

14 LITERATURVERZEICHNIS

- (1) O. Vollhofer und M. Samek: *Wasserwirtschaftliche Grundsätze und rechtliche Rahmenbedingungen für die Projektierung und den Betrieb von Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes und des Grundwassers, Vortrag GBA, Wien, Jänner 2013*
- (2) ÖWAV-Regelblatt 207: *Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrundes – Heizen und Kühlen, Wien 2009*
- (3) ÖWAV- Regelblatt 213: *Tiefbohrungen zur Wassergewinnung, Wien 2000*
- (4) ÖWAV- Regelblatt 215: *Nutzung und Schutz von Thermalwasservorkommen, Wien 2010*
- (5) Samek M., Vollhofer O.: *Geothermische Nutzungen – Anforderungen aus Sicht der Wasserwirtschaft.*
- (6) *Geothermische Jahrestagung 2005, Geothermie: Synergie und Effizienz, Unterschleißheim 2005*
- (7) ÖWAV- Seminar: *Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds, Heizen und Kühlen, Linz 2009*
- (8) Sanner B.: *Overview of geothermal energy use and developments in Europe, Brussels 2008:*
- (9) *Deutsche Bahn – Klimaschutzbrochure – 2008*
- (10) *Hanschke et.al: Die geothermische Brücke Berkenthin – 2009*
- (11) Wittig, R.: *Nutzung der Geothermie zur Schnee- und Eisfreihaltung von Bahnsteigen am Beispiel UMSTEIGER-PLUS 2000*
- (12) *REHAU – Prospekt – Geothermische Freiflächentemperierung*
- (13) Heinz Brandl, Dietmar Adam, Roman Markiewicz, Wolfgang Unterberger, Hans Hofinger: *Massivabsorbertechnologie zur Erdwärmenutzung bei der Wiener U-Bahnlinie U2, Österr. Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 155. Jg., Heft 7-9/2010 und Heft 10-12 (2010)*
- (14) Andrea Grüniger, Beat Wellig: *CO₂-Erdwärmesonde – Phase 2 - Bundesamt für Energie BFE-Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte (2009)*
- (15) Franziska Bockelmann, Norbert M. Fisch, Herdis Kipry: *Erdwärme für Bürogebäude nutzen – BINE-Fachbuch – Fraunhofer IRB-Verlag*

- (16) *Hans Hofinger: Erdwärmenutzung Bahnhof Attnang-Puchheim – Machbarkeitsstudie, ÖBB / IC Consulente, (2010)*
- (17) *Hans Hofinger: Erdwärmenutzung Hauptbahnhof Salzburg - Wasserrechtliche Einreichung - Bericht, ÖBB / IC Consulente, (2009)*
- (18) *BINE – Projektinfo 12/10 – Weichenheizung mit Erdwärme*
- (19) *Wolfgang Feldmann, Damian Schink: Geothermische Weichenheizung – Verfügbarkeit ohne Energiezufuhr – Fachzeitschrift Signal+Draht (9/2011)*
- (20) *Alexander Peterlunger, Max Ehrbar, Simone Bassetti, Ernst Rohner: Pumpenlose Erdwärmesonde – Schlussbericht Phase 1 – Bundesamt für Energie – Zürich*
- (21) *Amt der Steiermärkischen Landesregierung – FA19A – Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft: Strategiepapier - Die Gewinnung von Erdwärme in Form von Vertikalkollektoren – Amt der Steiermärkischen Rahmenbedingungen – Graz*
- (22) *Wessiak, W.: Auswirkung der Wasserrechtsgesetznovelle 2011 §§ 114 Abs. 3 und Abs. 4 auf die Errichtung von Erdwärmesonden (Tiefensonden) in Österreich– VÖBU-Forum – Juni 2012*
- (23) *F. Teller, (1910): Geologie des Karawankentunnels – Denkschriften der Akademie der Wissenschaften*
- (24) *Riegger, M. (2008): Saisonalere Erdsonden-Wärmespeicher Crailsheim – bbr 09/2008*
- (25) *BINE-Projektinfo (01/2013) – www.bine.info*
- (26) *Büttner W., Kneidinger Ch., Roth K., Samek M., Überwimmer F., Vollhofer O.: Grundsatzpapiere zur Thermalwassernutzung im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken erstellt im Auftrag der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag, München, Wien, Linz 2002*
- (27) *Lunz M.: Rechtliche Rahmenbedingungen der thermischen Nutzung des Grundwassers und des Untergrundes*
- (28) *<http://www.propellets.at/de/pelletpreise/preisvergleiche/> aufgerufen am 6.8.2014/koe*
- (29) *www.iwo-austria.at aufgerufen am 6.8.2014/koe).*

(30) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY.

(31) *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.6*, Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, Darmstadt, August 2010, <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm>

(32) *ecoinvent Centre (2013): ecoinvent data v3.0*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, St. Gallen, retrieved from: www.ecoinvent.org.

15 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Auszug aus dem ÖBB-Nachhaltigkeitsbericht 2010	10
Abbildung 2: Geothermisches Potenzial –Tiefenlage und Nutzungsmöglichkeiten	11
Abbildung 3: Temperaturzunahme mit der Tiefe (aus [15])	13
Abbildung 4: Geologische Karte von Österreich (1:500.000)	18
Abbildung 5: Lageplan der ÖBB-Strecken	19
Abbildung 6: Anzahl der Heizkesselanlagen mit Ölfeuerung inkl. Lagertanks.....	24
Abbildung 7: Anzahl der Heizkesselanlagen mit atmosphärischer Gasfeuerung	25
Abbildung 8: Anzahl der Splitklimaanlagen $\geq 1,5$ kg Kältemittel.....	25
Abbildung 9: Anzahl der strombetriebenen Weichenheizungen zugeordnet zu ÖBB-Betriebsstellen	30
Abbildung 10: Anzahl der gasbetriebenen Weichenheizungen zugeordnet zu ÖBB-Betriebsstellen	30
Abbildung 11: Gemeinden mit ÖBB-Gebäuden mit Energieausweisen.....	31
Abbildung 12: Nutzungsprinzipien von Erdwärme ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund (Erdwärmesonden, Energiepfähle, Bodenabsorber/Kollektoren) [15]	33
Abbildung 13: Verlauf der Bodentemperatur in 2m Tiefe – Bereich Graz (Tagesmittel 2002-2005).....	34
Abbildung 14: Prinzip der Erdwärmesonde [aus 15].....	35
Abbildung 15: Wichtigste Bauformen von Erdwärmesonden [aus 15].....	35
Abbildung 16: Bau eines Erdwärmesondenfeldes (Fotos: G.Domberger).....	36
Abbildung 17: Erkundungsbohrungen im Bereich des Semmering Basistunnels (Tiefenkategorien).....	38
Abbildung 18: Skizze - Energiepfahl (aus [15]).....	40
Abbildung 19: Beispiele für den Aufbau von Bodenabsorber [15]	41
Abbildung 20: Thermische Nutzung des Grundwassers [15].....	43
Abbildung 21: Eisenbahntunnel in Betrieb, im Bau oder in Planung (österreichweit).....	44
Abbildung 22: Bestandstunnel im Bereich der ÖBB-Strecken	45
Abbildung 23: Bosrucktunnel – Geologische Übersicht.....	46
Abbildung 24: Bosruck – Tunnel – Wassermenge am Nordportal.....	47
Abbildung 25: Bosruck-Tunnel – Einleitestelle Tunnelwasser beim Südportal.....	47
Abbildung 26: Karawankentunnel (Eisenbahn-gelb, Autobahn-rot) – Geologische Übersicht.....	48
Abbildung 27: Tunnelprofil –Gesteinstemperaturen	51

Abbildung 28: Zentrale Ableitung unter dem Gleiskörper des Karawankentunnels.....	52
Abbildung 29: Einleitung des Tunnelwassers des Karawanken-Eisenbahntunnels	52
Abbildung 30: Karawanken-Autobahntunnel – Gesamtwassermenge Nordportal.....	54
Abbildung 31: aus [15] - Sommer: Wärmeeintrag in den Untergrund zur Gebäudekühlung im freien Kühlbetrieb (links) bzw. Winter: Wärmeentzug aus dem Untergrund zur Gebäudeheizung im Wärmepumpenbetrieb (rechts).....	56
Abbildung 32: Prinzipschema zur Funktion einer Wärmepumpe.....	57
Abbildung 33: Prinzipielle Schaltung einer Wärmepumpe.....	58
Abbildung 34: Wärmepumpen - Kreisprozess im (log p,h)-Diagramm	59
Abbildung 35: Nutzungsmöglichkeiten von Wärmepumpen (Quelle: Planungshandbuch Viessmann, www.viessmann.at/de/Nahwaermenetze/services/fachreihen.html).....	60
Abbildung 36: Lageskizze - Sportmittelschule Penzing.....	62
Abbildung 37: Verlegung der Absorberleitungen vor Errichtung der Bodenplatte, Quelle: ÖBB-Infrastruktur AG.....	63
Abbildung 38: Energiebodenplatte – Absorberfläche (aus [16])	64
Abbildung 39: Anlagenüberblick Crailsheim- aus [25]	67
Abbildung 40: Schnittzeichnung des Erdsonden-Wärmespeichers [aus 24]	67
Abbildung 41: Anlagenschema Crailsheim (aus [25]).....	68
Abbildung 42: Lageplan DB-Haltestelle Barbis.....	69
Abbildung 43: Beispiel Barbis – REHAU-Prospekt [12].....	70
Abbildung 44: Systemdarstellung Barbis (Reiner Wittig – Frenzel Bau, Internet-Recherche).....	70
Abbildung 45: Lageplan der Weiche im Bereich der Hafenbahn Hamburg (Großraum, Übersicht, Detail)	71
Abbildung 46: Weichenheizung – Hafenbahn Hamburg – Aufbau	72
Abbildung 47: Weichenheizung-Prinzip (HPA-Folder).....	73
Abbildung 48: Beheizte Gleitstühle.....	73
Abbildung 49: Erdwärmerohre – Verteilerschacht	74
Abbildung 50: Thermalbild – Verteilerschacht der Erdwärmerohre	74
Abbildung 51: Thermalbild – Weichengleitstuhl.....	75
Abbildung 52: Überblick Farchant-Garmisch-Partenkirchen (Tourismus-Folder).....	76
Abbildung 53: Lageskizze Weichen Farchant (Übersicht, Detail).....	76
Abbildung 54: Bohrklein einer Erdwärmesonde.....	77
Abbildung 55: Weiche 2 – Foto 1.....	78
Abbildung 56: Weiche 2 – Foto 2.....	78

Abbildung 57: Container mit Wärmepumpe und Regelungseinheit	79
Abbildung 58: Weiche 2 mit Wärmezuleitungen	79
Abbildung 59: Schema thermoaktivierter Bauteile (Quelle: www.beton.org)	81
Abbildung 60: Beispiele von Flächensystemen mit wasserdurchflossenen Rohren (Quelle: Meierhans/Olesen: Betonkernaktivierung).....	82
Abbildung 61: Schema Flächensysteme (Quelle www.sunline-heizflaechen.de).....	83
Abbildung 62: Aufbau und Anwendung von Heiz-/ Kühlpanelen (www.sunline-heizflaechen.de)	83
Abbildung 63: Beheizung (und mögliche Kühlung) einer Halle mit Deckenstrahlplatten (Quelle: www.best-bredemann.de).....	88
Abbildung 64: Idealisieretes Schema der saisonalen Wärme- und Kältespeicherung im Untergrund am Beispiel einer Energiepfahlanlage - aus [15].....	89
Abbildung 65: Bahnsteige im Bahnhof Leoben – Winter	91
Abbildung 66: Eis- und Schneefreihaltung mit Wasserentnahme aus dem Untergrund (aus [11]).....	92
Abbildung 67: Eis- und Schneefreihaltung ohne Wasserentnahme und mit Wärmespeicherung aus dem Untergrund (aus [11]).....	92
Abbildung 68: Projektstruktur gemäß Projektantrag	95
Abbildung 69: Bearbeitungsschema und Datengrundlagen - INFRAplusGEO.....	96
Abbildung 70: Infrastruktur – Analyse (INFRADATA, INFRAGIS).....	98
Abbildung 71: Wohnflächen der ÖBB (aufsummiert für Gemeinden – mit Bahnhöfen).....	99
Abbildung 72: Büroflächen der ÖBB (aufsummiert für Gemeinden – mit Bahnhöfen).....	100
Abbildung 73: Beurteilung des geothermischen Potenzials.....	102
Abbildung 74: Wärmeleitfähigkeiten der Gesteinseinheiten in Österreich.....	106
Abbildung 75: Wärmespeicherkapazitäten (Vergleich – min und max.) der Gesteinseinheiten in Österreich	107
Abbildung 76: Natürlicher Erdwärmefluss (Basisquelle: Geologischer Atlas – Geologische Bundesanstalt).....	108
Abbildung 77: Hydrogeologische Standorteignung (Basis: Hydrogeologische Karte – Geologische Bundesanstalt).....	109
Abbildung 78: Globalstrahlung Österreich (Quelle: GeoModel Solar)	110
Abbildung 79: Wärmebedarfsanalyse und Wärmebedarfsberechnung	111
Abbildung 80: Wärmebedarf des Gebäudebestandes – orientierend berechnet und auf Gemeindebasis aufsummiert.....	113

Abbildung 81: Auswahl von geothermisch begünstigten ÖBB-Betriebsstellen.....	114
Abbildung 82: Geowissenschaftliche Standorteignung für die Nutzung von Erdwärme	117
Abbildung 83: Geothermisches Potenzial - Nutzungsmöglichkeiten von geothermischer Energie im Bereich der ÖBB.....	119
Abbildung 84: Betriebsstellen mit sehr günstigen hydrogeologischen Rahmenbedingungen für eine Nutzung von Grundwasserwärmepumpen	121
Abbildung 85: Zu erwartende Wärmeleitfähigkeiten >3 W/mK	123
Abbildung 86: Übersichtsdarstellung der Pilotplanungen	125
Abbildung 87: Erdwärmesonden – Prinzipbild Wärmebilanz.....	132
Abbildung 88: Software-Oberfläche des EWS-Modules des Simulationsprogrammes FEFLOW.....	133
Abbildung 89: Bildschirmaufbau und Ergebnisdarstellung der verwendeten Software FEFLOW.....	134
Abbildung 90: REHAU – Erdwärmesonde RAUGEO Sonde PE100 (Dimensionen, Verlegung, Einbau)	135
Abbildung 91: Temperaturentwicklung in unterschiedlichen Tiefen in einer Entfernung von 1m zu einer Erdwärmesonde.....	137
Abbildung 92: 3D-Temperaturverteilung im Untergrund – Vergleich	138
Abbildung 93: 3D-Temperaturverteilung nach 1 Jahr, 10 Jahren und 30 Jahren	139
Abbildung 94: Temperaturentwicklung in einer Entfernung von 1m zu einer Erdwärmesonde in unterschiedlichen Tiefen (mit Aufladung durch solare Wärme)	140
Abbildung 95: Vergleich - Entnahmetemperatur und Rückführungstemperatur einer Erdwärmesonde.....	140
Abbildung 96: Vergleich Erdwärmesondennutzung ohne und mit solarthermischer Energiespeicherung.....	141
Abbildung 97: Prinzip der Erdwärmesonde [15]	142
Abbildung 98: Geologische Rahmenbedingungen – Standort Aspang (Quelle: GBA-online)	143
Abbildung 99: Luftbild - Bahnhofsgelände Aspang Markt.....	144
Abbildung 100: Geologische Rahmenbedingungen – Standort Hallein (Quelle: GBA-online)	145
Abbildung 101: Bahnhofsgebäude Hallein.....	146
Abbildung 102: Nutzungsprinzip – Beispielstandort Hallein	147
Abbildung 103: Spezifische Treibhausgasemissionen, Pilotplanung Aspang	157

Abbildung 104: Spezifische Treibhausgasemissionen, Pilotplanung Hallein..... 157

Abbildung 105: Gespannte Grundwasservorkommen in der Ost- und Weststeiermark [aus 21]..... 170

16 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Organisatorischer Projektablauf.....	9
Tabelle 2: Entzugsleistungen verschiedener Nutzungstechnologien von oberflächennaher Erdwärme (aus [15])	14
Tabelle 3: Analysetabelle – Betriebsstellen	20
Tabelle 4: Erdwärme- bzw. erdkälterelevante Anlagentypen der Anlagendatenbank der ÖBB	23
Tabelle 5: Feldinhalte des Datensatzes Gebäudestand	26
Tabelle 6: Gemessene Wassertemperaturen – Bosrucktunnel	46
Tabelle 7: Geothermisches Potenzial von Tunnels in der Schweiz (J.Wilhelm & L.Rybach)	55
Tabelle 8: Tunnelwassernutzungen in der Schweiz	55
Tabelle 9: Grundlagentabelle für die Berechnung des Heizwärmebedarfes im Bereich der ÖBB-Gebäude	85
Tabelle 10: Raumkategorien für die Berechnung des Wärmebedarfes	100
Tabelle 11: Thermische Gesteinseigenschaften auf Basis der geologischen Karte von Österreich und VDI-Richtwerten (farblich relativ abgestuft).....	105
Tabelle 12: Heizwärmebedarf der verschiedenen Gebäudekategorien bzw. Nutzungstypen	112
Tabelle 13: Statistik der Betriebsstellen mit sehr günstigen hydrogeologischen Rahmenbedingungen	122
Tabelle 14: Statistik der Betriebsstellen mit günstigen hydrogeologischen Rahmenbedingungen	122
Tabelle 15: Empfohlenes Monitoring bei verschiedenen Nutzungstechnologien (aus 15) ..	130
Tabelle 16: Beobachtungspunkte unmittelbar im Bereich einer Erdwärmesonde in unterschiedlichen Tiefen.....	136
Tabelle 17: Solarthermische Anlage – Annahmen für Simulation	138
Tabelle 18: Zusammenstellung der technischen Daten zur Pilotplanung Aspang Markt.....	144
Tabelle 19: Zusammenstellung der technischen Daten zur Pilotplanung Hallein.....	146
Tabelle 20: Zusammenstellung der Investitionskosten ohne Förderung	149
Tabelle 21: Zusammenstellung der kapitalgebundenen Betriebskosten	149
Tabelle 22: Zusammenstellung Summe der sonstigen Kosten der Pilotplanungen	150
Tabelle 23: Statische Annuitätenberechnung, Aspang.....	151
Tabelle 24: Statische Annuitätenberechnung, Hallein	151

Tabelle 25: Untersuchte Treibhausgase und deren CO ₂ -Äquivalenzfaktoren [30]	154
Tabelle 26: Zusammensetzung ÖBB Strommix 2013.....	155
Tabelle 27: Treibhausgasbilanzierung, Zusammenfassung der Ergebnisse	158
Tabelle 28: Regelungen der einzelnen Bundesländer - Status 15.4.2012 [aus 22].....	169

17 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Beschreibung / Vollbezeichnung	Kapitel
GIS	Geografisches Informationssystem	1
AP	Arbeitspaket	1
HDR	Hot Dry Rock	4.1.2
HFR	Hot Fractured Rock	4.1.2
EGS	Enhanced Geothermal System	4.1.2
NASA-DHM	Digitales Höhenmodell der Geländeoberfläche der NASA	5.2.1
HD-PE	High Density Polyethylen	7.1.3
MJ/m ² K	Einheit für Wärmepemicherkapazität	9.3.2
ZAMG	Zentralanstalt für Meterologie und Geodynamik	9.5
GW	Grundwasser	11.2
EWS	Erdwärmesonden	11.4.4
WRG	Wasserrechtsgesetz	12.4
kWh	Kilowattstunde	11.5.
kWh/a	Kilowattstunden pro Jahr	11.5.
MWh	Megawattstunde	11.7.
GuD	Gas und Dampf - Kombikraftwerk	11.7.
WP	Wärmepumpe	diverse