



Schnee- und Eisfreihaltung mit Hilfe der kombinierten Nutzung und Speicherung von Erdwärme und solarer Wärme **SEVES** (**S**onne & **E**rde **V**ersus **E**is & **S**chnee)

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung 2013
(**VIF2013**)

Mai, 2016



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





Schnee- und Eisfreihaltung mit Hilfe der kombinierten Nutzung und Speicherung von Erdwärme und solarer Wärme SEVES

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2013)

AutorInnen:

Dipl.-Ing. Gunnar Domberger (Projektleiter)

Dipl.-Ing. Kurt Könighofer

Dipl.-Ing. Dr. Reinhard Padinger

Dipl.-Ing.(FH) Stefan Gunczy

Dipl.-Ing.ⁱⁿ(FH) Dipl.-Ing.ⁱⁿ Johanna Pucker

(JOANNEUM RESEARCH)

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

INHALTSVERZEICHNIS

1	Projektziele.....	11
2	Methodik.....	12
3	Projekttablauf	15
4	Projektrahmenbedingungen	16
5	ÖBB-Expertenteam	16
6	Stand der Technik	17
7	Internationale Projektbeispiele	19
7.1	Einleitung	19
7.2	Projektübersicht USA (aus [35])	19
7.3	Projektübersicht Europa	21
7.3.1	Das Projekt „QuaWiDiS“ (Deutschland)	23
7.3.2	SERSO - Sonnen-Energie-Rückgewinnung aus Straßenoberflächen (Schweiz) [43]	23
7.3.3	Haringvliet (Niederlande).....	25
7.3.4	Deutsche Bahn - Bad Lautenberg –Haltepunkt Barbis (Deutschland).....	26
7.3.5	Brücke Berkethin – Brückenbeheizung mit Grundwasser (ohne Wärmepumpeneinsatz) (Deutschland).....	28
7.3.6	Diverse andere relevante Projekte in Europa	31
7.4	Projektübersicht Japan	31
8	Verwendete Software	33
8.1	Geografisches Informationssystem - GIS.....	33
8.2	Wärmehaushaltssimulation, hydraulische Simulation	33
9	Geografische Datengrundlagen	34
9.1	Datenerhebung, Datengrundlagen	34
9.2	Geografische Basisdaten	34
9.3	Geologische Karten	35
9.4	Infrastrukturelle Rahmenbedingungen der ÖBB	35
9.4.1	Streckenverläufe und Tunnel	36
9.4.2	ÖBB-Verkehrsstationen.....	37
9.4.3	Grundstücke im Eigentum der ÖBB	37

9.4.4	Flächen mit erforderlicher Winterbetreuung der ÖBB	37
10	Fachliche Grundlagen	38
10.1	Klimatische Rahmenbedingungen – Schnee und Eis in Österreich.....	38
10.2	Formen der Glättebildung.....	40
10.3	Solarthermisches Potenzial (Solarstrahlung, Globalstrahlung).....	40
10.3.1	Solarthermisches Potenzial - Österreich.....	40
10.3.2	Solarthermisches Potenzial - Detaildarstellung Oberösterreich.....	41
10.3.3	ZAMG-Daten	45
10.3.4	Detailbeispiel - Verkehrsstation Windischgarsten	45
11	ASFINAG-Klimadaten	46
12	Methoden und Kostenanalyse - Derzeitige Vorgangsweise der Winterbetreuung der Freiflächen.....	51
12.1.1	Kostenangaben der ÖBB	51
12.1.2	Flächenangaben.....	51
13	Verkehrsstationen im Bereich der ÖBB.....	52
13.1	Verkehrsstationen der ÖBB.....	52
13.2	Detailbeispiel - Kirchdorf an der Krems.....	53
14	Energiequelle - Analyse des Geothermischen Potenzials	56
14.1	Erdwärme	56
14.1.1	Beschreibung des geothermischen Potenzial nach Tiefenlage und Nutzungsart.....	56
14.1.2	Gliederung hinsichtlich Tiefenlage der geothermischen Energiequelle	56
14.1.3	Gliederung nach der Nutzungsart bzw. nach der thermischen Quelle.....	57
14.1.4	Oberflächennahe Erdwärme	58
14.1.5	Mitteltiefe Erdwärme.....	59
14.1.6	Tiefe Erdwärme	59
14.1.7	Nachhaltigkeit der Nutzung von Erdwärme.....	60
14.1.8	Nutzungsmöglichkeiten von oberflächennaher Erdwärme – Technische Prinzipien	60
14.1.8.1	Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme	60
14.1.8.1.1	Erdwärmekollektoren	61
14.1.8.1.2	Erdwärmesonden, Erdwärmesondenfelder	61

14.1.8.1.3	Erdwärmerohre - Pumpenlose Erdwärmesonden	64
14.1.8.1.4	Energiepfähle bei Baugründungen.....	65
14.1.8.1.5	Massivabsorber	66
14.1.8.2	Nutzung von Erdwärme mit Wasserentnahme aus Untergrund	66
14.1.8.2.1	Grundwassernutzung	66
14.1.8.2.2	Nutzung von Tunnelwasser.....	67
14.1.8.2.3	Tunnelwassernutzung in der Schweiz	70
14.1.9	Saisonale Speicherung von Wärme im Untergrund	71
14.2	Beurteilungsgrundlagen - Geothermisches Potenzial	74
14.2.1	Datengrundlage zur Analyse des geothermischen Potenzials bei den Verkehrsstationen 74	
14.2.2	Grundlegende Bemerkungen	74
14.2.3	Bewertungsmaßstab, Detailierungsgrad	75
14.2.4	Geologische Tiefeninformationen.....	75
14.2.5	Thermische Gesteinsparameter des Untergrundes	76
14.2.5.1	Wärmeleitfähigkeiten.....	78
14.2.5.2	Spezifische Wärmespeicherkapazitäten	80
14.2.5.3	Natürlicher Erdwärmefluss.....	82
14.2.6	Hydrogeologische Standorteignung	82
14.2.7	Tunnelwassernutzung	84
14.3	Nutzungsmöglichkeiten	85
14.4	Analyse von geothermisch begünstigten Verkehrsstationen	85
14.4.1	Verkehrsstationen und Standorteigenschaften für die thermische Grundwassernutzung 86	
14.4.2	Verkehrsstationen und Standorteigenschaften für die thermische Nutzung der Erdwärme ohne Wasserentnahme	88
14.4.2.1	Standortkriterien für die Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund 90	
14.4.2.2	Standortkriterien für die geothermische Nutzung von Grundwasser.....	90
15	Technische Umsetzung - Gesamtkonzepte zur Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärme	91
15.1	Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen und Freiflächen	91

15.1.1	Eis- und Schneefreihaltung mit Grundwasserentnahme.....	91
15.1.2	Eis- und Schneefreihaltung mit Grundwasserentnahme und Wärmepumpenunterstützung.....	92
15.1.3	Eis- und Schneefreihaltung mit Tunnelwassernutzung.....	93
15.1.4	Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden.....	94
15.1.5	Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Wärmepumpenunterstützung.....	95
15.1.6	Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Speicherung solarer Wärme... ..	96
15.1.7	Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Speicherung solarer Wärme mit Wärmepumpenunterstützung.....	97
15.2	Technische Dimensionierung und bauliche Rahmenbedingungen.....	98
15.2.1	Bahnsteigaufbau.....	98
15.2.2	Bahnsteigaufbau – Baustellendokumentation Hauptbahnhof Graz.....	100
15.2.3	Mögliche Unterbauvarianten und Bauformen von Freiflächenheizungen.....	103
15.2.4	Heizleitungen.....	105
15.2.4.1	Rohrmaterialien.....	105
15.2.4.2	Heizleitungsdimensionierung.....	106
15.2.5	Solarthermische Anlagenkomponenten.....	106
15.3	Wärmepumpenunterstützung.....	110
15.4	Berücksichtigung von Wartekojen – „Qualität der Wartebereiche – energieautarkes Konzept“ – Projekt NEMO.....	113
15.5	Regelung und Energieversorgung.....	113
15.6	Anlagenmonitoring.....	115
16	Technisch-ökonomische Analyse ausgewählter gesamt-konzepte.....	117
16.1	Energieströme und Leistungsbedarf - Rechenmodell.....	117
16.2	Modellrechnungen für drei ausgewählte Standorte.....	119
16.3	Kostenübersicht Österreich.....	121
16.4	Methodik der ökonomischen Bewertung der Anlagen.....	122
16.4.1	Kapitalkosten.....	122
16.4.2	Betriebsgebundene Kosten (Kapitalgebundene Kosten).....	123
16.4.3	Verbrauchsgebundene Kosten (Sonstige Betriebskosten).....	123

16.4.4	Jahresgesamtkosten	123
16.4.5	Spezifischen Jahreskosten.....	123
16.5	Ökologische Rahmenbedingungen	124
16.5.1	Überblick über die Umweltrelevanz von auftauenden und abstumpfenden Streumitteln 124	
16.5.2	Abschätzung von Treibhausgas-Emissionen und kumulierter Primärenergie	125
17	Exemplarische Pilotplanungen	127
17.1	Auswahl der Standorte für die exemplarischen Pilotplanungen.....	127
17.1.1	Detailauswahl - Erdwärmenutzung mit Wasserentnahme aus dem Untergrund	129
17.1.2	Detailauswahl - Erdwärmenutzung ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund	129
17.1.3	ÖBB-Experten-Input aus Projektbesprechungen	130
17.1.4	Zusammenfassung der ausgewählten Pilotstandorte	132
17.1.5	Pilotplanungsstandorte – Übersicht.....	134
17.2	Pilotplanung 1 – Verkehrsstation Pinsdorf - Eis- und Schneefreihaltung mit thermischer Grundwassernutzung.....	136
17.2.1	Standortbeschreibung	136
17.2.2	Standortbedingungen	137
17.2.3	Anlagenbeschreibung.....	138
17.2.4	Brunnenstandorte	139
17.2.5	Energiebedarfsberechnung – Pinsdorf.....	140
17.2.6	Ökonomische Analyse - Pinsdorf	149
17.3	Pilotplanung 2 – Verkehrsstation Bad Vigaun - Eis- und Schneefreihaltung mit thermischer Grundwassernutzung.....	151
17.3.1	Standortbeschreibung	151
17.3.2	Standortbedingungen	152
17.3.3	Anlagenbeschreibung.....	153
17.3.4	Brunnenstandorte	153
17.3.5	Energiebedarfsberechnung – Bad Vigaun	154
17.3.6	Ökonomische Analyse – Bad Vigaun	163

17.4	Pilotplanung 3 – Verkehrsstation Oberfalkenstein - Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Speicherung solarer Wärme.....	165
17.4.1	Standortbeschreibung	165
17.4.2	Standortbedingungen	167
17.4.3	Anlagenbeschreibung.....	167
17.4.4	Energiebedarfsberechnung – Oberfalkenstein.....	170
17.4.5	Ökonomische Analyse - Oberfalkenstein	179
18	Pilotplanungen - Energiebedarf – Gesamtbetrachtung und Schlussfolgerungen	181
19	Pilotplanungen - Ökonomische Analyse – Gesamtbetrachtung und Schlussfolgerungen	183
20	Pilotplanungen – Ökologische Analyse – Gesamtbetrachtung und Schlussfolgerungen	185
21	Pilotplanungen - Erforderliche Planungsgrundlagen.....	187
22	Umweltrechtliche Rahmenbedingungen, Wasserwirtschaftliche Grundsätze, wasserrechtliche Aspekte.....	191
22.1	Wasserwirtschaftliche Relevanz, Umweltwirkungen	191
22.2	Allgemeine wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmennutzungen im oberflächennahen Bereich.....	191
22.3	Mögliche negative Veränderungen der Grundwasserkörper und des Untergrundes.....	193
22.4	Wasserrechtliche Rahmenbedingungen, Wasserrechtsgesetz WRG.....	193
22.4.1	Anlagen mit einer thermischen Nutzung des Grundwassers	194
22.4.2	Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes (EWS, Energiepfähle)	195
22.5	Wasserrechtliche Planungsaspekte	196
22.5.1	Allgemeine Planungsaspekte für die thermische Nutzung von Grundwasser	196
22.5.2	Planungsaspekte - Erdwärmesonden und Energiepfähle	197
22.5.3	Planungsaspekte - Direkte Nutzung von Grundwasser	198
22.6	Ablehnungsgründe	199
23	Weitere diskutierte Aspekte und Themen	201
24	Empfehlungen	202
25	Zusammenfassung.....	203
25.1	Ausgangslage und Problemstellung.....	203
25.2	Gewählte Methodik.....	203

25.3	Ergebnisse.....	203
25.4	Schlussfolgerungen.....	204
25.4.1	Allgemeine Schlussfolgerungen.....	204
25.4.2	Ökonomische Schlussfolgerungen.....	205
25.4.3	Technische Schlussfolgerungen.....	205
26	Literaturverzeichnis.....	208
27	Abbildungsverzeichnis.....	212
28	Tabellenverzeichnis.....	218

1 PROJEKTZIELE

Ziel des Projektes SEVES (**S**onne&**E**rde **V**ersus **E**is&**S**chnee) war die Analyse und Darstellung der Potenziale und der realistischen (technisch, ökonomisch, ökologisch, betrieblich) Möglichkeiten im Bereich der Infrastruktur der ÖBB geothermische und im Untergrund gespeicherte solare Energie für eine Eis- und Schneefreihaltung von Freiflächen wirtschaftlich zu nutzen und in weiterer Folge die Sicherheit und den Komfort von Bahnreisenden und Personal zu gewährleisten.

Für die Beurteilung der aktuellen Vorgangsweise beim Winterdienst erfolgten eine Analyse der derzeitigen angewandten Methoden der Eis- und Schneefreihaltung im Bereich der ÖBB und die zugehörige Kostenanalyse.

Für die Darstellung der umsetzbaren geothermischen und solarthermischen Potenziale erfolgte eine systematische Bearbeitung der geothermischen und klimatischen Rahmenbedingungen, der infrastrukturellen Gegebenheiten und des Energiebedarfs für die Eis- und Schneefreihaltung mit Hilfe geothermischer und gespeicherter solarer Wärme in einem Datenbank-GIS-System.

Auf Basis dieser Potenzialanalyse wurden Gesamtkonzepte und Pilotanlagen entwickelt, die mit Hilfe von Simulationen des Wärmehaushalts der zu beheizenden Freiflächen numerisch bewertet wurden.

Die Untersuchungsergebnisse dienen letztendlich zur Erarbeitung kombinierter Nutzungskonzepte, welche in Abstimmung mit einer Expertengruppe der ÖBB in mögliche Umsetzungsprojekte an besonders zielführend erscheinenden Standorten einfließen sollen.

2 METHODIK

Entsprechend der dargestellten Ausgangssituation und Problematik zielt das Projekt SEVES auf folgende Inhalte ab.

- Analyse der bestehenden Praxis der Winterbetreuung der Freiflächen im Bereich der ÖBB
- Systematische Kostenanalyse und ökonomische Gegenüberstellung der angewandten Methoden
- Darstellung der Möglichkeiten mit Erdwärme und gespeicherter solarer Wärme einen nachhaltigen Beitrag zur Eis- und Schneefreihaltung von Freiflächen im Bereich der ÖBB zu liefern
- Analyse der realistischen Umsetzbarkeit dieser methodischen Ansätze anhand von Pilotplanungen an ausgewählten Verkehrsstationen.

Diese Inhalte sind 6 Arbeitspakete organisatorisch gegliedert (siehe dazu auch Abbildung 1):

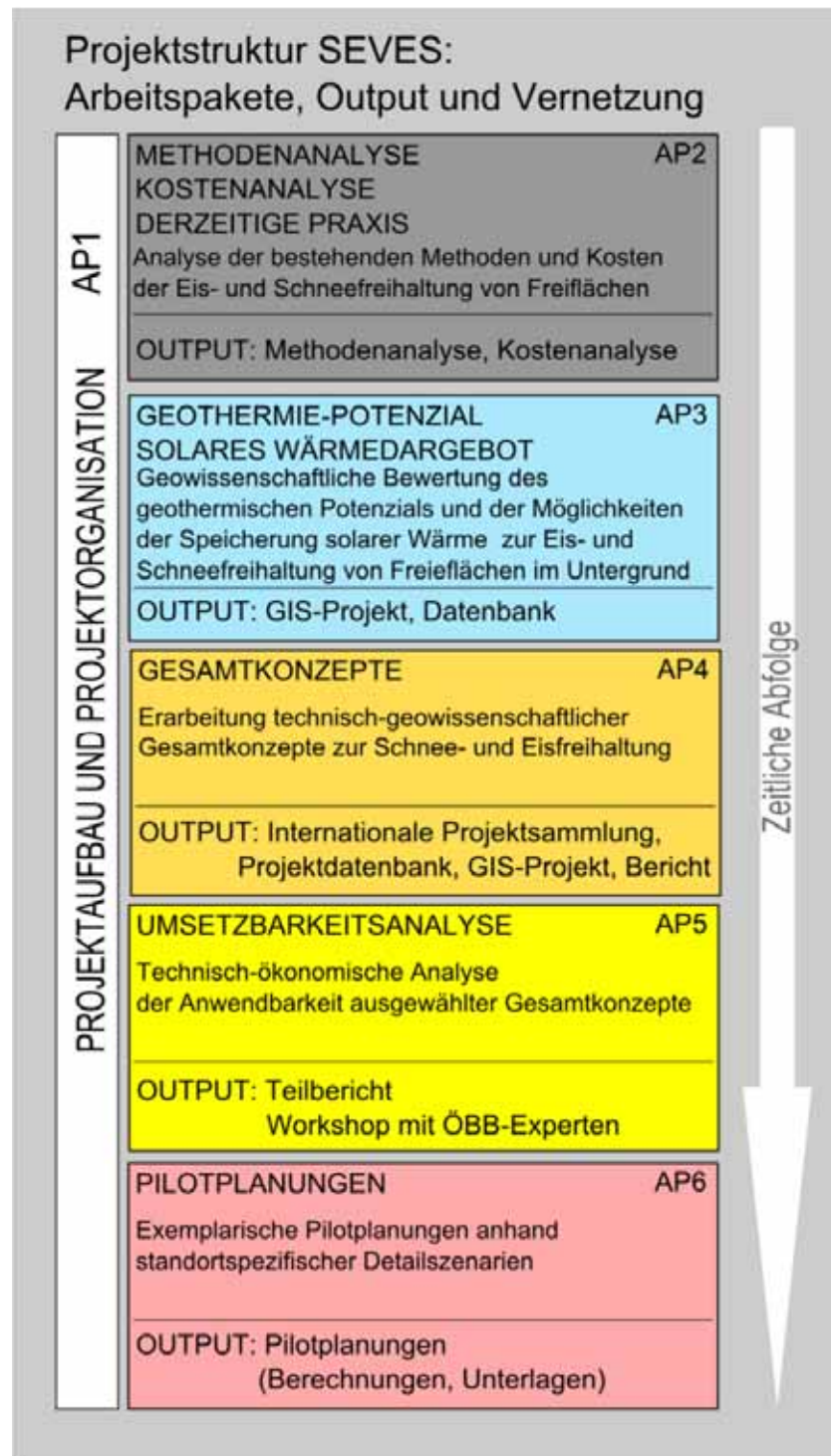


Abbildung 1: Projektstruktur, Arbeitspakete und Output (aus SEVES-Projektantrag)

Im Projekt SEVES wurden die Möglichkeiten und die Wirtschaftlichkeit untersucht die dargestellten Methoden der Winterbetreuung der Freiflächen durch eine Kombination von Erdwärme und solarer Wärme zu substituieren.

Im Detail wurden dabei folgende Energiequellen und deren Kombinationen in die Betrachtungen einbezogen:

- Solarkollektoren (vor allem als saisonale Speicherenergie)
- Wirkung und Nutzung von eis- und schneefreizuhaltenden Flächen als Wärmekollektor zur Speicherung solarer Wärme im Untergrund
- Einzelne Erdwärmesonden, Erdwärmesondenfelder
- Grundwassernutzung mittels Förderbrunnen und Schluckbrunnen (ohne Einsatz von solarer Wärme)
- Tunnelwassernutzung im Bereich von Portalbahnhöfen (ohne Einsatz von solarer Wärme)

Die Anwendung dieser Energieformen und geothermischen Nutzungsmethoden für die Eis- und Schneefreihaltung von Freiflächen erfolgt letztendlich mit Flächenheizungen im Unterbau dieser Freiflächen.

Die Projektbearbeitung erfolgte entsprechend den verfügbaren Datensätzen und Grundlagedaten der ÖBB. Diesbezüglich ist zu erwähnen, dass bereits im Projekt INFRAplusGEO (VIF 2011) wesentliche Datengrundlagen erhoben und systematisch aufbereitet wurden, die im aktuellen Projekt SEVES sehr effizient eingebunden werden konnten.

Dabei wurde eine umfangreiche bundesweite Projektbearbeitung (Potenzialanalyse, Bedarfsanalyse) durchgeführt. Auf Basis der infrastrukturellen Gegebenheiten und energietechnischen Rahmenbedingungen der ÖBB erfolgte eine umfassende Übersichtsanalyse des vorhandenen geothermischen Potenzials und der Nutzungsmöglichkeiten von Erdwärme im Bereich der ÖBB.

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

3 PROJEKTABLAUF

Die Laufzeit des Projektes war von 1.7.2014 bis 31.12.2015 mit 18 Monaten geplant. In Abstimmung mit der Projektkoordination der ÖBB erfolgte eine 3-monatige Projektverlängerung bis 31.3.2016.

Der organisatorische Projektlauf ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Projektereignis	Datum	Ort
Projektstart	01.07.2014	-
1. Projektbesprechung	28.10.2014	ÖBB - Wien
2. Projektbesprechung	08.05.2015	ÖBB - Wien
Zwischenbericht	30.06.2015	-
Festlegung der Pilotplanungsstandorte	10.12.2015	-
Fristerstreckung (bis 31.März 2016)	15.12.2015	-
3. Projektbesprechung (Ergebnispräsentation)	10.03.2016	ÖBB - Wien
Projektende, Berichtlegung	31.03.2016	-

Tabelle 1: Organisatorischer Projektlauf

4 PROJEKTRAHMENBEDINGUNGEN

Generell ist die ÖBB daran interessiert den Anteil des Einsatzes erneuerbarer Energieformen unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu erhöhen. Die grundsätzlichen Vorstellungen dazu sind schon im Nachhaltigkeitsbericht 2012 der ÖBB zusammengefasst. In diesem Bericht sind auch Hinweise bezüglich der Nutzung von Erdwärme hervorgehoben. Die Nutzung von Erdwärme wurde an einigen Standorten der ÖBB bereits umgesetzt.

Insgesamt wird von der ÖBB eine Fläche von 5.200.000 m² zur Winterbetreuung ausgeschrieben (gemäß ÖBB-Email) und fast ausschließlich an externe Dienste vergeben.

Freiflächenheizungen zur Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen und ähnlichen Flächen im Bereich der ÖBB existieren derzeit noch nicht. Es liegen auch keine Informationen über die Nutzung von Solarthermie im Bereich der ÖBB vor.

Daraus folgt, dass im Besonderen auch keine erdwärmegespeisten, solarwärmegestützten Freiflächenheizungen bestehen.

Daraus ergibt sich im Rahmen des Projektes SEVES für die Infrastruktur der ÖBB ein völlig neuer Ansatz zur Winterbetreuung von Freiflächen.

5 ÖBB-EXPERTENTEAM

Dem Expertenteam, welches seitens der ÖBB zusammengestellt wurde, gehörten folgende Personen an:

- Dipl.-Ing. Andreas Schön (Projektleiter)
- Wilhelm Bauer
- Ing. Christian Leeb
- Thomas Scheibenbauer
- Dipl.-Ing. Wolfgang Zandra
- Helmut Himmelbauer

An dieser Stelle bedankt sich das Projektteam von JOANNEUM RESEARCH für die interessanten Diskussionen, den fachlichen Input und die Zeit, die die genannten ÖBB-Experten dem Projekt SEVES zur Verfügung gestellt haben.

6 STAND DER TECHNIK

Glatteis, Schneeglätte und Schnee stellen auf durch Personen genutzten Freiflächen eine große Behinderung und ein Gefährdungspotential dar.

Aus diesem Grund sind diese Flächen eis- und schneefrei zu halten. Bei den meist kleinen Freiflächen im Bereich der ÖBB (Bahnsteige, Rampen, Treppen, Unterführungen) erfolgt die Winterbetreuung manuell oder maschinell und unter Einsatz von Streumitteln. Diese Vorgangsweise ist aber auch nachteilbehaftet, sodass schon in den 1950er Jahren erste Überlegungen zur Beheizung von Freiflächen angestellt wurden.

Die nachteiligen Auswirkungen sind:

- Personal- und kostenintensive Tätigkeiten
- Split und andere Streumittel werden vom Wind vertragen und verursachen in Bahnhöfen und an Zügen Sekundärschäden an Bodenbelägen und anderen technischen Einrichtungen
- Streusalz verursacht Umwelt- und Korrosionsschäden

Gegenüber der manuellen Winterbetreuung hat die Nutzung von Freiflächenheizungen den großen Vorteil der kontinuierlichen Eis- und Schneefreihaltung. Damit sind auch der Komfort- und die Sicherheit der Personen kontinuierlich gesichert. Eine anforderungsgerechte Dimensionierung des Freiflächenheizungssystems ist dafür eine absolut erforderliche Voraussetzung.

Verschiedene Energieformen können für die Speisung von Freiflächenheizungen herangezogen werden. Neben konventionellen Heizleitungen mit unterschiedlichen Wärmequellen kommen vor allem auch elektrische Freiflächenheizungen zum Einsatz.

Die Energiequellen der konventionellen, flüssigkeitsgefüllten Heizleitungen können unterschiedlich sein:

- Herkömmliche fossile Energieträger
- Abwärme aus verschiedenen Bereichen
- Regenerative Energieformen

Innerhalb des Projektes SEVES wird die regenerative Energiequellenkombination Erdwärme/Solarthermie näher untersucht.

Im folgenden Kapitel 7 werden internationale Projektbeispiele dazu aufgelistet.

7 INTERNATIONALE PROJEKTBEISPIELE

7.1 Einleitung

International existieren nicht besonders viele Projekte, die Erdwärme mit oder ohne solare Wärme für die Eis- und Schneefreihaltung heranziehen.

In den USA, Japan und Europa wurden verschiedene Projekte, die sich mit der SEVES-Thematik beschäftigen umgesetzt.

Oft liegen davon sehr detaillierte Projektbeschreibungen und Publikationen vor, die Grundlagen der folgenden Kapitel sind. Im Rahmen der Kapitel 7.2 und 7.3 wird auf Projekte eingegangen, die für das gegenständliche Projekt SEVES relevant sind. Auf eine Detaildarstellung der Projekte aus Japan wird verzichtet, da hier teilweise die geologischen Rahmenbedingungen in keiner Weise mit österreichischen Rahmenbedingungen vergleichbar sind.

7.2 Projektübersicht USA (aus [35])

In den USA wurde in den 1990ern ein Aktionsprogramm durchgeführt, innerhalb dessen einige Brücken mit Freiflächenheizungen ausgestattet wurden. Die Energiequellen wurden dabei variiert und umfassten auch Erdwärmennutzungen.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über diese Projekte.

Einzelne Projekte aus diesem werden im Folgenden auch textlich kurz zusammengefasst.

	Oregon / Silver Creek Bridge	Oregon / Highland Zoo Brücke	Oregon / Hood River / Union Pacific Railroad - overcrossing	Oregon / Hood River	Oregon / Hood River	Oregon / Hood River	Nebraska / Lincoln	Amarillo / Texas	Virginia / Buffalo River Bridge	West-Virginia
	Eisfreihaltung einer Brücke mit Grundwasserwärmepumpe	Elektrisch beheizte Brücke	Brücke über Eisenbahn - elektrisch beheizt	I 84 West / Eisfreihaltung einer Brücke mit Grundwasserwärmepumpe	I 84 Center / Elektrisch beheizt	I 84 East / Gasbeheizt	Gasbeheizte Brücke	2-teilig / Erdwärmesonden	Heat pipe mit Propan-Brenner	Elektrisch beheizt
Geothermie	x			x				x		
Schneefreihaltung	x	x		x	x	x	x		x	
Schneefallhöhe, ca. [cm/a]	13,5	13,5		13,5	13,5	13,5	88	43	53	91 (?)
Eisfreihaltung								x		x
Nutzung von Erdwärmesonden								x		
Wärmespeicherung über Erdwärmesonden										
Grundwasseremutzung	x			x						
Heizung über Strom		x	x		x					x
Heizung über Gas						x	x		x	
Wärmepumpenanzahl										
Liefertemperatur Heizbetrieb [°C]	49									
Rücklauf [°C]	32									
Beheizte Fläche [m ²]	576	1182	1752	598	407	636	1599	2x799	482	843
Wärmeleistung im Belag [W/m ²]	393	323	646	694	754	694	530	129	630	516
Sondenanzahl								2x50		
Sondenlänge [m]								53,6		
Sondengesamtlänge [m]								5360		
Grundwassermenge [l/s]		9,5		15,8						
Grundwassertemperatur [°C]		11		15						
Bemerkungen	zusätzlich Bewässern der Oberfläche möglich							Teil Nord - mit Wärmepumpe, Teil Süd - ohne Wärmepumpe	liefert nicht immer die ausreichende Energie	
Kosten [\$]	411.000	335.297		307.200	104.460	332.800	289.000	1.200.000	181.500	180.000
Betriebskosten [\$/a]	9.200	12.460		9.900	6.960	4.135	-	8.880	2.160	600-920

Tabelle 2: Projektbeispiele USA – Brückenbeheizungen [32,45]

Silver Creek Bridge – Oregon

Eisfreihaltung einer Brücke mit einer Grundwasser-Wärmepumpen-Lösung:

Bei diesem Projekt wurde die Eis- und Schneefreihaltung einer Brücke mit einer Grundwasserwärmepumpe realisiert.

Dabei werden etwa 9,5 l/s Grundwasser mit einer Temperatur von etwa 11°C über eine Wärmepumpe geführt. In dieser Wärmepumpe wird eine Heiztemperatur im Vorlauf von 49°C erreicht. Die Rücklauftemperatur beträgt etwa 32°C. Die erzielte Temperaturdifferenz stellt die erforderliche Heizleistung zur Verfügung.

Die Heizleistung des Systems wurde auf 393 W/m² ausgelegt. 576m² werden mit diesem System eis- und schneefrei gehalten.

7.3 Projektübersicht Europa

Tabelle 3 gibt einen Überblick über ausgewählte Projekte in Europa.

In den darauf folgenden Kapiteln werden einzelne Projekte näher beschrieben.

	SERSO (CH)	SERSO PLUS	QuaWiDis	Bad Lautenberb - Barbis (D)	Reykjavik (Island)	Berkethin (D)	Holdsworth	Haringvliet
	Sonnen-Energie-Rückgewinnung aus Straßenoberflächen	Machbarkeitsstudie (CH)	Prototyp-Testanlage	Bahnsteig-Eisfreihaltung mit Erdwärmesonden	Nutzung von Thermalwasser	Brückenbeheizung mit Grundwasser	Niederlande	
Geothermie	x	x	x	x	x	x		
Schneefreihaltung				x				
Eisfreihaltung	x	x		x				
Nutzung von Erdwärmesonden	x	x		x				
Wärmespeicherung über Erdwärmesonden	x	x		x				
Grundwassernutzung						x		x
Liefertemperatur Heizbetrieb [°C]	6 - 10	10						6 - 14
Anlagenbetrieb, max. [h/a]	850	750						
Aufladung des Speichers, max. [h/a]	1000	1000						
Länge der beheizten Fläche [m]		14800		150				
Breite der beheizten Fläche [m]		div.						
Beheizte Fläche [m²]	1300	381325		600	250000			600
Wärmeleistung im Belag [W/m²]	100* - 240**	90	228	130				
Sondenanzahl	91	-	3	9				
Sondenlänge [m]	65	350	100	200				
Sondengesamtlänge [m]	5915		300	1800				
Einspeiseleistung (Sommer), [W/m]	28							
Eingespeicherte Wärme, [kWh/a]	126000							
Entzugsleistung (Winter), [W/m]	20	60						
Geothermische Energie, max. [kWh/a]	62300							
Gesamtenergie für den Belag [kWh/a]	62300							
Gesamtenergie für den Belag [kWh/m²]	97	72						
Flächenkollektor	Edelstahlrohre			3000 lfm Rauway-Rohre				
Erzeugte Oberflächentemperatur [°C]	3-4							
Speichertemperatur im Untergrund [°C]	10-14							
Erdwärmesondenlänge / m² Brückenfläche	4,6		7,6 - 15,2					
Grundwassertemperatur [°C]						11,5		
Bemerkungen						Brunnen +100m tief; artesische Verhältnisse; Pumpbetrieb dennoch erforderlich		

Tabelle 3: Übersicht - Projekte in Europa

7.3.1 Das Projekt „QuaWiDiS“ (Deutschland)

Innerhalb des Endberichtes des Projektes von QuaWiDiS [41] erfolgt eine umfassende Darstellung der Untersuchungsmethodik, der Planung, der Umsetzung und der Beurteilung der Prototypanlage.

In [41] sind die geotechnischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Nutzung der 3 Erdwärmesonden detailliert dargestellt.

Auf Basis der Voruntersuchungen wurde ein Fertigteilbahnsteig (Systembahnsteig modular der Firma Hering Bau) herangezogen und weiterentwickelt (siehe Abbildung 2).

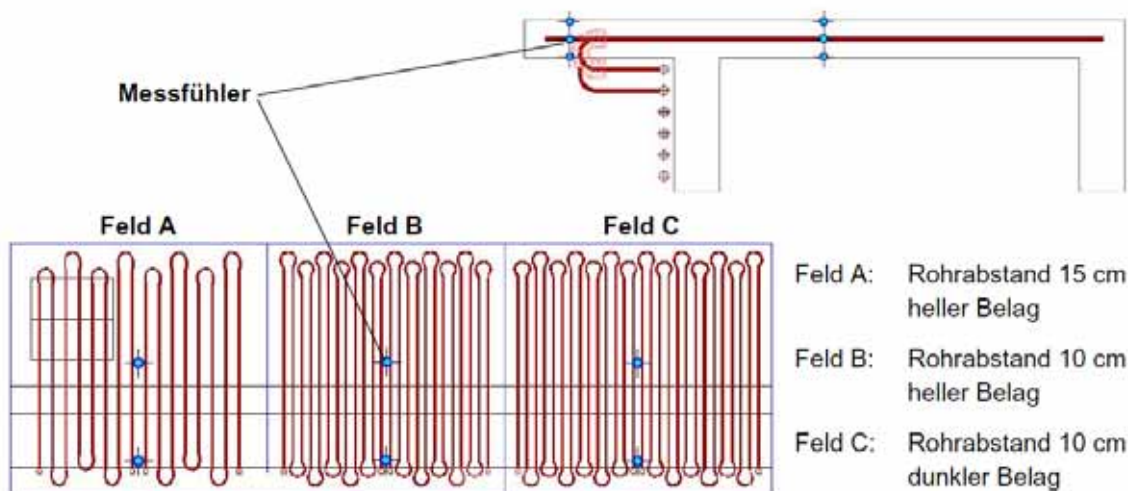


Abbildung 2: Anordnung der getesteten Rohrschleifenkonfigurationen und der Messfühler beim QuaWiDiS-Prototyp [41]

7.3.2 SERSO - Sonnen-Energie-Rückgewinnung aus Straßenoberflächen (Schweiz) [43]

1994 wurde im Verlauf der A8 am Thuner See (Schweiz) eine mit einem Temperierungssystem ausgestattete Betonbrücke in Betrieb genommen (siehe Abbildung 3). Die Wärmeversorgung erfolgt über ein Erdwärmesondenfeld, das als saisonaler Speicher betrieben wird (SERSO) [43].

Das SERSO-Projekt ist aus der Idee entstanden eine Brücke mit Hilfe von gespeicherter Solarwärme eisfrei zu halten. Das Konzept basiert auf der saisonalen Speicherung der Wärmeenergie im Erdreich. Die im Sommer von der Brücke akkumulierte und mit Hilfe von Erdwärmesonden im Boden gespeicherte Solarenergie, wird im Winter zur Enteisung der

Brücke genutzt. In der Brückenfahrbahn verlegte Leitungsregister dienen im Sommer zur Einsammlung der solaren Wärme und im Winter zur Beheizung der Fahrbahn. Abgesehen von der elektrischen Energie, die für die Umwälzpumpen benötigt wird, ist das System so konzipiert, dass es keine zusätzliche Energie beansprucht.

Da das System ohne zusätzliche Energie funktioniert, ist es nicht immer möglich zu garantieren, dass die Fahrbahn warm genug ist um die Bildung von Eis zu vermeiden. Es ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass diese Rahmenbedingungen klar den Zielen des Projektes SEVES widersprechen.

Im Rahmen des Projektes SERSO erfolgten auch umfangreiche Simulationen der thermischen Prozesse wobei die maßgeblichen Einflussparameter erarbeitet wurden.

Die maßgeblichen Parameter sind demnach:

- Gesamtlänge der Erdwärmesonden
- Abstand der Erdwärmesonden
- Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes
- Wärmeleitfähigkeit der Erdwärmesonde (maßgeblicher thermischer Gesteinsparameter)
- Durchmesser der Erdwärmesonden
- Isolationsschicht im Brückenbelag: Im Fall des Serso Systems, hat man mit der Isolierung der Brücke um 50% längere Erdwärmesonden verhindern können.
- Abstand der Heizleitungen im Brückenbelag
- Grundwasserfluss in einem signifikanten Tiefenabschnitt der Erdwärmesonden wirkt sich günstig auf deren thermische Leistung aus

Die Simulationen ergaben eine erforderliche spezifische Erdwärmesondenlänge von 4,6 m/m² Fahrbahnfläche. Dies entspricht der Länge im realen ausgeführten System.

Die verschiedenen simulierten Brückenvarianten erfordern eine spezifische Heizenergie, die zwischen 100 und 130 kWh/m² liegt. Dies führte bei einer Wärmeleitfähigkeit des Bodens von 4,4 W/(mK) zu einer Variation der spezifischen Erdwärmesondenlänge von 3,9 bis zu 6,9 m/m². In allen für verschiedene Standorte simulierten Fällen, variierte die Länge der Erdwärmesonden von 2,5 bis 8,9 m/m².

Als Rohrmaterial kommt bei diesem Projekt Edelstahl zum Einsatz. Die Rohre befinden sich 7 cm unter der Oberfläche in einem „Vermörtelungsbelag“ (Offenporiger Walzasphalt mit Mörtelschlämme vergossen), die Unterseite der Brücke ist mit 10 cm Wärmedämmung ausgestattet.



Abbildung 3: SERSO-Brücke (Umfahrung Därligen)

7.3.3 Haringvliet (Niederlande)

Im Jahr 1999 wurde eine Fahrbahntemperierung für einen Teilbereich der Brücke über das Haringvliet-Sperwerk in den Niederlanden realisiert (Bild 6). Hier erfolgte die Verlegung der Heizleitungen in einer Betonschicht unterhalb des Asphaltbelages. Darunter befindet sich Porenbeton (30 cm), der aufgrund seiner geringen Wärmeleitfähigkeit eine Wärmedämmung nach unten darstellt (S & H, 1999).

7.3.4 Deutsche Bahn - Bad Lautenberg –Haltepunkt Barbis (Deutschland)

Die beiden etwa 150m langen Bahnsteige des DB-Haltespunktes Barbis in Deutschland 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 mittels Erdwärmesonden in den Untergrund einspeisen und diesen in den Sommermonaten thermisch aufladen. Im Winter wird die Wärme zur Eis- und Schneefreihaltung des Bahnsteiges wieder rückgewonnen.

Abbildung 4 zeigt einen Lageplan der Haltestelle Barbis, Abbildung 5 zeigt die Haltestelle Barbis mit dem schneefreien Bahnsteig.

Abbildung 6 zeigt den Lageplan der Erdwärmesonden und das Anlagenkonzept, welches bei der Haltestelle Barbis in Betrieb ist.



Abbildung 4: 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: ~2x150 m
- Regelung - Einschaltzeitpunkt: Oberflächentemperatur der Bahnsteigfläche <math><3^{\circ}\text{C}</math>
- Flächenkollektor: ~3000 lfm RAUWAY-Rohre (Fa. REHAU)



Abbildung 5: Beispiel Bad Lautenaberg – Haltestelle Barbis – REHAU-Prospekt [12]

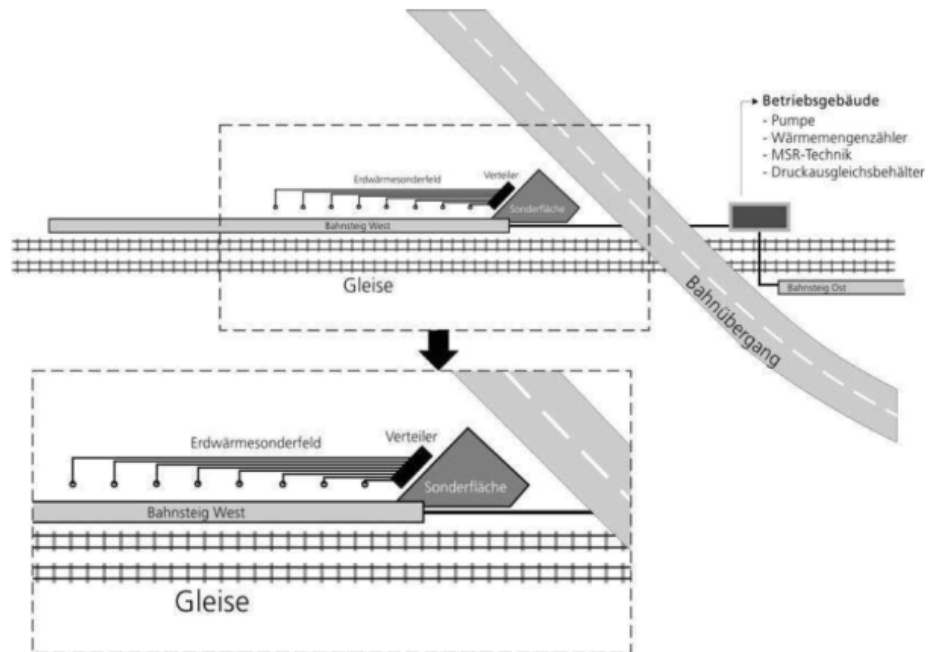


Abbildung 6: Systemdarstellung Barbis (Reiner Wittig – Frenzel Bau, Internet-Recherche)

7.3.5 Brücke Berkenthin – Brückenbeheizung mit Grundwasser (ohne Wärmepumpeneinsatz) (Deutschland)

In [44] sind die wesentlichen Aspekte der Planung und des Baus der Straßenbrücke B 208/Elbe-Lübeck-Kanal (siehe Abbildung 7) dargestellt.



Abbildung 7: Kanalbrücke Berkenthin von Osten (aus [44])

Die Erneuerung der Straßenbrücke B 208 / Elbe-Lübeck-Kanal in der Ortslage Berkenthin im Kreis Herzogtum Lauenburg bot auf Grund ihrer besonderen kleinklimatischen Situation die Möglichkeit, im Rahmen eines Pilotprojektes - aufbauend auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes „Vermeidung von Glatteisbildung auf Brücken“ der BAST – die Fahrbahntafel mittels oberflächennaher geothermischer Energie zu temperieren.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde folgendes erkannt:

- Energiepfähle decken lediglich eine gewisse Grundlast ab.
- Im Variantenvergleich zu Energiepfählen und Erdwärmesonden ist die Brunnenanlage hinsichtlich Wirkungsgrad und Kosten am günstigsten
- Eine Wiedereinleitung des thermisch genutzten Grundwassers auf Grund der angetroffenen, artesischen Verhältnisse (~10 m Wassersäule über GOK) ist wirtschaftlich nicht möglich und zielführend.

Die Energiequelle der Brückentemperierung in Berkenthin ist Grundwasser (siehe Abbildung 8). Das Grundwasser wurde zwar artesisch angetroffen, bei der erforderlichen Fördermenge ist jedoch Pumpbetrieb erforderlich. Eine Rückführung in den Grundwasserleiter erfolgt nach der thermischen Nutzung des Grundwassers nicht, da dies unwirtschaftlich wäre. In Österreich wäre diese Nutzungsvariante wahrscheinlich nicht oder nur in speziellen Ausnahmefällen genehmigungsfähig.

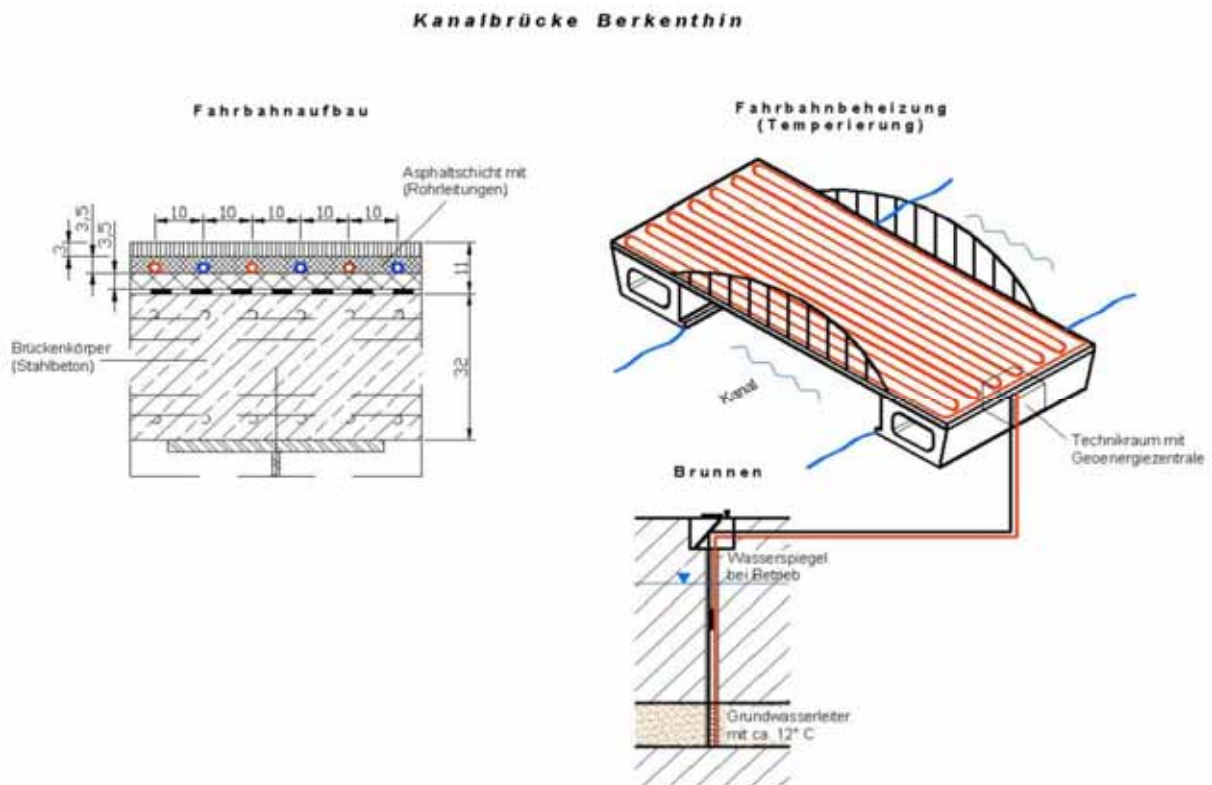


Abbildung 8: Technisches Konzept – Brücke Berkenthin

Es kommt eine 2-stufige Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 135 kW zum Einsatz.

Der Abstand der Heizrohre in der Asphaltfahrbahn wurde mit Hilfe von Simulationsrechnungen (siehe Abbildung 9) optimiert und beträgt in der Bauausführung 10cm (siehe Abbildung 8).

Beim Einbau der Heizleitungen im Asphalt wurde großer Wert darauf gelegt, dass die Leitungen intensiven Kontakt mit dem Asphalt aufbauen können. Dies wurde durch eine Asphalttemperatur von 230°C berücksichtigt. Abbildung 10 zeigt diese Arbeiten.

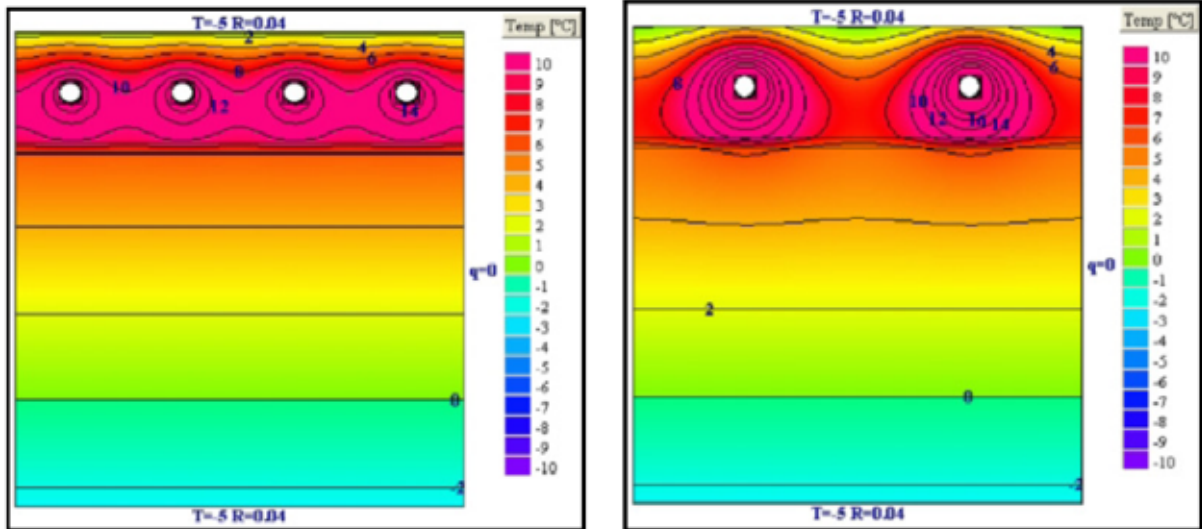


Abbildung 9: Simulation der Wärmeverteilung in der Fahrbahn zur Optimierung der Heizleitungsabstände (aus [44])



Abbildung 10: Foto der Bauarbeiten bzw. Verlegearbeiten der Brücke Berkenthin (aus [44])

7.3.6 Diverse andere relevante Projekte in Europa

- In den Niederlanden sind einige Projekte realisiert worden, die sich mit der Energiegewinnung aus Asphaltoberflächen beschäftigten.
- In Island wird das reichlich vorhandene Thermalwasser für die großflächige Beheizung von Freiflächen und Straßen herangezogen.
- In Helsinki wird eine Einkaufsstraße mit Fernwärme beheizt.
- Beim „Roten Rathaus“ in Moskau werden einige Freiflächen beheizt.

7.4 Projektübersicht Japan

In Tabelle 4 ist eine Zusammenstellung von relevanten Projekten in Japan ersichtlich.

Auf eine weiterführende Darstellung wird in vorliegender Studie verzichtet, da Japan oft sehr spezielle, vulkanogen geprägte, geologische Rahmenbedingungen aufweist, die nicht mit österreichischen Rahmenbedingungen vergleichbar sind.

	Ninhoe I	Ninhoe II	Aomori I	Aomori II	Fukui	Misawa	Kitami	Muraoka I	Muraoka II
Geothermie	x		x		x	x	x	x	
Schneefreihaltung	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schneefallhöhe, ca. [cm/a]	240	240	800	800					
Schneefallintensität [cm/h]	1,9	1,9	1,9	1,9					
Eisfreihaltung	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Wärmespeicherung über Erdwärmesonden	x		x					x	
Heizung über Strom		x		x					
Wärmepumpenanzahl	1		2						
Liefertemperatur Heizbetrieb [°C]	26		15,5						
Anlagenbetrieb, max. [h/a]	597		563						
Wärmepumpenbetrieb, max. [h/a]	507		542						
Aufladung des Speichers, max. [h/a]	716								
Länge der beheizten Fläche [m]	65		209						
Breite der beheizten Fläche [m]	4,1		3,15						
Beheizte Fläche [m ²]	266	562	659	659	400	44	100	310	1120
Wärmeleistung im Belag [W/m ²]	160-180		170-185						
Sondenanzahl	3		8		48	12	1	12	
Sondenlänge [m]	150		154		35	10	100	100	
Sondengesamtlänge [m]	450		1232		1680	120			
Einspeiseleistung (Sommer), [W/m]	46		29						
Eingespeicherte Wärme, [kWh/a]	20500		36000						
Entzugsleistung (Winter), [W/m]	72-83		90-95						
Geothermische Energie, max. [kWh/a]	18870		29570						
Gesamtenergie für den Belag [kWh/a]	24650		36790						
Gesamtenergie für den Belag [kWh/m ²]	92		55						

Tabelle 4: Übersicht – Projekte in Japan

8 VERWENDETE SOFTWARE

8.1 Geografisches Informationssystem - GIS

Die Beurteilung des geothermischen Potenzials der einzelnen Verkehrsstationen im gesamten Bundesgebiet von Österreich erfolgt teilweise auf Basis vorliegender Studien, Publikationen, Berichte und Kartenwerke, welche bereits im Rahmen der Erhebungsarbeiten innerhalb des Projektes INFRAplusGEO (VIF2011) systematisch aufbereitet wurden.

Neben fachlichen Studien, Publikationen und Texten war für die Bearbeitung des Projektes INFRAplusGEO und darauf aufbauend des Projektes SEVES vor allem auch die Einbindung vorliegender geologischer Karten und Lagepläne zielführend um damit die erforderlichen 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.

8.2 Wärmehaushaltssimulation, hydraulische Simulation

Als Basis für die Pilotplanungsbeispiele (siehe Kapitel 17.4) erfolgte eine 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 exemplarischen instationären 3D-Simulation mit Hilfe eines Finite-Elemente-Modells erforderlich. Dazu wurde das Software-Paket FEFLOW der Firma WASY herangezogen.

Für die Analyse und Berechnung der hydraulischen und thermischen Prozesse bei den beiden Pilotplanungsstandorten mit thermischer Nutzung des Grundwassers (Bad Vigaun, Pinsdorf) wurde die Software EGON (hydro-IT) herangezogen.

9 GEOGRAFISCHE DATENGRUNDLAGEN

9.1 Datenerhebung, Datengrundlagen

Die gesamte Datenerhebung und Datenverwaltung erfolgte durch Joanneum Research unter Mithilfe ÖBB-interner Dienststellen und der in das Projekt eingebundenen ÖBB-Experten.

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

Diese Inhalte und Datentypen werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben.

Teilweise erfolgte die damit zusammenhängende Tätigkeit schon im Rahmen des Projektes INFRAplusGEO. Im Projekt SEVES wurden die Datensätze weiter aufbereitet und für die erforderlichen Analysen verfügbar gemacht.

9.2 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

9.3 Geologische Karten

Die zentrale Basis für die bundesweite Darstellung des geothermischen Potenzials stellt im Projekt SEVES die geologische Übersichtskarte von Österreich im Maßstab 1:500.000 (siehe Abbildung 11) dar. Diese wurde bereits für die Projektbearbeitung von INFRAplusGEO als GIS-fähiger Vektordatensatz von der Geologischen Bundesanstalt angekauft.

Für die Darstellung der hydrogeologischen Standorteigenschaften wurde die Hydrogeologische Karte von Österreich im Maßstab 1:500.000 (siehe Abbildung 43) herangezogen.

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

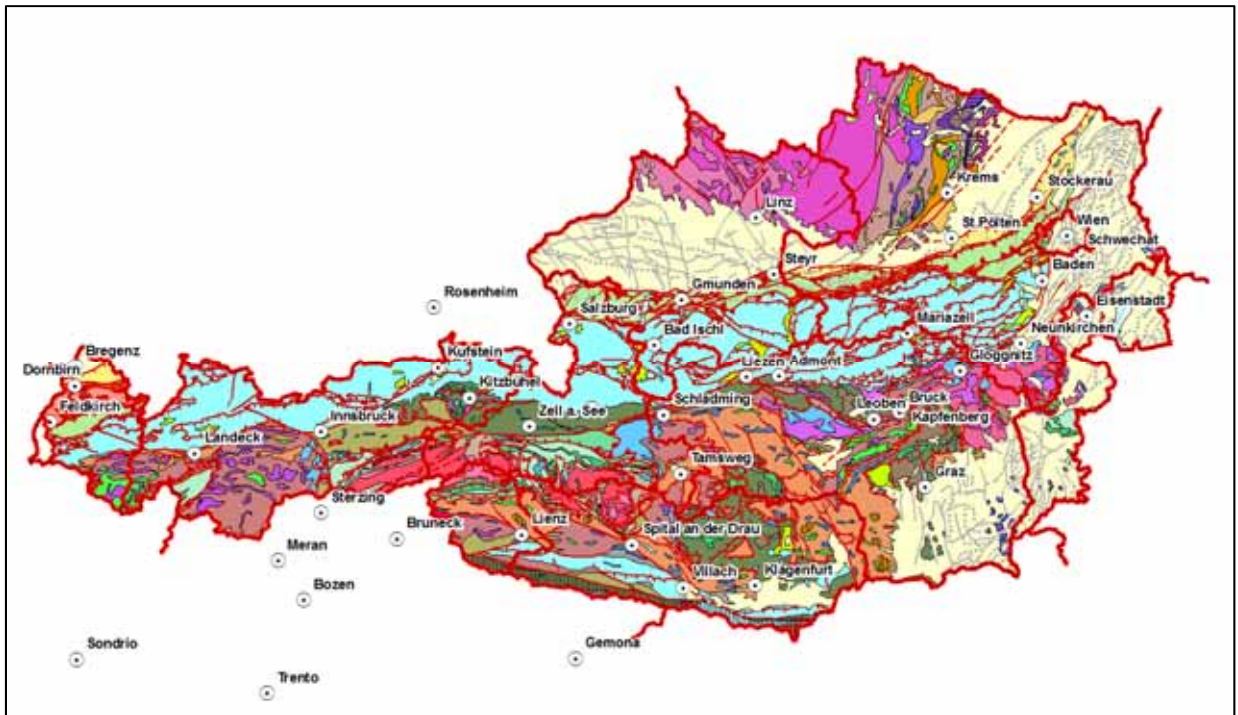


Abbildung 11: Geologische Karte von Österreich (1:500.000)

9.4 Infrastrukturelle Rahmenbedingungen der ÖBB

Die Nutzungsmöglichkeiten von Erdwärme zur Winterbetreuung von Bahnsteigen sind naturgemäß an die infrastrukturellen Rahmenbedingungen im Bereich der ÖBB-Verkehrsstationen gebunden.

Neben den Bahnsteigflächen sind für die Umsetzung von Projekten die Grundstücksgegebenheiten und die Grundstücksverfügbarkeit maßgeblich.

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

9.4.1 Streckenverläufe und Tunnel

Abbildung 12 zeigt den Lageplan des Streckennetzes und der Tunnel der ÖBB. Der Datensatz wurde als Vektordatensatz von der ÖBB bereitgestellt. Ein Großteil der ÖBB-Infrastruktur befindet sich naturgemäß entlang dem dargestellten Streckennetz. Darüber hinaus sind auch außerhalb der streckennächsten Bereiche infrastrukturelle Einrichtungen der ÖBB vorhanden.

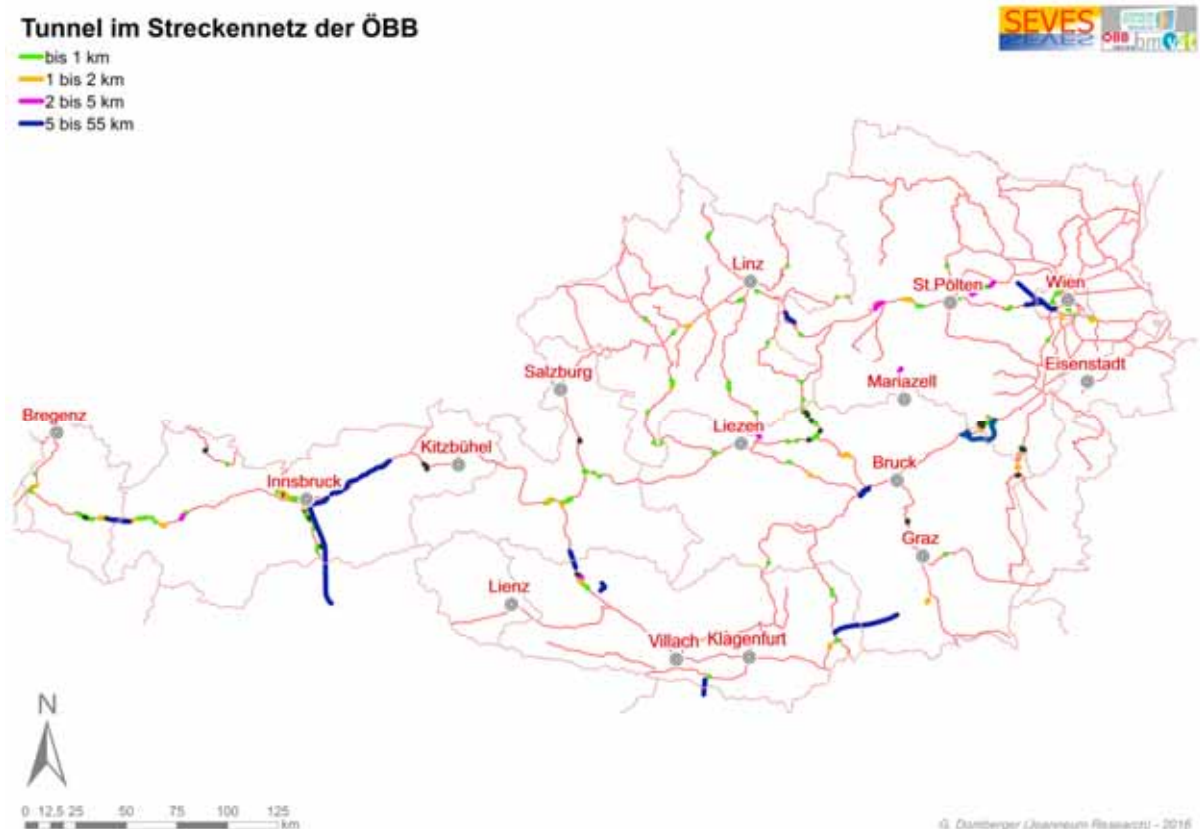


Abbildung 12: Lageplan der ÖBB-Strecken und Tunnel

9.4.2 ÖBB-Verkehrsstationen

Im Bereich der ÖBB befinden sich im Umfeld der ÖBB-Verkehrsstationen Flächen, die eine Schnee- und Eisfreihaltung erfordern.

Von der ÖBB wurde ein GIS-Datensatz mit allen Verkehrsstationen in Form eines geografischen Vektordatensatz zur Verfügung gestellt.

9.4.3 Grundstücke im Eigentum der ÖBB

Die Analyse der verfügbaren Grundstücke im Bereich der ÖBB erfolgte auf Basis eines GIS-Datensatzes, der ebenfalls von der ÖBB für die Projektbearbeitung 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 von INFRAplusGEO aber an Bedeutung, da andere für die Analysemethodik zielführendere Datensätze zur Verfügung gestellt wurden.

Für das Projekt SEVES erlangte der Datensatz jedoch erneut große Bedeutung und stellt eine zentralen Datensatz für die Detailplanung von Umsetzungsprojekten dar. Anhand des Grundstück-Datensatzes war es möglich, große Grundstücke zu erkennen bzw. geografisch zu filtern, die für die Errichtung von großen Erdwärmesondenfeldern bzw. die Grundwassernutzung (Distanz zwischen Entnahmebrunnen und Schluckbrunnen) erforderlich sind. Damit war weiters eine Einschätzung der Beeinflussungsmöglichkeiten von benachbarten Wassernutzungen oder Erdwärmennutzungen sowie die Stellung der geplanten Anlagen im Verhältnis zu Wasserschutz- und Schongebieten möglich.

9.4.4 Flächen mit erforderlicher Winterbetreuung der ÖBB

Die Flächen mit Winterbetreuung und die zugehörigen Objekte wurden von der ÖBB als Datenbank-Auszug im Excel-Format bereitgestellt.

10 FACHLICHE GRUNDLAGEN

10.1 Klimatische Rahmenbedingungen – Schnee und Eis in Österreich

Freiflächen sind naturgemäß den klimatischen Einwirkungen und Wetterbedingungen ausgesetzt.

Für die Eis- und Schneefreihaltung und die Dimensionierung der Freiflächenheizungen sind die maßgeblichen Klimaparameter:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Niederschlagsmenge
- Sonneneinstrahlung
- Windgeschwindigkeiten

Die Seehöhe und die Klimazonenzuordnung beeinflussen diese Parameter vorrangig.

Die Häufigkeit und der Bedarf an Schneeräumung ergeben sich aus den klimatischen Rahmenbedingungen. Zentrale bestimmende Parameter sind neben der Schneefallmenge auch die Schneefallhäufigkeit.

Einen ausgezeichneten Überblick über die diesbezüglichen Rahmenbedingungen in Österreich vermitteln dazu die beiden folgenden Abbildungen (Abbildung 13, Abbildung 14).

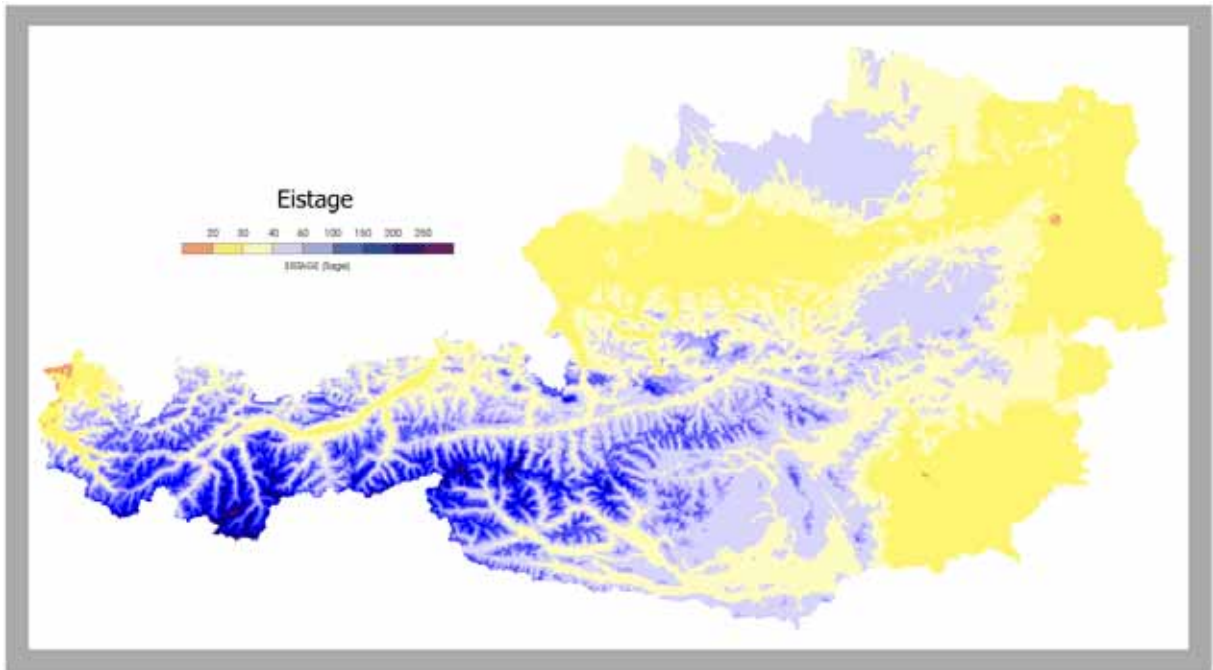


Abbildung 13: Anzahl der Eistage (aus [42])

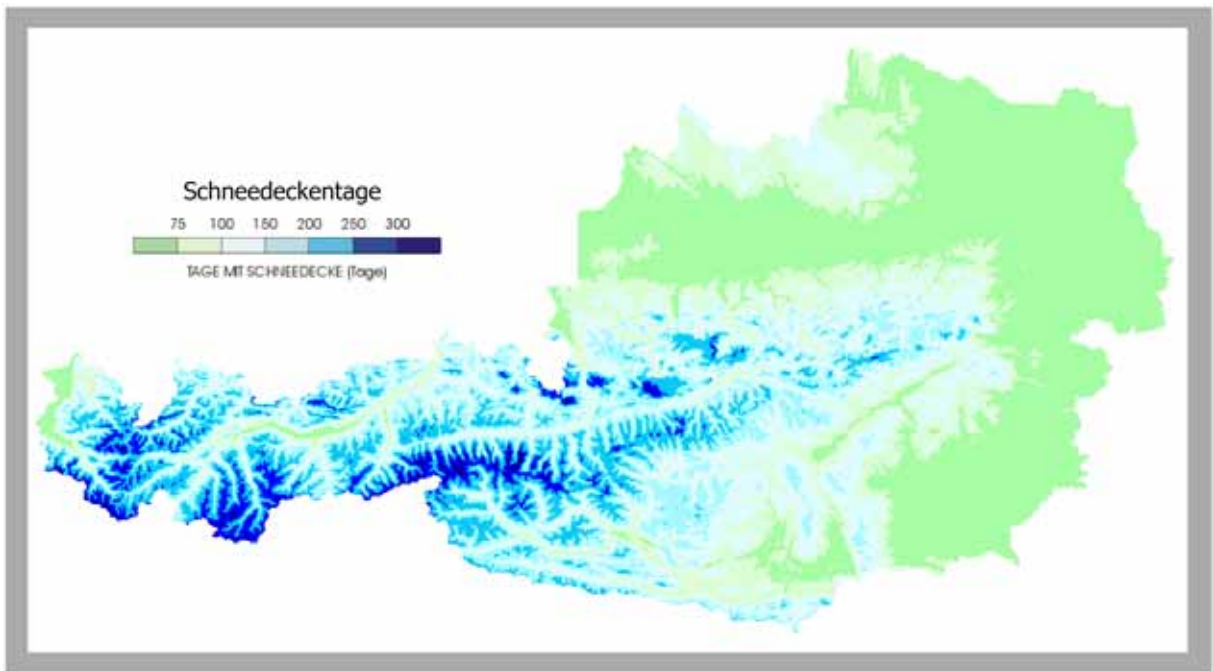


Abbildung 14: Anzahl der Schneedeckentage (aus [42])

10.2 Formen der Glättebildung

Folgende Arten der Glättebildung können definiert werden:

- Glättebildung durch Gefrieren von Kondensat (vor allem im Bereich von Brücken)
- Glättebildung durch Niederschlag (Regen, Eisregen, Schnee, Hagel)
- Glättebildung durch Frieren von nassen Freiflächen bei abnehmenden Temperaturen

Im Bereich der ÖBB-Bahnsteige kommt es vor allem aufgrund von Niederschlagsgeschehen zur Glättebildung. In manchen Bereichen kann es aber auch zu einer Glättebildung durch gefrierende Nässe kommen.

10.3 Solarthermisches Potenzial (Solarstrahlung, Globalstrahlung)

10.3.1 Solarthermisches Potenzial - Österreich

Die Solarstrahlung bezeichnet die Strahlung, die von der Sonne ausgesandt wird. Auf dem Weg durch die Erdatmosphäre geht jedoch 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 15 dargestellt.

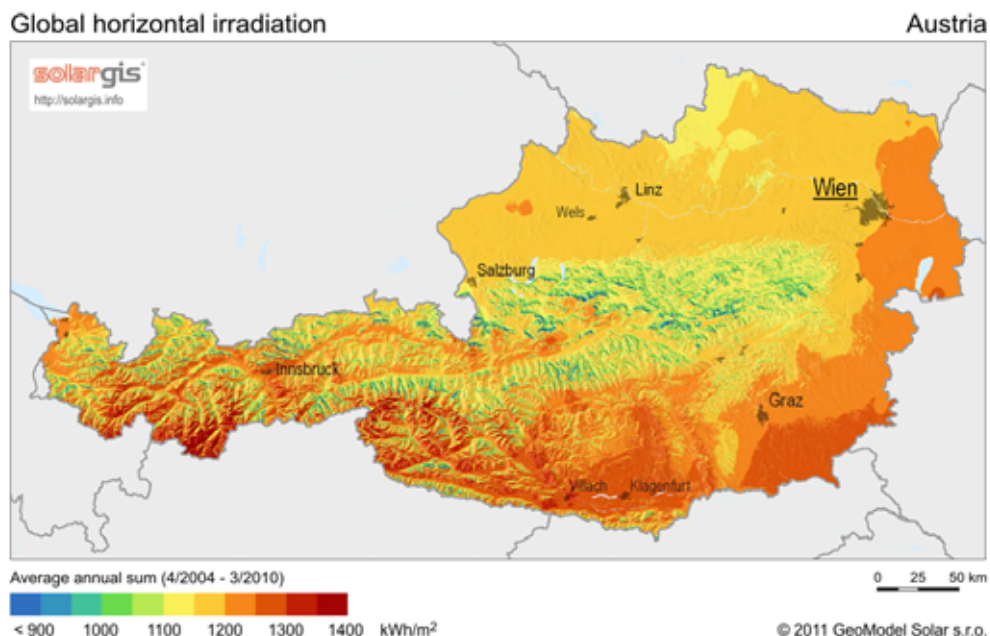


Abbildung 15: Globalstrahlung Österreich

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 trifft. Da die diffuse Strahlung auch mehr als die Hälfte der Globalstrahlung ausmachen kann, erklärt, warum Solarthermieanlagen auch an bewölkten Tagen noch Ertrag bringen können.

Eine wichtige Basis für die Abschätzung des thermischen Potenzials der Freiflächen stellen auch die gemessenen Fahrbahntemperaturen der ASFINAG (siehe Kapitel 11) dar.

10.3.2 Solarthermisches Potenzial - Detaildarstellung Oberösterreich

Im Landes-GIS von Oberösterreich (DORIS) sind detaillierte GIS-Datensätze der Solarstrahlung von Oberösterreich verfügbar. Diese wurden für die Bearbeitung des Projektes SEVES erhoben und für die weitere Bearbeitung und Interpretation aufbereitet.

Es handelt sich bei den verfügbaren Datensätzen um bundeslandweite Rasterdaten der Monatssumme der Sonnenstrahlung (Globalstrahlung) in kWh/m². Beeinflusst wird dieser Parameter maßgeblich durch die Horizontüberhöhung (Gelände), den Bewölkungsverhältnissen und von der Umgebungsstruktur.

Abbildung 16, Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen die sehr detaillierten, diesbezüglichen GIS-Datensätze für die Monate November und Juni, sowie die Jahressummen der Solarstrahlung für Oberösterreich.

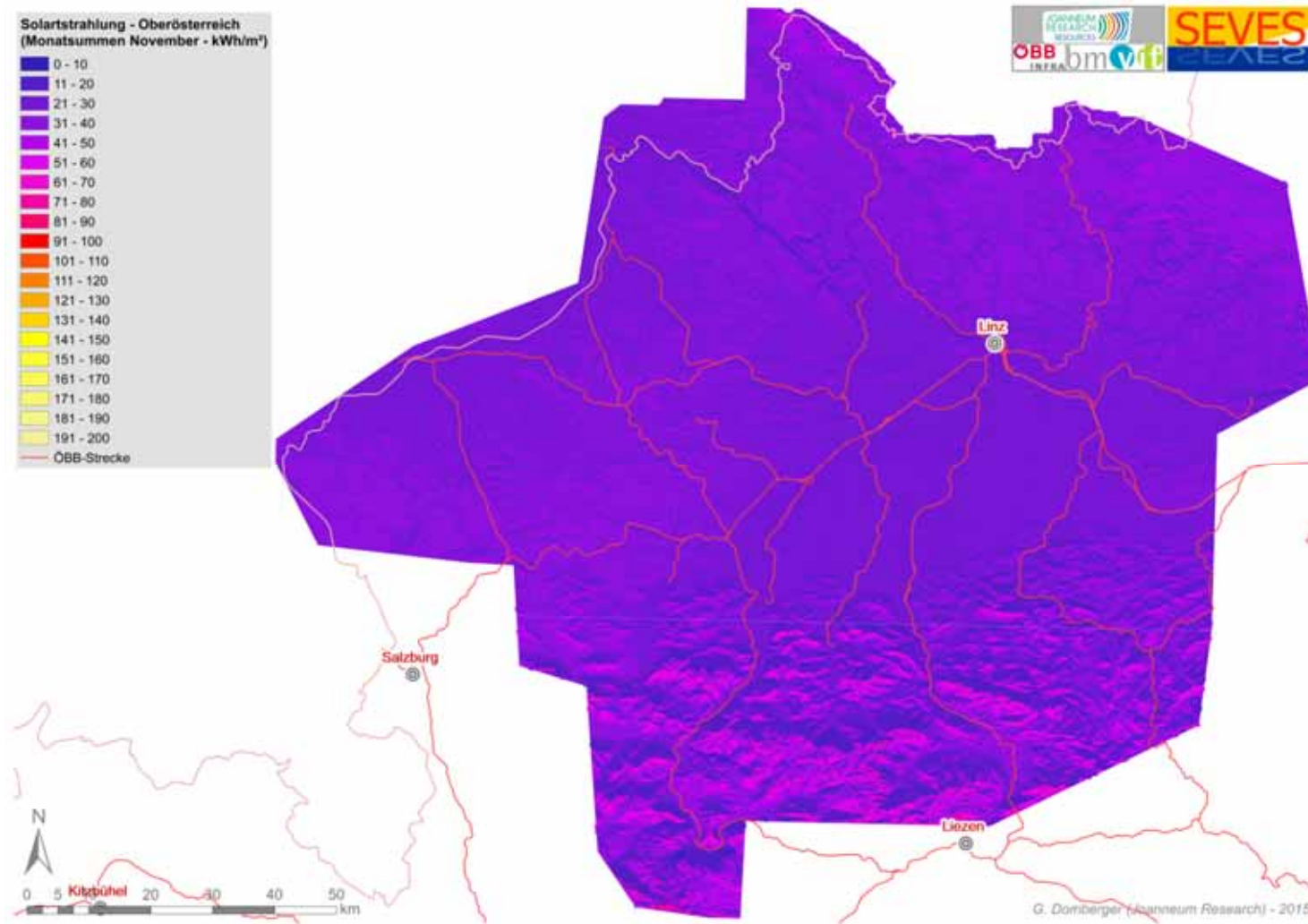


Abbildung 16: Solarstrahlung – Oberösterreich – November (Quelle: DORIS-LandesGIS-Oberösterreich)

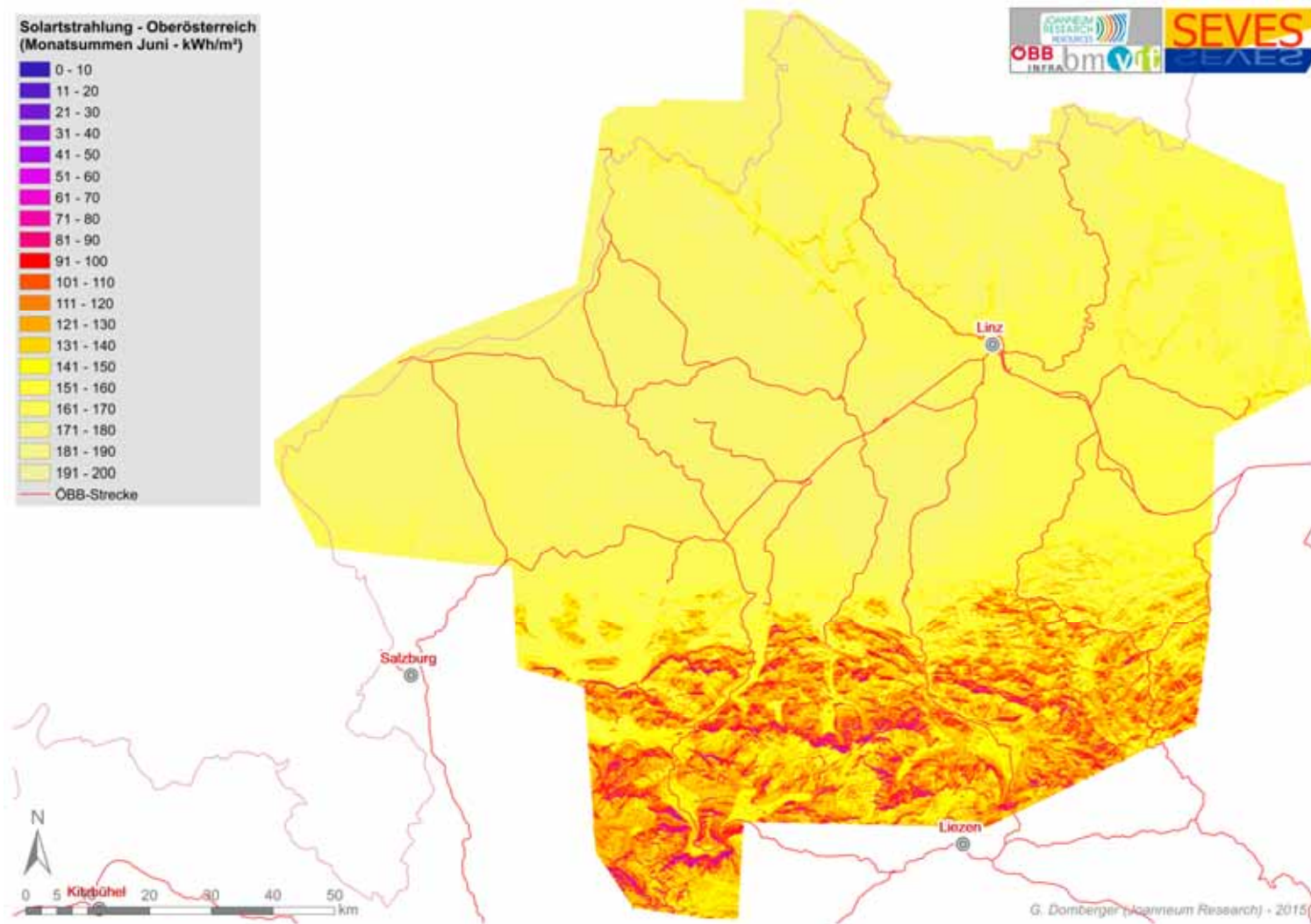


Abbildung 17: Solarstrahlung – Oberösterreich – Juni (Quelle: DORIS-LandesGIS-Oberösterreich)

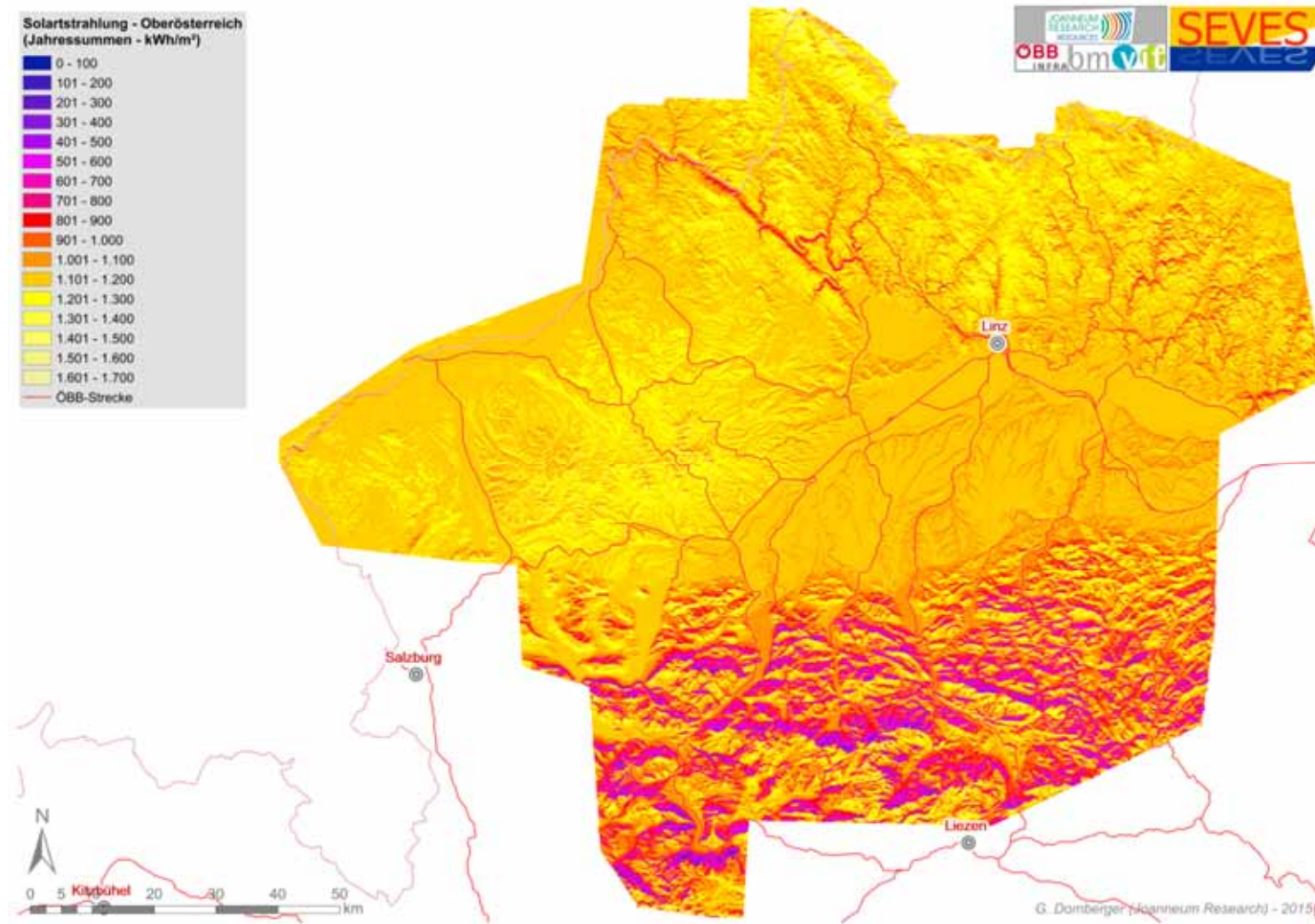


Abbildung 18: Solarstrahlung – Oberösterreich – Jahressummen (Quelle: DORIS-LandesGIS-Oberösterreich)

10.3.3 ZAMG-Daten

Für die Bearbeitung des Projektes INFRAplusGEO wurden bereits die Globalstrahlungsdaten der ZAMG-Messstationen Innsbruck, Wien-Hohe Warte und Graz-Universität angekauft. Im Rahmen des Projektes SEVES konnten diese wieder herangezogen werden.

Für die weiteren Berechnungen der Energieverfügbarkeit mit Solarkollektoren wurde ein Wirkungsgrad von 50% angenommen, d.h. 50% der Globalstrahlungsenergie wurde für eine mögliche Einspeisung in thermische Speicher im Untergrund angenommen.

10.3.4 Detailbeispiel - Verkehrsstation Windischgarsten

Anhand der Solarstrahlung sind Verkehrsstation bzw. deren solarthermisches Potenzial einschätzbar. Dies muss als Basis für eine detaillierte Standortklassifizierung der Verkehrsstation herangezogen werden. Das Beispiel in Abbildung 19 zeigt die Bedeutung der lokalen Abschattung am Standort.

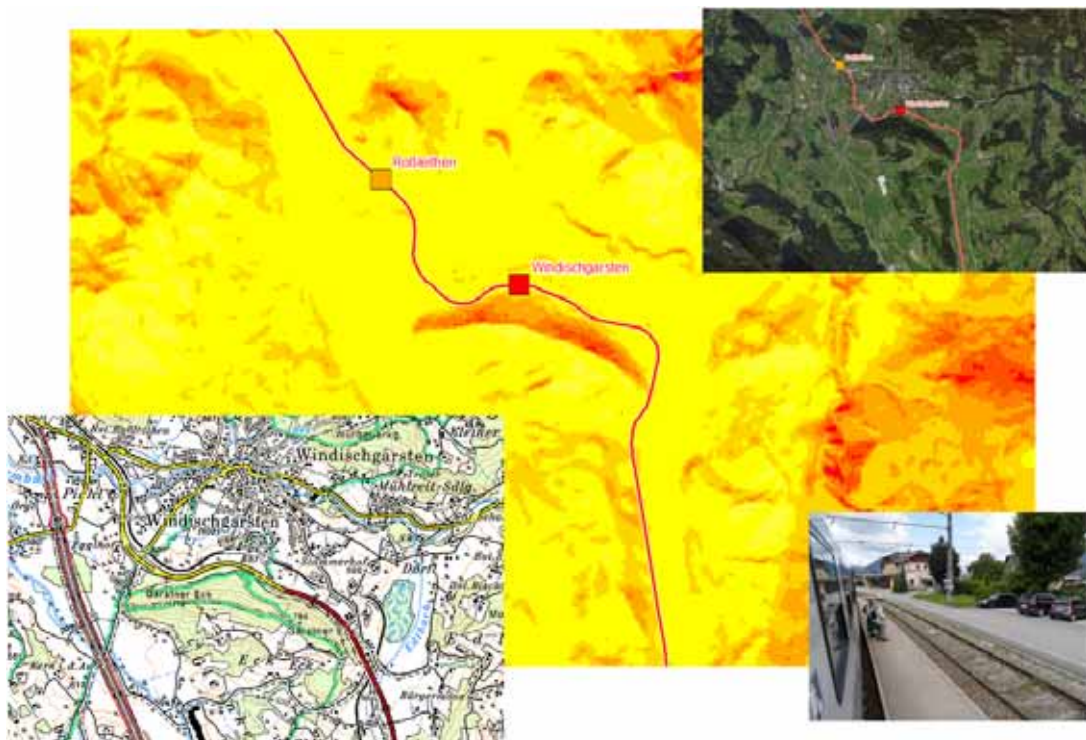


Abbildung 19: Standorteigenschaften – Bahnhof Windischgarsten

11 ASFINAG-KLIMADATEN

Eine wichtige Basis für die Abschätzung des thermischen Potenzials der Freiflächen stellen die gemessenen Fahrbahntemperaturen der ASFINAG dar. Weiters war die hochauflösenden meteorologischen Daten der ASFINAG von großer Bedeutung der Berechnungen in Kapitel 17.

Im Rahmen einer Besprechung mit der ASFINAG (R. Kienreich) wurde seitens JOANNEUM RESEARCH bei der ASFINAG angesucht, Messdaten der ASFINAG-Messstationen für die Bearbeitung des Projektes SEVES heranziehen zu dürfen.

Von der ASFINAG (W. Seidl) wurden die Daten aufbereitet und dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt.

Folgende Messdaten (siehe auch Tabelle 5) werden bei zahlreichen Messstationen der ASFINAG gemessen und wurden für das Projekt SEVES von der ASFINAG bereitgestellt.

- Lufttemperatur
- Fahrbahntemperatur (direkt an der Oberfläche, bei manchen Messstellen auch andere Bodentiefen)
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Windgeschwindigkeit (Durchschnitt und Spitze)
- Windrichtung
- Luftdruck
- Taupunkttemperatur
- Sichtweite
- Niederschlag (Typ, Mengenkategorie, bei manchen Messstellen Niederschlagsmenge)

Sensor ID	Sensorkurzbezeichnung	Sensor-Beschreibung	Zeitreihenbezeichnung	Sensor unit	Messwert-Beschreibung
1	AT	Air temperature	val1	°C	Lufttemperatur
2	GT	Ground temperature	val2	°C	Strassentemperatur / Fahrbahntemperatur
4	RH	Relative humidity	val4	%	Relative Luftfeuchtigkeit
5	MWS	Average wind speed	val5	km/h	Windgeschwindigkeit (durchschnittlich)
6	AWS	Peak wind speed	val6	km/h	Windgeschwindigkeit (Spitzen)
7	WD	Wind direction	val7	-	Windrichtung
8	SS1	Underground temperature 1	val8	°C	Fahrbahntemperatur in 5cm Tiefe
10	AP	Air Pressure	val10	hPa	Luftdruck
12	DP	Dew point	val12	°C	Taupunkttemperatur
13	SS2	Underground Temperature 2	val13	°C	Fahrbahntemperatur (Tiefe stationsabhängig)
14	SS3	Underground Temperature 3	val14	°C	Fahrbahntemperatur (Tiefe stationsabhängig)
35	VS	Visibility	val35	m	Sichtweite
40	GT2	Ground temperature 2	val40	°C	Strassentemperatur / Fahrbahntemperatur (Zusatzsensor)
44	TR	Precipitation level	val44	-	Niederschlagsstufe / Betrag
68	PTY	Precipitation type	val68	-	Niederschlagstyp
78	NMS	Precipitation intensity	val78	mm/h	Niederschlagsmenge

Tabelle 5: Messstellen und Sensoren der ASFINAG-Messstellen



Abbildung 20: ASFINAG-Messstelle (Quelle: ASFINAG / W. Seidl)

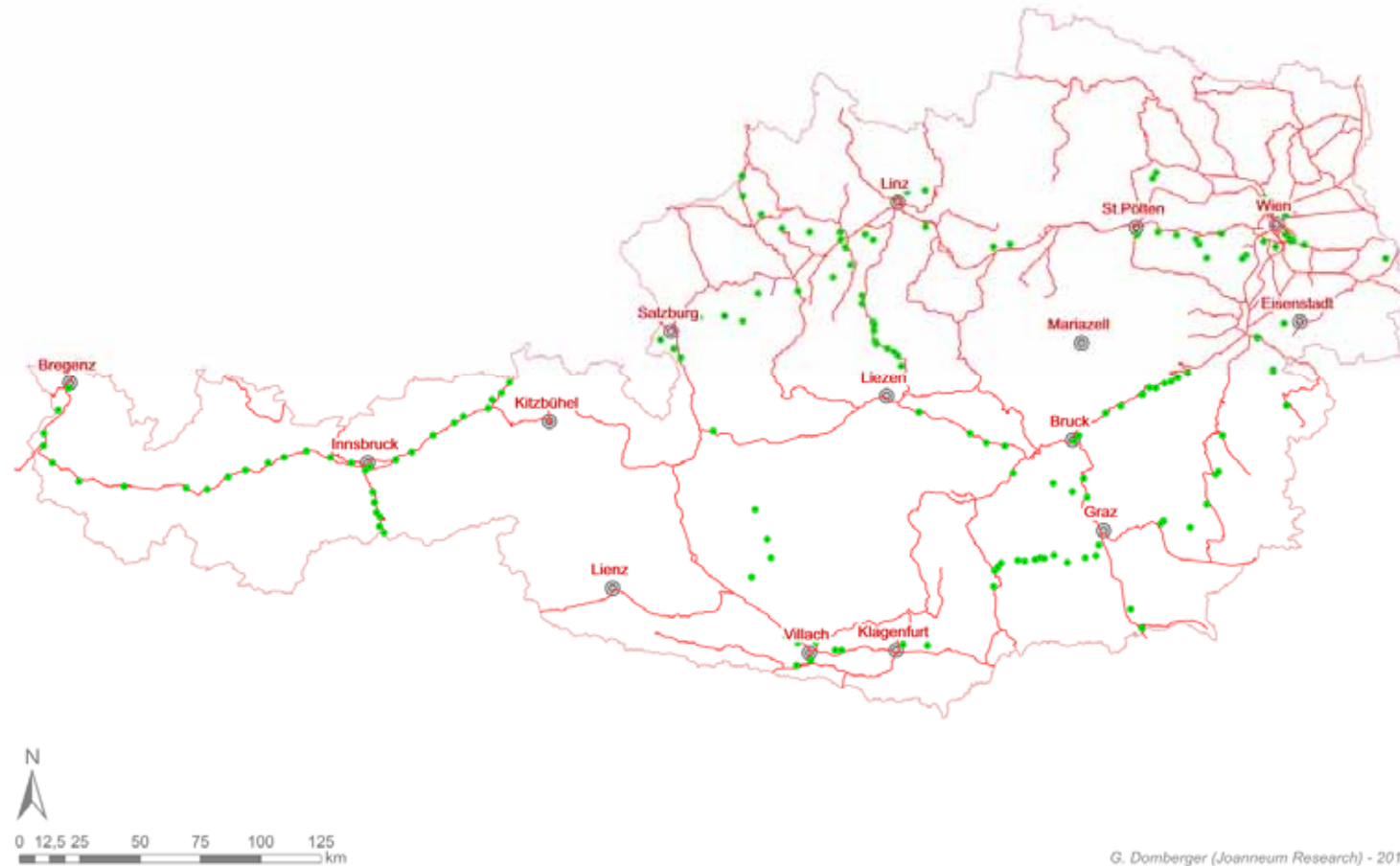
Abbildung 20 zeigt eine typische meteorologische Messstelle der ASFINAG. Die Daten der Messstationen der ASFINAG werden in hoher zeitlicher Auflösung gemessen und mit Hilfe von Datenübertragungssystemen zentral gespeichert und verwaltet.

Abbildung 21 zeigt einen bundesweiten Lageplan der ASFINAG-Messstellen. Für die Berechnung des Energiebedarfes bei den Pilotplanungsstandorten Oberfalkenstein, Pinsdorf und Bad Vigaun wurden repräsentative Messstellen der ASFINAG ausgewählt. Die hochauflösenden Messwerte wurden in Stundenmittel bzw. Stundensummen konvertiert und flossen so in die Simulationen der Pilotplanungsstandorte ein.

Abbildung 22 zeigt die Lage der ASFINAG-Messstelle Allhaming anhand eines Luftbildes.

ASFINAG-Messstellen - Übersicht

- Messstellen der ASFINAG
- OBB-Strecke



G. Domberger (Joanneum Research) - 2015

Abbildung 21: Lageplan der ASFINAG-Messstellen



Abbildung 22: ASFINAG-Messstelle A1 – Allhaming

12 METHODEN UND KOSTENANALYSE - DERZEITIGE VORGANGSWEISE DER WINTERBETREUUNG DER FREIFLÄCHEN

12.1.1 Kostenangaben der ÖBB

Von der ÖBB wurde ein Datensatz mit den derzeitigen Kosten der Winterbetreuung der Freiflächen zur Verfügung gestellt.

Auf Basis der ÖBB-Datensätze ergibt sich aufgrund der Flächenangaben zu den winterbetreuenden Flächen eine Gesamtfläche im Bereich der ÖBB von 5.200.396 m².

Durchschnittliche m ² -Sätze je Region:									
IMMO Regionen	Verkehrsstationen				overall				
	Mittelwert	Untergrenze	Obergrenze	durchschn. Fläche	Mittelwert	Untergrenze	Obergrenze	durchschn. Fläche	
Ost1	2,80	1,60	4,29	1933,00	3,26	1,00	25,00		890,00
Ost2	2,63	0,90	5,31	1879,00	2,49	0,60	8,00		1712,00
Ost3	2,51	0,70	8,50	2625,00	2,40	0,60	12,00		1530,00
Mitte	5,54	0,59	25,10	2520,00	4,69	0,59	25,10		1739,00
Süd 1	2,74	0,92	5,98	2889,00	3,89	0,46	20,00		1402,00
Süd 2	3,20	1,53	8,83	2750,00	3,30	0,96	12,09		1553,00
West	4,88	2,92	8,23	2565,00	4,58	1,43	9,41		1965,00
Wien	2,21	1,00	4,50	3220,00	2,20	0,70	7,00		2940,00

Alle Werte sind durchschnittliche Preise pro m² für die gesamte Saison in EUR. Obergrenzen ergeben sich mehrheitlich durch Hauszugänge und Kleinstflächen

Tabelle 6: Kosten der Winterbetreuung (ÖBB-Tabelle)

Die in Tabelle 6 dargestellten Kosten umfassen die saisonalen Kosten der Schnee- und Eisfreihaltung von Freiflächen im Bereich der ÖBB. Es handelt sich um regional unterschiedliche Pauschalkosten/m² und Saison für die einzelnen IMMO-Regionen der ÖBB.

Von der ÖBB wurden weiters 2 anonymisierte Leistungskontrakte (Rahmenverträge) für den Winterdienst von 1.8.2013 bis 31.3.2016 übermittelt. In diesen beiden Leistungskontrakten sind die Kosten für den Winterdienst von Einzelflächen beinhaltet.

12.1.2 Flächenangaben

Ein weiterer bundesweiter Datensatz mit den winterbetreuten Freiflächen der ÖBB wurde von der ÖBB übermittelt. In diesem Datensatz sind die ÖBB-internen Objekt-Nummern eingetragen, welche auch in den Leistungskontrakten eingetragen sind.

Mit dem Datensatz wurde eine gemeindeweise Zuordnung der Teilflächen möglich.

13 VERKEHRSTATIONEN IM BEREICH DER ÖBB

13.1 Verkehrsstationen der ÖBB

Im Rahmen der Befahrung von ÖBB-Strecken wurde versucht einen Überblick über die verschiedenen Bauarten und Zustände der Verkehrsstationen zu erlangen und den Bedarf an Flächentypen mit erforderlicher Winterbetreuung zu analysieren.

Einige Beispiele sind in Abbildung 23 und Abbildung 24 zu sehen.

Neben unbefestigten Bahnsteigbereichen gibt es vor allem mit Pflastersteinen belegte Bahnsteige und teilweise asphaltierte Bahnsteige. Technischer Standard im Bereich der ÖBB sind Bahnsteige mit Pflastersteinen. Weiters sind viele Bahnsteige überdacht, sodass bei diesen Verkehrsstationen nur mehr Teilbereiche vom Schneefall betroffen sind.



Abbildung 23: Verkehrsstationen – Beispiele 1-4



Abbildung 24: Verkehrsstationen – Beispiele 2-8

13.2 Detailbeispiel - Kirchdorf an der Krems

Anhand des Beispiels der Verkehrsstation Kirchdorf wird dargestellt in welchen Bereich die Winterbetreuung stattfindet bzw. welchen Informationen diesbezüglich für die Projektbearbeitung vorlagen.

Abbildung 25 zeigt die Verkehrsstation Kirchdorf wie sie sich derzeit darstellt.

Abbildung 26 zeigt die ÖBB-Grundstücke, auf welche die Schnee- und eisfreizuhaltenden Flächen liegen. Auf diesen Grundstücken wäre eine Erdwärmeanlage einzurichten.

Tabelle 7 gibt die Flächen an, die den Datensätzen der ÖBB für die Verkehrsstation Kirchberg zu entnehmen bzw. zuzuordnen sind. Auf Basis dieser Werte erfolgte eine bundesweite Analyse der eis- und schneefreizuhaltenden Flächen.



Abbildung 25: Bahnhof Kirchdorf/Krems



Abbildung 26: Lageplan der Verkehrsstation Kirchdorf/Krems inkl. Grundstücke der ÖBB (weiß)

Winterbetreuungsflächen		
Objektbezeichnung	Fläche [m²]	Bezeichnung der Fläche
VS_Kirchdorf a. d. Krems (Kik)	4.600	Bahnsteig, Gehsteig, Zufahrt, Zugang, Vorplatz, Parkplatz
Aufnahmegebäude - Kirchdorf/Krems	210	Gehsteig
Bf. Kirchdorf	1.100	Zufahrten, Gehsteige

Tabelle 7: Flächen mit Winterbetreuung im Bereich der Verkehrsstation Kirchdorf/Krems

14 ENERGIEQUELLE - ANALYSE DES GEOTHERMISCHEN POTENZIALS

14.1 Erdwärme

Die grundlegende Beschreibung der Nutzung von Erdwärme im Bereich der ÖBB erfolgte bereits im Projekt INFRAplusGEO (VIF2011) und wird innerhalb dieses Kapitels teilweise übernommen und adaptiert.

14.1.1 Beschreibung des geothermischen Potenzial nach Tiefenlage und Nutzungsart

Grundsätzlich kann man das geothermische Potenzial nach Tiefenlage und Nutzungsart einteilen (siehe dazu Abbildung 27).



Abbildung 27: Geothermisches Potenzial –Tiefenlage und Nutzungsmöglichkeiten

14.1.2 Gliederung hinsichtlich Tiefenlage der geothermischen Energiequelle

Mit der Tiefenlage einer Erdwärmennutzung hängt meist direkt das verfügbare Temperaturniveau und die Erfordernis oder Nichterfordernis des Einsatzes von Wärmepumpen im Heizungsfall zusammen.

Folgende Tiefenbereiche können grob angegeben werden:

- Oberflächennahe Erdwärme (~0-200m)
Temperaturbereich bis maximal 20°C; Heizung mit Erhöhung des Temperaturniveaus, Kühlung (Tiefenbereich SEVES)
- Mitteltiefe Erdwärme (~200-800m)
Begriff teilweise verwendet aber noch nicht allgemein etabliert

- Tiefe Erdwärme (>~800m)
Thermalwassernutzung bzw. Erdwärmesondennutzung mit Hilfe von Tiefbohrungen

14.1.3 Gliederung nach der Nutzungsart bzw. nach der thermischen Quelle

Die Nutzung von Erdwärme kann erfolgen indem natürlich vorhandenes Wasser oder indem die im Gesteinskörper vorhandene Wärme aus dem Untergrund entnommen wird. Diese beiden unterschiedlichen Nutzungsarten können in verschiedenen Tiefenlagen erfolgen und ergeben folgende Nutzungsvarianten.

- Erdwärmennutzung mit Wasserentnahme aus dem Untergrund
 - Die Nutzung von Grundwasser zu Heiz- oder Kühlzwecken wird vor allem durch die Verfügbarkeit von grundwasserführenden Speichergesteinen bestimmt.
 - Bei energetischer Nutzung von Grundwasser im Heizungsfall ist meist eine Wärmepumpenunterstützung erforderlich; Kühlung und Direktkühlung
 - Tunnelwasser: wie Grundwasser aus Porengrundwasserkörpern nutzbar; oft keine Pumpenergie erforderlich da gravitativer Tunnelwasserfluss
 - Tiefe hydrothermale Geothermie: Energetische Thermalwassernutzung mit Wärmetauscher; Stromerzeugung
- Erdwärmennutzung ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund
 - Die Nutzung von Erdwärme ohne Entnahme von Wasser aus dem Untergrund kann mit Hilfe von Erdwärmesonden und ähnlichen Verfahren erfolgen. Dabei hängen die spezifischen Entzugsleistungen 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 führt.
 - Nutzungstechnologien: Erdwärmesonden, Erdwärmesondenfelder, Baugründungen, Baupfähle, Erdwärmerohre (CO₂, Ammoniak, Gemische), Flächenkollektoren
 - Tiefe petrothermale Energie (HDR, HFR, EGS)

14.1.4 Oberflächennahe Erdwärme

Im Rahmen des Projektes SEVES erfolgt die Fokussierung auf die Nutzung der oberflächennahen Erdwärme.

Die weitere Projektbearbeitung ist daher ebenso auf die Nutzung von oberflächennaher Erdwärme fokussiert. Die Temperaturzunahme mit der Tiefe (siehe Abbildung 28) fasst die zu erwartenden Temperaturverhältnisse sehr anschaulich zusammen und zeigt die Zusammenhänge mit den jahreszeitlich bedingten Schwankungen in der seichtesten Bodenzone (bis etwa 20 m unter Gelände).

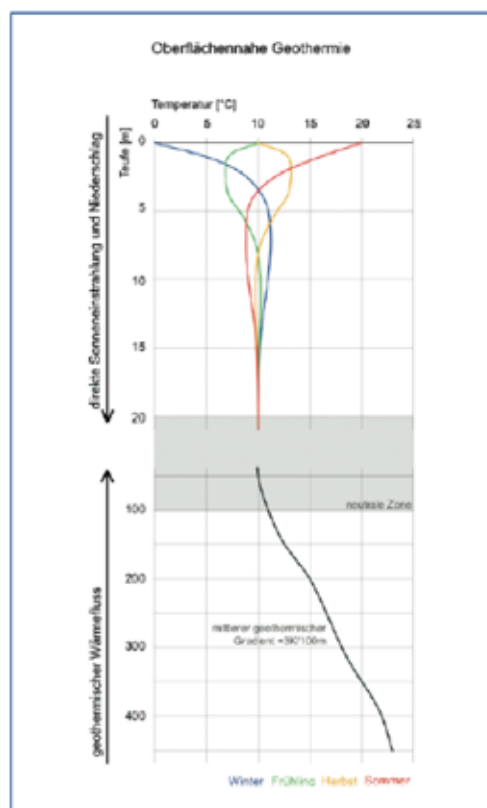


Abbildung 28: Temperaturzunahme mit der Tiefe (aus [15])

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 sehr günstig, da z.B. Verkehrsflächen, Bahnsteige für die Errichtung von Anlagen zur Nutzung der Erdwärme oft vorhanden sind.

Tabelle 8 gibt eine Übersicht über Entzugsleistungen von Erdwärme mit oberflächennahen Nutzungstechnologien.

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

14.1.5 Mitteltiefe Erdwärme

Das mitteltiefe geothermische Potenzial besitzt im Bereich der ÖBB eventuell in Bereichen von 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 ähnlich wie bei Erdwärmesonden erfolgen. Eine separate Betrachtung erfolgt daher innerhalb des Projektes SEVES nicht.

14.1.6 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. Innerhalb des Projektes SEVES wird der Bereich der tiefliegenden Erdwärme nicht betrachtet, da diese Nutzungsart nicht Gegenstand des Projektantrages war und für die ÖBB keine Relevanz besitzt.

14.1.7 Nachhaltigkeit der Nutzung von Erdwärme

Die Nutzung der Erdwärme wird weitgehend der Kategorie der Nutzung erneuerbarer Energien zugeordnet. Bei strenger Auslegung des Begriffes fällt jedoch auf, dass diese Zuordnung bei manchen Nutzungstechnologien 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 Energie und einer nachhaltigen Nutzung der Erdwärme gesprochen werden. Umso wichtiger ist es daher, dass für Erdwärmeeinrichtungen Bewirtschaftungsstrategien entwickelt und beachtet werden, die eine langfristig nachhaltige und optimale Nutzung der vorhandenen geothermischen Energie ermöglichen.

Das Projekt SEVES verfolgt daher u.a. auch den Ansatz der saisonalen Speicherung von solarer Wärme im Untergrund und die bedarfsgemäße Rückgewinnung der Wärme zu Eis- und Schneefreihaltung von Freiflächen im Bereich der ÖBB.

14.1.8 Nutzungsmöglichkeiten von oberflächennaher Erdwärme – 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 unterschiedliche Standorteigenschaften erforderlich und Nutzungstechnologien einzusetzen. Des Weiteren hängen damit mögliche umweltrelevante Wirkungen zusammen. Innerhalb des Projektes SEVES wurden die Methoden zur Analyse des geothermischen Potenzials auf diese beiden grundsätzlichen Nutzungsformen von Erdwärme abgestimmt.

14.1.8.1 Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme

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

Zahlreiche Nutzungstechniken ohne Wasserentnahme werden national und international angewandt. Jene Nutzungstechnologien, die im Bereich der geologisch-lithologischen Rahmenbedingungen in Österreich im Bereich der ÖBB umgesetzt werden können, werden im Folgenden beschrieben:

Erdwärmesonden, Energiepfähle und vergleichbare Baugründungen werden innerhalb des Projektes SEVES näher betrachtet (siehe Abbildung 29). Bodenabsorber und Flächenkollektoren werden nicht berücksichtigt, da diese stark von der Oberflächentemperatur beeinflusst werden und nur untergeordnet geothermische Standortanforderungen benötigen.

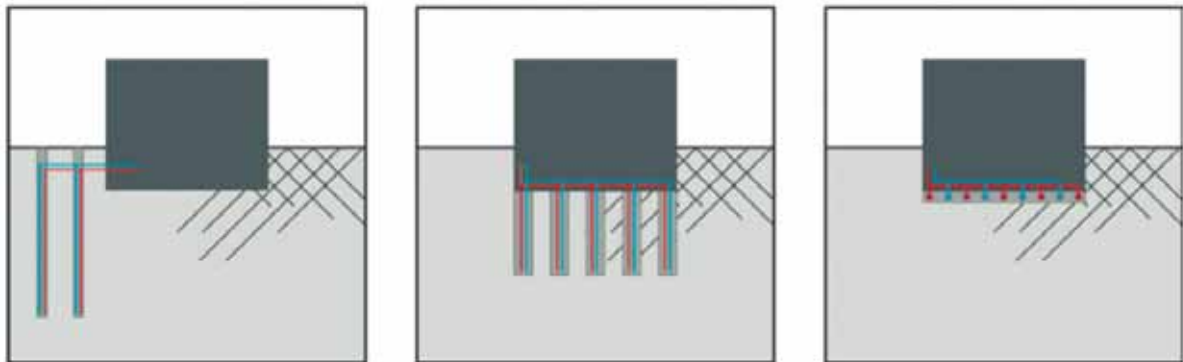


Abbildung 29: Nutzungsprinzipien von Erdwärme ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund (Erdwärmesonden, Energiepfähle, Bodenabsorber/Kollektoren) [15]

14.1.8.1.1 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 abhängig. Saisonale Temperaturschwankungen bestimmen die Bodentemperatur maßgeblich. Bei der Nutzung von Erdwärmekollektoren handelt es sich daher nicht um eine klassische geothermische Nutzung sondern eine Übergangsenergieform zwischen solarer Wärme und Erdwärme. Innerhalb von SEVES wird diese Nutzungsart nicht explizit betrachtet da auch eine aktive Speicherung solarer Wärme nicht zielführend ist.

Weiters benötigen Erdwärmekollektoren eine große Fläche, da bestimmte Verlegeabstände der Rohre im Untergrund eingehalten werden müssen, um eine Unterkühlung des Bodens durch zu hohe Entzugsleistungen zu verhindern. Bei einer Wärmeentzugsleistung der Erdwärmekollektoren von 10-35 W/m² ergibt sich bei den geforderten Leistungen (siehe Pilotplanungsstandorte – Kapitel 17) ein enormer Flächenbedarf der im Bereich der Bahnsteige meist nicht verfügbar sein wird.

14.1.8.1.2 Erdwärmesonden, Erdwärmesondenfelder

Erdwärmesonden nutzen Erdwärme in Form von vertikalen Wärmetauschern (siehe Abbildung 30). Erdwärmesonden werden in unterschiedlichen Bauformen, Tiefen und Anordnungen errichtet.

In Österreich ist die meist angewandte Form von Erdwärmesonden die Einfach-U-Sonde bzw. Doppel-U-Sonde (siehe Abbildung 31).

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

Die Bohrungen werden nach Einbringen der Sonde 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 32 dokumentiert.

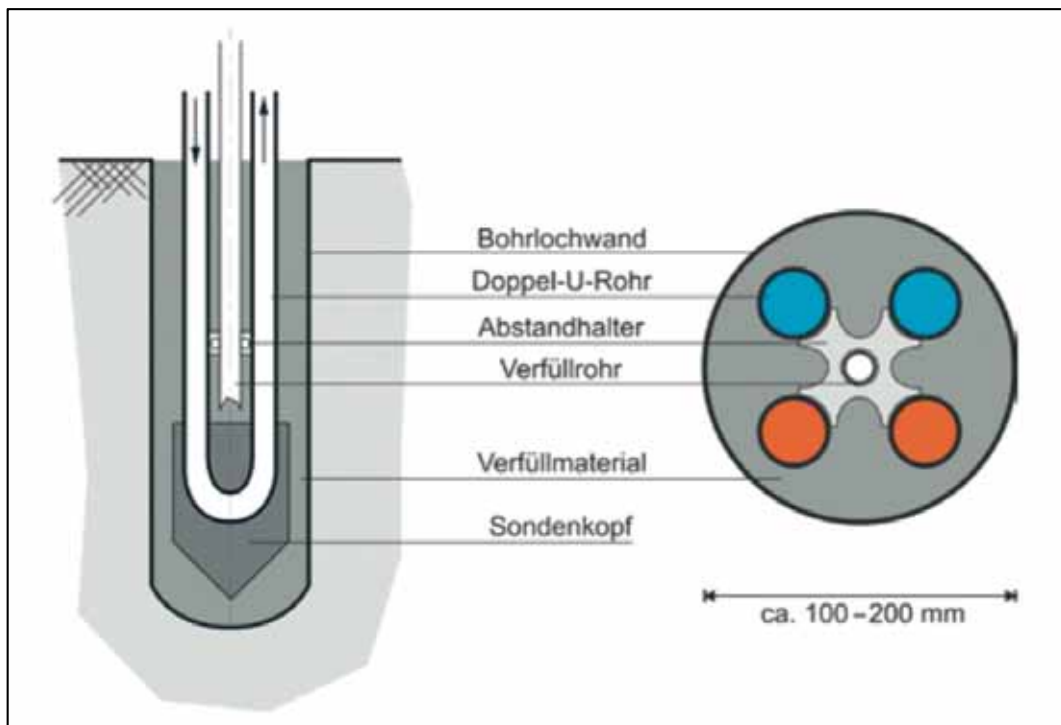


Abbildung 30: Prinzip der Erdwärmesonde (aus [15])

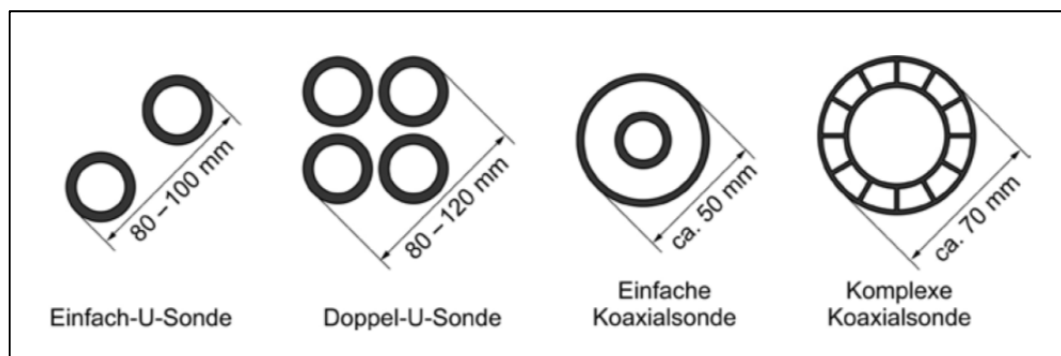


Abbildung 31: Wichtigste Bauformen von Erdwärmesonden (aus [15])



Abbildung 32: Bau eines Erdwärmesondenfeldes (Fotos: G. Domberger)

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

Die thermische Leistungsfähigkeit von Erdwärmesonden ist in Tabelle 8 zusammengefasst.

14.1.8.1.3 Erdwärmerohre - Pumpenlose Erdwärmesonden

Der Betrieb von Erdwärmerohren (auch Heat Pipes genannt) z.B. mit den Kältemitteln Ammoniak 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.

Der maximale übertragbare Wärmestrom innerhalb des Erdwärmerohres 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. Bezüglich Wärmetransporteigenschaften schneidet Ammoniak am besten ab, gefolgt von CO_2 . CO_2 als Wärmeträger ist zwar umweltneutral, jedoch sind seine Betriebsdrücke extrem hoch. Bei kleinsten Leckagen strömt das CO_2 aus und macht die Sonde unwirksam.

Man benötigt also eine einfache und kostengünstige Reparaturmöglichkeit. Das Druckproblem lässt sich durch Verwendung von Ammoniak (NH_3) anstelle von CO_2 lösen. Der Betriebsdruck von Ammoniak liegt bei nur etwa 5 bar. Ammoniak ist jedoch giftig und für Kupfermaterialien korrosiv. Seine Wärmetransporteigenschaften sind jedoch noch weit besser als die von CO_2 .

Eine nähere Betrachtung der Erdwärmerohre erfolgt im Projekt SEVES nicht, da die technische Umsetzung für eine Flächenheizung von Bahnsteigen noch keineswegs Stand der Technik ist.

14.1.8.1.4 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 33 ersichtlich.

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

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

Diese Rahmenbedingungen sind auch für die Einrichtung von Erdwärmeanlagen zur Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen zutreffend.

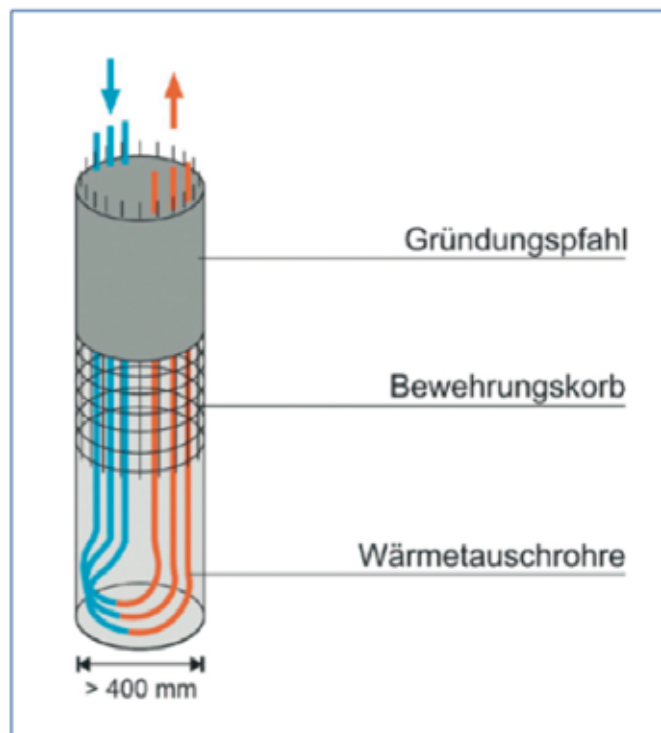


Abbildung 33: Skizze - Energiepfahl (aus [15])

14.1.8.1.5 Massivabsorber

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

14.1.8.2 Nutzung von Erdwärme mit Wasserentnahme aus Untergrund

14.1.8.2.1 Grundwassernutzung

Bei der thermischen Nutzung von Grundwasser wird Grundwasser aus dem Untergrund entnommen, thermisch genutzt und in den Untergrund rückgeführt (siehe dazu Abbildung 34). 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 bzw. die Rückführung in den Untergrund entfallen.

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 dabei aus einem Entnahmebrunnen, die Rückführung des genutzten Wassers in den Untergrund mit Hilfe eines Schluckbrunnens (Rückgabebrunnen) oder einer Versickerungsanlage.

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

Der notwendige Abstand zwischen einem Entnahmebrunnen und einem Schluckbrunnen erfordert relativ große Grundstücke, welche im Bereich der ÖBB oft verfügbar sind und eine günstige Rahmenbedingung für die Umsetzung dieser Nutzungsvariante darstellt.

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

Ein wesentlicher Kostenfaktor im Betrieb einer Grundwasseranlage sind die Pumpenergiekosten, die für die Grundwasserentnahme aus dem Entnahmebrunnen entstehen.

Für eine Grundwasserentnahme (und Rückführung in den Untergrund) ist in Österreich weiters eine wasserrechtliche Bewilligung erforderlich (siehe Kapitel 18).

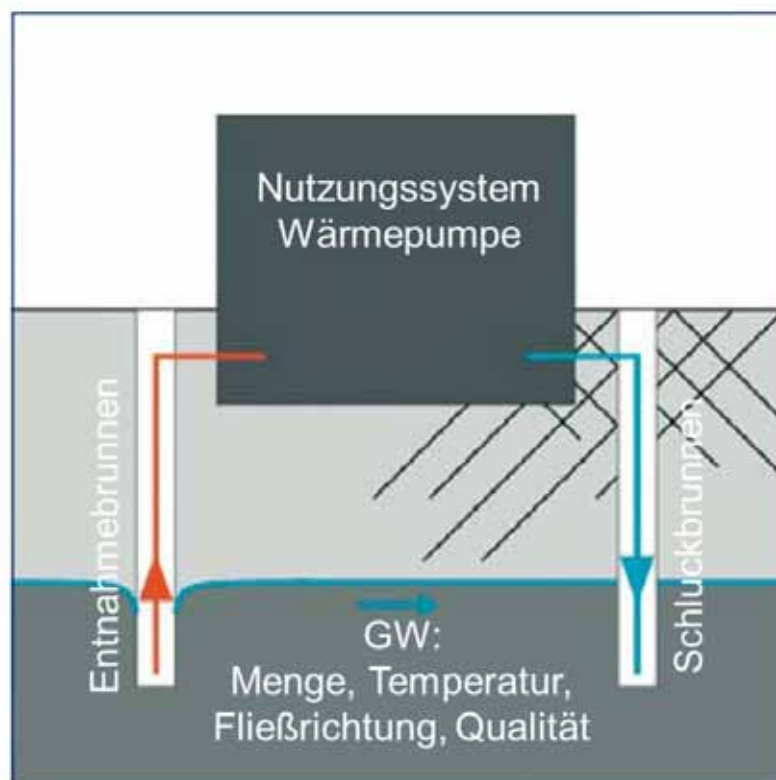


Abbildung 34: Thermische Nutzung des Grundwassers (aus [15])

14.1.8.2.2 Nutzung von Tunnelwasser

Ein spezieller Fall der thermischen Nutzung von Grundwasser (Tunnelwasser) besteht im Bereich der ÖBB durch das Vorhandensein und den Betrieb zahlreicher Eisenbahntunnel unterschiedlicher Längen und geologischer Rahmenbedingungen. Ein GIS-Vektordatensatz der ÖBB-Tunnel wurde von der ÖBB für die Projektbearbeitung zur Verfügung gestellt.

In Abbildung 35 und Abbildung 36 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 schwankt auch der Energieinhalt (das Wärmepotenzial) der einzelnen Tunnel entsprechend den Standorteigenschaften bzw. den unterschiedlichen hydrogeologischen und geothermischen Gesetzmäßigkeiten. Für die Auslegung von nachhaltigen Heizsystemen ist in jedem Fall das Schwankungsverhalten der verfügbaren Tunnelwassermenge und der Wassertemperatur maßgeblich. Die Minimalschüttung bestimmt die Leistungsfähigkeit einer Anlage maßgeblich.

Tunnelwasser wird beim Bau von Tunneln angetroffen, teilweise durch Abdichtungsmaßnahmen im Gebirge zurückgehalten und teilweise in Tunnel drainagen 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.

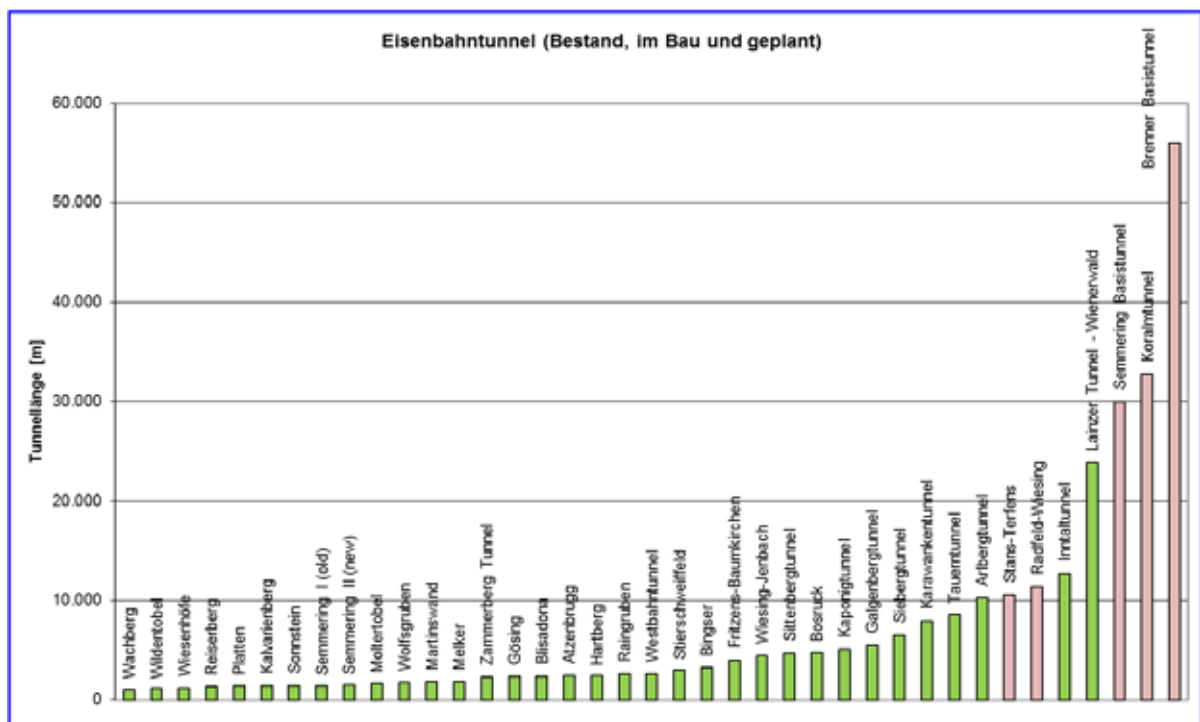


Abbildung 35: Eisenbahntunnel in Betrieb, im Bau oder in Planung (österreichweit)

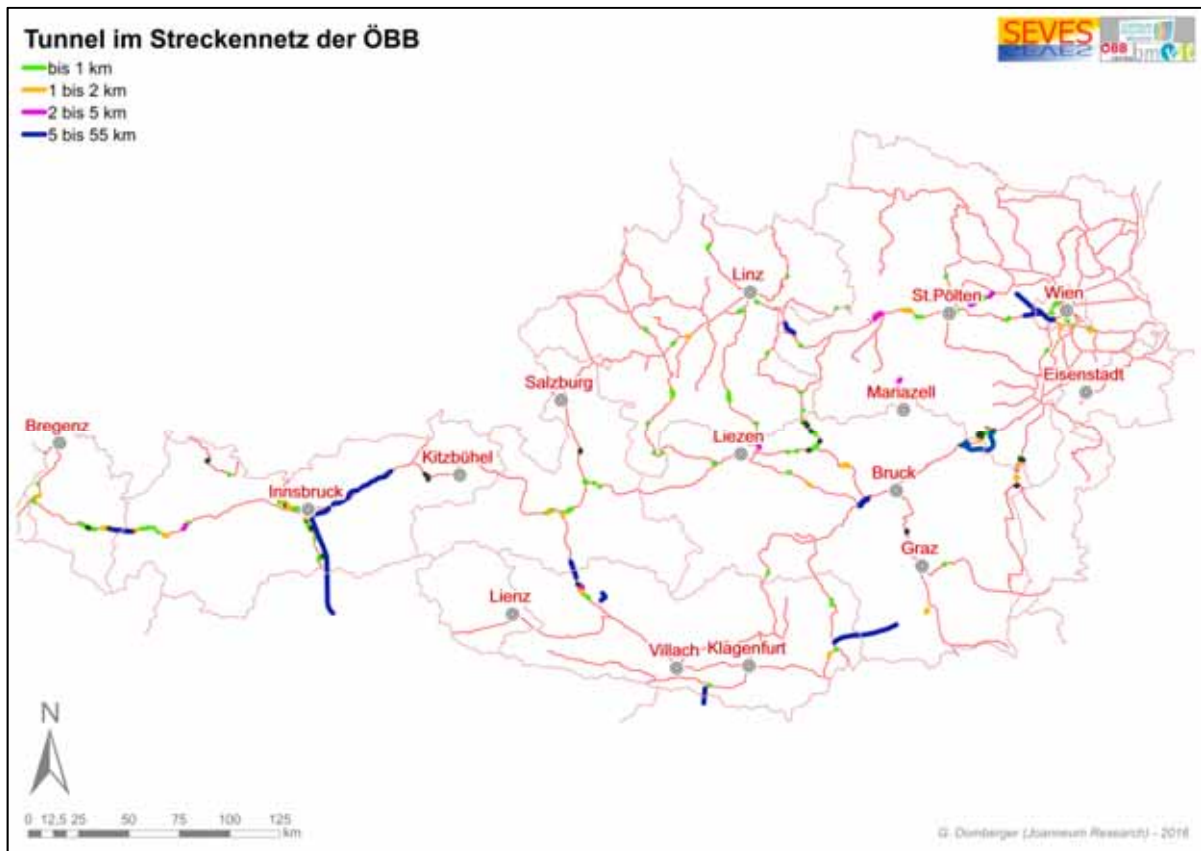


Abbildung 36: Bestandstunnel im Bereich der ÖBB-Strecken

Die Wassermenge und die Wassertemperaturen sind nur von Einzelprojekten bekannt und daher für weiterführende Überlegungen nicht verfügbar.

Generell ist jedoch davon auszugehen, dass Tunnel mit größeren Längen erhöhte Wassermengen aufweisen, da diese über die gesamte Tunnellänge zusammengefasst wird. Weiters korrelieren höhere Gesteinsüberlagerungen meist mit erhöhten Wassertemperaturen. Für die Tunnel der ÖBB wäre eine diesbezügliche Bestandsaufnahme erforderlich und zielführend.

Joanneum Research ist in die hydrogeologischen Arbeiten beim Koralmtunnel und beim Semmering Basistunnel involviert, wodurch ein diesbezügliches Detailwissen aufgebaut werden konnte. Hier wäre mit Sicherheit ein entsprechendes Potenzial für die thermische Nutzung von Tunnelwasser vorhanden.

14.1.8.2.3 Tunnelwassernutzung in der Schweiz

In der Schweiz besteht ein umfangreiches Know-How im Bereich der energetischen Nutzung von Wasser aus Eisenbahn- und Straßentunneln. Aufgrund der Tatsache, dass die damit zusammenhängenden Projekte meist mit erheblichen 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 Bundesamtes Energie der Schweiz sämtliche bestehenden schweizerischen 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 Ergiebigkeit dieser 15 Tunnel bewegt sich zwischen 6 l/s und 300 l/s, während die Temperatur von 12 bis 24° C reicht. Mit diesen beiden Parametern kann man das geothermische Potenzial, d.h. die Wärmeleistung, die die Tunnel liefern könnten, berechnen. Das gesamte geothermische Potenzial der 15 untersuchten Tunnel beträgt etwa 30.000 kW, was dem Wärmebedarf von etwa 4.000 Haushalten entspricht (siehe dazu Tabelle 9).

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
Hauenstei (Basistunnel)	SO	Eisenbahn	2500	19	2'262
Isla Bella	GR	Strasse	800	15	501
Lötschberg	VS	Eisenbahn	731	12	305
Mappo-Moretina 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 9: Geothermisches Potenzial von Tunnels in der Schweiz (J.Wilhelm & L.Rybach)

Tabelle 10 gibt einen 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 10: Tunnelwassernutzungen in der Schweiz

14.1.9 Saisonale Speicherung von Wärme im Untergrund

Grundsätzlich besteht bei thermischen 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 14.1.8.1 dargestellten Nutzungsmethoden. Es kommt daher in vielen Fällen zu einer thermischen Übernutzung des Untergrundes und dementsprechend zu einer langfristigen Abkühlung des Untergrundes (siehe dazu auch Kapitel 17.4).

Abbildung 37 stellt dazu die Ergebnisse einer 3D-Simulation eines Erdwärmesondenfeldes dar. Die Abkühlung nach 30 Jahren Nutzungsdauer zeigt sich im Bereich der zentralen blauen Zone (linkes Bild). Die Erwärmung durch die Einspeicherung solarer Wärme im Untergrund (ebenfalls nach 30 Jahren Nutzungsdauer) zeigt sich im rechten Bild im Bereich der rötlichen Zone.

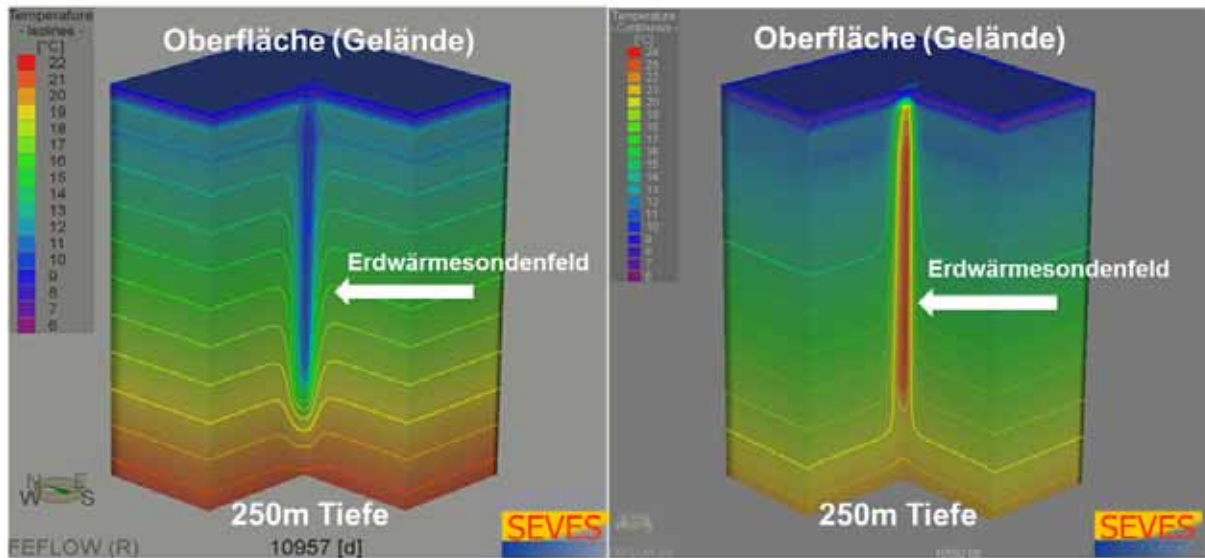


Abbildung 37: Simulation von Erdwärmesonden mit und ohne aktive thermische Regeneration

In diesen Nutzungsfällen ist eine saisonale Wärmespeicherung durch die Speicherung solarer Wärme im Untergrund günstig bzw. im Sinne der Nachhaltigkeit zielführend.

Abbildung 38 zeigt den Temperaturverlauf im Untergrund bei einer kombinierten Nutzung von Heizung und Wärmespeicherung. Naturgemäß erfolgt die Schneefreihaltung (Heizung=Abkühlung des Untergrundes) in den Wintermonaten, das Speichern von Wärme (Erwärmung des Untergrundes) in den Sommermonaten.

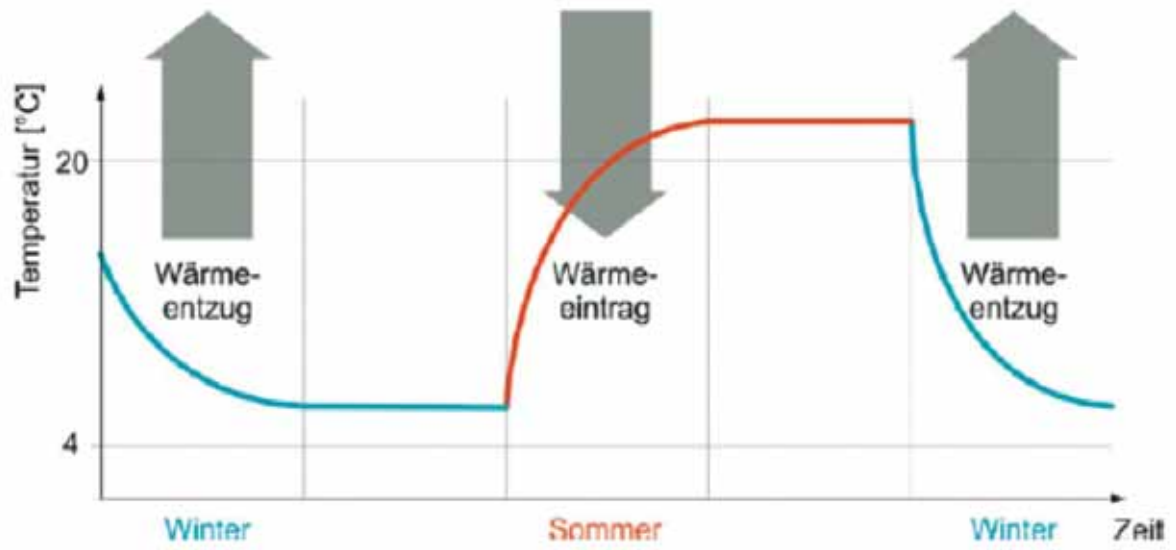


Abbildung 38: Idealisiertes Schema der saisonalen Wärmespeicherung im Untergrund (aus [15])

14.2 Beurteilungsgrundlagen - Geothermisches Potenzial

14.2.1 Datengrundlage zur Analyse des geothermischen Potenzials bei den Verkehrsstationen

Die Analyse des geothermischen Potenzials erfolgte teilweise schon im Projekt INFRAplusGEO. Auf die in diesem Projekt erarbeiteten Grundlagen wurde im Projekt SEVES aufgebaut. Im Projekt SEVES erfolgte eine Weiterbearbeitung dieser Datenbasis.

Die bundesweite Beurteilung des geothermischen Potenzials erfolgte auf Basis der geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes im Übersichtsmaßstab.

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

Abbildung 39 gibt den Datenbestand und die Kriterien an, welche für die Standortanalyse des geothermischen Potenzials herangezogen wurden.



Abbildung 39: Beurteilungsgrundlage des oberflächennahen Potenzials

14.2.2 Grundlegende Bemerkungen

Die systematische Bearbeitung des geothermischen Potenzials im Bereich der oberflächennahen Erdwärme erfolgte mit Hilfe des 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 mit der Lage der Verkehrsstationen.

- 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 eine Detailstudie und gegebenenfalls Erkundungsbohrungen am geplanten Standort erforderlich.

14.2.3 Bewertungsmaßstab, Detailierungsgrad

Innerhalb des Projektes SEVES wurde das gesamte Bundesgebiet Österreichs analysiert und im Bereich der Verkehrsstationen der ÖBB hinsichtlich des oberflächennahen geothermischen Potenzials bewertet. Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes wurde zur Analyse des geothermischen Potenzials die geologische Karte im Maßstab 1:500.000 herangezogen. In diesem Kartenmaßstab sind die geologisch-lithologischen Einheiten sehr übersichtlich verarbeitbar, verlieren jedoch hinsichtlich des Detaillierungsgrades gegenüber den geologischen Detailblättern im Maßstab bis 1:50.000. Eine Detailplanung für mögliche Nutzungsstandorte sollte jedoch in jedem Fall auf die geologischen Grundlegekarten mit dem höchsten Auflösungsvermögen zurückgreifen.

Der gewählte und bundesweit umsetzbare Kartenmaßstab von 1:500.000 bietet jedoch in jedem Fall eine ausgezeichnete Basis für eine Übersichtsbewertung des geothermischen Potenzials.

14.2.4 Geologische Tiefeninformationen

Die geologische Kartengrundlage ist ein Abbild des geologisch-hydrogeologischen Inventars an der Geländeoberfläche. Oberflächennahe geothermische Nutzungen, die im Projekt SEVES näher betrachtet werden, erreichen im Fall von Erdwärmesonden eine Tiefe von 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. In diese Detailplanungen sind in jedem Fall auch detaillierte Baugrundinformationen einzubinden. Diese sollten in Form von Untergrundaufschlüssen (z.B. Erkundungsbohrungen) erfolgen.

14.2.5 Thermische Gesteinsparameter des Untergrundes

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

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
Ultrabazit	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, Prättigauflysch); 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. Afenz 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 (Blässeneck 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 Hauptkilpenzone); 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 -, Schrovln - 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)

14.2.5.1 Wärmeleitfähigkeiten

Abbildung 40 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 granitähnlichen Gesteine der Böhmisches Masse auf.

Dabei ist in Abbildung 40 die Spalte – Typische Wärmeleitfähigkeiten (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.

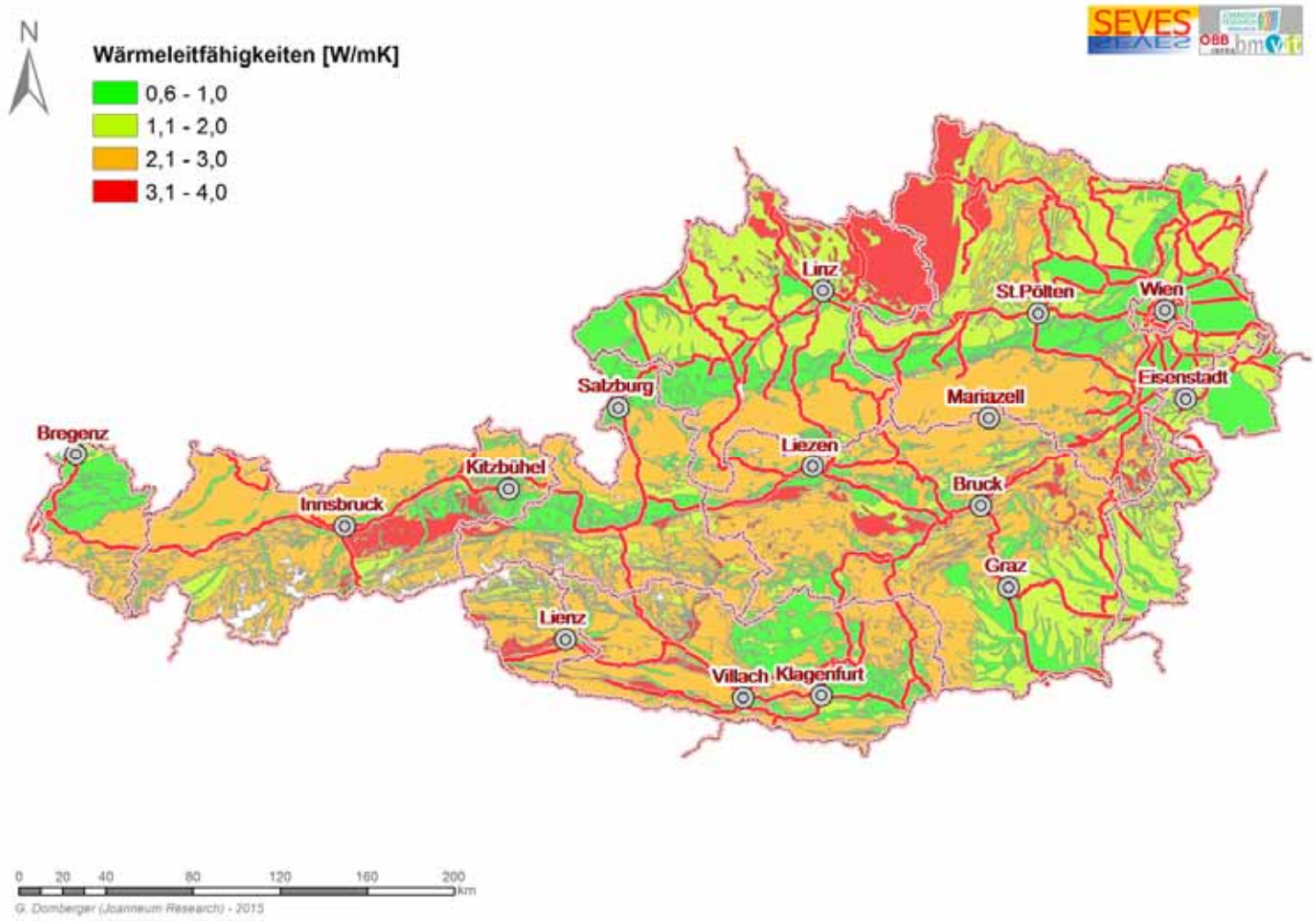


Abbildung 40: Wärmeleitfähigkeiten der Gesteinseinheiten in Österreich

14.2.5.2 Spezifische Wärmespeicherkapazitäten

Abbildung 41 zeigt die Verteilung der spezifischen Wärmespeicherkapazitäten in Österreich auf Basis von Tabelle 11. Granite und granitähnliche Gesteine weisen die besten Wärmespeicherfähigkeiten auf, während die Lockersedimente in den großen Sedimentbecken die geringsten Speicherfähigkeiten aufweisen. Ersichtlich ist aus den beiden Abbildungen (Abbildung 41) die Differenz zwischen den jeweiligen Minimal- und Maximalwerten der Gesteinseinheiten. Dementsprechend ist auch an dieser Stelle wieder auf erforderliche Detailstandorterkundungen hinzuweisen.

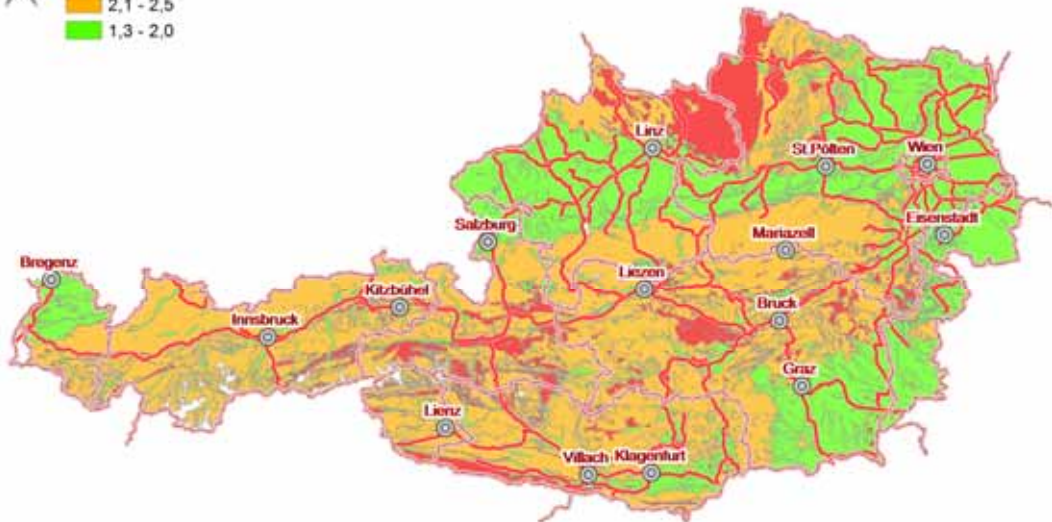
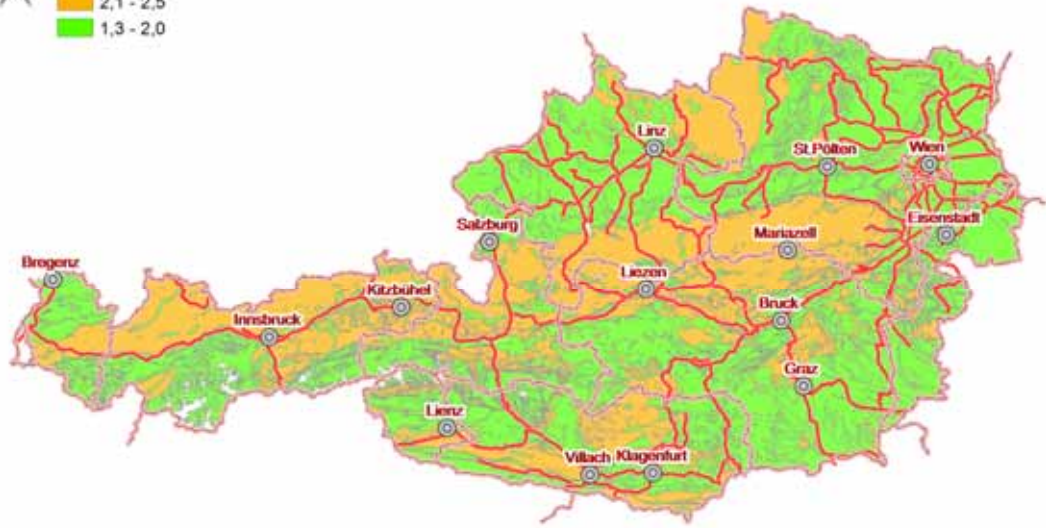


Abbildung 41: Wärmespeicherkapazität (Vergleich – min und max.) der Gesteinseinheiten in Österreich

14.2.5.3 Natürlicher Erdwärmefluss

Neben den thermischen Eigenschaften der Gesteinseinheiten (Wärmespeicherkapazität, Wärmeleitfähigkeit) ist auch der natürliche Erdwärmefluss für die Realisierung von Erdwärmennutzungen von Bedeutung. Hier zeigen sich im Bereich der Sedimentbecken eher günstige Wertebereiche (siehe Abbildung 42) während vor allem im Bereich der Kalkalpen eher ungünstige Rahmenbedingungen herrschen. Im Bereich des Steirisch-Südburgenländischen Beckens liegen aufgrund der großtektonischen Entstehung des Bereiches besonders günstige Verhältnisse vor und der Erdwärmefluss kann hier etwa 100 mW/m² erreichen.

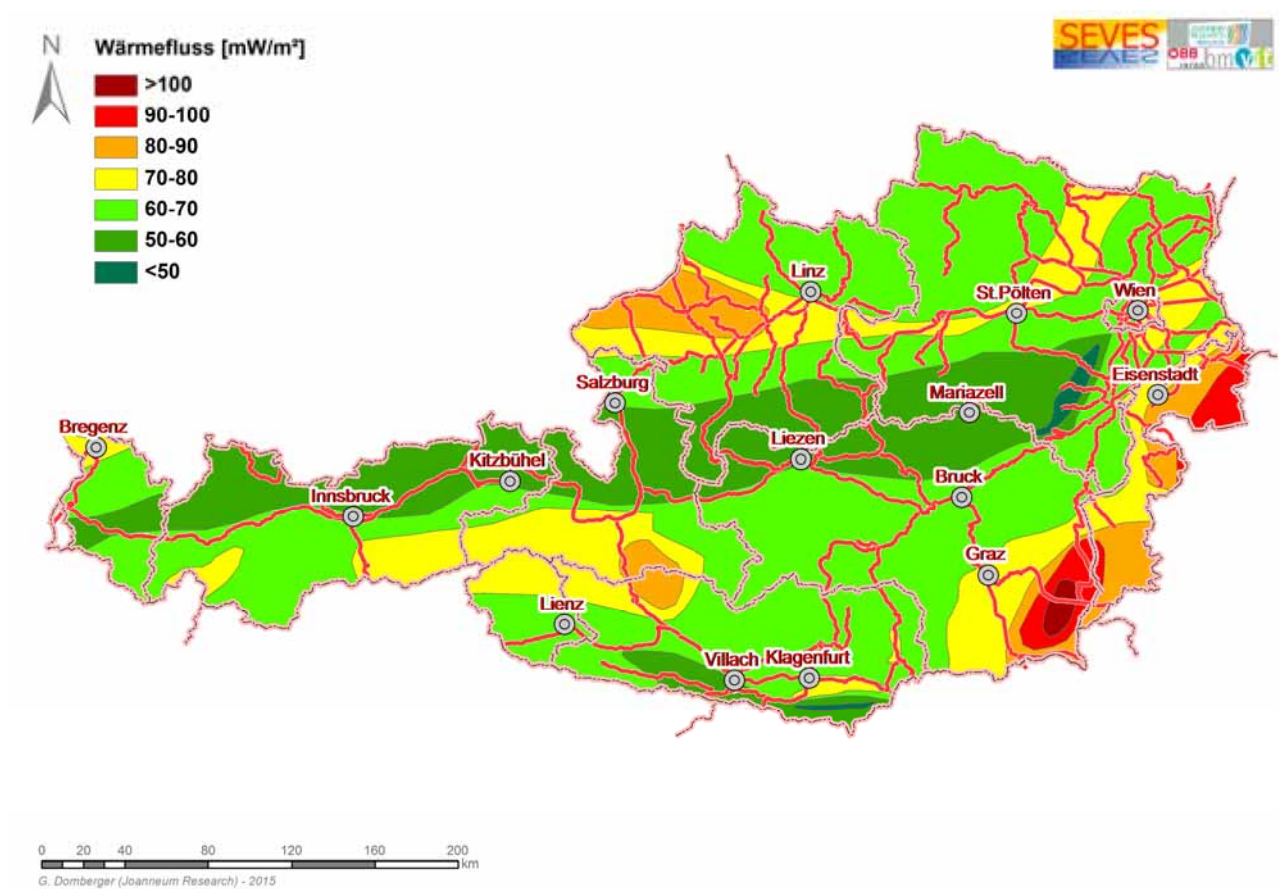


Abbildung 42: Natürlicher Erdwärmefluss (Basisquelle: Geologischer Atlas – Geologische Bundesanstalt)

14.2.6 Hydrogeologische Standorteignung

Die Analyse der hydrogeologischen Standorteignung von Verkehrsstationen der ÖBB zielt vorrangig auf das Vorhandensein von oberflächennahem Grundwasser in ausreichender Ergiebigkeit für eine thermische Nutzung ab. Basis der entsprechenden 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 Übersichtsanalyse zielt daher auf die Lage der Verkehrsstationen der ÖBB im Bereich dieser beiden hydrogeologischen Klassen ab (siehe dazu Abbildung 43).

Es ist dabei anzumerken, dass auch bei der Analyse der hydrogeologischen Standorteignung in jedem Fall auf eine standortspezifische Detailuntersuchung nicht verzichtet werden kann.

Im speziellen Fall gibt die hydrogeologische Karte von Österreich keine Auskunft über die Durchlässigkeiten und Mächtigkeiten der ausgewiesenen Lockersedimente und damit keine Auskunft über die tatsächliche Grundwasserergiebigkeit.

Weiters ist darauf hinzuweisen, dass auch außerhalb dieser ausgewählten Bereiche 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.

Hydrogeologische Typisierung

- Überwiegend Kies und Sand
- Überwiegend Kies und Sand, örtlich Moränen
- Kalkstein
- Überwiegend Karbonatgestein
- Dolomit
- Lokale Karbonatgesteinsbereiche
- Überwiegend Ton, Mergel und Sand, örtlich Kies, Sandstein und Konglomerat
- Überwiegend Mergel und Sandstein
- Überwiegend Tonschiefer und Sandstein
- Überwiegend Phyllit und Schiefer
- Überwiegend Granit, Gneis und Schiefer
- Vulkanit

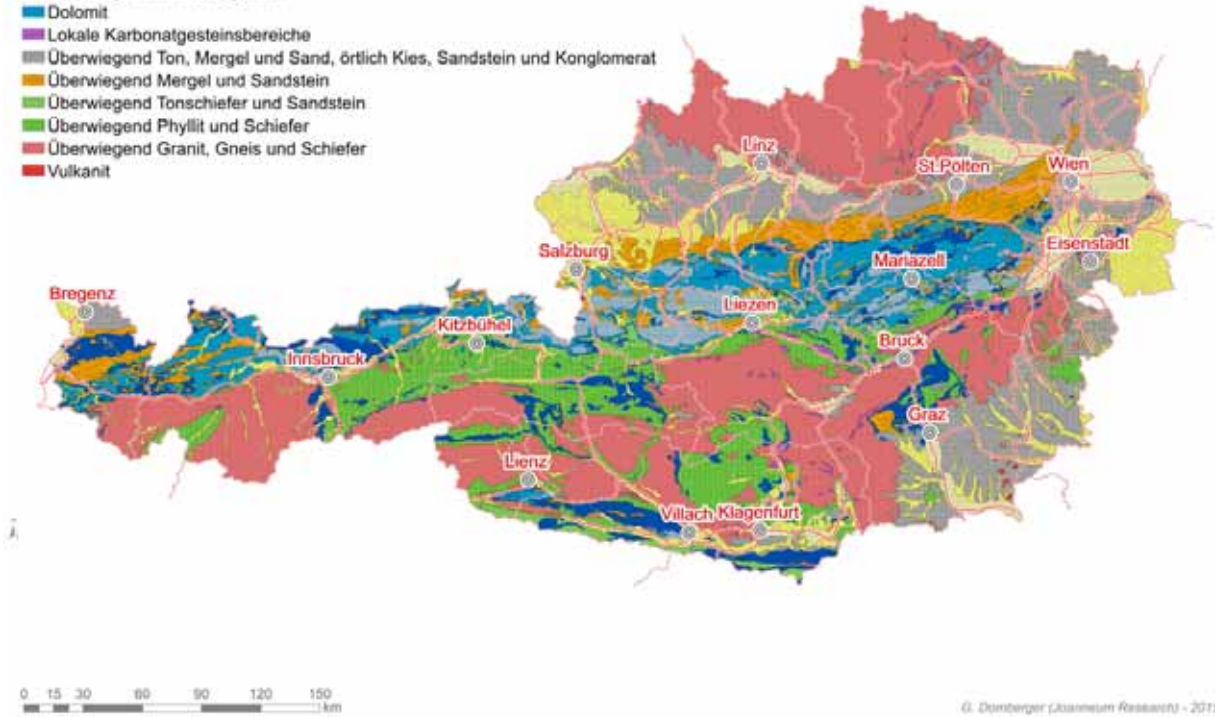


Abbildung 43: Hydrogeologische Standorteignung (Basis: Hydrogeologische Karte – Geologische Bundesanstalt)

14.2.7 Tunnelwassernutzung

Die thermische Nutzung von Tunnelwasser ist ein Spezialfall einer Erdwärmenutzung mit Grundwasserentnahme. Die Thematik und der Tunnelbestand im Streckennetz der ÖBB ist in Kapitel 14.1.8.2.2 bereits ausführlich dargestellt.

Eine weiterführende Analyse kann innerhalb des Projektes SEVES nicht erfolgen, da die erforderliche Datenbasis (Tunnelwassermengen, Wassertemperaturen) nicht vorliegt.

Ein Beispiel für die mögliche Nutzung von Tunnelwasser wäre die Verkehrsstation Gloggnitz im Bereich des in Bau befindlichen Semmering Basistunnels SBT. Hier wäre eine große Wassermenge mit günstigen Temperaturbedingungen verfügbar und könnte gravitativ (ohne Energiebedarf durch Pumpmaßnahmen) genutzt werden.

14.3 Nutzungsmöglichkeiten

Abbildung 44 fasst die wichtigsten Nutzungsmöglichkeiten von Erdwärme zur Eis- und Schneefreihaltung im Bereich von Bahnsteigen der ÖBB und die zugrundeliegenden Energie-Ressourcen grafisch zusammen. Weiters sind die geplanten Nutzungstechnologien der Verkehrsstationen der Pilotplanungen in 17 ersichtlich (hellblau umrahmt).

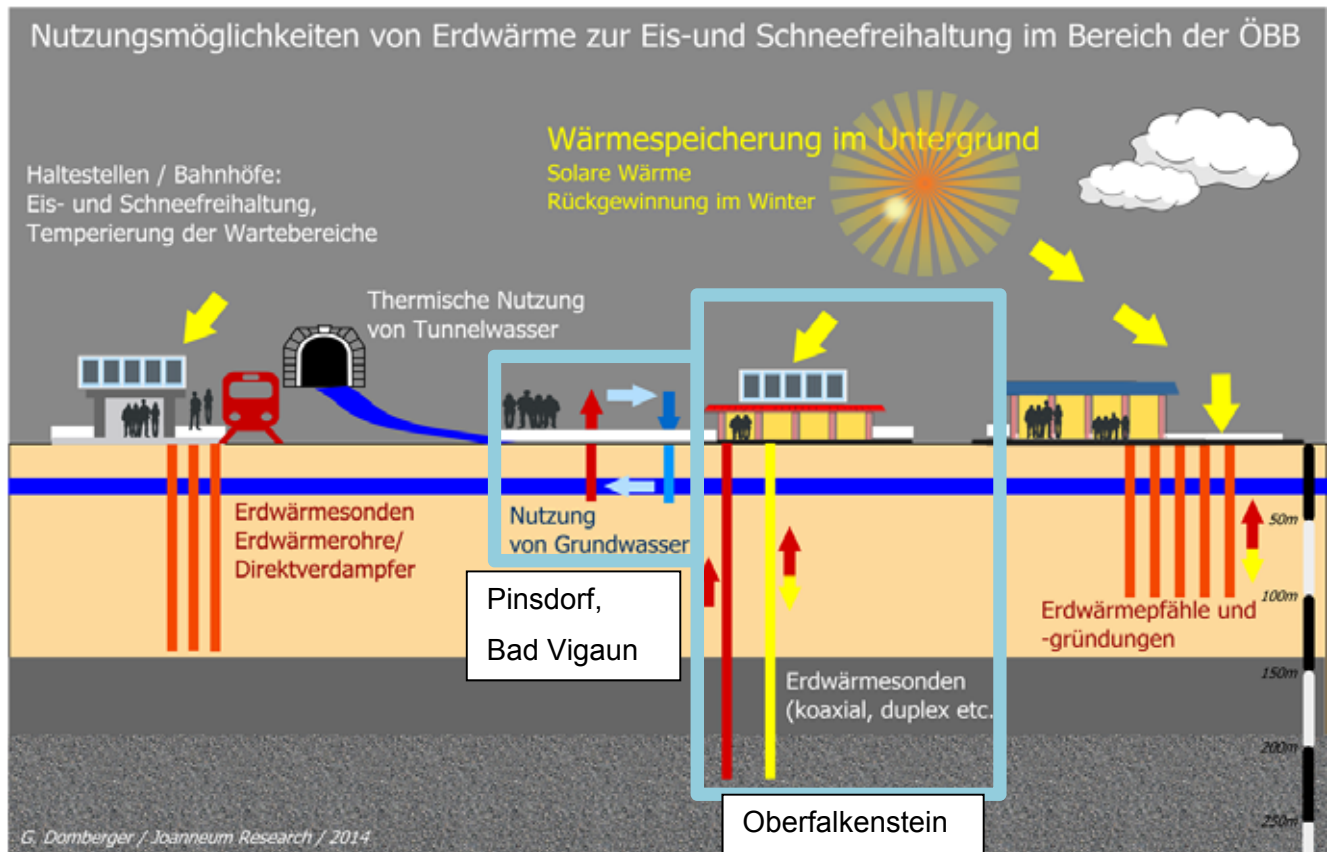


Abbildung 44: Nutzungsmöglichkeiten von Erdwärme zur Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen im Bereich der ÖBB

14.4 Analyse von geothermisch begünstigten Verkehrsstationen

Die Analyse der Verkehrsstationen der ÖBB, die für die Nutzung von Erdwärme besonders günstige Voraussetzungen aufweisen, erfolgte erstmals bereits im Projekt INFRAPlusGEO (VIF2011). Die für das Projekt SEVES weiter aufbereiteten Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln 14.4.1 und 14.4.2 zusammengefasst dargestellt.



14.4.1 Verkehrsstationen und Standorteigenschaften für die thermische Grundwassernutzung

Abbildung 45 stellt alle Verkehrsstationen der ÖBB und deren Standorteigenschaften hinsichtlich der thermischen Nutzung von Grundwasser dar. Selbstverständlich sind sämtliche Standorte auch tabellarisch auflistbar. Innerhalb dieses Berichtes erfolgt die Darstellung aus Gründen der Übersichtlichkeit aber in Kartendarstellungen.



Abbildung 45: Verkehrsstationen mit der Eignung für eine thermische Nutzung von Grundwasser

14.4.2 Verkehrsstationen und Standorteigenschaften für die thermische Nutzung der Erdwärme ohne Wasserentnahme

Die thermischen Eigenschaften eines Standortes (für eine Erdwärmenutzung ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund) beziehen sich innerhalb des Projektes SEVES 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 und Energiepfählen und anderen Systemen ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund. Eindeutige diesbezügliche Parameter sind aber nur aus Standortsdetailerkundungen ableitbar.

Abbildung 46 zeigt die Verkehrsstationen der ÖBB mit den Eignungskategorien für die Errichtung von z.B. Erdwärmesondenanlagen und Erdwärmepfählen aufweisen.

Verkehrsstationen und Eignung für EWS-Nutzung

- ⊙ eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen
- eher günstig
- günstig
- sehr günstig

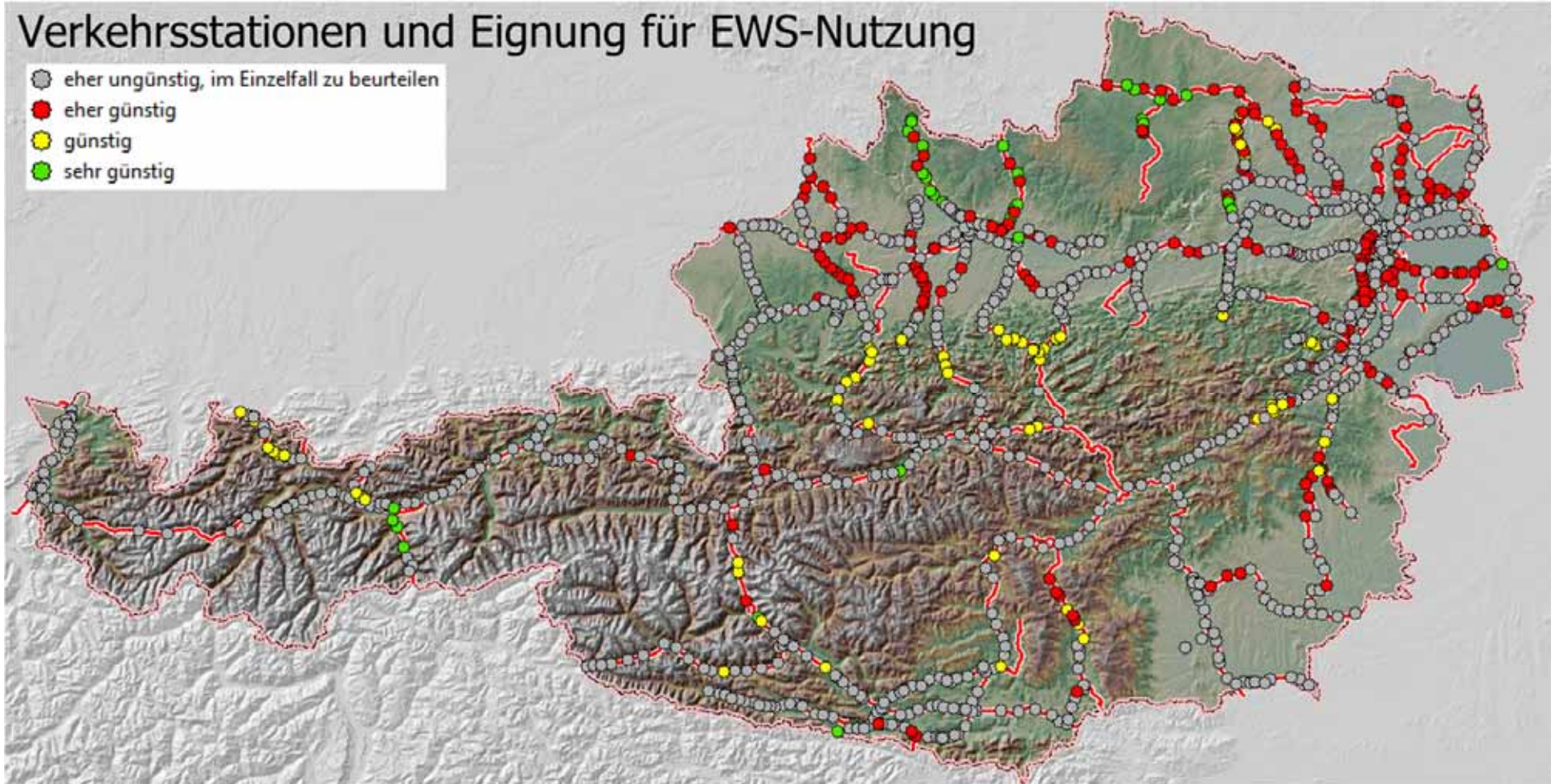


Abbildung 46: Verkehrsstationen und Eignung für die Nutzung von Erdwärmesonden

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

Die Auswahl der Verkehrsstationen für die Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund erfolgte vorrangig auf Basis der zu erwartenden thermischen Gesteinseigenschaften

- Hohe Wärmeleitfähigkeit des Gesteins
- Hohe Wärmespeicherkapazität des Gesteins
- Hohe Wärmeflussdichte (qualitative Betrachtung)

14.4.2.2 Standortkriterien für die geothermische Nutzung von Grundwasser

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 14.2.6).

15 TECHNISCHE UMSETZUNG - GESAMTKONZEPTE ZUR EIS- UND SCHNEEFREIHALTUNG MIT ERDWÄRME

15.1 Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen und Freiflächen

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

Die benötigte Wärmedichte zur Eis- und Schneefreihaltung wird mit etwa 250 bis max. 500 W/m² angegeben. In Kapitel 7.3.4 ist das Projektbeispiel bei der Haltestelle Barbis (Bad Lautenberg) dargestellt. Im Bereich der ÖBB existieren zahlreiche vergleichbare Verkehrsstationen, die sich für eine Umsetzung von geothermischen Freiflächenheizungen (ähnlich wie in Bad Lautenberg) eignen würden.

In den folgenden Kapiteln werden die verschiedenen technischen Möglichkeiten der Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen mit Erdwärme in Kombination mit solarer Wärme dargestellt.

15.1.1 Eis- und Schneefreihaltung mit Grundwasserentnahme

Die Grundwasserentnahme erfolgt dabei aus einem Entnahmebrunnen. Das Grundwasser wird direkt in die Freiflächentemperierung eingespeist. Eine Wärmepumpe zur Erhöhung der Vorlauftemperatur kommt dabei nicht zum Einsatz. Dies bedingt eine ausreichende Grundwassermenge und eine zielführend nutzbare Grundwassertemperatur. Das Nutzungsprinzip ist in Abbildung 47 dargestellt.

Folgende Faktoren sind dabei maßgeblich:

- Ausreichende Grundwasserergiebigkeit
- Erforderliche Grundwassertemperatur
- Grundstücks- bzw. Flächenverfügbarkeit (Distanz zwischen Entnahmebrunnen und Schluckbrunnen)
- Wasserrechtliche Restriktionen sind zu berücksichtigen

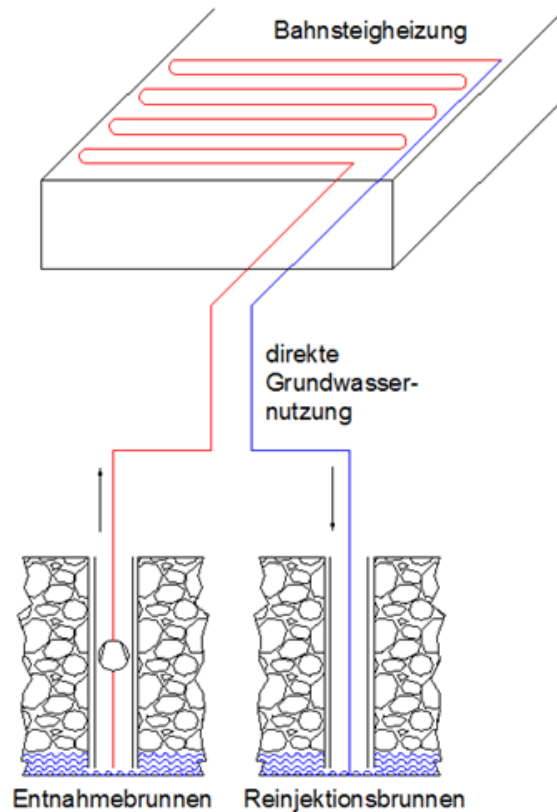


Abbildung 47.: Eis- und Schneefreihaltung mit Grundwasserentnahme

15.1.2 Eis- und Schneefreihaltung mit Grundwasserentnahme und Wärmepumpenunterstützung

Das System ist vergleichbar mit dem System in 15.1.1 aufgebaut.

Der technische Unterschied besteht vor allem in der Nutzung einer Wärmepumpe zur Erhöhung der Vorlauftemperatur im Schmelz- und Abtausystem. Die Gesamtenergiebilanz des Systems wird durch den Einsatz von elektrischer Energie zum Betrieb der Wärmepumpe deutlich verschlechtert, die Regelbarkeit und die Leistungsfähigkeit jedoch verbessert.

Das Nutzungsprinzip ist in Abbildung 48 dargestellt.

Wesentliche Faktoren sind dabei:

- Ausreichende Grundwasserergiebigkeit
- Erforderliche Grundwassertemperatur
- Grundstücks- bzw. Flächenverfügbarkeit (Distanz zwischen Entnahmebrunnen und Schluckbrunnen)
- Wasserrechtliche Restriktionen sind zu berücksichtigen

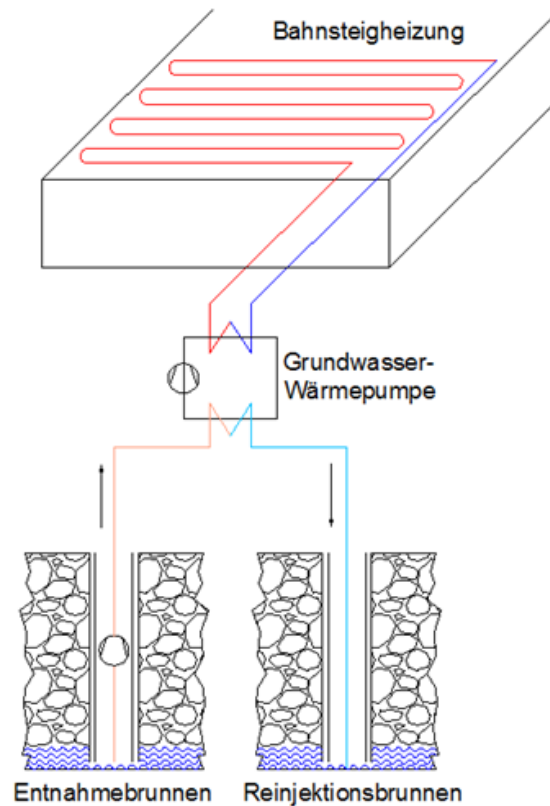


Abbildung 48: Eis- und Schneefreihaltung mit Grundwasserentnahme und Wärmepumpenunterstützung

15.1.3 Eis- und Schneefreihaltung mit Tunnelwassernutzung

Die Nutzung von Tunnelwasser ist eine Nutzungsmethode, die im Portalbereich von wasserführenden Tunneln eingesetzt werden kann. Im Idealfall fließt das Tunnelwasser gravitativ zur nahegelegenen Verkehrsstation. Nach der Nutzung in einer Bahnsteigheizung fließt das Wasser weiter gravitativ in den Vorfluter (Oberflächengerinne) ab.

Da hier im Regelfall keine Pumpenergie für die Hebung von Grundwasser anfällt und auch die Errichtung von Brunnen nicht erforderlich ist, können diese Spezialfälle u.U. wirtschaftlich sehr günstig dargestellt werden.

Das Nutzungsprinzip ist in Abbildung 49 dargestellt.

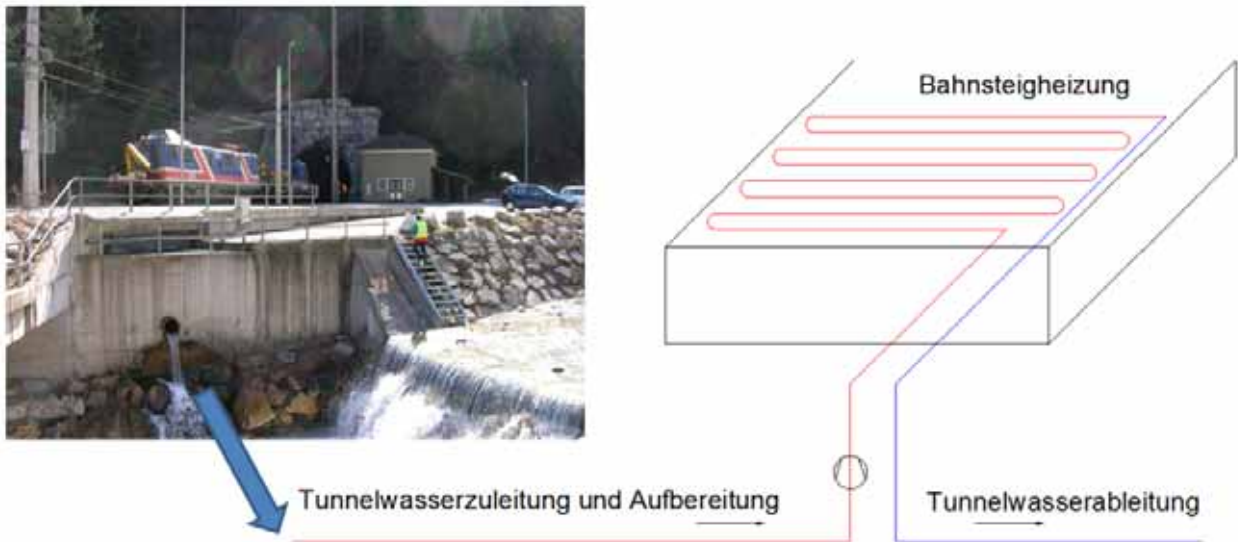


Abbildung 49: Eis- und Schneefreihaltung mit direkter Tunnelwassernutzung

15.1.4 Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden

Die Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden oder auch mit Energiepfählen erfolgt mit Erdwärme, welche in einem sekundären Kreislauf dem Untergrund entzogen wird. Dabei wird kein Grundwasser aus dem Untergrund entnommen sondern nur die Wärme des Untergrundes genutzt.

Die maßgeblichen Parameter, welche die mögliche Energieentnahme aus dem Untergrund bestimmen, sind einerseits geowissenschaftlich begründet, andererseits direkt von der Anlagendimension (Anzahl und Tiefe der Erdwärmesonden) beeinflusst.

Das Nutzungsprinzip ist in Abbildung 50 dargestellt.

Der Rücklauf des Systems in den Untergrund ist dabei geeignet um Energie im Untergrund zu speichern,

Im Fall der direkten Nutzung von Erdwärme (ohne Wärmepumpenunterstützung) muss die verfügbare Wärmemenge den Bedarf decken, indem die Tiefe und die Anzahl der Erdwärmesonde(n) entsprechend festgelegt (erhöht) werden.

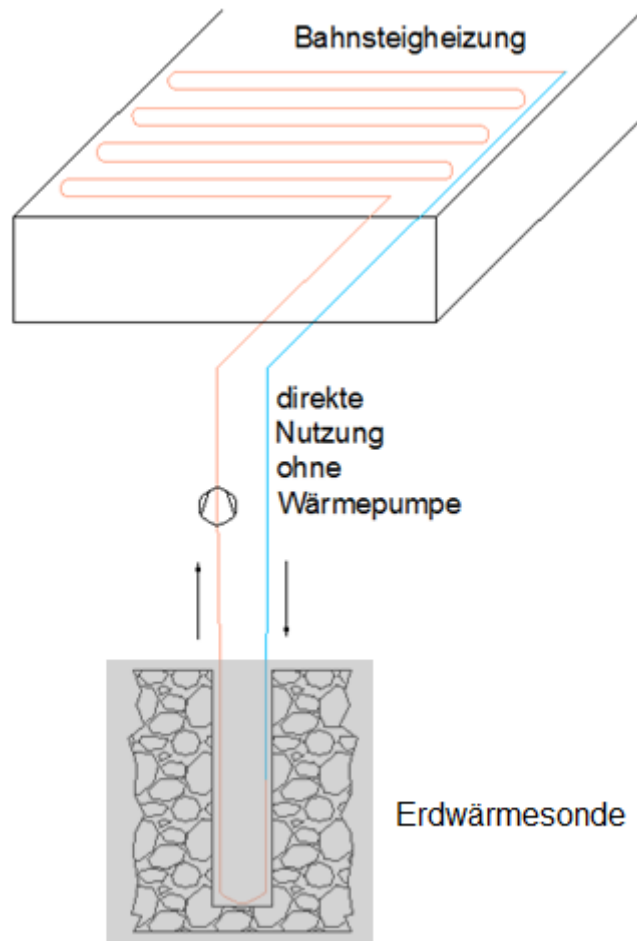


Abbildung 50: Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden

15.1.5 Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Wärmepumpenunterstützung

Unterstützt man den Betrieb von Erdwärmesonden mit Wärmepumpen ist das Gesamtsystem besser regelbar und kann kurze Energiebedarfsspitzen besser abdecken.

Das Nutzungsprinzip ist in Abbildung 51 dargestellt.

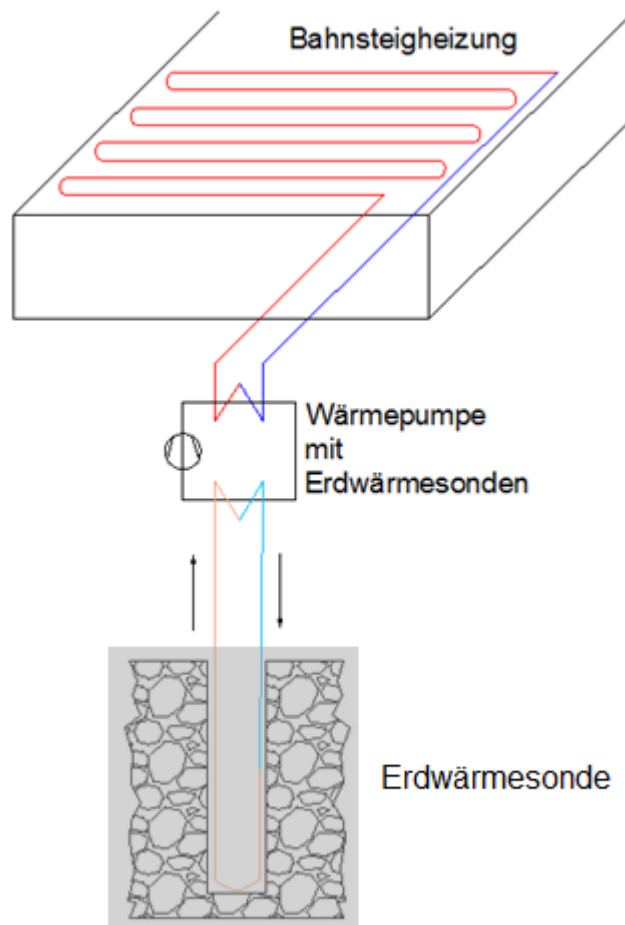


Abbildung 51: Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Wärmepumpenunterstützung

15.1.6 Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Speicherung solarer Wärme

In Kapitel 14.1.9 sind die Grundlagen für die Sinnhaftigkeit und die Erfordernis der Wärmespeicherung im Untergrund im Fall der Erdwärmesondennutzung dargelegt.

Im Projekt SEVES wird vor allem auf die Speicherung von solarer Wärme mit Solarkollektoren eingegangen, da die Rückführung von Wärme aus dem Bahnsteig in den Untergrund nur untergeordnete Energiebeiträge liefern kann (siehe dazu Berichtskapitel 16.1).

Das Nutzungsprinzip dazu ist in Abbildung 52 dargestellt.

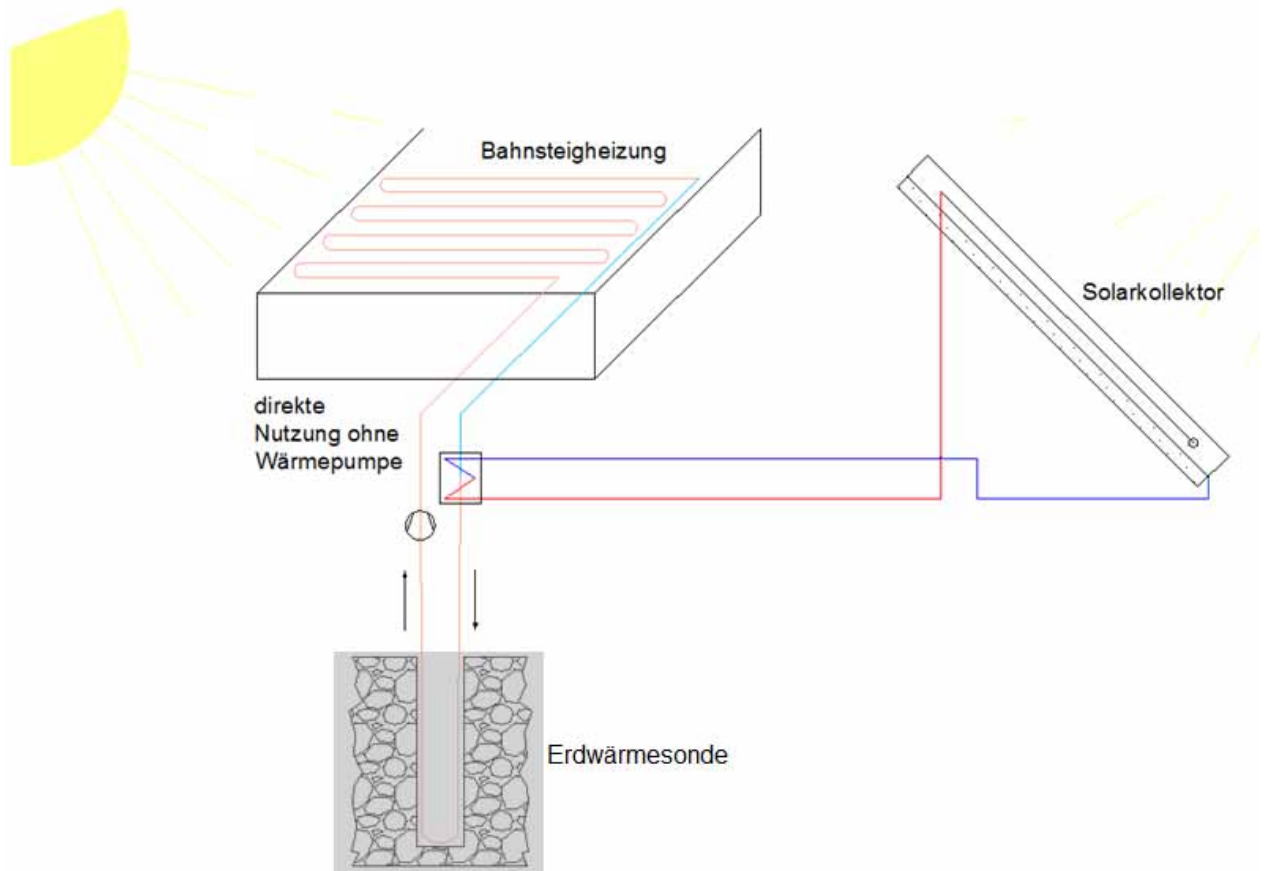


Abbildung 52: Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden mit Speicherung solarer Wärme ohne Wärmepumpenunterstützung

15.1.7 Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Speicherung solarer Wärme mit Wärmepumpenunterstützung

Dieses Nutzungsprinzip ist mit dem Nutzungsprinzip in Kapitel 15.1.6 vergleichbar. Hinzu kommt aber der unterstützende Einsatz einer Wärmepumpe.

Das Nutzungsprinzip ist in Abbildung 53 dargestellt.

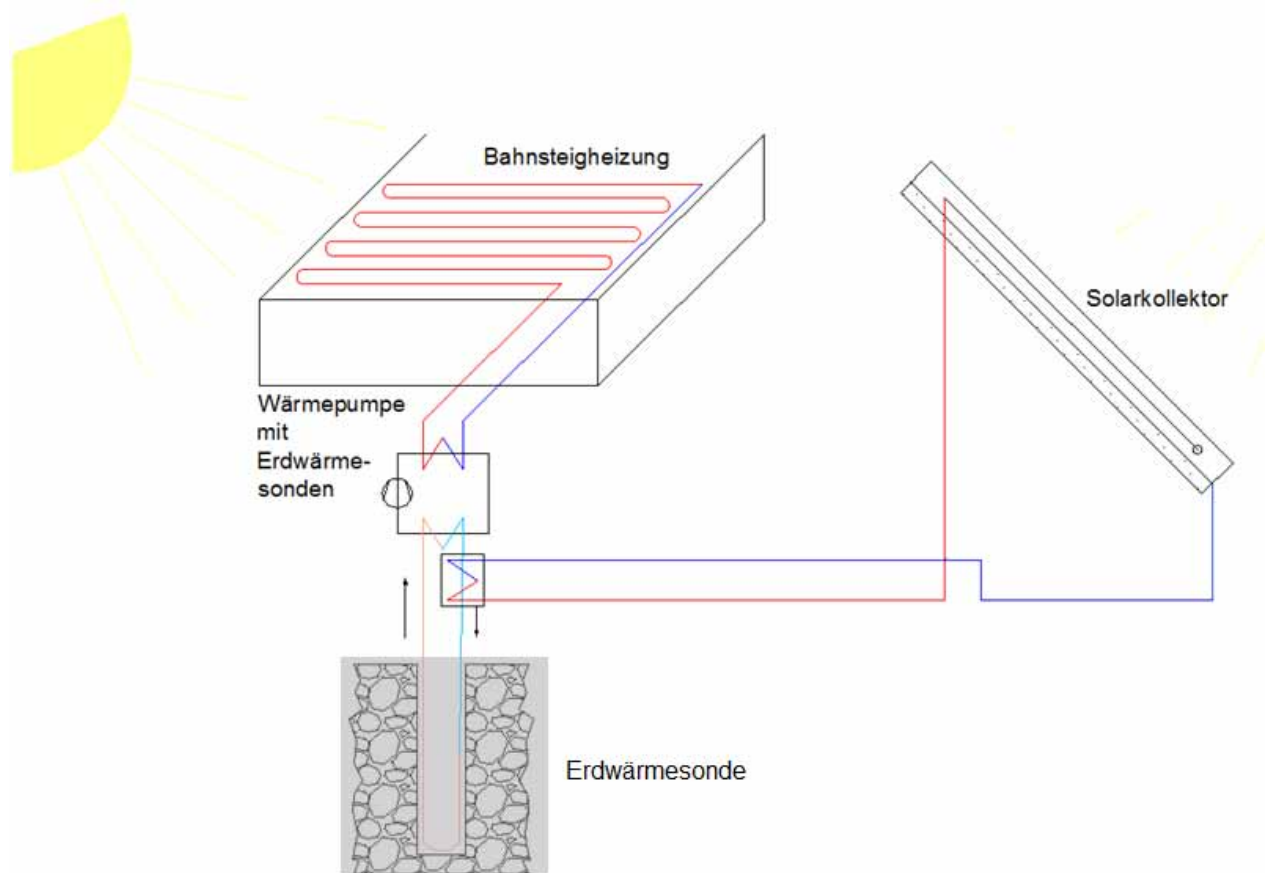


Abbildung 53: Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Speicherung solarer Wärme mit Wärmepumpenunterstützung

15.2 Technische Dimensionierung und bauliche Rahmenbedingungen

Innerhalb dieses Berichtsteiles wird auf die technischen Rahmenbedingungen eingegangen, die sich im Rahmen der Literatur- und Projektrecherche und der Diskussionen in den Projektbesprechungen ergeben haben.

Teilweise wurden auch relevante technische Richtlinien der ÖBB hinzugezogen und flossen in die Projektbearbeitung ein,

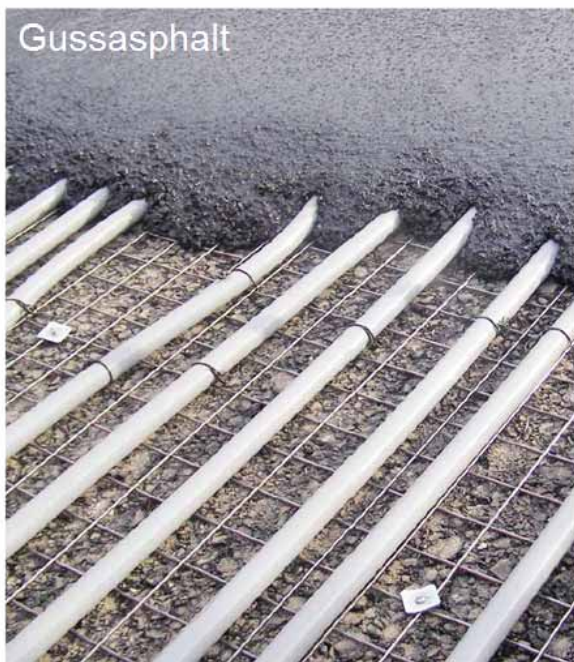
15.2.1 Bahnsteigaufbau

Ein zentraler Themenbereich im Rahmen einer Anlagenumsetzung besteht im Aufbau eines Bahnsteiges vom Unterbau bis zur Oberfläche.

Abbildung 55 stellt den Regelplan eines typischen Bahnsteigaufbaus gemäß ÖBB-Dienstbehelf DB740 von 2012 dar.

Bei größeren und stärker frequentierten Bahnhöfen kommt vorrangig nur eine Oberflächengestaltung mit Betonverbundsteinen zu Einsatz. In Einzelfällen, wenn dies architektonisch erforderlich ist, kommt eine Steinpflasterung zur Anwendung.

Bituminöse Trag- und Deckschichten werden nur bei wenigen, kleinen Haltestellen eingesetzt. Die Nutzung von Asphalt bzw. Beton wäre zwar günstig für ein Eingießen der Bahnsteigheizleitungen (Abbildung 54), ist aber im Bereich der ÖBB keinesfalls mehr Stand der Technik.



Quelle: REHAU – Geothermische Flächentemperierung

Abbildung 54: Nutzung von Gussasphalt und Gussbeton für die Heizleitungseinbindung

Probleme können sich u.a. im Zusammenhang mit der Haltbarkeit der erforderlichen Blindenleitsysteme im Bereich der Bahnsteige ergeben. Asphalt kommt daher und auch aufgrund der ÖBB-internen Bahnsteiggestaltungsrichtlinien aus derzeitiger Sicht nicht mehr in Frage.

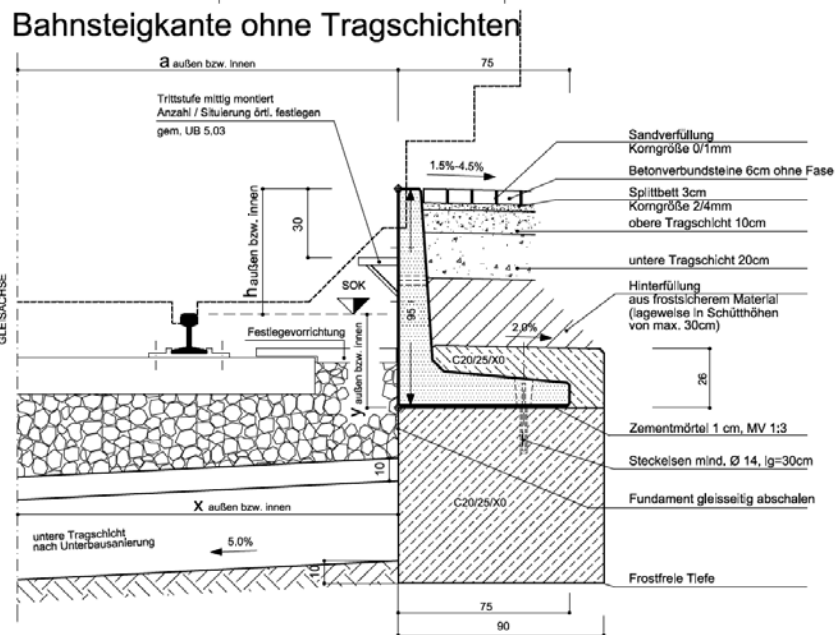


Abbildung 55: Bahnsteigaufbau – ÖBB-Dienstbehelf DB740 (2012)

15.2.2 Bahnsteigaufbau – Baustellendokumentation Hauptbahnhof Graz

Für die Umsetzungsplanung und die Beurteilung der realen Baustellenverhältnisse bei der Herstellung eines Bahnsteiges erfolgte in Rahmen des Projektes SEVES eine Fotodokumentation des Baustellenablaufes im Bereich des Grazer Hauptbahnhofes. Letztendlich wurden zwar große Bereiche der Bahnsteige wie geplant modern überdacht, die Baustellenabläufe konnten aber sehr gut beobachtet werden. Auch die zeitlichen und die technischen Möglichkeiten z.B. für die Errichtung von Erdwärmesonden im Bahnsteigbereich konnten damit gut abgeschätzt werden.

Abbildung 56 zeigt einen Bahnsteig im Bahnhof Graz kurz vor Aufbringung der Pflastersteine.

Der zeitliche Ablauf einer Bahnsteigerrichtung ist in Abbildung 57 dokumentiert.



Abbildung 56: Bahnsteigerstellung – Hauptbahnhof Graz

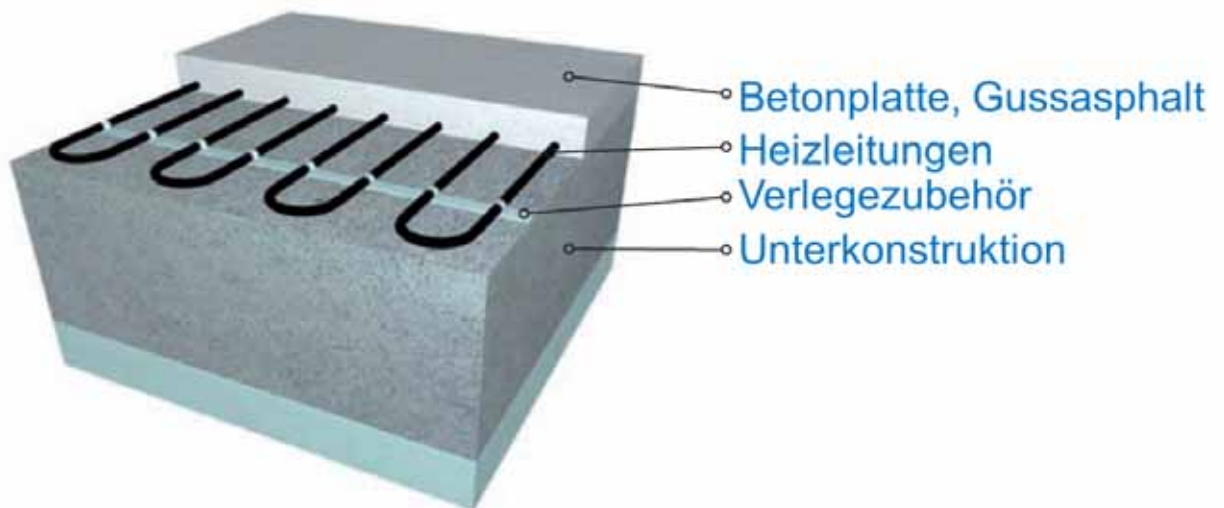


Abbildung 57: Bahnsteigerstellung – Zeitlicher Ablauf und Untergrund

15.2.3 Mögliche Unterbauvarianten und Bauformen von Freiflächenheizungen

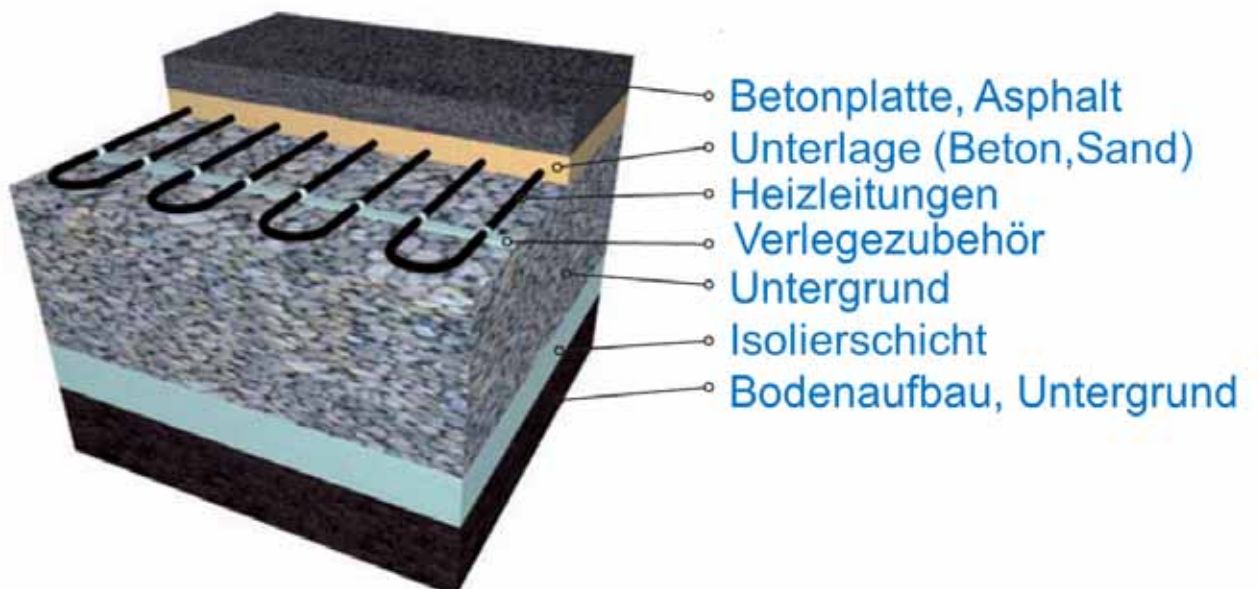
Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten des Aufbaues von Freiflächenheizungen.

Abbildung 58, Abbildung 59 und Abbildung 60 zeigen mögliche Aufbauten.



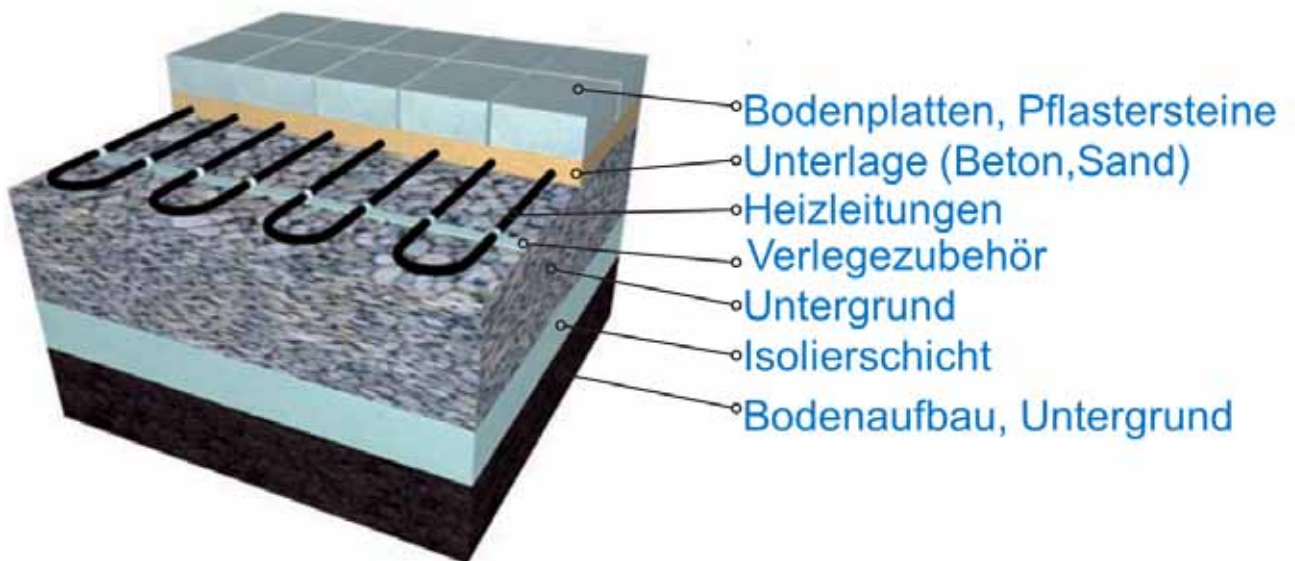
Quelle: DEM – Schnee- und Eisfreiheit auf Verkehrswegen

Abbildung 58: Freiflächenaufbau mit Betonplatten- oder Gussasphaltabschluss



Quelle: DEM – Schnee- und Eisfreiheit auf Verkehrswegen

Abbildung 59: Freiflächenaufbau mit Betonplatten- oder Asphaltdecke



Quelle: DEM – Schnee- und Eisfreihaltung auf Verkehrswegen

Abbildung 60: Freilächenaufbau mit Betonplatten- oder Pflastersteindecke

Aus diesen unterschiedlichen Aufbauvarianten sind die wesentlichen Komponenten des Wärmetransportes erkennbar.

In Abbildung 61 sind die wichtigsten Rahmenbedingungen für einen thermisch günstigen Bahnsteigaufbau dargestellt.

- Umgebungsmaterial, Bodenaufbau: Die thermischen Eigenschaften des Untergrundes bestimmen maßgeblich die Verteilung der thermischen Energie ausgehend von den Heizleitungen.
- Es sollte eine schlecht wärmeleitende Schicht im Untergrund vorliegen, sodass der Wärmeverlust vertikal nach unten minimiert wird. Im Idealfall sollte sich möglichst unmittelbar unter den Heizleitungen eine Isolierschicht aus tragfestem Material befinden.
- Die erforderliche Leistung hängt sehr wesentlich davon ab, wie tief die Heizleitungen unter der Oberfläche liegen. Der Abstand der Heizleitungen von der Oberfläche sollte minimiert werden. Wenn der Abstand sehr gering ist (wenige cm) wäre auch der Verzicht auf eine Wärmepumpenunterstützung denkbar.
- Großer Wert ist bei der Bahnsteigherstellung auch auf eine gut thermische Anbindung von Pflastersteinen zu legen.

- Bewehrungsseisen können für eine gute Verteilung der Wärme an der Oberfläche beitragen.
- Betonfertigelemente mit integrierten Heizleitungen wären eine mögliche Lösung vieler diesbezüglicher Probleme.

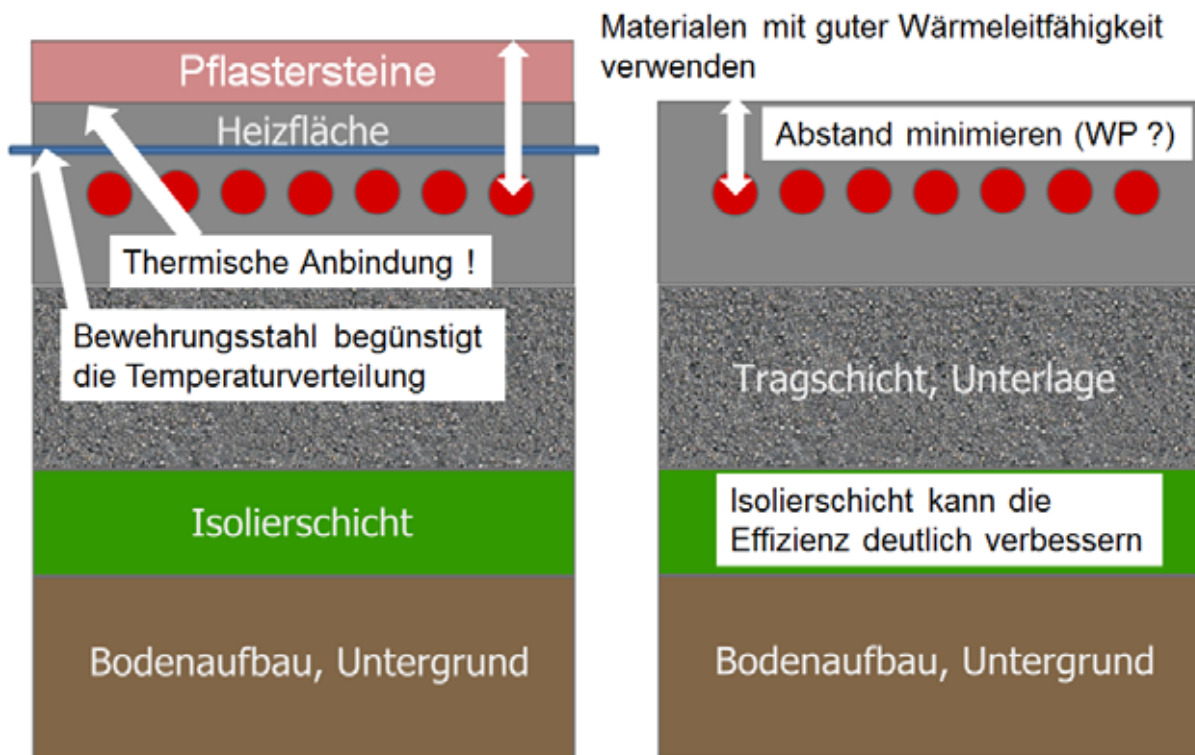


Abbildung 61: Günstiger Bahnsteigaufbau für geothermische Eis- und Schneefreihaltung

15.2.4 Heizleitungen

15.2.4.1 Rohrmaterialien

Generell sind die zu verwendenden Rohrmaterialien den thermischen und mechanischen Anforderungen und Belastungen des jeweiligen Standortes anzupassen. Die Baustellenbedingungen, die beim Einbau der Rohre herrschen, sind dabei zu berücksichtigen.

Folgende Rohrmaterialien kommen u.a. zum Einsatz:

- PE-Rohre mit verschiedenen Wanddicken und Beschichtungen
- PE-Rohre mit besonderer thermischer Beständigkeit
- Edelstahlrohre

Vor allem beim Einbau in Gussasphalt ist aufgrund der thermischen Belastung auf eine entsprechende Materialauswahl zu achten.

15.2.4.2 Heizleitungsdimensionierung

Folgende Parameter sind bezüglich der Heizleitungsdimensionierung von Bedeutung und im Rahmen einer Detailplanung zu berücksichtigen:

- Innendurchmesser und Wandstärke; Wandstärken der Heizleitungen (richtet sich nach dem verfügbaren Heizleitungsangebot.
Standard: 2 mm bzw. 2,5 mm
- Strömungswiderstand im Hinblick auf die Minimierung der Pumpleistung der Umwälzpumpen.
- Einbaumöglichkeiten und Platzbedarf in Zusammenhang mit der möglichen Krümmungsradien der Heizleitungen
- Generelles Ziel ist die gleichmäßige Heizleistungsverteilung bzw. Temperaturverteilung an der Oberfläche.
- Rohrpositionierung; Abstand der Heizungsrohre, Tiefenlage der Heizungsrohre
- Verlegungsmuster zur optimalen Wärmeverteilung

15.2.5 Solarthermische Anlagenkomponenten

Im Rahmen des Projektes SEVES werden für die Speicherung solarer Wärme im Untergrund einerseits die abzutauenden Bahnsteigflächen selbst und andererseits Solarkollektoren in die Betrachtungen einbezogen.

Die Berechnungen und Simulationen haben gezeigt, dass der Wärmeeintrag in den Untergrund mit Hilfe der Bahnsteigflächen nur untergeordnet im Vergleich zur Nutzung von thermischen Solarkollektoren zu bewerten ist, da die solare Wärme der Bahnsteige vor allem konvektiv und durch Windeinwirkung wieder verloren geht.

Abbildung 62 und Abbildung 63 zeigen die Temperaturverteilung in Freiflächen im Bereich der Verkehrsstation Bruck/Mur. Es wurde versucht die Aufheizung und die Speicherung solarer Wärme mit Hilfe einer Wärmebildkamera zu verschiedenen Tageszeiten zu visualisieren.

In einem Umsetzungsprojekt mit Erdwärmennutzung ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund (Erdwärmesonden, Erdwärmepfähle) und der Speicherung von Wärme im

Untergrund sollte daher von der Errichtung von Solarkollektoren ausgegangen werden. Diese tragen sehr effizient zu einer Wärmespeicherung im Vergleich zu den „Bahnsteig-Solarkollektoren“ bei.

Folgende Aspekte sind dabei zu berücksichtigen:

- Möglichkeit der Integration von Solarkollektoren in ÖBB-Bauwerke (z.B. Gebäudedächer, Bahnsteigabdeckungen)
- Grundstücke für die Errichtung von Solarkollektoren (Besitzverhältnisse, Neigung und Ausrichtung der Grundstücke, Entfernung zwischen den Kollektoren und der Erdwärmeanlage)
- Mögliche Abschattung durch topografische oder bauliche Gegebenheiten.

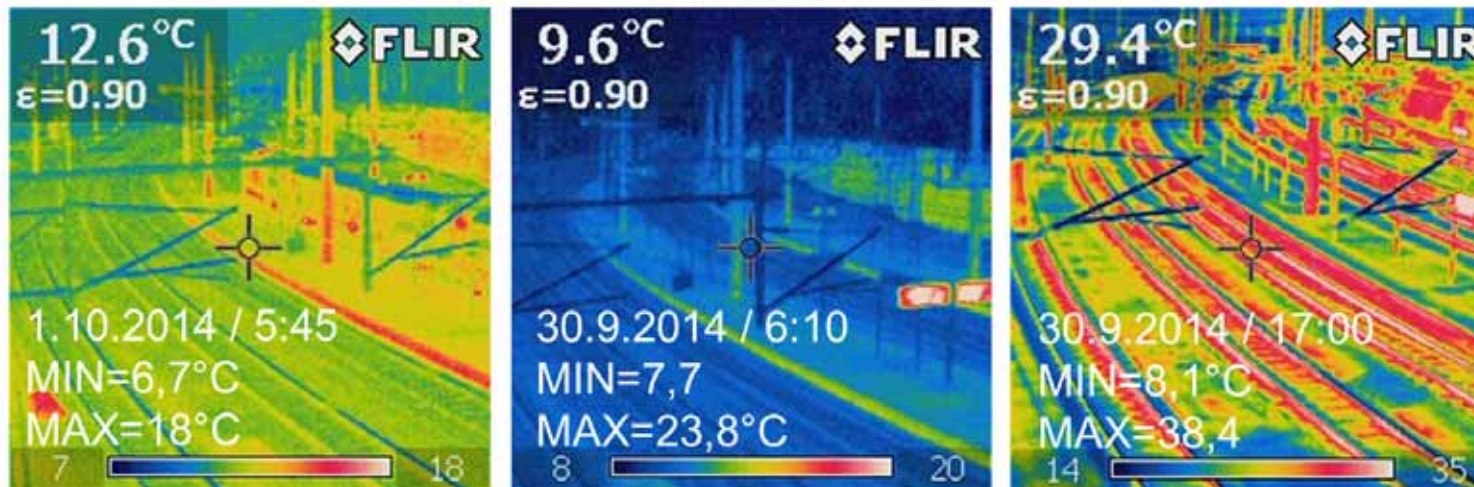


Abbildung 62: Temperaturverteilung im Bereich eines Bahnsteiges beim Bahnhof Bruck/Mur

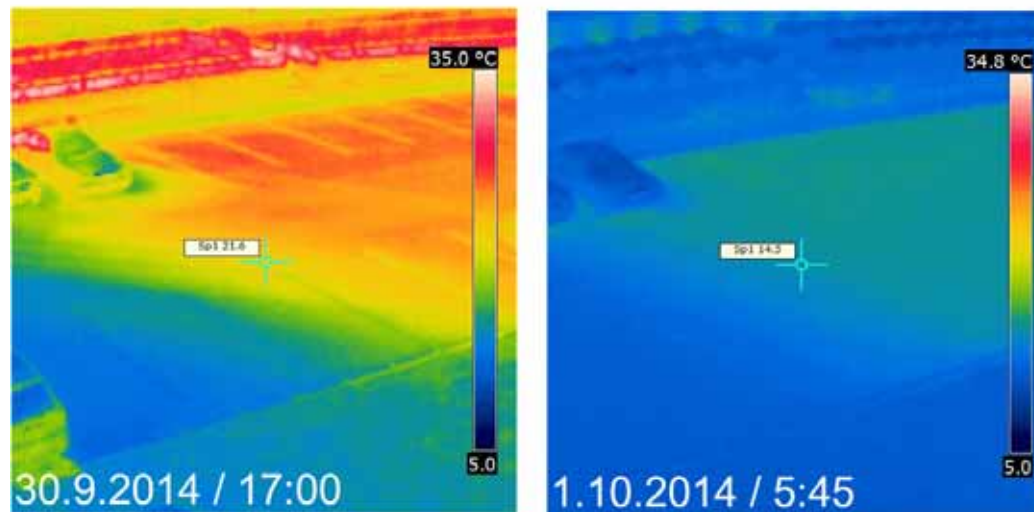


Abbildung 63: Temperaturverteilung auf einer Parkfläche im Bereich des Bahnhof Bruck (30.9.2014 17:00 – 1.10.2014 / 5:45)

15.3 Wärmepumpenunterstützung

Bei einer zu geringen verfügbaren Quellentemperatur bei allen in den vorherigen Kapiteln angeführten Formen der Erdwärmenutzung erfolgt die Anhebung der Vorlauftemperatur für ein Heizsystem mit einer Wärmepumpe. Eine Wärmepumpe ist eine Arbeitsmaschine, die mit Hilfe elektrischer Energie Wärme von einem tieferen auf ein höheres Temperaturniveau hebt (Prinzipschema siehe Abbildung 64).

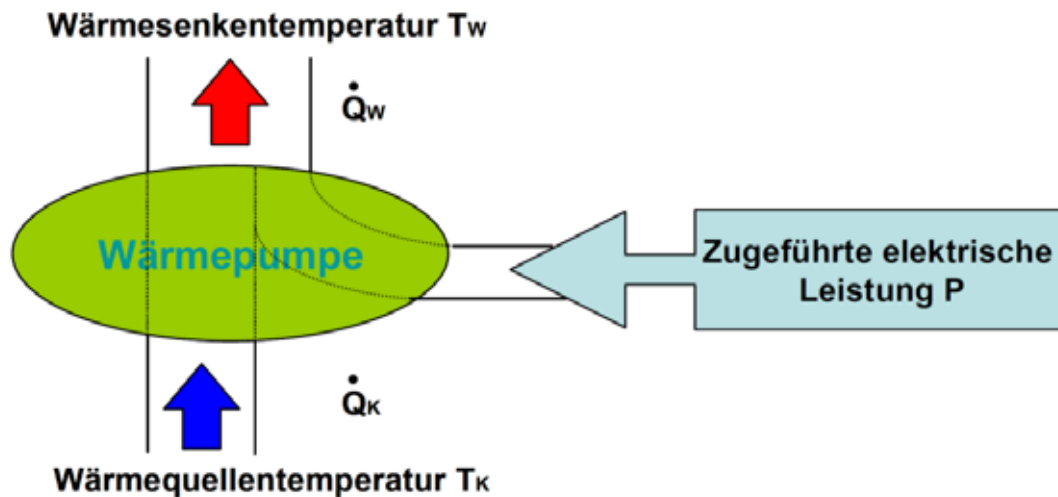


Abbildung 64: Prinzipschema zur Funktion einer Wärmepumpe

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 65 durchläuft.

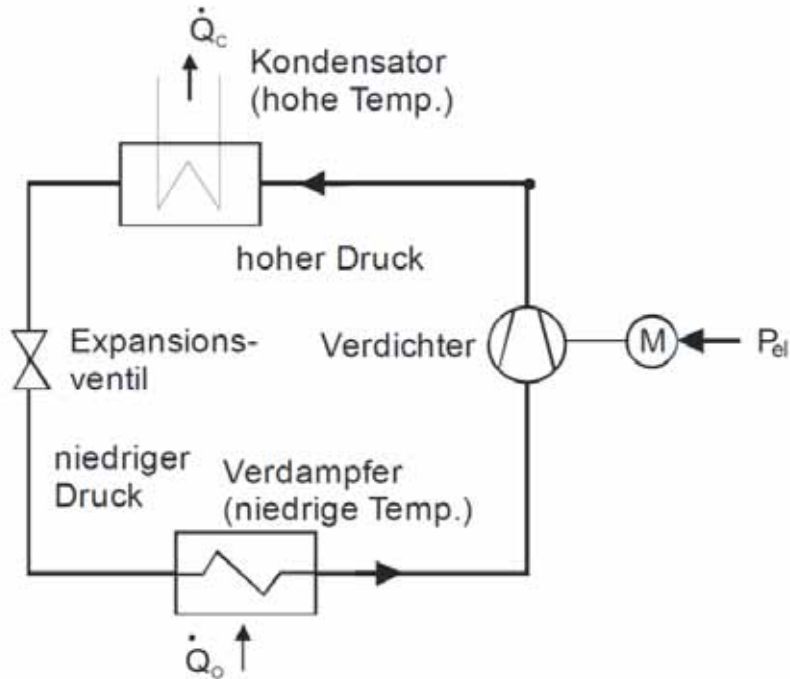


Abbildung 65: Prinzipielle Schaltung einer Wärmepumpe

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 66 ist ein Wärmepumpen-Kreisprozess im $\lg p, h$ -Diagramm eingezeichnet. Dieses Diagramm ist besonders gut für die Darstellung des Prozesses geeignet, da hier die Beträge der spezifischen Wärmen und Arbeiten direkt als Strecken abgelesen werden können.

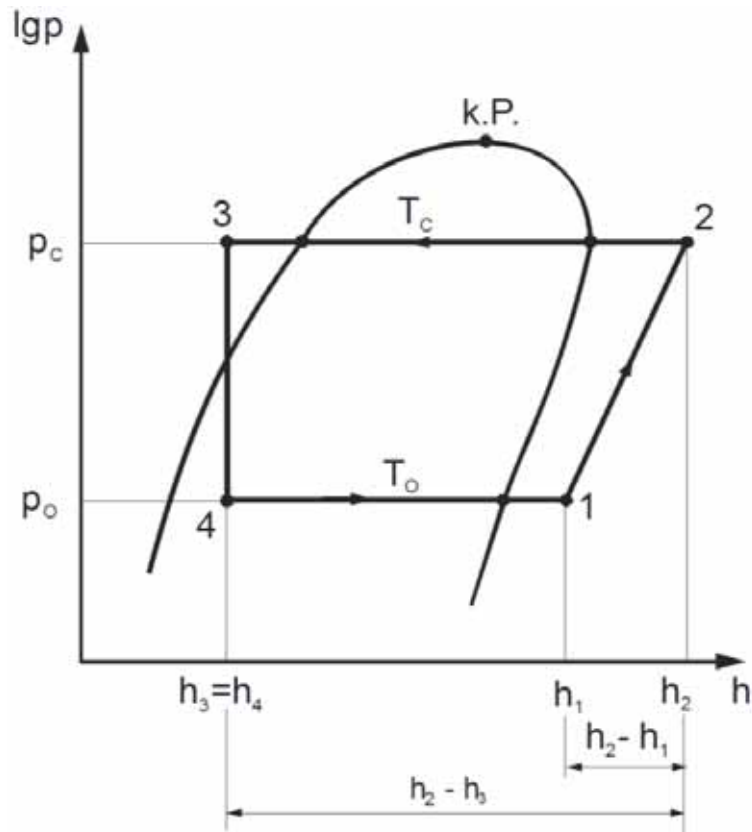


Abbildung 66: Wärmepumpen - Kreisprozess im $\log p, h$ Diagramm

Ausgehend von Punkt 1 im Abbildung 66 wird der Kältemitteldampf im Idealfall (isentropische Verdichtung, Entropie s ändert sich nicht d.h. $\Delta s = 0$) bis zum Punkt 2 verdichtet. Von Punkt 2 bis zum Punkt 3 wird das Kältemittel isobar (gleichbleibender Druck p_c) abgekühlt, verflüssigt und etwas unterkühlt. Die Länge der Strecke 2 bis 3 stellt die spezifische Nutzwärme ($q = h_2 - h_3$) dar. Die Entspannung von 3 nach 4 verläuft auf einer Isenthalpen (Enthalpie h ändert sich nicht d.h. $\Delta h = 0$). Vom Punkt 4 bis Punkt 1 wird das Kältemittel isobar (gleichbleibender Druck p_o) verdampft und leicht überhitzt. Die Länge der Strecke 4 bis 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.

15.4 Berücksichtigung von Wartekojen – „Qualität der Wartebereiche – energieautarkes Konzept“ – Projekt NEMO

Der Inhalt des VIF 2013-Forschungsprojektes NEMO „Qualität der Wartebereiche – energieautarkes Konzept“ ist, die Konstruktion und Ausstattung von Wartekojen unter den Aspekten von Nachhaltigkeit, Energie-Autarkie und höchster Aufenthaltsqualität zu fokussieren.

Die Beheizung (bzw. Temperierung) von Wartebereichen und Wartekojen mit Erdwärme könnte dazu einen Beitrag liefern.

Nachdem die Wartekojen meist auf den Bahnsteigen liegen, kann eine Einbindung in die Nutzung von Erdwärme im Sinne des Projektes SEVES durchaus zielführend sein.

Die technische Detailumsetzung einer Wartekojentemperierung wäre vor allem mit einer Wärmepumpenunterstützung zielführend, da das erforderliche Temperaturniveau ansonsten wohl nicht erreicht werden kann.

In welcher technisch-wirtschaftlich zielführenden Weise die Einbindung von Erdwärme im Sinne des Projekts NEMO möglich ist, muss im Rahmen von Detailplanungen untersucht werden bzw. erfolgen.

15.5 Regelung und Energieversorgung

Die Dauer und Häufigkeit der Einschaltzeiten einer Erdwärmeanlage zu Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen beeinflussen die Betriebskosten einer Anlage maßgeblich.

Der Energiebedarf resultiert vorrangig aus dem Betrieb von:

- Umwälzpumpen der Erdwärmesondenkreisläufe
- Umwälzpumpen der Solarkollektoren

- Umwälzpumpen der Bahnsteigheizungen
- Pumpen zur Förderung des Grundwassers (bei Standorten mit Grundwassernutzung von besonderer Bedeutung)
- Wärmepumpen
- Regelung und Steuerung

Die Regelung der Einschaltzeiten ist der maßgebliche Ansatz zur Minimierung des Gesamtenergiebedarfes einer Anlage.

Abbildung 67 zeigt den Verlauf der Fahrbahntemperaturen eine ASFINAG-Messstelle (siehe dazu Kapitel 11). Die Fahrbahntemperatur schwankt bei diesem Beispiel zwischen $13,8^{\circ}\text{C}$ und $51,5^{\circ}\text{C}$. Die Zeiträume, in welchen eine Temperatur von $+3^{\circ}\text{C}$ (typische Grenztemperatur für Eisfreihaltung) unterschritten wird, sind im Jahresverlauf relativ kurz. Auf die damit zusammenhängende Optimierung der Einschaltzeiten sollte unter Berücksichtigung der Trägheit des Gesamtsystems Rücksicht genommen werden und die Anlagenregelung entsprechend abgestimmt sein.

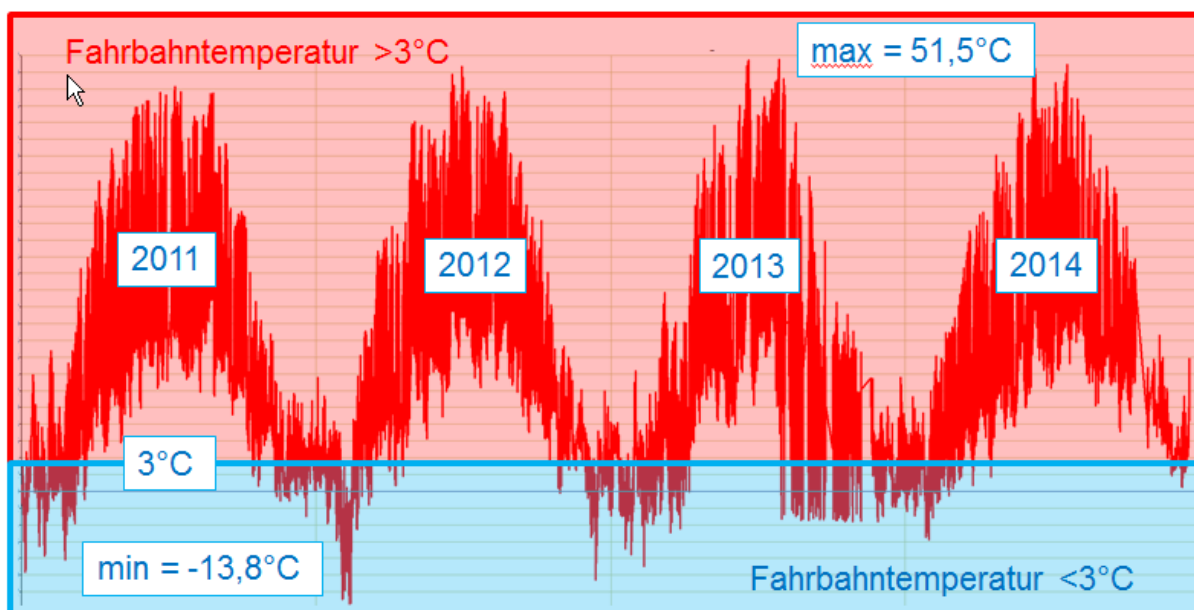


Abbildung 67: Fahrbahntemperaturen als Beispiel für die erforderlichen Einschaltzyklen und Einschaltzeiten einer Anlage (Quelle: ASFINAG-Daten)

15.6 Anlagenmonitoring

Die Einrichtung und der Betrieb eines umfassenden Monitoring-Systems ist eine wesentliche Grundlage für die Analyse und 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.

Ein Monitoringsystem sollte letztendlich auch auf die Darstellung der Gesamtenergiebilanz einer Anlage und auf die Analyse langfristiger Entwicklungen abzielen und ausgerichtet sein.

Tabelle 12 gibt einen Überblick über zielführende Monitoringparameter in Abhängigkeit von den verschiedenen Nutzungsvarianten. Eine detaillierte Auswahl an Monitoringparametern kann nur im Rahmen einer Detailplanung einer Anlage erfolgen.

Erforderliche Datenerfassung für Energie- und Betriebsmonitoring eines Erdwärmesystems		Elektroenergie	Wärme-/Kälteenergie	Volumenströme	Temperaturen	Ventil- und Klappenstellungen	Betriebsfreigaben/-zustände	Betriebsstunden*)
Erdreich	Erdreich/Grundwasser				X**)			
	Erdwärme-/kaltekreis		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/ Kältemaschine	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	Obergabesysteme		X	X	VL/RL			
	Regel-/Umschaltventile und Klappen					X		
Gebäude	andere Heiz-/Kühlsysteme mit indirektem Einfluss auf Erdwärmesystem		X					
	Referenzräume				X			
Rand-bedingungen	Heiz-/Kühlbetrieb Erdwärme						X	
	Außentemperatur				X			
	falls vorhanden Außentemperaturmittelwert				X			
Erläuterungen	Daten aus Wärme- bzw. Kältemengenzählern, möglichst auf die Gebäudeleit-technik aufschalten *) falls vorhanden, manuelle Ablesung ausreichend **) in einigen Fällen Voraussetzung für die wasserbehördliche Genehmigung ***) möglicherweise identisch mit Erdwärme-/kaltekreis							

Tabelle 12: Empfohlenes Monitoring bei verschiedenen Nutzungstechnologien [aus 15]

16 TECHNISCH-ÖKONOMISCHE ANALYSE AUSGEWÄHLTER GESAMTKONZEPTE

16.1 Energieströme und Leistungsbedarf - Rechenmodell

Zur Berechnung der Energieströme und des Leistungsbedarfs zur Schnee- und Eisfreihaltung von Bahnsteigen unter verschiedenen Randbedingungen wurde ein Rechenmodell in Form einer EXCEL-Tabellenkalkulation, die die Variation bestimmter Parameter und damit die Analyse deren Relevanz in der gegenständlichen Fragestellung zulässt, erstellt. Das Rechenmodell errechnet die Energieströme und den Leistungsbedarf eines definierten Bahnsteigbereichs über den Zeitraum von einem Jahr mit einem Auflösungsintervall von einer Stunde. Dabei werden folgende Einflussgrößen berücksichtigt:

- Lufttemperatur
- Niederschlagsmenge
- Windgeschwindigkeit

Des Weiteren wird der Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung einerseits direkt auf die freie Bodenoberfläche und andererseits auf eine getrennte Solarkollektoranlage berücksichtigt. Bezüglich der Globalstrahlung liegen für die untersuchten Standorte allerdings keine stündlichen Daten vor. Die für die Berechnung der Energieströme und Leistungen in Stundenaufösung erforderlichen Zahlenwerte wurden aus verfügbaren Monatsmittelwerten der Globalstrahlung über entsprechende Mittelwertbildung annahmeweise berechnet.

Bei der Berechnung wird angenommen, dass alle Niederschläge, die bei einer Lufttemperatur unter 0 °C anfallen, in gefrorenem Zustand auf der Bodenoberfläche auftreffen und damit zu schmelzen sind.

Das Rechenmodell berechnet die Energieströme und den Leistungsbedarf unter der Annahme, dass die Bodenoberfläche durch Aufheizung immer auf einer bestimmten minimalen positiven Grenztemperatur, zum Beispiel 3 °C gehalten wird. Ein solcher „Sicherheitsabstand“ zur Nullgradgrenze ist erforderlich, um die Schnee- bzw. Eisfreihaltung auch bei allfälligen örtlichen Fluktuationen der Randbedingungen mit einer entsprechenden Sicherheit gewährleisten zu können. Liegt die Umgebungstemperatur über dieser Grenztemperatur, erfolgt keine Beheizung der Flächen bzw. wird während dieser Perioden aus dem Beheizungssystem keine Wärme an die Umgebung abgegeben. Sehr wohl aber wird der Wärmeeintrag durch die Solarstrahlung in die Solarkollektoranlage auch während der wärmeren Phasen bzw. über das ganze Jahr berechnet. Das Modell lässt somit die prinzipielle Untersuchung der Möglichkeit bzw. Sinnhaftigkeit einer saisonalen

Wärmespeicherung zu, wobei hierbei allerdings Annahmen in Bezug auf die Randbedingungen zu treffen sind, die erst im Zuge einer konkreteren Planung bestätigt werden können. Dies betrifft insbesondere den thermischen Wirkungsgrad des Wärmespeichers in Abhängigkeit von der eingesetzten Technologie – von der Speicherung im Untergrund bis hin zu technisch optimierten saisonalen Speichern – und in diesem Zusammenhang natürlich die Kosten der verschiedenen möglichen Varianten.

Die bei dieser Rechenmethodik zu beachtenden Wärmeströme sind in Abbildung 68 dargestellt.

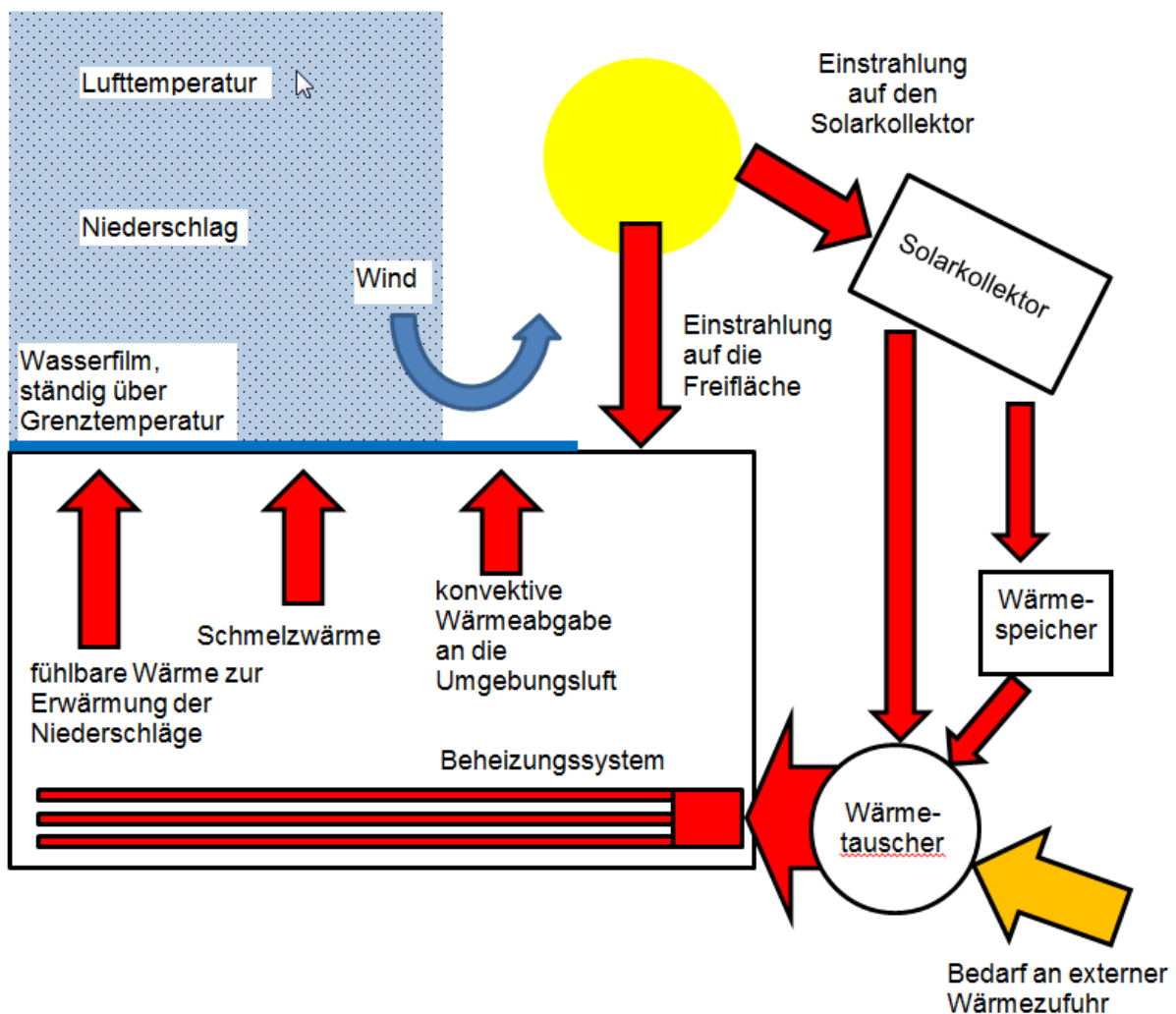


Abbildung 68: Wärmeströme

Man erkennt in Abbildung 68, die an die Niederschläge abgegebenen Wärmeströme „fühlbare Wärme zur Erwärmung der Niederschläge“, die von der Temperatur der Niederschläge bzw. von der Lufttemperatur abhängt und die „Schmelzwärme“, für die gegebenenfalls, erforderliche Änderungen des Aggregatzustands der Niederschläge von fest auf flüssig. Weiters ist die über Bodenoberfläche erfolgende konvektive Wärmeabgabe an die Umgebungsluft dargestellt, die von der Umgebungstemperatur und auch stark von der Windgeschwindigkeit abhängt. Bei Sonnenschein erfolgt ein gewisser Wärmeeintrag durch Solarstrahlung direkt in die Bahnsteigoberfläche, die den Wärmebedarf entsprechend verringert. Wesentlich effektiver arbeitet aber der Solarkollektor, der ebenfalls direkte Einstrahlung von der Sonne aufnimmt. Vom Solarkollektor kann Wärme direkt über einen entsprechenden Wärmetauscher dem Beheizungssystem zugeführt werden oder aber über einen Wärmespeicher. Im Fall des Einsatzes einer Wärmepumpe kann die Wärmezufuhr aus dem Solarkollektor bzw. dem Wärmespeicher dem System natürlich vor der Wärmepumpe bzw. auf niedrigem Temperaturniveau zugeführt werden. Je nach Auslegung des Systems verbleibt ein gewisser Bedarf an externer Wärmezufuhr, der in Abbildung 68 als oranger Pfeil dargestellt ist.

16.2 Modellrechnungen für drei ausgewählte Standorte

In Kapitel 17 wird die dargelegte Simulation für die Pilotplanungsprojekte angewandt und die Berechnungsergebnisse zusammengefasst.

Mit dem beschriebenen Rechenmodell wurden für die drei ausgewählten Standorte

- Oberfalkenstein
- Pinsdorf
- Bad Vigaun

Modellrechnungen durchgeführt, in denen die Energieströme und der Leistungsbedarf über den Zeitraum von einem meteorologischen Jahr ermittelt wurden.

Für die Einflussparameter Umgebungslufttemperatur, Niederschlagsmenge und Windgeschwindigkeit wurden Messdaten der ASFINAG von Messstationen an bestimmten Stellen des Straßennetzes in stündlicher Auflösung herangezogen (siehe dazu Kapitel 11). Die Auswahl der ASFINAG-Messstellen erfolgte einerseits in Hinblick auf die größtmögliche Nähe zum untersuchten Standort, andererseits in Bezug auf die Vollständigkeit der verfügbaren stündlichen Messwerte über den Zeitverlauf von einem ausgewählten Kalenderjahr von 1. Jänner 00:00 Uhr bis 31. Dezember 23:00 Uhr.

Folgende Messstationen der ASFINAG wurden ausgewählt:

- Für Oberfalkenstein: Messstelle Trawies, A2, km 316
- Für Pinsdorf: *Messstelle Liezen
- Für Bad Vigaun: Messstelle Liezen

Die ausgewählten Messdaten aller drei Messstationen stammen aus dem Jahr 2011.

16.3 Kostenübersicht Österreich

Als Basis einer vergleichenden Kostenanalyse wurden die Kosten der derzeitigen Winterbetreuung analysiert. Ausgehend von den Kostenregionen der Winterbetreuung (siehe Tabelle 6 und Abbildung 69) im Bereich der ÖBB und den Flächen mit Winterbetreuung wurde eine bundesweite Kostenübersicht erstellt. Diese ist in Abbildung 70 dargestellt. Es zeigen sich große regionale Unterschiede, die bei der Standortauswahl berücksichtigt wurden.

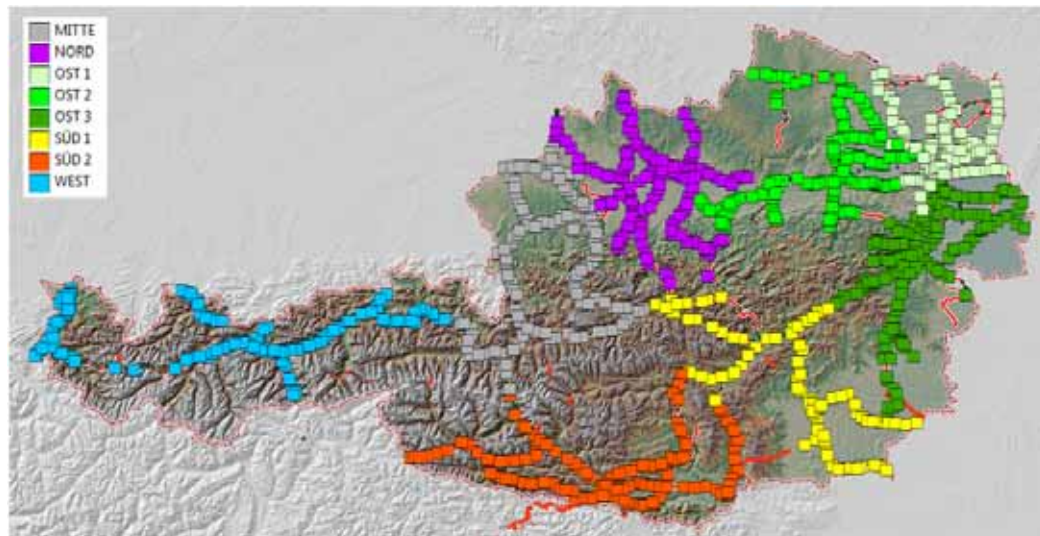


Abbildung 69: Kostenregionen der ÖBB

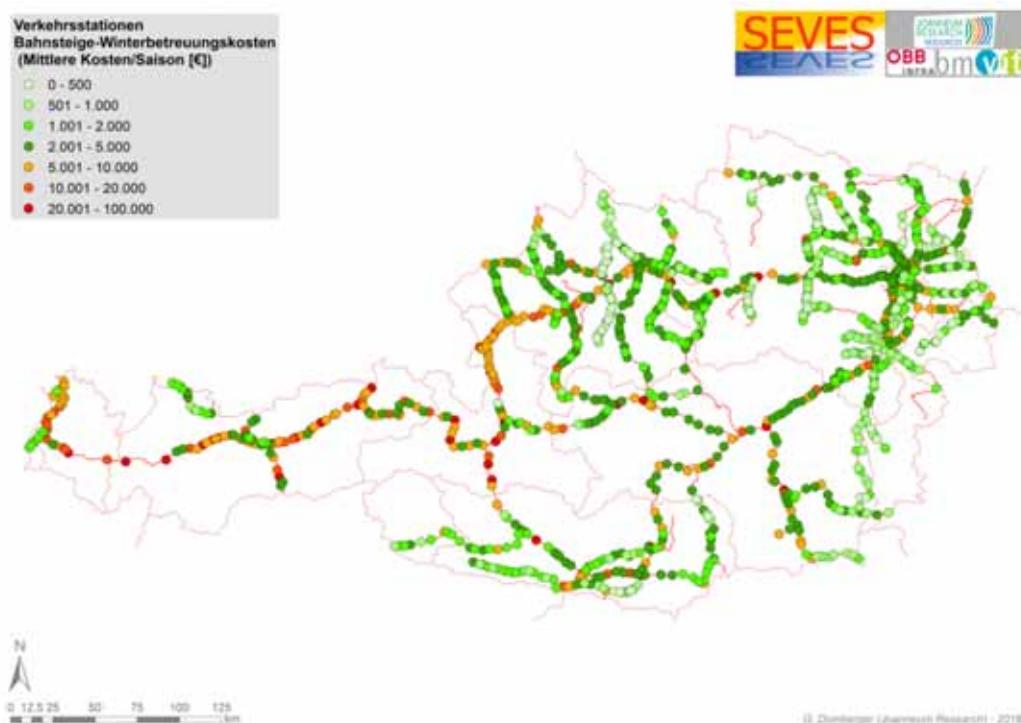


Abbildung 70: Kostenrahmen der Winterbetreuung der Verkehrsstationen (bundesweit)

16.4 Methodik der ökonomischen Bewertung der Anlagen

Für die 3 ausgewählten Verkehrsstationen (Oberfalkenstein, Bad Vigaun und Pinsdorf) wurde eine ökonomische Anlagenbewertung durch Ermittlung von

- Jahresgesamtkosten [€/a] und
- spezifischen Jahreskosten pro m² Bahnsteigfläche [€/a*m²]

durchgeführt. Die Kosten wurden eingeteilt in

- Kapitalkosten (errechnet nach der Annuitätenmethode),
- Betriebsgebundene Kosten (kapitalgebundene Kosten) und
- Verbrauchsgebundene Kosten (sonstige Betriebskosten).

16.4.1 Kapitalkosten

Die Annuität der Investitionskosten wurde mit folgender Formel berechnet:

$$A = I_0 \times KWF$$

$$KWF = [(1 + i)^n \times i] / [(1 + i)^n - 1]$$

A.....Annuität [€]

I₀.....Investitionskosten [€]

KWF.....Kapitalwiedergewinnungsfaktor bzw. Annuitätenfaktor [-]

i.....Kalkulatorischer Zinssatz [%]

n.....Nutzungsdauer der Investition [a]

Für die Berechnung der Annuität wurden für die unterschiedlichen Anlagen jeweils die Nutzungsdauer (Jahre) und der kalkulatorische Zinssatz (Prozent) angenommen (siehe Tabelle 13).

Anlagenbereiche	Nutzungsdauer [a]	Kalkulatorischer Zinssatz [%]
Geothermieanlage	50	4
Wärmepumpenanlage	20	4
Flächenheizung	50	4
Solaranlage	20	4
Entnahmebrunnen	50	4
Rückgabebrunnen	50	4
Wasserpumpe	10	4
Fremdgrundstücke	50	4
Leitungen	20	4
Zufahrtsstraße	50	4
Sonst. Kosten (Planung etc.)	20	4

Tabelle 13: Annahmen für Nutzungsdauer und kalkulatorischer Zinssatz

16.4.2 Betriebsgebundene Kosten (Kapitalgebundene Kosten)

Als Betriebsgebundene Kosten wurden die Kosten für Instandsetzung und Wartung berechnet. Dafür wurden Prozentsätze bezogen auf die Investitionskosten verwendet (siehe Tabelle 14).

Anlagenbereiche	Instandsetzung [%]	Wartung [%]
Geothermieanlage	1%	1%
Wärmepumpenanlage	3%	1%
Flächenheizung	2%	1%
Solaranlage	1%	1%
Entnahmebrunnen	1%	1%
Rückgabeburgen	1%	1%
Wasserpumpe	3%	1%
Leitungen	2%	1%
Zufahrtsstraße	1%	1%

Tabelle 14: Prozentsätze der betriebsgebundenen Kosten

16.4.3 Verbrauchsgebundene Kosten (Sonstige Betriebskosten)

Als Verbrauchsgebundene Kosten wurden die Stromkosten für die Geothermieanlage, die Wärmepumpenanlage und die Wasserpumpe etc. berechnet. Für den Strompreis wurden 109,50 €/MWh auf Basis der Recherchen im Projekt INFRAplusGEO angenommen.

16.4.4 Jahresgesamtkosten

Die Jahresgesamtkosten wurden als Summe von Kapitalkosten, betriebsgebundenen Kosten und verbrauchsgebundenen Kosten in Euro pro Jahr [€/a] errechnet

16.4.5 Spezifischen Jahreskosten

Die spezifischen Jahreskosten wurden als Jahresgesamtkosten bezogen auf m² Bahnsteigfläche errechnet [€/a*m²]. Diese errechneten Kosten wurden mit den bisherigen spezifischen Jahreskosten der Region (siehe Kapitel 15.1), in der die Verkehrsstation liegt verglichen.

16.5 Ökologische Rahmenbedingungen

16.5.1 Überblick über die Umweltrelevanz von auftauenden und abstumpfenden Streumitteln

Personenverkehrsflächen wie Haltestellen, Bahnsteige, Treppen oder Unterführungen können meist nur bedingt mit Maschinen befahren und geräumt werden. Meist erfolgt die Schneeräumung per Hand und durch das Aufbringen von auftauenden Streumitteln (z.B. Salz) und abstumpfenden Streumitteln (z.B. Splitt). Nur für größere befahrbare Flächen ist der Einsatz von Räum-, Kehr- und Streumaschinen möglich [46; 47].

Der Einsatz von Streumitteln im Winterdienst kann verschiedene negative Auswirkungen auf die Umwelt zur Folge haben [46, 47, 48, 49]. Abbildung 71 gibt einen Überblick über mögliche Wirkungsketten.

Auftauende Streumittel können Korrosionsschäden an Bauwerken und Fahrzeugen hervorrufen. Das Aufbringen von Salzen kann zu einer Alkalisierung des Bodens (Erhöhung des pH-Wertes) führen, was wiederum Einflüsse auf die Bodendurchlüftung, die Wasserspeicherung und Wasseraufnahme im Wurzelbereich hat. Dadurch können Schäden an Pflanzen entstehen. Auch negative Einflüsse auf Oberflächengewässer und Grundwasser sind möglich.

Abstumpfende Streumittel können von Fahrgästen in Verkehrsmittel und Gebäude hineingetragen werden. Dadurch können Sekundärschäden an Oberflächen (z.B. Fußboden) und technischen Systemen (z.B. Schienensystem für automatische Türöffner) auftreten. Auch Vegetation, die an zu räumende Flächen angrenzt, kann mechanische Schäden davontragen. Der Einsatz von abstumpfenden Streumitteln führt zu einem erhöhten Reinigungsaufwand. Bei der Aufbringung und Wiedereinsammlung kommt es zu Staubentwicklungen, die neben einer erhöhten Schmutzbelastung auch eine mögliche Gesundheitsgefährdung für das Kehrpersonal darstellen. Abstumpfende Streumittel müssen entsorgt werden. In der Regel sind sie zu verschmutzt um sie direkt wiederzuverwenden. Das heißt es ist eine Reinigung und Aufbereitung notwendig. Andernfalls werden sie deponiert oder für Rekultivierungsmaßnahmen eingesetzt. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang auch, dass bei Einsatz von Splitt im Vergleich zu Auftausalzen die 10 bis 15-fache Menge pro Flächeneinheit benötigt wird [48].

Welche Umweltauswirkungen speziell beim Einsatz von Streumitteln in Haltestellenbereichen und auf Bahnsteigen auftreten, kann nicht eindeutig festgestellt werden. Die oben genannten Wirkungen sind möglich, jedoch beziehen sich die meisten verfügbaren Untersuchungen zu diesem Thema auf den großflächigen Einsatz von Streumitteln im Winterdienst in gesamten

Stadtgebieten und auf langen Straßenzügen (z.B. Autobahnen). Aus der Diskussion mit den ÖBB-Experten ging aber hervor, dass die damit verbundenen Schäden an Metallkonstruktionen aber erheblich sein können.

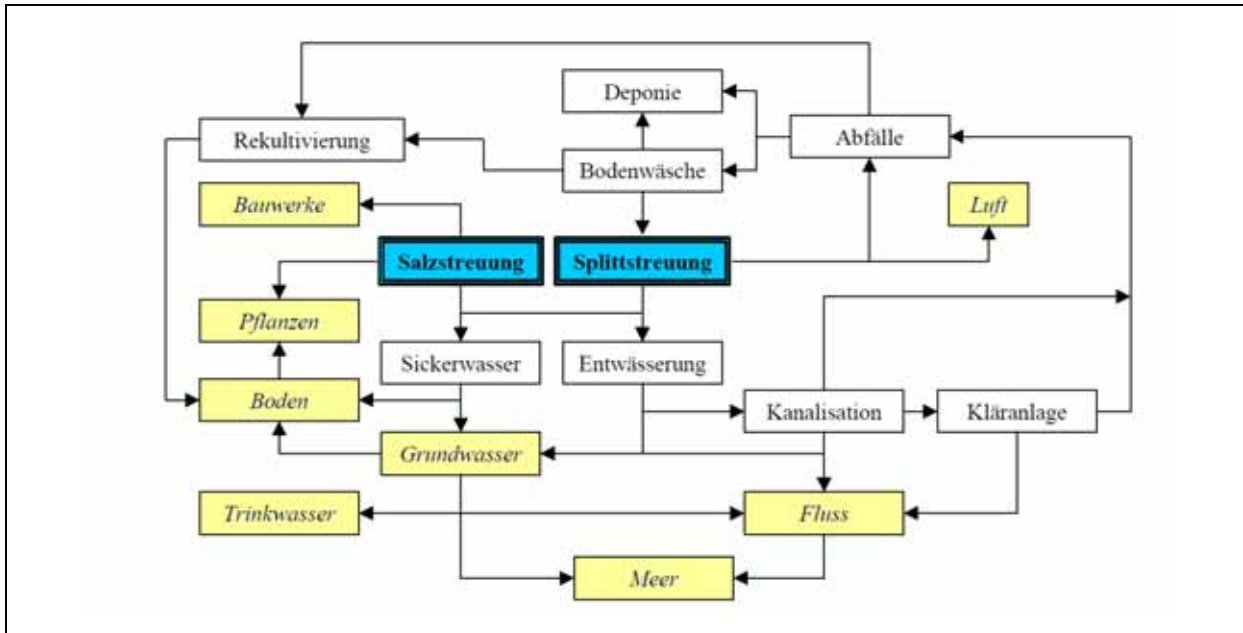


Abbildung 71: Mögliche Wirkungsketten beim Einsatz von Streumitteln (Salz und Splitt) [48]

16.5.2 Abschätzung von Treibhausgas-Emissionen und kumulierter Primärenergie

Um die Umweltwirkungen von Produkten und Dienstleistungen zu bestimmen und miteinander zu vergleichen, ist es notwendig den gesamten Lebenszyklus zu betrachten. Die Methode, die dafür eingesetzt wird, wird als Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment – LCA) bezeichnet.

Laut EN ISO 14040:2006 „Umweltmanagement Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen“ bezieht sich eine Ökobilanz/Lebenszyklusanalyse 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“).

Zur Bewertung der Umweltwirkungen der geothermischen Eis- und Schneefreihaltung wird ein Referenzsystem definiert, mit dem die geothermische Eis- und Schneefreihaltung verglichen wird. Das Referenzsystem ist das zur Eis- und Schneefreihaltung derzeit an den Pilotstandorten eingesetzte System. Die derzeitige Praxis des Winterdienstes an den Pilotstandorten ist nicht im Detail bekannt, da diese Arbeiten von der ÖBB an Firmen extern vergeben werden. Im Wesentlichen werden folgende Varianten angewandt:

- Manuelles Räumen und Aufbringung von Streumitteln (Salz/Splitt)
- Maschinelles Räumen und Aufbringen von Streumitteln (Salz/Splitt)

Abbildung 72 zeigt schematisch die Prozessketten für die geothermische Eis- und Schneefreihaltung im Vergleich zu den möglichen Referenzsystemen, die in einer Lebenszyklusanalyse berücksichtigt werden müssen.

Basis für den Vergleich von verschiedenen Systemen mittels Lebenszyklusanalyse bildet die „funktionelle Einheit“. Im vorliegenden Fall der Bewertung von Pilotstandorten mit geothermischer und solarer Eis- und Schneefreihaltung ist die funktionelle Einheit 1 m² eis- und schneefreie Fläche für die Dauer eines Jahres.

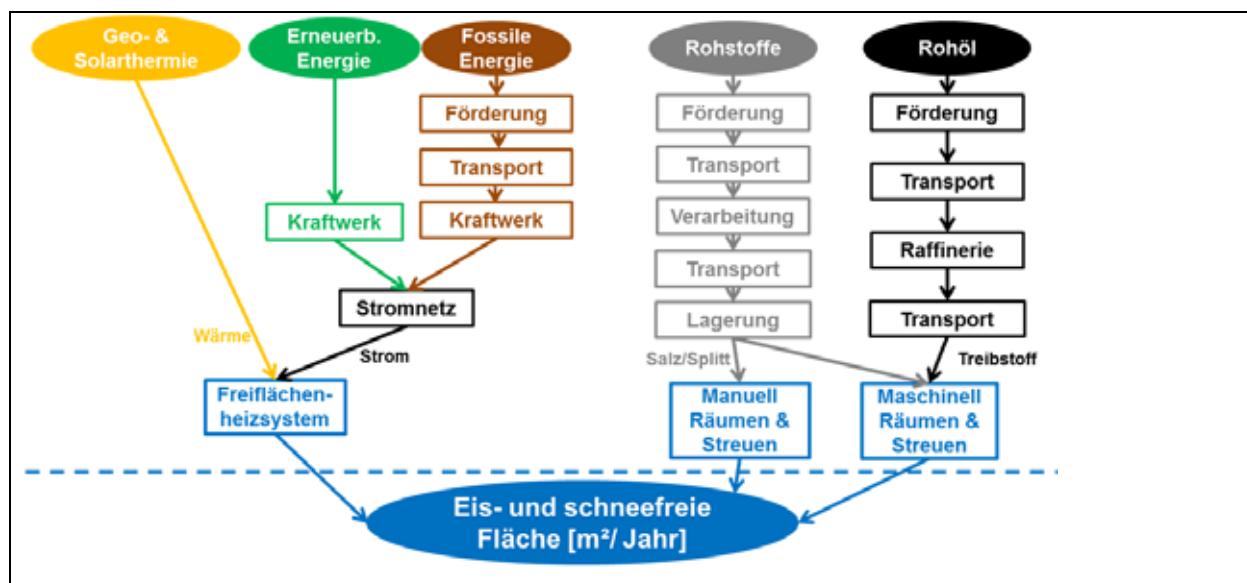


Abbildung 72: Prozessbild für die Untersuchung der Umweltwirkungen mittels Lebenszyklusanalyse für die geothermische Eis- und Schneefreihaltung im Vergleich zur konventionellen Eis- und Schneefreihaltung mittels Streugut.

Mit Lebenszyklusanalysen können verschiedenste Umweltwirkungen untersucht werden. Im Projekt war eine quantitative Abschätzung mittels Lebenszyklusanalyse für Treibhausgas-Emissionen und den kumulierten Primärenergiebedarf geplant. Da zu den Referenzsystemen jedoch keine quantitativ belastbaren Grunddaten (z.B. Art der Streumittel, Menge der Aufbringung, Einsatzzeiten von Kehrmaschinen oder Schneefräsen) zur Verfügung standen, können hier keine belastbaren quantitativen Ergebnisse präsentiert werden. Qualitative Ergebnisse zu den Treibhausgas-Emissionen für die Pilotstandorte basierend auf Annahmen für das Referenzsystem sind im Abschnitt „20 Pilotplanungen – Ökologische Analyse – Gesamtbetrachtung und Schlussfolgerungen“ dargestellt.

17 EXEMPLARISCHE PILOTPLANUNGEN

17.1 Auswahl der Standorte für die exemplarischen Pilotplanungen

Ausgehend von den Ergebnissen der Standorteignung (siehe Kapitel 14.4) erfolgte die Auswahl von letztendlich 3 Pilotplanungsstandorten.

Die Dokumentation des damit zusammenhängenden Auswahlverfahrens erfolgt in den folgenden Kapiteln.

Das Prinzip des mehrstufigen Auswahlverfahrens zu Findung der Pilotplanungsstandorte ist in Abbildung 73, Abbildung 74 und Tabelle 15 dargestellt.

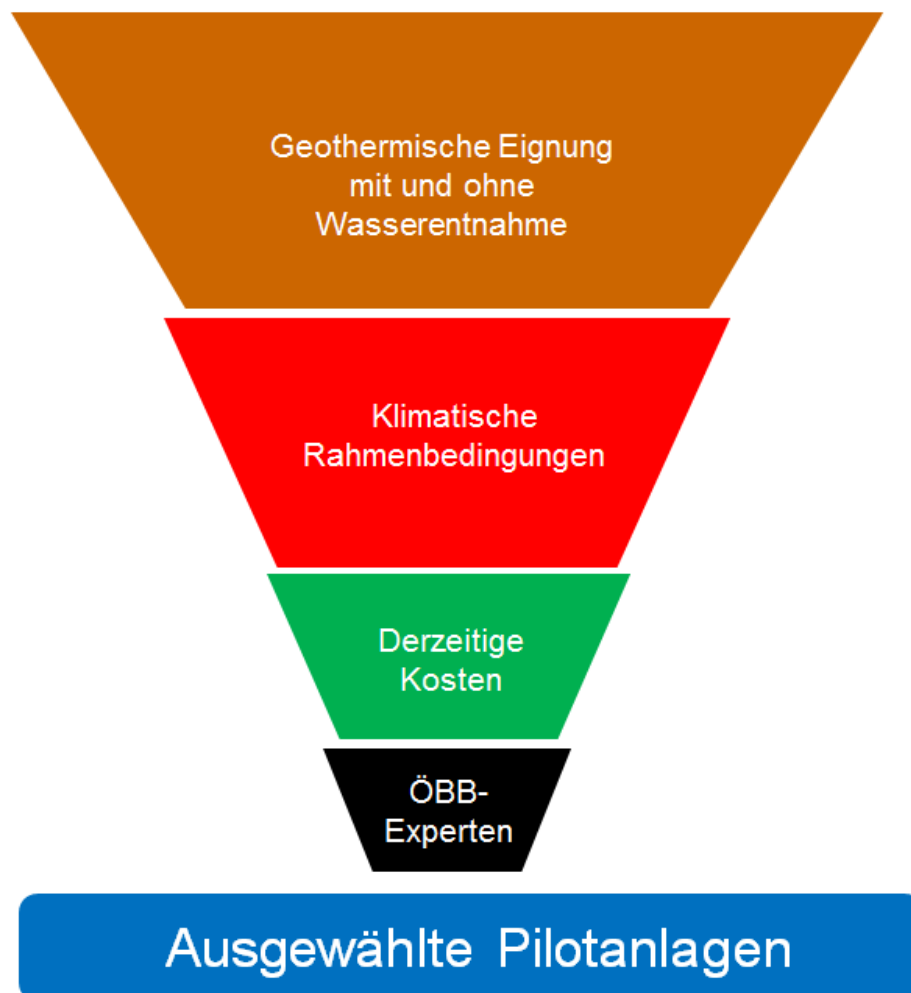


Abbildung 73: Mehrstufiges Auswahlverfahren der Pilotplanungsstandorte

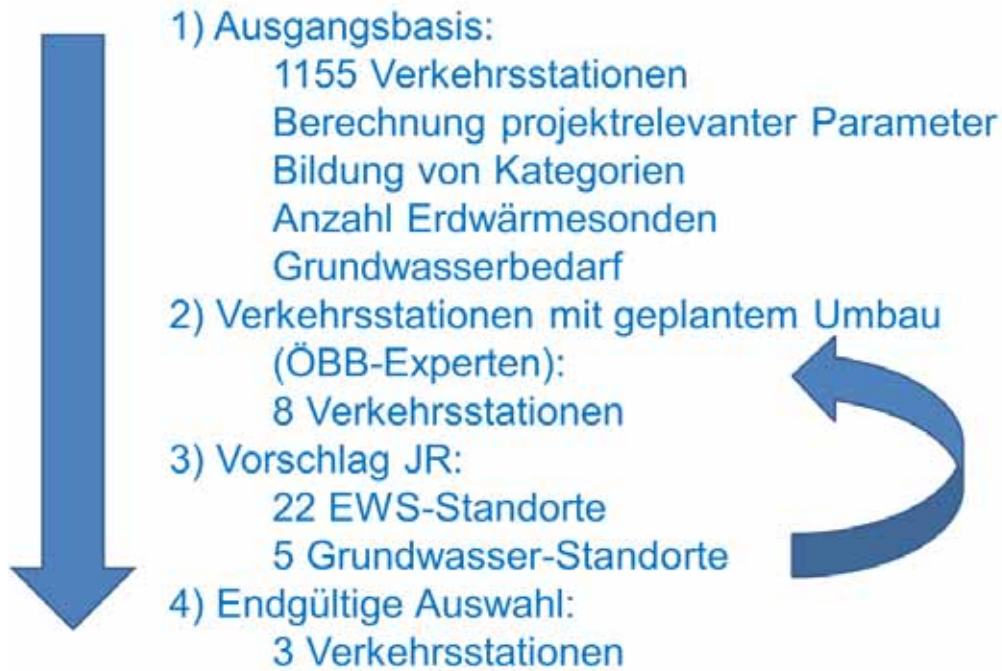


Abbildung 74: Mehrstufiges Auswahlverfahren mit Anzahl der beurteilten Verkehrsstationen

Verkehrsstation - Bezeichnung	Eignung für Erdwärmenutzung ohne Wasserentnahme	Eignung für Erdwärmenutzung mit Wasserentnahme
Abfaltersbach	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	eher günstig
Abberg	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	eher günstig
Absdorf-Hippersdorf	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	günstig
Achau	eher günstig	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen
Achenlohe	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	günstig
Achleitnersiedlung	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	eher günstig
Admont	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	eher günstig
Aich im Jauntal	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	günstig
Aich-Assach	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	eher günstig
Aigen-Schlägl	sehr günstig	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen
Aisthofen	eher günstig	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen
Allentsteig	günstig	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen

- Analyse der Flächen der Winterbetreuung
- Erstabschätzung des Energiebedarfs
- Ermittlung der ersten Kennwerte für die Umsetzung mit Erdwärmenutzungen



Energiebedarf: 400 W/m²
Grundwasser: 6°C Temperaturspreizung
Erdwärmesonden: 200m Tiefe / 50 W/lfm

	Erforderliche Erdwaemesonden [Anzahl]	Erforderliche Wassermenge [l/s]
Projektdimension klein	0-19	0-7,5
Projektdimension mittel	20-50	7,5-20
Projektdimension groß	>50	>20

Tabelle 15: Bildung der Kategorien für die Auswahl der Pilotplanungsstandorte

17.1.1 Detailauswahl - Erdwärmenutzung mit Wasserentnahme aus dem Untergrund

Für die Detailauswahl der Verkehrsstationen mit Wasserentnahme aus dem Untergrund erfolgte eine Detailanalyse unter Berücksichtigung folgender Aspekte:

- Hydrogeologische Gesamtbeurteilung: Zu erwartende hydrogeologische Eigenschaften des Untergrundes auf Basis vorliegender Grundlagen
- Erforderliche Wassermenge - Erstabschätzung der verfügbaren Wassermenge
- Lage zu Schutz- bzw. Schongebieten
- Meteorologische Rahmenbedingungen

Aufgrund dieser Aspekte werden die in Tabelle 19 aufgelisteten Standorte der Pilotplanungen für eine thermische Nutzung des Grundwassers vorgeschlagen.

Die Möglichkeit der Nutzung von Tunnelwasser wurde im Rahmen der Pilotplanungen nicht im Detail an einem eigenen Standort abgehandelt, sondern wird auf Basis der Berechnungen der Verkehrsstation mit Grundwasserentnahme analysiert. Beispiele für die thermische Nutzung von Tunnelwasser wären die Verkehrsstationen Weststeiermark oder Gloggnitz. Bei beiden Standorten sind ausreichende Wassermengen prognostiziert.

17.1.2 Detailauswahl - Erdwärmenutzung ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund

Grundsätzlich ist anzumerken, dass vor allem die lithologischen Eigenschaften des Untergrundes (auf Basis der geologischen Karte von Österreich 1:500.000) maßgeblich für die Eignung der einzelnen Verkehrsstationen für die Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund sind. Hinzu kommen aber im Fall der Erdwärmenutzung ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund noch die Gegebenheiten hinsichtlich der Einbindung der solarthermischen Energiekomponente, da diese für die saisonale Speicherung von Wärme im Untergrund maßgeblich ist.

Folgende Beurteilungsaspekte wurden demnach einbezogen:

- Untergrundanalyse
- Erdwärmefluss
- Solare Einstrahlung

Für die Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme wurden die Tabelle 20 zusammengefassten Verkehrsstationen mit Hilfe dieser SEVES-Bewertungsmethodik ausgewählt.

Neben zahlreichen Standorten im Bereich der böhmischen Masse, können einige weitere Verkehrsstationen außerhalb dieser ausgewiesen werden. Z.B. Oberfalkenstein und Bockstein (wurde aufgrund der zu erwartenden geologischen Detailverhältnisse hinzugenommen) zeichnen sich durch günstige Gesteinseigenschaften und einen erhöhten natürlichen Wärmefluss aus. Aufgrund der generellen geologischen Rahmenbedingungen im Bereich der böhmischen Masse wurde seitens JR zumindest ein Standort in diesem Bereich vorgeschlagen.

17.1.3 ÖBB-Experten-Input aus Projektbesprechungen

Im Rahmen der Projektbesprechungen wurde gemeinsam mit den ÖBB-Experten versucht, vor allem auf Verkehrsstationen zu fokussieren, die im Rahmen von geplanten Umbauarbeiten für eine Umsetzung der Ergebnisse der exemplarischen Pilotplanungen möglich sein könnten. Abbildung 74 zeigt das Ergebnis der von den ÖBB-Experten vorgeschlagenen Standorte.

Als Basis für die Auswahl von Verkehrsstationen für die Pilotplanungen gemäß AP6 wurde folgende Liste (Tabelle 16) mit Verkehrsstationen mit geplanten Umbauaktivitäten in der näheren Zukunft am 28.7.2015 von der ÖBB an JR übermittelt.

Verkehrsstation
Oberhofen - Zell a. Moos
Bad Vigaun
Altmünster
Pinsdorf
Wallersee
Tulln
Bregenz
Schüttdorf

Tabelle 16: Liste der von der ÖBB übermittelten Verkehrsstationen mit geplantem Umbau

In Abbildung 75 ist die Lage dieser Verkehrsstationen (mit Ausnahme von Schüttdorf) dargestellt.

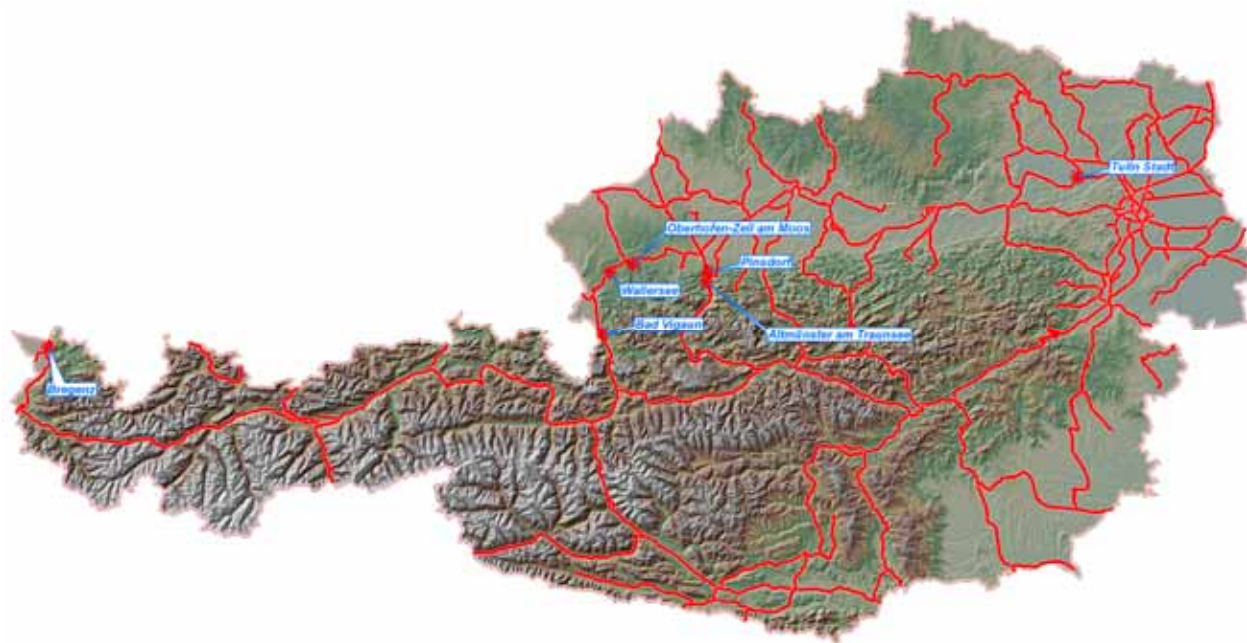


Abbildung 75: Lage der Verkehrsstationen mit geplantem Umbau

Nachträglich kamen seitens der ÖBB-Experten noch folgende Ergänzungen:

- Tulln sollte aufgrund von Schneemangel nicht gewählt werden. (Vorschlag von DI Zandra, 17.8.2015 – Begründung: Tendenz: zu milde Winter im Osten)
- Schüttdorf war in der ersten Liste der ÖBB dabei. Das Projekt der Verkehrsstation Schüttdorf wurde aber lt. Hrn. Bauer (Email 10.7.2015) zurückgestellt.

Die Verkehrsstationen wurden nach der Potenzialbewertungsmethodik im Projekt SEVES folgendermaßen (Tabelle 17) geothermisch beurteilt:

Verkehrsstation-Bezeichnung	Eignung für Grundwassernutzung	Eignung für Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme	Tunnelwassernutzung
Bregenz	eher günstig	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	nicht möglich
Oberhofen-Zell am Moos	eher günstig	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	nicht möglich
Tulln Stadt	günstig	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	nicht möglich
Bad Vigaun	günstig	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	nicht möglich
Altmünster am Traunsee	eher günstig	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	nicht möglich
Pinsdorf	eher günstig	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	nicht möglich
Wallersee	eher günstig	eher ungünstig, im Einzelfall zu beurteilen	nicht möglich

Tabelle 17: Verkehrsstationen mit geplanten Umbauarbeiten und geothermischem Potenzial

Es kann zusammengefasst werden, dass die von den ÖBB-Experten übermittelten Standorte für eine Grundwassernutzung günstig bzw. eher günstig sind. Für eine Erdwärmenutzung ohne Nutzung ohne Wasserentnahme sind diese Verkehrsstationen aber nicht erste Wahl.

17.1.4 Zusammenfassung der ausgewählten Pilotstandorte

Die verbliebenen Standorttypen (Nutzung von Grundwasser, Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund) sind Tabelle 19 bzw. Tabelle 20 aufgelistet.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Flächen der Winterbetreuung und der damit zusammenhängenden Dimensionierung der geothermischen Anlagen wurden gemäß Tabelle 18 den einzelnen Verkehrsstationen zusätzlich Projektdimensionen zugeordnet, die als Entscheidungsgrundlage herangezogen wurden.

	Erforderliche Erdwaermesonden [Anzahl]	Erforderliche Wassermenge [l/s]
Projektdimension klein	0-19	0-7,5
Projektdimension mittel	20-50	7,5-20
Projektdimension groß	>50	>20

Tabelle 18: Kategorien der Pilotplanungsprojekte

Von den in Tabelle 19 und Tabelle 20 und in Abbildung 76 ausgewiesenen Verkehrsstationen wurden gemeinsam mit den ÖBB-Experten drei Standorte für die Pilotplanungen gemäß AP6 letztendlich ausgewählt.

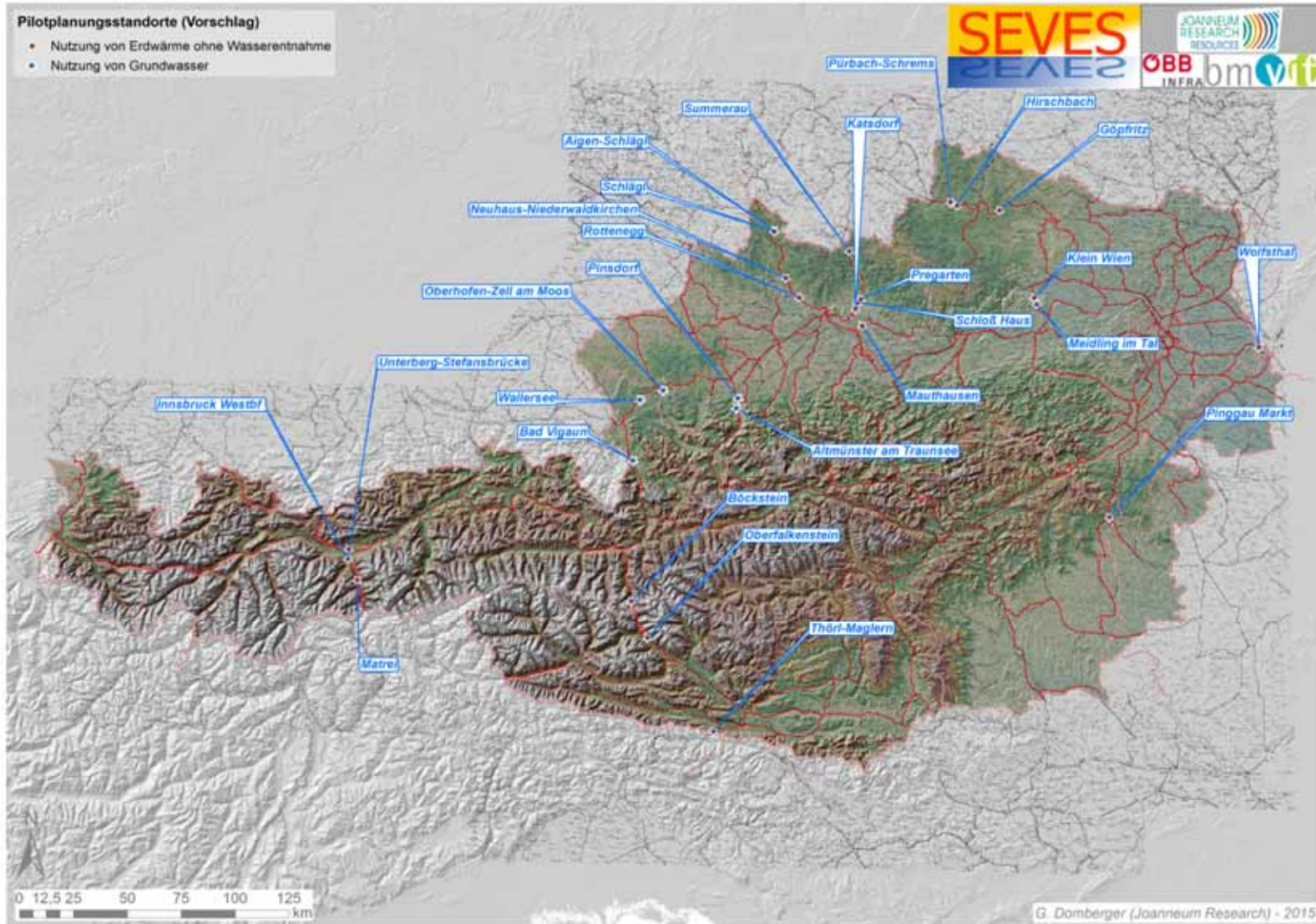


Abbildung 76: Vorauswahl der Verkehrsstationen für Pilotplanungsstandorte

Verkehrsstation	Pilotplanung (Kategorie)	Erforderliche Wassermenge [l/s]
Oberhofen-Zell am Moos	Projektdimension mittel	15,9
Bad Vigaun	Projektdimension mittel	16,9
Altmünster am Traunsee	Projektdimension mittel	10,8
Pinsdorf	Projektdimension klein	6,1
Wallersee	Projektdimension mittel	19,0

Tabelle 19: Verkehrsstationen – Auswahl der Pilotplanungsstandorte für eine thermische Nutzung des Grundwassers

Verkehrsstation	Pilotplanung (Kategorie)	Erforderliche Erdwaermesonden [Anzahl]
Oberfalkenstein	Projektdimension klein	11
Meidling im Tal	Projektdimension klein	16
Katsdorf	Projektdimension klein	16
Matrei	Projektdimension gross	124
Klein Wien	Projektdimension klein	12
Thörl-Maglern	Projektdimension klein	16
Böckstein	Projektdimension gross	89
Neuhaus-Niederwaldkirchen	Projektdimension klein	9
Aigen-Schlägl	Projektdimension klein	10
Schlägl	Projektdimension klein	12
Rottenegg	Projektdimension mittel	40
Summerau	Projektdimension mittel	28
Schloß Haus	Projektdimension mittel	20
Hirschbach	Projektdimension mittel	19
Pürbach-Schrems	Projektdimension gross	52
Pregarten	Projektdimension gross	65
Göpfritz	Projektdimension gross	52
Mauthausen	Projektdimension klein	31
Wolfsthal	Projektdimension klein	17
Innsbruck Westbf	Projektdimension gross	62
Unterberg-Stefansbrücke	Projektdimension klein	36
Pinggau Markt	Projektdimension mittel	20

Tabelle 20: Verkehrsstationen – Auswahl der Pilotplanungsstandorte für eine thermische Nutzung des Untergrundes ohne Wasserentnahme

17.1.5 Pilotplanungsstandorte – Übersicht

Abbildung 77 stellt die Lage der ausgewählten Pilotplanungsstandorte in einer Übersichtskarte dar.

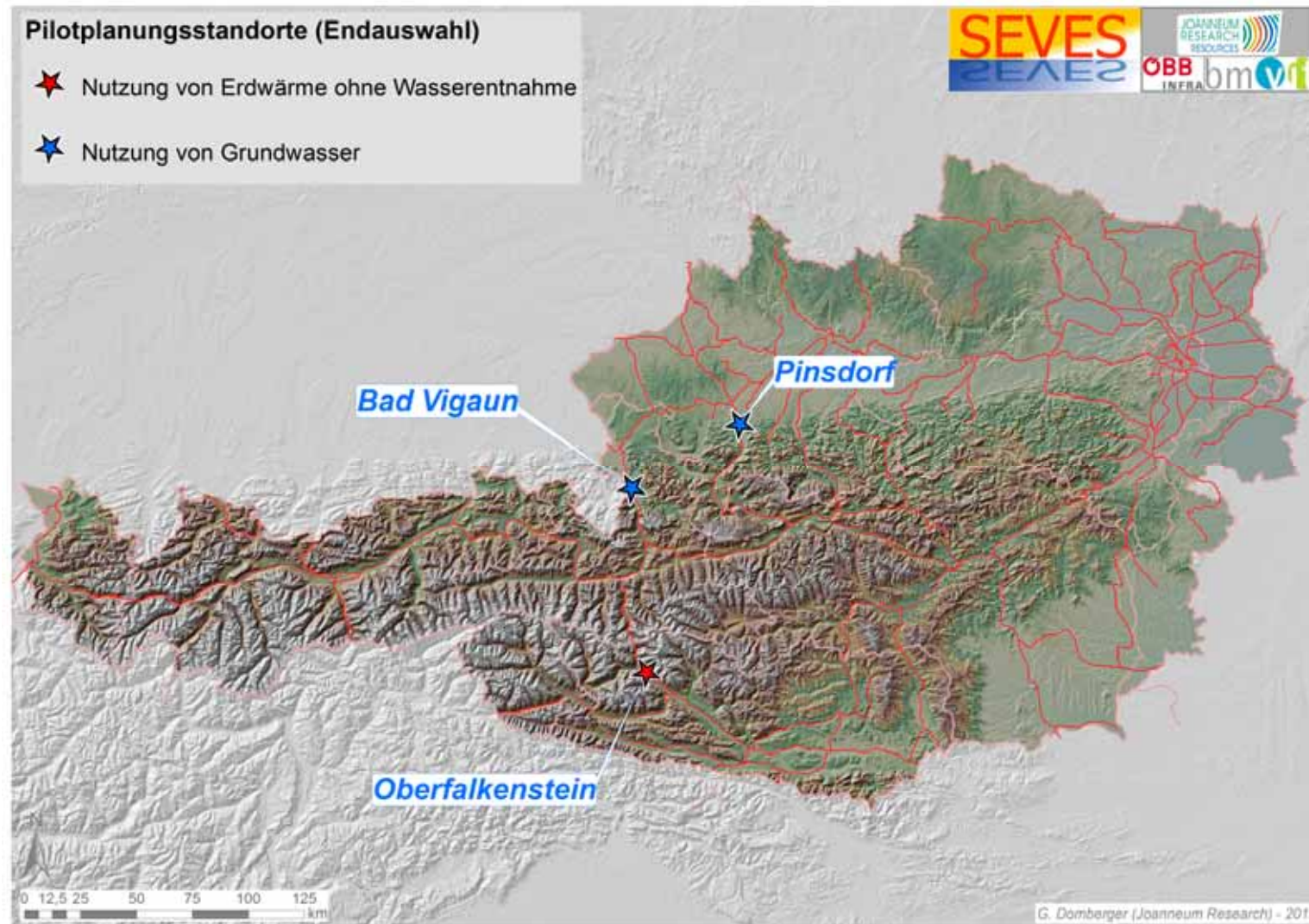


Abbildung 77: Ausgewählte Pilotplanungsstandorte – Übersicht

17.2 Pilotplanung 1 – Verkehrsstation Pinsdorf - Eis- und Schneefreihaltung mit thermischer Grundwassernutzung

17.2.1 Standortbeschreibung

Die Verkehrsstation Pinsdorf befindet sich nordwestlich von Gmunden (siehe Abbildung 78).



Abbildung 78: Lage der Verkehrsstation Pinsdorf

Gemäß ÖBB-Homepage – „Die Haltestelle Pinsdorf erhält 2017 ein neues Erscheinungsbild. Ein neuer Randbahnsteig mit Blindenleitsystem und Wartekoje sowie eine Park&Ride- und Bike&Ride-Anlage werden errichtet.“ – wird die Verkehrsstation in der nächsten Zeit modernisiert und würde sich daher für eine Projektrealisierung anbieten (siehe dazu Abbildung 79).



Abbildung 79: ÖBB-Homepage – Darstellung der geplanten Modernisierung der Verkehrsstation Pinsdorf

Für eine Eis- und Schneefreihaltung bei der Verkehrsstation Pinsdorf ergeben sich folgende wesentlichen Umsetzungsparameter (siehe Tabelle 21).

Pinsdorf	
Parameter	Wert
Fläche - Bahnsteige [m ²]	386
Bahnsteige - Erforderliche Heizleistung (400W/m ²)	154400
Erforderliche Wassermenge [l/s]	6,1
Minimale erforderliche Brunnendistanz [m]	92,0

Tabelle 21: Eckdaten der Pilotplanungsanlage Pinsdorf

17.2.2 Standortbedingungen

- Der Standort befindet sich südlich eines Wasserschutzgebietes bzw. im Bereich eines Wasserschongebietes
- Verfügbare Grundstücke im Eigentum der ÖBB sind nur entlang der Gleisanlagen vorhanden
- Die Verkehrsstation Pinsdorf wurde für die thermische Nutzung von Grundwasser zur Eis- und Schneefreihaltung gewählt.
- Das Vorhandensein der quartären Kiesen und Sanden lassen darauf schließen, dass günstige hydrogeologische Eigenschaften für die Nutzung von Grundwasser

vorliegen. Die quartäre Talfüllung wird ausreichende Mächtigkeiten aufweisen, sodass die erforderlichen Grundwasserergiebigkeiten erreicht werden können. Diesbezüglich ist aber jedenfalls auf die Erfordernis einer Detailstandorterkundung hinzuweisen.

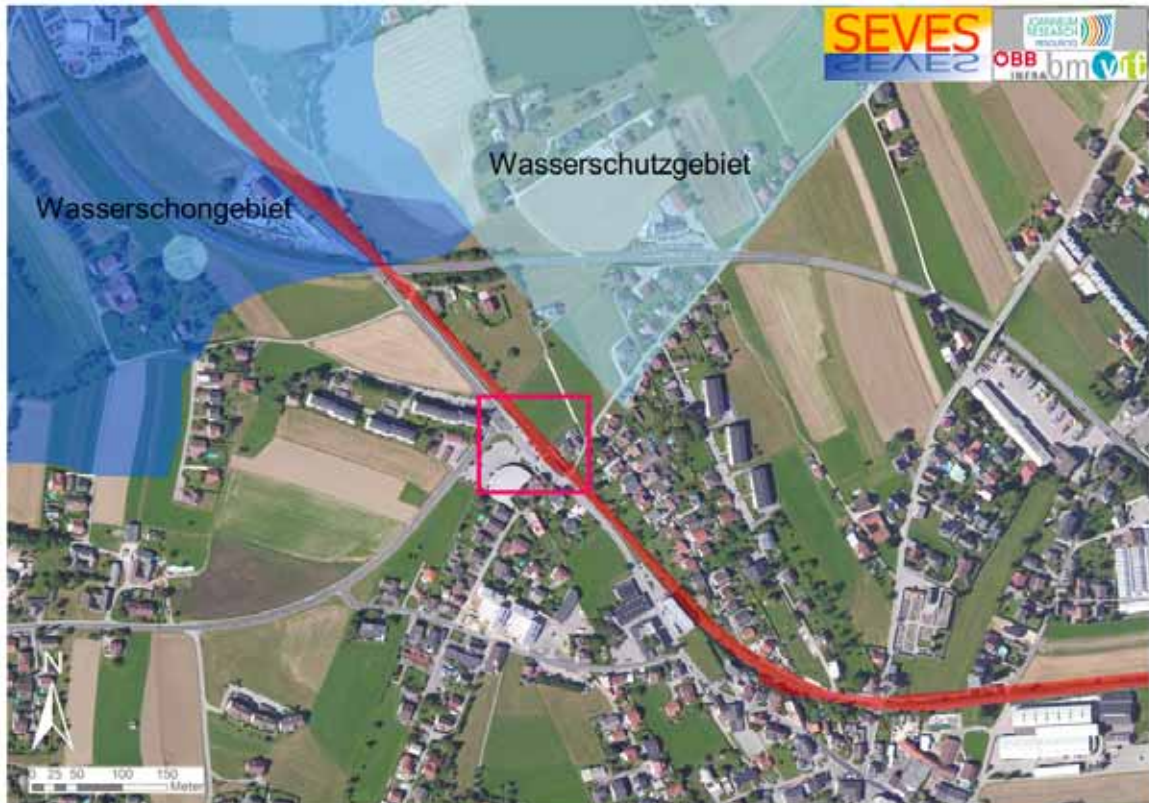


Abbildung 80: Schutz- und Schongebiete und ÖBB-Grundstücke (rot) im Bereich von Pinsdorf

17.2.3 Anlagenbeschreibung

Die thermische Nutzung des Grundwassers erfordert die Errichtung von mindestens 2 Grundwasserbrunnen. Aus dem Entnahmebrunnen wird Grundwasser mit Hilfe einer Tauchkreislumpumpe entnommen und zur thermischen Nutzung geführt. Das thermisch genutzte (abgekühlte) Grundwasser wird zu einem Schluckbrunnen geführt. Die Rückführung des thermisch genutzten Grundwassers ist am Beispielstandort aus wasserwirtschaftlichen Gründen in jedem Fall erforderlich. Abbildung 81 zeigt das beschriebene Nutzungsprinzip.

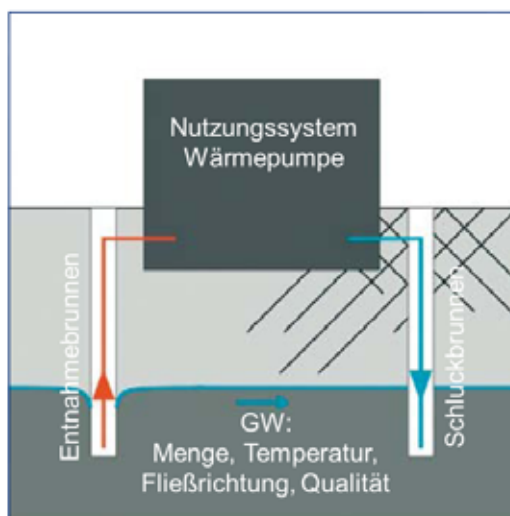


Abbildung 81: Nutzungsprinzip – Beispielstandort Pinsdorf

17.2.4 Brunnenstandorte

Die beiden Brunnen sollten unter den gegebenen Rahmenbedingungen eine minimale Distanz von etwa 90m aufweisen. Für die zugrunde liegenden Modellberechnungen wurden die Parameter abgeschätzt und müssten im Fall einer Projektumsetzung im Rahmen von standorterkundenden Maßnahmen (z.B. Erkundungsbohrungen) ermittelt werden.

Auf Basis der angenommen Grundwasserfließrichtung und hydraulischen Parameter ergibt sich das in Abbildung 82 dargestellte Gesamtbild mit möglichen Brunnenstandorten.

Dabei ist der Entnahmebrunnen naturgemäß nahe am zu beheizenden Bahnsteig im Bereich der Verkehrsstation zu errichten. Der Rückgabebrunnen sollte in der erforderlichen Distanz von etwa 90m errichtet werden um einen thermische Wechselwirkung zwischen dem Entnahme- und dem Rückgabebrunnen zu vermeiden.

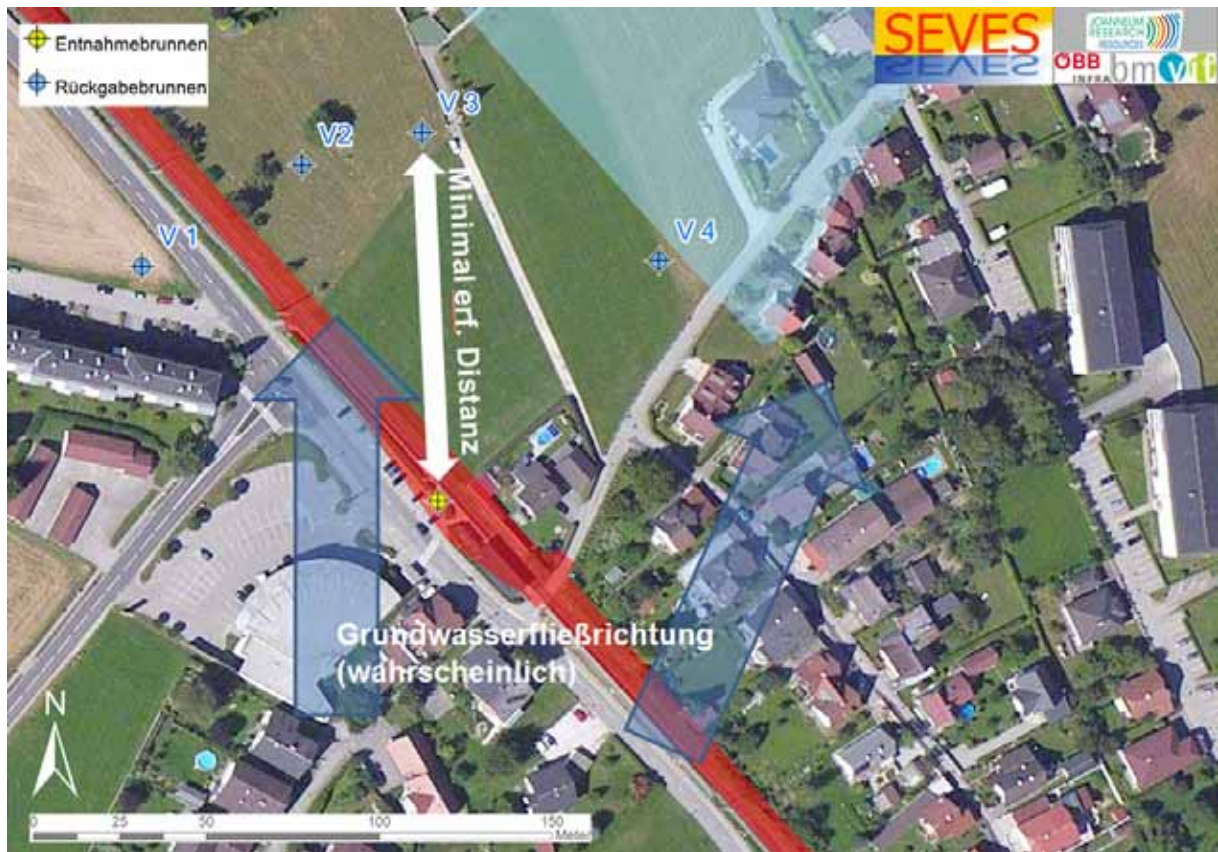


Abbildung 82: Varianten (V1-V4) der Brunnenstandorte bei der Pilotplanungsanlage Pinsdorf
(ÖBB-Grundstücke rot eingefärbt)

17.2.5 Energiebedarfsberechnung – Pinsdorf

Der Standort Pinsdorf wird in Bezug auf seine Randbedingungen bzw. auf die für seine Auswahl maßgeblichen Energiebedarfsparameter in Abschnitt 17.2.1 beschrieben.

Der für die Modellrechnungen bestimmende Parameter ist die schnee- bzw. eisfrei zu haltende Freifläche mit 386 m^2 . Hinzu kommen naturgemäß die klimatischen Rahmenbedingungen in Form der meteorologischen Daten.

Aufgrund der gewählten Nutzungsmethode (Grundwasser) wird eine saisonale Wärmespeicherung im Untergrund am Standort Pinsdorf nicht in die Überlegungen und Berechnungen einbezogen. Aus diesem Grund ist am Standort Pinsdorf auch kein Solarkollektor vorgesehen und bei der Berechnung des Wärmebedarfs wurde nur der solare Wärmeeintrag direkt auf die Bodenoberfläche während der Heizzeiten, also während der Zeiten, in denen die Lufttemperatur unter der gewählten Grenztemperatur liegt,

berücksichtigt. Die in den Abbildung 83 bis Abbildung 88 dargestellten Ergebnisse gelten für eine Grenztemperatur von + 3 °C.

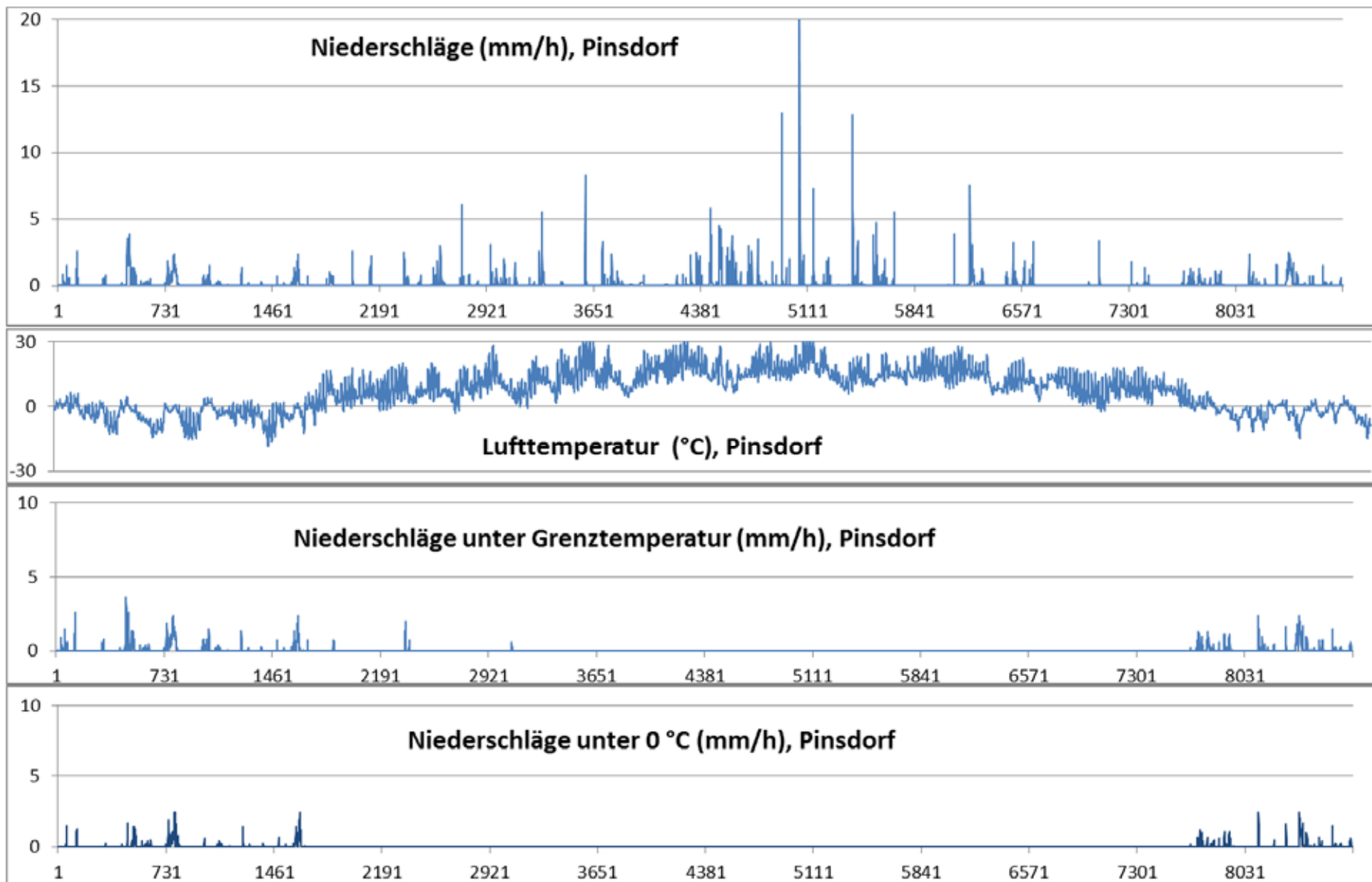


Abbildung 83: Stündliche Klimadaten für die Niederschläge und die Lufttemperatur, verwendet für den Standort Pinsdorf, im Jahresverlauf

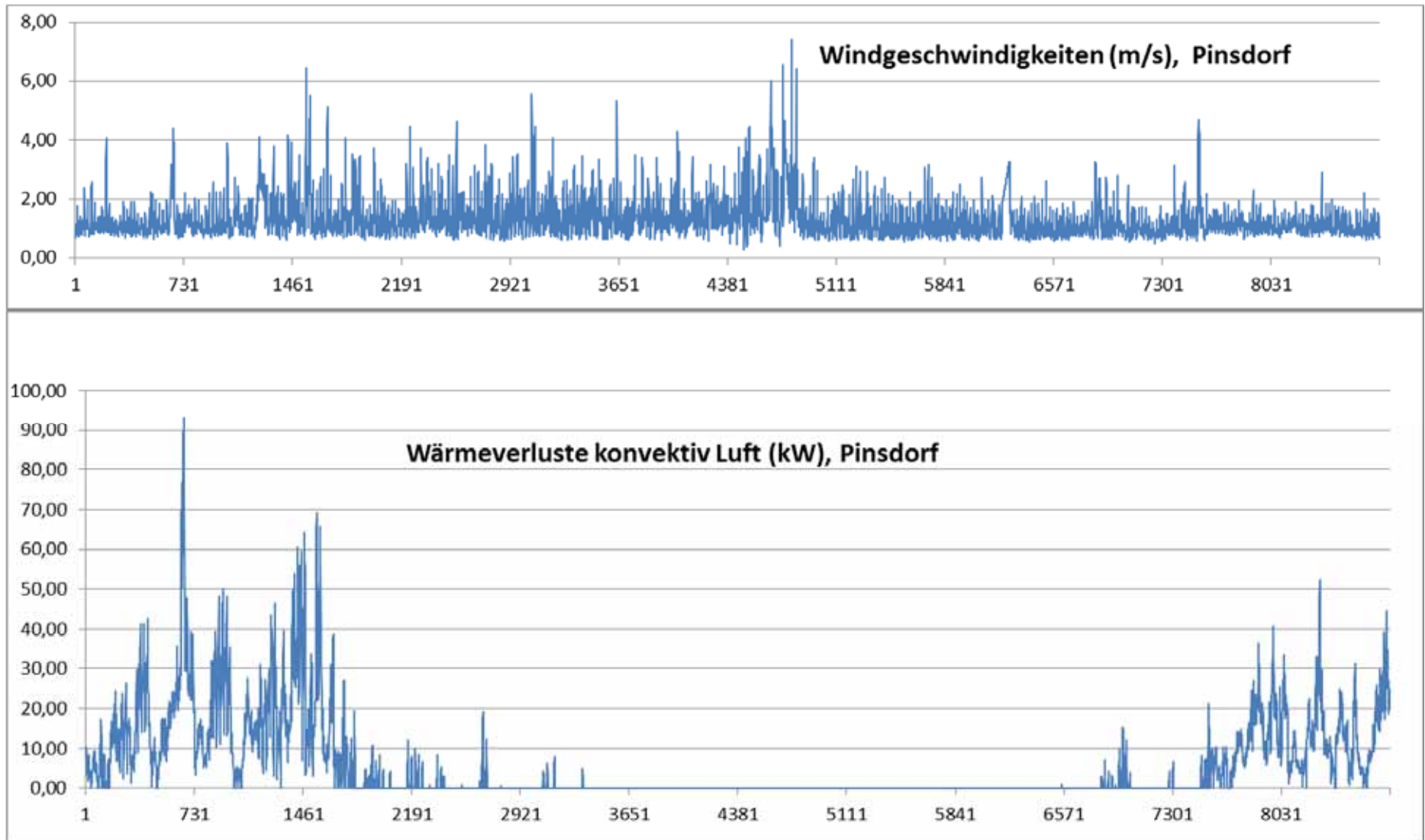


Abbildung 84: Windgeschwindigkeiten (m/s) und konvektive Wärmeverluste (kW) von der Bodenoberfläche an die Luft am Standort Pinsdorf, stündliche Werte im Jahresverlauf

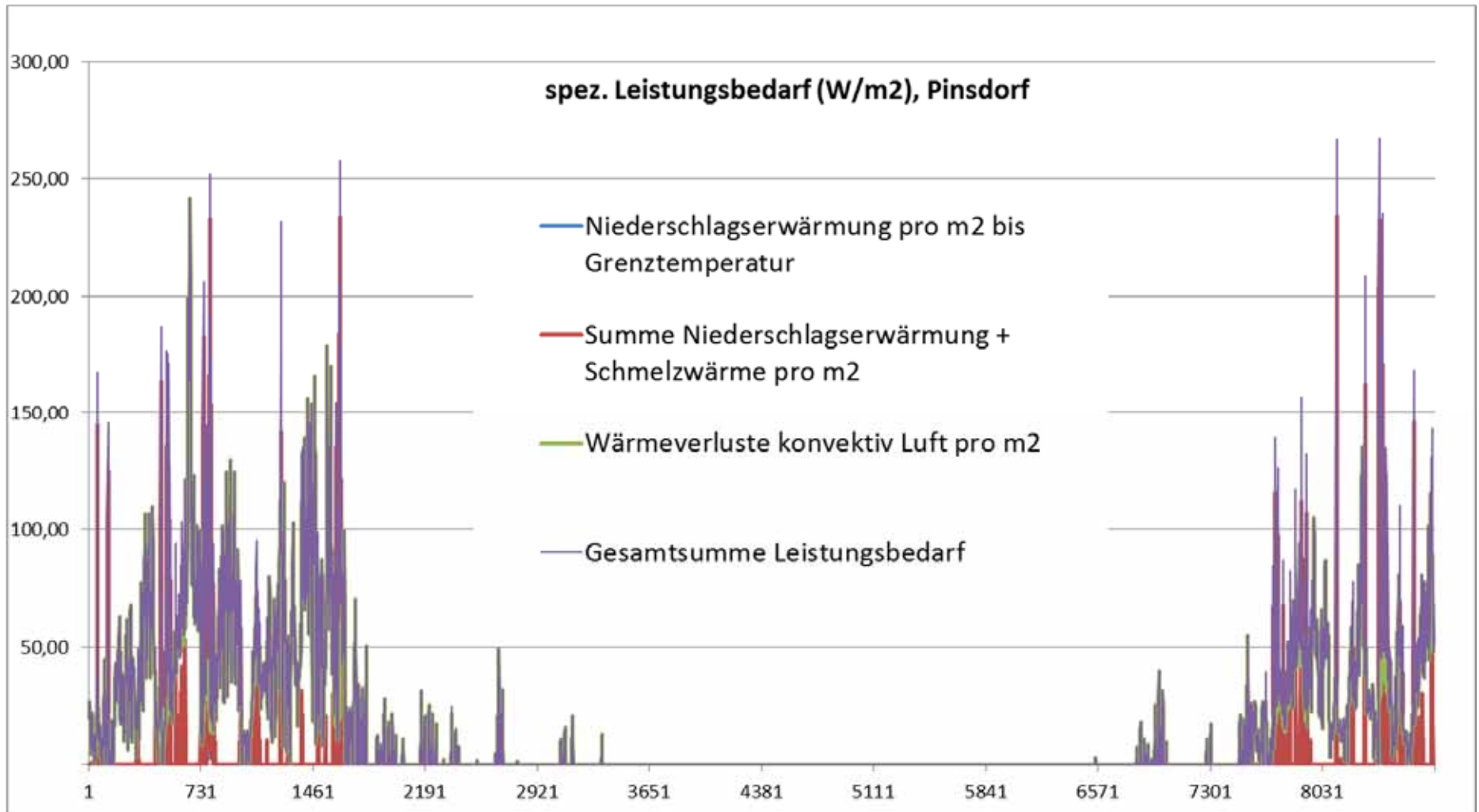


Abbildung 85: Spezifischer Leistungsbedarf (W/m²) am Standort Pinsdorf, stündliche Werte im Jahresverlauf

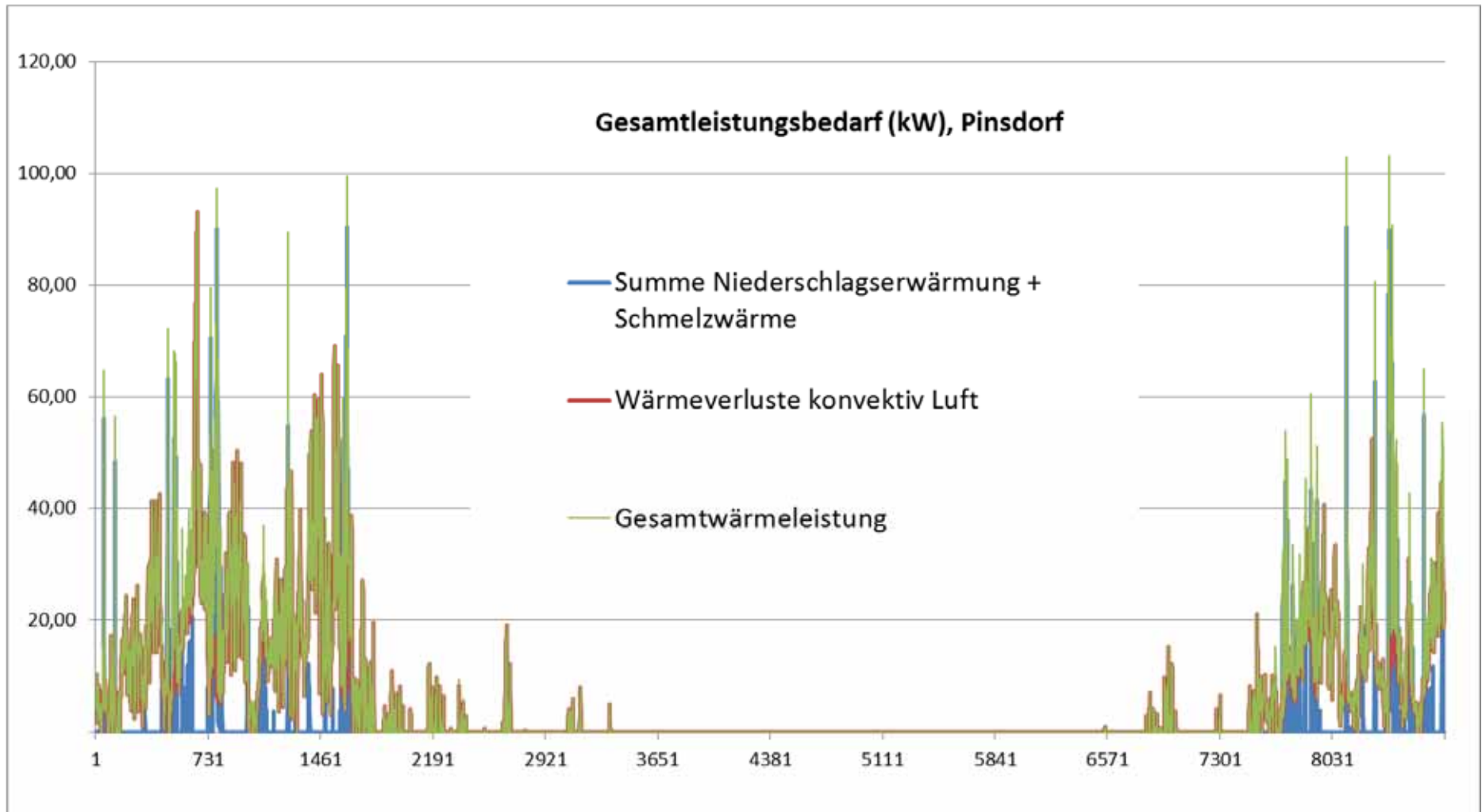


Abbildung 86: Gesamtleistungsbedarf (kW) am Standort Pinsdorf, stündliche Werte im Jahresverlauf

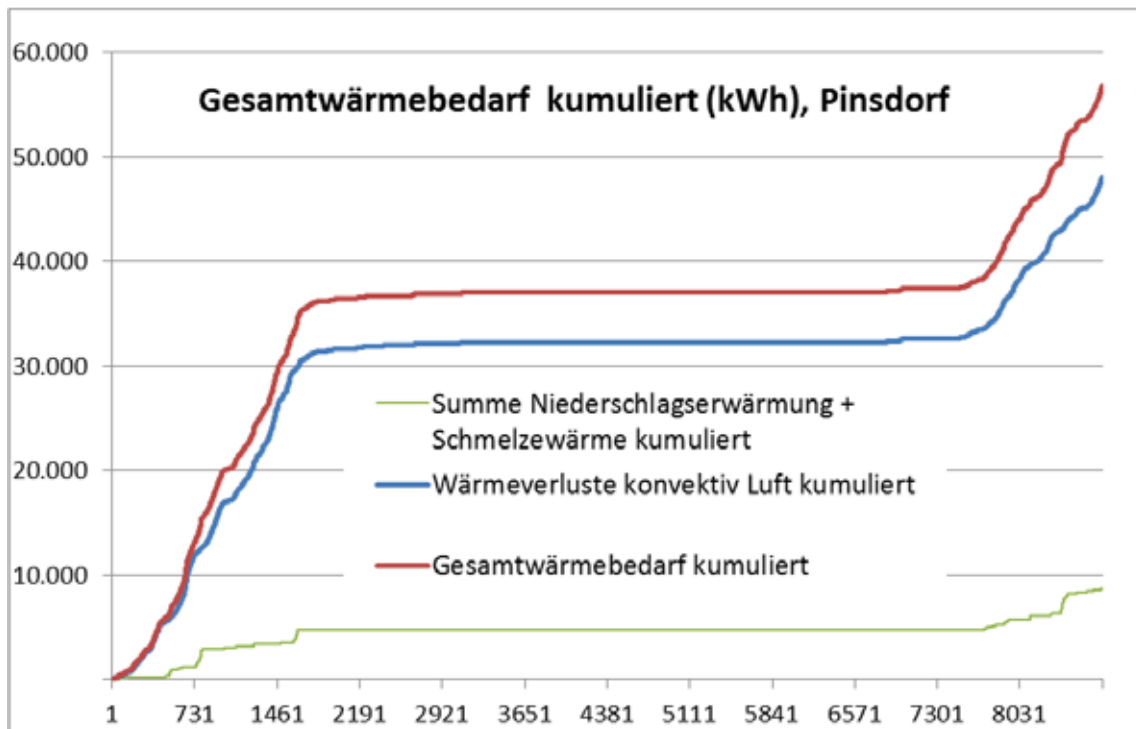


Abbildung 87: Gesamtwärmebedarf Pinsdorf (kWh), kumuliert im Jahresverlauf

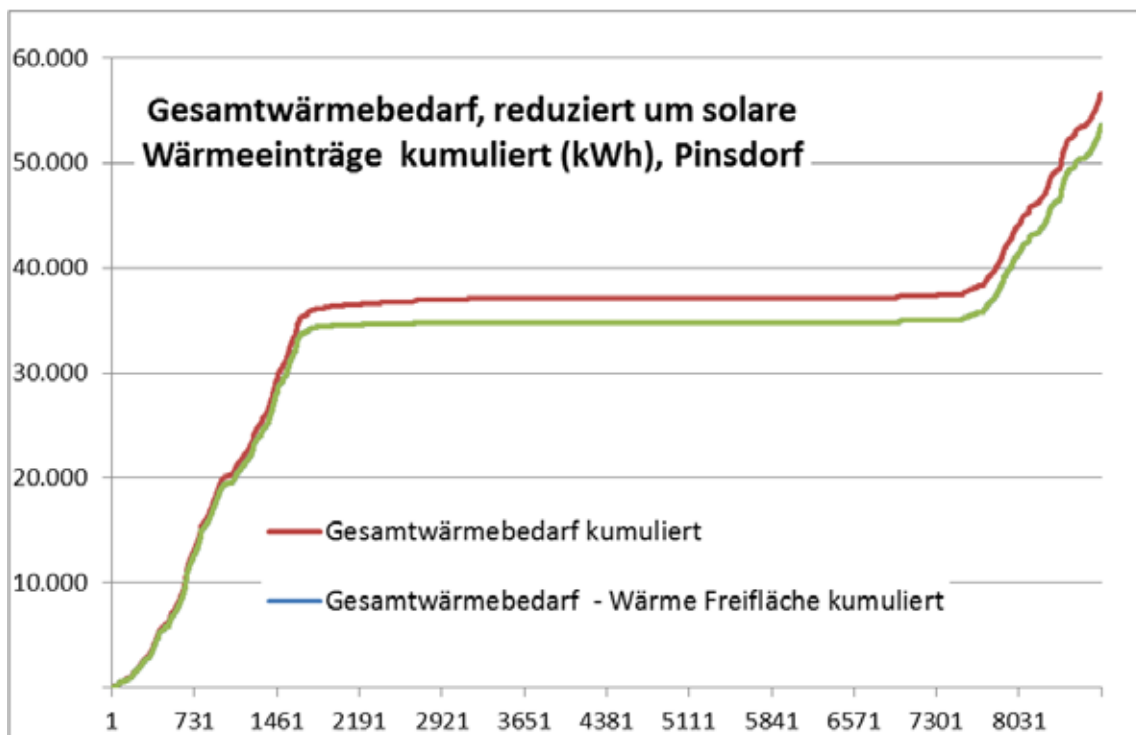


Abbildung 88: Gesamtwärmebedarf (kWh) Pinsdorf, reduziert um solare Wärmeeinträge während der Heizzeiten kumuliert im Jahresverlauf

Abbildung 83 stellt im obersten Diagramm die Niederschlagsmengen dar, die an einer Messstelle der ASFINAG im Bereich von Liezen im Jahr 2011 gemessen wurden, und die für die Modellrechnungen für den Standort Pinsdorf mit einer stundenweisen Auflösung herangezogen wurden. Unterhalb ist die Lufttemperatur dargestellt. Unter der Lufttemperatur sind zunächst die Niederschläge dargestellt, die in den Zeiträumen fielen, in denen die Lufttemperatur unter einer bestimmten Grenztemperatur, im gegenständlichen Fall unter $+3\text{ °C}$ lag. Für die Modellrechnung gilt, dass diese Grenztemperatur an der Bodenoberfläche bzw. in der Wasserschicht auf der Bodenoberfläche auch bei niedrigeren Lufttemperaturen aufrechterhalten bleibt. Das heißt, dass diese Niederschläge, von denen angenommen wird, dass sie mit Lufttemperatur fallen, auf die Grenztemperatur erwärmt werden müssen. Hieraus ergibt sich ein gewisser Wärmebedarf zur Einbringung der zur Temperaturerhöhung notwendigen fühlbaren Wärme in die Niederschläge.

Im untersten Diagramm in Abbildung 83 sind die Niederschläge dargestellt, die in den Zeiträumen fielen, in denen die Lufttemperatur unter 0 °C lag. Von diesen Niederschlägen wird angenommen, dass sie in gefrorenem Zustand, also in Form von Schnee oder Eisregen fallen. Diese Niederschläge sind daher nicht nur auf die Grenztemperatur zu erwärmen, sondern auch noch zu schmelzen. Dabei ergibt sich zusätzlich zur fühlbaren Wärme ein entsprechender Bedarf an Schmelzwärme. Man erkennt, dass die Zeiträume, in denen Niederschläge bei Temperaturen unter der Grenztemperatur von im betrachteten Fall 3 °C bzw. unter 0 °C , die Zeiträume also, in denen das System zur Schnee- und Eisfreihaltung benötigt wird, relativ kurz sind.

Wenn die Bodenoberfläche auf der Grenztemperatur von im betrachteten Fall 3 °C gehalten wird, geht in den Zeiträumen, in denen die Lufttemperatur niedriger ist, konvektiv Wärme in die Umgebung über. Diese „Wärmeverluste“ sind natürlich von der Lufttemperatur, aber auch, wie bereits erläutert, stark vom Wind bzw. von der Windgeschwindigkeit abhängig. Die für den Standort Pinsdorf herangezogenen Windgeschwindigkeiten sind im oberen Diagramm in Abbildung 84 dargestellt. Die hieraus errechneten Wärmeverluste sind im unteren Diagramm in Abbildung 84 ersichtlich. Wie am gegenständlichen Beispiel ersichtlich, ergeben sich aufgrund des stochastischen Zusammenspiels von Lufttemperatur und Wind sehr starke Fluktuationen bei den konvektiven Wärmeverlusten von der Bodenoberfläche in die Umgebungsluft. Der untersuchte Modellfall zeigt im Jahresverlauf einen signifikanten Spitzenwert über 90 kW sowie einige wenige Spitzenwerte im Bereich zwischen 60 und 70 kW , während die Verluste die meiste übrige Zeit wesentlich darunter liegen.

Aus dem Leistungsbedarf für die Temperaturerhöhung bzw. für die fühlbare Wärme, für das Schmelzen der Niederschläge und die Abdeckung der konvektiven Wärmeverluste von der Bodenoberfläche in die Umgebungsluft wurde der Wärmeleistungsbedarf für die Schnee- und Eisfreihaltung am Standort Pinsdorf unter den getroffenen Annahmen berechnet. Die Ergebnisse sind, bezogen auf den Quadratmeter Bodenoberfläche, in Abbildung 85 dargestellt. Die hohen zeitlichen Fluktuationen finden sich erwartungsgemäß auch im Leistungsbedarf wieder. Die im betrachteten Kalenderjahr in einigen wenigen Fällen für die kurze Dauer von 1-2 Stunden benötigten spezifischen Spitzenleistungen liegen zwischen 150 und 250 kW/m².

Dies ergibt am Standort Pinsdorf bei einer schnee- bzw. eisfrei zu haltenden Freifläche von 386 m² die in Abbildung 86 dargestellten Gesamtleistungen. Im Vergleich der einzelnen Kurven erkennt man, gleich wie am Standort Oberfalkenstein, dass der Leistungsbedarf für die Summe aus Niederschlagserwärmung und Schmelzwärme (blaue Kurve) den überwiegenden Teil der benötigten Gesamtwärmeleistung ausmacht.

Beim Wärmebedarf ist es hingegen auch in Pinsdorf umgekehrt. Abbildung 87 zeigt den Wärmebedarf in Pinsdorf kumuliert über den Jahresverlauf. Man erkennt, dass die zugeführte Wärme überwiegend für die Deckung der Wärmeverluste von der Bahnsteigoberfläche in die Umgebungsluft gebraucht wird (siehe blaue Linie), während der Wärmebedarf für die Erwärmung und das Schmelzen der Niederschläge (grüne Linie) den kleineren Teil ausmacht.

Ein Teil des Wärmebedarfs wird, wie schon erwähnt, durch solaren Strahlungseintrag direkt in die Bahnsteigoberfläche gedeckt. Da der Bahnsteig diesbezüglich keinen wirksamen Speicher darstellt, ist dieser Wärmeeintrag nur in Zeiten des Wärmebedarfs wirksam, bzw. reduziert diesen entsprechend. Die grüne Kurve in Abbildung 88 zeigt den um den direkten solaren Strahlungseintrag reduzierten kumulierten Wärmebedarf. Während der warmen Jahreszeit wäre dieser Wärmeeintrag zwar entsprechend höher, geht aber verloren bzw. kann im System nicht genutzt werden. Die grüne und rote Kurve laufen im Sommer daher näherungsweise parallel. Der kumulierte Gesamtwärmebedarf erreicht unter den gegebenen Bedingungen bzw. den getroffenen Annahmen einen Wert von knapp unter 60.000 kWh.

Von der Modellierung des Einsatzes eines Solarkollektors in Kombination mit einem saisonalen Wärmespeicher für den Standort Pinsdorf wurde abgesehen, weil dort keine solche Anlage in Betracht gezogen wird.

17.2.6 Ökonomische Analyse - Pinsdorf

Die technischen Ausgangsdaten für Pinsdorf sind in Tabelle 21 zusammengestellt.

Ausgehend von diesen Daten und der thermischen Modellierung (siehe Kapitel 17.2.5) wurden Investitionskosten für Anlagen, Bauteile, Materialien, Planung etc. abgeschätzt. Für die Freiflächenheizung wurden spezifische Investitionskosten von 70 €/m² und für die Brunnenanlage Gesamtinvestitionskosten (Bohrung, Verrohrung etc.) von etwa 30.000 € angenommen. Der Strombedarf für Wärmepumpe, Grundwasserpumpe und Umwälzpumpen wurde aus dem Wärmebedarf der thermischen Modellierung mit einer angenommenen Jahresarbeitszahl und mittels Pumpenprogramm errechnet. Für die Berechnungen wurden die in Kapitel 16.4 festgelegten Nutzungsdauern und Zinssätze eingesetzt. Für den Strompreis wurden 109,50 €/MWh angenommen (auf Basis des Projektes INFRAplusGEO).

Die Daten und Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 22 zusammengestellt. Die Jahresgesamtkosten sind 14.106 €/a, die spezifischen Jahreskosten 36,54 €/m² und Jahr.

Da die Jahreskosten auch in Pinsdorf von den Kapitalkosten bestimmt werden (etwa 60 %), wurden diese variiert und zwar um 30 % reduziert. Damit ergaben sich Jahresgesamtkosten von 10.653 € pro Jahr und spezifische Jahreskosten von 27,60 €/m² und Jahr. Im Vergleich liegen die aktuellen spezifischen Jahreskosten für die IMMO-Region, in der Pinsdorf liegt, zwischen 0,59 bis 25,1 €/m² und Jahr (Mittelwert in der Region 5,54 €/m² und Jahr).

Kostenart	Erforderliche Eingabedaten			Kosten
Kapitalkosten	Investitionskosten [€]	Nutzungsdauer [a]	Kalk. Zinssatz [%]	Annuität der Investitionskosten [€/a]
Entnahmebrunnen	15.000	50	4	698
Rückgabebrunnen	15.000	50	4	698
Wasserpumpe	2.200	10	4	271
Leitungen	10.000	20	4	736
Fremdgrundstücke	10.000	50	4	466
Flächenheizung	27.020	50	4	1.258
Wärmepumpenanlage	30.000	20	4	2.207
Sonst. Kosten (Planung etc.)	30.000	20	4	2.207
Summe Kapitalkosten	139.220			8.542
Betriebsgebundene Kosten (Kapitalgebundene Kosten)	Investitionskosten [€]	Instandsetzung [%]	Wartung [%]	Berechnung in % der jeweiligen Investitionskosten [€/a]
Entnahmebrunnen	15.000	1%	1%	296
Rückgabebrunnen	15.000	1%	1%	296
Wasserpumpe	2.200	3%	1%	88
Leitungen	10.000	2%	1%	300
Flächenheizung	27.020	2%	1%	811
Wärmepumpenanlage	30.000	3%	1%	1.200
Summe Kapitalgebundene Kosten				2.990
Verbrauchsgebundene Kosten (sonstige Betriebskosten)	[€/MWh]	Strommenge [MWh/a]		Jahreskosten [€/a]
Stromkosten				
Wasserpumpe etc.	109,5	10,1		1.108
Wärmepumpe	109,5	13,4		1.466
Summe Betriebskosten				2.574
Gesamtkosten				Jahreskosten [€/a]
Summe Kapitalkosten				8.542
Summe Betriebsgebundene Kosten				2.990
Summe Verbrauchsgebundene Kosten				2.574
Jahresgesamtkosten			Summe	14.106
Zu betreuende Fläche				m2
Bahnsteigflächen				386
Spez. Gesamtkosten				spez. Jahreskosten [€/m²*a]
Spez. Kapitalkosten				22,13
Spez. Betriebsgebundene Kosten				7,75
Spez. Verbrauchsgebundene Kosten				6,67
Spez. Jahresgesamtkosten			Summe	36,54

Tabelle 22: Ergebnistabelle der ökonomischen Analyse – Pinsdorf

17.3 Pilotplanung 2 – Verkehrsstation Bad Vigaun - Eis- und Schneefreihaltung mit thermischer Grundwassernutzung

17.3.1 Standortbeschreibung

Die Verkehrsstation Bad Vigaun liegt im Salztal südöstlich von Hallein (siehe Abbildung 89). Der Standort Bad Vigaun (siehe Abbildung 90) wurde für eine thermische Grundwassernutzung zur Eis- und Schneefreihaltung der Bahnsteige ausgewählt.

Die technischen Eckdaten der Pilotplanungsanlage sind in Tabelle 23 zusammengefasst.



Abbildung 89: Lage der Verkehrsstation Bad Vigaun

Bad Vigaun	
Parameter	Wert
Fläche - Bahnsteige [m ²]	1065
Bahnsteige - Erforderliche Heizleistung (400W/m ²)	426000
Erforderliche Wassermenge [l/s]	16,9
Minimale erforderliche Brunnendistanz [m]	254,0

Tabelle 23: Eckdaten des Standortes Bad Vigaun



Abbildung 90: Verkehrsstation Bad Vigaun

17.3.2 Standortbedingungen

Die Verkehrsstation Bad Vigaun liegt knapp nördlich der Mündung der Taugl in die Salzach. Dies ist insofern relevant, als die Taugl in diesem Bereich das Grundwasser anreichert und deshalb relevant für die Grundwasserneubildung und die Grundwassertemperaturen ist (siehe Abbildung 91).

Aufgrund der fachlichen Beurteilung der Gesamtsituation kann von einer ausreichenden Wassermenge für das Pilotplanungsbeispiel ausgegangen werden.

Aufgrund der Nahelage zur Salzach und zur Taugl könnte die Grundwassertemperatur eventuell relativ gering sein, was die Anlageneffizienz reduzieren könnte.

Weiters ist aufgrund der Lage der Verkehrsstation Bad Vigaun innerhalb eines Wasserschongebietes zu überprüfen, welche wasserrechtlichen Restriktionen damit verbunden sind und ob das Planungsvorhaben davon betroffen ist.

Aufgrund dieser hydrogeologischen Rahmenbedingungen ist eine Detailstandorterkundung und Erhebung der wasserrechtlichen Einschränkungen an diesem Standort von besonderer Bedeutung.



Abbildung 91: Luftbild – Verkehrsstation Bad Vigaun

17.3.3 Anlagenbeschreibung

Hinsichtlich der prinzipiellen Anlagenbeschreibung wird auf 17.2.3 (Standort Pinsdorf) verwiesen, da beim Standort Bad Vigaun dieselbe Nutzungstechnologie eingesetzt wird.

17.3.4 Brunnenstandorte

Aufgrund der hydraulisch-thermischen Berechnungen ergibt sich auf Basis der aus der Erfahrung angenommenen Inputparameter, eine erforderliche Distanz zwischen Entnahmebrunnen und Rückgabebrunnen von etwa 250 m.

In Abbildung 92 sind mögliche Varianten der Brunnenstandorte dargestellt. Die Lage des Entnahmebrunnens im Bereich der Verkehrsstation ist nur geringfügig veränderbar, da die Nahelage zum Bahnsteig jedenfalls gegeben sein sollte. Die verschiedenen Möglichkeiten zur Errichtung eines Rückgabebrunnens (V1-V4) hängen von der Grundwasserfließrichtung und der minimal erforderlichen Distanz zwischen Entnahme- und Rückgabebrunnen ab. Für die Errichtung eines Rückgabebrunnens muss auf Grundstücke ausgewichen werden, die sich nicht im Eigentum der ÖBB befinden. Im Bahndammbereich ist die Errichtung des Rückgabebrunnens wahrscheinlich nicht möglich.



Abbildung 92: Varianten von möglichen Brunnenstandorten (V1-V4) bei der Verkehrsstation Bad Vigaun (ÖBB-Grundstücke rot eingefärbt)

17.3.5 Energiebedarfsberechnung – Bad Vigaun

Der Standort Bad Vigaun wird in Bezug auf seine Randbedingungen bzw. auf die für seine Auswahl maßgeblichen Parameter in Abschnitt 17.3.1 beschrieben.

Der für die Modellrechnungen relevante Parameter ist die schnee- bzw. eisfrei zu haltende Freifläche mit 1.065 m² zusammen mit den dortigen klimatischen Verhältnissen.

Aufgrund der Nutzungstechnologie (Grundwasserentnahme) ist eine saisonale Wärmespeicherung im Untergrund am Standort Bad Vigaun nicht geplant und möglich.

Aus diesem Grund ist am Standort Bad Vigaun auch kein Solarkollektor vorgesehen und bei der Berechnung des Wärmebedarfs wurde nur der solare Wärmeeintrag direkt auf die Bahnsteigoberfläche während der Heizzeiten, also während der Zeiten, in denen die Lufttemperatur über der gewählten Grenztemperatur liegt, berücksichtigt. Die in den

Abbildungen (Abbildung 93 bis Abbildung 98) dargestellten Ergebnisse gelten für eine Grenztemperatur von + 3°C.

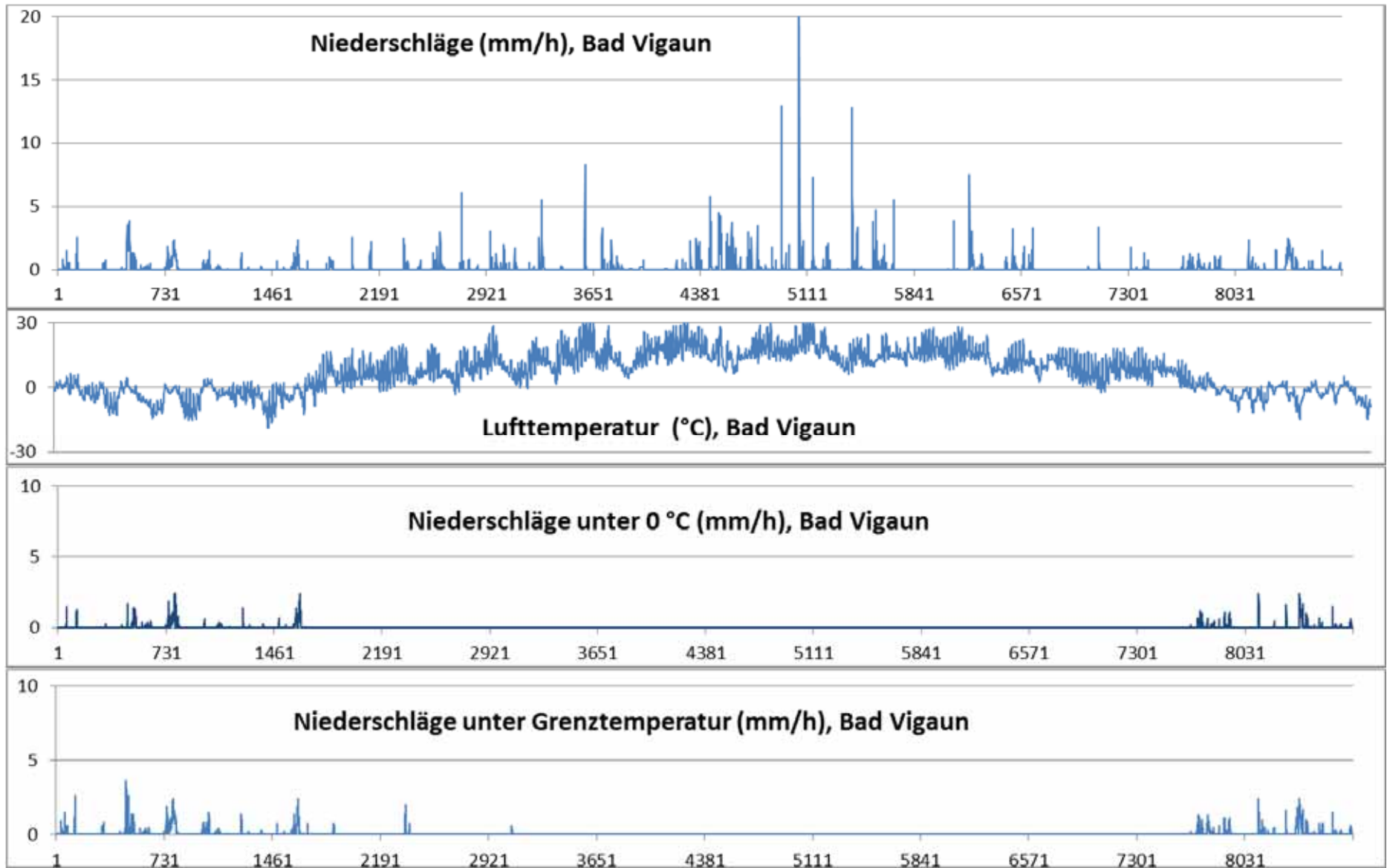


Abbildung 93: Stündliche Klimadaten für die Niederschläge und die Lufttemperatur, verwendet für den Standort Bad Vigaun

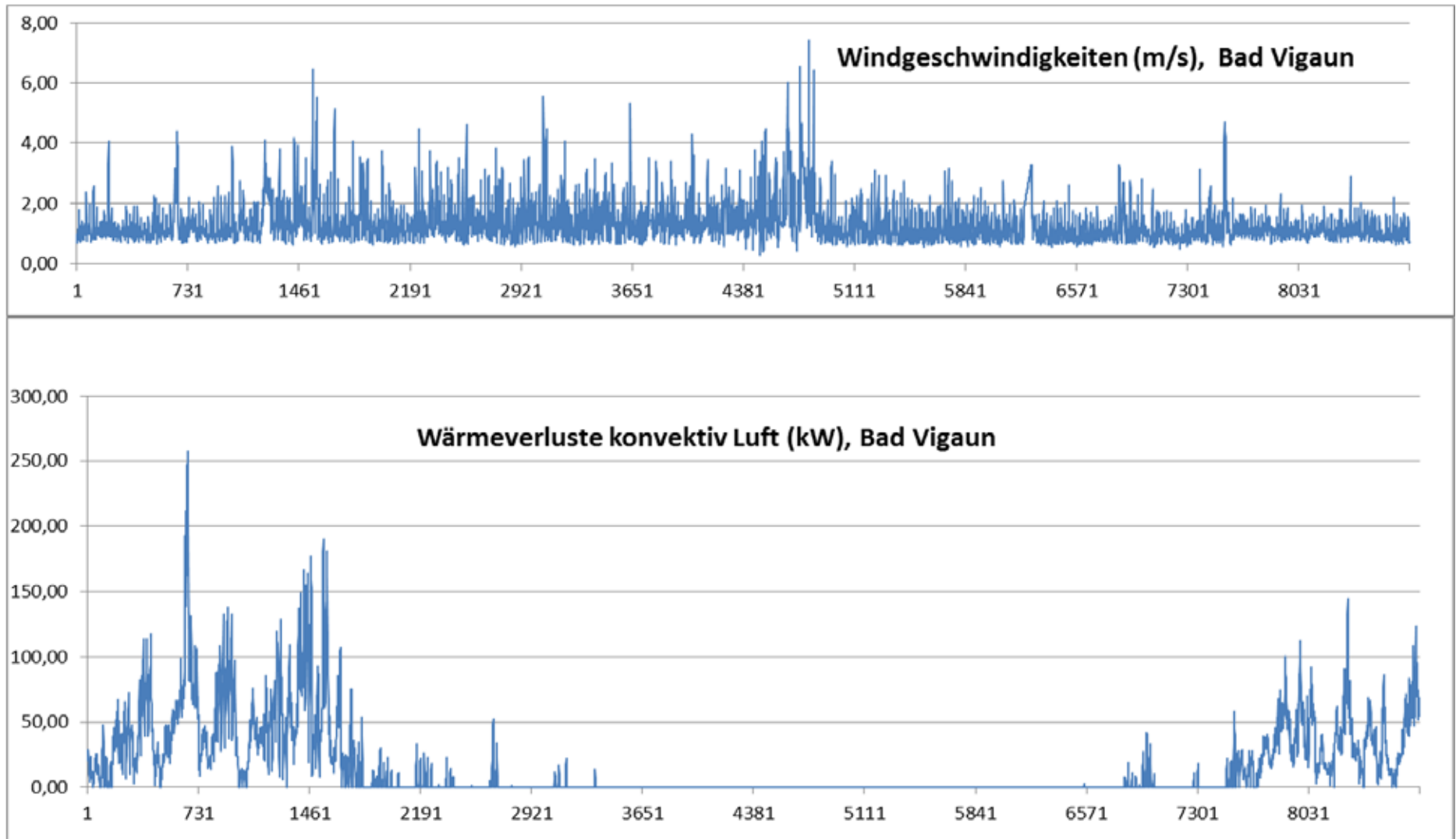


Abbildung 94: Windgeschwindigkeiten (m/s) und konvektive Wärmeverluste (kW) von der Bodenoberfläche an die Luft am Standort Bad Vigaun

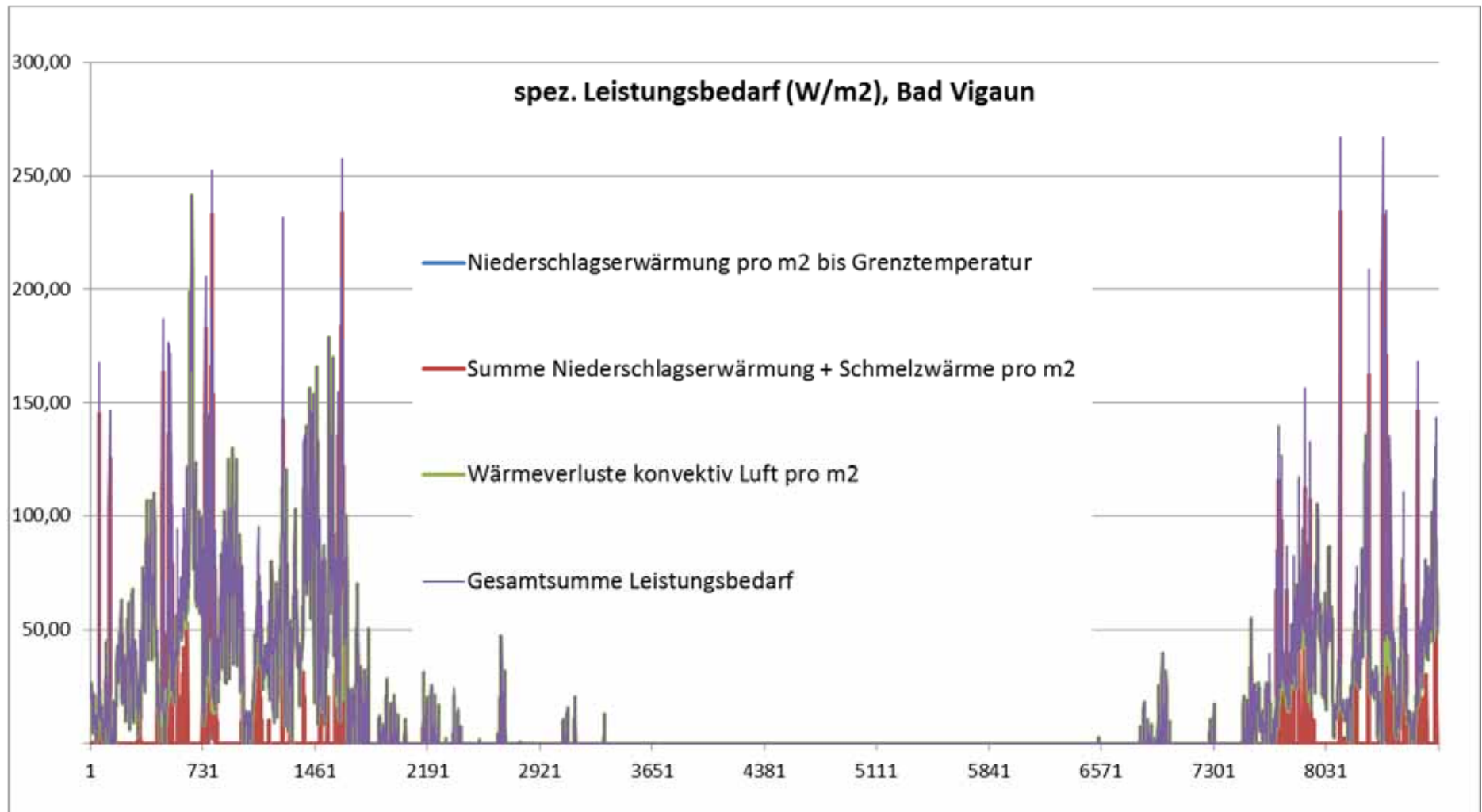


Abbildung 95: Spezifischer Leistungsbedarf (W/m²) am Standort Bad Vigaun, stündliche Werte im Jahresverlauf

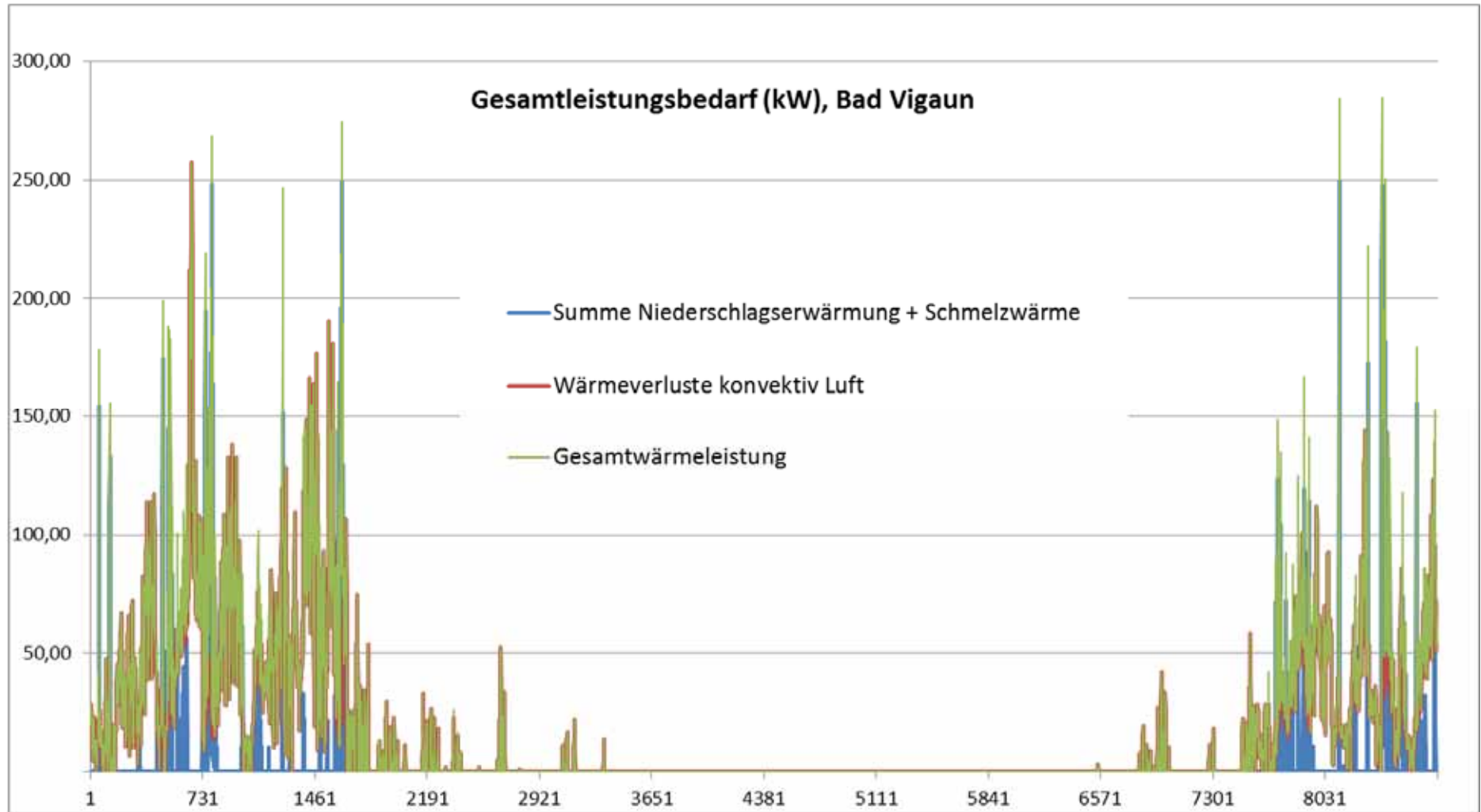


Abbildung 96: Gesamtleistungsbedarf (kW) am Standort Bad Vigaun, stündliche Werte im Jahresverlauf

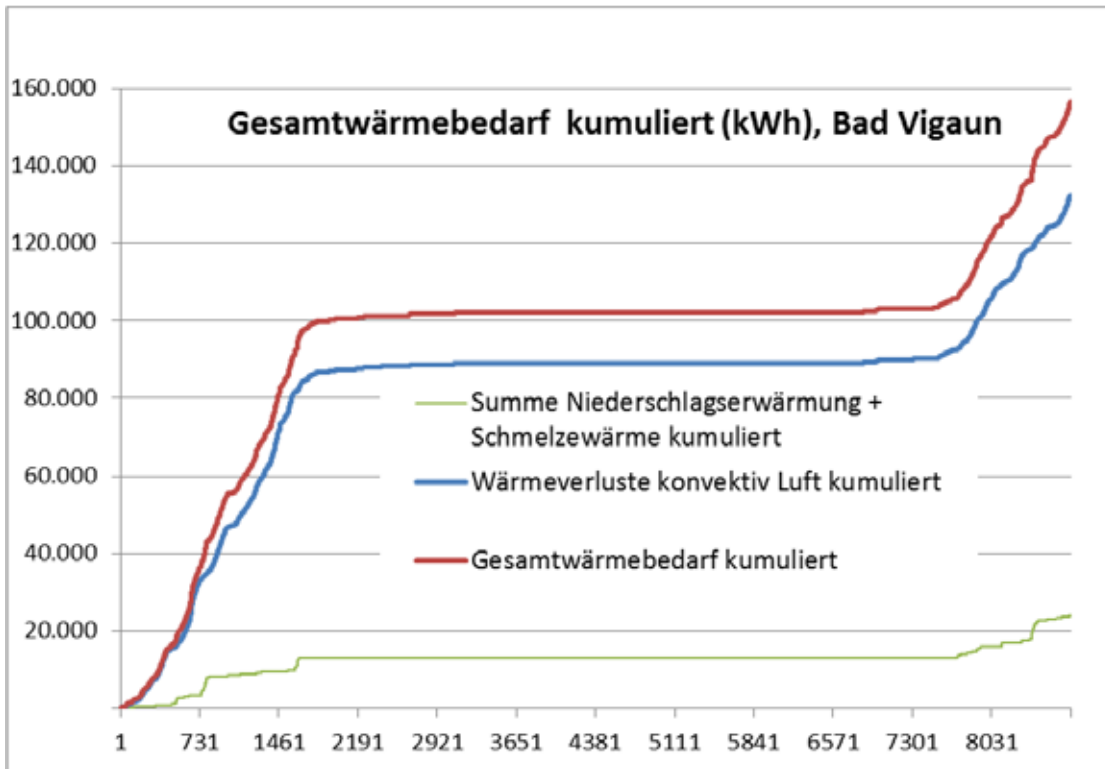


Abbildung 97: Gesamtwärmebedarf Bad Vigaun (kWh), kumuliert im Jahresverlauf

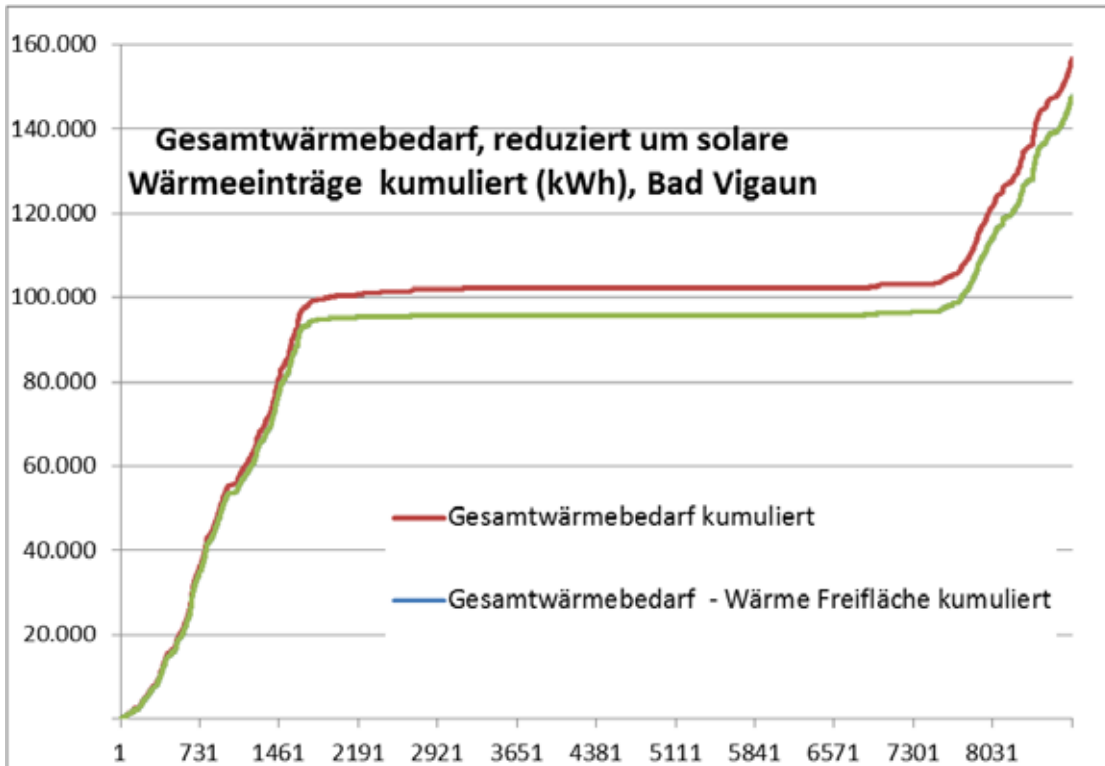


Abbildung 98: Gesamtwärmebedarf (kWh) Bad Vigaun, reduziert um solare Wärmeeinträge während der Heizzeiten kumuliert im Jahresverlauf

Man erkennt in Abbildung 93 im obersten Diagramm Niederschlagsmengen, die an einer Messstelle der ASFINAG in Liezen im Jahr 2011 gemessen wurden, und die für die Modellrechnungen für den Standort Bad Vigaun mit einer stundenweisen Auflösung herangezogen wurden. Darunter ist die Lufttemperatur dargestellt. Unter der Lufttemperatur sind zunächst die Niederschläge dargestellt, die in den Zeiträumen fielen, in denen die Lufttemperatur unter einer bestimmten Grenztemperatur, im gegenständlichen Fall unter 3 °C lag. Diese Grenztemperatur an der Bahnsteigoberfläche bzw. in der Wasserschicht auf der Bahnsteigoberfläche soll auch bei niedrigeren Lufttemperaturen aufrechterhalten werden. Das heißt, dass diese Niederschläge, von denen angenommen wird, dass sie mit Lufttemperatur einfallen, auf die Grenztemperatur erwärmt werden müssen. Hieraus ergibt sich ein gewisser Wärmebedarf zur Einbringung der zur Temperaturerhöhung notwendigen fühlbaren Wärme in den Niederschlag.

Im untersten Diagramm in Abbildung 93 sind die Niederschlagsereignisse dargestellt, die in den Zeiträumen fielen, in denen die Lufttemperatur unter 0 °C lag. Von diesen Niederschlägen wird angenommen, dass sie in gefrorenem Zustand, also in Form von Schnee oder Eisregen fallen. Diese Niederschläge sind daher nicht nur auf die Grenztemperatur zu erwärmen, sondern auch noch zu schmelzen. Dabei ergibt sich zusätzlich zur fühlbaren Wärme ein entsprechender Bedarf an Schmelzwärme. Man erkennt, dass die Zeiträume, in denen Niederschläge bei Temperaturen unter der Grenztemperatur von 3 °C bzw. unter 0 °C fallen, die Zeiträume also, in denen das System zur Schnee- und Eisfreihaltung benötigt wird, relativ kurz sind.

Wenn die Bahnsteigoberfläche auf der Grenztemperatur von im betrachteten Fall 3 °C gehalten werden muss, geht in den Zeiträumen, in denen die Lufttemperatur niedriger ist, konvektiv Wärme in die Umgebung über. Diese „Wärmeverluste“ sind natürlich von der Lufttemperatur, aber auch, wie bereits erläutert, stark vom Wind bzw. von der Windgeschwindigkeit abhängig.

Die für den Standort Bad Vigaun herangezogenen Windgeschwindigkeiten sind im oberen Diagramm in Abbildung 94 dargestellt. Die hieraus errechneten Wärmeverluste sind im unteren Diagramm in Abbildung 94 ersichtlich. Wie am gegenständlichen Beispiel ersichtlich, ergeben sich aufgrund des stochastischen Zusammenspiels von Lufttemperatur und Wind sehr starke Fluktuationen bei den konvektiven Wärmeverlusten von der Bahnsteigoberfläche in die Umgebungsluft. Der untersuchte Modellfall zeigt im Jahresverlauf einen signifikanten

Spitzenwert über 250 kW sowie einige wenige Spitzenwerte im Bereich zwischen rund 150 und 200 kW, während die Verluste die meiste übrige Zeit wesentlich darunter liegen.

Aus dem Leistungsbedarf für die Temperaturerhöhung bzw. für die fühlbare Wärme, für das Schmelzen der Niederschläge und die Abdeckung der konvektiven Wärmeverluste von der Bahnsteigoberfläche in die Umgebungsluft wurde der Wärmeleistungsbedarf für die Schnee- und Eisfreihaltung am Standort Bad Vigaun unter den getroffenen Annahmen berechnet. Die Ergebnisse sind, bezogen auf den Quadratmeter Bahnsteigoberfläche, in Abbildung 95 dargestellt. Die hohen zeitlichen Fluktuationen der Verluste finden sich erwartungsgemäß auch im Leistungsbedarf wieder. Die im betrachteten Kalenderjahr in einigen wenigen Fällen für die kurze Dauer von 1-2 Stunden benötigten spezifischen Spitzenleistungen erreichen Werte über 250 kW/m².

Dies ergibt am Standort Bad Vigaun bei einer schnee- bzw. eisfrei zu haltenden Freifläche von 1.065 m² die in Abbildung 96 dargestellten Gesamtleistungen. Im Vergleich der einzelnen Kurven erkennt man, gleich wie an den Standorten Oberfalkenstein und Pinsdorf, dass der Leistungsbedarf für die Summe aus Niederschlags erwärmung und Schmelzwärme (blaue Kurve) den überwiegenden Teil der benötigten Gesamtwärmeleistung ausmacht.

Beim Wärmebedarf ist es hingegen auch in Bad Vigaun umgekehrt. Abbildung 97 zeigt den Wärmebedarf in Bad Vigaun kumuliert über den Jahresverlauf. Man erkennt, dass die zugeführte Wärme überwiegend für die Deckung der Wärmeverluste von der Bodenoberfläche in die Umgebungsluft gebraucht wird (siehe blaue Linie), während der Wärmebedarf für die Erwärmung und das Schmelzen der Niederschläge (grüne Linie) den kleineren Teil ausmacht.

Ein Teil des Wärmebedarfs wird, wie schon erwähnt, durch solaren Strahlungseintrag direkt in die Bahnsteigoberfläche gedeckt. Da der Boden diesbezüglich keinen wirksamen Speicher darstellt, ist dieser Wärmeeintrag nur in Zeiten des Wärmebedarfs wirksam, bzw. reduziert diesen entsprechend. Die grüne Kurve in Abbildung 98 zeigt den um den direkten solaren Strahlungseintrag reduzierten kumulierten Wärmebedarf. Während der warmen Jahreszeit wäre dieser Wärmeeintrag zwar entsprechend höher, geht aber verloren bzw. kann im System nicht genutzt werden. Die grüne und rote Kurve laufen im Sommer daher näherungsweise parallel. Der kumulierte Gesamtwärmebedarf erreicht unter den gegebenen Bedingungen bzw. den getroffenen Annahmen einen Wert von knapp unter 150.000 kWh.

Von der Modellierung des Einsatzes eines Solarkollektors in Kombination mit einem saisonalen Wärmespeicher für den Standort Bad Vigaun wurde abgesehen, weil dort keine solche Anlage in Betracht gezogen wird.

17.3.6 Ökonomische Analyse – Bad Vigaun

Die technischen Ausgangsdaten für den Pilotplanungsstandort Bad Vigaun sind in Tabelle 23 zusammengestellt.

Ausgehend von diesen Daten und der thermischen Modellierung (siehe Kapitel 17.3.51) wurden Investitionskosten für Anlagen, Bauteile, Materialien, Planung etc. abgeschätzt. Für die Freiflächenheizung wurden spezifische Investitionskosten von 70 €/m² und für die Brunnenanlage Gesamtinvestitionskosten (Bohrung, Verrohrung etc.) von etwa 30.000 € angenommen. Der Strombedarf für Wärmepumpe, Grundwasserpumpe und Umwälzpumpen wurden aus dem Wärmebedarf der thermischen Modellierung mit einer angenommenen Jahresarbeitszahl und mittels Pumpenprogramm errechnet. Für die Berechnungen wurden die in Kapitel 16.4 festgelegten Nutzungsdauern und Zinssätze eingesetzt. Für den Strompreis wurden 109,50 €/MWh angenommen (auf Basis der Erhebungen im Projekt „INFRAplusGEO“).

Die Daten und Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 24 zusammengestellt. Die Jahresgesamtkosten sind 27.224 €/a, die spezifischen Jahreskosten 25,56 €/m².

Da die Jahreskosten auch in Bad Vigaun von den Kapitalkosten maßgeblich bestimmt werden (etwa 52 %), wurden diese variiert und zwar um 30 % reduziert. Damit ergaben sich Jahresgesamtkosten von 21.058 €/Jahr und spezifische Jahreskosten von 19,77 €/m². Im Vergleich liegen die aktuellen spezifischen Jahreskosten für die IMMO-Region, in der Bad Vigaun liegt, zwischen 0,59 bis 25,1 €/m² und Jahr (Mittelwert in der Region 5,54 €/m² und Jahr).

Kostenart	Erforderliche Eingabedaten			Kosten
Kapitalkosten	Investitions- kosten [€]	Nutzungsdauer [a]	Kalk. Zinssatz [%]	Annuität der Investitionskosten [€/a]
Entnahmebrunnen	15.000	50	4	698
Rückgabebrunnen	15.000	50	4	698
Wasserpumpe	4.000	10	4	493
Leitungen	10.000	20	4	736
Fremdgrundstücke	10.000	50	4	466
Flächenheizung	74.550	50	4	3.470
Wärmepumpenanlage	75.000	20	4	5.519
Sonst. Kosten (Planung etc.)	30.000	20	4	2.207
Summe Kapitalkosten	233.550			14.287
Betriebsgebundene Kosten (Kapitalgebundene Kosten)	Investitions- kosten [€]	Instandsetzung [%]	Wartung [%]	Berechnung in % der jeweiligen Investitionskosten [€/a]
Entnahmebrunnen	15.000	1%	1%	296
Rückgabebrunnen	15.000	1%	1%	296
Wasserpumpe	4.000	3%	1%	160
Leitungen	10.000	2%	1%	300
Flächenheizung	74.550	2%	1%	2.237
Wärmepumpenanlage	75.000	3%	1%	3.000
Summe Kapitalgebundene Kosten				6.288
Verbrauchsgebundene Kosten (sonstige Betriebskosten)	[€/MWh]	Strommenge [MWh/a]		Jahreskosten [€/a]
Stromkosten				
Wasserpumpe etc.	109,5	23,8		2.603
Wärmepumpe	109,5	36,9		4.046
Summe Betriebskosten				6.649
Gesamtkosten				Jahreskosten [€/a]
Summe Kapitalkosten				14.287
Summe Betriebsgebundene Kosten				6.288
Summe Verbrauchsgebundene Kosten				6.649
Jahresgesamtkosten			Summe	27.224
Zu betreuende Fläche				m2
Bahnsteigflächen				1.065
Spez. Gesamtkosten				spez. Jahreskosten [€/m²*a]
Spez. Kapitalkosten				13,42
Spez. Betriebsgebundene Kosten				5,90
Spez. Verbrauchsgebundene Kosten				6,24
Spez. Jahresgesamtkosten			Summe	25,56

Tabelle 24: Ergebnistabelle der ökonomischen Analyse – Bad Vigaun

17.4 Pilotplanung 3 – Verkehrsstation Oberfalkenstein - Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Speicherung solarer Wärme

17.4.1 Standortbeschreibung

Der Standort der Verkehrsstation Oberfalkenstein befindet sich deutlich über dem Talboden des Mölltales (siehe Abbildung 99). Es handelt sich derzeit um eine gering frequentierte, sehr einfach ausgestattete Verkehrsstation mit 2 Warthäuschen (Abbildung 100 und Abbildung 101).

In Tabelle 25 sind die technischen Eckdaten der Verkehrsstation zusammengefasst.

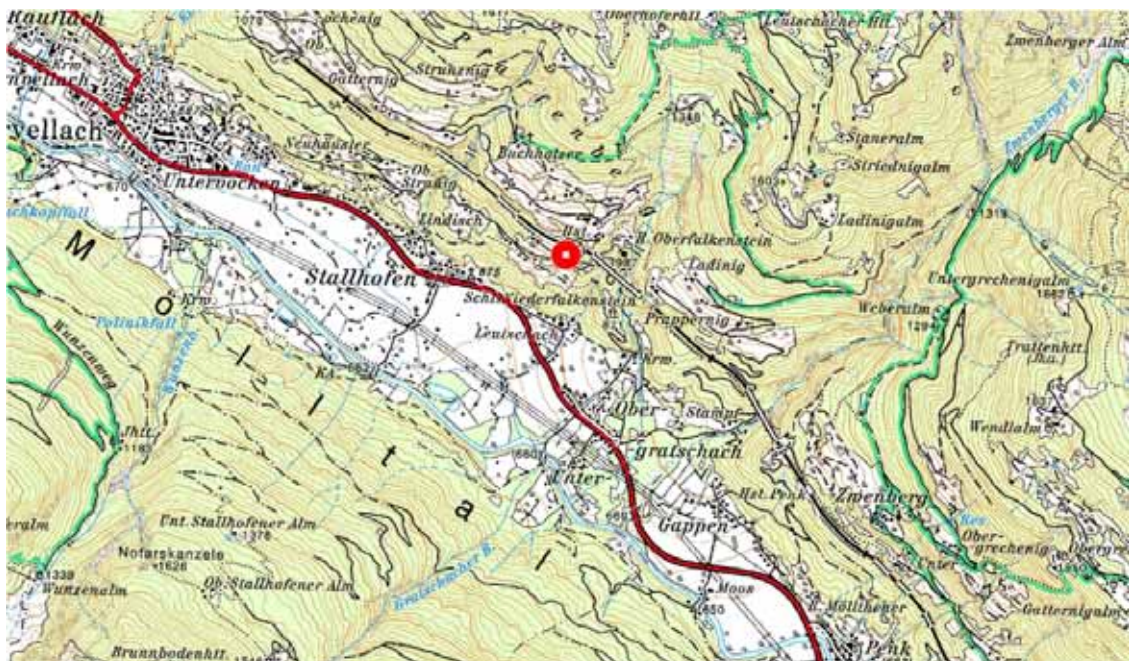


Abbildung 99: Lage der Verkehrsstation Oberfalkenstein

Oberfalkenstein	
Parameter	Wert
Fläche - Bahnsteige [m ²]	270
Bahnsteige - Erforderliche Heizleistung (400W/m ²)	108000
Erforderliche Erdwärmesonden (lfm)	2160
Anzahl - Erforderliche Erdwaermesonden (200m-EWS)	11

Tabelle 25: Eckdaten des Pilotplanungsstandortes Oberfalkenstein



Abbildung 100: Detailsituation bei der Verkehrsstation Oberfalkenstein



Abbildung 101: Verkehrsstation Oberfalkenstein

17.4.2 Standortbedingungen

Der Gesteinsaufbau ist günstig für eine Erdwärmenutzung ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund. Die erwarteten Gesteine sind Gneise, Schiefer sowie verschiedene Metasedimente der penninischen Einheit.

Die ÖBB-Grundstücke im Bereich der Verkehrsstation liegen sehr günstig um die geplante Anlage zu realisieren. Sowohl für die Errichtung der Erdwärmesonden als auch der Solarkollektoren sind ÖBB-eigene Grundstücke vorhanden (siehe dazu Abbildung 102).



Abbildung 102: ÖBB-Grundstücke (rot) im Bereich der Verkehrsstation Oberfalkenstein

17.4.3 Anlagenbeschreibung

Die Pilotplanung Oberfalkenstein geht von Untergrundbedingungen aus, die die Nutzung von Erdwärme ohne Wasserentnahme mit Hilfe von Erdwärmesonden ermöglichen. Zusätzlich sind für die thermische Regeneration des Untergrundes auch Solarkollektoren vorgesehen.

Die 11 Erdwärmesonden könnten hangseitig entlang der Bahnsteige eingerichtet werden. Die Solarkollektoren wären hangabwärts der Gleisanlagen zu errichten.

Das Projekt geht von 11 Stück je 200 m tiefen Erdwärmesonden aus. Die angenommene Bauform der Erdwärmesonden ist die Konstruktionsform Doppel-U (siehe Abbildung 103).

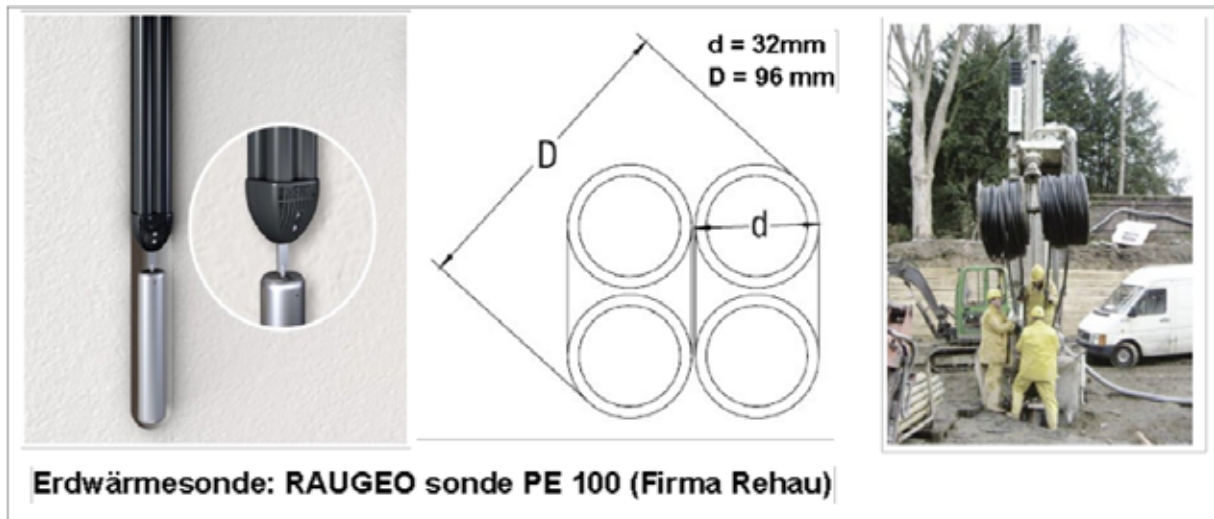


Abbildung 103: REHAU – Erdwärmesonde RAUGEO Sonde PE100 (Dimensionen, Verlegung, Einbau)

Die Erdwärmesonden werden in einer langgestreckten, linienartigen Anordnung niedergebracht und anschließend in Sammelleitungen zusammengefasst und zur Freiflächenheizung geleitet. In Abbildung 104 ist das beschriebene Anlagenkonzept skizzenhaft auf Basis eines Fotos der Verkehrsstation dargestellt.

Abbildung 105 zeigt die Gesamtanlage auf Basis eines Lageplanes.

Eine Anlagenerrichtung würde im geplanten Ausmaß auf ÖBB-Grundstücken möglich sein. Ein Bauzufahrtstrasse müsste dafür jedoch eingerichtet werden.



Abbildung 104: Anlagenkonzept Pilotplanungsstandort Oberfalkenstein



Abbildung 105: Lageplan der Gesamtanlage - Verkehrsstation Oberfalkenstein

17.4.4 Energiebedarfsberechnung – Oberfalkenstein

Der Standort Oberfalkenstein wird in Bezug auf seine Randbedingungen bzw. auf die für seine Auswahl maßgeblichen Parameter in Abschnitt 17.4.1 beschrieben.

Der für die Modellrechnungen relevante Parameter ist die schnee- bzw. eisfrei zu haltende Freifläche mit 270 m² zusammen mit den klimatischen Verhältnissen. Weiters wurde bei den Betrachtungen berücksichtigt, dass an diesem Standort die Installation von Erdwärmesonden sowohl für den Entzug von Erdwärme als auch für die Speicherung von Wärme im Untergrund über die Sommermonate möglich ist. Für diesen Standort wurden daher auch Varianten der Wärmespeicherung bzw. Wärmerückgewinnung in die Wärmebilanzen aufgenommen.

Bei der Berechnung des Wärmebedarfs wurde auch der solare Wärmeeintrag direkt auf die Bahnsteigoberfläche während der Heizzeiten, also während der Zeiten, in denen die Lufttemperatur über der gewählten Grenztemperatur liegt, berücksichtigt. Die Option, diesen Wärmeeintrag während der Warmzeiten saisonal zu speichern, wäre im Vergleich zum Nutzen eher aufwändig und wurde daher nicht in Betracht gezogen. Die in den Abbildung 106 bis Abbildung 111 dargestellten Ergebnisse gelten für eine Grenztemperatur von +3 °C.

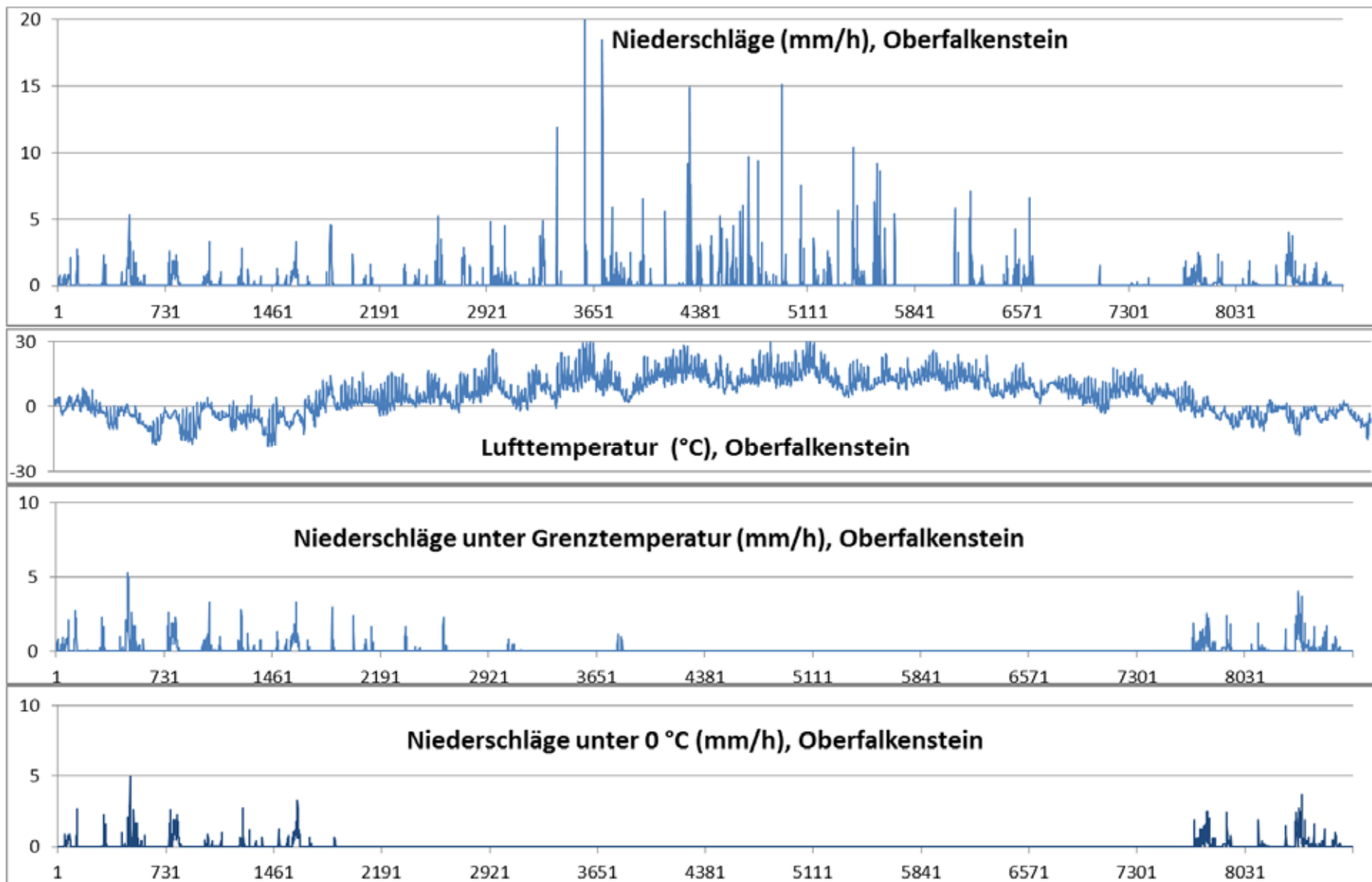


Abbildung 106: Klimadaten für die Niederschläge und die Lufttemperatur, verwendet für den Standort Oberfalkenstein, Jahresverlauf

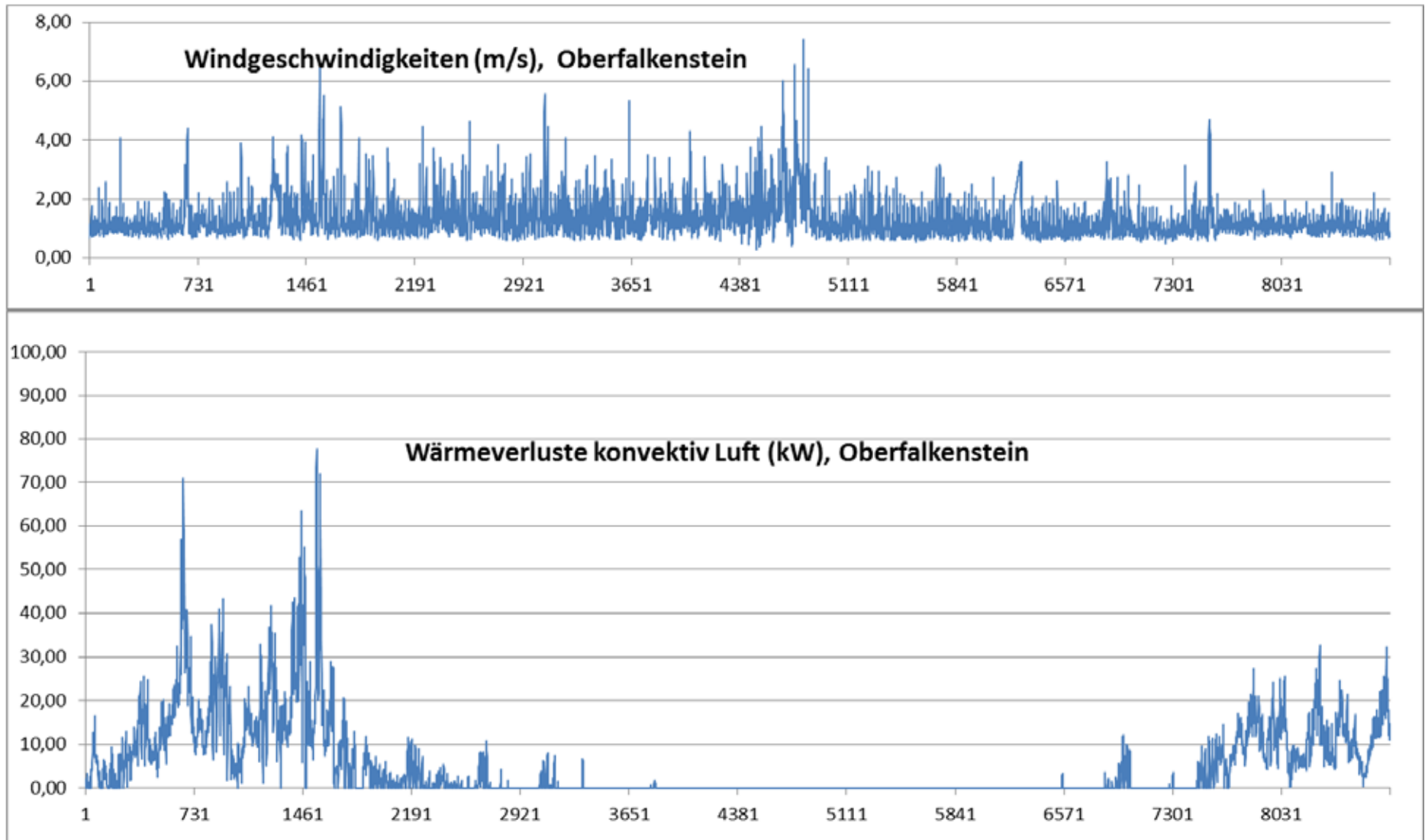


Abbildung 107: Windgeschwindigkeiten (m/s) und konvektive Wärmeverluste (kW) von der Bodenoberfläche an die Luft am Standort Oberfalkenstein, stündliche Werte im Jahresverlauf

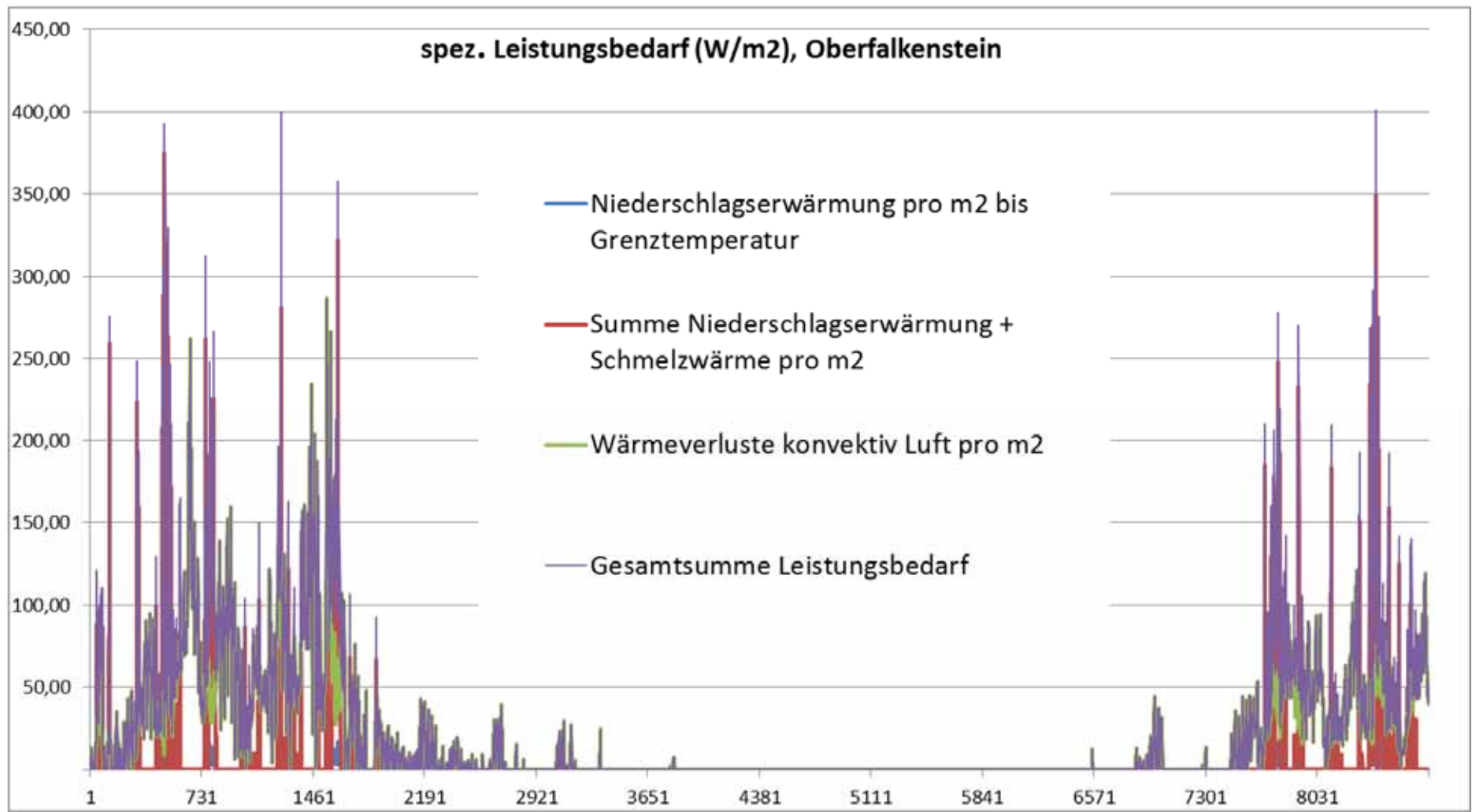


Abbildung 108: Spezifischer Leistungsbedarf (W/m²) am Standort Oberfalkenstein, stündliche Werte im Jahresverlauf

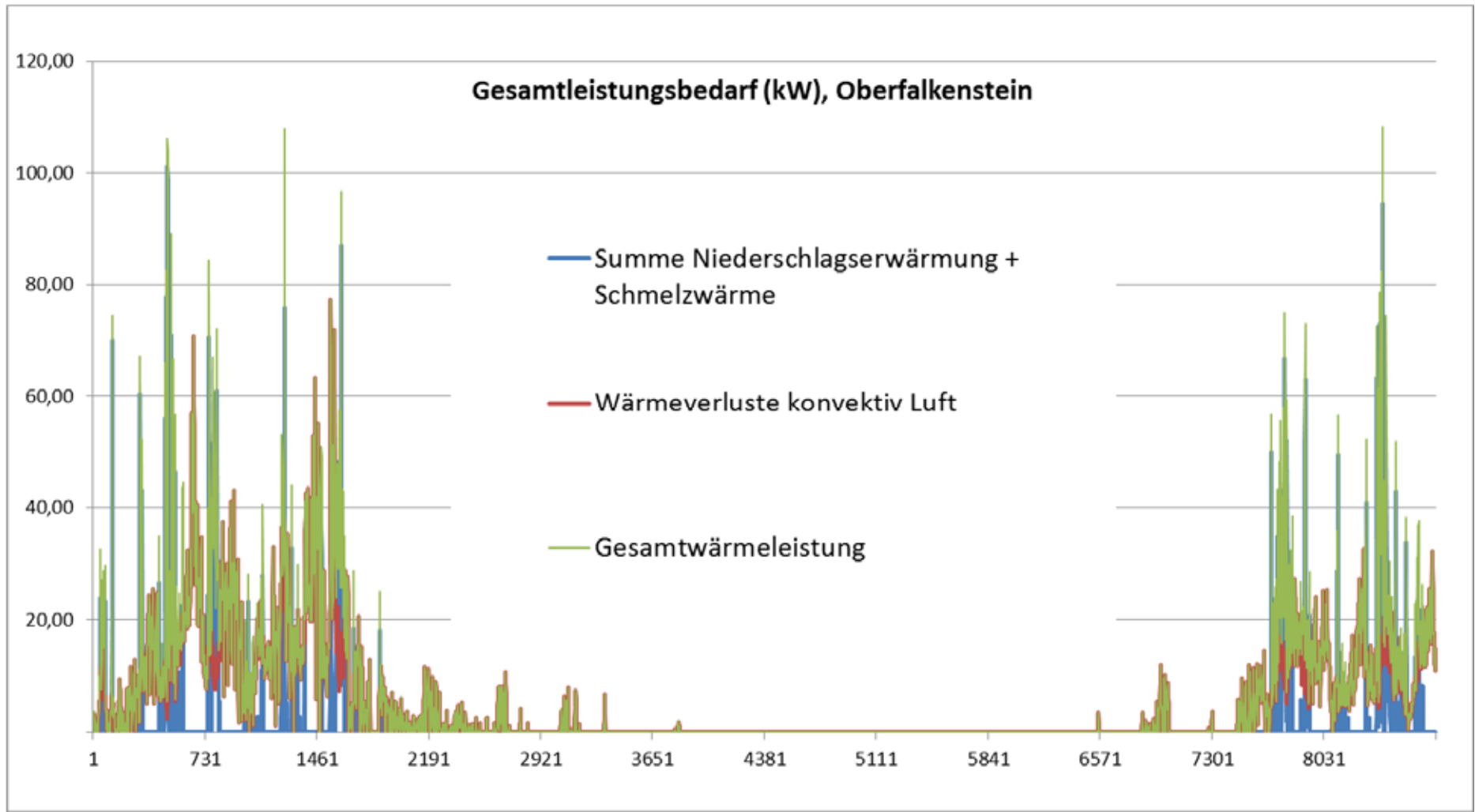


Abbildung 109: Gesamtleistungsbedarf (kW) am Standort Oberfalkenstein, stündliche Werte im Jahresverlauf

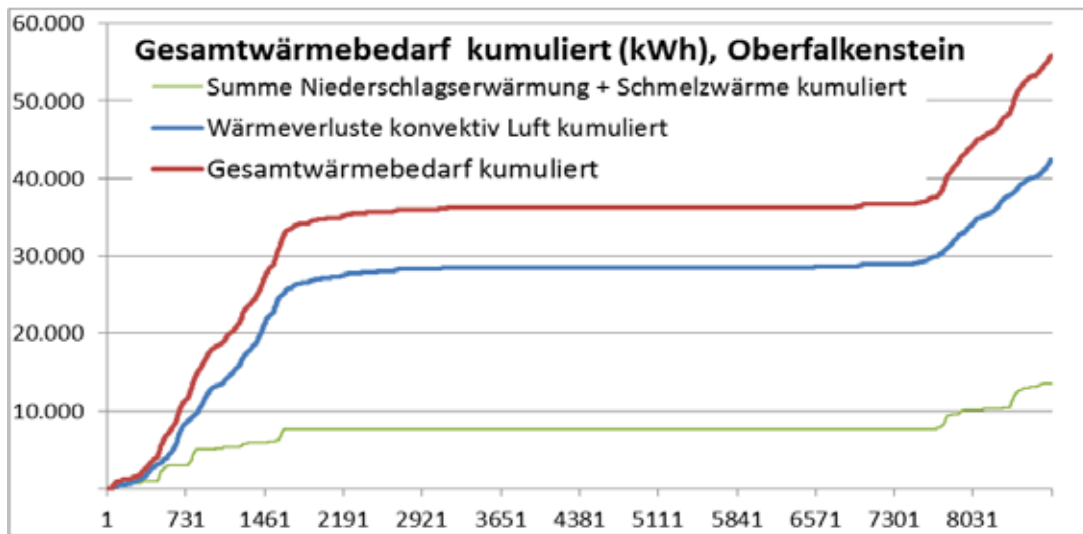


Abbildung 110: Gesamtwärmebedarf Oberfalkenstein (kWh), kumuliert im Jahresverlauf

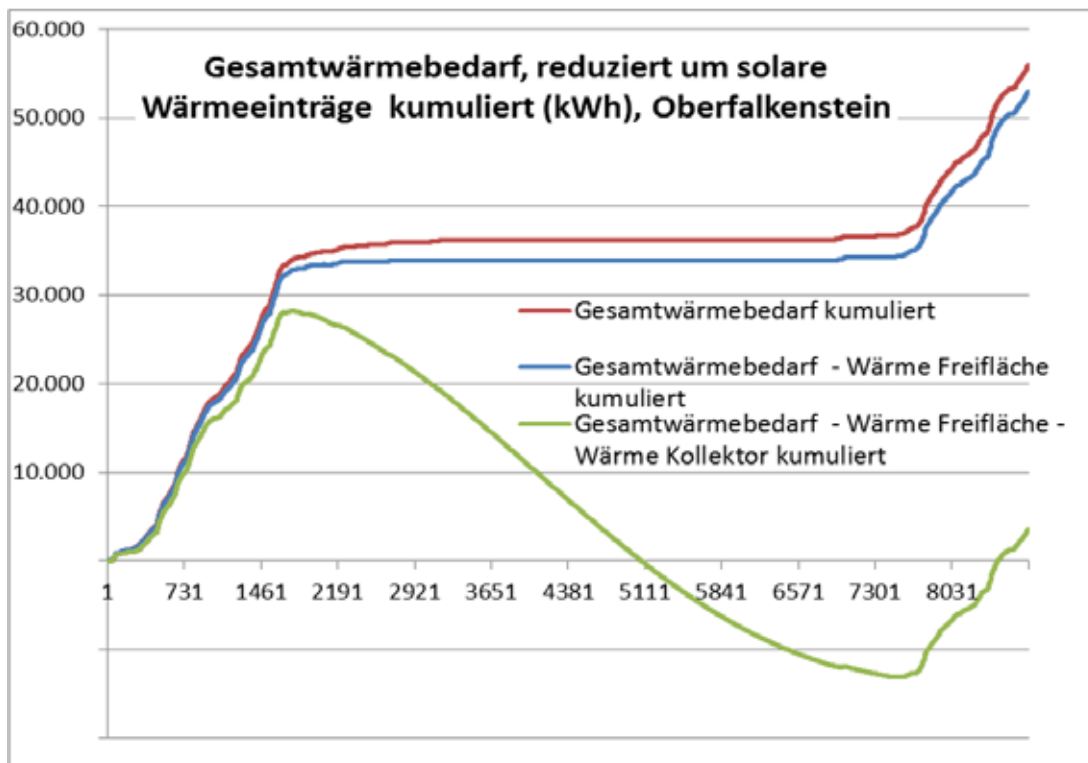


Abbildung 111: Gesamtwärmebedarf Oberfalkenstein, reduziert um solare Wärmeeinträge (kWh) kumuliert im Jahresverlauf. Die grüne Linie zeigt den hypothetischen Idealverlauf bei Einsatz eines Solarkollektors mit 100 m^2 unter der Annahme vollständiger Wärmerückgewinnung mit einem „idealen“ Speichersystem mit einem hypothetischen Wirkungsgrad von 100 %. Die praktisch erreichbaren Ergebnisse liegen abhängig vom tatsächlichen Wirkungsgrad des realen Speichersystems irgendwo zwischen der grünen und der blauen Linie.

Man erkennt in Abbildung 106 im obersten Diagramm Niederschlagsmengen, die an einer Messstelle der ASFINAG in Trawies im Jahr 2011 gemessen wurden, und die für die Modellrechnungen für den Standort Oberfalkenstein mit einer stundenweisen Auflösung konvertiert wurden. Darunter ist die Lufttemperatur dargestellt. Unter der Lufttemperatur sind zunächst die Niederschläge dargestellt, die in den Zeiträumen fielen, in denen die Lufttemperatur unter einer bestimmten Grenztemperatur, im gegenständlichen Fall unter 3 °C lag. Diese Grenztemperatur an der Bahnsteigoberfläche bzw. in der Wasserschicht auf der Bahnsteigoberfläche soll modellgemäß auch bei niedrigeren Lufttemperaturen aufrechterhalten werden. Das heißt, dass diese Niederschläge, von denen angenommen wird, dass sie mit Lufttemperatur fallen, auf die Grenztemperatur erwärmt werden müssen. Hieraus ergibt sich ein gewisser Wärmebedarf zur Einbringung der zur Temperaturerhöhung notwendigen fühlbaren Wärme in die Niederschläge.

Im untersten Diagramm in Abbildung 106 sind die Niederschläge dargestellt, die in den Zeiträumen fielen, in denen die Lufttemperatur unter 0 °C lag. Von diesen Niederschlägen wird angenommen, dass sie in gefrorenem Zustand, also in Form von Schnee oder Eisregen einfallen. Diese Niederschläge sind daher nicht nur auf Grenztemperatur zu erwärmen, sondern auch noch zu schmelzen. Dabei ergibt sich zusätzlich zur fühlbaren Wärme ein entsprechender Bedarf an Schmelzwärme. Man erkennt, dass die Zeiträume, in denen Niederschläge bei Temperaturen unter der Grenztemperatur von 3 °C bzw. unter 0 °C , die Zeiträume also, in denen das System zur Schnee- und Eisfreihaltung benötigt wird, relativ kurz sind.

Wenn die Bahnsteigoberfläche auf der Grenztemperatur von im betrachteten Fall 3 °C gehalten wird, geht in den Zeiträumen, in denen die Lufttemperatur niedriger ist, konvektiv Wärme in die Umgebung für das Heizungssystem verloren. Diese „Wärmeverluste“ sind natürlich von der Lufttemperatur, aber auch, wie bereits erläutert, stark vom Wind bzw. von der Windgeschwindigkeit abhängig. Die für den Standort Oberfalkenstein herangezogenen Windgeschwindigkeiten sind im oberen Diagramm in Abbildung 107 dargestellt. Die hieraus errechneten Wärmeverluste sind im unteren Diagramm in Abbildung 107 ersichtlich. Wie am gegenständlichen Beispiel ersichtlich ist, ergeben sich aufgrund des stochastischen Zusammenspiels von Lufttemperatur und Wind sehr starke Fluktuationen bei den konvektiven Wärmeverlusten von der Bahnsteigoberfläche in die Umgebungsluft. Der untersuchte Modellfall zeigt im Jahresverlauf einige wenige Spitzenwerte im Bereich

zwischen 60 und 80 kW, während die Verluste die meiste übrige Zeit wesentlich darunter liegen.

Aus dem Leistungsbedarf für die Temperaturerhöhung bzw. für die fühlbare Wärme, für das Schmelzen der Niederschläge und die Abdeckung der konvektiven Wärmeverluste von der Bahnsteigoberfläche in die Umgebungsluft wurde der Wärmeleistungsbedarf für die Schnee- und Eisfreihaltung am Standort Oberfalkenstein unter den getroffenen Annahmen berechnet. Die Ergebnisse sind, bezogen auf den Quadratmeter Bahnsteigoberfläche, in Abbildung 108 dargestellt. Die hohen zeitlichen Fluktuationen der Verluste finden sich erwartungsgemäß auch im Leistungsbedarf wieder. Die im betrachteten Kalenderjahr in einigen wenigen Fällen für die kurze Dauer von 1-2 Stunden benötigten spezifischen Spitzenleistungen liegen zwischen 250 und 400 kW/m².

Dies ergibt am Standort Oberfalkenstein bei einer schnee- bzw. eisfrei zu haltenden Freifläche von 270 m², die in Abbildung 109 dargestellten Gesamtleistungen. Im Vergleich der einzelnen Kurven erkennt man, dass der Leistungsbedarf für die Summe aus Niederschlagserwärmung und Schmelzwärme (blaue Kurve) den überwiegenden Teil der benötigten Gesamtwärmeleistung ausmacht.

Beim Wärmebedarf ist es hingegen umgekehrt. Abbildung 110 zeigt den Wärmebedarf in Oberfalkenstein kumuliert über den Jahresverlauf. Man erkennt, dass die zugeführte Wärme überwiegend für die Deckung der Wärmeverluste von der Bahnsteigoberfläche in die Umgebungsluft gebraucht wird (siehe blaue Linie), während der Wärmebedarf für die Erwärmung und das Schmelzen der Niederschläge (grüne Linie) den kleineren Teil ausmacht.

Ein Teil des Wärmebedarfs wird, wie schon erwähnt, durch solaren Strahlungseintrag direkt in die Bahnsteigoberfläche gedeckt. Da der Boden diesbezüglich keinen wirksamen Speicher darstellt, ist dieser Wärmeeintrag nur in Zeiten des Wärmebedarfs wirksam, bzw. reduziert diesen entsprechend. Die blaue Kurve in Abbildung 111 zeigt den um den direkten solaren Strahlungseintrag reduzierten kumulierten Wärmebedarf. Während der warmen Jahreszeit wäre dieser Wärmeeintrag zwar entsprechend höher, geht aber verloren bzw. kann im System nicht genutzt werden. Die blaue und rote Kurve laufen im Sommer daher näherungsweise parallel.

Anders verhält es sich beim Einsatz eines Solarkollektors in Kombination mit einem saisonalen Wärmespeicher. Die grüne Linie in Abbildung 111 zeigt den hypothetischen Idealverlauf des kumulierten Wärmebedarfs bei Einsatz von Solarkollektoren mit einer Gesamtfläche von 100m^2 mit einem angenommenen Wirkungsgrad von 50 % unter der Annahme einer vollständigen Wärmerückgewinnung mit einem „idealen“ Speichersystem mit einem hypothetischen Wirkungsgrad von 100 %. Diese hypothetische Annahme soll nur die Grenze des theoretisch Erreichbaren verdeutlichen. Die praktisch erreichbaren Ergebnisse bei einer angenommenen Kollektorfläche von 100m^2 liegen abhängig vom tatsächlichen Wirkungsgrad des realen Speichersystems im Bereich zwischen der grünen und der blauen Linie. Ein Kollektor mit der doppelten Fläche, bzw. im gegenständlichen Fall mit 200m^2 würde unter der Annahme einer nur 50% Wärmewiedergewinnung aus dem Speicher zum gleichen Ergebnis führen. Die Frage der Auslegung der Kollektorfläche in Abhängigkeit von der Wahl und Auslegung des Speichersystems ist eine Frage der wirtschaftlichen Optimierung. Das Ergebnis der Modellrechnung zeigt, dass es im Fall des Standortes Oberfalkenstein jedenfalls aus physikalisch-technischer Sicht kein Problem wäre, den Wärmebedarf zur Gänze mit Solarenergie zu decken – die grüne Kurve in Abbildung 111 endet ja unter den erwähnten Annahmen im Jahresverlauf über der Nulllinie, d.h. in einem „Gesamtenergiejahresplus“. Ein Solarkollektor mit 200m^2 wäre jedenfalls machbar. Auch ein saisonaler Wärmespeicher mit 50 % Wirkungsgrad ist technisch machbar, Ausführungsbeispiele hierzu sind aus der Gebäudetechnik bekannt. Bei Speicherung der Wärme über Erdwärmesonden im Untergrund ohne besondere Wärmedämmung dürften Wirkungsgrade in dieser Größenordnung allerdings nicht erreichbar sein. In diesem Fall würde sich die benötigte Kollektorfläche entsprechend vergrößern.

17.4.5 Ökonomische Analyse - Oberfalkenstein

Die technischen Ausgangsdaten für den Pilotplanungsstandort Oberfalkenstein sind in Tabelle 25 zusammengestellt.

Ausgehend von diesen Daten und der thermischen Modellierung (siehe Kapitel 17.4.4) wurden Investitionskosten für Anlagen, Bauteile, Materialien, Planung etc. abgeschätzt. Für die Freiflächenheizung wurden spezifische Investitionskosten von 70 €/m² und für die Solaranlage von 250 €/m² angenommen. Der Strombedarf für den Wärmepumpenbetrieb wurde aus dem Wärmebedarf der thermischen Modellierung mittels einer realistischen Jahresarbeitszahl und für Umwälzpumpen mittels Pumpenprogramm errechnet. Für die Berechnungen wurden die in Kapitel 16.4 festgelegten Nutzungsdauern und Zinssätze eingesetzt. Für den Strompreis wurden 109,50 €/MWh angenommen (auf Basis des Projektes „INFRAplusGEO“).

Die Daten und Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 26 zusammengestellt. Die Jahresgesamtkosten sind 22.649 €/a, die spezifischen Jahreskosten 83,88 €/m².

Da die Jahreskosten von den Kapitalkosten bestimmt werden (etwa 68 %), wurden diese variiert und zwar um 30 % reduziert. Damit ergaben sich Jahresgesamtkosten von 16.241 €/Jahr und spezifische Jahreskosten von 60,15 €/m². Im Vergleich liegen die aktuellen spezifischen Jahreskosten für die IMMO-Region, in der Oberfalkenstein liegt, zwischen 1,53 bis 8,83 €/m² und Jahr (Mittelwert in der Region 1,53 €/m² und Jahr).

Kostenart	Eingabedaten			Kosten
Kapitalkosten	Investitionskosten [€]	Nutzungsdauer [a]	Kalk. Zinssatz [%]	Annuität der Investitionskosten [€/a]
Geothermieanlage 1)	110.000	50	4	5.121
Wärmepumpenanlage	50.000	20	4	3.679
Flächenheizung	18.900	50	4	880
Solaranlage	25.000	20	4	1.840
Leitungen	10.000	20	4	736
Zufahrtsstraße	20.000	50	4	931
Sonst. Kosten (Planung etc.)	30.000	20	4	2.207
Summe Kapitalkosten	263.900			15.393
Betriebsgebundene Kosten (Kapitalgebundene Kosten)	Investitionskosten [€]	Instandsetzung [%]	Wartung [%]	Berechnung in % der jeweiligen Investitionskosten [€/a]
Geothermieanlage 1)	110.000	1%	1%	2.200
Wärmepumpenanlage	50.000	3%	1%	2.000
Flächenheizung	18.900	2%	1%	567
Solaranlage	25.000	1%	1%	500
Leitungen	10.000	2%	1%	300
Zufahrtsstraße	20.000	1%	1%	400
Summe Kapitalgebundene Kosten				5.967
Verbrauchsgebundene Kosten (sonstige Betriebskosten)	[€/MWh]	Strommenge [MWh/a]		Jahreskosten [€/a]
Stromkosten				
Wärmepumpenanlage, Solepumpe etc.	109,5	11,8		1.288
Summe Betriebskosten				1.288
Gesamtkosten				Jahreskosten [€/a]
Summe Kapitalkosten				15.393
Summe Betriebsgebundene Kosten				5.967
Summe Verbrauchsgebundene Kosten				1.288
Jahresgesamtkosten			Summe	22.649
1) Erdwärmesonden, Solepumpe etc.				
Zu betreuende Fläche				m2
Bahnsteigflächen				270
Spez. Gesamtkosten				spez. Jahreskosten [€/m²*a]
Spez. Kapitalkosten				57,01
Spez. Betriebsgebundene Kosten				22,10
Spez. Verbrauchsgebundene Kosten				4,77
Spez. Jahresgesamtkosten			Summe	83,88

Tabelle 26: Ergebnistabelle der ökonomischen Analyse – Oberfalkenstein

18 PILOTPLANUNGEN - ENERGIEBEDARF – GESAMTBETRACHTUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse der untersuchten Verkehrsstationen lassen folgende Schlussfolgerungen für die Projektierung einer Anlage zur Schnee- und Eisfreihaltung mit Erdwärmenutzung zu:

Wärmeleistung der Anlage

Zur Schnee- und Eisfreihaltung sind kurzzeitig, meist über nur ein bis zwei Stunden, hohe Wärmeleistungen erforderlich, für die das System auszulegen ist und woraus sich auch entsprechend hohe Investitionskosten bei „schlechter“ Jahresausnutzung der Anlage ergeben. Der überwiegende Teil der Leistung wird für die Erwärmung und ggf. das Schmelzen der Niederschläge benötigt, die für die Deckung der konvektiven Wärmeverluste von der Bahnsteigoberfläche an die Umgebungsluft sind vergleichsweise gering. Die erforderlichen Spitzenleistungen könnten durch entsprechende Kurzzeitwärmespeicher signifikant verringert werden. Ein innovativer Ansatz hierzu wäre die Ausführung der Bahnsteige in Form von seitlich und nach unten isolierten Massivbetonelementen, sozusagen von isolierten Fundamenten, die über die entsprechende Wärmekapazität verfügen, um die kurzzeitigen Wärmebedarfsspitzen gleich unmittelbar am Ort des Wärmebedarfs auszugleichen bzw. abzufangen. Derartige Ansätze könnten mit heutigen Rechenmethoden problemlos modelliert und in Hinblick auf ihre Eignung untersucht werden. Der Vorteil gegenüber anderen Wärmespeichern (z.B. Wassertanks) wäre die einfache technische Ausführung bzw. der Wegfall jeglicher betrieblicher Komponenten, insbesondere solcher mit Wartungs- und Energiebedarf.

Wärmebedarf

Anders als die benötigte Leistung ist die benötigte Wärme überwiegend durch die konvektive Wärmeabgabe von der Bodenoberfläche an die Umgebungsluft bestimmt. Da diese Wärmeverluste stark vom Wind abhängen, kann angenommen werden, dass eine windgeschützte Ausführung der Bahnsteige den Wärmebedarf merklich verringern könnte. Ob eine praktische Umsetzung von Windschutzmaßnahmen möglich sein könnte, müsste in diesbezüglichen Detaildiskussionen mit ÖBB-Experten geklärt werden.

Solarkollektor in Kombination mit saisonalem Wärmespeicher

Der Einsatz eines Solarkollektors in Kombination mit einem saisonalen Wärmespeicher erscheint aus physikalisch-technischer Sicht ohne besondere Probleme machbar. Bei entsprechender Auslegung kann der gesamte Wärmebedarf in der warmen Jahreszeit gespeichert werden und steht im Winter zur Verfügung. Die für die vollständige Deckung des Jahreswärmebedarfs benötigte Kollektorfläche liegt – stark abhängig von der eingesetzten Speichertechnologie – in der Größenordnung zwischen etwa 30 und 100 Prozent der schnee- bzw. eisfrei zuhaltenden Bahnsteigfläche. Die technischen Einzelheiten einer derartigen Anlage hängen stark von den standortbezogenen Randbedingungen in Bezug auf die verfügbaren Flächen einerseits und – im Fall einer geothermalen Speicherung – von den geologischen Bedingungen im Untergrund ab.

19 PILOTPLANUNGEN - ÖKONOMISCHE ANALYSE - GESAMTBETRACHTUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die für die drei ausgewählten Verkehrsstationen errechneten spezifischen Jahreskosten pro m² (100 % Investitionskosten) und die reduzierten spezifischen Jahreskosten (70% Investitionskosten) pro m² werden mit den aktuellen Kosten der ÖBB zur Eis- und Schneefreihaltung in der jeweiligen Region verglichen (siehe Tabelle 27 und Abbildung 112).

Spez.Kosten / Verkehrsstation	Oberfalkenstein	Bad Vigaun	Pinsdorf
spez. Kosten/m ² / Saison (max.)	8,83	25,1	25,1
spez. Kosten/m ² / Saison (min.)	1,53	0,59	0,59
spez. Kosten/m ² / Saison (Mittel)	3,2	5,54	5,54
spez. Kosten/m ² Geothermie	83,88	25,56	36,54
red. spez. Kosten/m ² Geothermie ¹⁾	60,15	19,77	27,60

1) Annahme: 70 % der Investitionskosten (Reduktion um 30%).

Tabelle 27: Gegenüberstellung der errechneten Kosten für geothermische Eis- und Schneefreihaltung in den ausgewählten Pilotstandorten mit den derzeitigen Kosten der ÖBB

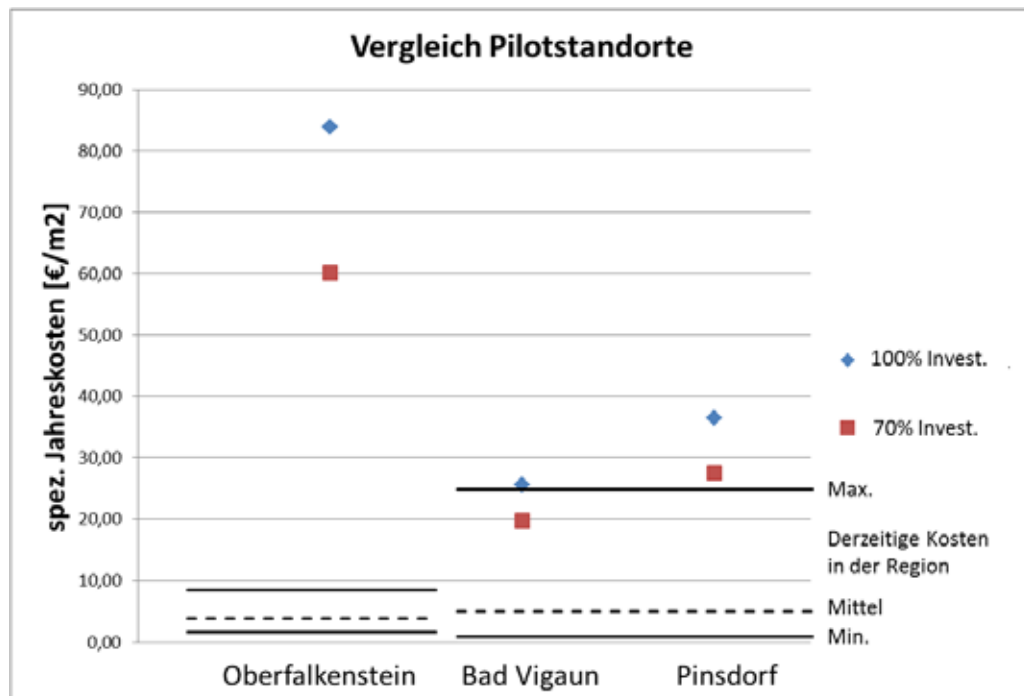


Abbildung 112: Spezifische Jahreskosten für die Eis- und Schneefreihaltung für die Pilotstandorte – Vergleich der errechneten Werte für Geothermienutzung mit den derzeitigen Kosten in der jeweiligen Region

Nachfolgend werden nur die Betriebsgebundenen (Kapitalgebundene Kosten für Instandhaltung und Wartung) und Verbrauchsgebundenen Kosten (sonstige Betriebskosten wie Stromkosten) mit den aktuellen Kosten der ÖBB zur Eis- und Schneefreihaltung in der jeweiligen Region verglichen (siehe Tabelle 28 und Abbildung 113).

Tabelle 28: Gegenüberstellung der Betriebskosten (Betriebsgebundene und Verbrauchsgebundene Kosten) für geothermische Eis- und Schneefreihaltung in den ausgewählten Pilotstandorten mit den derzeitigen Kosten der ÖBB

Spez.Kosten / Verkehrsstation	Oberfalkenstein	Bad Vigaun	Pinsdorf
spez. Kosten/m ² / Saison (max.)	8,83	25,1	25,1
spez. Kosten/m ² / Saison (min.)	1,53	0,59	0,59
spez. Kosten/m ² / Saison (Mittel)	3,2	5,54	5,54
spez. Betriebskosten/m ² Geothermie	26,87	12,14	14,42
red. spez. Betriebskosten/m ² Geothermie	20,24	10,38	12,11

1) Annahme: 70 % der Investitionskosten (Reduktion um 30%).

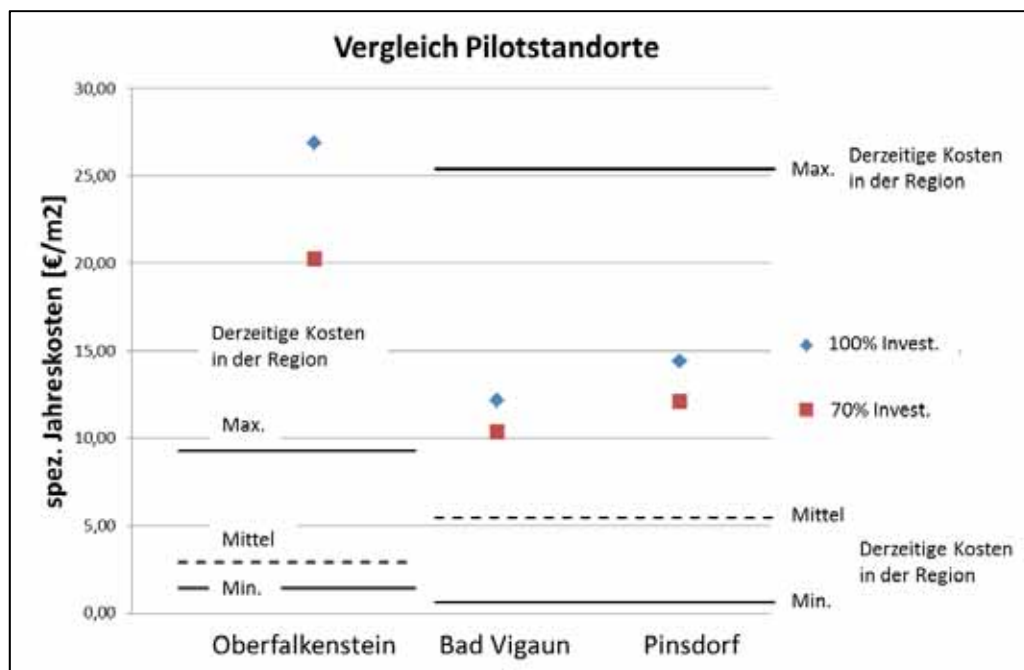


Abbildung 113: Spezifische Jahreskosten für die Eis- und Schneefreihaltung für die Pilotstandorte – Vergleich der Betriebskosten (Betriebsgebundene und Verbrauchsgebundene Kosten) mit den derzeitigen Kosten in der jeweiligen Region

20 PILOTPLANUNGEN – ÖKOLOGISCHE ANALYSE – GESAMTBETRACHTUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Quantitative Ergebnisse zu Treibhausgas-Emissionen und kumulierter Primärenergie für den gesamten Lebenszyklus können für die Pilotstandorte nicht dargestellt werden, da zur derzeitigen Praxis des Winterdienstes an den Pilotstandorten keine belastbaren Daten vorliegen, da diese Arbeiten von der ÖBB an Firmen extern vergeben werden.

Eine Abschätzung der Treibhausgas-Emissionen für den Pilotstandort Bad Vigaun basierend auf Annahmen für das Referenzsystem (manuelle Räumung, 71 Streutage; 15g Salz pro m² und Streutag, 150g Splitt pro m² und Streutag) hat gezeigt, dass die Treibhausgas-Emissionen der geothermischen Eis- und Schneefreihaltung höher sind als die beim Einsatz von Splitt und signifikant höher als die Treibhausgas-Emissionen beim Einsatz von Salz.

Dieses Ergebnis ergibt sich dadurch, dass die geothermische Freiflächenheizung aus mehreren Komponenten besteht (Brunnen, Wärmepumpe, Leitungen etc.) deren Herstellung Treibhausgas-Emissionen verursacht. Weiters wird für den Betrieb der Wärmepumpen und Brunnenpumpen Strom benötigt, der, auch wenn er aus erneuerbaren Energieträgern stammt, geringe Treibhausgas-Emissionen verursacht (aus der Errichtung der Anlagen zur Stromproduktion). Dem gegenüber steht das konventionelle System mit einem hohen Anteil an menschlicher Arbeit, die bei der Bewertung von technischen Systemen nicht berücksichtigt wird. Die Treibhausgas-Emissionen aus Splitt bzw. Salzproduktion und der Anfahrt des Winterdienstpersonals zur Verkehrsstation sind geringer als jene, die mit der geothermischen Freiflächenheizung verbunden sind.

Auch für die Pilotstandorte Oberfalkenstein und Pinsdorf stellt sich die Situation ähnlich dar: Die Treibhausgas-Emissionen für die Errichtung und den Betrieb der Anlagen übersteigen die Treibhausgas-Emissionen für die Produktion und Lieferung der eingesetzten Streumittel und die Anfahrt des Winterdienstpersonals. Zwar ist sowohl in Oberfalkenstein als auch in Pinsdorf der Stromaufwand für den Betrieb der Wärmepumpe deutlich geringer als in Bad Vigaun (Bad Vigaun: 36.949 kWh/a; Oberfalkenstein: 11.766 kWh/a; Pinsdorf: 13.392 kWh/a., jedoch sind auch die benötigten Streumittelmengen geringer, da kleinere Flächen eis- und schneefrei zu halten sind (Bad Vigaun: 1065 m²; Oberfalkenstein: 270 m²; Pinsdorf: 386 m²).

Bei Nutzung von Tunnelwasser sinken die Treibhausgas-Emissionen des geothermischen Systems zur Eis- und Schneefreihaltung, da bauliche Aufwendungen wie z.B. Brunnen oder Erdwärmesonden wegfallen. Am Beispiel Bad Vigaun wären jedoch die Treibhausgas-Emissionen für Errichtung und Betrieb der Wärmepumpe - auch bei Wegfall von Treibhausgas-Emissionen für die Brunnenerrichtung - immer noch höher als die Treibhaus-Emissionen bei der Aufbringung von Streumitteln.

Zusammenfassend wird folgende Schlussfolgerung gezogen:

In Hinblick auf Umweltwirkungen der geothermischen und solaren Eis- und Schneefreihaltung sind andere Umweltwirkungen, die im Abschnitt 16.5.1 beschrieben sind (wie z.B. Sekundärschäden an Gebäuden und metallischen Gebäudeteilen durch Korrosionswirkung von Salz), als relevanter einzustufen als Treibhausgas-Emissionen und Primärenergieeinsatz.

21 PILOTPLANUNGEN - ERFORDERLICHE PLANUNGSGRUNDLAGEN

Neben den fachlichen Untersuchungen und Planungen sind Erdwärmennutzungen 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 20 ist [1].

Erst wenn das vorhandene Wasser- und Energiedargebot auf Grundlage gesicherter und nachvollziehbarer Unterlagen möglichst genau abgeschätzt 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 Erdwärmennutzung 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:
 - Eigentümer
 - Lage der geplanten Anlage mit Bezug zu bestehenden Schutzgebieten, Schongebieten und den wasserwirtschaftliche 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

- Geologische, hydrogeologische, hydrologische und isotopenhydrologische 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
- 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 hydraulisch 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 deren Gewässerverträglichkeit
 - Aufbereitung und Entsorgung der Bohrspülung
 - Verwendete Bau- und Hilfsstoffe
 - Darstellung geplanter Säuerungs- oder sonstige Ertüchtigungsmaßnahmen
- Mess- und Untersuchungsprogramme
 - Geophysikalische Bohrlochuntersuchungen

- Chemisch-physikalische und isotopenhydrologische Untersuchungen des Grundwassers
 - Dokumentation und Auswertung
- Technische Beschreibung der Entnahme- und Rückgabebohrung
 - Lage
 - Endteufe
 - Bohrlochausbau (Durchmesser, Verrohrung, Verfilterung, Ringraumverpressung)
- Wasserwirtschaftliche 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

Für die 3 Pilotplanungsstandorte sind Planungsgrundlagen entsprechend dieser Auflistung zu erstellen und der Genehmigungsbehörde vorzulegen. Oft ist im Rahmen der Erstellung dieser Planungsdokumente eine Standorterkundung erforderlich, die die thermischen Gesteinseigenschaften und die hydrogeologische Standorteignung nachweisen. Eine

Vorerkundung des Standortes sollte aber in jedem Fall erfolgen um die Anlagendimensionierung möglichst exakt zu ermöglichen.

22 UMWELTRECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN, WASSERWIRTSCHAFTLICHE GRUNDSÄTZE, WASSERRECHTLICHE ASPEKTE

22.1 Wasserwirtschaftliche Relevanz, Umweltwirkungen

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

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

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 und Wasserschutz- und Wasserschongebiete zu erheben und in der Planung entsprechend zu berücksichtigen.

22.2 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.

22.3 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

22.4 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.

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.

22.4.1 Anlagen mit einer thermischen Nutzung des Grundwassers

Diese sind Anlagen, bei denen Grundwasser entnommen und nach thermischer Nutzung verändert (erwärmt oder abgekühlt) wieder in den Grundwasserleiter oder (u.U. im Einzelfall) in einen Vorfluter eingeleitet wird (siehe Kapitel 14.1.8.2).

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 gem. §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.

22.4.2 Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes (EWS, Energiepfähle)

Bei diesen Anlagentypen findet keine Wasserentnahme statt (siehe Kapitel 14.1.8.1). Man spricht daher auch von geschlossenen Systemen. Da jedoch eine (qualitative) Gefährdung des Grundwassers nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann (z.B. Bohrarbeiten, 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 bereits bundeslandweise schon definiert.

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 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 zu berücksichtigen.

22.5 Wasserrechtliche Planungsaspekte

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 22.5.1, 22.5.2 und 22.5.3 dargelegt und erläutert.

22.5.1 Allgemeine Planungsaspekte für die thermische Nutzung von Grundwasser

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

- 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 22.5.2 und 22.5.3 Aspekte beachtet werden.

22.5.2 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 des Verpressvorganges (Materialien, Zusatzstoffe) muss 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, sind entsprechende Maßnahmen bei der Sondenverpressung bzw. Verfüllung 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 der geringen hydraulischen Durchlässigkeit, der guten Wärmeleitfähigkeit und der Frostbeständigkeit ist erforderlich.
- Eine bedarfs- und fachgerechte Dimensionierung der Bohrungen (Bohrlochdurchmesser) ist von Bedeutung um eine dem Stand der Technik entsprechende Ringraumverpressung zu gewährleisten und Schäden durch Frost-Tauwechsel zu vermeiden.
- Auf ein vollständiges Ausspülen des Wärmeträgers bei Außerbetriebnahme einer Sonde ist zu gewährleisten.
- Eine dauerhafte und wasserdichte Verpressung der Sonde ist bei Außerbetriebnahme der Anlage oder bei Misserfolg einer Bohrung zu gewährleisten.

22.5.3 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 Nutzungen ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund. 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 und die Anlage und die Abstände entsprechend zu dimensionieren.
- 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.

22.6 Ablehnungsgründe

Die wasserwirtschaftliche Bedeutung des Untergrundes ist naturgemäß größer als die geothermische Bedeutung des Untergrundes und wird daher auch wasserrechtlich 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 durchhörtern könnten

23 WEITERE DISKUTIERTE ASPEKTE UND THEMEN

Im Rahmen der Projektbesprechungen mit den ÖBB-Experten wurden verschiedene Aspekte und Themen angesprochen, die innerhalb des Projektes SEVES aber nicht im Detail analysiert und abgehandelt werden konnten. Einige dieser Aspekte sind im Folgenden ohne Bewertung aufgelistet, sodass diese im Fall einer Detailplanung Berücksichtigung finden können.

- Redundante Systeme der Eis- und Schneefreihaltung sind seitens der ÖBB nicht erwünscht. Das geothermische System muss ohne zusätzliche manuelle Schneeräumung funktionieren.
- Die Überwachung des sicheren Zustandes der Bahnsteige ist zu gewährleisten. Entsprechende Systeme sind in die Anlagen zu integrieren. Dies kann z.B. mit messtechnischen Einrichtungen oder visuell (z.B. Webcam) erfolgen.
- Der Komfort und die Sicherheit der ÖBB-Kunden ist ein zentrales Ziel der Anlagen. Eine wirtschaftliche Darstellung dieser Aspekte konnte im Projekt SEVES nicht erfolgen. Kosten für z.B. Schadensersatz bei Personenschäden konnten dabei nicht berücksichtigt werden.
- Die teilweise erheblichen Kosten, die durch Schäden von Auftausalzen an Bauwerken und metallischen Bauwerkskomponenten entstehen, konnten im Projekt SEVES nicht quantifiziert und berücksichtigt werden. Durch die geothermische Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen können sich diese Kosten aber maßgeblich reduzieren.
- Ein Imagezugewinn der ÖBB durch nachhaltige Nutzung von Energie und innovativer Technologien ist innerhalb des Projektes SEVES ebenfalls nicht quantifizierbar.
- Sekundärprobleme durch Feinstaub durch z.B. Splittabrieb wurde nicht in Betrachtungen einbezogen

24 EMPFEHLUNGEN

Im Rahmen einer geplanten Projektumsetzung wäre zu empfehlen vorerst stufenweise vorzugehen. Pilotanlagen in unterschiedlichen Maßstäben könnten die Grundlage für weitere Detailstudien erbringen.

Die Herangehensweise könnte in folgenden verschiedenen Maßstäben erfolgen:

- Kleinversuch - Betonplatte mit Monitoring und IR-Kamera
Experimentelle Analyse von Leistungsbedarf und Speichermöglichkeiten im Bereich eines ÖBB-Bahnsteigs.
- Versuchsbahnsteig
An einem Versuchsbahnsteig könnte abseits des regulären ÖBB-Betriebes das Verhalten und die Effizienz im experimentellen aber realistischen Maßstab getestet werden.
Auf Basis eines detaillierten Monitorings bei einem Versuchsbahnsteig könnte die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit getestet werden, ohne dass damit ein Sicherheitsrisiko bzw. ein Komfortdefizit für ÖBB-Kunden verbunden wäre.
- Einzelbahnsteig im Bereich einer Verkehrsstation
Auf Basis der Ergebnisse eines Versuchsbahnsteiges kann die Detailplanung eines Einzelbahnsteiges im Realbetrieb erfolgen. Im Bereich eines Einzelbahnsteiges könnte der Realbetrieb getestet, überwacht und bewertet werden.
- Geothermischer Pilotbahnhof
Die Errichtung eines „Geothermischen Pilotbahnhofes“ wäre im Sinne eines ÖBB-Vorzeigeprojektes umsetzbar. Die Eis- und Schneefreihaltung der Bahnsteige wäre nur eine Nutzungskomponente im gesamten Anlagenkonzept. Beheizung und Kühlung der Gebäude und Wartekojen, geothermische Weichenheizungen und die Eis- und Schneefreihaltung der Bahnsteige könnten als kombiniertes Anlagenkonzept umgesetzt werden.

25 ZUSAMMENFASSUNG

25.1 Ausgangslage und Problemstellung

Ziel des Projektes SEVES war die Erfassung und Darstellung der Potenziale und der realistischen Nutzungsmöglichkeiten von oberflächennaher Erdwärme für die Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen im Bereich der ÖBB-Verkehrsstationen.

25.2 Gewählte Methodik

In einer ersten Projektphase wurden die Grundlagen zur Ermittlung des Bedarfes an Winterbetreuungsflächen bundesweit für alle Verkehrsstationen der ÖBB ermittelt.

Innerhalb des VIF2011-Projektes INFRAplusGEO wurde bereits eine bundesweite Entscheidungsgrundlage für die Einbindung von Erdwärme in die Energieversorgung der ÖBB erarbeitet. Diese wurde im Projekt SEVES erweitert und auf die Detailfragestellung ausgerichtet.

Das geothermische Potenzial im Bereich der Verkehrsstationen wurde mit Hilfe eines geografischen Informationssystems geowissenschaftlich analysiert.

Aus der systematischen Analyse von Potenzial und Bedarf erfolgte im Rahmen des Projektes eine Auswahl von 3 Pilotplanungsstandorten.

Diese sind Pinsdorf, Bad Vigaun und Oberfalkenstein.

Die Verkehrsstationen Pinsdorf und Bad Vigaun wurden für die thermische Nutzung von Grundwasser für die Eis- und Schneefreihaltung ausgewählt. Die Verkehrsstation Oberfalkenstein wurde für die Nutzung von Erdwärmesonden mit der saisonalen Speicherung von solarer Wärme im Untergrund ausgewählt.

25.3 Ergebnisse

- Die in SEVES entwickelte Übersichtstudie und die exemplarischen Pilotprojekte stellen eine bundesweite Entscheidungshilfe für zukünftige Detailplanungen von Erdwärmennutzungen zur Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen im Bereich der ÖBB dar.
- Die erarbeiteten Ergebnisse liegen in Form eines Datenbank-GIS-Systems, eines umfassenden Kartenwerkes und eines umfangreichen technischen Berichtes vor.

- Es erfolgte eine bundesweite Kostenanalyse der derzeitigen Methoden und Vorgangsweise bei der Eis- und Schneefreihaltung der Freiflächen im Bereich der ÖBB-Verkehrsstationen.
- Es erfolgte eine bundesweite Ermittlung von eis- und schneefrei zu haltenden Flächen im Bereich der ÖBB-Verkehrsstationen.
- Untersuchung der technisch-ökonomischen Möglichkeiten des Einsatzes von Erdwärme und gespeicherter solarer Wärme zur Eis- und Schneefreihaltung an 3 Standorten.
- Identifikation von zielführenden Nutzungsmöglichkeiten bzw. Ausschluss von Nutzungsmöglichkeiten, deren Einsatz aus technischen, ökonomischen, ökologischen betrieblichen oder rechtlichen Gründen nicht zielführend ist und Abschätzung des Einsatzpotentials. Dieser Bearbeitungsschritt erfolgte in Zusammenarbeit mit einem Expertenteam der ÖBB.

25.4 Schlussfolgerungen

25.4.1 Allgemeine Schlussfolgerungen

- Die oberflächennahe Erdwärme liefert ausreichend Erdwärme, um die Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen zu gewährleisten.
- Im Bereich der ÖBB liegen zahlreiche Standorte mit günstigen Voraussetzungen für die Nutzung von Erdwärme, die im Rahmen von Detailprojekten umgesetzt werden können.
- Umweltrechtliche, wasserrechtliche und wasserwirtschaftliche Einschränkungen sind bundeslandabhängig im Rahmen von Detailplanungen berücksichtigen.
- Die Bahnsteige müssen in jedem Fall den Kundenkomfort und die Kundensicherheit gewährleisten. Dies ist durch entsprechende Dimensionierung und Überwachung sicherzustellen. Mit Hilfe von richtig dimensionierten Freiflächenheizungen ist eine schnee- und eisfreie Fläche zu jeder Tages- und Nachtzeit garantiert.
- Im Rahmen der Detailplanung sind die kleinräumigen Standorteigenschaften und kleinklimatischen Rahmenbedingungen einzubeziehen. Z.B. erhöhte Windanfälligkeit und Abschattung sind wichtige diesbezügliche Einflüsse.
- Im Bereich der ÖBB ist die Flächenverfügbarkeit für die Errichtung von Erdwärmeanlagen oft gegeben. Nur bei thermischen Grundwassernutzungen muss der Rückgabebrunnen möglicherweise auf Fremdgrundstücken errichtet werden.

- Die thermische Nutzungen von baulich ohnehin erforderlichen Baugründungen (z.B. Energiepfähle) kann die wirtschaftliche Umsetzbarkeit wesentlich begünstigen.

25.4.2 Ökonomische Schlussfolgerungen

- Die wirtschaftliche Umsetzbarkeit von geothermischer Eis- und Schneefreihaltung hängt wesentlich mit den regional sehr unterschiedlichen Winterbetreuungskosten mit konventionellen Methoden zusammen.
- Aufgrund der Kostenstruktur der analysierten Projekte zeigt sich, dass eine Konkurrenz mit den konventionellen Winterbetreuungsmethoden nur unter gewissen Rahmenbedingungen möglich ist.
- Die kostengünstigste Variante ist meist die manuelle Räumung durch externe Dienstleister, wie sie derzeit durch die ÖBB praktiziert wird.
- Die Investitionskosten für Erdwärmequelle, Wärmepumpe, Brunnenanlage bzw. Solaranlage und Flächenheizung bestimmen die Wirtschaftlichkeit maßgeblich.
- Die Nutzung von Tunnelwasser für die Eis- und Schneefreihaltung wurde im Rahmen der Pilotplanungsstandorte nicht ökonomisch beurteilt. Aufgrund der wegfallenden bzw. sehr geringen Wassererschließungskosten, der verringerten Betriebskosten und der höheren zu erwartenden Wassertemperaturen (bessere Effizienz einer Wärmepumpe) kann man ableiten, dass sich die Nutzung von Tunnelwasser bei entsprechender technischer Anlagenplanung deutlich besser wirtschaftlich darstellbar ist als die Nutzung von Grundwasser mit Bohrbrunnen.

25.4.3 Technische Schlussfolgerungen

- Beide Nutzungstechnologien (thermische Nutzung von Grundwasser, thermische Nutzung des Untergrundes ohne Wasserentnahme) gewährleisten bedarfsgerechte Wärmemengen.
- Um die Eis- und Schneefreihaltung der Bahnsteigunterbauten möglichst effizient zu gestalten, ist der Aufbau des Bahnsteiges so zu designen, dass thermische Energie möglichst wenig nach unten verloren geht sondern an die Oberfläche transportiert wird. Die Bahnsteigdimensionierung und die Materialauswahl sind diesbezüglich zu optimieren.
- Eine gute, feuchtigkeitsbeständige Isolierung zum Untergrund hin ist entscheidend für die Verringerung von Wärmeverlusten.

- Wichtige Rahmenbedingungen für den Bau eines Heizungssystems sind eine möglichst oberflächennahe Montage der Heizleitungen, um Wärmeverluste und die Trägheit des Systems möglichst klein zu halten.
- Zur Schnee- und Eisfreihaltung sind kurzzeitig, oft über nur für 1 bis 2 Stunden, hohe Wärmeleistungen erforderlich, für die aber das System auszulegen ist. Daraus resultieren entsprechend hohe Investitionskosten bei relativ schlechter Jahresausnutzung der Anlage.
- Aufgrund der geringen Anzahl an Tagen, an welchen die Maximalleistung der Anlage erforderlich ist, wäre eine Kurzzeitspeicherung thermischer Energie zielführend, sodass die gesamte Anlagenkonzeption verkleinert und damit verbilligt werden könnte.
- Anders als die benötigte Leistung ist die benötigte Wärme überwiegend durch die konvektive Wärmeabgabe von der Bahnsteigoberfläche an die Umgebungsluft bestimmt. Da diese Wärmeverluste sehr stark vom Windgeschehen abhängen, kann angenommen werden, dass eine windgeschützte Ausführung der Bahnsteige den Wärmebedarf merklich verringern kann.
- Bei entsprechender Auslegung der Erdwärmesondenanlagen kann ein beträchtlicher Anteil des gesamten Wärmebedarfes in der warmen Jahreszeit mit Hilfe von Solarkollektoren gespeichert und im Winter rückgewonnen werden. Die Speicherung von Wärme dient weiters der Regeneration des Untergrundes (nachhaltige Nutzung) und erhöht die Leistungszahl der Wärmepumpe (geringerer Stromverbrauch).
- Die Speicherwirkung der Bahnsteigflächen ist dabei von untergeordneter Bedeutung, da konvektive Verluste und windbedingte Verluste zu einem relativ geringen Energieeintrag führen.
- Eine Anlagenoptimierung ist im Bereich aller Anlagenkomponenten anzustreben und für eine wirtschaftliche Umsetzbarkeit erforderlich.
- Ein weiterer sehr wichtiger Aspekt für das einwandfreie Funktionieren einer Freiflächenheizung ist die einwandfreie und schnelle Abführung von Schmelzwasser, um Eisbildung an den Rändern der beheizten Bahnsteige zu verhindern.
- Die Regelung des Einschaltzeitpunktes ist ebenfalls ein wesentlicher Planungsinhalt, um die Trägheit des Abtau- bzw. Schmelzvorganges so berücksichtigen, sodass eine Eis- und Schneefreiheit kontinuierlich gewährleistet ist.

- In jedem Fall ist eine Anlagenoptimierung durch ein intelligentes Mess-, Steuer- und Regelsystem und damit eine Betriebskostenoptimierung erforderlich, um eine verbesserte wirtschaftliche Darstellbarkeit zu erreichen.
- Die Überwachbarkeit der einwandfreien Eis- und Schneefreihaltung (z.B. mit Überwachungskameras) ist ein wichtiger Planungsinhalt.
- Auf Basis der standortbezogenen realen Klimadaten ist eine Leistungsoptimierung einer Anlage erforderlich. Standardleistungen pro m² können zu deutlichen Überdimensionierungen einer Anlage führen.

Abschließend dankt das Projektteam von JOANNEUM RESEARCH dem ÖBB-Experten-Team, welches sich im Rahmen interessanter Diskussionen in das Projekt SEVES eingebracht hat und wichtige fachliche Inputs beigetragen hat.

Dipl.-Ing. Gunnar Domberger (Projektleiter)

Dipl.-Ing. Kurt Könighofer

Dipl.-Ing. Dr. Reinhard Padinger

Dipl.-Ing.(FH) Stefan Gunczy

Dipl.-Ing.ⁱⁿ(FH) Dipl.-Ing.ⁱⁿ Johanna Pucker

(JOANNEUM RESEARCH)

Graz, Mai 2016

26 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 Consulenten, (2010)*
- (17) *Hans Hofinger: Erdwärmenutzung Hauptbahnhof Salzburg - Wasserrechtliche Einreichung - Bericht, ÖBB / IC Consulenten, (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): Saisonalen 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.

(33) *Feldmann, M. et.al. (2012): Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen; bast-Heft B 8*, Aachen/München

(34) *Siebert N., Zacharakis E.: Asphalt Solar Collector and Borehole Storage – Master Thesis; Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2010*

(35) *Minsk D.: Heated Bridge Technology – Report on ISTE A Sec. 6005 Program – Office of Bridge Technology – U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration, Washington, USA 1999*

(36) *Sullivan C.G.: Energy from asphalt pavements*

(37) *DEM: Schnee- und Eisfreihaltung auf Verkehrswegen - Technischer Prospekt*

(38) *UPONOR – Gebäudetechnik - Technischer Prospekt*

(39) *REHAU – Geothermische Freiflächentemperierung – Technischer Prospekt*

(40) *Richter T. (2009): Verwendung von Erdwärme zur Schnee- und Eisfreihaltung von Freiflächen – Berichte des Instituts für Bauphysik - Fraunhofer IRB-Verlag – Hannover*

(41) *Katzenbach R., Bolk P, Steinbach Ch. (2006): QuaWiDis – Entwicklung eines neuen, qualifizierten Winterdienstsystems für Personenverkehrsflächen durch die Nutzung regenerativer Energie – Hering-TU Darmstadt-Meierhaus – Abschlussbericht*

(42) *ÖKLIM – CD-Klimaatlas der ZAMG*

(43) *Pahud D (2007).: Serso, stockage saisonnier solaire pour le dégivrage d'un pont; Rapport final; Office fédéral de l'énergie*

(44) Mackert U. (2011): Kanalbrücke Berkenthin mit temperierter Fahrbahn – Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein – Niederlassung Lübeck – Expertengespräch Stahlbrückenbau 27.9.2011

(45) Würtele M., Sprinke P., Eugster W. (2005): GeoVersi – Geothermie sorgt für Verkehrssicherheit – Ministerium für Verkehr, Energie und Landesplanung des Landes Nordrhein-Westfalen - Düsseldorf

[46] Bolk P., et al (2007) Entwicklung des neuen, qualifizierten Winterdienstsystems QuaWiDiS für Personenverkehrsflächen durch die Nutzung regenerativer Energien, Schlussbericht zum F+E Vorhaben im Rahmen des BMBF-Förderprogramms „Bauen und Wohnen im 21. Jahrhundert“ zum Thema „Bauforschung und –technik für eine nachhaltige Stadt- und Raumentwicklung“.

[47] Richter T. (2009) Verwendung von Erdwärme zur Schnee- und Eisfreihaltung von Freiflächen, Hrsg. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nabil A. Fouad, Leibniz Universität Hannover, Institut für Bauphysik, ISBN 978-3-8167-8213-1, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

[48] Quack D., Möller M., Gartiser S. (2004) Ökobilanzen des Winterdienstes in den Städten München und Nürnberg - Stadt Nürnberg, Endbericht, Öko-Institut e.V. Freiburg und Hydrotox GmbH

[49] Ruess, B. (1998) Salz- und Splittstreuung im Winterdienst - Neue Forschungserkenntnisse, Strasse und Verkehr 6/98, Vogt-Schild/Habegger Medien AG, CH-4501 Solothurn

[50] VKS – Verband der Kali- und Salzindustrie e.V. (2010) Winterdienst wirtschaftlich und umweltgerecht, 3. Überarbeitete Neuauflage 2010, Berlin.

27 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Projektstruktur, Arbeitspakete und Output (aus SEVES-Projektantrag).....	13
Abbildung 2: Anordnung der getesteten Rohrerschleifenkonfigurationen und der Messfühler beim QuaWiDis-Prototyp [41]	23
Abbildung 3: SERSO-Brücke (Umfahrung Därligen)	25
Abbildung 4: Lageplan DB-Haltestelle Barbis.....	26
Abbildung 5: Beispiel Bad Lautenaberg – Haltestelle Barbis – REHAU-Prospekt [12].....	27
Abbildung 6: Systemdarstellung Barbis (Reiner Wittig – Frenzel Bau, Internet-Recherche). 27	
Abbildung 7: Kanalbrücke Berkenthin von Osten (aus [44]).....	28
Abbildung 8: Technisches Konzept – Brücke Berkenthin	29
Abbildung 9: Simulation der Wärmeverteilung in der Fahrbahn zur Optimierung der Heizleitungsabstände (aus [44]).....	30
Abbildung 10: Foto der Bauarbeiten bzw. Verlegearbeiten der Brücke Berkenthin (aus [44])	30
Abbildung 11: Geologische Karte von Österreich (1:500.000)	35
Abbildung 12: Lageplan der ÖBB-Strecken und Tunnel.....	36
Abbildung 13: Anzahl der Eistage (aus [42])	39
Abbildung 14: Anzahl der Schneedeckentage (aus [42]).....	39
Abbildung 15: Globalstrahlung Österreich	40
Abbildung 16: Solarstrahlung – Oberösterreich – November (Quelle: DORIS-LandesGIS-Oberösterreich).....	42
Abbildung 17: Solarstrahlung – Oberösterreich – Juni (Quelle: DORIS-LandesGIS-Oberösterreich).....	43
Abbildung 18: Solarstrahlung – Oberösterreich – Jahressummen (Quelle: DORIS-LandesGIS-Oberösterreich).....	44
Abbildung 19: Standorteigenschaften – Bahnhof Windischgarsten.....	45
Abbildung 20: ASFINAG-Messstelle (Quelle: ASFINAG / W. Seidl).....	48
Abbildung 21: Lageplan der ASFINAG-Messstellen.....	49
Abbildung 22: ASFINAG-Messstelle A1 – Allhaming.....	50
Abbildung 23: Verkehrsstationen – Beispiele 1-4	52
Abbildung 24: Verkehrsstationen – Beispiele 2-8	53
Abbildung 25: Bahnhof Kirchdorf/Krems.....	54
Abbildung 26: Lageplan der Verkehrsstation Kirchdorf/Krems inkl. Grundstücke der ÖBB (weiß).....	54

Abbildung 27: Geothermisches Potenzial –Tiefenlage und Nutzungsmöglichkeiten	56
Abbildung 28: Temperaturzunahme mit der Tiefe (aus [15])	58
Abbildung 29: Nutzungsprinzipien von Erdwärme ohne Wasserentnahme aus dem Untergrund (Erdwärmesonden, Energiepfähle, Bodenabsorber/Kollektoren) [15]	61
Abbildung 30: Prinzip der Erdwärmesonde (aus [15])	62
Abbildung 31: Wichtigste Bauformen von Erdwärmesonden (aus [15])	62
Abbildung 32: Bau eines Erdwärmesondenfeldes (Fotos: G. Domberger).....	63
Abbildung 33: Skizze - Energiepfahl (aus [15]).....	65
Abbildung 34: Thermische Nutzung des Grundwassers (aus [15])	67
Abbildung 35: Eisenbahntunnel in Betrieb, im Bau oder in Planung (österreichweit).....	68
Abbildung 36: Bestandstunnel im Bereich der ÖBB-Strecken.....	69
Abbildung 37: Simulation von Erdwärmesonden mit und ohne aktive thermische Regeneration	72
Abbildung 38: Idealisiertes Schema der saisonalen Wärmespeicherung im Untergrund (aus [15]).....	73
Abbildung 39: Beurteilungsgrundlage des oberflächennahen Potenzials.....	74
Abbildung 40: Wärmeleitfähigkeiten der Gesteinseinheiten in Österreich.....	79
Abbildung 41: Wärmespeicherkapazität (Vergleich – min und max.) der Gesteinseinheiten in Österreich.....	81
Abbildung 42: Natürlicher Erdwärmefluss (Basisquelle: Geologischer Atlas – Geologische Bundesanstalt).....	82
Abbildung 43: Hydrogeologische Standorteignung (Basis: Hydrogeologische Karte – Geologische Bundesanstalt).....	84
Abbildung 44: Nutzungsmöglichkeiten von Erdwärme zur Eis- und Schneefreihaltung von Bahnsteigen im Bereich der ÖBB.....	85
Abbildung 45: Verkehrsstationen mit der Eignung für eine thermische Nutzung von Grundwasser	87
Abbildung 46: Verkehrsstationen und Eignung für die Nutzung von Erdwärmesonden	89
Abbildung 47:: Eis- und Schneefreihaltung mit Grundwasserentnahme	92
Abbildung 48: Eis- und Schneefreihaltung mit Grundwasserentnahme und Wärmepumpenunterstützung	93
Abbildung 49: Eis- und Schneefreihaltung mit direkter Tunnelwassernutzung.....	94
Abbildung 50: Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden.....	95

Abbildung 51: Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Wärmepumpenunterstützung	96
Abbildung 52: Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden mit Speicherung solarer Wärme ohne Wärmepumpenunterstützung.....	97
Abbildung 53: Eis- und Schneefreihaltung mit Erdwärmesonden und Speicherung solarer Wärme mit Wärmepumpenunterstützung	98
Abbildung 54: Nutzung von Gussasphalt und Gussbeton für die Heizleitungseinbindung ...	99
Abbildung 55: Bahnsteigaufbau – ÖBB-Dienstbehelf DB740 (2012).....	100
Abbildung 56: Bahnsteigerstellung – Hauptbahnhof Graz.....	101
Abbildung 57: Bahnsteigerstellung – Zeitlicher Ablauf und Untergrund	102
Abbildung 58: Freiflächenaufbau mit Betonplatten- oder Gussasphaltabschluss.....	103
Abbildung 59: Freiflächenaufbau mit Betonplatten- oder Asphaltdecke	103
Abbildung 60: Freiflächenaufbau mit Betonplatten- oder Pflastersteindecke	104
Abbildung 61: Günstiger Bahnsteigaufbau für geothermische Eis- und Schneefreihaltung	105
Abbildung 62: Temperaturverteilung im Bereich eines Bahnsteiges beim Bahnhof Bruck/Mur	108
Abbildung 63: Temperaturverteilung auf einer Parkfläche im Bereich des Bahnhof Bruck (30.9.2014 17:00 – 1.10.2014 / 5:45)	109
Abbildung 64: Prinzipschema zur Funktion einer Wärmepumpe.....	110
Abbildung 65: Prinzipielle Schaltung einer Wärmepumpe.....	111
Abbildung 66: Wärmepumpen - Kreisprozess im log p, h Diagramm	112
Abbildung 67: Fahrbahntemperaturen als Beispiel für die erforderlichen Einschaltzyklen und Einschaltzeiten einer Anlage (Quelle: ASFINAG-Daten).....	114
Abbildung 68: Wärmeströme	118
Abbildung 69: Kostenregionen der ÖBB.....	121
Abbildung 70: Kostenrahmen der Winterbetreuung der Verkehrsstationen (bundesweit)...	121
Abbildung 71: Mögliche Wirkungsketten beim Einsatz von Streumitteln (Salz und Splitt) [48]	125
Abbildung 72: Prozessbild für die Untersuchung der Umweltwirkungen mittels Lebenszyklusanalyse für die geothermische Eis- und Schneefreihaltung im Vergleich zur konventionellen Eis- und Schneefreihaltung mittels Streugut.....	126
Abbildung 73: Mehrstufiges Auswahlverfahren der Pilotplanungsstandorte.....	127
Abbildung 74: Mehrstufiges Auswahlverfahren mit Anzahl der beurteilten Verkehrsstationen	128

Abbildung 75: Lage der Verkehrsstationen mit geplantem Umbau	131
Abbildung 76: Vorauswahl der Verkehrsstationen für Pilotplanungsstandorte	133
Abbildung 77: Ausgewählte Pilotplanungsstandorte – Übersicht	135
Abbildung 78: Lage der Verkehrsstation Pinsdorf	136
Abbildung 79: ÖBB-Homepage – Darstellung der geplanten Modernisierung der Verkehrsstation Pinsdorf.....	137
Abbildung 80: Schutz- und Schongebiete und ÖBB-Grundstücke (rot) im Bereich von Pinsdorf.....	138
Abbildung 81: Nutzungsprinzip – Beispielstandort Pinsdorf	139
Abbildung 82: Varianten (V1-V4) der Brunnenstandorte bei der Pilotplanungsanlage Pinsdorf	140
Abbildung 83: Stündliche Klimadaten für die Niederschläge und die Lufttemperatur, verwendet für den Standort Pinsdorf, im Jahresverlauf.....	142
Abbildung 84: Windgeschwindigkeiten (m/s) und konvektive Wärmeverluste (kW) von der Bodenoberfläche an die Luft am Standort Pinsdorf, stündliche Werte im Jahresverlauf.....	143
Abbildung 85: Spezifischer Leistungsbedarf (W/m^2) am Standort Pinsdorf, stündliche Werte im Jahresverlauf	144
Abbildung 86: Gesamtleistungsbedarf (kW) am Standort Pinsdorf, stündliche Werte im Jahresverlauf	145
Abbildung 87: Gesamtwärmebedarf Pinsdorf (kWh), kumuliert im Jahresverlauf	146
Abbildung 88: Gesamtwärmebedarf (kWh) Pinsdorf, reduziert um solare Wärmeeinträge während der Heizzeiten kumuliert im Jahresverlauf	146
Abbildung 89: Lage der Verkehrsstation Bad Vigaun	151
Abbildung 90: Verkehrsstation Bad Vigaun	152
Abbildung 91: Luftbild – Verkehrsstation Bad Vigaun.....	153
Abbildung 92: Varianten von möglichen Brunnenstandorten (V1-V4) bei der Verkehrsstation Bad Vigaun (ÖBB-Grundstücke rot eingefärbt)	154
Abbildung 93: Stündliche Klimadaten für die Niederschläge und die Lufttemperatur, verwendet für den Standort Bad Vigaun.....	156
Abbildung 94: Windgeschwindigkeiten (m/s) und konvektive Wärmeverluste (kW) von der Bodenoberfläche an die Luft am Standort Bad Vigaun.....	157
Abbildung 95: Spezifischer Leistungsbedarf (W/m^2) am Standort Bad Vigaun, stündliche Werte im Jahresverlauf.....	158

Abbildung 96: Gesamtleistungsbedarf (kW) am Standort Bad Vigaun, stündliche Werte im Jahresverlauf	159
Abbildung 97: Gesamtwärmebedarf Bad Vigaun (kWh), kumuliert im Jahresverlauf	160
Abbildung 98: Gesamtwärmebedarf (kWh) Bad Vigaun, reduziert um solare Wärmeeinträge während der Heizzeiten kumuliert im Jahresverlauf	160
Abbildung 99: Lage der Verkehrsstation Oberfalkenstein	165
Abbildung 100: Detailsituation bei der Verkehrsstation Oberfalkenstein	166
Abbildung 101: Verkehrsstation Oberfalkenstein.....	166
Abbildung 102: ÖBB-Grundstücke (rot) im Bereich der Verkehrsstation Oberfalkenstein...	167
Abbildung 103: REHAU – Erdwärmesonde RAUGEO Sonde PE100 (Dimensionen, Verlegung, Einbau).....	168
Abbildung 104: Anlagenkonzept Pilotplanungsstandort Oberfalkenstein	169
Abbildung 105: Lageplan der Gesamtanlage - Verkehrsstation Oberfalkenstein	169
Abbildung 106: Klimadaten für die Niederschläge und die Lufttemperatur, verwendet für den Standort Oberfalkenstein, Jahresverlauf	171
Abbildung 107: Windgeschwindigkeiten (m/s) und konvektive Wärmeverluste (kW) von der Bodenoberfläche an die Luft am Standort Oberfalkenstein, stündliche Werte im Jahresverlauf	172
Abbildung 108: Spezifischer Leistungsbedarf (W/m^2) am Standort Oberfalkenstein, stündliche Werte im Jahresverlauf.....	173
Abbildung 109: Gesamtleistungsbedarf (kW) am Standort Oberfalkenstein, stündliche Werte im Jahresverlauf	174
Abbildung 110: Gesamtwärmebedarf Oberfalkenstein (kWh), kumuliert im Jahresverlauf .	175
Abbildung 111: Gesamtwärmebedarf Oberfalkenstein, reduziert um solare Wärmeeinträge (kWh) kumuliert im Jahresverlauf. Die grüne Linie zeigt den hypothetischen Idealverlauf bei Einsatz eines Solarkollektors mit $100\ m^2$ unter der Annahme vollständiger Wärmerückgewinnung mit einem „idealen“ Speichersystem mit einem hypothetischen Wirkungsgrad von 100 %. Die praktisch erreichbaren Ergebnisse liegen abhängig vom tatsächlichen Wirkungsgrad des realen Speichersystems irgendwo zwischen der grünen und der blauen Linie.	175
Abbildung 112: Spezifische Jahreskosten für die Eis- und Schneefreihaltung für die Pilotstandorte – Vergleich der errechneten Werte für Geothermienutzung mit den derzeitigen Kosten in der jeweiligen Region	183

Abbildung 113: Spezifische Jahreskosten für die Eis- und Schneefreihaltung für die Pilotstandorte – Vergleich der Betriebskosten (Betriebsgebundene und Verbrauchsgebundene Kosten) mit den derzeitigen Kosten in der jeweiligen Region 184

28 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Organisatorischer Projektablauf.....	15
Tabelle 2: Projektbeispiele USA – Brückenbeheizungen [32,45]	20
Tabelle 3: Übersicht - Projekte in Europa	22
Tabelle 4: Übersicht – Projekte in Japan	32
Tabelle 5: Messstellen und Sensoren der ASFINAG-Messstellen	47
Tabelle 6: Kosten der Winterbetreuung (ÖBB-Tabelle)	51
Tabelle 7: Flächen mit Winterbetreuung im Bereich der Verkehrsstation Kirchdorf/Krems...	55
Tabelle 8: Entzugsleistungen verschiedener Nutzungstechnologien von oberflächennaher Erdwärme (aus [15])	59
Tabelle 9: Geothermisches Potenzial von Tunnels in der Schweiz (J.Wilhelm & L.Rybach)	71
Tabelle 10: Tunnelwassernutzungen in der Schweiz	71
Tabelle 11: Thermische Gesteinseigenschaften auf Basis der geologischen Karte von Österreich und VDI-Richtwerten (farblich relativ abgestuft).....	77
Tabelle 12: Empfohlenes Monitoring bei verschiedenen Nutzungstechnologien [aus 15]...	116
Tabelle 13: Annahmen für Nutzungsdauer und kalkulatorischer Zinssatz.....	122
Tabelle 14: Prozentsätze der betriebsgebundenen Kosten.....	123
Tabelle 15: Bildung der Kategorien für die Auswahl der Pilotplanungsstandorte	128
Tabelle 16: Liste der von der ÖBB übermittelten Verkehrsstationen mit geplantem Umbau	130
Tabelle 17: Verkehrsstationen mit geplanten Umbauarbeiten und geothermischem Potenzial	131
Tabelle 18: Kategorien der Pilotplanungsprojekte	132
Tabelle 19: Verkehrsstationen – Auswahl der Pilotplanungsstandorte für eine thermische Nutzung des Grundwassers	134
Tabelle 20: Verkehrsstationen – Auswahl der Pilotplanungsstandorte für eine thermische Nutzung des Untergrundes ohne Wasserentnahme.....	134
Tabelle 21: Eckdaten der Pilotplanungsanlage Pinsdorf	137
Tabelle 22: Ergebnistabelle der ökonomischen Analyse – Pinsdorf.....	150
Tabelle 23: Eckdaten des Standortes Bad Vigaun	151
Tabelle 24: Ergebnistabelle der ökonomischen Analyse – Bad Vigaun	164
Tabelle 25: Eckdaten des Pilotplanungsstandortes Oberfalkenstein.....	165
Tabelle 26: Ergebnistabelle der ökonomischen Analyse – Oberfalkenstein.....	180

Tabelle 27: Gegenüberstellung der errechneten Kosten für geothermische Eis- und Schneefreihaltung in den ausgewählten Pilotstandorten mit den derzeitigen Kosten der ÖBB	183
Tabelle 28: Gegenüberstellung der Betriebskosten (Betriebsgebundene und Verbrauchsgebundene Kosten) für geothermische Eis- und Schneefreihaltung in den ausgewählten Pilotstandorten mit den derzeitigen Kosten der ÖBB	184